



عنوان مقالات

- تأثیر شکل دهانه آبگیر بر مقدار ضرایب انرژی و اندازه حرکت و ابعاد جداشدگی جریان ۱۲۷۸
مهدی کریمی مقدم - تورج سیزواری - مهدی نورزاده حداد
- ترکیب مدل فائو و شاخص‌های گیاهی در برآورد ضریب گیاهی با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی ۱۲۹۰
لاله پرویز
- ارزیابی اثر کاربری اراضی و برخی ویژگی‌های خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع ۱۳۰۲
الهام افشلی مقدم - ناصر برومند - وحیدرضا جلالی - صالح سنجر
- اثرات ماده آلی محلول بر جذب علف‌کش متری‌پوزین در دو خاک مختلف ۱۳۱۳
محمدرضا ریگی - محسن فرحجشن
- توزیع شکل‌های شیمیایی روی به روش تسیر در برخی از خاک‌های آلوده شده استان خراسان رضوی و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک ۱۳۲۵
زهره شریفی - علیرضا آستارایی - امیر فتوت - مجتبی بارانی مطلق - حجت امامی
- پایامد مایه‌زنی میکروبی بر رشد، جذب آهن و روی و پاسخ بیوشیمیایی بنگ‌دانه (*Hyoscyamus niger* L.) در تنش سرب ۱۳۴۰
اکبر کریمی - حبیب خداوردیلو - میرحسن رسولی صدقیانی
- پاسخ کرم خاکی *Eisenia fetida* به تنش شوری و آلودگی سرب در خاک تیمار شده با کود گاوی ۱۳۵۵
مینا نظری‌زاده - فایز رئیس - حمیدرضا متقیان
- بررسی پرتوزایی طبیعی خاک‌های کشاورزی و بکر در شهرهای اراک و سرپند در استان مرکزی ۱۳۷۱
رضا پورایمانی - فائزه یوسفی
- ارزیابی نرخ فرسایش و رسوب در کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز تهر استان گلستان با استفاده از مدل SWAT ۱۳۸۳
فرشاد کیانی - بهروز بهتری نژاد - علی نجفی نژاد - عبدالرضا کابلی
- اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر تعدیل تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی ذرت علوفه‌ای ۱۳۹۶
الهام مددی - سیف اله فلاح
- پایامد ترکیب‌های درختی مختلف و ویژگی‌های خاک بر جامعه میکروبی خاک ۱۴۰۹
سمانه تاجیک - شمس الله ایوبی - جهانگیر خواجه علی - شعبان شتایی
- بررسی کارایی مصرف و کودپذیری آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم ۱۴۲۳
پیمان کشاورز - مجید فروهر - مسعود دادپور
- تعیین عوامل مؤثر بر گسترش آبکنده‌های حوزه‌ی آبخیز مدرس شوشتر ۱۴۳۲
فریدون سلیمانی - مجید صوفی - عزیز ارشم
- یک روش ساده فیزیکی خالص‌سازی سپولیت ۱۴۴۷
مهدیه مومن - علیرضا کریمی - اکرم حلاج نیا - پریسا میرحسینی موسوی
- کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم ژنتیک در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۴۵۶
مسلم ثروتی - حمیدرضا ممتاز
- تأثیر محلول‌پاشی منابع آهن بر پارامترهای رشد، غلظت آهن و فعالیت برخی آنزیم‌های گیاه سورگوم ۱۴۶۷
صبیره گلشاهی - احمد غلامعلی زاده آهانگر - نوشین میر - مریم قربانی
- ادامه فهرست داخل جلد

Contents

- Effect of Mouth Shape on the Energy and Momentum Coefficients and Flow Separation Dimensions 1289
M. Karami Moghadam - T. Sabzevari - M. Nourzadeh Hadad
- Combining FAO Model and Vegetation Indices to Estimate Crop Coefficient Using Principle Component Analysis 1301
L. Parviz
- Evaluation the Effect of Different Land Use and Soil Characteristics on Saturated Hydraulic Conductivity 1312
E. Afzali Moghadam - N. Boroomand - V. R. Jalali - S. Sanjari
- Effects of Dissolved Organic Matter on Sorption of Metribuzin Herbicide by Two Different Soils 1324
M. R. Rigi - M. Farahbakhsh
- Distribution of Zn Fractons and their Relationship with Soil Properties in Some Soils of Khorasan Razavi Province 1339
Z. Sharifi - A. R. Astarai - A. Fotovat - M. Barani Motlagh - H. Emami
- Influence of Microbial Inoculation on Growth, Fe and Zn Uptake and Biochemical Response of *Hyoscyamus niger* L. in Lead (Pb) Stress 1354
A. Karimi - H. Khodaverdiloo - M. H. Rasouli-Sadaghiani
- Response of Earthworm *Eisenia fetida* to the Stresses Induced by Salinity and Lead Pollution in a Soil Amended with Cow Manure 1370
M. Nazarizadeh - F. Raiesi - H. Motaghian
- Investigation of Natural Radioactivity of Agricultural and Virgin Soils in Arak and Saraband Cities in Markazi Province, Iran 1382
R. Pourimani - F. Yousefi
- Evaluation Theerosion and Sediment in Different land Uses of Tamer Watershed, Golestan Province Using SWAT Model 1395
F. Kiani - B. Behtarinejad - A. Najafinejad - R. Kaboli
- Effects of Jasmonic Acid and Humic Acid to Mitigate Drought Stress Effect During Pollination of Forage Maize 1408
E. Madadi - S. Fallah
- Impact of Different Tree Compositions and Soil Properties on Soil Microbial Community 1422
S. Tajik - S. Ayoubi - J. Khajehali - Sh. Shataee
- Application and Fertilization Efficiency of Iron in Some Wheat Genotypes 1431
P. Keshavars - M. Forouhar - M. Dadivar
- Determination of Effective Factors in Gullies Development in Modares Watershed of Shushtar 1446
F. Soleimani - M. Soufi - A. Orsham
- A Simple Physical Method for Purification of Sepiolite 1455
M. Momen - A. Karimi - A. Halajnia - P. Mirhoseini Moosavi
- Firefly Algorithm and Genetic Algorithm Performance in Cation Exchange Capacity Prediction by Artificial Neural Networks 1466
M. Servati - H. Montaz
- The Effect of Foliar Application of Iron Sources on Growth Parameters, Iron Concentration and Activity of Some Enzymes of Sorghum 1480
S. Golshahi - A. Gholamalizadeh Ahangar - N. Mir - M. Ghorbani
- Continue Content in cover

آب و خاک

(علوم و صنایع کشاورزی)

با شماره پروانه 21/2015 مورخه 1368/4/11 و درجه علمی - پژوهشی شماره 26524 تاریخ 1373/10/19 از

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد 31 شماره 5 آذر - دی سال 1396

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

رضا ولی زاده

سر دبیر:

امیر فتوت

اعضای هیئت تحریریه:

آستارائی، علیرضا

دانشیار - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

اوستان، شاهین

دانشیار - علوم خاک (دانشگاه تبریز)

ثنائی نژاد، سید حسین

دانشیار - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

خرمالی، فرهاد

استاد - علوم خاک (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

علیزاده، امین

استاد - آبیاری و زهکشی (دانشگاه فردوسی مشهد)

فتوت، امیر

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

قائمی، علی اصغر

دانشیار - آبیاری و زهکشی (دانشگاه شیراز)

کمالی، غلامعلی

دانشیار - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران)

کیانی، علیرضا

استاد - آبیاری و زهکشی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان)

لکزیان، امیر

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

مساعدی، ابوالفضل

استاد - آبیاری و مهندسی عمران (دانشگاه فردوسی مشهد)

موسوی بایگی، محمد

استاد - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مهدیان، محمد حسین

استاد - آبیاری و زهکشی (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپ و تکثیر نفیس

نشانی: دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده کشاورزی - ص. پ. 91775-1163 - دبیرخانه نشریات علمی - نشریه آب و خاک

نمابر: 0511-8787430

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیکی: jswa3@um.ac.ir

مقاله های این شماره در سایت <http://jm.um.ac.ir> به صورت کامل نمایه شده است.

این نشریه به صورت دو ماهانه (شش شماره در سال) منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 1278 تأثیر شکل دهانه آبگیر بر مقدار ضرایب انرژی و اندازه حرکت و ابعاد جداشدگی جریان
مهدی کرمی مقدم - تورج سبزواری - مهدی نورزاده حداد
- 1290 ترکیب مدل فانو و شاخص های گیاهی در برآورد ضریب گیاهی با استفاده از تحلیل مؤلفه های اصلی
لاله پرویز
- 1302 ارزیابی اثر کاربری اراضی و برخی ویژگی های خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع
الهام افضلی مقدم - ناصر برومند - وحیدرضا جلالی - صالح سنجرى
- 1313 اثرات ماده آلی محلول بر جذب علف کش متری بیوزین در دو خاک مختلف
محمد رضا ریگی - محسن فرحبخش
- 1325 توزیع شکل های شیمیایی روی به روش تسیر در برخی از خاک های آلوده شده استان خراسان رضوی و ارتباط آنها با ویژگی های
خاک
زهره شریفی - علیرضا آستارایی - امیر فتوت - مجتبی بارانی مطلق - حجت امامی
- 1340 پیامد مایه زنی میکروبی بر رشد، جذب آهن و روی و پاسخ بیوشیمیایی بنگدانه
(*Hyoscyamus niger* L.) در تنش سرب
اکبر کریمی - حبیب خداوردیلو - میرحسن رسولی صدقیانی
- 1355 پاسخ کرم خاکی *Eisenia fetida* به تنش شوری و آلودگی سرب در خاک تیمار شده با کود گاوی
مینا نظری زاده - فایز رئیسی - حمیدرضا متقیان
- 1371 بررسی پرتوزایی طبیعی خاک های کشاورزی و بکر در شهرهای اراک و سربند در استان مرکزی
رضا پورایمانی - فائزه یوسفی
- 1383 ارزیابی نرخ فرسایش و رسوب در کاربری های مختلف حوضه آبخیز تهر استان گلستان با استفاده از مدل SWAT
فرشاد کیانی - بهروز بهتری نژاد - علی نجفی نژاد - عبدالرضا کابلی
- 1396 اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر تعدیل تنش خشکی در مرحله گرده افشانی ذرت علوفه ای
الهام مددی - سیف اله فلاح
- 1409 پیامد ترکیب های درختی مختلف و ویژگی های خاک بر جامعه میکروبی خاک
سمانه تاجیک - شمس الله ایوبی - جهانگیر خواجه علی - شعبان شتایی
- 1423 بررسی کارآیی مصرف و کودپذیری آهن در ژنوتیپ های مختلف گندم
پیمان کشاورز - مجید فروهر - مسعود دادیور
- 1432 تعیین عوامل مؤثر بر گسترش آبکندهای حوزه ای آبخیز مدرس شوشتر
فریدون سلیمانی - مجید صوفی - عزیز ارشم
- 1447 یک روش ساده فیزیکی خالص سازی سپولیت
مهديه مومن - علیرضا کریمی - اکرم حلاج نیا - پریسا میرحسینی موسوی
- 1456 کارایی الگوریتم کرم شب تاب و الگوریتم ژنتیک در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با شبکه های عصبی مصنوعی
مسلم ثروتی - حمیدرضا ممتاز

- 1467 تأثیر محلول پاشی منابع آهن بر پارامترهای رشد، غلظت آهن و فعالیت برخی آنزیم‌های گیاه سورگوم
صبیره گلشاهی - احمد غلامعلی زاده آهنگر - نوشین میر - مریم قربانی
- 1481 بررسی توزیع بارش‌های روزانه با روش NRC (مطالعه موردی: تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد)
فاطمه بانان فردوسی - یعقوب دین پژوه
- 1497 برآورد آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E و مدل GLDAS (مطالعه موردی: حوضه‌های شمال غرب ایران)
هادی انصاری - صفر معروفی
- 1511 بررسی روند تغییرات بارش‌های منطقه جنوب غرب آسیا
محمد ناظری تهرودی - حسین خزیمه‌نژاد



تأثیر شکل دهانه آبگیر بر مقدار ضرایب انرژی و اندازه حرکت و ابعاد جداولگی جریان

مهدی کرمی مقدم^{*1} - تورج سبزواری² - مهدی نورزاده حداد³

تاریخ دریافت: 1395/02/11

تاریخ پذیرش: 1396/05/07

چکیده

هنگامی که جریان در یک کانال اصلی یا رودخانه به نزدیکی آبگیر می‌رسد، خطوط جریان به سمت آبگیر منحرف می‌شوند. در این حالت یک ناحیه جداولگی جریان در آبگیر ایجاد می‌شود که به علت کاهش عرض جریان انحرافی باعث کاهش دبی و راندمان آبگیری می‌گردد. در این تحقیق برای تعیین شعاع بهینه ورودی آبگیر، آزمایشاتی بر روی آبگیر جانبی منشعب از کانال مستطیلی با ورودی گرد شده با سه نسبت شعاع r/W_b برابر 0/4، 0/6 و 0/8 (r شعاع دهانه ورودی و W_b عرض آبگیر) انجام و ابعاد منطقه جداولگی و همچنین ضرایب انرژی و اندازه حرکت در دهانه آبگیر محاسبه گردید. این آزمایشات در شرایط جریان انتها بسته و انتها باز در نسبت دبی انحرافی 0/2، 0/4، 0/6 و 0/8 انجام شد. با رسم خطوط جریان توسط نرم‌افزار Tecplot برای شرایط مختلف، مقدار طول و عرض جداولگی تعیین و در نهایت اندازه جداولگی برای نسبت شعاع 0/8 کمتر از شعاع دیگر بدست آمد. بنابراین نسبت r/W_b برابر 0/8 با کمترین مقدار جداولگی به عنوان نسبت شعاع بهینه انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: راندمان، شعاع بهینه، شعاع دهانه ورودی، کانال مستطیلی

مقدمه

مذکور شامل نوع کانال (مستقیم یا قوس‌دار)، محل قرارگیری آبگیر، زاویه آبگیر (3)، نسبت دبی انحرافی (3 و 12)، شرایط هیدرولیکی جریان در کانال اصلی (1)، نوع دانه‌بندی بار رسوب، عمق جریان (12)، شکل مقطع آبگیر و استفاده از آستانه و صفحات مستغرق (13) بوده است. کشاورزی و حبیبی (9) آزمایشاتی را روی آبگیر با زاویه های 45، 56، 67، 79 و 90 درجه در شرایط انتها بسته و در نسبت دبی‌های مختلف انجام دادند و زاویه بهینه آبگیری را در شرایط کمترین جداولگی و رسوب‌گذاری و بیشترین آبگیری، 55 درجه بدست آوردند. همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه آبگیری جداولگی از دهانه پایین‌دست به دهانه بالادست منتقل می‌شود. اسماعیلی‌ورکی و همکاران (4) به بررسی آزمایشگاهی ساختار الگوی جریان انحرافی به دهانه آبگیر جانبی با زاویه 90 درجه و مقدار رسوب ورودی به آن در بندهای انحرافی پرداختند. جلیلی و همکاران (5) با استفاده از ابعاد و شکل جداولگی جریان در دهانه بالادست آبگیر، به بررسی تأثیر دهانه آبگیر بر مقدار و الگوی رسوب‌گذاری در کانال پرداختند. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که ایجاد قوس بهینه در دیواره کانال آبگیر منجر به کاهش مقدار رسوب ورودی در سه نسبت 0/2، 0/4 و 0/6 به ترتیب به میزان 58، 50 و 33 درصد می‌شود. همچنین جلیلی و همکاران (6 و 7) با استفاده از مدل عددی SSIM2 میزان جداولگی جریان را در آبگیر با شکل دهانه مختلف

مطالعه جریان انحرافی در کانال‌های روباز از مدت‌ها قبل مورد توجه مهندسين هیدرولیک بوده است. جریان انحرافی از کانال اصلی یا رودخانه جهت آبیاری یا نیروگاه‌های برق آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که جریان به دهانه آبگیر می‌رسد، خطوط جریان به سمت آبگیر منحرف شده و در اثر تغییر مومنتم یک ناحیه جداولگی در مجاورت دیواره آبگیر ایجاد می‌شود. در این ناحیه سرعت جریان پایین و بصورت چرخشی می‌باشد. بنابراین این ناحیه ضمن اینکه مقداری از عرض جریان ورودی را کاهش می‌دهد نقشی در میزان انحراف جریان نداشته و باعث کاهش راندمان آبگیری می‌شود. لذا تعیین ابعاد جداولگی جریان و راهکاری برای کاهش آن اهمیت دارد. جریان در آبگیر سه‌بعدی و پیچیده است (11). تاکنون در تحقیقات گذشته پارامترهای مختلفی در آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است، از جمله ابعاد جداولگی جریان، قدرت جریان ثانویه، عرض جریان انحرافی (8). متغیرهای در نظر گرفته شده برای بررسی پارامترهای

1 و 3- استادیاران گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: m_karami_mo@yahoo.com)

2- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان،

فارس

آبگیر قائم 90 درجه باشد. شکل 2 ورودی آبگیر 55 درجه با گردشگری 20 سانتی متر را نشان می‌دهد. جهت ایجاد قوس در دیواره آبگیر، در ابتدا قوس با شعاع مشخص توسط اتوکد رسم و قوس مماس بر کانال اصلی و کانال انحراف مشخص شد. سپس این قوس با ابعاد واقعی بر روی کانال تیز گوشه توسط رنگ مشخص و با دستگاه تراش سنگ قوس مورد نظر ایجاد شد. طول قوس بر روی دیواره بالادست آبگیر 55 درجه برای سه شعاع 10، 15 و 20 سانتی متر به ترتیب 9/77، 14/66 و 19/55 سانتی متر و بر روی دیواره پایین دست به ترتیب برابر 6/29، 9/5 و 11/98 سانتی متر می‌باشد.

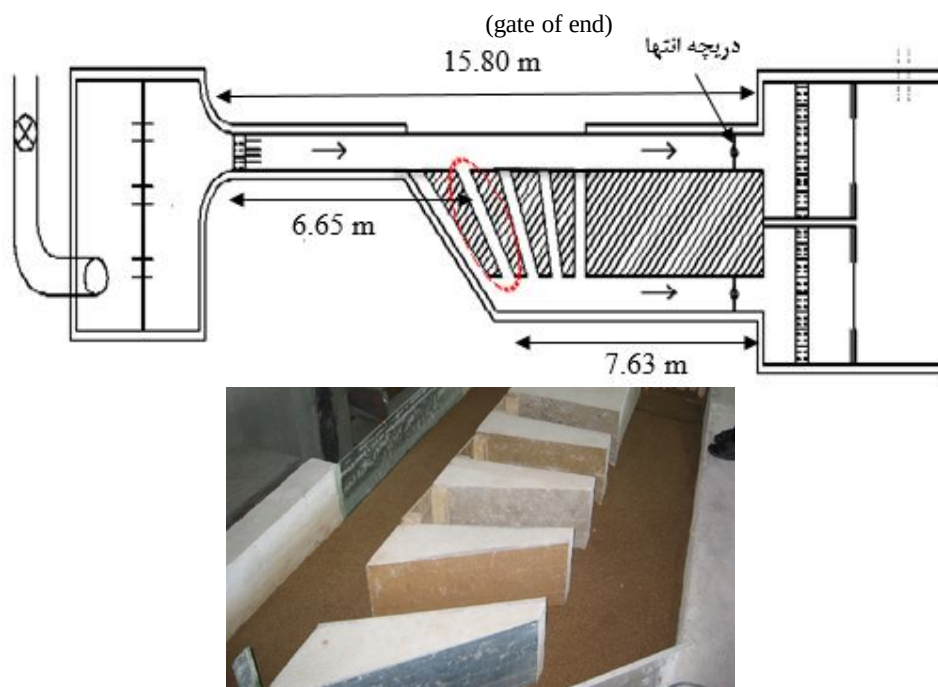
آزمایشات در دو حالت انتها بسته و انتها باز با نسبت دبی انحرافی مختلف انجام شد. در حالت انتها بسته هیچ جریانی از انتهای کانال اصلی خارج نمی‌شود و تمام جریان وارد آبگیر می‌شود مانند آبگیر در مجاور بند انحرافی. در حالت انتها باز، قسمتی از جریان وارد آبگیر و قسمتی دیگر از انتهای کانال اصلی خارج می‌شود. برای تنظیم دبی مورد نیاز از شیرری که بر روی لوله انتقال آب وجود دارد استفاده شد. سپس با استفاده از دریچه‌های انتهای کانال اصلی و فرعی میزان دبی و عمق آب در دو کانال تنظیم شد. لازم به ذکر است این دبی و عمق باید تا پایان انجام آزمایش هر مرحله ثابت باقی بماند. عمق جریان 16 سانتی متر و برای حالت انتها بسته دبی عبوری از کانال 14 لیتر بر ثانیه و در شرایط جریان با انتهای باز، محدوده دبی 17 تا 33 لیتر بر ثانیه و آزمایش‌ها در نسبت دبی‌های انحرافی (نسبت دبی آبگیر به دبی ورودی به کانال اصلی) 0/6، 0/4/2 و 0/8 مورد بررسی قرار گرفت. در هر مرحله بعد از نصب دستگاه سرعت‌سنج دوبعدی الکترومگنتیک (مدل PE-30 و نوع Ellipsoid) و تنظیم آن، سرعت‌ها در یک دوره زمانی 40 ثانیه‌ای با فرکانس نمونه‌برداری 10 نمونه در ثانیه و به عبارتی 400 نمونه برای هر نقطه از جریان ثبت گردید.

در حین انجام آزمایش در طول روز چندین بار در فاصله‌های زمانی میزان دبی و عمق آب چک شد تا تغییرات چشم‌گیری در دبی و عمق ایجاد نشده باشد. با داشتن این مقادیر، میانگین دبی و عمق موجود در طول یک آزمایش برای انجام محاسبات استفاده شد. اندازه‌گیری سرعت در کل عرض کانال انشعاب و تا فاصله 62 سانتی متری از ابتدای ورودی کانال فرعی و در سه لایه 3، 6 و 12 سانتی متری از کف برای هر شعاع انجام شد. پس از اندازه‌گیری سرعت و تعیین مقدار متوسط سرعت در هر مقطع، مقادیر ضرایب انرژی و اندازه حرکت (α و β) برای شعاع مختلف در آبگیر 55 درجه محاسبه شد. در هر شعاعی که این ضرایب به عدد یک نزدیک‌تر باشند، آن شعاع از نظر یکنواختی سرعت و تجمع رسوب در دهانه ورودی وضعیت بهتری خواهد داشت. روابطی که برای به‌دست آوردن این ضرایب استفاده شد در زیر آمده است:

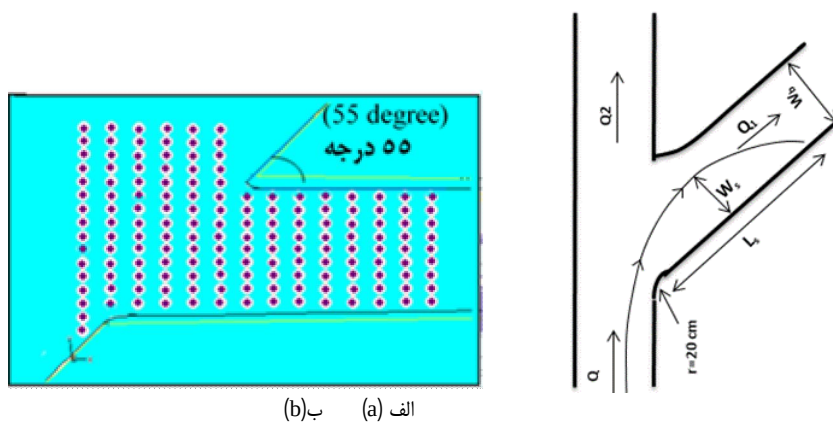
مورد مقایسه قرار داده و نتایج را با آزمایش‌های رسوب مدل فیزیکی مقایسه کردند که حاکی از یکسان بودن نتایج داشت. ابوالقاسمی و همکاران (2) مطالعاتی را در زمینه تأثیر نسبت انحراف جریان بر نسبت رسوب ورودی در آبگیر 52 درجه که در راستای جریان ورودی به قوس قرار گرفته بود انجام دادند. نتایج مطالعه در پیچانرود سینوسی نشان داد که در نسبت‌های کم انحراف جریان به آبگیر، تغییر قدرت جریان ثانویه ناچیز بوده و این جریان همچنان باعث دور ساختن بار بستر از قوس خارجی می‌شود. منتصری و آسیائی (10) قابلیت نرم‌افزار عددی SSIM2 را در شبیه‌سازی الگوی جریان در اطراف دهانه آبگیر در یک کانال U شکل که آبگیر جانبی در موقعیت 115 درجه از ابتدای قوس و با زاویه انحراف 45 درجه در دیواره خارجی قوس نصب شده بود را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد، نرم‌افزار عددی در شبیه‌سازی خطوط جریان، میدان سرعت و تشخیص الگوی جریان در دهانه آبگیر مقادیر قابل قبولی را پیش‌بینی می‌کند اما در بعضی نقاط مانند نزدیک دیواره به دلیل ضعف مدل k-E و نواحی نزدیک بستر نتایج عددی و آزمایشگاهی مطابقت ندارد. در این تحقیق آزمایشات هیدرولیک بر روی آبگیر 55 درجه منشعب از کانال مستطیلی با دهانه ورودی گرد شده انجام و با اندازه‌گیری ابعاد جداسازی و ضرایب انرژی و اندازه حرکت شعاع بهینه تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز بر روی آبگیر 55 درجه منشعب از کانال مستطیلی انجام شد. جنس دیواره‌های هر دو کانال بتنی، عمق و عرض آنها برای کانال اصلی به ترتیب 0/4 و 0/5 متر و برای کانال آبگیر 0/4 و 0/25 متر بود. در ابتدای کانال اصلی از یک سید توری پر از قلوه‌سنگ برای آرام کردن جریان استفاده شد. شکل 1 جانمایی آبگیر 55 درجه را نشان می‌دهد. برای انجام آزمایش‌ها ابتدا باید لبه ورودی آبگیر با شعاع مشخص گرد شود. با توجه به مقدار جداسازی جریان در تحقیق کشاورزی و حبیبی (9) که بر روی آبگیرها با لبه ورودی تیزگوشه انجام شد، شعاع‌های 10، 15 و 20 سانتی متر برای ورودی آبگیر انتخاب شد. لبه‌های بالادست ورودی آبگیر طوری با شعاع معین گرد شد که قوس ایجاد شده از یک طرف بر راستای کانال فرعی و از طرف دیگر بر راستای کانال اصلی مماس باشد. همچنین با توجه به نتایج تحقیق مذکور در آبگیر 90 درجه تیزگوشه، جداسازی جریان بیشتر در دهانه بالادست آبگیر رخ داده و ابعاد جداسازی در دهانه پایین دست آبگیر ناچیز است، لذا در تحقیق حاضر دهانه پایین دست آبگیر طوری گرد شد که بر راستای کانال فرعی مماس و بر راستای کانال اصلی عمود باشد. به عبارتی دیگر ورودی پایین دست مانند



شکل 1- آبگیر 55 درجه در مدل آزمایشگاهی
Figure 1- A 55 degree intake in experimental model



شکل 2- الف) آبگیر 55 درجه با گردشگری لبه ورودی ب) نقاط اندازه‌گیری سرعت
Figure 2- a) The 55 degree intake with round entrance b) grid points for measuring velocity

مقطع مورد نظر، V_i اندازه سرعت در نقطه اندازه‌گیری شده و A_i المان مساحت در اطراف نقطه نام می‌باشند. همچنین با استفاده از سرعت‌های برداشت شده و نرم‌افزار *Tecplot*، خطوط جریان ترسیم و سپس ابعاد ناحیه جداسازی برای هر حالت محاسبه شد. با استفاده از تحلیل ابعادی، پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه شناسایی و نسبت‌های بدون بعد تعیین گردید. پارامترهای مؤثر

$$V = \frac{1}{A} \sum_i v_i A_i \quad [1]$$

$$\alpha = \frac{1}{AV^3} \sum_i v_i^3 A_i \quad [2]$$

$$\beta = \frac{1}{AV^2} \sum_i v_i^2 A_i \quad [3]$$

در روابط فوق A سطح مقطع جریان، V مقدار میانگین سرعت در

شده‌اند. با رسم خطوط جریان در تمام نسبت دبی‌ها و در سه لایه جریان این نتیجه‌گیری حاصل شد که از کف به سمت سطح جریان، ابعاد جداولگی جریان افزایش می‌یابد که علت آن زیاد بودن سرعت جریان در سطح و در نتیجه افزایش مومنت می‌باشد. همچنین هرچه نسبت دبی انحرافی کمتر باشد، ناحیه جداولگی جریان بزرگتر است بنابراین با افزایش نسبت دبی انحرافی از $Q_r=0/2$ به $Q_r=0/8$ ابعاد جداولگی جریان کاهش می‌یابد، لذا شکل 3-الف که جریان در نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/2$ را نشان می‌دهد، نسبت به شکل 3-ب که برای نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/4$ رسم شده دارای ابعاد جداولگی بزرگتر و در مقایسه با دیگر نسبت دبی‌ها حداکثر مقدار جداولگی جریان را دارد.

با رسم خطوط جریان می‌توان طول و عرض ناحیه جداولگی جریان را اندازه‌گیری کرد. شکل‌های 4 و 5 به ترتیب طول و عرض ناحیه جداولگی جریان را برای سه نسبت شعاع دهانه ورودی 0/8 و 0/6 و $\frac{r^*}{W_b} = 0/4$ و در دو حالت انتها بسته و انتها باز با نسبت دبی‌های مختلف را نشان می‌دهند. در هر نسبت شعاع دهانه ورودی، برای دیواره بالادست (u/s) و پایین‌دست (d/s) آبگیر، جداولگی در سه لایه اندازه‌گیری شد. همچنین مقادیر طول و عرض جداولگی جریان در حالت دهانه ورودی گردگوشه با نتایج تحقیق کشاورزی و حبیبی (9) که در حالت تیزگوشه (sharped edged) انجام شده، مقایسه گردیده است. در این شکل‌ها L_s مقدار طول جداولگی، W_s عرض جداولگی و r شعاع دهانه ورودی می‌باشند که توسط W_b عرض آبگیر بدون بعد شده‌اند. شکل 4-الف طول جداولگی جریان را در حالت جریان انتها بسته در حالت ورودی تیزگوشه و گردگوشه با شعاع مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است طول جداولگی جریان در مجاورت دیواره بالادست بزرگتر از جداولگی جریان در مجاورت دیواره پایین‌دست است. همچنین با گردگوشه کردن دهانه ورودی، طول جداولگی جریان کاهش می‌یابد و کمترین مقدار طول جداولگی در نسبت $\frac{r^*}{W_b} = 0/8$ اتفاق می‌افتد.

بر پدیده عبارتند از: شعاع دهانه ورودی (r)، عرض آبگیر (W_b)، طول جداولگی جریان (L_s)، عرض جداولگی جریان (W_s)، عمق جریان در بالادست کانال اصلی (Y_u)، دبی جریان در بالادست کانال اصلی (Q_u)، دبی جریان در آبگیر (Q_b)، شتاب ثقل (g)، ضریب تصحیح انرژی (α)، ضریب تصحیح اندازه حرکت (β)، زاویه آبگیری (θ)، شتاب ثقل (g).

$$F(r, W_b, L_s, W_s, Y_u, Q_u, Q_b, g, \alpha, \beta, \theta) = 0 \quad [4]$$

بر اساس روش باینکهام و حذف پارامترهای ثابت مانند زاویه آبگیری (این تحقیق فقط بر روی زاویه آبگیری 55 درجه می‌باشد)، پارامترهای بدون بعد به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$F\left(\frac{r}{W_b}, \frac{L_s}{W_b}, \frac{W_s}{W_b}, \frac{Q_b}{Q_u}, \frac{Q_u^2}{gY_u^5}, \alpha, \beta\right) = 0 \quad [5]$$

که عبارت $\frac{Q_u^2}{gY_u^5}$ مجذور عدد فرود و عبارت $\frac{Q_b}{Q_u}$ نسبت دبی انحرافی می‌باشند.

نتایج و بحث

همانطور که گفته شد در دهانه آبگیر به‌خاطر اختلاف حداقل و حداکثر سرعت در یک لایه، یک انتقال مومنت بین خطوط جریان اتفاق افتاده که منجر به تشکیل جریان‌های چرخشی در ناحیه جداولگی می‌شود. در این تحقیق آزمایشات در شرایط انتها بسته و انتها باز انجام شد. پس از اندازه‌گیری سرعت‌های دوبعدی در کانال اصلی و فرعی در شرایط انتها بسته و نسبت دبی‌های انحرافی 0/2، 0/4، 0/6 و 0/8، خطوط جریان با استفاده از نرم‌افزار Tecplot ترسیم شد. شکل 3 برای نمونه خطوط جریان را در نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/4$ و $Q_r=0/2$ به ترتیب در شعاع ورودی (r) 10 و 20 سانتی‌متر و برای سه لایه (Z) 3، 6 و 12 سانتی‌متر از کف نشان می‌دهد. پارامترهای شعاع دهانه ورودی (r) و فاصله از کف (Z) به ترتیب توسط عرض کانال آبگیر (W_b) و عمق جریان بالادست (Y_u) بدون بعد

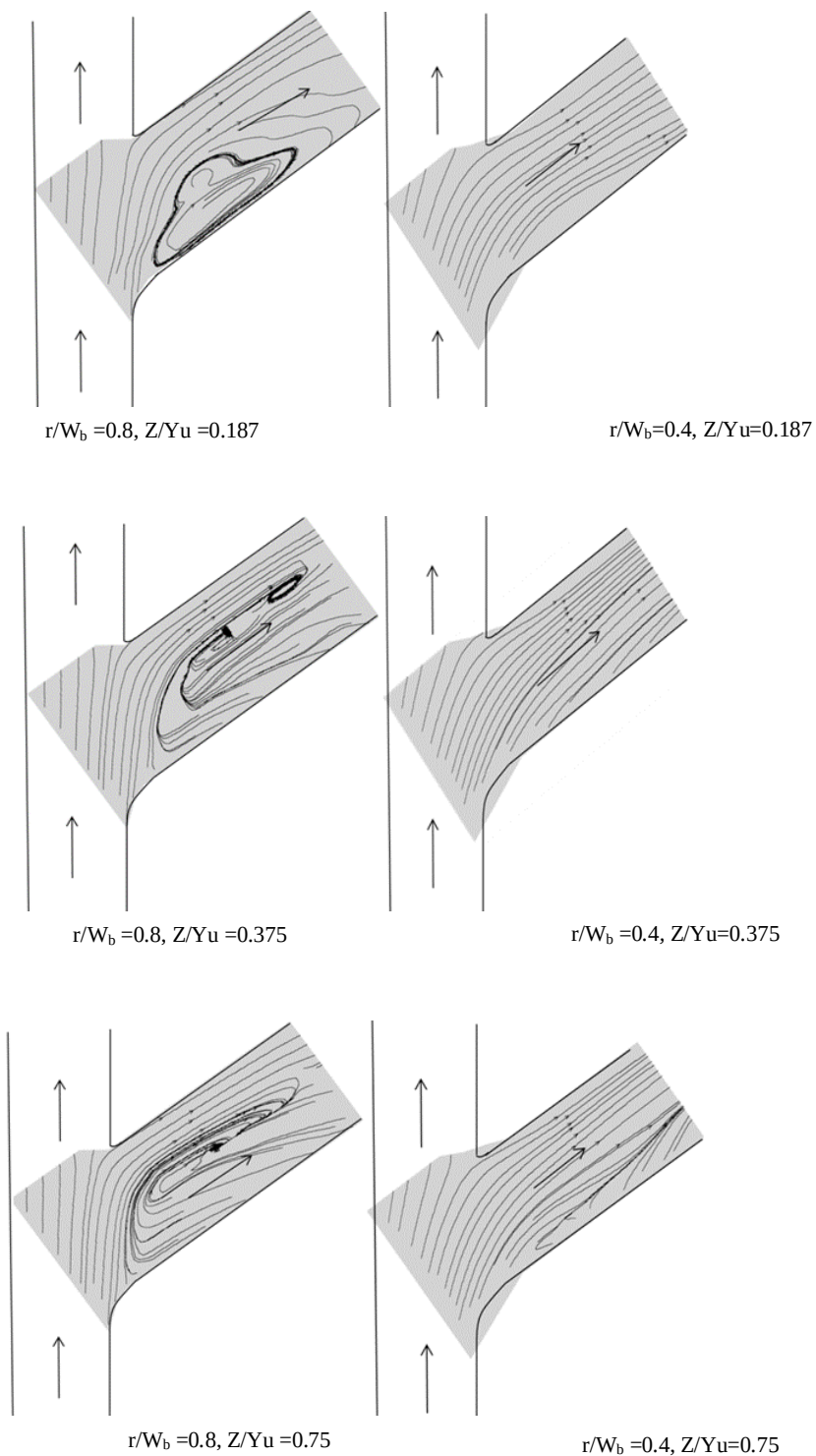
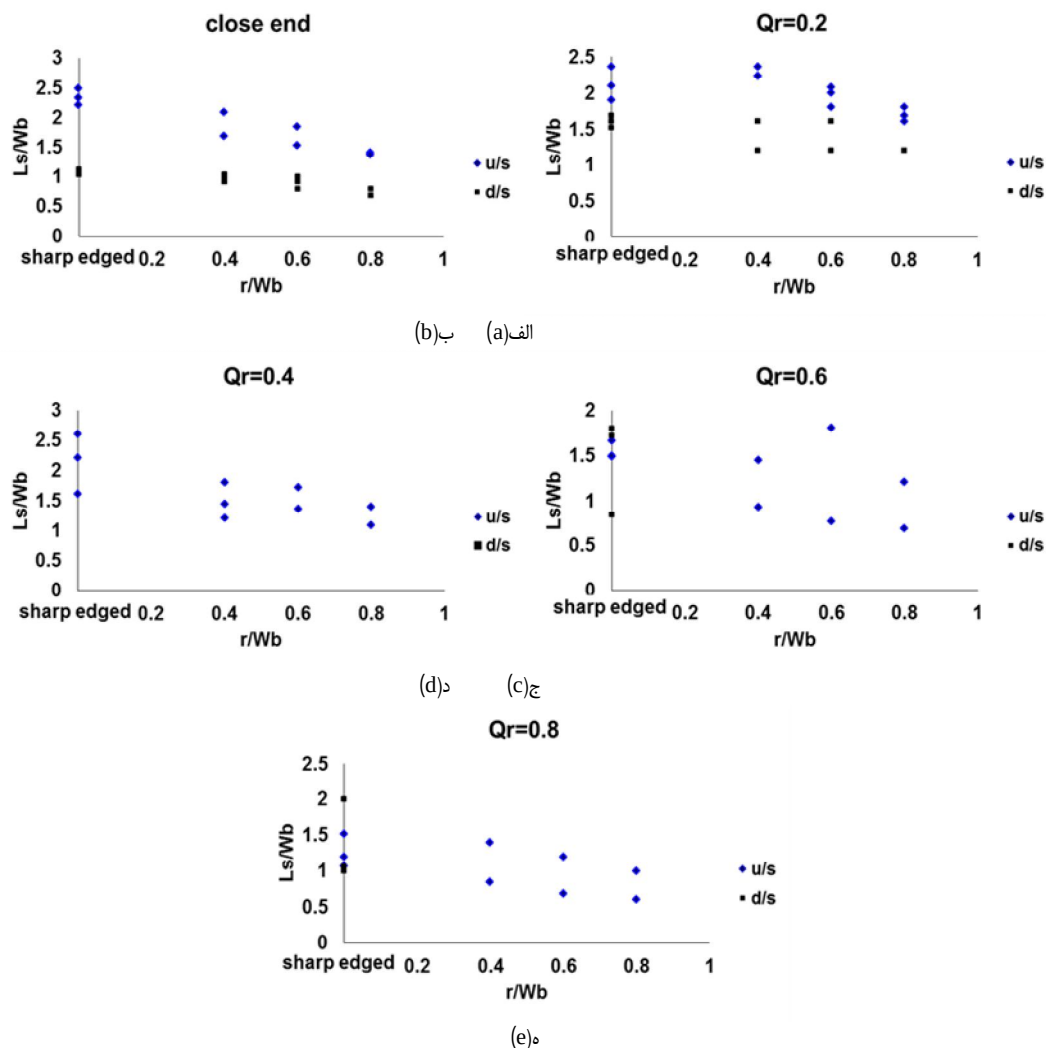


Figure 3- Streamlines for a) $\frac{r}{W_b} = 0.4$ and $Q_r = 0.2$ b) $\frac{r}{W_b} = 0.8$ and $Q_r = 0.4$



شکل 4- طول جدانشدگی جریان در بالادست و پایین دست آبگیر 55 درجه در حالت انتها بسته برای نسبت‌های مختلف دبی انحراف
Figure 4- The length of flow separation at upstream and downstream of 55 degree intake in close end condition for different diversion flow ratio

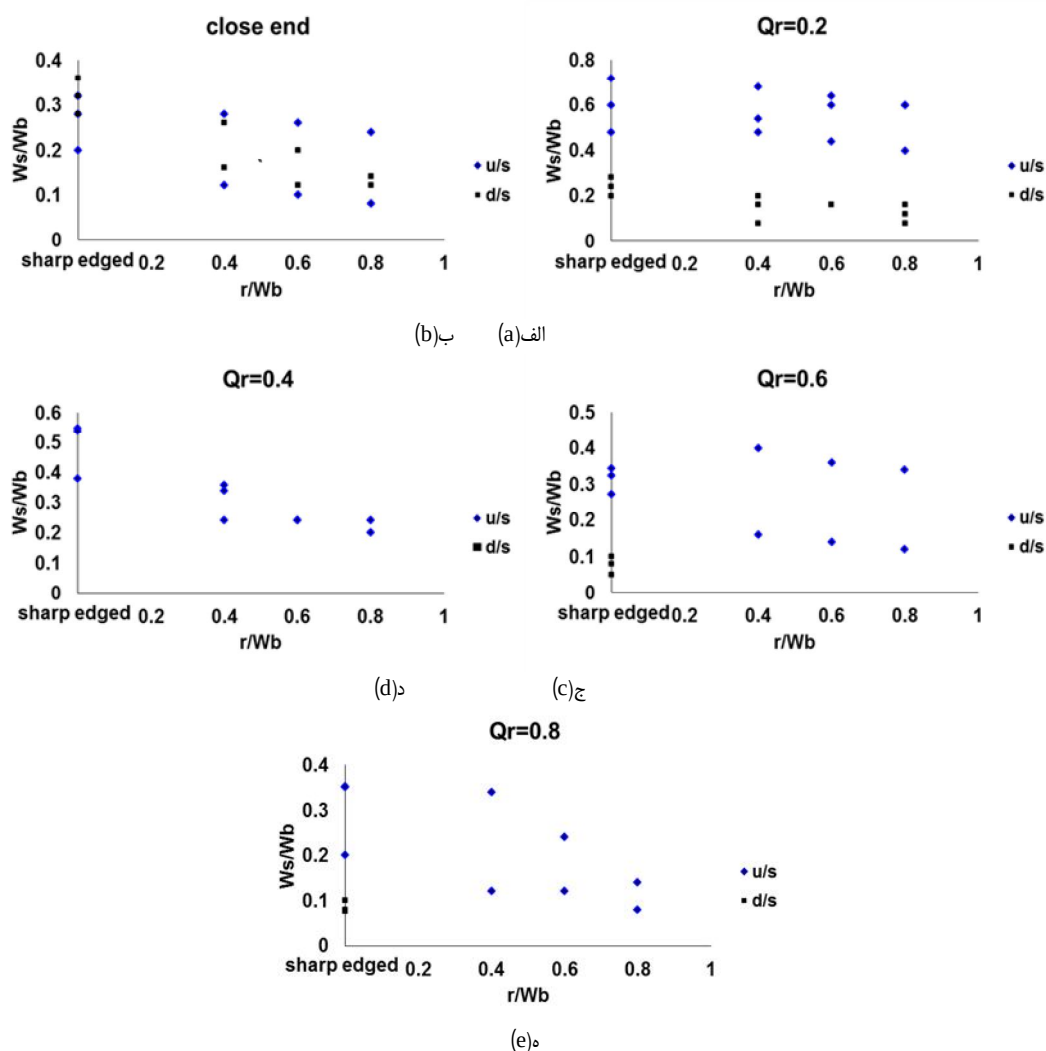
انحرافی $Q_r=0/6$ و $Q_r=0/8$ (شکل‌های 4-د و 4-ه) در حالت ورودی تیزگوشه جدانشدگی جریان در دهانه بالادست و پایین‌دست آبگیر وجود داشته ولی با گردگوشه کردن لبه ورودی آبگیر، جدانشدگی جریان در دهانه پایین‌دست از بین رفته و طول جدانشدگی در دهانه بالادست نیز کاهش می‌یابد. کمترین مقدار طول جدانشدگی نیز در نسبت شعاع دهانه ورودی $\frac{r}{W_b} = 0.8$ می‌باشد.

شکل 5 عرض جدانشدگی جریان را در حالات مختلف نشان می‌دهد. عرض جدانشدگی جریان از این لحاظ از اهمیت بیشتری برخوردار است که باعث کاهش عرض مؤثر جریان انحرافی و کاهش راندمان آبگیری می‌شود. شکل 5-الف که مربوط به حالت جریان انتها بسته است نشان می‌دهد که با گردگوشه کردن دهانه ورودی آبگیر،

علت اینکه در حالت انتها بسته در مجاورت دیواره پایین‌دست آبگیر جدانشدگی جریان اتفاق می‌افتد این است که در این حالت، جریان پس از برخورد به انتهای کانال اصلی برگشت خورده و وارد آبگیر می‌شود. به عبارت دیگر در این حالت، جریان از دو طرف وارد آبگیر می‌شود. در شکل 4-ب مربوط به نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/2$ ، در هر دو حالت ورودی تیزگوشه و گردگوشه جدانشدگی جریان وجود داشته و با گردگوشه کردن دهانه ورودی مقدار آن کاهش یافته است. در شکل 4-ج که طول جدانشدگی جریان را در نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/4$ نشان می‌دهد، در حالت دهانه ورودی تیزگوشه در پایین دست آبگیر هیچگونه جدایی جریان وجود ندارد و طول جدانشدگی جریان در دهانه بالادست آبگیر نیز کاهش می‌یابد. در نسبت‌های دبی

ثابت می‌شود.

عرض جداشدگی جریان کاهش می‌یابد و ضمن اینکه با افزایش شعاع ورودی مقدار آن کاهش می‌یابد، در نسبت $\frac{r^*}{W_b} = 0.8$ تقریباً مقداری



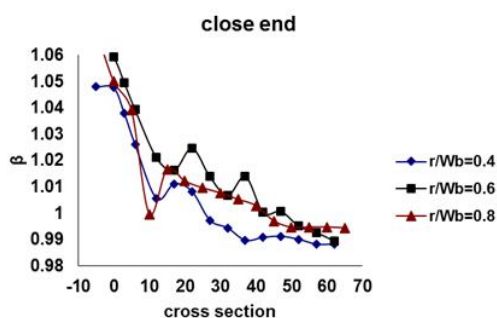
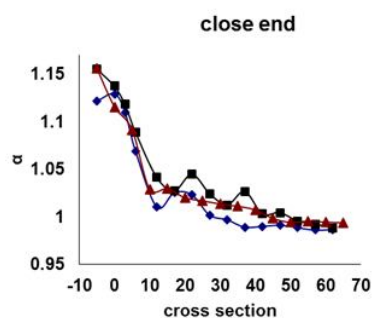
شکل 5- عرض جداشدگی جریان در بالادست و پایین دست آبگیر 55 درجه در حالت انتها بسته برای نسبت‌های مختلف دبی انحراف

Figure 5- The width of flow separation at upstream and downstream of 55 degree intake in close end condition for different diversion flow ratio

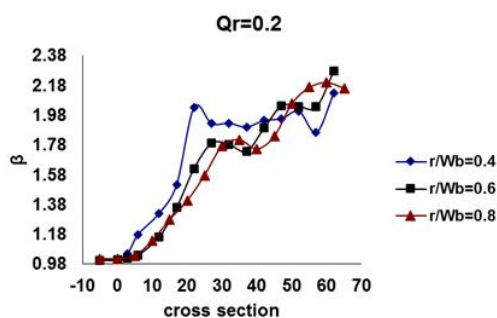
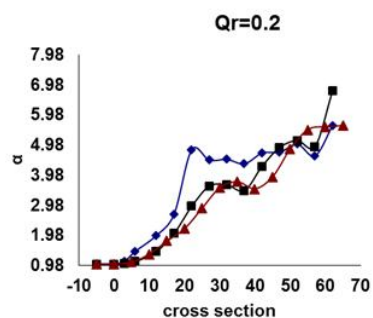
کردن دهانه ورودی آبگیر، ضمن اینکه جداشدگی در پایین‌دست از بین رفته باعث کاهش عرض جداشدگی جریان در بالادست شده و مقدار آن در نسبت شعاع ورودی $\frac{r^*}{W_b} = 0.8$ کمترین مقدار است.

همانطور که قبلاً گفته شد برای بررسی میزان یکنواختی سرعت در دهانه و در طول آبگیر می‌توان از ضرایب انرژی و اندازه حرکت استفاده کرد. هرچه این ضرایب به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر سرعت در آن مقطع است.

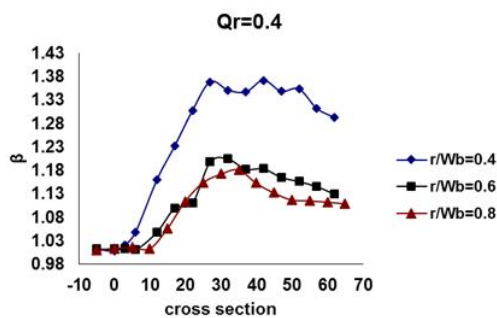
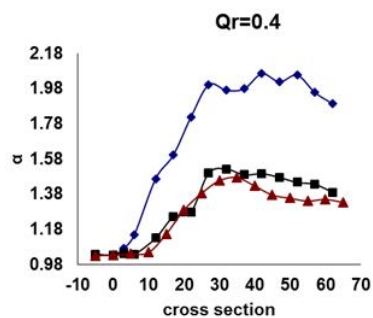
در حالت ورودی تیزگوشه، بیشترین ابعاد جداشدگی در نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/2$ رخ می‌دهد. با گردگوشه کردن لبه ورودی آبگیر، عرض جداشدگی در این نسبت دبی کاهش یافته است. در شکل 5-ج که مربوط به نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/4$ می‌باشد، در دو حالت تیزگوشه و گردگوشه جداشدگی جریان در پایین‌دست وجود نداشته و مقدار عرض جداشدگی با گردگوشه کردن دهانه ورودی کاهش می‌یابد. شکل‌های 5-د و 5-ه که به ترتیب مربوط به نسبت دبی انحرافی $Q_r=0/6$ و $Q_r=0/8$ می‌باشند نشان می‌دهند که با گردگوشه



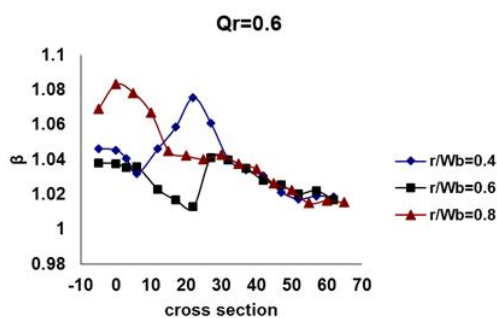
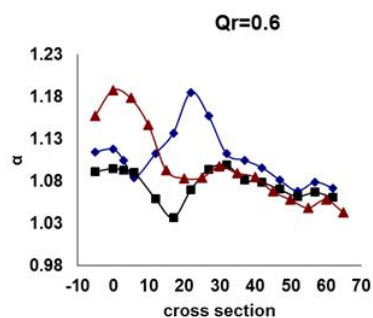
(الف) (ب)



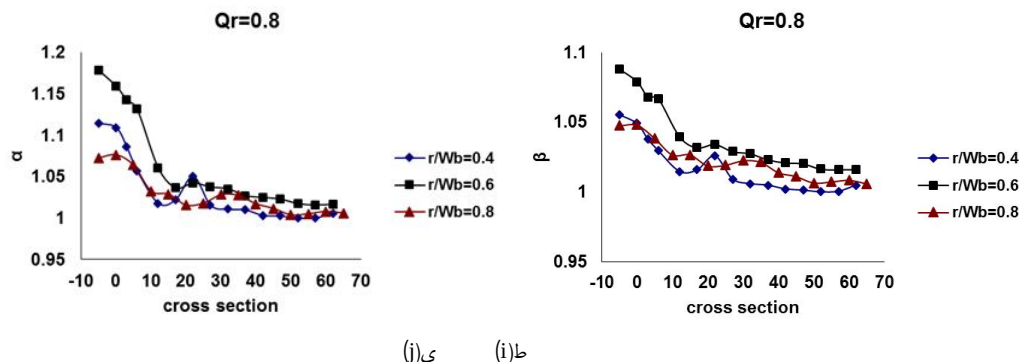
(د) (ج)



(ه) (ف)



(و) (ز)



شکل 6- ضرایب انرژی و اندازه حرکت در آبگیر 55 درجه با شعاع ورودی مختلف در الف، ب) شرایط انتها بسته،

ج، د) $Q_r=0/2$ ، ه، و) $Q_r=0/4$ ، ز، ح) $Q_r=0/6$ و ط، ی) $Q_r=0/8$

Figure 6- Alpha and Beta coefficients in 55 degree intake with different entrance radius in a, b) close end condition, c,d) $Q_r=0.2$ e,f) $Q_r=0.4$ g,h) $Q_r=0.6$ and i,j) $Q_r=0.8$

ابعاد جداشدگی جریان مطابقت دارد چراکه در نسبت دبی انحرافی کم مقدار ابعاد جداشدگی جریان نیز بیشتر است.

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق تاثیر گردشگری دهانه ورودی آبگیر 55 درجه بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی جریان و همچنین مقادیر ضرایب انرژی و اندازه حرکت مورد بررسی قرار گرفت. در سه شعاع دهانه ورودی و در شرایط مختلف جریان از جمله حالت انتها بسته و در نسبت های مختلف دبی انحرافی، سرعت های دوبعدی در آبگیر اندازه گیری و پس از آن خطوط جریان ترسیم گردید. با استفاده از خطوط جریان، طول و عرض ناحیه جداشدگی اندازه گیری و مقایسه شد. همچنین در تمامی حالات با استفاده از سرعت های برداشت شده ضرایب تصحیح انرژی و اندازه حرکت محاسبه گردید. در یک نتیجه گیری کلی برای نسبت شعاع $\frac{r}{W_b} = 0.8$ ابعاد جداشدگی جریان کمترین مقدار حاصل شد و در همین نسبت شعاع، ضرایب انرژی و اندازه حرکت به عدد یک نزدیک تر بود. این نتیجه گیری نشان می دهد برای کاهش ابعاد جداشدگی جریان می بایست یکنواختی سرعت بین دهانه بالادست و پایین دست آبگیر برقرار شود. با نتایج به دست آمده در این تحقیق نسبت شعاع ورودی $\frac{r}{W_b} = 0.8$ به عنوان نسبت شعاع بهینه دهانه آبگیر 55 درجه پیشنهاد می شود.

شکل 6 ضرایب انرژی و اندازه حرکت در سه نسبت شعاع دهانه ورودی آبگیر 55 درجه و در دو حالت انتها بسته و انتها باز و در مقاطع مختلف از ورودی آبگیر را نشان می دهد. همانطور که در حالت انتها بسته مشخص است این ضرایب تفاوت چندانی در نسبت های مختلف شعاع ورودی ندارند که شاید به علت آبگیری دوطرفه در این حالت باشد. در نسبت دبی $Q_r=0/2$ با پیشروی به پایین دست آبگیر، در هر سه نسبت شعاع، مقدار ضرایب افزایش می یابد ولی در نسبت شعاع ورودی $\frac{r}{W_b} = 0.8$ مقادیر آن کمی کمتر از دو نسبت شعاع دیگر است. در نسبت دبی $Q_r=0/4$ مقدار ضرایب برای نسبت شعاع ورودی $\frac{r}{W_b} = 0.4$ از عدد یک بسیار فاصله گرفته و در نسبت شعاع $\frac{r}{W_b} = 0.8$ نزدیک تر به عدد یک می باشد. در نسبت دبی $Q_r=0/6$ در دهانه ورودی روند خاصی وجود نداشته ولی ضریب انرژی در پایین دست آبگیر برای نسبت $\frac{r}{W_b} = 0.8$ نزدیک به یک و کمترین مقدار و برای نسبت $\frac{r}{W_b} = 0.4$ بیشترین مقدار است. در نسبت دبی 80 درصد ($Q_r=0/8$) اولاً با پیشروی به سمت پایین دست آبگیر مقدار ضرایب کاهش یافته و به عدد یک نزدیک تر می شود ثانیاً در این نسبت دبی این ضرایب مخصوصاً در دهانه ورودی آبگیر برای نسبت شعاع $\frac{r}{W_b} = 0.4$ بیشترین و برای نسبت $\frac{r}{W_b} = 0.8$ کمترین مقدار بوده و در این نسبت شعاع به عدد یک نزدیک تر است. همچنین با توجه به این اشکال مشخص است که مقادیر ضرایب انرژی و اندازه حرکت در نسبت های دبی انحرافی بالاتر به عدد یک نزدیک تر و در نسبت دبی انحرافی کم بسیار بزرگ شده است که با نتایج حاصل از

منابع

- 1- Abbasi A.A., and Maleknejad Yazdi M. 2014. The impact of sill and submerged vanes on sediment laden flow at lateral intake. The Iranian Society of Irrigation and Water. 4(16):104-116. (in Persian with English abstract)
- 2- Abolghasemi M., Ghodsian M., and Sangin Abadi H. 2013. The effects of flow diversion on sediments entering

- the intake in 52 deg. diversion angle in sinus river. Journal of hydraulic, 6(1): 41-52. (in Persian)
- 3- Best J.L., and Reid I. 1984. Separation zone open-channel junctions. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 110(11): 1588-1594.
- 4- Esmaeili Varaki M., Farhoudi J., and Walker D. 2009. Investigation of flow at a right-angle lateral intake. ICE, Journal of Water Managemet, 162 (6):379-388.
- 5- Jalili H.R., Hoseinzade Dalir A., and Farsadizadeh D. 2011. Effect of intake geometry on the sediment transport and flow pattern at lateral intake. Iranian Water Research Journal. 5(9): 1-10. (in Persian)
- 6- Jalili H.R., Hoseinzade Dalir A., and Farsadizadeh D. 2012. Effect of mouth shape on the flow pattern and sedimentation in the vertical lateral diversion. Journal of Water and Soil, 25(6):1321-1331. (in Persian with English abstract)
- 7- Jalili H.R., Hoseinzade Dalir A., and Farsadizadeh D. 2013. Investigating effect of inlet shape on the flow pattern and vortex generation around inlet of intake using numerical model. Journal of Water and Soil Science. 24(1):29-40. (in Persian with English abstract)
- 8- Karami Moghadam M., Shafai Bajestan M., and Sedghi H. 2013. Experimental investigation of sediment entry to an intake installed at a main channel with inclined bank. Iran-Water Resources Research, 8 (3):54-65. (in Persian with English abstract)
- 9- Keshavarzi A., and Habibi L. 2005. Optimizing water intake angle by flow separation analysis. Journal of Irrigation and Drainage. 54(4): 543-552.
- 10- Montaseri H., and Asiaei H. 2014. Validating of *SSIIM 3D* model for flow field simulation in a U shape channel bend with intake. Journal of Water and Soil Conservation, 21(4):29-53. (in Persian with English abstract)
- 11- Neary V.S., and Odgaard A.J. 1993. Three dimensional flow structure at open channel diversions. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(11): 1223-1230.
- 12- Ramamurthy A.S., Junying Q., and Diep V. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 133(10): 1135-1144.
- 13- Shamsodini-nejad A. 2001. Investigating effect of secondary currents on the sedimentation at lateral intake and sediment control with physics model. M.S Thesies, College of Agriculture, Shiraz University. (in Persian with English abstract)



Effect of Mouth Shape on the Energy and Momentum Coefficients and Flow Separation Dimensions

M. Karami Moghadam^{1*} - T. Sabzevari² - M. Nourzadeh Hadad³

Received: 30-04-2016

Accepted: 29-07-2017

Introduction: The study of flow diversion in open channels which has been, since long, under consideration by hydraulic engineers, is much used to divert flow from a main channel or from a river into an irrigation or hydropower channel. When a water intake with an angle is installed at one side of the channel, the streamlines of the flow deflect towards the intake. As a result, a separation zone is produced in the lateral channel. The separation zone develops in the lateral channel and reduces the discharge capacity and efficiency of water intake by delimiting the channel width available for the flow. Therefore, determination of water intake geometry and flow conditions to produce minimum separation zone is very important and they are the focus of this study. The majority of previous studies was conducted on sharp edged water intake entrances. Therefore, in this study, to find the optimum radius for a round edged entrance water intake, a comprehensive experimental program was carried out in a laboratory flume and the separation zone dimensions and Alpha and Beta coefficients were measured.

Materials and Methods: The experimental model was built in hydraulics laboratory. The water intake was installed at 55 degrees to the main channel. The main channel consisted of a rectangular cross-section with a base width of 0.5 m, height of 0.4 m and a length of 15.80 m. The lateral diversion channel was 0.25 m wide, 0.40 m high. According to previous experiments that performed by Keshavarzi and Habibi (2005), radii of 10, 15 and 20 cm were selected for the edges of the intakes, upstream of the 55 degree water intake. The velocities of the flow in transverse and flow directions were measured using an electromagnetic velocity meter at three distances $Z = 3$ cm, 6 cm and 12 cm, in which Z is the distance from the bed. Then the size of the separation zone, Alpha and Beta coefficients were determined.

Results and Discussion: To find a relationship between the radius of the round edge entrance in the 55 degree water intake and the size of separation, the geometry of the separation zone must be determined. To find the geometry and pattern of separation zone for different flow conditions, the particle traces technique was employed using Tec plot Software version 8.0. In open end flow condition, for discharge ratios of 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8, and for the radii of 10, 15 and 20 cm, flow separation occurs at 3 cm and 12 cm distance and only upstream of the intake inlet. The separation size in $r=20$ cm is less than for other radii. Also, the separation size for $Q_r = 0.8$ is minimized and for $Q_r = 0.2$ is the maximum and for $r/W_b=0.8$, the length and width of separation are minimum. In close end flow condition and for radii of 10, 15 and 20 cm, the size of separation zone at upstream of water intake is much larger than that in downstream. Comparing with the separation length downstream of the intake it can be concluded that with increasing the inlet radius, the separation length upstream of the intake inlet decreases. Therefore, in close end conditions, rounding of the intake inlet is effective to decrease separation length at upstream side of water intake. Also, in close end conditions, flow separation occurs at downstream side of water intake. Furthermore, the separation size for $r=20$ cm is less than for other radii, therefore, $r/W_b=0.8$ is the optimum radius ratio with a minimum separation size at the 55 degree water intake.

Conclusions: When a water intake with an angle is installed at one side of the channel, the streamlines of the flow deflect towards the intake. As a result, a separation zone is produced in the lateral channel. The separation zone development in the lateral channel and reduces the discharge capacity and efficiency of water intake by delimiting the channel width available for the flow. In this study, to find the optimum round inlet radius, the experimental tests were carried out at a water intake installed in a rectangular channel with rounded edge with 10, 15 and 20 cm inlet radius. Then separation zone dimensions and alpha and beta coefficients determined. These experiments were carried out in close end and open end flow conditions for diversion flow ratio 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8. Using particle trace plot for different flow pattern, the values of length and width of flow separation upstream and downstream of the intake were determined. The result showed that the separation size for $Q_r = 0.8$

1 and 3- Assistant Professors, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Iran

(*- Corresponding Author Email: m_karami_mo@yahoo.com)

2- Associate Professor of Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

is minimized, whereas it is maximum for $Qr = 0.2$. Furthermore, the separation size for $r = 20$ cm is less than for other radius, therefore, $r/W_b = 0.8$ with a minimum separation size was selected as the optimum radius ratio.

Keywords: Efficiency, Optimum radius, Radius of entrance, Rectangular channel

ترکیب مدل فائو و شاخص های گیاهی در برآورد ضریب گیاهی با استفاده از تحلیل مؤلفه های اصلی

لاله پرویز^{*1}

تاریخ دریافت: 1396/02/18

تاریخ پذیرش: 1396/06/26

چکیده

تقاضای روزافزون به آب و تغییرات اقلیمی منجر به ایجاد فشار جهت استفاده کارآمد آب در بخش کشاورزی شده است. بنابراین آگاهی از نیاز آبی گیاه جهت افزایش بازده آبیاری لازم می باشد. در این راستا یازده شاخص گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS در بازه زمانی 2013-2016 برای محصول سیب زمینی در محدوده بین شهرستان های بستان آباد و تبریز استخراج شدند. جهت انتخاب شاخص های گیاهی مؤثر از تحلیل مؤلفه های اصلی استفاده شد که برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی برای مدلسازی مؤلفه های حاصل از تحلیل و ضریب گیاهی بکار برده شد. از بین مؤلفه های مورد بررسی، سه مؤلفه اول با در اختیار داشتن 85/45 درصد واریانس کل انتخاب شدند. در سه بررسی انجام شده در مورد نوع مؤلفه های روش تحلیل مؤلفه های اصلی، به طور متوسط بررسی اول نسبت به بررسی دوم و سوم منجر به کاهش 55/75 درصد RMSE شد. شاخص های حاصل از باندهای انعکاسی مانند شاخص NDVI و شاخص های بهبود یافته براساس منطقه مورد مطالعه مانند شاخص های SAVI و MSAVI از کارایی قابل قبولی برخوردار بودند. کاهش 66/66 درصد ضریب LST از مؤلفه سوم به اول حاکی از افزایش دقت نتایج شاخص های باندهای حرارتی در صورت ترکیب با شاخص های باندهای انعکاسی مانند شاخص TVX بود. برآورد ضریب گیاهی با شاخص های گیاهی حاصل از تحلیل مؤلفه های اصلی در مدلسازی شبکه عصبی دارای تخمین کم برآوردی حدود یک درصد در دوره صحت سنجی بوده است.

واژه های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، مؤلفه ها، نیاز آبی، SAVI

مقدمه

گیاه براساس ضریب گیاهی یکی از روش های مرسوم در مدیریت آب آبیاری است (9). تبخیر - تعرق گیاه نمایانگر نیاز آبی است که تابعی از شرایط آب و هوایی و گیاهی است. بسیاری از مدل های نیاز آبی مرسوم دارای توزیع مکانی نمی باشند و تنها از داده های نقطه ای تبخیر - تعرق گیاه مرجع و ضریب گیاهی استفاده می کنند. ضریب گیاهی یک پارامتر مهم در برنامه ریزی آبیاری و تخصیص آب است. ضریب گیاهی پیشنهادی می تواند به صورت یک راهنمای کاربردی در برنامه ریزی آبیاری مد نظر قرار گیرد ولی خطای قابل توجهی در برآورد نیاز آبی به علت ماهیت تجربی رخ می دهد. بنابراین اصلاحات در مقادیر ضرایب گیاهی در هر شرایط محلی ضروری می باشد (7). استفاده از تصاویر ماهواره ای به علت پوشش وسیع، مشکلات توزیع مکانی ضریب گیاهی را به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می دهند. غلامی و همکاران (6) به برآورد ضریب گیاهی و تبخیر - تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور در حوضه گرگانود پرداختند. در این تحقیق از سری زمانی 16 روزه شاخص $2NDVI$ تصاویر

در مناطق خشک و نیمه خشک قابلیت دسترسی آب یک محدودیت مهم برای تولید محصول است. در سال های اخیر به علت اثرات توام خشکسالی و افزایش سطوح آبیاری، ذخیره آب کاهش یافته است. کاهش آب سدها و سطح آب زیرزمینی منجر به تهدید بخش کشاورزی شده است که نیاز به اجرای مدیریت پایدار آب می باشد. درک بهتر بیلان آبی برای بررسی روش های صرفه جویی آب ضروری است. یکی از مفاهیم مهم مرتبط با بیلان آبی در مناطق نیمه خشک تبخیر - تعرق گیاه می باشد که فاکتور مهمی در تعیین برنامه ریزی مناسب آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب است. تخمین دقیق تبخیر - تعرق به عنوان بخش مهمی در برنامه ریزی و طراحی سیستم های آبیاری می باشد و تعیین توزیع مکانی برای دستیابی به کشاورزی پایدار ضروری است (5). برآورد تبخیر - تعرق

1- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

(Email: laleh_parviz@yahoo.com)

(*) - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.63990

2- Normalized Difference Vegetation Index

Kamble و همکاران (9) به تخمین ضریب گیاهی با استفاده از شاخص گیاهی NDVI حاصل از تصاویر سنجنده MODIS در مکانی‌هایی با شرایط اقلیمی متفاوت در آمریکا پرداختند. داده‌های مورد بررسی مربوط روزهایی از ماه‌های می تا آگوست و نوع محصولات شامل ذرت، سویا بود. یک مدل ساده رگرسیون خطی برای تعیین ارتباط بین شاخص NDVI و ضریب گیاهی توسعه داده شد. همبستگی قوی بین ضریب گیاهی حاصل از شاخص NDVI و ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده با RMSE برابر با 0/16 و 0/19 برای سال‌های 2006 و 2007 از نتایج تحقیق بود. بنابراین کمی‌سازی ضریب گیاهی با استفاده از شاخص NDVI می‌تواند در تعیین مصرف آب آبیاری منطقه‌ای مفید واقع شود. Adamala و همکاران (1) به برآورد تبخیر- تعرق گندم با استفاده از شاخص NDVI حاصل از تصاویر Landsat در هند پرداختند. در این تحقیق به‌طور مستقیم از شاخص NDVI استفاده نشد بلکه شاخص گیاهی براساس توان دوم شاخص شرایط پوشش گیاهی محاسبه شد. دامنه ضریب گیاهی محاسبه شده بین 0/56 تا 0/97 بود. استفاده از شاخص NDVI در محاسبه ضریب گیاهی در برخی از تحقیقات نیز مشاهده شده است از جمله El-Shirbeny و همکاران (4) استفاده از شاخص NDVI حاصل از Landsat8 در مصر در برآورد ضریب گیاهی گندم، Pimpale و همکاران (12) استفاده از شاخص NDVI حاصل از سنجنده IRS-P6 AWiFS در برآورد ضریب گیاهی نخود، سورگوم و گندم در هند. با توجه به تحقیقات مذکور علاوه بر استفاده از رابطه رگرسیون ساده بین شاخص‌های تصاویر ماهواره‌ای و ضریب گیاهی، در این تحقیق از تحلیل مؤلفه‌های اصلی⁴ استفاده شد. شیخ الاسلامی و همکاران (13) به پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و توسعه مدل رگرسیونی خطی چندگانه (MLR-PCA) در ایستگاه مشهد پرداختند. بدین منظور تأثیر نسبی پارامترهای دما (کمینه، بیشینه، متوسط)، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد در ارتفاع دو متری بر تبخیر- تعرق مورد بررسی قرار گرفت. مؤلفه اول نسبت به دوم همبستگی بیشتری با تبخیر- تعرق داشت و دمای کمینه، دمای متوسط، دمای بیشینه و رطوبت نسبی از اهمیت بیشتری برخوردار بودند. مقادیر آماره‌های ارزیابی بین روش-های MLR و MLR-PCA حاکی از توانایی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی است.

با توجه به تحقیقات انجام گرفته در بیشتر تحقیقات شاخص NDVI به‌عنوان شاخص پایه در برآورد ضریب گیاهی استفاده شده است. در راستای کارایی بالای انواع شاخص‌های گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، ضرورت برآورد ضریب گیاهی با استفاده از سایر شاخص‌های گیاهی با ترکیب باندهای انعکاسی و حرارتی مشاهده

سنجنده MODIS¹ جهت محاسبه ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد سال 1382 استفاده شد. جهت تولید سری زمانی ضریب گیاهی گندم به تفکیک هر شهرستان یک رابطه رگرسیون خطی مابین مقادیر متوسط شاخص گیاهی NDVI و مقادیر ضریب گیاهی ایجاد شد. در شهرستان گرگان در اکثر مواقع دوره رشد، مقادیر ضریب گیاهی سنجش از دور کمتر از ضریب گیاهی گندم است. نتایج نشان می‌دهند که 85 تا 97 درصد تغییرات ضریب گیاهی گندم ناشی از تغییرات شاخص گیاهی NDVI می‌باشد. رستمی و رائینی (15) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و مدل سیال مقدار تبخیر- تعرق واقعی سبب تحت آبیاری قطره‌ای را در دشت اهر برآورد کردند و با مقادیر حاصل از معادله فائو- پنمن- مانتیث مقایسه کردند. در این تحقیق ضریب گیاهی سبب با تقسیم مقدار تبخیر- تعرق واقعی برآورد شده از مدل سیال در هر تصویر بر تبخیر- تعرق مرجع متناظر با آن بدست آمد و سپس هر ضریب برای هر دوره زمانی تصویر- 11 روز از فصل رشد 1393- در نظر گرفته شد. همچنین مقدار ضریب گیاهی پیشنهادی توسط فائو (14) نیز محاسبه شد. نتایج نشان دادند که جز برای دوره بیشینه مقدار ضریب گیاهی (نیمه‌های فصل رشد) که مقدار ضریب گیاهی حاصل از مدل سیال بیشتر از فائو است، مقدار پیشنهادی فائو برای ضریب گیاهی سبب همواره بالاتر از مقدار به دست آمده از مدل سیال می‌باشد. Er-Raki و همکاران (5) سه روش براساس ضریب گیاهی دو جزئی فائو- 56 را جهت تخمین تبخیر- تعرق واقعی برای گندم زمستانه در مراکش مورد مقایسه قرار دادند. تفاوت سه روش در محاسبه ضریب گیاهی پایه و کسر پوشش گیاهی خاک بودند. در روش اول از مدل فائو- 56 استفاده می‌شود در روش دوم از مقادیر محلی پارامترها براساس مشاهدات میدانی استفاده می‌کنند و در روش سوم از داده‌های سنجش از دور- شاخص NDVI- استفاده شده است. مشابهت الگوی فصلی شاخص NDVI و ضریب گیاهی پایه حاکی از پتانسیل مدل‌سازی شاخص NDVI در محاسبات ضریب گیاهی دوجزئی می‌باشد. Gonita و Tiwari (7) ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق گندم را در چهار ماه متوالی (دسامبر 2003 تا مارس 2004) با استفاده از سنجنده LISS III² در ایالتی در هند بدست آوردند. شاخص‌های NDVI و SAVI³، شاخص‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در قالب رابطه رگرسیون ساده با ضریب گیاهی پیشنهادی فائو بودند که در این حالت ضریب همبستگی شاخص NDVI برابر با 0/79 و شاخص SAVI برابر با 0/89 برآورد شدند. بنابراین به‌علت بالا بودن ضریب همبستگی حاصل از شاخص SAVI، در محاسبات تبخیر- تعرق از این شاخص استفاده شد.

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2- Linear Imaging Self scanning Sensor

3- Soil Adjustment Vegetation Index

4- Principle Component Analysis (PCA)

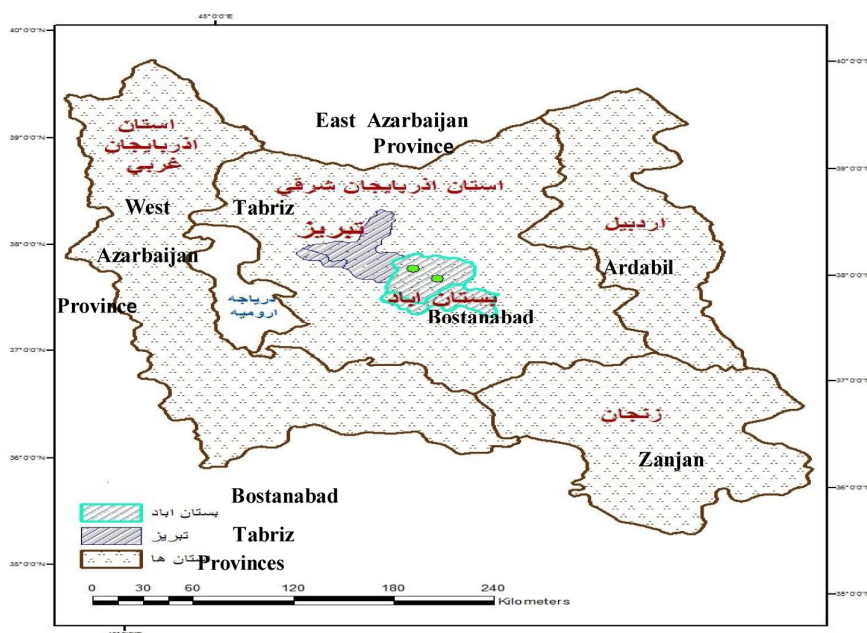
زمینی بوده که از اطلاعات دو نقطه که با GPS مشخص شده بودند، استفاده شد. اقلیم منطقه براساس شاخص باران مؤثر در طی دوره 1986-2016، نیمه خشک تعیین شد که این شاخص براساس مقادیر متوسط بارندگی و تبخیر ماهانه تعریف شده است. براساس اقلیم منطقه و با توجه به خشکسالی‌های اخیر برآورد تبخیر - تعرق یا نیاز آبی در منطقه برای برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و منابع آبی از دغدغه - های اصلی متولیان اصلی آب و کشاورزی می‌باشد. بنابراین آب به - عنوان مهمترین نهاده تولید محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا برآورد دقیق ضریب گیاهی به‌عنوان مؤلفه مهم تبخیر - تعرق دارای اهمیت است که متضمن دستیابی به پتانسیل عملکرد مطلوب، عدم پرت آب، افزایش پتانسیل تولید و در نهایت امنیت غذایی برای نسل حاضر و آینده خواهد بود.

می‌شود. هدف این تحقیق انتخاب شاخص مناسب حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد ضریب گیاهی محصول سیب‌زمینی است. از میان شاخص‌های گیاهی محاسبه شده تحقیق، جهت انتخاب شاخص گیاهی مؤثر از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد و شبکه عصبی مصنوعی برای مدلسازی بین مؤلفه‌های حاصل از تحلیل و ضریب گیاهی بکاربرده شد. مقایسه ضرایب گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای با ضرایب گیاهی حاصل از فائو - 56 انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زمین‌های کشاورزی اطراف شهرستان بستان‌آباد در محدوده بستان‌آباد - تبریز منطقه مورد مطالعه تحقیق بوده است که در شکل 1 منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. محصول منتخب سیب



شکل 1- محدوده منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری - دایره - در شهرستان بستان‌آباد
Figure 1- Location of study area and soil sampling – circle – in Bostanabad

شاخص‌های گیاهی مورد استفاده

شاخص‌های گیاهی مورد استفاده شامل شاخص‌های باندهای انعکاسی، حرارتی، ترکیب باندهای انعکاسی و حرارتی و شاخص‌های انعکاسی تصحیح یافته براساس عامل تصحیح است. معادلات شاخص‌ها در ادامه آورده شده است.
(1) شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی

در این تحقیق جهت انتخاب شاخص گیاهی مؤثر از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. ابزار مدلسازی شاخص‌های گیاهی و ضریب گیاهی، شبکه عصبی مصنوعی بوده است. بنابراین موارد مورد بحث در این قسمت شامل 1- معرفی شاخص‌های گیاهی مورد استفاده 2- تحلیل مؤلفه‌های اصلی 3- شبکه عصبی مصنوعی

شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی بیانگر رابطه میزان انرژی انعکاسی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک با پوشش گیاهی می‌باشد. میزان انرژی انعکاسی در طیف قرمز با رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد که علت آن جذب انرژی طیف الکترومغناطیسی توسط کلروفیل و سایر رنگدانه‌های موجود در برگ گیاه در طی عمل فتوسنتز است اما از طرف دیگر میزان انرژی انعکاسی در طیف مادون قرمز نزدیک به علت بافت اسفنجی مزوفیل برگ سبز افزایش خواهد یافت (گیاهان سالم). محدوده این شاخص بین 1 و 1- می‌باشد. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده افزایش تراکم پوشش گیاهی است. شاخص پوشش گیاهی پیشرفته در جهت کاهش اثرات اتمسفریک، از تفاوت در میزان انعکاس باندهای قرمز و آبی به عنوان برآوردی از سطوح تأثیر اتمسفری استفاده می‌کند. به‌طور کلی پراکندگی مقطعی در باند آبی بیشتر از باند قرمز است. زمانی که غلظت هواپخش‌ها زیاد است، تفاوت دو باند بزرگتر می‌شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک تنک بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود اثرات بازتاب خاک زمینه اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن چیره شود. بنابراین، در این مناطق از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که اثرات خاک را به حداقل برساند. SAVI شاخص تصحیح شده NDVI است. این شاخص اثرات خاک زمینه و رطوبت خاک را در شاخص NDVI کاهش می‌دهد. شاخص تأمین آب پوشش گیاهی، شاخص NDVI را با پارامتر دمای سطح زمین ترکیب می‌کند. شاخص NDVI در صورت عدم حذف اثرات سایه‌اندازی فصلی کنوپی، سبزیگی را اشتباه نشان می‌دهد. به‌طور مشابه استفاده از طول موج مادون قرمز حرارتی در شاخص‌های خشکسالی از نوسانات دمای روزانه و آب و هوایی در زمان تصویربرداری متأثر است که توانایی تصاویر حرارتی را در نمایش شرایط رطوبتی خاک محدود می‌کند. یک روش ساده جهت ترکیب باندهای حرارتی و انعکاسی، محاسبه نسبت آنها می‌باشد. بسیاری از مطالعات ارتباط بین نسبت دمای سطح زمین و NDVI را با تنش رطوبتی اثبات کرده‌اند. شاخص دیگری که در این تحقیق استفاده شده است، شاخص دمای سطح زمین⁸ است که می‌تواند پوشش گیاهی را تحت تأثیر خود قرار دهد. دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پرایس محاسبه شد. اساس الگوریتم بر این است که اتمسفر در طول موج‌های متفاوت، عکس العمل مختلفی دارد، به‌طوری که این الگوریتم از تفاوت تابش سنجش شده در دو ناحیه طیفی مجاور هم ناحیه مادون قرمز که ناشی از تأثیرات جذب توسط گازهای اتمسفری می‌باشد، برای برآورد دمای سطح زمین بهره می‌گیرد (13).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

$$RI = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} - 1 \quad (2) \text{ شاخص قرمزی}^1$$

$$EVI = G \cdot \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} - C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L} \quad (3) \text{ شاخص پوشش گیاهی پیشرفته}^2$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L} \quad (4) \text{ شاخص گیاهی تعدیل کننده اثرات خاک}$$

$$MSAVI = 0.5[2\rho_{nir} + 1 - \sqrt{(2\rho_{nir} + 1)^2 - 8(\rho_{nir} - \rho_{red})}] \quad (5) \text{ شاخص گیاهی توسعه یافته تعدیل کننده اثرات خاک}^3$$

$$NVSWI = \frac{VSWI - VSWI_{min}}{VSWI_{max} - VSWI_{min}}, \quad VSWI = \frac{NDVI}{LST} \quad (6) \text{ شاخص تأمین آب پوشش گیاهی نرمال شده}^4$$

$$TVX = \frac{LST}{NDVI} \quad (7) \text{ شاخص پوشش گیاهی - دمایی}$$

$$mNDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red} - 2\rho_{blue}} \quad (8) \text{ شاخص گیاهی مثلثی}^5$$

$$TVI = 0.5[120(\rho_{nir} - \rho_{green}) - 200(\rho_{red} - \rho_{green})] \quad (9) \text{ شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی توسعه یافته}^6$$

$$mTVI = 1.2[1.2(\rho_{nir} - \rho_{green}) - 2.5(\rho_{red} - \rho_{green})] \quad (10) \text{ شاخص گیاهی مثلثی توسعه یافته}^7$$

که در آنها، ρ_{nir} : مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، ρ_{red} : مقادیر بازتاب در باند قرمز، ρ_{blue} : مقادیر بازتاب در باند آبی، ρ_{green} : مقادیر بازتاب در باند سبز، C_1 ، C_2 : ضرایب مربوط به مقاومت هواپخش‌ها (که از باند آبی برای تصحیح اثرات هواپخش‌ها بر باند قرمز استفاده می‌کند)، L : تعدیل پس‌زمینه‌ای کنوپی (که مربوط به میزان انتقال تابشی قرمز و مادون قرمز نزدیک است)، G : فاکتور مقیاس. ضرایب تنظیم شده در الگوریتم EVI برابر با $G=2.5$ ، $L=1$ ، $C_1=6$ ، $C_2=7.5$ است. SAVI است که دامنه آن از صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا 1 برای پوشش گیاهی با تراکم کمتر می‌باشد. در بیشتر مقالات مقدار 0/5 توصیه شده است، LST : دمای سطح زمین، $VSWI$: شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (7-8) می‌باشد (2-8).

1- Red Index (RI)

2- Enhanced Vegetation Index (EVI)

3- Modified Soil Adjustment Vegetation Index (MSAVI)

4- Normalized Vegetation Supply Water Index (NVSWI)

5- Triangular Vegetation Index (TVI)

6- Modified normalized difference Vegetation Index (mNDVI)

7- Modified Triangular Vegetation Index (mTVI)

8- Land Surface Temperature (LST)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

انتهای مرحله قبل و ابتدای مرحله بعد، که همان مرحله پایانی رشد باشد، به صورت خطی تغییر می‌کند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{n} \quad (13)$$

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - S_i}{O_i} \right|}{n} \quad (14)$$

که در آنها، O_i : مقادیر مشاهداتی، S_i : مقادیر شبیه‌سازی، n : تعداد داده‌ها، $RMSE^1$: میانگین مربعات خطا، MAE^2 : خطای مطلق میانگین، $MARE^3$: میانگین نسبی خطای مطلق می‌باشد (1).

نتایج و بحث

براساس پیشنهاد فائو - 56 و اقلیم منطقه، طول دوره‌های مرحله ابتدایی رشد، مرحله رشد و توسعه گیاه، مرحله میانی و مرحله نهایی برابر 30، 45، 30، 25 روز بوده است که شروع دوره از ماه می است. بنابراین تصاویر ماهواره‌ای با در نظر گرفتن شروع مرحله اولیه از ماه می و طول کل دوره 130 دانلود شدند، به طوری که سال‌های مورد بررسی از 2013 تا 2016 و ماهانه - در هر ماه تقریباً با فاصله زمانی ده روزه با تفکیک مکانی 1 کیلومتر بودند. در طول دوره آماری مورد بررسی سال 2016 به عنوان دوره صحت‌سنجی در نظر گرفته شد. تعداد کل تصاویر با دوره واسنجی و صحت‌سنجی برابر 65 بوده است. ضریب گیاهی با روش عددی و براساس پیشنهاد فائو با فرض ثابت بودن مقدار ضریب گیاهی مراحل اولیه و میانی رشد تحت شرایط مشخص تعیین شد. شاخص‌های مورد بررسی از تصاویر ماهواره‌ای MODIS با میانگین پیکسل‌های 2x2 بودند.

اولین گام برای اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعیین و تشخیص مناسب بودن داده‌ها می‌باشد. برای این منظور از فاکتور KMO^4 که براساس ضریب همبستگی ساده و جزئی بین متغیرها است، استفاده شد. مقدار این عامل همواره بین صفر و یک در نوسان است در صورتی که مقدار KMO کمتر از 0/5 باشد داده‌ها نامناسب و اگر مقدار KMO بین 0/5 تا 0/69 باشد داده‌ها متوسط و بزرگتر از 0/7 داده‌ها مناسب برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی خواهند بود (1). مقدار فاکتور برای سری زمانی شاخص‌های مورد بررسی، 0/51 محاسبه شد که حاکی از امکان اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای سری زمانی

هدف اصلی تحلیل مؤلفه‌های اصلی کاهش بعد مساله است. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی امکان تبدیل تعداد زیادی از متغیرهای اولیه به تعداد معدودی از متغیرهای جدید (که همان چند مؤلفه اصلی اول هستند) بررسی می‌شود به طوری که متغیرهای جدید سهم بزرگی از کل واریانس را داشته باشند. یک قضیه اصلی وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن مؤلفه‌ها را بدست آورد. این قضیه بیان می‌دارد که ترکیباتی از P متغیر $X_1, X_2, \dots, X_P$ برای ایجاد P مؤلفه مستقل $PC_1, PC_2, \dots, PC_P$ برقرار می‌شود. در این روش اطلاعات پارامترهای اصلی با کمترین تلفات در مؤلفه‌های حاصل آورده می‌شود. هر مؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله معادله 11 مشخص شود.

$$PC_i = a_{i1} X_1 + a_{i2} X_2 + \dots + a_{ip} X_p \quad (11)$$

که در آن، PC_i : معرف مؤلفه مورد نظر، a_{ij} : بردار ویژه مربوطه، X_i : متغیرهای اصلی می‌باشد (3). بردارهای ویژه طوری تخمین زده می‌شوند که اولین مؤلفه بیشترین واریانس داده‌ها را در نظر گرفته و دومین مؤلفه بیشترین واریانس در نظر گرفته نشده توسط اولین مؤلفه را پیش‌بینی کرده و این روند ادامه می‌یابد تا آخرین مؤلفه تمامی واریانس مورد نظر را در برگیرد.

شبکه عصبی مصنوعی

یک شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نورون‌ها است که با قرار گرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نورون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهد. نورون یک واحد ریاضی یا یک دستگاه غیر خطی است، در نتیجه یک شبکه عصبی که از اجتماع نورون‌ها تشکیل می‌شود نیز یک سیستم پیچیده و غیر خطی خواهد بود. قابلیت یادگیری در شبکه‌های عصبی با استفاده از تنظیم پارامترهای شبکه انجام می‌گیرد. یک نورون با استفاده از تابع تحریک مقدار خروجی خاصی را بازای ورودی‌های مختلف تولید می‌کند. تابع تحریک تابعی است که براساس نوع الگوریتم یادگیری برای هر نورون تعریف می‌شود (10).

آماره‌های ارزیابی عملکرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی در

برآورد ضریب گیاهی

از آماره‌های بیان شده در معادلات 12 تا 14 جهت بررسی عملکرد ضرایب گیاهی حاصل از شاخص گیاهی تصاویر ماهواره‌ای با ضریب گیاهی حاصل از فائو استفاده می‌شود. قابل ذکر است که در تعیین ضریب گیاهی به روش فائو ضریب گیاهی برای هر مرحله رشد را می‌توان با فرض ثابت بودن مقدار ضریب گیاهی مراحل اولیه و میانی رشد تحت شرایط مشخص تعیین کرد. ضرایب گیاهی مرحله توسعه گیاه و پایانی رشد بین دو مقدار یعنی بین ضرایب گیاهی

1- Root Mean Square Error

2- Mean Absolute Error

3- Mean Absolute Relative Error

4- Kaiser-Meyer-Olkin

شاخص‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1- مشخصات مقادیر ویژه شاخص‌های مورد بررسی
Table 1- Characteristics the eigenvalues of investigated indices

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigenvalues	درصد از واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %
1	7.037	63.974	63.974
2	1.346	12.239	76.212
3	1.016	9.238	85.450
4	0.740	6.724	92.175
5	0.451	4.101	96.276
6	0.270	2.457	98.734
7	0.080	0.724	99.457
8	0.030	0.275	99.732
9	0.017	0.158	99.890
10	0.007	0.063	99.954
11	0.005	0.046	100.000

این سه مؤلفه در مجموع 85/45 درصد از پراکندگی داده‌های اصلی را بیان می‌کنند. در جدول 2 مقادیر بردارهای ویژه برای شاخص‌های مورد ارزیابی آورده شده است که ضرایب هر مؤلفه را برای محاسبه آنها نشان داده شده است.

جدول 1 نشان می‌دهد که با افزایش در تعداد مؤلفه‌ها، مقادیر ویژه کاهش پیدا کرده است. کاهش مقادیر ویژه در برابر افزایش تعداد مؤلفه‌ها در تحقیق شیخ الاسلامی و همکاران (17)، محمدی و همکاران (11) نیز مشاهده شد. براساس تجزیه انجام شده، سه مؤلفه اول که دارای مقادیر ویژه بزرگتر از یک بودند، انتخاب می‌شوند که

جدول 2- بردارهای ویژه شاخص‌های مورد بررسی
Table 2- Particular vectors of investigated indices

شاخص‌ها Indices	NDVI	RI	TVI	MSAVI	SAVI	mTVI	EVI	mNDVI	LST	TVX	NVSWI
مؤلفه اول First component	0.955	0.937	0.940	0.981	0.974	0.772	0.662	-0.235	0.269	-0.705	0.886
مؤلفه دوم Second component	-0.211	-0.203	0.219	-0.055	-0.107	0.324	0.575	0.683	-0.540	0.008	0.028
مؤلفه سوم Third component	-0.042	-0.025	0.1165	0.039	0.0201	0.148	0.1483	0.3928	0.789	0.112	-0.404

شرایط حاکم بر منطقه می‌باشد. کاهش 66/66 درصد ضریب LST از مؤلفه سوم به اول بیانگر افزایش دقت نتایج شاخص‌های باندهای حرارتی در صورت ترکیب با شاخص‌های باندهای انعکاسی مانند شاخص TVX است.

در بخش دیگر برای تعیین دقیق شاخص‌های مؤثر بر ضریب گیاهی، بررسی به سه حالت انجام گرفت در بررسی اول از تأثیر مؤلفه‌ها بر ضریب گیاهی استفاده شد که برای هر مؤلفه از ضرب مقادیر شاخص‌ها در بردارهای ویژه تشکیل می‌شود. بررسی اول خود به سه دسته تقسیم شد 1-1- استفاده تنها از مؤلفه اول 1-2- مؤلفه اول و دوم 1-3- مؤلفه اول، دوم و سوم. در بررسی دوم از تمامی شاخص‌های هر مؤلفه استفاده نشده بلکه از شاخص‌هایی که دارای بیشترین مقدار ضریب در هر مؤلفه می‌باشند استفاده شده به‌طوری که

با توجه به جدول 2 در مؤلفه اول شاخص‌های NDVI، RI، TVI، MSAVI، NVSWI در مؤلفه دوم شاخص mNDVI و در مؤلفه سوم شاخص LST دارای بیشترین مقدار ضریب می‌باشند. وجود شاخص NDVI در مؤلفه اول و با مقدار ضریب بالا حاکی از اهمیت بالای شاخص در برآورد ضریب گیاهی است که تأثیر این شاخص بر ضریب گیاهی در تحقیق Admala و همکاران (1)، Er- Raki و همکاران (5) نیز مشاهده شد. مقایسه مقادیر ضریب شاخص NDVI، SAVI و MSAVI حاکی از افزایش مقادیر ضریب شاخص‌های SAVI و MSAVI نسبت به شاخص NDVI است. در تحقیق Gonita و Tiwari (7) در برآورد ضریب گیاهی و تبخیر- ترق، شاخص SAVI ضریب همبستگی بالایی نسبت به شاخص NDVI داشت. این مساله حاکی از تأثیر بهبود شاخص‌ها براساس

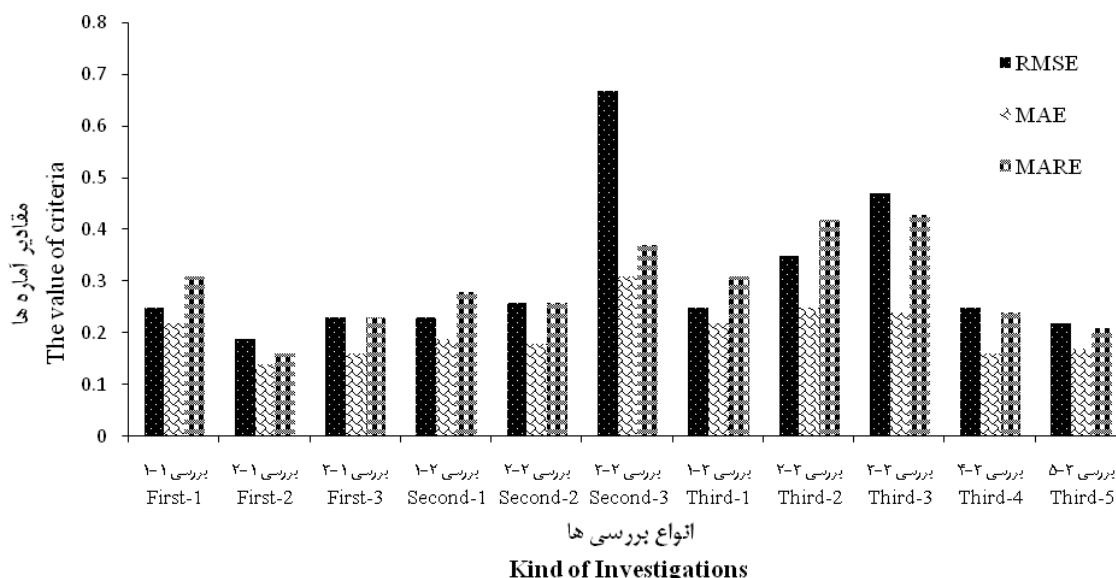
(2-1)، دارای کمینه مقدار معیارهای خطا است و حالتی که از ترکیب سه مؤلفه استفاده می‌شود مقدار مقادیر خطا افزایش می‌یابد و دلیل آن شاید تأثیر کم مؤلفه سوم باشد. اگر مقایسه‌ای بین متوسط مقادیر معیارهای خطا در بررسی اول، دوم و سوم انجام گیرد نتایج حاکی از کمینه مقدار خطا مربوط به بررسی اول است به‌عنوان نمونه متوسط مقادیر MAE برای بررسی اول، دوم و سوم به ترتیب شامل 0/17، 0/22 و 0/2 خواهد بود. بنابراین زمانی که مؤلفه‌ها براساس بردار ویژه تشکیل می‌شوند از کمینه معیار خطا برخوردار هستند. کمینه مقدار خطای بررسی اول می‌تواند بیانگر این مسأله باشد که تأثیر شاخص‌ها با ضریب صحیح می‌تواند دقت مدلسازی را افزایش دهد که تعیین ضریب در این تحقیق با تحلیل مؤلفه‌های اصلی حاکی از کارایی این روش می‌باشد. بنابراین مؤلفه‌ها با بیشترین واریانس و ضرایب با دقت بالا در مؤلفه‌ها می‌توانند در تعیین شاخص‌های مؤثر کمک چشمگیری بنمایند.

تحلیل حساسیت یکی از مراحل مهم مدلسازی می‌باشد. به‌عنوان نمونه باید به این نکته توجه داشت که تعداد نورون‌های بیشتر در لایه مخفی ممکن است شبکه را دچار آموزش بیش از حد کرده و ممکن است شبکه قابلیت تعمیم خود را از دست دهد. اجرای شبکه عصبی مصنوعی در قسمت قبل بدون انجام تحلیل حساسیت انجام گرفت. برای این منظور انواع توابع تحریک و تعداد نورون میانی مورد آزمون قرار گرفت و انتخاب نهایی براساس کمینه معیار خطا می‌باشد. نتایج اجرای شبکه عصبی با انواع توابع تحریک در جدول 3 آورده شده است.

در مؤلفه اول شاخص‌های SAVI، TVI، RI، NDVI و MSAVI در مؤلفه دوم شاخص mNDVI، در مؤلفه سوم شاخص LST انتخاب شدند، بنابراین براساس این انتخاب مؤلفه‌ها در سه دسته تقسیم شدند 1-2- استفاده تنها از مؤلفه اول 2-2- مؤلفه اول و دوم 3-2- مؤلفه اول، دوم و سوم. در بررسی سوم در هر مؤلفه بیشینه مقدار ضریب در نظر گرفته شد، بنابراین در مؤلفه اول شاخص MSAVI و در مؤلفه دوم شاخص mNDVI در مؤلفه سوم شاخص LST انتخاب شدند، بدین صورت براساس این انتخاب مؤلفه‌ها در چهار دسته تقسیم شدند 1-3- مؤلفه اول 2-3- مؤلفه اول و دوم 3-3- مؤلفه اول، دوم و سوم 4-3- تنها مؤلفه دوم 5-3- تنها مؤلفه سوم.

شبکه عصبی مصنوعی در مدلسازی هر کدام از بررسی‌های مذکور در راستای تأثیر نوع مؤلفه‌ها (که خود از شاخص‌های گیاهی تشکیل شده‌اند) و ضریب گیاهی استفاده شد که انتخاب بررسی برتر براساس کمینه معیار خطای حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی در دوره صحت‌سنجی بود. در مدلسازی شبکه عصبی انتخاب نوع شبکه برای رسیدن به جواب مطلوب از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این حالت از شبکه پیش‌خور با الگوریتم پس‌انتشار خطا (با سه لایه) استفاده شده است. در این مرحله بعد از استاندارد کردن داده‌ها، اجرای شبکه عصبی مصنوعی برای انواع بررسی‌ها با استفاده از تابع تحریک تانژانت زیگموئیدی و تعداد نورون دو انجام گرفت. معیارهای خطا برای انواع بررسی‌ها در شکل 2 در طی دوره صحت‌سنجی آورده شده است.

با توجه به شکل 2 استفاده از دو مؤلفه اول و دوم زمانی که مؤلفه‌ها از ضرب مقادیر شاخص‌ها در بردارهای ویژه تشکیل می‌شود



شکل 2- مقادیر معیارهای خطا برای انواع حالت‌های ترکیبی مؤلفه‌ها

Figure 2- The error criteria value for the combined cases of components

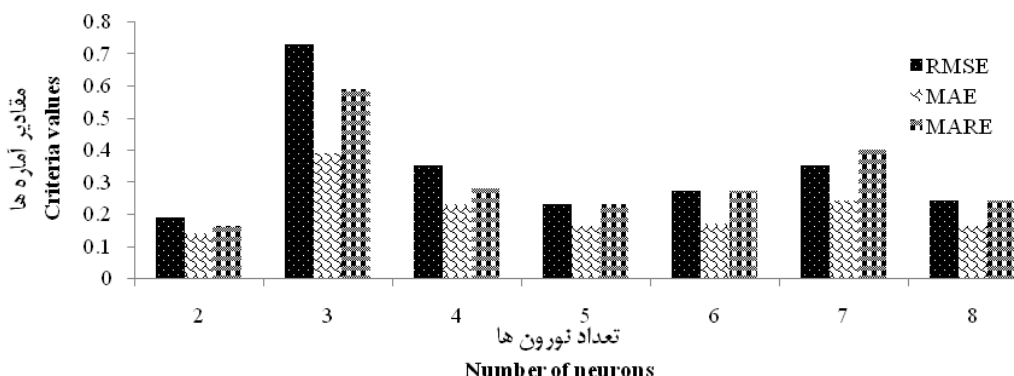
جدول 3- بررسی انواع توابع تحریک لایه میانی و خروجی

Table 3- Investigation the activation functions of hidden – output layer

Table 1: Comparison of activation functions and transfer functions												
لایه میانی	لگاریتم زیگموئیدی		لگاریتم زیگموئیدی		تانزانٹ زیگموئیدی		لگاریتم زیگموئیدی		خطی		تانزانٹ زیگموئیدی	
Hidden layer	Log sigmoid		Log sigmoid		Tan sigmoid		Log sigmoid		Linear		Tan sigmoid	
لایه خروجی	خطی		تانزانٹ زیگموئیدی		لگاریتم زیگموئیدی		لگاریتم زیگموئیدی		خطی		تانزانٹ زیگموئیدی	
Output layer	Linear		Tan sigmoid		Log sigmoid		Log sigmoid		Linear		Tan sigmoid	
مقادیر آماره‌ها	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
Criteria values	0.22	0.25	0.15	0.19	0.18	0.25	0.15	0.2	0.21	0.24	0.14	0.18

زیگموئیدی در لایه‌های میانی و خروجی دارای کمترین خطا است. در مرحله بعد مقدار بهینه تعداد نورون‌های لایه میانی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل 3 آورده شده است.

با توجه به جدول 3 توابع تحریک تانهزانت زیگموئیدی و لگاریتم زیگموئیدی در لایه میانی از کمترین خطا و تابع خطی در لایه‌های میانی و خروجی از بیشترین خطا برخوردار می‌باشند. تابع تانهزانت

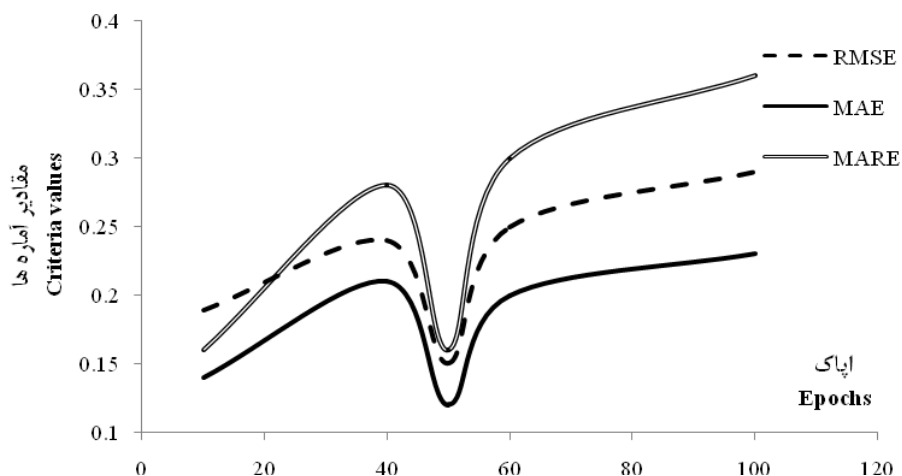


شکل 3- تغییرات معیارهای خطا در برابر تعداد نورون‌ها

Figure 3- The variation of error criteria versus the number of neurons

نتایج تحلیل حساسیت اپاک در شکل 4 آورده شده است.

نورون‌های لایه میانی با تعداد 2 از کمینه خطا برخوردار هستند. تعیین مقدار دقیق اپاک نیز در آموزش شبکه بسیار مهم است که

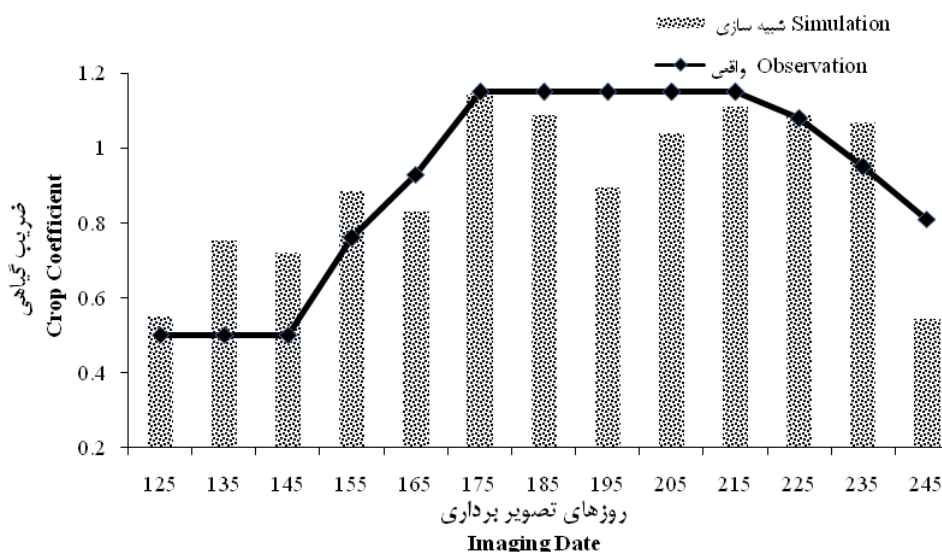


شکل 4- تغییرات معیارهای خطا در برابر اپاک

Figure 4- The variation of error criteria versus the epochs

گیاهی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (1-2) و ضریب گیاهی فائو در طی دوره صحت‌سنجی در شکل 5 آورده شده است تا مقایسه زمانی هم بین ضرایب گیاهی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و فائو انجام گیرد.

با توجه به شکل 4 مقدار بهینه اپاک برابر 50 می‌باشد که مقادیر معیارهای خطا نیز نسبت به حالت‌های قبل کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است به طوری که درصد کاهش RMSE از اپاک 100 به 50، 48/27 محاسبه شد. در حالت دیگر تغییرات دوره‌ای بین ضرایب



شکل 5- تغییرات زمانی ضرایب گیاهی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و فائو
Figure 5- Temporal variation of principle component analysis and FAO crop coefficients

بخش‌های کشاورزی و منابع آب از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این میان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با در اختیار داشتن اطلاعات مقیاس‌های بزرگ کارآمدتر می‌باشند. در این راستا به تعیین شاخص های گیاهی مؤثر با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در قالب مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شد. مقایسه آماره‌ها حاکی از بهبود عملکرد شبکه عصبی مصنوعی با ترکیب شاخص‌های گیاهی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. مؤلفه‌ها با واریانس بالا و مقادیر بردار ویژه حاصل از نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نقش مهمی در افزایش دقت شبیه‌سازی دارند. در مقایسه بین عملکرد شاخص‌های گیاهی، شاخص‌های انعکاسی دارای وزن بیشتری می‌باشند. تنها استفاده از شاخص حرارتی نمی‌تواند کارایی بالایی داشته باشد ولی در قالب ترکیب باندهای حرارتی و انعکاسی کارایی شاخص‌ها بالا می‌رود. علاوه بر کارایی شاخص NDVI در برآورد ضریب گیاهی، توسعه شاخص‌ها بسته به منطقه مورد مطالعه عملکرد شاخص‌ها را بهبود می‌بخشد. نوع معادلات ریاضی مورد استفاده نیز از جمله عواملی است که می‌تواند افزایش کارایی روش‌ها شود، به‌طوری که استفاده از باندهای یکسان با نوع معادلات مختلف، دارای نتایج متفاوتی می‌باشند. با توجه به کاهش خطا در مقادیر ضرایب شاخص گیاهی شبیه-

با توجه به شکل 5 در برخی از مراحل، مؤلفه‌های منتخب نسبت به ضریب گیاهی دارای بیش‌برآورد و در برخی دارای کم‌برآورد است. بیش‌برآوردها بیشتر در مرحله اولیه انجام گرفته‌اند. اگر در تمامی دوره‌ها بیش‌برآورد و کم‌برآورد با هم مقایسه شوند، مقدار ضریب گیاهی فائو بیشتر از ضریب گیاهی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. رستمی و رائینی (15) در مقایسه ضریب گیاهی حاصل از مدل سیال با مدل فائو به این نتیجه رسیدند که مقدار پیشنهادی فائو برای ضریب گیاهی سیب همواره بالاتر از مقدار بدست آمده از مدل سیال می‌باشد. در تحقیق غلامی و همکاران (6)، ضریب گیاهی سنجش از دور کمتر از ضریب گیاهی گندم بود. مرحله ابتدایی رشد و میانی دارای بیشترین بیش‌برآورد و کم‌برآورد هستند و دلیل این مسأله می‌تواند ثابت فرض شدن ضریب گیاهی در این مراحل به پیشنهاد فائو باشد که می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. کمترین میزان اختلاف بین مقادیر ضریب گیاهی شبیه‌سازی و فائو مربوط به مرحله رشد و توسعه است.

نتیجه‌گیری کلی

برآورد دقیق ضریب گیاهی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در

های اصلی و شاخص‌های گیاهی - بالا برد.

سازی شده، می‌توان دقت تعیین مصرف آبیاری و برنامه‌ریزی کشاورزی را با استفاده از روندنمای انجام شده - ترکیب تحلیل مؤلفه -

منابع

- 1- Adamala S., Rajwade Y.A., and Krishna Reddy Y.V. 2016. Estimation of wheat crop evapotranspiration using NDVI vegetation index. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(1):159-166.
- 2- Agapiou A., Hadjimitsis D.G., and Alexakis D.D. 2012. Evaluation of broadband and narrowband vegetation indices for the identification of archaeological crop marks. *Remote Sensing*, 4:3892-3919.
- 3- Amirmoradi K., and Bahmani O. 2014. Estimation the daily soil temperate using neural artificial network. *Journal of Soil Research (Soil Science and Water)*, 28(3):543-556. (In Persian)
- 4- El-Shirbeny M.A., Ali A-E M., Badr M.A., and Bauomy E.M. 2014. Assessment of wheat crop coefficient using remote sensing techniques. *World Research Journal of Agricultural Sciences*, 1(2):012-016.
- 5- Er-Raki S., Chehbouni A., Guemouria N., Duchemin B., Ezzahar J., and Hadria R. 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. *Agriculture Water Management*, 87(1):41-54.
- 6- Gholami M.A., Mirlatifi S.M., Mohammadi K., and Alimohammadi A. 2010. Estimating crop coefficient and actual evapotranspiration of wheat by remote sensing: A case study, gorgan rood command area, Golestan, Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(4):222-231. (In Persian with English abstract)
- 7- Gontia N.K., and Tiwari K.N. 2010. Estimation of crop coefficient and evapotranspiration of wheat (*Triticum aestivum*) in an irrigation command using remote sensing and GIS. *Water Resources Managemnet*, 24:1399-1414.
- 8- Jiang Z., Huete A.R., Didan K., and Miura T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3833-3845.
- 9- Kamble B., Kilic A., and Hubbard K. 2013. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. *Remote Sensing*, 5:1588-1602.
- 10- Karamouz M., and Araghinejad S. 2006. *Advanced hydrology*. 2nd ed. Amirkabir University of Technology, Tehran. (In Persian)
- 11- Mohammadi H., Ahmadi A., Moradi F., Abbasi A., Poustini K., Joudi M., and Fatehi F. 2011. Evaluation of critical traits for improving wheat yield under drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 42(2):373-385. (In Persian)
- 12- Pimpale A.R., Rajankar P.B., Wadatkar S.B., and Ramteke I.K. 2014. Determination of spatial crop coefficient of chickpea using remote sensing and GIS. *American International Journal of Research in Formal, Applied and Natural Sciences*, 59-64.
- 13- Price J.C. 1984. Land surface temperature measurements from the split window channel of the NOAA 7 advanced very high resolution radiometer. *Journal of Geophysical Research*, 89(5):7231-7237.
- 14- Richard G.A., Luis S.P., Dirk R., and Martin S. 2006. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56.
- 15- Rostami A., and Raeini-Sarjanz M. 2016. Remotely sensed measurements of apple orchard actual evapotranspiration and plant coefficient using MODIS images and SEBAL algorithm (Case Study: Ahar plain, Iran). *Journal of Agricultural and Meteorology*, 4(1):32-43. (In Persian with English abstract)
- 16- Shahabfar A., Ghulam A., and Eitzinger J. 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18:119-127.
- 17- Sheikholeslami N., Ghahraman B., Mosaedi A., Davary K., and Mohejerpour M. 2014. Estimating reference evapotranspiration by using principal component analysis (PCA) and the development of a regression model (MLR-PCA) (Case Study: Mashhad Station). *Journal of Water and Soil*, 28(2):420-429. (In Persian with English abstract)



Combining FAO Model and Vegetation Indices to Estimate Crop Coefficient Using Principle Component Analysis

L. Parviz^{1*}

Received: 08-05-2017

Accepted: 17-09-2017

Introduction: The globally growing demand for water has shown the need for its efficient and judicial utilization, and particularly in agriculture being single largest consumer of water. Crop evapotranspiration represents crop water demand and governed by weather and crop conditions and most of the current water demand models are non-spatial models, they use point data. Global scale satellite images can solve these problems. According to the high performance of satellite indices, it is necessary to estimate crop coefficient using combination of reflectance and thermal bands. The aim of this research was to estimate the effective crop coefficient of potato using vegetation indices and principle component analysis.

Materials and Methods: Principle component analysis (PCA) was used for effective crop coefficient estimation. Modeling of associations between vegetation indices and crop coefficient were conducted using artificial neural network. In the present study, NDVI, RI, EVI, SAVI, MSAVI, NVSWI, TVX, TVI, mNDVI and mTVI were the used as vegetation indices. PCA is designed to transform the original variables into new and uncorrelated variables (axes), namely the principal components, which are linear combinations of the original variables. The new axes lie along the directions of maximum variance. PCA provides an objective procedure of finding indices and information on the most meaningful parameters, which describes a whole data set affording data reduction with minimum loss of original information. Artificial neural networks are a computational model which is based on a large collection of simple neural units, loosely analogous to the observed behavior of a biological brain's axons. RMSE, MAE and MARE were the statistics used for investigating the performance of crop coefficient of vegetation indices with FAO crop coefficient.

Results and Discussion: Eleven MODIS vegetation indices are derived in the period of 2013 to 2016 for potato over the limited area between Tabriz and Bostanabad. The last year was considered as the validation period. According to the FAO-56 paper, the lengths of initial stage, crop development stage, mid-season stage, late season stage were considered to be 25, 30, 45, 30 days, respectively. The vegetation indices were derived using MODIS sensor with 2×2 pixels. The PCA showed that with increasing the number of components, the eigenvalues decreased. The analysis indicated that the three first components accounted for the 85.45 % of the total variance of data and the eigenvalues of them were greater than 1, the three first components were thus selected. NDVI, RI, TVI, MSAVI and NVSWI in the first component, mNDVI in the second component and LST in the third component had the highest coefficients. NDVI in the first component with high coefficient indicted the importance of index in the crop coefficient determination. The coefficients of SAVI and MSAVI were higher than NDVI. From the three investigations on the kind of principle component, the first investigation led to a 55.75 % decrease in RMSE relative to the second and third investigations. The first and second components together had less error rather than third component. The average of MAE for first, second and third investigations was, respectively, 0.17, 0.22 and 0.2. Therefore, component with exact values of particular vectors resulted in a reduced error. The sensitivity of artificial neural network led to an increase in the simulation accuracy (for example the RMSE decreased from epoch 100 to 50 was 48.27%). Crop coefficient estimation using vegetation indices of principle component analysis was underestimated about 1% in the validation period. Overestimation and underestimation were found in the initial and crop development stages, respectively.

Conclusions: The quantities of statistics showed the improvement of artificial neural network performance with combination of vegetation indices using principle component analysis. The vegetation indices with reflectance bands performed well. The combination of thermal and reflectance bands enhanced the vegetation indices efficiency. In addition to NDVI index for crop coefficient estimation, improvement of indices according to the study area condition increased the indices performance. The kind of mathematical equations of indices can increase the indices performance which using the same bands with different equations have different results. The selected component of principle component analysis has important role in increasing the simulation accuracy.

1- Assistant Professor Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

(* - Corresponding Author Email: laleh_parviz@yahoo.com)

The error reduction of simulated crop coefficients can increase the precision of irrigation consumption and agricultural planning which the principle component analysis has more important role.

Keywords: Artificial neural network, Components, SAVI , Water demand



ارزیابی اثر کاربری اراضی و برخی ویژگی‌های خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع

الهام افضلی مقدم¹ - ناصر برومند^{2*} - وحیدرضا جلالی³ - صالح سنجرى⁴

تاریخ دریافت: 1395/02/11

تاریخ پذیرش: 1396/07/03

چکیده

پارامترهای هیدرولیکی برای درک جریان رطوبت در خاک غیراشباع بسیار مهم می‌باشند و در مدل‌سازی جریان رطوبت، آلاینده‌ها و عناصر غذایی در خاک، استفاده می‌گردند. مدیریت خاک و کاربری اراضی، با تأثیر بر ویژگی‌های خاک می‌توانند مستقیماً خصوصیات هیدرولیکی خاک را تغییر دهند. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (k_s) بود. این پژوهش در 100 هکتار از اراضی منطقه خضرآباد در 25 کیلومتری جنوب شهرستان جیرفت انجام گردید. به کمک نرم‌افزار Google earth و Arc GIS، منطقه به بلوک‌هایی با ابعاد 1000×1000 متر شبکه‌بندی شد. مختصات جغرافیایی مراکز هر بلوک به عنوان محل نمونه‌برداری انتخاب و (k_s) توسط دستگاه نفوذسنج گلف تعیین گردید. برای انجام درون‌یابی و تهیه نقشه‌های مکانی، از روش کریجینگ استفاده شد. نتایج نشان داد که (k_s) با هم‌بستگی مکانی قوی از تغییرپذیری مکانی بالایی برخوردار است که این تغییرات در کاربری باغ بیش‌ترین و در کاربری بایر کم‌ترین مقدار را در برگرفتند و دلیل این امر نوع کاربری و تکنیک مدیریتی بسته به نوع کاربری و نشان‌دهنده تأثیر کاربری اراضی بر (k_s) بود. الگوی پراکنش k_s با متغیر شن هم‌روند و با الگوی پراکنش رس در خلاف جهت دیده شد که همین امر، تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک را بر (k_s) نشان داد. با توجه به پارامترهای ارزیابی MBE (میانگین انحراف خطا)، MAE (میانگین قدر مطلق خطا) و CRM (ضریب جرم باقی‌مانده)، بهترین مدل برازش داده شده به k_s ، مدل گاوسی بود و ویژگی‌های خاک نظیر k_s ، دارای تغییرپذیری مکانی وابسته به مقیاس نمونه‌برداری بودند. به‌طور کلی مشخص گردید که کاربری‌های اراضی، بسته به نوع کاربری و تکنیک مدیریتی مورد استفاده، با تأثیر بر خصوصیات خاک، باعث تغییر در k_s می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری مکانی، جیرفت، کریجینگ، نفوذسنج گلف

مقدمه

خاک به‌شمار می‌رود و در مطالعات جریان آب و اصلاح در خاک و بسیاری از پژوهش‌ها و کاربری‌ها مانند کشاورزی، حفاظت محیط زیست و صنعت به عنوان یک ویژگی کلیدی شناخته می‌شود (13). یکی از مشکلات مهمی که کاربرد یافته‌های مربوط به ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را در مورد پیش‌بینی و ارزیابی فرآیندهای موجود در محیط متخلخل خاک متأثر می‌سازد، تغییرپذیری مکانی⁵ توابع هیدرولیکی خاک است. تغییرات مکانی خصوصیات خاک، به‌عنوان یکی از متغیرهای محیطی، عبارت از تغییر یک خصوصیت از خاک به عنوان تابعی از موقعیت جغرافیایی آن نقطه است (16) که متأثر از خصوصیات ذاتی خاک از قبیل نوع خاک و توزیع اندازه منافذ خاک و خصوصیات غیرذاتی مانند عبور و مرور وسایل نقلیه، کشت و کار و نوع کاربری زمین می‌باشد که چگونگی تأثیر این فاکتورها بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از پهنه‌ای به

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که در توجیه فنی و اقتصادی بسیاری از پروژه‌های آبیاری و زهکشی نقش عمده‌ای به عهده دارد. هدایت آبی اشباع یا ضریب آب‌گذری اشباع خاک نشان‌دهنده‌ی وضعیت سرعت حرکت آب در خاک بوده که در بین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک دارای بیش‌ترین تغییرپذیری مکانی می‌باشد (15 و 19). این پارامتر به دلیل تغییرات وسیع رطوبت و ویژگی‌های منافذ خاک، از ویژگی‌های بسیار تغییرپذیر

1 و 4- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و مربی گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

2 و 3- دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: nbroomand@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.52263

5- spatial variability

و میانگین دمای سالیانه 23/5 درجه سانتی‌گراد است که به لحاظ کشاورزی بسیار فعال می‌باشد و همه نوع کاربری کشاورزی به‌جز دیم در آن انجام می‌گیرد که کاربری‌های باغ، بایر و زراعت برای هدف این تحقیق انتخاب شدند. به کمک نرم‌افزار Google earth و Arc GIS، منطقه به بلوک‌هایی با ابعاد 1000×1000 متر شبکه‌بندی گردید (شکل 1). مختصات جغرافیایی مراکز هر بلوک به عنوان محل نمونه‌برداری انتخاب و در مرکز هر بلوک، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک توسط دستگاه نفوذسنج گلف با بار آبی ثابت انجام گردید. روش نفوذسنج گلف به دلیل برخورداری از مبانی تئوری قوی، سرعت عمل در انجام آزمایش و هزینه‌ی بسیار کم، یکی از روش‌های پرکاربرد در اندازه‌گیری هدایت آبی اشباع خاک می‌باشد (17). در این روش دبی ثابت آب خروجی از چاهک به خاک اطراف تحت بار آبی ثابت اندازه‌گیری می‌شود. برای انجام آزمایش، ابتدا چاهکی به عمق 30 سانتی‌متر در نقطه مورد نظر توسط اوگر حفر، سپس برای از بین بردن حالت لیسه‌ای دیواره چاهک که در اثر استفاده از اوگر ایجاد شده بود، از برس سیمی مخصوص استفاده شد. دستگاه نفوذسنج گلف توسط سه پایه مخصوص در وسط چاهک قرار داده و از آب پر شد. در این مرحله، لوله هوا کاملاً "سرجای خود محکم بوده و دستگاه در حالت خلا قرار داشت. برای شروع آزمایش، ابتدا لوله هوا دستگاه به ارتفاع 5 سانتی‌متر بالا کشیده شد و آب از سوراخ‌های ریز پائین دستگاه وارد چاهک شده و فضای داخل چاهک به ارتفاع 5 سانتی‌متر از آب اشباع شد، آنگاه میزان آب خروجی از دستگاه بر اساس میزان کاهش سطح آب و با فواصل زمانی 2 دقیقه قرائت و یادداشت شد. آزمایش تا زمانی ادامه پیدا کرد که مقدار سطح کاهش آب دستگاه در 3 بازه زمانی یکسان، ثابت شد. سپس همین مراحل برای ارتفاع 10 سانتی‌متر نیز تکرار شد. مقادیر ضریب آب‌گذری اشباع خاک با استفاده از معادلات ذیل محاسبه گردید (1).

$$K = G_2 Q_2 - G_1 Q_1$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{[2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + r^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]}$$

$$G_1 = G_2 [H_2 C_1 / H_1 C_2]$$

برای اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکی شامل، جرم مخصوص ظاهری، درصد شن، سیلت و رس، نمونه‌هایی از عمق 30-0 سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. خصوصیات فیزیکی خاک شامل درصد ذرات شن (Sand)، سیلت (Silt) و رس (Clay) (روش هیدرومتر) و جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) به روش کلوخه (13)، اندازه‌گیری و محاسبه شدند. در این تحقیق به منظور تعیین توزیع نرمال بودن داده‌های متغیر از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم افزار SPSS 14 استفاده گردید. نتایج آماری این متغیر نشان‌دهنده توزیع غیر نرمال و چولگی مثبت (چوله به راست) داده‌های هدایت هیدرولیکی اشباع بود که با روش لگاریتم طبیعی دارای توزیع نرمال شد.

پهنه‌ی مطالعاتی دیگر متفاوت است. بر این اساس مطالعه تغییرات مکانی خاک سطحی در مقیاس وسیع اهمیت دارد. ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به شدت از ویژگی‌های ذاتی خاک تأثیر می‌پذیرند و ویژگی‌های ذاتی خاک هم بسته به نوع خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند. فعالیت بیولوژیکی، عملیات کشاورزی، اقلیم و عوامل دیگری که بر ساختمان خاک تأثیر می‌گذارند موجب تغییر در خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌شوند (6). کاربری اراضی روی پارامترهای هیدرولیکی خاک تأثیرگذار است و از عوامل بسیار مهم بر k_s است (3) و به علت ارتباط متقابل و تنگاتنگ بین خاک و پوشش گیاهی، مطالعه ویژگی‌های خاک و تغییرات آن‌ها در کاربری‌های مختلف، امری ضروری به نظر می‌رسد. شمار مطالعات رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی محدود است و با توجه به تأثیر نوع کاربری روی خصوصیات خاک مانند خصوصیات شیمیایی و جرم مخصوص ظاهری (10 و 8) و حجم تخلخل خاک (14)، تفاوت مقادیر (k_s)، در کاربری‌های مختلف قابل انتظار است. کلیشادی و همکاران (10) با مطالعه پارامترهای هیدرولیکی خاک در کاربری‌های مرتع، اراضی دیم، اراضی آبی و اراضی آیش، بیان نمودند که سیستم‌های کاربری اراضی، تأثیر چشمگیری بر پارامترهای هیدرولیکی خاک دارند. ابو‌هاشم (1) در مطالعه تغییرپذیری مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری‌هایی شامل اراضی کشاورزی، جنگل و چمن‌زار بیان نمود که بیش‌ترین تغییرپذیری هدایت هیدرولیکی اشباع مربوط به اراضی کشاورزی بوده است. زینال‌زاده و همکاران (19) با بررسی تغییرات مکانی و زمانی هدایت هیدرولیکی اشباع و غیر اشباع در چهار کاربری مزرعه جو، مزرعه ذرت، باغ سیب و زمین غیرزراعی به این نتیجه رسیدند که در بین کاربری‌های مورد مطالعه، کم‌ترین مقادیر k_s در زمین غیرزراعی اندازه‌گیری شده است و بیش‌ترین مقادیر k_s نیز، در مزرعه جو گزارش کردند که می‌تواند به واسطه تأثیر انجام عملیات خاک‌ورزی در آن مزرعه باشد.

هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر کاربری‌های مختلف بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، تحلیل تغییرات مکانی و تهیه نقشه پهنه‌بندی k_s در کاربری‌های مختلف بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در 100 هکتار از اراضی منطقه خضرآباد در 25 کیلومتری جنوب شهرستان جیرفت واقع در جنوب شرق استان کرمان با عرض 28 درجه و 28 دقیقه و 40 ثانیه تا 28 درجه و 52 دقیقه و 6 ثانیه شمالی و طول‌های جغرافیایی 57 درجه و 30 دقیقه و 8 ثانیه تا 58 درجه و 4 دقیقه و 27 ثانیه انجام گردید. این منطقه با 650 متر ارتفاع از سطح دریا، از لحاظ اقلیمی دارای آب و هوای گرم و خشک



شکل 1- الگوی نمونه برداری
Figure 1- Grde of the study area

جدول 1- خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی متغیرهای خاک در کاربری باغ

Table 1- Summary descriptive statistics of soil variables in the Garden lands

متغیر Variable	واحد unit	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار SD	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	ضریب تغییرات (%)CV	هم‌بستگی با k_s correlation
ρ_b	$g.cm^{-3}$	0.99	1.48	1.22	0.16	0.29	-1.48	13	0.05
Sand	%	33.00	95.00	72.62	18.61	0.89	-0.41	25	0.22*
Silt	%	0.00	58.00	23.74	17.77	0.65	-0.88	74	-0.25
Clay	%	0.00	9.00	3.62	2.32	0.58	0.04	63	-0.13*
k_s	$cm.h^{-1}$	0.03	11024.29	428.67	2118.17	5.19	26.96	494	

جدول 2- خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی متغیرهای خاک در کاربری زراعت

Table 2- Summary descriptive statistics of soil variables in the agricultural lands

متغیر Variable	واحد unit	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Sd	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	ضریب تغییرات (%)CV	هم‌بستگی با k_s correlation
ρ_b	$g.cm^{-3}$	1.03	1.75	1.25	2501	0.80	-0.67	20	0.43
Sand	%	27.00	97.00	70.61	22.03	-0.64	-0.60	31	0.38*
Silt	%	0.00	60.00	25.15	19.42	0.36	-1.09	77	-0.41
Clay	%	1.00	13.00	4.23	3.44	1.91	3.14	81	-0.14*
k_s	$cm.h^{-1}$	0.14	19348.76	1821.94	5298.01	3.53	12.60	290	

جدول 3- خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی متغیرهای خاکی در کاربری بایر

Table 3- Summary descriptive statistics of soil variables in the wilderness lands

متغیر Variable	واحد unit	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Sd	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	ضریب تغییرات (%)CV	هم‌بستگی با k_s correlation
ρ_b	$g.cm^{-3}$	1.01	1.99	1.36	0.31	0.39	-1.19	433	0.18
Sand	%	21.00	97.00	73.42	25.38	-1.28	0.40	70	0.56*
Silt	%	0.00	71.00	23.26	24.14	1.05	-0.15	57	-0.58*
Clay	%	1.00	9.00	3.84	2.33	0.79	-0.04	28	-0.26*
k_s	$cm.h^{-1}$	0.17	26998.28	2690.96	7876.40	1.30	1.43	96	

هیدرولیکی اشباع (k_s) در کاربری‌های باغ، زراعت و اراضی بایر، به ترتیب در جداول 1، 2 و 3 نشان داده شده است. برای انجام درون‌یابی و تهیه نقشه‌های مکانی، از روش کریجینگ استفاده شد. این روش،

خلاصه‌ای از آمار توصیفی میانگین، حداقل، حداکثر، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای مورد بررسی شامل: شن، سیلت، رس، جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) و هدایت

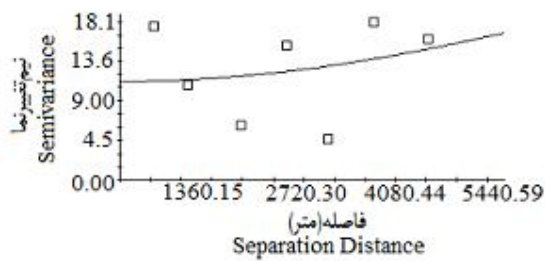
رایج‌ترین روش تخمین زمین‌آماری است که به دلیل حداقل کردن میزان واریانس خطا با برآورد ناریب، کارایی فراوانی دارد. سپس به منظور انجام صحت درون‌یابی، از روش اعتبارسنجی متقابل¹ با پارامترهای ارزیابی، میانگین انحراف خطا MBE و میانگین قدر مطلق خطا MAE و ضریب جرم باقی‌مانده CRM استفاده شد. آنالیزهای زمین‌آماری در محیط نرم‌افزار GS+ انجام شدند.

نتایج و بحث

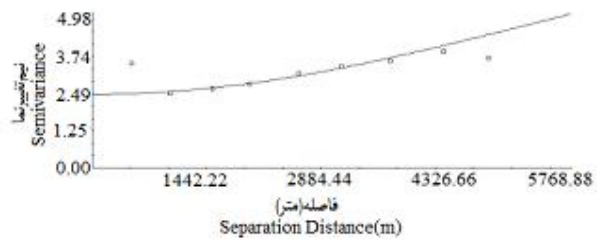
پهنه‌ی مطالعاتی به‌طور هم‌زمان دارای اراضی با کاربری‌های باغ، اراضی زراعی و اراضی بایر بود. به‌طور متوسط بافت خاک‌های منطقه در کلاس‌های بافتی شنی، لوم شنی و شنی لومی قرار داشتند. وضعیت توپوگرافی منطقه باعث اختلاف معنی‌دار در مقادیر شنی، سیلت و رس شده است، به‌طوری‌که دامنه اختلاف بین بیشینه و کمینه شنی و سیلت بیش از 70 درصد است. میانگین هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده در کاربری‌های باغ، زراعت و بایر به ترتیب 428/67، 1821/94 و 6690/96 سانتی‌متر بر ساعت محاسبه شد. داده‌های هدایت هیدرولیکی اشباع دارای تغییرپذیری بالایی بودند به‌طوری‌که دامنه مقدار این تغییرات از 0/02 تا 2325/71 سانتی‌متر در ساعت نوسان داشت که کم‌ترین مقدار k_s در کاربری باغ (کم‌ترین میزان جرم مخصوص ظاهری) و بیش‌ترین آن در کاربری بایر (بیش‌ترین جرم ویژه ظاهری) مشاهده شد. نوع محصول در کاربری باغ متفاوت بود که این نوسانات با توجه به تأثیر نوع کاربری روی خصوصیات خاک مانند خصوصیات شیمیایی و جرم مخصوص ظاهری و حجم خلل و فرج خاک دور از انتظار نیست. به عبارت دیگر، مدیریت‌های مختلف زراعی در کاربری باغات (همانند میزان کود آلی استفاده شده، میزان به‌هم خوردگی خاک سطحی و ...) باعث بروز تغییرات زیاد ضریب آب‌گذری خاک سطحی در این کاربری نسبت به سایر کاربری‌ها شده است. از کاربری باغ به سمت بایر میزان هدایت آبی اشباع افزایش یافته که یکی از دلایل آن تغییر مدیریت زراعی در باغات و افزایش میزان مواد آلی در اثر استفاده از کودهای دامی می‌باشد. از آنجا که بافت غالب خاک‌های منطقه مطالعاتی، شنی و سبک بوده است، لذا افزایش مواد آلی باعث افزایش ظرفیت نگهداشت آب در لایه سطحی از طریق بهبود نسبت تخلخل‌های ریز و متوسط نسبت به تخلخل‌های درشت و نهایتاً کاهش ضریب آب‌گذری خاک شده است. بطور کلی و با در نظر گرفتن ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری‌های فوق مشخص می‌گردد که کاربری باغ با داشتن ضریب تغییرات 494 درصد بیشترین و کاربری بایر با داشتن ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی معادل 96 درصد کمترین

تغییرپذیری مکانی را داشته‌اند. به عبارت دیگر با افزایش مقدار دخالت انسان از طریق اعمال مدیریت‌های زراعی مختلف، میزان تغییرپذیری ضریب هدایت هیدرولیکی نیز افزایش یافته است. ضمن اینکه ماهیت خود ضریب هدایت هیدرولیکی نیز بسیار پویاست. از آنجایی که در منطقه، اراضی تحت کشت مرتباً² و به‌صورت فصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در نتیجه به‌صورت مکرر تحت عملیات زراعی از قبیل شخم، کوددهی، کشت، برداشت و عبور و مرور ادوات کشاورزی قرار دارند که همه این عوامل با تأثیر بر ساختمان خاک، اختلاف k_s را در کاربری‌ها باعث می‌شوند. کاملاً واضح است که با توجه به فواصل 1000 متر، کم و زیاد شدن سهم هریک از نسبت‌های شن و سیلت و به‌طور کلی فاکتورهای مؤثر بر توزیع تخلخل درشت² با تأثیر بر ρ_b نقش مهمی در توجیه نحوه توزیع مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) دارند. ارزیابی مکانی توزیع متغیرهای مختلف بستگی به نیم‌تغییرنمای ترسیم شده دارد. نیم‌تغییرنماهای ترسیم شده برای کاربری‌های باغ، بایر و زراعت به ترتیب در شکل (2، 3 و 4) نشان داده شده‌اند.

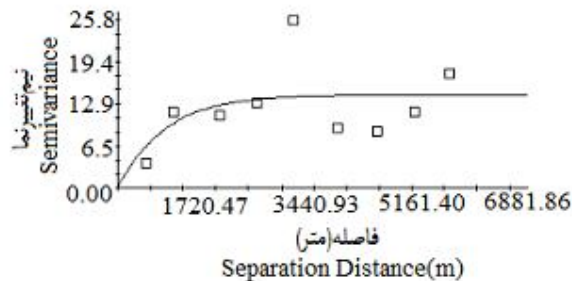
برای بررسی ساختار مکانی، از نیم‌تغییرنمای همه‌جانبه که بیانگر متوسط تغییرات مکانی متغیرهای مطالعه شده در تمام راستاها است، استفاده گردید. نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه (C_0/C_0+C) شاخصی از قدرت ساختار متغیرهای مکانی است. کمباردلا و همکاران (6) نشان دادند که اگر این نسبت کمتر از 0/25 باشد، متغیر از ساختار مکانی قوی، بین 0/25 تا 0/75، ساختار مکانی متوسط و اگر این نسبت بیش از 0/75 باشد ساختار مکانی آن ضعیف خواهد بود. با توجه به خصوصیات نیم‌تغییرنمای رسم شده برای کاربری‌های مدنظر (جدول 1، 2 و 3)، روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع برای باغ و زراعت یکسان است و هر دو از مدل گاوسی پیروی می‌کنند که با توجه به نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه (C_0/C_0+C)، متغیر هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری زراعت از هم‌بستگی مکانی قوی‌تری (0/0006) و شعاع دامنه تأثیر بیش‌تر (11740 متر) نسبت به کاربری باغ با نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه 0/28 و شعاع دامنه تأثیر 8030 متر برخوردار است اما مدل گاوسی در کاربری زراعت با $r^2=0/065$ نسبت به کاربری باغ با $r^2=0/75$ توانایی کم‌تری در توجیه تغییرات تغییرنمای تجربی K_s دارد. کاربری بایر با مدل نمایی و با توجه به نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه $(C_0/C_0+C)/0/0006$ در کلاس هم‌بستگی قوی قرار می‌گیرد. متقیان و همکاران (12) برای خصوصیات هیدرولیکی خاک، هم‌بستگی مکانی متوسط تا قوی را گزارش کردند. مدل نمایی در کاربری بایر با $r^2=0/27$ تنها قادر به توجیه 27 درصد از تغییرات تغییرنمای تجربی است.



شکل 3- نیم تغییرنمای برازش داده شده در کاربری زراعت
Figure 3- The fitted Semivariograms in the Agricultural land



شکل 2- نیم تغییرنمای برازش داده شده در کاربری باغ
Figure 2- The fitted Semivariograms in the Garden land



شکل 4- نیم تغییرنمای برازش داده شده در کاربری بایر
Figure 4- The fitted Semivariograms in the Wilderness land

جدول 4- پارامترهای تغییرنماهای برازش داده شده در کاربری باغ
Table 4- The Parameters of fitted Semivariograms in the garden land

متغیر Variable	مدل Pattern	C_0	C_0+C	C_0/C_0+C	$A_0(m)$	r^2
Sand	کروی Spherical	1.000	465.0	0.0002	3720	0.83
Silt	کروی Spherical	0.750	5.806	0.13	5830	0.82
Clay	نمایی Exponential	0.202	0.568	0.35	1720	0.71
k_s	گاوسی Gaussian	2.460	8.719	0.28	8030	0.57

C_0 : اثر قطعی، C_0+C : آستانه، C_0/C_0+C : نسبت واریانس قطعی به آستانه، $A_0(m)$: دامنه تأثیر، r^2 : ضریب همبستگی

بایر، کمترین مقدار را در بین کاربری‌های مطالعاتی به خود اختصاص داد به طوری که با وجود همبستگی قوی، دامنه تأثیر این همبستگی کمتر است و نسبت به سایر کاربری‌ها روند تغییرات بیش‌تر تصادفی است. از دلایل آن می‌توان به مساحت این کاربری و پراکنش نقاط نمونه‌برداری و فاصله زیاد بین جفت نقاط اشاره کرد. کمترین همبستگی مکانی مربوط به کاربری باغ با کلاس همبستگی مکانی متوسط بود. مقایسه شکل تغییرنما و شیب قسمت میانی کاربری‌ها

خصوصیات نیم‌تغییر نماهای هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری‌های باغ، بایر و زراعت، به ترتیب در جدول (4، 5 و 6) آورده شده است.

در این حالت، شعاع دامنه تأثیر، 830 متر به دست آمد، به این معنی که ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری بایر فقط تا فاصله 830 متری همبستگی مکانی دارد و از این فاصله به بعد روند تغییرات K_s به صورت تصادفی است. شعاع دامنه تأثیر در کاربری

است و علت این امر را می‌توان به همگن شدن داده‌ها در اثر جداسازی داده‌های موجود در کاربری‌های یاد شده نسبت داد، به‌این معنی که با جدا کردن نقاط مربوط به باغ و با فرض عدم وجود این نقاط در منطقه مطالعاتی، هم‌بستگی مکانی داده‌ها افزایش یافته است.

(شکل 1، 2 و 3) نشان می‌دهد که ساختار مکانی پارامتر K_s در کاربری زراعت به سمت باغ، کمتر بوده است. در عین حال تغییرات تصادفی در کاربری زراعی بیش‌تر از سایر کاربری‌ها بود زیرا با کم شدن تعداد نقاط نمونه‌برداری در باغ، میانگین فاصله بین نقاط افزایش یافته است که موجب افزایش هم‌بستگی مکانی در کاربری باغ شده

جدول 5- پارامترهای تغییرنماهای برازش شده در کاربری زراعی

Table 5- The Parameters of fitted Semivariograms in the Agricultural land

متغیر Variable	مدل Pattern	C_0	C_0+C	C_0/C_0+C	$A_0(m)$	r^2
Sand	کروی Spherical	1.000	1012.9	0.0009	6370	0.93
Silt	گاوسی Gaussian	161	832.9	0.19	4050	0.88
Clay	کروی Spherical	0.062	1.844	0.03	13960	0.96
k_s	گاوسی Gaussian	11.25	38.01	0.0006	11740	0.065

جدول 6- پارامترهای تغییرنماهای برازش شده در کاربری بایر

Table 6- The Parameters of fitted Semivariograms in the Wilderness land

متغیر Variable	مدل Pattern	C_0	C_0+C	C_0/C_0+C	$A_0(m)$	r^2
Sand	کروی Spherical	1.00	2112	0.0004	18590	0.71
Silt	کروی Spherical	1.00	2110	0.0004	21100	0.70
Clay	گاوسی Gaussian	0.47	22.930	0.06	9030	0.70
k_s	نمایی Exponential	0.01	14.31	0.0006	830	0.27

پیروی نماید. بنابراین نیاز به یک‌سری پارامترهای آماری دیگر، جهت تعیین میزان کارایی تکنیک موردنظر می‌باشد. از این رو از پارامترهای کمی میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) به‌منظور ارزیابی دقت و کارایی مدل برازش داده شده، استفاده گردید.

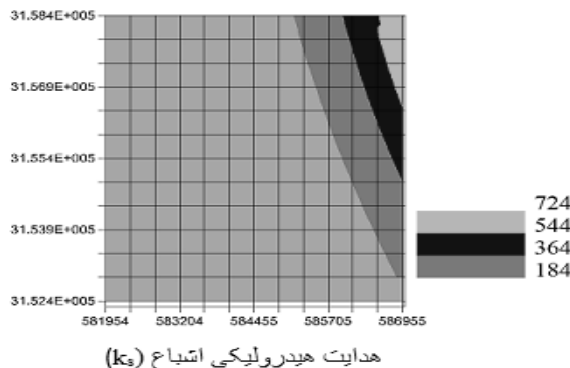
به‌طور کلی، برآورد زمین‌آماري فرآیندی است که طی آن مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم با استفاده از همان کمیت در نقاطی دیگر با مختصات معلوم به دست می‌آید. پس از محاسبه تغییرنمای تجربی، تغییرنمای تئوری متغیرها با برازش مدل‌های مختلف به داده‌ها تعیین گردید. در این پژوهش از مدل‌های برازش داده شده بر تغییرنماهای تجربی پارامترهای موردنظر، به منظور برآورد آن‌ها به روش کریجینگ معمولی استفاده شد. بنابراین با استفاده از پارامترهای موجود در جدول‌های (1، 2 و 3) و نرم افزار GS^+ نقشه میان‌یابی شده متغیرهای فیزیکی ترسیم شد.

شیب بخش میانی تغییرنمای به دست آمده از داده‌های باغ نسبتاً زیاد است، بنابراین این تغییرنما در فاصله کوتاه‌تری به آستانه رسیده است که این رخداد ناشی از افزایش فاصله بین نقاط اندازه‌گیری شده است. زیرا با افزایش این فاصله، اثر داده‌های نزدیک به هم از نظر زمین‌آماري معنی‌دارتر می‌شود، بنابراین کاهش دامنه تغییرنما دور از انتظار نیست. قربانی و همکاران (8) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، درحالی‌که حالت و همکاران (9) و سپاس‌خواه و همکاران (17) گزارش کردند که با افزایش فاصله بین نقاط اندازه‌گیری، هم‌بستگی مکانی داده‌ها کاهش می‌یابد.

اگرچه ضریب هم‌بستگی به‌خوبی نشان‌دهنده میزان هم‌آهنگی روند تغییرات مقادیر مشاهده شده نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد اما گویای تطابق آن‌ها نیست (3). زیرا ممکن است در یک مدل فرضی، مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده دارای اختلاف فاحشی باشند ولی این اشتباهات به‌گونه‌ای باشد که از یک روند یکپارچه

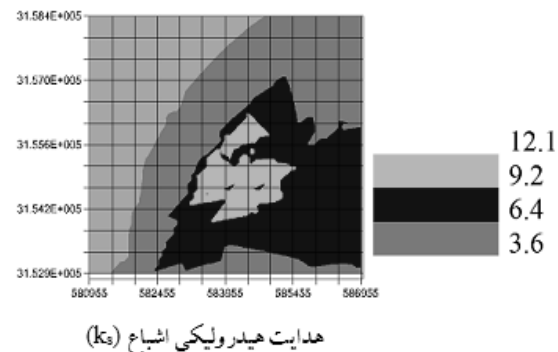
نقشه پهنه‌بندی مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در کاربری بایر، این متغیر از الگوی پراکنش نامنظمی برخوردار است که مقادیر زیاد این متغیر در کاربری بایر تنها مساحت کوچکی از این اراضی را در قسمت‌های مرتفع منطقه با بافت سبک در جنوب غربی پوشش داده‌اند و پراکنش کمی دارند. به نظر می‌رسد اراضی این کاربری، بیشتر تحت تأثیر توپوگرافی منطقه قرار دارند.

در همه کاربری‌های ذکر شده، الگوی پراکنش k_s مطابق با نوع استفاده از کاربری و طبیعتاً نوع سیستم مدیریتی اراضی می‌باشد. در واقع فاکتورهای نوع کاربری و بالطبع نوع کشت اراضی، نوع سیستم مدیریتی اراضی، نوع عملیات زراعی، توزیع اندازه‌ای ذرات و جرم ویژه ظاهری خاک، بیش‌ترین تأثیر را بر تغییرپذیری K_s داشتند. کلیشادی همکاران (10)، دلیل تغییرپذیری زیاد خصوصیات هیدرولیکی خاک در کاربری‌های مختلف راه، تکنیک‌های مدیریتی متفاوت و شرایط محیطی بیان نمودند. قربانی دشتکی و همکاران (8) نیز، تأثیر نوع کاربری را بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گزارش کردند.

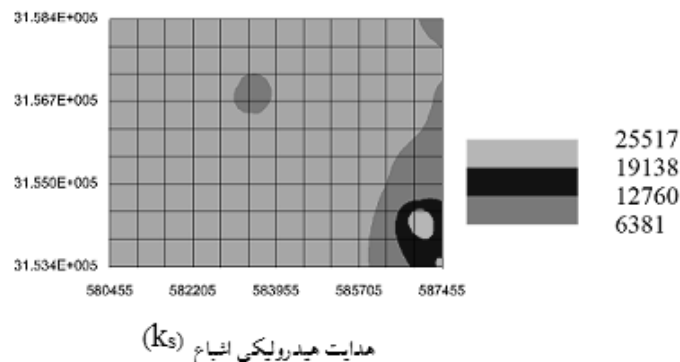


شکل 6- نقشه پهنه‌بندی مکانی k_s در کاربری زراعت
Figure 6- Spatial distribution map of k_s Variable in the Cultivation land

نقشه پهنه‌بندی مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری باغ در شکل (2) نشان داده شده است. پراکنش مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در نیمه شرقی نامنظم‌تر و به سمت غرب منظم‌تر می‌شود. در نیمه شرقی، باغات ترکیبی از باغ مرکبات و باغ نخیلات بودند، درحالی‌که نیمه غربی منطقه به‌طور کامل با باغ مرکبات پوشیده شده بود که این امر نشان‌دهنده تأثیر نوع استفاده کاربری بر هدایت آبی اشباع خاک است. همچنین باتوجه به روند افزایشی مقدار k_s و روند کاهش سیلت و رس به سمت شرق اراضی باغ و متعاقباً افزایش خلل و فرج درشت، افزایش مقدار K_s قابل انتظار است. همان‌طور که در شکل 3 نشان داده شده است، توزیع متغیر هدایت هیدرولیکی در کاربری زراعت به صورت منظم می‌باشد. در اراضی زراعت، انواع کشت‌های زراعی با توزیع یکنواختی در منطقه وجود دارند و به سمت غرب منطقه در حال افزایش است که این افزایش با الگوی پراکنش k_s هم‌خوانی دارد و همین امر سبب بالا رفتن میزان K_s در محدوده کاربری زراعی شده است. نقشه پهنه‌بندی مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری بایر در شکل (2) نشان داده شده است. باتوجه به



شکل 5- نقشه پهنه‌بندی مکانی k_s در کاربری باغ
Figure 5- Spatial distribution map of k_s Variable in the garden land



شکل 7- نقشه پهنه‌بندی مکانی k_s در کاربری بایر
Figure 7- Spatial distribution map of k_s Variable in the sterile land

نتیجه‌گیری کلی

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (k_s) با هم‌بستگی مکانی قوی از تغییرپذیری مکانی بالایی برخوردار است که این تغییرات در کاربری باغ بیش‌ترین و در کاربری بایر کم‌ترین مقدار را دربرگرفتند و دلیل این امر نوع کاربری و تکنیک مدیریتی بسته به نوع کاربری می‌باشد. باتوجه به هم‌بستگی معنی‌دار مثبت k_s با مقدار شن و هم‌بستگی معنی‌دار منفی k_s با مقدار سیلت، الگوی پراکنش k_s با متغیرهای شن هم‌روند و با الگوی پراکنش رس در خلاف جهت دیده شد که همین امر، تأثیر خصوصیات فیزیکی خاک را بر هدایت هیدرولیکی اشباع نشان می‌دهد. باتوجه به پارامترهای ارزیابی MBE و MAE و

CRM، بهترین مدل برازش داده شده به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، مدل گاوسی می‌باشد. ویژگی‌های خاک نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع، دارای تغییرپذیری مکانی وابسته به مقیاس نمونه‌برداری هستند. درنهایت، باتوجه به اهمیت مقیاس و تأثیر مستقیم آن بر نتایج، پیشنهاد می‌گردد که در صورت انجام تحقیق‌های مشابه سهم مقیاس مطالعاتی در تعیین دقت برآوردها و نهایتاً نقشه‌های خروجی در نظر گرفته شوند. نتایج این پژوهش می‌تواند در پژوهش‌های درخصوص شبیه‌سازی حرکت آب در خاک، انتشار املاح و طراحی سیستم‌های زهکشی و برنامه‌های بهینه‌سازی مدیریت آب و خاک در منطقه مطالعاتی، مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- 1- Abu-Hashim M.S.D. 2011. Impact of land-use and land-management on water infiltration capacity of soils on a catchment scale. PhD Thesis Fakultat Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Germany.
- 2- Angulo-Jaramillo R., Moreno F., Clothier B.E., Thony J.L., Vachaud G., Fernandez- Boy E., and Cayuela J.A. 1997. Seasonal variation of hydraulic properties of soils measured using a tension disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*. 61: 27–32.
- 3- Barzegar A. 2004. Advanced soil physics. Publications of Shahid Chamran University. Ahvaz.
- 4- Bormann H., and Klaassen K. 2008. Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two northern German soils. *Geoderma*. 145: 295–302.
- 5- Bronson K.F., Zobeck T.M., Chua T.T., Acosta-Martinez V., Van Pelt R.S., and Booker J.D. 2004. Carbon and nitrogen pools of southern high plains cropland and grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*. 68 (5): 1695–1704.
- 6- Cambardella C.A., Moorman T.B., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F., and Konopka A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- 7- Franzluebbers A.J., Stuedemann J.A., Schomberg H.H., and Wilkinson S.R. 2000. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biology and Biochemistry*. 32 (4): 469–478.
- 8- Ghorbani Dashtaki Sh., Homaee M., and Madian M.H. 2009. Effect of land use change on spatial variability of infiltration parameters. *Journal of Irrigation and drainage*, 2(4):206-221.
- 9- Hallet P.D., Nunan N., Douglas J.T., and Young I.M. 2004. Millimeter-scale spatial variability in soil water sorptivity: scale, surface elevation and subcritical repellency effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 352- 358.
- 10- Kelishadi H., Mossaddeghi M.R., Hajabbasi M.A., and Ayoubi S. 2014. Near-saturated soil hydraulic properties as influenced by land use management systems in Koohrang region of central Zagros, Iran. *Geoderma*. 213, 426-434.
- 11- Klute A., and Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1*. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Pp. 687-734.
- 12- Motaghian H.R., Karimi A., and Mohammadi J. 2007. Analysis of spatial variability of specific physical and hydraulic properties of soil on a catchment scale. *Journal of water and soil (agricultural sciences and technology)*, 22(2):432-446.
- 13- Neves C.S.V.J., Feller C., Guimaraes M.F., Medina C.C., Tavares Filho J., and Fortier M. 2003. Soil bulk density of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. *Soil & Tillage Research*. 71 (2): 109–119.
- 14- Nielsen, D.R., Biggar J.W., and Erh K.T. 1973. Spatial variability of field-measured soil- water properties. *Hilgardia*. 42 (7): 215–259.
- 15- Rekman J., Turski R., and paluszek J. 1998. Spatial and Temporal Variations in erodibility of loess. *Soil and Tillage Res.* 6(1, 2): 61-68.
- 16- Reynolds W.D., and Elrick D.E. 1987. Laboratory and numerical assessment of the Guelph permeameter method. *Soil Sci.* 144: 244-282.
- 17- Sepaskhah A.R., Ahmadi S.H., and Nikbakht Shahbazi A.R. 2005. Geostatistical analysis of sorptivity for a soil

- under tilled and no-tilled conditions. *Soil and Tillage Res.*, 83: 237-245.
- 18- Wei H., Mingan Sh., Qianjiu W., and Dongli S. 2013. Effects of measurement method, scale, and landscape features on variability of saturated hydraulic conductivity. *ASCE*. 378-386.
- 19- Zeinalzadeh K., Kashkuli H.A., Naser A., Dadmehr R., and Eivazi A.R. 2009 Temporal changes soil hydraulic parameters in agriculture different land uses. *Journal of water research in agriculture (formerly soil and water sciences)*, 24(1):1-11.
- 20- Zhou X., Lin H.S., and White E.A. 2008. Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land use and their temporal changes. *Catena* 73, 180-188.



Evaluation the Effect of Different Land Use and Soil Characteristics on Saturated Hydraulic Conductivity

E. Afzali Moghadam¹ - N. Boroomand^{2*} - V. R. Jalali³ - S. Sanjari⁴

Received: 30-04-2016

Accepted: 25-09-2017

Introduction: The hydraulic parameters are very important for perception of water flow in unsaturated soil and using pollutants and nutrient flow modeling in the soil. The effect of soil management and land uses on soil parameters can directly alter soil hydraulic parameters. Because of interactive and tight relationship between soil and plant covering, studying the soil parameters and its changing during different land uses is vital. The main object of this study was evaluating the effects of different land uses on soil saturated hydraulic conductivity.

Materials and Methods: This study was performed in about 100 hectare fields of Khezrabad region in the 25 km south of the Jiroft county located in south eastern of Kerman province. The region gridded into 1000×1000 meter grids with use of Google earth and Arc GIS software, sampling places has been selected in the center of each grid. Measurement of soil saturated hydraulic conductivity done with the Guelph permeameter in the center of each grid. For the measurement of physical parameters such as bulk density, percent of sand, silt, clay in the laboratory, sampling done from 30cm depth so samples transferred to the laboratory. In this study in order to ensure the normal distribution of variables, the Kolmogorov-Smirnov test has been used with SPSS14 software. The Kriging method was used for interpolation and providing spatial maps.

Results and Discussion: Agriculture, garden and sterile lands were selected for the object of the present study. The study area includes garden, agriculture and sterile lands at the same time. The study area contains 3 classes of soil texture as: sandy, sandy-loamy and loamy-sand. The results showed that soil saturated hydraulic conductivity (k_s) with strong spatial correlation had a high spatial variability. The fluctuation ranges of its values changes from 0.02 to 2325.71 cm per hour. The lowest value of k_s was observed in garden land (by having the lowest value of soil bulk density) while the highest value was observed in sterile land (by having the highest value of soil bulk density). The results also showed that semi-variogram of garden, agriculture and sterile land were not the same, and it may gain from different types of agricultural operations, type of land use and various textures so that from garden land to sterile land, the soil texture becomes lighter and level of saturated hydraulic conductivity changes completely different. Several reasons maybe considered including soil different structures due to different type of agricultural operations and type of cultivation for every single land use. The change process of saturated hydraulic conductivity for garden and agricultural land was identical and for both the Gaussian model were fitted. According to the nugget effect ratio to the sill (C_0/C_0+C), variability of saturated hydraulic conductivity in agricultural land has a stronger spatial correlation (0.0006) and also has a higher radius of effect range (11740m) compared to garden land in which the ratio of the nugget effect ratio to sill is 0.28 and its radius of effect range is 8030 meters. the radius of effect range in sterile land had the lowest value among studied land uses, though having strong correlation, the effect range of this correlation is low and, compared to other lands, the changes process was more randomly obtained. To mention the reasons of this finding it is possible to refer to area of the sterile land, dispersion of the sampling points and long distance between pair points. The lowest spatial correlation belonged to garden land with middle spatial correlation class and the reason can be explained as due to increase of sand, decrease of clay and silt, bulk density of soil increases as well and leads to increase of coarse pores and consequently increasing saturated hydraulic conductivity of soil.

Results showed that soil saturated hydraulic conductivity (k_s) with strong spatial correlation has high spatial variability and these variability consist lowest quantity in the garden lands and highest quantity in the sterile lands. The distribution pattern of K_s was seen similar to the sand and the soils bulk density, this pattern was opposite to the clay distribution pattern, this indicates the effect of soil physical parameters on saturated hydraulic conductivity.

1 and 4- M.Sc. Student and Lecturer, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft

2 and 3- Associate Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman

(* - Corresponding Author Email: nbroomand@yahoo.com)

Conclusion: According to the evaluation parameters CRM, MAE and MBA, Gaussian model is the best fitted model to soil saturated hydraulic conductivity data and soil parameters such as saturated hydraulic conductivity consist spatial variability related to sampling scale. The factors of land type and consequently type of land cultivation, lands management system, type of agricultural operations, soil particles size and bulk density of soil have the most impact on variability of K_s .

Keywords: Guelph permeameter, Jiroft, Kriging, Spatial variability



اثرات ماده آلی محلول بر جذب علف کش متری بیوزین در دو خاک مختلف

محمد رضا ریگی^{1*} - محسن فرحبخش²

تاریخ دریافت: 1395/05/16

تاریخ پذیرش: 1396/06/27

چکیده

مصرف بی‌رویه و نادرست آفت کش‌ها سبب آلودگی محیط زیست شده است. به منظور کاهش تحرک این ترکیبات در خاک و آلودگی محیط زیست، لزوم کمی نمودن سرنوشت علف کش‌هایی با مصرف خاکی وجود دارد. در این تحقیق جذب ماده آلی محلول با غلظت‌های 0، 10، 20، 40، 80 و 160 میلی گرم کربن آلی در لیتر در دو خاک در شرایط آزمایشگاهی و در دمای ثابت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر pH و ماده آلی محلول با غلظت‌های مختلف (0، 10، 40 و 160 میلی گرم در لیتر) بر جذب علف کش متری بیوزین (با مقادیر 1/5، 2، 3، 4، 5 و 6 میلی گرم در کیلوگرم) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که ماده آلی محلول بر روی خاک‌ها جذب سطحی شده و هم‌دمای آن‌ها با مدل فروندلیچ مطابقت داشت. جذب سطحی علف کش متری بیوزین در هر دو خاک 1 و 2 در حضور ماده آلی محلول کاهش نشان داد. به طوری که بیشترین مقدار جذب متری بیوزین در هر دو خاک 1 و 2 در تیمار بدون حضور ماده آلی محلول به ترتیب 38/19 و 29/71 میلی گرم در کیلوگرم و کمترین میزان در تیمار 160 میلی گرم ماده آلی محلول در لیتر به ترتیب 7/75 و 5/42 میلی گرم در کیلوگرم بدست آمد. جذب متری بیوزین در دامنه pH 4-5/5 در خاک 1 و 2 در تیمار عدم حضور ماده آلی محلول به ترتیب 8/54 و 6/23 درصد بیشتر از تیمار حضور ماده آلی محلول محاسبه گردید. به طور کلی افزایش غلظت ماده آلی محلول، سبب کاهش جذب متری بیوزین بر روی دو خاک گردید.

واژه‌های کلیدی: آفت کش، تریازین، کربن آلی محلول، هم‌دمای جذب

مقدمه

طور معنی داری انتقال و سرنوشت ترکیبات آلی را در خاک‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد (12 و 25). ماده آلی محلول می‌تواند جذب آفت کش در سطح خاک را تحت تأثیر قرار دهد (2). ماده آلی محلول ممکن است جذب آفت کش را از طریق ایجاد ترکیب پایدار ماده آلی محلول - آفت کش (3) و یا از طریق رقابت با مولکول‌های آفت کش برای جذب در نقاط جذبی ذرات خاک، کاهش دهد (14). اما در برخی شرایط، اگر ماده آلی محلول جذب شده در سطح ذرات خاک مکان‌های جذبی اضافی را برای جذب آفت کش فراهم نماید در این صورت جذب آفت کش بر روی خاک تشدید می‌شود.

متری بیوزین با نام علمی (4-amino-6-(1,1-dimethylethyl)-3-(methylthio)-1,2,4-triazin-5(4H)-one) علف کشی از خانواده اس - تریازین می‌باشد. در شکل 1 ساختمان شیمیایی متری بیوزین نشان داده شده است. این علف کش بیشتر از طریق ریشه جذب می‌شود. تأثیر آن از طریق جلوگیری از فتوسنتز گیاه (فتوسیستم II) صورت می‌گیرد. این ماده علف کشی است انتخابی و پیش رویشی برای مبارزه با گراس‌های یک ساله و تعداد زیادی از پهن برگ‌ها که در کشت‌های سیب زمینی، نیشکر، سویا، گوجه فرنگی، مارچوبه و یونجه مصرف می‌شود. مقدار مصرف 0/6-1/1 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار

با توجه به مصرف روز افزون آفت کش‌ها در اراضی کشاورزی، این ترکیبات بعنوان ترکیبات مضر شناسایی شده و دارای اثرات نامناسب و مخرب بر محیط زیست بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای مقادیر آنها در آب‌های سطحی و زیرزمینی در حال افزایش است (19). از این دسته ترکیبات می‌توان به علف کش‌های اضافه شده به خاک اشاره کرد که در اثر رواناب‌ها و فرآیند آبشویی می‌توانند به آب‌های زیرزمینی برسند (4 و 18). با توجه به این که تجزیه و آبشویی آفت کش‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به جذب این ترکیبات بر ذرات خاک و به ویژه ماده آلی خاک می‌باشد، لذا کاهش غلظت این ترکیبات در خاک ناشی از فرآیند جذب است (13). ورود مقادیر بسیار زیادی از ماده آلی محلول به درون خاک‌ها به

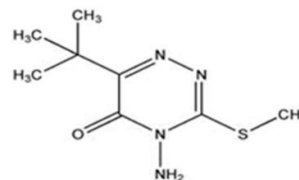
1- استادیار دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان
(*) نویسنده مسئول: Email: rezarigi@gmail.com

2- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.57650

است (9 و 27).

انتقال، تجزیه و قابلیت استفاده زیستی این ترکیبات را در محیط زیست تحت تأثیر قرار می‌دهد. تاکنون مطالعه محدودی برای بررسی جذب متری بیوزین در خاک صورت گرفته اما تاکنون گزارشی در مورد اثرات ماده آلی محلول بر جذب این علف‌کش در خاک به چاپ نرسیده است.

لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف ماده آلی محلول بر جذب علف‌کش متری بیوزین در دو خاک با بافت و مقدار کربن آلی مختلف انجام شد.



شکل 1- ساختمان شیمیایی متری بیوزین

Figure 1- Chemical structure of metribuzin

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی و خاک‌های مورد مطالعه

علف‌کش متری بیوزین از شرکت سیگما آلد ریج با خلوص بالا (بیش از 99 درصد) تهیه گردید. سایر حلال‌های آلی با خلوص کروماتوگرافی گازی-جرمی و از ترکیبات شیمیایی با خلوص بالا استفاده شد. هیومیک اسید (نمک سدیمی) به شکل پودری سیاه رنگ و با درجه تکنیکال¹ (70 درصد هیومیک اسید) از شرکت فیشر تهیه شد. نمونه‌های خاک سطحی (از عمق 0-20 سانتی‌متری)، هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند و ویژگی‌های آن‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید. با توجه به این که در بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دو ویژگی بافت و مقدار کربن آلی خاک تأثیر بیشتری بر جذب سطحی ترکیبات آلی دارند لذا در این تحقیق دو نمونه خاک با تفاوت در بافت و مقدار کربن آلی آن‌ها انتخاب گردید. برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول 1 آورده شده است.

تهیه ماده آلی محلول با غلظت‌های مختلف

برای این منظور محلول غلیظی از هیومیک اسید تهیه گردید و برای استخراج ماده آلی محلول به مدت 24 ساعت بر روی تکان دهنده رفت و برگشتی بهم زده و سپس در 15000 دور در دقیقه به مدت 30 دقیقه سانتریفیوژ گردید و محلول رویی از فیلتر سلولزی 0/45 میکرون عبور داده شد (5). مقدار pH و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره به ترتیب 9/0 و 2/26 دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. به منظور جلوگیری از فعالیت‌های میکروبی از تیمول با غلظت 0/01 مولار استفاده گردید. میزان کربن آلی محلول با استفاده از دستگاه TOC Analyzer (TOC-Apollo 9000) اندازه‌گیری شد. سایر غلظت‌های مورد نیاز در این آزمایش (10، 20، 40، 80 و 160 میلی‌گرم کربن آلی در لیتر) از همین محلول در 0/01 مولار کلرید کلسیم تهیه شد و تا زمان مصرف، در یخچال و دمای 4 درجه

پنجمین و همکاران (17) تأثیر برهم‌کنش‌های ماده آلی محلول با علف‌کش‌های بروماسیل، متری بیوزین، آلاکلر، داکوات و پاراکوات را بر پتانسیل آبشویی علف‌کش‌های مورد مطالعه، مورد بررسی قرار دادند. در آزمایش جذب، به جز داکوات و پاراکوات سایر علف‌کش‌ها با ماده آلی محلول پیوندی برقرار نکردند. سلیس و همکاران (5) گزارش کردند که کربن آلی استخراج شده از لجن فاضلاب جذب آترازین بر روی خاک را کاهش داد اما لجن کمپوست شده جذب آترازین توسط خاک را تشدید نمود که دلیل احتمالی آن جذب آترازین توسط کربن آلی جذب شده در سطح خاک گزارش شد. سیول و لی (21) اثر همراهی عصاره‌های مختلف ماده آلی محلول و هیومیک اسید را بر جذب آترازین و پرومترین در دو خاک مورد مطالعه قرار دادند. جذب ماده آلی محلول توسط خاک در دامنه 10-1/5 لیتر در کیلوگرم بدست آمد و خاک لوم‌سیلتی تمایل بالاتری برای ماده آلی محلول نسبت به خاک لوم‌شنی نشان داد. ماده آلی محلول تا غلظت 150 میلی‌گرم در لیتر هیچ گونه تأثیر معنی‌داری بر جذب آترازین و پرومترین در خاک‌ها نداشت. چن و همکاران (6) با مطالعه اثر اندازه اجزای ماده آلی محلول بر تحرک پرومترین در خاک نشان دادند که افزودن اجزای مختلف ماده آلی محلول در غلظت 50 میلی‌گرم در لیتر به خاک، سبب کاهش جذب و افزایش واجذب پرومترین گردید. چن و همکاران (7) با بررسی اثر اجزای ماده آلی محلول بر تحرک پرومترین در خاک نشان دادند که هر دو جزء مواد آب‌دوست و گروه‌های اسیدی آب‌گریز سبب کاهش جذب پرومترین در خاک‌ها شدند و تحرک آن را افزایش دادند. در این بین گروه‌های آب‌دوست تأثیر بیشتری بر تحرک پرومترین داشتند. دینگ و همکاران (8) در آزمایشی تأثیر مولکول‌های اسیدهای آلی سبک و ماده آلی محلول بر جذب و تحرک ایزوپروترون در دو خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که داده‌های جذب با مدل فروندلیچ مطابقت بهتری داشته و ظرفیت جذب خاک‌ها برای ایزوپروترون در حضور هر دو ترکیب در خاک ژلی سول کاهش و واجذب آن افزایش داشت. هرچند که در خاک کبمی سول نتایج کاملاً برعکس بود.

جذب فرآیند مهمی برای ترکیبات آلاینده آلی در خاک بوده که

1- Technical grade

سانتی‌گراد نگهداری گردید.

آزمایش بررسی جذب ماده آلی محلول در دو نمونه خاک

در این آزمایش، جذب ماده آلی محلول با غلظت‌های مختلف در دو خاک در شرایط آزمایشگاهی و در دمای 22 ± 0.2 سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش از محلول‌هایی شامل 0، 10، 20، 40 و 160 میلی‌گرم کربن آلی در لیتر در 0/01 مولار کلرید کلسیم، بعنوان الکترولیت زمینه برای ثابت نگه داشتن قدرت یونی محلول خاک و هموار کننده ذرات، استفاده گردید. تیمول با غلظت 0/01 مولار نیز به محلول الکترولیت برای جلوگیری از تجزیه میکروبی اضافه شد. میزان pH محلول‌ها در مقدار 9 با استفاده از اسید کلریدریک 0/1 مولار یا هیدروکسید کلسیم 0/1 مولار تنظیم شد. مقدار یک گرم از نمونه‌های خاک را در لوله‌های شیشه‌ای 15 میلی‌لیتری ریخته و 10 میلی‌لیتر از هر غلظت ماده آلی محلول به آن

اضافه شد. یک نمونه شاهد با افزودن 10 میلی‌لیتر از محلول 0/01 مولار کلرید کلسیم و نیز عصاره ماده آلی محلول خود نمونه‌های خاک (که به روش تکان دادن، سانتی‌فیوژ و صاف کردن تهیه شد) برای مقایسه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. آزمایشات در سه تکرار انجام شد. نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در 140 دور در دقیقه تکان داده شد و در پایان زمان تعادل، نمونه‌ها در 4500 دور در دقیقه به مدت 15 دقیقه سانتی‌فیوژ گردید. غلظت ماده آلی محلول در عصاره با استفاده از دستگاه TOC Analyzer اندازه‌گیری شد. کربن آلی جذب شده از اختلاف بین مقدار کربن آلی محلول مورد استفاده در ابتدای آزمایش و محلول تعادلی با خاک محاسبه گردید. با توجه به این که بخشی از ماده آلی خود خاک نیز به صورت محلول در می‌آید لذا این مقدار نیز با در نظر گرفتن نمونه شاهد، تعیین و در محاسبه کربن آلی جذب شده اعمال می‌گردد.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

Table 1- Some physical and chemical properties of the soils

شماره خاک Soil No.	بافت Texture	pH	کربن آلی Organic Carbon	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
				درصد (%)			cmol.kg ⁻¹
1	Loam	7.20	2.01	22.43	36.69	40.88	20.52
2	Silty loam	6.93	0.68	24.24	64.65	11.11	20.27

رویی جهت استخراج علف‌کش برداشته، و سپس مقدار pH محلول رویی نیز اندازه‌گیری شد. این آزمایش در سه تکرار انجام گرفت. از اختلاف بین غلظت اولیه و غلظت تعادلی علف‌کش در محلول، مقدار متری‌بیوزین جذب شده به دست آمد.

آزمایش بررسی اثر pH محلول بر جذب علف‌کش متری‌بیوزین در خاک‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر pH ماده آلی محلول بر جذب متری‌بیوزین با غلظت پنج میلی‌گرم در لیتر انجام گرفت. مقادیر pH های ماده آلی محلول (در دو وضعیت صفر و 160 میلی‌گرم کربن آلی در لیتر در محلول 0/01 مولار کلرید کلسیم) در چهار مقدار (4، 5/5، 7 و 9/5) با استفاده از محلول 0/1 مولار اسید کلریدریک یا هیدروکسید کلسیم تنظیم گردیدند. این آزمایش در دو نوع خاک و در سه تکرار انجام گرفت. در پایان زمان تعادل و سانتی‌فیوژ کردن میزان pH محلول رویی با استفاده از الکترود شیشه‌ای اندازه‌گیری گردید. در این شرایط آزمایشات جذب مطابق آنچه در بخش جذب علف‌کش متری‌بیوزین در خاک‌ها اشاره شده، انجام گرفت.

آزمایش بررسی جذب علف‌کش متری‌بیوزین در خاک‌های مورد مطالعه

مقدار 10 میلی‌لیتر از ماده آلی محلول با غلظت‌های مختلف (0، 10، 40 و 160 میلی‌گرم کربن آلی در لیتر) به لوله‌های شیشه‌ای (با درپوش پلی اتیلنی¹) حاوی یک گرم از نمونه‌های خاک، اضافه شد. مقدار مناسبی از محلول استاندارد غلیظ متری‌بیوزین در استونیتریل طوری به نمونه‌ها اضافه شد که غلظت علف‌کش در نمونه‌های خاک 1/5، 2، 3، 4، 5 و 6 میلی‌گرم در کیلوگرم گردید. برای جلوگیری از اثر حلال همراه، غلظت استونیتریل همیشه کمتر از 0/1 درصد از کل حجم محلول بود. تمامی غلظت‌های ماده آلی محلول، در کلرید کلسیم 0/01 مولار تهیه و برای غیر فعال نمودن فعالیت میکروبی از محلول 0/01 مولار تیمول استفاده گردید. میزان pH محلول‌ها با استفاده از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم 0/1 مولار در مقدار 9 تنظیم گردید. لوله‌ها به مدت 24 ساعت در 140 دور در دقیقه و دمای 22 ± 0.2 درجه سانتی‌گراد تکان داده شد. سپس در 4500 دور در دقیقه به مدت 15 دقیقه سانتی‌فیوژ و مقدار یک میلی‌لیتر از محلول

1- Poly Tetra Fluoro Ethylene (PTFE)

استخراج علف‌کش متری بیوزین از نمونه محلول

یک میلی لیتر از محلول عصاره (از آزمایشات قبلی ذکر شده) عبور داده شده از فیلتر 0/45 میکرون برداشته و دو میلی لیتر اتیل استات به آن اضافه شده و به مدت یک دقیقه بهم زده شد. بعد از اتمام زمان هم زدن، نمونه‌ها به مدت یک دقیقه به حال خود رها شده و یک میلی لیتر از محلول رویی برداشته و پس از عبور از فیلتر 0/45 میکرون به میکروتیوب انتقال داده شد. به منظور حذف آب در نمونه مقدار کمی سولفات سدیم خشک به هر نمونه اضافه گردید. نمونه‌ها قبل از اندازه‌گیری با دستگاه کروماتوگراف گازی مجهز به آشکارساز جرمی¹ در دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری متری بیوزین

غلظت متری بیوزین در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کروماتوگراف گازی اِیجیلنت مدل 6890N مجهز به آشکارساز جرمی مدل 5973 بر روی حالت SIM² و ستون HP-5 (30 متر طول $\times$ 0/25 میلی متر قطر $\times$ 0/5 میکرون ضخامت جداره) حاوی 5 درصد فنیل متیل تعیین گردید. شرایط عملیاتی دستگاه به این شرح بود: دمای اولیه آون 150 درجه سانتی‌گراد، دمای آون از 150 تا 300 درجه سانتی‌گراد با روند 25 درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافته و در انتها به مدت 0/5 دقیقه در دمای 300 درجه سانتی‌گراد باقی ماند. دمای آشکارساز 250 درجه سانتی‌گراد و دما تزریق کننده 250 درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. در شرایط ذکر شده زمان بازداری متری بیوزین 4/76 دقیقه بدست آمد. برای تعیین غلظت متری بیوزین از استاندارد خارجی و نمودار کالیبراسیون استفاده شد.

نتایج و بحث

جذب ماده آلی محلول در خاک‌ها

همدماهای جذب ماده آلی محلول در دو خاک در شکل 2 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در خاک 1 مقدار بیشتری از ماده آلی محلول، در سطح خاک قرار گرفته است. اختلاف بین مقدار ماده آلی محلول در سطح خاک‌های 1 و 2 در غلظت‌های بالاتر، بیشتر می‌شود.

بررسی همدماهای غیرخطی نشان داد که مدل فروندلیچ مطابقت بهتری ($R^2 > 0.999$) با جذب ماده آلی محلول در این دو خاک دارد. مقادیر پارامترهای فروندلیچ (K_F , $1/n$) و ضرایب تبیین متناظر در جدول 2 ارائه شده است. مقادیر K_F در دو خاک 1 و 2 به ترتیب در دامنه 3/82 و 0/95 لیتر در کیلوگرم می‌باشند که نشان می‌دهد خاک

1 دارای ظرفیت جذبی بالاتری از خاک 2 می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که جذب تابع غلظت ماده آلی محلول می‌باشد. ضریب توزیع ماده آلی محلول (K_{DOM}) بین خاک و ماده آلی محلول با استفاده از رابطه (1) محاسبه گردید:

$$K_{DOM} = \frac{q_{DOM}}{C_{DOM}} \quad (1)$$

که q_{DOM} و C_{DOM} به ترتیب غلظت ماده آلی محلول جذب شده در واحد وزن خاک و غلظت ماده آلی محلول در محلول تعادلی می‌باشند. در غلظت‌های مورد بررسی، مقادیر ضریب توزیع ماده آلی محلول خاک‌های 1 و 2 به ترتیب $6/95 \pm 0/59$ و $3/88 \pm 0/55$ لیتر بر کیلوگرم بدست آمدند. جذب ماده آلی محلول در خاک 1 بیشتر از خاک 2 می‌باشد. با توجه خصوصیات خاک‌ها، می‌توان افزایش جذب ماده آلی محلول را بر روی خاک‌ها به افزایش ماده آلی خاک نسبت داد به طوری که با افزایش ماده آلی خاک نقاط جذبی برای جذب ماده آلی محلول افزایش می‌یابد.

جذب علف‌کش متری بیوزین در خاک‌های مورد مطالعه

همدماهای مدل خطی جذب متری بیوزین توسط دو خاک در حضور و عدم حضور ماده آلی محلول در شکل 3 نشان داده شده است. مقادیر متری بیوزین جذب شده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت متری بیوزین در محلول مقدار متری بیوزین جذب شده در سطح افزایش می‌یابد به طوری که، دامنه مقدار متری بیوزین جذب شده در خاک 1 و در تیمار صفر میلی گرم کربن آلی در لیتر از 10/00 تا 38/19 میلی گرم متری بیوزین در کیلوگرم می‌باشد. همچنین افزایش غلظت ماده آلی محلول، سبب کاهش جذب متری بیوزین بر روی دو خاک گردید. به طوری که با افزایش غلظت ماده آلی محلول در خاک 1 از صفر تا 160 میلی گرم در لیتر، مقدار متری بیوزین جذب شده در تیمار 1/5 میلی گرم در لیتر، از 10/00 به 7/75 میلی گرم در کیلوگرم کاهش یافت. بیشترین مقدار جذب متری بیوزین در هر دو خاک 1 و 2 در تیمار بدون حضور ماده آلی محلول به ترتیب 38/19 و 29/71 میلی گرم در کیلوگرم و کمترین میزان در تیمار 160 میلی گرم ماده آلی محلول در لیتر به ترتیب 7/75 و 5/42 میلی گرم در کیلوگرم بدست آمد.

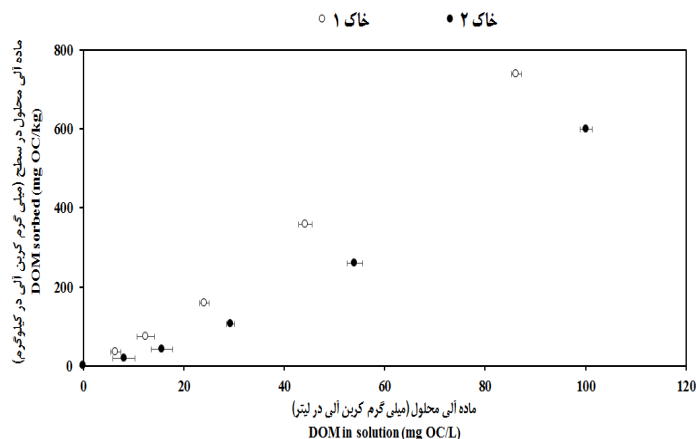
نتایج نشان داد که همدمای فروندلیچ مطابقت بهتری با داده‌های جذب متری بیوزین در تیمارهای مختلف ماده آلی محلول، دارد. پارامترهای مدل فروندلیچ و ضرایب تبیین تیمارهای مختلف ($R^2 > 0.981$) در جدول 3 ارائه شده است. در شرایط عدم وجود ماده آلی محلول، مقدار K_F برای خاک‌های 1 و 2 به ترتیب برابر با 18/52 و 10/01 لیتر بر کیلوگرم می‌باشد که نشان می‌دهد متری بیوزین تمایل کمی برای جذب در این خاک‌ها دارد هر چند که مقدار ظرفیت جذب در خاک 1 بیشتر از خاک 2 می‌باشد. در حضور ماده آلی محلول، با

1- Mass selective detector

2- Selected Ion Monitoring (SIM)

آلی محلول با علف‌کش متری‌بیوزین برای مکان‌های جذبی باشد. نتایج به‌دست آمده با یافته‌های سایر محققان مطابقت داشت (19، 21 و 25).

افزایش غلظت ماده آلی محلول در هر دو خاک، مقدار ظرفیت جذب کاهش نشان داد. دلیل احتمالی کاهش جذب علف‌کش متری‌بیوزین با افزوده شدن ماده آلی محلول به خاک می‌تواند ناشی از رقابت ماده



شکل 2- همدماهای جذب ماده آلی محلول در خاک‌ها (میل‌های خطا نشان‌دهنده انحراف معیار می‌باشند)

Figure 2- Sorption isotherms of dissolved organic matter (DOM) in the soils (Error bars indicates Standard deviation)

جدول 2- ضرایب فروندلیچ جذب ماده آلی محلول در خاک‌ها (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

Table 2- Freundlich coefficients of DOM sorption on soils (mean $\pm$ standard deviation)

شماره خاک Soil No.	1/n	K_F ($L \cdot kg^{-1}$)	R^2
1	1.18 ± 0.01	3.82 ± 0.02	0.999
2	1.4 ± 0.01	0.95 ± 0.01	0.999

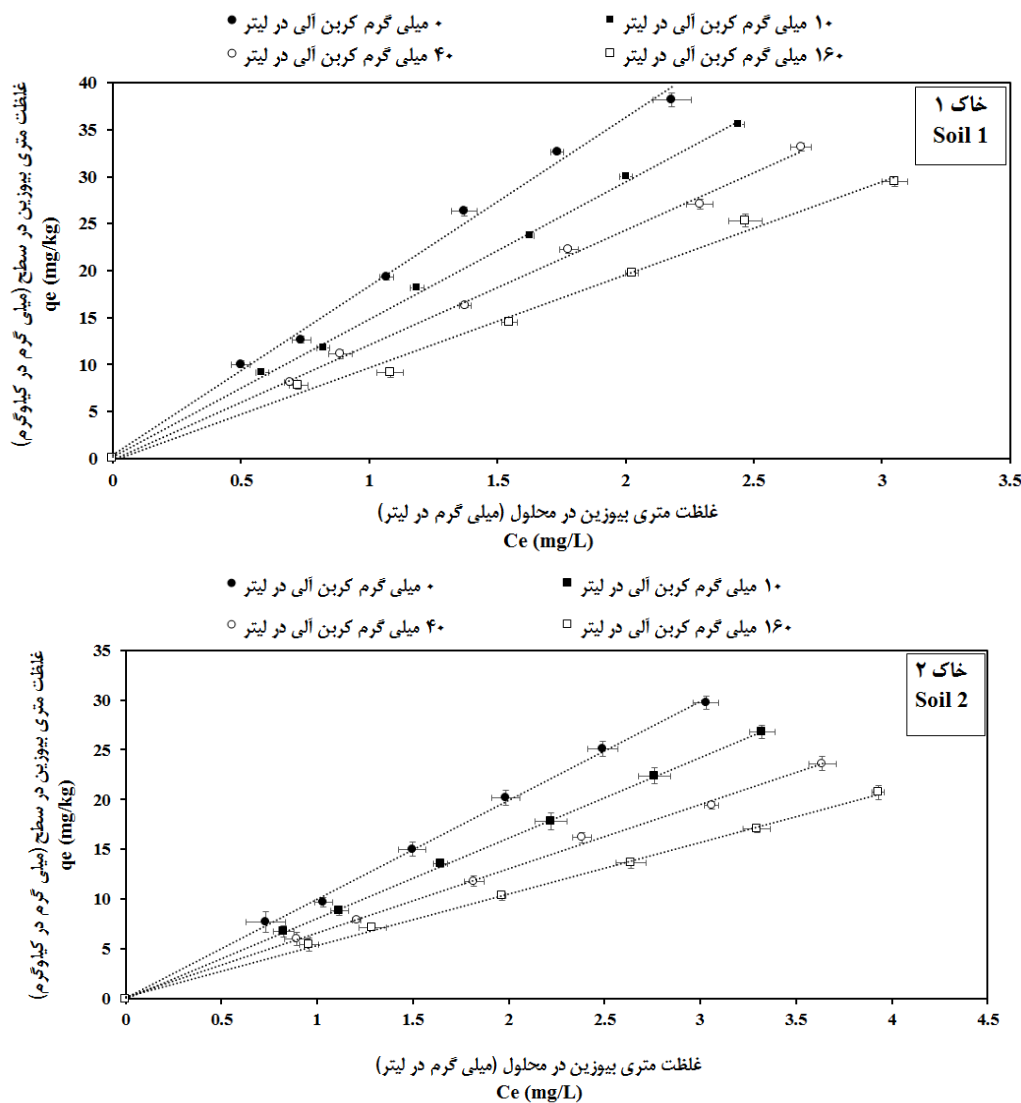
K_F و 1/n ضرایب مدل فروندلیچ می‌باشند

جدول 3- پارامترهای مدل فروندلیچ جذب متری‌بیوزین در خاک‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف ماده آلی محلول و مقادیر pH محلول رویی در حالت تعادل (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

Table 3- Freundlich model parameters of metribuzin sorption in the absence and presence of DOM, and the pH values of the supernatants at equilibrium (mean $\pm$ standard deviation)

شماره خاک Soil No.	ماده آلی محلول (میلی‌گرم کربن آلی در لیتر) DOM ($mg \cdot OC \cdot L^{-1}$)	K_F ($L \cdot kg^{-1}$)	1/n	ضریب تبیین R^2	pH
1	0	18.52 ± 0.03	0.96 ± 0.01	0.993	6.86 ± 0.01
	10	15.01 ± 0.01	0.97 ± 0.02	0.997	6.98 ± 0.01
	40	12.04 ± 0.05	1.01 ± 0.02	0.997	7.12 ± 0.01
	160	9.68 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.981	7.31 ± 0.03
2	0	10.01 ± 0.02	0.99 ± 0.01	0.995	6.81 ± 0.01
	10	8.11 ± 0.04	0.99 ± 0.02	0.999	6.95 ± 0.02
	40	6.68 ± 0.11	0.97 ± 0.01	0.998	7.04 ± 0.02
	160	5.59 ± 0.02	0.94 ± 0.02	0.999	7.28 ± 0.04

K_F و 1/n ضرایب مدل فروندلیچ می‌باشند



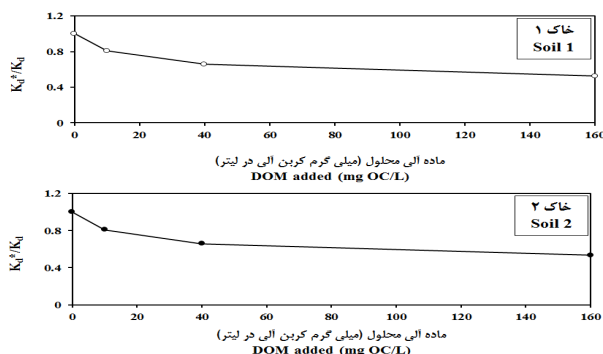
شکل 3- همدماهای جذب متریبوزین در خاکها، در حضور و عدم حضور ماده آلی محلول (میللهای خطا نشان دهنده انحراف معیاری باشند)
Figure 3- Metribuzin sorption isotherms in the soils with and without DOM (Error bars indicates Standard deviation)

محلول، کاهش نشان داد. به طور مثال در تیمار 10 میلی گرم کربن آلی در لیتر، مقادیر K_d^* برای جذب متریبوزین در خاکهای 1 و 2 به ترتیب 19/27 و 19/04 درصد کمتر از مقادیر K_d متناظرشان می باشد. همچنین در تیمار 160 میلی گرم کربن آلی در لیتر مقادیر K_d^* در خاکهای 1 و 2 به ترتیب از 18/47 و 9/98 به 9/71 و 5/34 (مقادیر K_d متناظرشان) کاهش یافته است. نتایج نشان می دهد که اثرات ماده آلی محلول بر جذب متریبوزین در خاکها به ویژگی های خاک و غلظت های مختلف ماده آلی محلول بستگی دارد. گاربر و همکاران (11) مشاهده کردند که در حضور ماده آلی محلول در

در تیمار حضور ماده آلی محلول، با مقایسه ضریب توزیع ظاهری متریبوزین در حضور (K_d^*) و عدم حضور (K_d) ماده آلی حل شده می توان اثر ماده آلی محلول بر جذب متریبوزین را کمی نمود. در صورتی که نسبت K_d^*/K_d بیش از یک گردد، مقدار جذب افزایش یافته و با کاهش آن به کمتر از یک، جذب کاهش می یابد. نمودار K_d^*/K_d در مقابل غلظت های اضافه شده ماده آلی محلول در شکل 4 نشان داده شده است. جذب متریبوزین در خاک 1 و 2، در تیمار حضور ماده آلی محلول در مقایسه با عدم حضور ماده آلی محلول، کاهش یافت و مقدار جذب شده با افزایش غلظت ماده آلی

می‌توان در ارتباط با میزان و تغییرات pH محلول، قلیائیت، املاح محلول و ذرات معلق دانست. هنگامی که pH افزایش می‌یابد، فرم پروتونی متری‌بیوزین کاهش یافته و در نتیجه جذب آن بر روی سطوح منفی خاک کاهش می‌یابد.

دامنه غلظتی 70-150 میلی‌گرم بر لیتر جذب آتزازین از 1/07 به 0/93 کاهش پیدا کرد. سؤال و لی (21) نیز با بررسی اثر ماده آلی محلول بر جذب آتزازین نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند. دلیل احتمالی کاهش جذب علف‌کش با افزایش غلظت ماده آلی محلول را

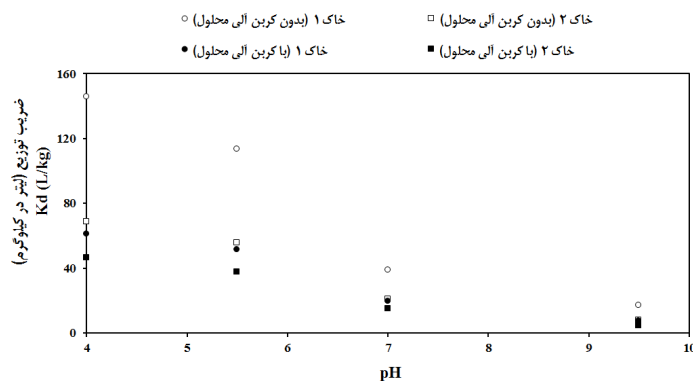


شکل 4- نسبت ضرایب توزیع متری‌بیوزین در حضور و عدم حضور ماده آلی محلول (K_d^*/K_d) بعنوان تابعی از ماده آلی افزوده شده به خاک‌ها
Figure 4- Ratio of distribution coefficients of metribuzin with and without DOM (K_d^*/K_d) as a function of added DOM to the soils

تیمار عدم حضور کربن آلی به ترتیب 8/54 و 6/23 درصد بیشتر از تیمار حضور کربن آلی محاسبه گردید. در دامنه pH مورد آزمایش، متری‌بیوزین در هر دو فرم یونی و مولکولی موجود می‌باشد. هنگامی که pH افزایش می‌یابد، فرم پروتونی متری‌بیوزین کاهش یافته و در نتیجه جذب آن بر روی سطوح منفی خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش pH ممکن است سبب تشدید رهاسازی کربن آلی بومی خاک به داخل محلول شده که نتیجه آن کاهش جذب متری‌بیوزین می‌باشد. نتایج مشابهی در ارتباط با اثر افزایش pH بر کاهش ظرفیت جذب ترکیبات آلی قابل یونیزه در خاک و رسوبات گزارش شده است (15، 23 و 26). در pH یکسان، مقدار متری‌بیوزین جذب شده توسط خاک 2 کمتر از مقدار جذب شده توسط خاک 1 می‌باشد که دلیل احتمالی آن تفاوت در مقدار کربن آلی خاک‌ها است.

اثر pH محلول بر جذب علف‌کش متری‌بیوزین در خاک

متری‌بیوزین ترکیب آلی قابل یونیزه می‌باشد که pK_a آن در دمای 25 درجه سانتی‌گراد 0/99 است (1). بنابراین حلالیت، جذب و قابلیت استفاده زیستی متری‌بیوزین وابسته به pH است. اثرات pH بر جذب متری‌بیوزین در خاک‌ها در شکل 5 نشان داده شده است. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش pH از 4 تا 9 مقدار جذب متری‌بیوزین در هر خاک و در تیمار عدم حضور ماده آلی محلول کاهش یافت. در هر دو تیمار حضور و عدم حضور ماده آلی محلول، بیشترین میزان جذب متری‌بیوزین در هر دو خاک در دامنه pH 4 تا 5/5 رخ داد. اما مقادیر جذب در تیمار عدم حضور ماده آلی محلول بیشتر از تیمار مصرف 160 میلی‌گرم کربن آلی در لیتر بدست آمد. به‌طوری‌که متوسط جذب متری‌بیوزین در دامنه pH 4-5/5 در خاک 1 و 2، در



شکل 5- اثر pH بر جذب متری‌بیوزین در خاک‌ها
Figure 5- Effect of pH on the sorption of metribuzin by the soils

حالت حضور ماده آلی محلول (K_d^*) و ضریب توزیع در حالت عدم حضور ماده آلی محلول (K_d) در یک pH معین محاسبه نمود یعنی:

$$\Delta K_d = K_d^* - K_d \quad (3)$$

که ΔK_d بیانگر اثرات خالص ماده آلی محلول بر جذب متری بیوزین بدون اثر pH می باشد. نمودارهای ΔK_d در مقابل غلظت های مختلف ماده آلی محلول اضافه شده در شکل 6 نشان داده شده است. مقادیر ΔK_d در حضور ماده آلی محلول کمتر از تیمار عدم حضور ماده آلی محلول در هر دو خاک می باشند که نشان می دهد ماده آلی محلول نقش مهمی در کاهش جذب متری بیوزین ایفاء می کند. تأثیر ماده آلی محلول بر جذب ترکیبات آلاینده آلی ممکن است ناشی از برهم کنش آن ها در محلول، رقابت برای مکان های جذبی و جذب به همراه ترکیب دیگر باشد (10، 16 و 24).

رقابت ماده آلی محلول با آلاینده های آلی قطبی برای مکان های جذبی سبب کاهش جذب آلاینده آلی توسط خاک ها می گردد (24)، و ماده آلی محلول بر روی سطح کانی رسی جذب می شود (20). حضور ماده آلی محلول سبب کاهش جذب متری بیوزین گردیده است و لذا رقابت متری بیوزین با ماده آلی محلول برای مکان های جذبی یکی از مکانیسم های تأثیر ماده آلی بر جذب متری بیوزین به شمار می رود. همراهی ترکیب آلی با ماده آلی محلول ممکن است سبب کاهش جذب ترکیب آلی گردد (25) یا تشکیل کمپلکس آلاینده آلی و ماده آلی محلول و جذب این کمپلکس توسط خاک (جذب همراه) می تواند سبب بهبود جذب آلاینده آلی گردد (5). هرچند که به نظر نمی رسد این مکانیسم جذب تأثیری در جذب متری بیوزین در خاک ها داشته باشد چرا که در حضور ماده آلی محلول، جذب متری بیوزین کاهش یافته است.

مکانیسم های جذب متری بیوزین در حضور ماده آلی محلول

همان طور که در جدول 3 مشاهده می شود، مقادیر pH محلول روبی با افزایش غلظت ماده آلی محلول در حالت تعادل افزایش یافته است که بعلت ظرفیت بافری خوب محلول های ماده آلی محلول می باشد. pH نقش مهمی در جذب متری بیوزین توسط خاک ها دارد. بنابراین در حضور ماده آلی محلول جذب متری بیوزین توسط خاک علاوه بر pH محلول، تحت کنترل برهم کنش های رقابتی بین خاک - متری بیوزین، خاک - ماده آلی محلول و متری بیوزین - ماده آلی محلول می باشد. شکل 5 نشان می دهد که مقادیر ضریب توزیع (K_d) با افزایش pH محلول کاهش یافته است و مطابق داده های بدست آمده، منحنی ضریب توزیع بعنوان تابعی از pH در تیمار عدم حضور ماده آلی محلول با رابطه 2 مطابقت دارد.

$$\text{Log } K_d = a \times \text{pH} + b \quad (2)$$

که a و b ثابت های تجربی معادله می باشند. پارامترهای معادله در جدول 4 نشان داده شده است.

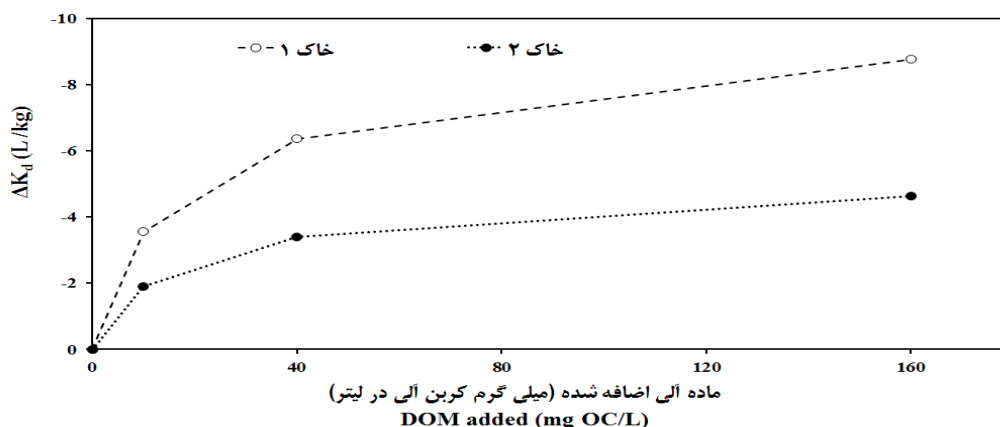
جدول 4- پارامترهای معادله $\log K_d$ بعنوان تابعی از pH

Table 4- Parameters of the equation of $\log K_d$ as a function of pH

شماره خاک Soil No.	a	b	ضریب تبیین R^2
1	- 0.18	2.93	0.967
2	- 0.19	2.63	0.971

a و b ثابت های تجربی می باشند.

مقدار ضریب توزیع را می توان در یک pH معین (در دامنه pH مورد مطالعه)، با استفاده از معادله فوق برآورد نمود. میزان افزایش جذب (ΔK_d) (رابطه 3) را می توان از تفاضل بین ضریب توزیع در



شکل 6- افزایش جذب (ΔK_d) متری بیوزین بعنوان تابعی از ماده آلی افزوده شده به خاک ها

Figure 6- Increment of the sorption (ΔK_d) of metribuzin as a function of added DOM to the soils

جذب ماده آلی محلول در این دو خاک دارد. با توجه به مقادیر K_F در دو خاک 1 و 2، می‌توان نتیجه گرفت که خاک 1 دارای ظرفیت جذبی بالاتری از خاک 2 می‌باشد. تمایل جذبی متری‌بیوزین در هر دو خاک پایین بوده هرچند که مقدار ظرفیت جذب در خاک 1 بیشتر از خاک 2 است. همچنین در حضور ماده آلی محلول، با افزایش غلظت ماده آلی محلول در هر دو خاک، مقدار ظرفیت جذب کاهش یافت. افزایش pH از 4 تا 9 مقدار جذب متری‌بیوزین در هر دو خاک و در تیمار عدم حضور ماده آلی محلول را کاهش داد. همچنین در هر دو تیمار حضور و عدم حضور ماده آلی محلول، بیشترین میزان جذب متری‌بیوزین در هر دو خاک در دامنه pH 4 تا 5/5 رخ داد. نتایج نشان داد که در تیمار عدم حضور کربن آلی محلول، مقادیر جذب متری‌بیوزین بیشتر از تیمار حضور کربن آلی محلول می‌باشد، به طوری که متوسط جذب متری‌بیوزین در دامنه pH 4-5/5 در خاک 1 و 2، در تیمار عدم حضور کربن آلی به ترتیب 8/54 و 6/23 درصد بیشتر از تیمار حضور کربن آلی محاسبه گردید.

افزایش pH محلول اثر معکوسی بر جذب متری‌بیوزین داشت که می‌تواند ناشی از افزودن محلول‌های ماده آلی محلول باشد. سیول و لی (21) دریافتند که جذب علف‌کش‌های تریازین‌ها بیش از میزان پیش‌بینی شده توسط مدل، کاهش یافت که بعلمت ماده آلی محلول می‌باشد. در تحقیقی دیگر اظهار داشتند که pH بالا و ظرفیت بافری آب جاری، سبب افزایش pH محلول خاک می‌گردد. پرومترین بالاترین حساسیت را به تغییرات pH نشان داد لذا سبب تشدید تحرک آن در خاک‌ها گردید (22).

مقدار ΔK_d در دو خاک 1 و 2 در غلظت 160 میلی گرم کربن آلی در لیتر کمترین میزان (به ترتیب 8/76 و 4/64-) می‌باشد (شکل 6)، هر چند میزان کاهش در خاک 1 بیشتر است. بیشترین شدت کاهش ΔK_d در هر دو خاک تا تیمار مصرف 40 میلی گرم کربن آلی در لیتر می‌باشد و از 40 تا 160 میلی گرم در لیتر شدت کاهش دارای روند کندتری می‌باشد. کاهش مقدار ΔK_d می‌تواند ناشی از همراه شدن و جذب متری‌بیوزین بر روی ماده آلی محلول باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل فروندلیچ مطابقت بهتری با

منابع

- 1- Agriculture & Environment Research Unit (AERU) at the University of Hertfordshire. 2011. The Pesticide Properties DataBase (PPDB). Available at <http://www.herts.ac.uk/aeru/footprint>.
- 2- Barriuso E., Baer U., and Calvet R. 1992. Dissolved organic matter and adsorption-desorption of dimefuron, atrazine, and carbetamide by soils. *Journal of Environmental Quality*, 21: 359-367.
- 3- Barriuso E., Houot S., and Serra-Wittling C. 1997. Influence of compost addition to soil on the behavior of herbicides. *Pesticide Science*, 49: 65-75.
- 4- Beck A.J., Johnston A.E., and Jones K.C. 1993. Movement of non-ionic organic chemicals in agricultural soils. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 23:219-248.
- 5- Celis R., Barriuso E., and Houot S. 1998. Sorption and desorption of atrazine by sludge-amend soil: Dissolved organic matter effects. *Journal of Environmental Quality*, 27: 1348-1356.
- 6- Chen G., Lin C., Chen L., and Yang H. 2010. Effect of size-fractionation dissolved organic matter on the mobility of prometryne in soil. *Chemosphere*, 79: 1046-1055.
- 7- Chen G., Lin C., Chen L., and Yang H. 2011. Effect of polar-dissolved organic matter fractions on the mobility of prometryne in soil. *Journal of Soils and Sediments*, 11: 395-405.
- 8- Ding Q., Wu H.L., Xu Y., Guo L.J., Liu K., Gao H.M., and Yang H. 2011. Impact of low molecular weight organic acids and dissolved organic matter on sorption and mobility of isoproturon in two soils. *Journal of Hazardous Materials*, 190: 823-832.
- 9- Gallaher K., and Mueller T. 1996. Effect of crop presence on persistence of atrazine, metribuzin, and clomazone in surface soil. *Weed Science*, 44: 698-703.
- 10- Gao Y.Z., Xiong W., Ling W.T., Wang X.R., and Li Q.L. 2007. Impact of exotic and inherent dissolved organic matter on sorption of phenanthrene by soils. *Journal of Hazardous Materials*, 140: 138-144.
- 11- Graber E.R., Fischer G.C., and Mingelgrin U. 1995. Enhanced transport of atrazine under irrigation with effluent. *Soil Science Society of American Journal*. 59: 1513-1519.
- 12- Huang X.J., and Lee L.S. 2001. Effect of dissolved organic matter from animal waste effluent on chlorpyrifos sorption by soils. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1258-1265.
- 13- Koskinen W.C., and Harper S.S. 1990. The retention process: Mechanisms. p. 51-77. In H.H. Cheng (ed) *Pesticides in The Soil Environment: Processes, Impact, and Modeling*. SSSA Book Ser. 2. SSSA, Madison, WI.
- 14- Lee D.Y., Farmer W.J., and Aochi Y. 1990. Sorption of napropamide on clay and soil in the presence of dissolved organic matter. *Journal of Environmental Quality*, 19: 567-573.
- 15- Li J.H., Zhou B.X., Shao J.H., Yang Q.F., Liu Y.Q., and Cai W.M. 2007. Influence of the presence of heavy metals and surface-active compounds on the sorption of bisphenol A to sediment. *Chemosphere*, 68: 1298-1303.

- 16- Ling W.T., Xu J.M., and Gao Y.Z. 2006. Dissolved organic matter enhances the sorption of atrazine by soil. *Biology and Fertility of Soils*, 42: 418-425.
- 17- Pennington K.L., Harper S.S., and Koskinen W.C. 1991. Interactions of herbicides with water-soluble soil organic matter. *Weed Science*, 39: 667-672.
- 18- Rigi M.R., Farahbakhsh M., and Rezaei K. 2015. Adsorption and desorption behavior of herbicide metribuzin in different soils of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3: 777-787.
- 19- Ritter W.F., Scarborough R.W., and Chirnside A.E.M. 1994. Contamination of groundwater by triazines, metolachlor and alachlor. *Journal of Contaminant Hydrology*, 15: 73-92.
- 20- Satterberg J., Amarson T.S., Lessard E.J., and Keil R.G. 2003. Sorption of organic matter from four phytoplankton species to montmorillonite, chlorite, and kaolinite in seawater. *Marine Chemistry*, 81: 11-18.
- 21- Seol Y., and Lee L.S. 2000. Effect of dissolved organic matter in treated effluents on sorption of atrazine and prometryn by soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 1976-1983.
- 22- Seol Y., and Lee L.S. 2001. Coupled effects of treated effluent irrigation and wetting-drying cycles on transport of triazines through unsaturated soil columns. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1644-1652.
- 23- Sheng G.Y., Yang Y.N., Huang M.S., and Yang K. 2005. Influence of pH on pesticides sorption by soil containing wheat residue derived char. *Environmental Pollution*, 134: 457-463.
- 24- Spark K.M., and Swift R.S. 2002. Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. *Science of the Total Environment*, 298: 147-161.
- 25- Williams C.F., Agassi M., Letey A.J., Farmer W.J., Nelson S.D., and Ben-Hur M. 2000. Facilitated transport of napropamide by dissolved organic matter through soil columns. *Soil Science Society of American Journal*, 64: 590-594.
- 26- Zeng G.M., Zhang C., Huang G.H., Yu J., Wang Q., and Li J.B. 2006. Adsorption behavior of bisphenol A on sediment in Xiangjiang River, central-south China. *Chemosphere*, 65: 1490-1499.
- 27- Zimdah R.L., Cranmer B.K., and Sroup W.W. 1994. Use of empirical equations to describe dissipation of metribuzin and pendimethalin. *Weed Science*, 42: 241-248.



Effects of Dissolved Organic Matter on Sorption of Metribuzin Herbicide by Two Different Soils

M. R. Rigi^{1*} – M. Farahbakhsh²

Received: 06-08-2016

Accepted: 18-09-2017

Introduction: The environment is contaminated through intensive or inappropriate use of herbicides. Quantifying the fate of applied herbicides in the soil is essential for minimizing their mobility in the soil and environmental pollution. The adsorption behavior of the soil-applied herbicides is one of the most important factors governing its environmental impacts such as degradation, transition and leaching. To date, No study has been conducted to investigate the effects of DOM on the sorption of metribuzin by soils. The objective of this study was to investigate the impacts of DOM on metribuzin sorption by two different soils.

Materials and Methods: In this research, DOM (0, 10, 20, 40, 80 and 160 mg of OC/L) adsorption in two different soil samples was assayed under laboratory conditions at constant temperature. The effect of pH and DOM concentrations (0, 10, 40 and 160 mg/L) on metribuzin (1.5, 2, 3, 4, 5 and 6 mg/kg) adsorption was also studied. Soil samples were selected and collected from surface layers (0–20 cm). The soil samples were air-dried and passed through a 2-mm sieve. The DOM sorption in both soils was performed by adding 10 ml DOM solution with a series of initial concentrations in each 15 ml glass tube containing 1.00 g soil. All the DOM solutions contained 0.01 mol/L CaCl_2 and 0.01 mol/L thymol, and the pH of the solutions were adjusted to 9.0 (about the pH of the initial extracted DOM solution) with 0.1 mol/L HCl or 0.1 mol/L $\text{Ca}(\text{OH})_2$. The tubes were shaken at 140 rpm for 24 h at 22°C. After centrifugation at 4,500 rpm for 15 min, the DOM concentrations in solutions (presented as OC) were measured using a total organic carbon analyzer. Sorbed organic carbon was calculated from the difference between the OC content of the DOM solution, which was initially added, and that found in equilibrium solution with the soil, of which the amount of native DOM released from the air-dried soil samples was subtracted. DOM solutions (10 ml) with different concentrations were added to the soils in 15 ml glass tubes with PTFE lined screw caps. The solid-to-solution ratios were adjusted to attain 20–80 percentage of the initially added metribuzin adsorption by the soils. All the DOM solutions contained 0.01 mol/L CaCl_2 to maintain a constant ionic strength and 0.01 mol/L thymol to inhibit potential microbial activities, and the pH values of the solutions were adjusted to 9.0 with 0.1 mol/L HCl or 0.1 mol/L $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Metribuzin was mixed at high concentration in acetonitrile before being added to the DOM solutions. Acetonitrile concentrations were always less than 0.1 percentage of the total solution volume to avoid the cosolvent effect. The tubes were shaken at 140 rpm for 24 h at 25°C. Preliminary studies showed that sorption equilibrium was approached within this time period. After mixing, the tubes were centrifuged at 4,500 rpm for 15 min, and 1.0 ml of the supernatant was removed into a sampling vial for analysis. All sorption samples were conducted in triplicate. The sorption experiments were conducted at different pH values in the absence of DOM by addition of HCl and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as required to solutions containing 0.01 mol/L CaCl_2 and 0.01 mol/L thymol. The investigated pH values ranged from 4 to 9.5. The initially added concentration of metribuzin was 5 mg/L. After shaking and centrifugation, the pH values of the supernatants were measured using a pH meter. The samples were analyzed by gas chromatography equipped with a mass (6890N, Agilent, USA). Metribuzin sorption was calculated from the difference between the total amount of metribuzin initially added to the solution and the amount remained in the solution at equilibrium.

Results and Discussion: Dissolved organic matter (DOM) was adsorbed on the soils and the experimental data was better fitted to the Freundlich isotherm ($R > 0.999$). The KF parameter amount of DOM sorbed on the soils were 3.82 and 0.95 L/kg for the soils of 1 and 2, respectively which suggested that the soils have low affinity to metribuzin. In the presence of DOM, the sorption behaviors of metribuzin by the soils were different. The effects of DOM on metribuzin sorption were dependent on the characteristics of soils and the concentrations

1- Assistant Professor of College of Agriculture, Higher Educational Complex of Saravan

(*- Corresponding Author Email: rezarigi@gmail.com)

2- Associate Professor of Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

of present DOM. Metribuzin sorption by soil 1 and soil 2 was inhibited in the presence of DOM. Metribuzin sorption was quantified by comparing the apparent distribution coefficient of metribuzin in the presence of DOM (K_d^*) and the absence of DOM (K_d). The sorption was promoted when the ratio of K_d^*/K_d was more than 1, and was inhibited when the ratio of K_d^*/K_d was less than 1. The aqueous solubility, sorption, and bioavailability of metribuzin are pH dependent. The effects of pH on the metribuzin sorption by soils showed when pH increased from 4 to 9, metribuzin sorption by soils was decreased. When the pH was higher than 6.0, it was clear that the amount of sorbed metribuzin decreased as the solution pH increased in each soil in the absence of DOM. Metribuzin was present in both molecular and ionic forms owing to the ionization in the pH range examined in the study. As the solution pH increases, the protonic form decreases. Therefore, the sorption of metribuzin protonic form and the negatively charged surface of soils become more pronounced and the amount of metribuzin partitioned to soil decreases. In addition, an increasing pH may enhance the release of native organic matter from the soils into the solution that results in the decrease of metribuzin sorption. At the same pH, the amount of metribuzin sorbed by soil 2 was lower than soil 1 which was probably owing to the different organic matter content of the soils.

Conclusions: The effects of DOM on metribuzin sorption were dependent on the characteristics of soils and the concentrations of present DOM. In general, metribuzin sorption by the soils was inhibited in the presence of DOM. Metribuzin sorption by the soils also decreased with increasing the solution pH in the absence and present of DOM. The results of the study will be useful for the better understanding of the behavior of metribuzin in soils and its ecological risks.

Keywords: Herbicide, Metribuzin, pH, Soil organic matter



توزیع شکل‌های شیمیایی روی به روش تسیر در برخی از خاک‌های آلوده شده استان خراسان رضوی و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک

زهرا شریفی¹ - علیرضا آستارایی^{2*} - امیر فتوت³ - مجتبی بارانی مطلق⁴ - حجت امامی⁵

تاریخ دریافت: 1395/06/28

تاریخ پذیرش: 1396/03/30

چکیده

زیست‌فراهمی فلزات سنگین به توزیع آنها بین بخش‌های محلول و جامد و بین اجزای بخش جامد بستگی دارد. به منظور بررسی توزیع شکل‌های شیمیایی روی در 10 نمونه خاک استان خراسان رضوی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت و آلوده شده با ضایعات معدنی در 4 سطح (0، 500، 1000 و 1500 میلی گرم بر کیلوگرم)، قبل از کشت گیاه گاوزبان، روش عصاره‌گیری متوالی تسیر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که روی بخش تبدلی، کربنات‌ها، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، متصل به بخش آلی و باقیمانده به ترتیب 0/67، 13/38، 3/01، 11/12 و 71/82 درصد از روی کل خاک‌ها را تشکیل می‌دهند. در این خاک‌ها مقدار روی شبه کل و روی قابل استفاده گیاه به ترتیب بین 72/19 تا 116/56 و 6/98 تا 8/97 میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد. اختلاف بین غلظت روی هر یک از شکل‌های شیمیایی، در انواع مختلف خاک و در سطوح مختلف آلودگی معنی دار شد. همبستگی درصد سیلت با روی تبدلی و روی جذب شده بوسیله ریشه منفی و معنی دار شد. روی متصل به اکسیدهای آهن و منگنز با کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک همبستگی منفی و معنی داری داشت. همبستگی بین کربن آلی با روی تبدلی منفی و معنی دار شد. همبستگی pH با روی جذب شده بوسیله ریشه و اندام‌هوایی منفی و معنی دار شد. همبستگی میان شکل‌های شیمیایی روی با یکدیگر و با روی شبه کل، روی جذب شده بوسیله ریشه و اندام‌هوایی گیاه و روی قابل استفاده گیاه، بجز همبستگی میان شکل اکسیدها و تبدلی روی مثبت و معنی دار شد که بیانگر پویایی سیستم خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، خاک، روی، شکل‌های شیمیایی، ضایعات معدنی، گاوزبان، همبستگی

مقدمه

صنعتی و لجن‌های صنعتی و خانگی) منجر به آلودگی فلزات سنگین و از جمله آلودگی فلز روی در خاک‌ها می‌شود. انباشت بیش از حد فلزات سنگین در خاک سمیت شدیدی برای انسان و دام به دلیل ورود به زنجیره غذایی ایجاد می‌کند. آلودگی عنصر روی در خاک‌ها گسترده بوده و در بسیاری از مناطق روندی رو به افزایش دارد و خطرات طولانی مدتی را در باروری خاک و سلامت اکوسیستم ایجاد می‌کند. اما آگاهی از مقادیر کل عناصر در خاک، تنها اطلاعات اندکی در ارتباط با رفتار و زیست‌فراهمی آنها در اختیار می‌گذارد (22). تنها شکل‌هایی از روی که محلول هستند و یا قابلیت محلول شدن دارند، قابل دسترس هستند. بنابراین، تمایز بین مقادیر کل یک عنصر و مقادیری که می‌توانند به شکل‌های محلول‌تر تبدیل گردند، دارای اهمیت زیادی است (10). توزیع، تحرک و زیست‌دسترسی عناصر در محیط به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است و مشخص شده که تنها وابسته به غلظت کل آنها نبوده بلکه به فاز جامدی که با آنها اتصال دارد نیز مرتبط می‌باشد (13). بعبارت دیگر خطر فلزات

عنصر روی یکی از عناصر کم مصرف و ضروری برای گیاهان بوده و دارای نقش‌های زیادی در گیاهان می‌باشد. کمبود آن به صورت بحرانی در گیاهان در حال رشد و بویژه در خاک‌های آهکی و شور - سدیمی با pH زیاد گزارش شده است (5). مقدار کل روی در خاک‌ها بین 10-300 و به طور متوسط 50 میلی گرم در کیلوگرم است (24). از سوی دیگر استخراج معادن، فعالیت‌های صنعتی و استفاده از محصولات شیمیایی (آفت‌کش‌ها، رنگ‌ها، باتری‌ها، پسماندهای

1، 2، 3 و 5- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Astaraei@ferdowsi.um.ac.ir)

4- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

شد. از سوی دیگر کاربرد همزمان روش استخراج متوالی و کشت گیاه رویکرد مناسبی برای ارزیابی تحرک فلزات سنگین عنوان شده است (12) و می‌توان گفت که انتخاب روش مناسب عصاره‌گیری متوالی به همبستگی با پاسخ‌های گیاهی، در دسترس بودن ابزارها و مواد و راحتی روش تجزیه وابسته است (15). سینگ و همکاران (40) با بررسی توزیع شکل‌های روی در 11 خاک آهکی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلف بیان نمودند که 82 درصد روی کل به صورت باقیمانده، 7 درصد به صورت پیوند یافته با اکسیدهای آهن متبلور، 5 درصد به صورت پیوند یافته با اکسیدهای آهن بی‌شکل، 1 درصد به شکل آلی، 2 درصد به صورت پیوند یافته با اکسیدهای منگنز، 2 درصد به صورت کربناتی و میانگین روی قابل تبادل نیز 2 درصد بود. زیانگ و همکاران (45) با بررسی توزیع شکل‌های روی در خاک‌های مختلف چین بیان داشتند که 60 تا 90 درصد روی در شکل باقیمانده و 5 تا 30 درصد در شکل اکسیدهای آهن متبلور می‌باشد. آنها اظهار داشتند که pH خاک مهم‌ترین فاکتور کنترل کننده توزیع روی در خاک است. سینگ و همکاران (40) بیان نمودند که میان بعضی از ویژگی‌های خاک با فلزات در شکل‌های پیوند یافته با اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور و باقیمانده، ارتباط معنی‌داری وجود دارد. اما بین ویژگی‌های خاک و عناصر در ارتباط با شکل‌های کربناتی، آلی و پیوند یافته با اکسیدهای منگنز ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. قانع و کریمیان (16) با جداسازی شکل‌های مختلف روی با روش عصاره‌گیری متوالی در خاک‌های آهکی استان فارس، نشان دادند که شکل‌های مختلف روی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشته و میانگین آنها از ترتیب زیر برخوردار است: > روی تبدالی > شکل آلی > روی متصل به اکسیدهای منگنز > روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل > روی متصل به آهن متبلور > روی کربناته >> باقیمانده. همچنین نتیجه گرفتند که روی DTPA فقط با شکل کربناتی روی همبستگی معنی‌داری دارد. لذا با توجه به اهمیت توزیع شکل‌های شیمیایی روی و روند رو به افزایش آلودگی خاک‌ها و عدم وجود گزارش منتشر شده‌ای از توزیع آن در خاک‌های استان خراسان رضوی، این پژوهش با هدف بررسی شکل‌های شیمیایی روی و تعیین رابطه آنها با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در شماری از خاک‌های زیر کشت استان خراسان رضوی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی شکل‌های شیمیایی روی در برخی از خاک‌های استان خراسان رضوی، آلوده شده با ضایعات معدنی شرکت سرب و روی باما (واقع در منطقه ایرانکوه اصفهان) و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی بصورت فاکتوریل شامل 4 سطح آلودگی روی (0، 500، 1000 و 1500 میلی-

سنگین در خاک و آب به شدت به شکل‌های شیمیایی آنها مربوط بوده (6) و واکنش‌پذیری فلزات با شکل‌های فیزیکی و شیمیایی و موقعیت آنها ارتباط مستقیم داشته و پارامتر اصلی حاکم بر تحرک و زیست‌فراهمی آنها محسوب می‌شود، و با توجه به اینکه اندازه‌گیری غلظت کل فلز در خاک اطلاعات کافی از فراهمی و زیست‌فراهمی فلزات نمی‌دهد و شکل‌های شیمیایی¹ عنصر روی در خاک تأثیر مهمی در فراهمی، زیست‌فراهمی و سمیت آن در خاک‌های آلوده دارد، لذا آگاهی از شکل‌های شیمیایی عنصر روی برای ارزیابی پویایی آن در خاک‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا از روش‌های گوناگونی برای کمی کردن شکل‌های مختلف و مرتبط با پویایی فلزات در خاک استفاده می‌شود. که از جمله می‌توان به روش‌های استخراج متوالی اشاره کرد (25، 41 و 14). روش‌های مختلف استخراج متوالی و مزایا و محدودیت‌های آنها در منابع گزارش شده است (48). روش‌های شیمیایی شامل استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشند. استخراج‌های متوالی و تک مرحله‌ای بطور گسترده برای ارزیابی فراهمی فلز بکار می‌رود (47). روش استخراج متوالی شامل استفاده پی در پی از عصاره‌گیرهای شیمیایی می‌باشد که بر روی یک نمونه انجام شده و برای حل کردن انتخابی اجزای شیمیایی مختلف یک عنصر در نظر گرفته شده‌اند. از آنجایی که قابلیت دسترسی عنصر روی در خاک بسیار اهمیت دارد، از روش‌های استخراج متوالی شامل استفاده پی در پی از عصاره‌گیرهای شیمیایی بر روی یک نمونه خاک و برای حل کردن انتخابی اجزای شیمیایی مختلف یک عنصر و همچنین برای مطالعه حرکت عناصر در خاک به صورت رایج استفاده می‌شود (13 و 18). زیان (44) بیان کرد که در عصاره‌گیری متوالی، قابلیت دسترسی عناصر با هر مرحله از عصاره‌گیری متوالی کاهش می‌یابد. بنابراین، عناصر به شکل‌های محلول در آب و قابل تبادل، خیلی سریع قابل دسترس می‌شوند در حالی که عناصر به شکل باقیمانده، پیوندهای محکمی دارند و انتظار نمی‌رود که در شرایط طبیعی رها شوند. آلوارز و همکاران (4) بیان نمودند مزیتی که همه روش‌های عصاره‌گیری متوالی دارند این است که زمانی که برای خاک‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند جزء قابل تبادل را که قابل جذب برای گیاه است، جداسازی کنند. یکی از این روش‌ها روش تسیر می‌باشد که برای تعیین شکل‌های شیمیایی انواع فلزات کمیاب (کادمیوم، کبالت، مس، روی، نیکل، سرب، آهن و منگنز و ...) بصورت استخراج متوالی ابداع شده، که آنها را در پنج بخش مختلف شامل شکل‌های قابل تبادل، متصل به کربنات‌ها، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، متصل به ماده آلی و بخش باقیمانده قرار می‌دهد (42). بنابراین در این تحقیق از روش تسیر برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های آلوده استفاده

طریق توزین گلدان‌ها) در طول دوره رشد گیاه انجام شد. در زمان اوج گلدهی، گیاه برداشت و اندام هوایی و ریشه بطور جداگانه شستشو، خشک، آسیاب شدند. مقدار روی نمونه‌ها با روش هضم خشک (21)، اندازه‌گیری شد.

تعیین شکل‌های شیمیایی روی

برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی در نمونه‌های خاک از روش تسیر استفاده شد (42). غلظت روی کل در نمونه‌ها پس از هضم با نسبت 3 به 1 اسید کلریدریک و اسید نیتریک تعیین شد (9). مراحل عصاره‌گیری بصورت خلاصه در جدول 2 نشان داده شده است. در پایان هر مرحله برای شستشوی باقیمانده احتمالی از 4 میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد و حجم نهایی عصاره‌ها به 20 میلی‌لیتر رسید. پس از عصاره‌گیری غلظت روی در عصاره‌های تهیه شده بوسیله دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu, AA-670) قرائت گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده شامل ضرایب همبستگی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab و Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و مقدار روی کل نمونه خاک‌های مورد مطالعه و ضایعات معدنی در جدول 3 گزارش شده است. مقدار روی کل و روی قابل استخراج با DTPA در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب بین 72/19 تا 116/56 و 6/98 تا 8/97 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. لازم به یادآوری است از آنجایی که روی کل خاک‌ها از هضم نمونه‌های جداگانه در اسیدهای مربوطه اندازه‌گیری می‌شود، لزوماً مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده با مقدار روی کل مساوی نیست نیلسن و همکاران (34) از مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که مقدار روی کل اندازه‌گیری شده از طریق هضم با اسید فلوریدریک بسیار نزدیک به مقدار روی کل به دست آمده از مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده بود و به طور میانگین روی محلول +تبادلی حدود 0/51 درصد، متصل به کرنات ها 0/41 درصد، متصل به ماده آلی حدود 1 درصد، متصل به اکسیدهای منگنز 0/44 درصد، متصل به اکسیدهای آهن متبلور 8/24، اکسیدهای آهن بی‌شکل 15/22 و باقیمانده 67/23 درصد از مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده را تشکیل دادند.

در نمونه خاک‌های مورد مطالعه میانگین شکل‌های شیمیایی روی دارای ترتیب زیر است (جدول 4):
روی تبادلی > روی اکسیدهای آهن و منگنز > روی آلی > روی کرناتی > روی باقیمانده

گرم در کیلوگرم) و 10 نوع خاک از مناطق مختلف استان خراسان رضوی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

تهیه نمونه‌های خاک و اعمال تیمار آلودگی

تعداد 10 نمونه مرکب از خاک‌های مناطق مختلف استان خراسان رضوی از عمق 0-30 سانتی‌متری در محدوده هدایت الکتریکی 1 تا 15 دسی‌زیمنس بر متر جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ضایعات معدنی تعیین شد. تیمارهای آلودگی مطابق جدول 1 با استفاده از ضایعات معدنی انجام شد و سپس نمونه‌های خاک به مدت 6 ماه به منظور توزیع یکنواخت آلودگی و به تعادل رسیدن نمونه‌های خاک با منبع آلودگی، در حد رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شدند. در پایان دوره نمونه‌های خاک هوا خشک و برای کاشت گیاه گاوزبان و تعیین شکل‌های شیمیایی روی استفاده شدند. در نمونه‌های اصلی بافت خاک به روش هیدرومتری (11)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیوم (8)، کربن آلی به روش والکلی بلک (2)، کرنات کلسیم به روش (3)، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با هدایت‌سنج الکتریکی و pH خاک در عصاره اشباع با روش الکتروود شیشه‌ای اندازه‌گیری شد. فسفر قابل دسترس با روش السن و بوسیله اسپکتروفتومتر مدل JENWAY-PFP7 (35)، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر (39) و مقدار روی پس از عصاره‌گیری با محلول DTPA (27) بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

جدول 1- درصد ضایعات معدنی مورد استفاده برای اعمال سطوح آلودگی

Table 1- Mine wastes Ratio used to apply the contamination levels

سطوح آلودگی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	ضایعات معدنی %
Contamination levels (mg/kg)	Mine wastes (%)
0	0
500	1.57
1000	3.53
1500	5.5

کاشت، داشت و برداشت گیاه گل گاوزبان در گلخانه

کشت گیاه گاوزبان در شرایط گلخانه در گلدان‌هایی با ظرفیت 3 کیلوگرم و در سه تکرار انجام شد. در هر گلدان تعداد 6 عدد بذر در عمق 2 سانتی‌متر کشت شد و پس از 2 برگی شدن به سه بوته در هر گلدان کاهش یافت. کوددهی براساس نیاز گیاه و در دو زمان کاشت و مرحله 5-6 برگی گیاه و آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی (از

جدول 2- خلاصه‌ای از روش عصاره‌گیری متوالی ارائه شده به وسیله تسیر و همکاران (1979) برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی

Table 2- Summary of sequential extraction method proposed by Tessier et al (1979) to determine the chemical form of zinc.

ردیف Row	شکل‌های شیمیایی Chemical forms	زمان (ساعت) Time(h)	دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature(°C)	خاک (گرم)/حجم محلول (میلی‌لیتر) Soil(g)/ Solution Volume(ml)	محلول مورد استفاده Used solution
1	قابل تبادل Exchangeable	1	25	16.2	MgCl ₂ (1mol/l), pH=7
2	کربنات‌ها Carbonates	5	25	16	NaOAc (1mol/l), pH=5
3	اکسیدهای آهن و منگنز Iron and Manganese Oxides	6	96	16	NH ₂ OH.HCl(0.04 mol/l) in HOAc (%25 v: v), pH=2
4	آلی Organic	5.5	85	16	3ml HNO ₃ (0.02 mol/l), 8 ml H ₂ O ₂ (%30), pH=2, 5 ml NH ₄ OAc (3.2 mol/l) v)/HNO ₃ (%20 v in
5	باقیمانده Residual	2	130	16	(3:1 v/v) HCl:HNO ₃

ریحانی تبار و همکاران (37) علت گزارش‌های ضد و نقیض درباره‌ی اثر مواد آلی بر جذب روی بوسیله خاک، عدم توجه به اندازه‌گیری اجزای مواد آلی یعنی هومین، اسیدهیومیک و اسیدفولویک می‌باشد، زیرا درصد این اجزا در مواد آلی خاک‌های مختلف متفاوت است. بنابراین بر حسب این که ماده آلی خاک دارای جزء محلول یا نامحلول بیشتری باشد می‌تواند تأثیر متفاوتی داشته باشد. در این مطالعه، مقدار روی متصل به اکسیدهای آهن و منگنز پس از شکل باقیمانده، کربناتی و آلی قرار دارد و مقدار نگهداشت آن نسبت به بخش آلی و کربناتی کمتر می‌باشد که می‌تواند بیانگر میزان نقش این ترکیبات در جذب سطحی روی در این خاک‌ها باشد که با نتایج ریحانی تبار و همکاران (37) مطابقت دارد. برومر و همکاران (7) اکسیدهای آهن را سیستم‌های بافری مهم خاک می‌دانند که کنترل معنی‌داری بر غلظت فلزات کمیاب در محلول خاک دارند.

مکنزی (31) گزارش کرد که اکسیدهای منگنز در خاک بر قابلیت دسترسی روی اثری ندارند. با توجه به اطلاعات جدول 4 غلظت روی موجود در هر یک از شکل‌های شیمیایی در خاک‌های مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. در نمونه خاک‌های مورد مطالعه مقدار کل روی در بخش مجموع شکل‌های غیر باقیمانده از 24/38 تا 46/65 درصد و در بخش باقیمانده از 53/35 تا 75/62 درصد متغیر بود. مشاهده می‌شود که درصد زیادی از روی خاک‌ها به شکل باقیمانده است و این بخش برای گیاه قابل دسترس نیست و از لحاظ آلودگی برای انسان و محیط زیست مساله‌ای ایجاد نمی‌کند. اما باید توجه داشت که تا حدود 47 درصد از روی نیز می‌تواند در بخش

طبق نتایج قانع و کریمیان (16) و یربوی و همکاران (46) هم شکل کربناتی روی بعد از شکل باقیمانده، شکل غالب می‌باشد. مفتون و همکاران (30) و قانع و کریمیان (16) بیان کردند هنگامی که کودهای شیمیایی یا آلی حاوی روی برای رفع کمبود روی به خاک اضافه می‌شوند، بازبایی ظاهری آن، بدلیل ظرفیت زیاد خاک‌های آهکی برای ابقای روی، غالباً کمتر از 5 درصد است. ناورت و رابوکوویچ (33) نیز بیان کردند خاک‌های آهکی عموماً از نظر روی قابل دسترس فقیر هستند زیرا آهک قادر است روی خاک را به ترکیبات با حالیت کم تبدیل کند.

فیلگورز و همکاران (13) نیز بیان کردند زمانی که مقدار مواد آلی و اکسیدهای آهن و منگنز در سیستم آبی کم باشند، کربنات‌ها می‌توانند جذب کننده‌ی مهمی برای اکثر فلزات باشند.

درصد مواد آلی در خاک‌های مورد بررسی کم می‌باشد. با این وجود، در سطوح بالای آلودگی خاک، درصد بالایی از روی در این بخش قرار گرفت. سینگ و همکاران (40) و ریحانی تبار و همکاران (37) گزارش کردند که علت کم بودن روی پیوند یافته با مواد آلی، علاوه بر پایین بودن مقدار مواد آلی در خاک، به غالب بودن اکسیدهای آهن که در نگهداری روی خاک مؤثرند، مرتبط می‌باشد. طبق نظر هارتر (19)، اهمیت مواد آلی خاک در نگهداری روی نسبت به کاتیون‌های فلزی دیگر مانند مس کمتر است، زیرا میل ترکیبی روی با مواد آلی نسبت به کاتیون‌های فلزی دیگر پایین‌تر می‌باشد و درباره اثر مواد آلی بر نگهداری روی به وسیله خاک، گزارش‌های متناقضی ارائه شده است و توافقی قطعی در این باره وجود ندارد.

مجموع غیر باقیمانده قرار گیرد که این بخش فراهمی بیشتری دارد.

جدول 3- برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه و ضایعات معدنی
Table 3- Some characteristics of studied soils and mineral wastes

ویژگی‌های خاک Soil characteristics	شماره خاک Soil number										ضایعات معدنی Mine wastes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
-	7.49	7.31	7.42	7.15	7.59	7.53	7.39	7.20	7.53	7.59	7.42
CEC (Cmol/Kg)	12.89	9.36	5.99	9.36	8.83	8.47	8.65	12.19	11.66	12.36	2.03
OC (%)	0.47	0.39	0.47	0.43	0.40	0.51	0.51	0.40	0.40	0.43	0.02
Sand (%)	20.60	30.00	38.00	30.60	42.60	29.00	32.60	58.60	8.60	34.60	74.60
Clay (%)	29.04	28.00	28.00	21.04	13.04	13.00	29.04	17.04	47.04	21.04	9.04
Silt (%)	50.36	42.00	34.00	48.36	44.36	48.00	38.36	24.36	44.36	44.36	16.63
Texture	clay loam	clay loam	clay loam	Loam	Loam	Loam	clay loam	sandy loam	silty clay	Loam	sandy loam
EC (ds/m)	1.05	4.56	7.98	10.46	13.51	1.73	4.91	8.01	10.09	3.68	7.97
Ca ²⁺ (meq/l)	6.90	6.90	35.50	55.00	50.00	10.25	32.00	34.00	33.00	38.00	38.20
Mg ²⁺ (meq/l)	1.60	12.50	20.00	26.50	25.00	4.75	17.00	19.00	28.50	23.00	24.60
Na ⁺ (meq/l)	0.68	3.45	18.80	16.86	56.56	1.63	1.42	17.41	38.32	68.36	7.98
K ⁺ (meq/l)	0.16	0.73	0.99	5.97	3.16	0.35	0.54	1.31	1.69	2.01	1.47
Cl ⁻ (meq/l)	2.00	15.20	26.80	40.80	129.00	1.20	9.20	45.60	70.40	24.80	16.60
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	2.30	3.00	2.80	4.40	1.50	2.90	2.40	3.90	1.70	2.60	2.80
CO ₃ (meq/l)	0.20	0.40	0.80	0.4	0.2	0.2	0.40	0.60	0.20	0.40	0.40
CaCO ₃ (meq/l)	10.21	9.85	3.88	10.18	9.98	10.24	9.89	10.18	10.14	10.23	8.71
SO ₄ ²⁻ (meq/l)	6.24	27.59	44.88	58.73	3.80	12.68	38.00	30.00	29.60	3.57	53.78
Zn DTPA (mg/kg)	0.70	0.73	0.83	0.74	0.79	0.73	0.74	0.90	0.76	0.69	-
Zn total (mg/kg)	72.19	100.00	116.56	111.88	82.19	80.31	93.19	75.00	100.31	95.63	25500

(29) نیز با مطالعه شکل‌های مختلف روی گزارش کردند که این شکل‌ها از لحاظ مقدار دارای تغییرات زیادی بوده و روی باقیمانده بیشترین مقدار روی را در خود ذخیره نموده است. در نتایج ارائه شده توسط سینگ و همکاران (40) نیز 82 درصد روی کل را روی باقیمانده تشکیل می‌دهد. با افزایش سطح آلودگی خاک، غلظت روی در همه شکل‌های شیمیایی زیاد شد ولی همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، درصد روی در بخش باقیمانده کاهش یافت و به درصد روی در بخش‌های دیگر، بویژه آلی و کربناتی افزوده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که در سطوح بالای آلودگی بخش زیادی از

در جدول 5 توزیع شکل‌های مختلف روی در سطوح مختلف آلودگی نشان داده شده است. بین غلظت روی در سطوح مختلف آلودگی در تمامی شکل‌های شیمیایی روی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. درصد کل روی در سطوح مختلف آلودگی خاک از 10/00 تا 35/01 در بخش مجموع غیر از باقیمانده و 64/99 تا 90/00 درصد کل روی در بخش باقیمانده می‌باشد که نشان می‌دهد در سطح بالای آلودگی خاک، حداکثر تا 35 درصد از کل روی قابلیت فراهمی برای گیاه را دارد و بخش اعظم آن در بخش باقیمانده یا غیر قابل دسترس قرار گرفته است. اینگار و همکاران (20) و ما و راثو

آلودگی بخش زیادی از روی در شکل کربناتی و آلی در خاک قرار می‌گیرد که قابلیت فراهمی و پویایی بیشتری نسبت به بخش باقیمانده دارد و این تهدیدی برای محیط زیست می‌باشد. با افزایش سطح آلودگی خاک، غلظت روی در همه شکل‌های شیمیایی زیاد شد ولی همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، درصد روی در بخش باقیمانده کاهش یافت و به درصد روی در بخش‌های دیگر، بویژه آلی و کربناتی افزوده شد.

روی در شکل کربناتی و آلی در خاک قرار می‌گیرد که قابلیت فراهمی و پویایی بیشتری نسبت به بخش باقیمانده دارد و این تهدیدی برای محیط زیست می‌باشد. لازم به ذکر است با افزایش سطح آلودگی خاک، غلظت روی در همه شکل‌های شیمیایی زیاد شد ولی همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، درصد روی در بخش باقیمانده کاهش یافت و به درصد روی در بخش‌های دیگر، بویژه آلی و کربناتی افزوده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که در سطوح بالای

جدول 4- غلظت شکل‌های شیمیایی روی در نمونه های مختلف خاک

Table 4- The concentration of zinc chemical forms in different soil samples

شکل‌های شیمیایی روی شماره/ خاک Zinc Fractions /Number of soil	تبادلی Exchangeable	کربناتی Carbonate	اکسیدها Oxides	آلی Organic	باقیمانده Residual	غیر باقیمانده Non Residual	باقیمانده Residual
			میلی گرم بر کیلوگرم mg/kg			درصد %	
1	1.75 f	133.45 de	20.69 d	121.02 b	540.03 bcde	33.89	66.11
2	1.89 ef	111.70 d	27.82 bc	108.02 cd	533.50 cde	31.51	67.39
3	1.97 de	164.90 b	103.96 a	141.93 a	472.00 f	46.65	53.35
4	1.90 ef	131.01 c	31.26 b	117.81 bc	550.50 bcd	33.87	66.13
5	2.64 a	107.67 d	7.28 e	94.81 d	568.97 abc	27.18	72.82
6	2.09 cd	130.82 c	22.13 cd	119.82 bc	501.69 def	35.39	64.61
7	2.29 b	183.24 a	30.39 bc	98.32 de	494.91 ef	38.84	61.17
8	2.30 b	9.56 e	8.72 e	89.97 ef	610.59 a	24.38	75.62
9	2.20 bc	161.58 b	9.22 e	86.03 ef	506.44 def	33.84	66.16
10	1.96 de	119.25 d	9.13 e	80.91 f	587.16 ab	26.46	73.54

جدول 5- تأثیر سطوح مختلف آلودگی روی بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌ها

Table 5- Effect of different levels of zinc contamination on Zn chemical forms in soils

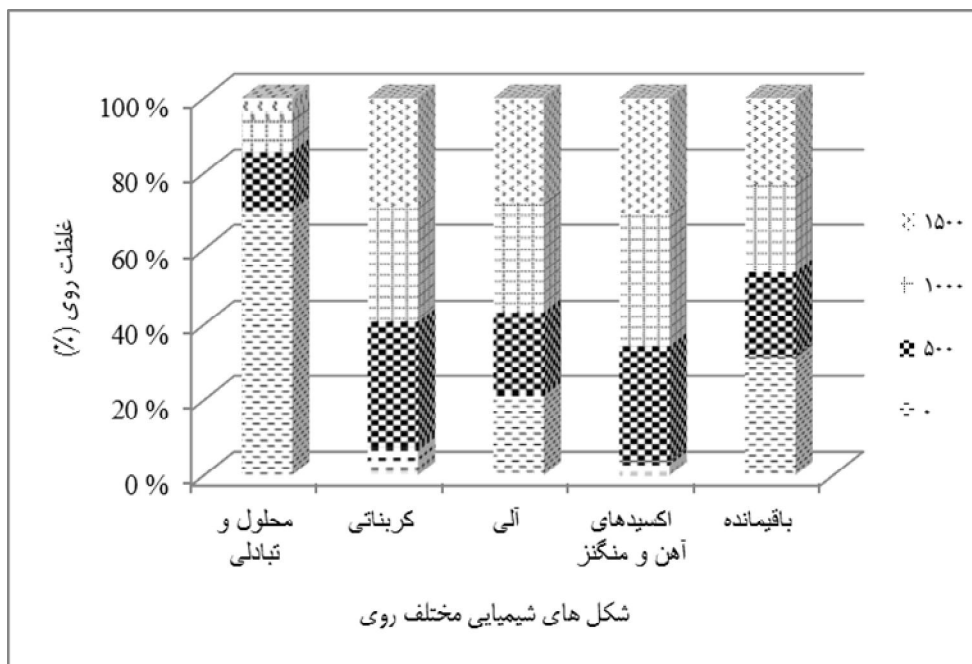
شکل‌های شیمیایی روی / سطوح آلودگی روی Zn Fractions / level of Zn contamination	تبادلی Exchangeable	کربناتی Carbonate	اکسیدهای آهن و منگنز Iron and Manganese Oxides	آلی Organic	باقیمانده Residual	غیر باقیمانده Non Residual	باقیمانده Residual
			میلی گرم در کیلوگرم mg/kg			درصد %	
0	1.66 d	3.56 d	2.40 b d	1.44 d	1.65 d	10.00	90.00
500	1.99 c	88.51 c	13.45 c	68.06 c	321.66 c	34.60	65.40
1000	2.24 b	166.85 b	36.78 b	159.13 b	677.6 b	35.01	64.99
1500	2.51 a	248.76 a	55.71 a	222.82 a	1065.47 a	33.21	66.79

خاک، بین سایر شکل‌های شیمیایی در خاک توزیع می‌شود و در رابطه با خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش، گرایش روی به قرار گرفتن در بخش‌های باقیمانده، کربناتی و آلی می‌باشد. فیلگورز و همکاران (13) نیز بیان کردند که شکل تبادلی معمولاً بخش کوچکی از مقدار کل فلز خاک را شامل می‌شود. نتایج شومن (39) نیز نشان داد که هرگاه مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی پایین باشد، سطوح

این نتیجه نشان می‌دهد که در سطوح بالای آلودگی بخش زیادی از روی در شکل کربناتی و آلی در خاک قرار می‌گیرد که قابلیت فراهمی و پویایی بیشتری نسبت به بخش باقیمانده دارد و این تهدیدی برای محیط زیست می‌باشد. لازم به ذکر است که مقدار روی در بخش قابل تبادل ناچیز بود و با افزایش سطح آلودگی تغییر زیادی نداشت که نشان می‌دهد با افزایش سطح آلودگی، روی اضافه شده به

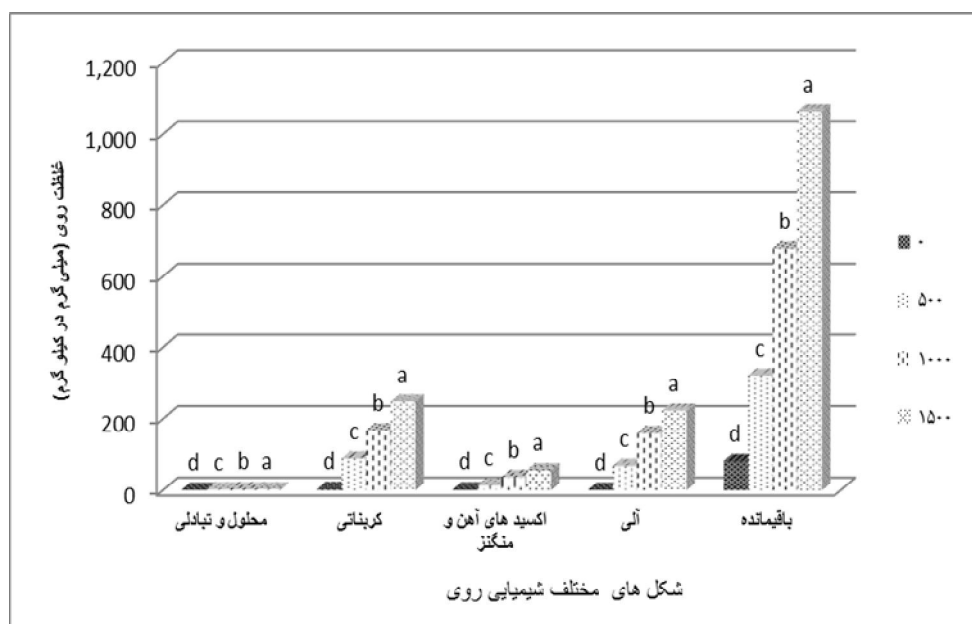
خاک‌های آهکی، غیر آلوده و از نظر تغذیه گیاهی مطلوب نمی‌باشد چرا که گیاهان در طول دوره رشد خود معمولاً با کمبود روی مواجه می‌شوند.

تبادلی کمتری در دسترس است و مقدار روی تبادلی نیز کاهش می‌یابد. در این مطالعه آنچه اهمیت دارد، این است که روی از بخش قابل دسترس و فراهم برای گیاه یعنی شکل تبادلی خارج می‌شود و در بخش‌های با فراهمی کمتر قرار می‌گیرد. این نتیجه در ارتباط با



شکل 1- غلظت شکل‌های شیمیایی روی در سطوح آلودگی مختلف خاک

Figure 1- The Concentration of Zn chemical forms in different levels of soil contamination

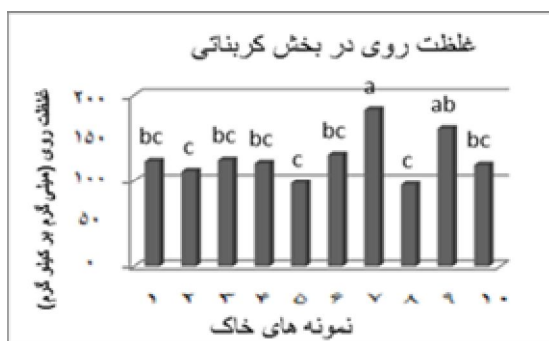


شکل 2- تأثیر سطوح مختلف آلودگی در شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌ها

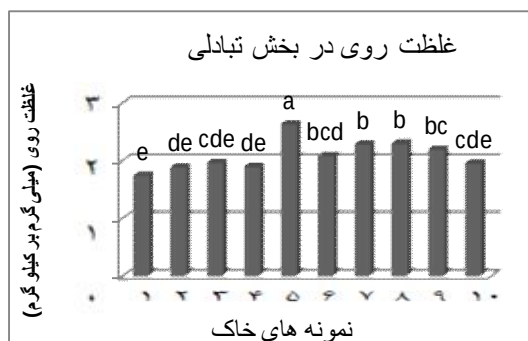
Figure 2- Effect of different contamination levels on Zn chemical forms in soils

شیمیایی مختلف روی در نمونه‌های خاک بطور جداگانه در شکل 3 بررسی شده است. در بخش روی تبدلی (شکل 3 الف) بیشترین غلظت روی در نمونه شماره 5 مشاهده شد که با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت.

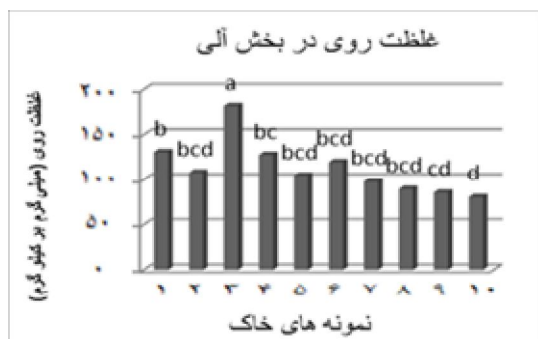
ولی از نظر کاهش خطرات زیست محیطی مثبت محسوب می‌شود. اما اینکه این روند تا چه سطحی از آلودگی ادامه خواهد داشت، نیازمند بررسی‌ها و مطالعات بیشتر می‌باشد. طبق نتایج شکل 2 نشان داد اختلاف بین غلظت روی، در هر یک از شکل‌های شیمیایی در سطوح مختلف آلودگی معنی‌دار بود. غلظت شکل‌های



شکل ب



شکل الف



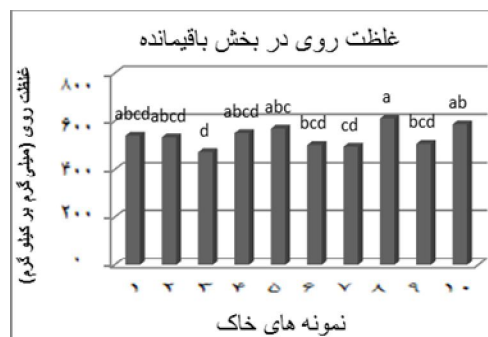
شکل ج



شکل پ

شکل 3- غلظت روی در شکل‌های شیمیایی مختلف نمونه‌های خاک

Figure 3- Zn concentration in different chemical forms of soil samples



شکل د

و معنی‌داری بین درصد سیلت با روی تبدلی و روی جذب شده توسط ریشه مشاهده شد که احتمالاً بدلیل عدم وجود مکان‌های جذب سطحی و عدم نگهداری عنصر روی توسط این اجزاء خاک می‌باشد. بین هدایت الکتریکی خاک و هیچکدام از پارامترهای مورد نظر همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ولی بین کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در خاک و برخی از پارامترها همبستگی مشاهده شد. همبستگی‌های میان منیزیم محلول با روی تبدلی و روی جذب شده توسط ریشه گیاه، سدیم محلول در خاک با روی اندام هوایی گیاه، آنیون بیکربنات محلول در خاک با روی جذب شده بوسیله ریشه، آنیون کربنات خاک با روی اکسیدهای آهن و منگنز، آلی، روی باقیمانده، روی کل، روی جذب شده توسط ریشه و همچنین همبستگی بین آنیون سولفات محلول در خاک با روی اکسیدهای آهن و منگنز و روی جذب شده توسط اندام هوایی معنی‌دار شد. روی بخش اکسیدهای آهن و منگنز با درصد کربنات کلسیم خاک همبستگی معنی‌داری نشان داد. طبق مطالعات عثمان و همکاران (43) پویایی و جذب فلزات سنگین با افزایش شوری خاک افزایش می‌یابد. همچنین کوشنگ و همکاران (36) بیان کردند که شوری خاک جذب فلزات سنگین توسط گیاه را افزایش داد. نتایج تحقیقات کشاورز و همکاران (23) نشان داده است که افزایش شوری خاک بطور چشمگیری روی قابل استخراج با DTPA را افزایش داده و شکل‌های شیمیایی روی در خاک به شدت تحت تاثیر سطوح شوری خاک بوده و کاتیون‌های محلول و pH خاک بر جذب و فراهمی روی مؤثر می‌باشند. همچنین شوری باعث توزیع مجدد روی از بخش باقیمانده به قابل تبادل و آلی می‌شود. با افزایش شوری خاک، روی قابل استفاده گیاه افزایش داشته است. اکوستا و همکاران (1) بیان کردند که اثر شوری خاک بر تحرک فلزات سنگین از جمله روی در خاک به نوع و مقدار فلز و نوع نمک بستگی داشته و برای سرب، مس و روی، مکانیسم‌های رقابت با کلسیم برای مکان‌های جذب، کمپلکس شدن با کلریدها و سولفات‌ها و رقابت با کلسیم یا منیزیم را باید در نظر گرفت. به طوری که مقادیر زیادی از سرب و روی جذب سطحی کربنات‌ها شده و رقابت با کلسیم برای مکان‌های جذب مهمترین فرآیند مؤثر در تحرک آن می‌باشد. در این مطالعه همبستگی میان سدیم و غلظت روی در اندام هوایی منفی بود. نتایج مختلفی در این زمینه در منابع ارایه شده است که محققان بر این باور هستند که اثر شوری بر غلظت عناصر کم مصرف در گیاه بستگی به نوع نمک اضافه شده و گیاه مورد مطالعه دارد (28). در این مطالعه ضریب همبستگی بین درصد کربنات کلسیم معادل و روی کربناتی معنی‌دار نشد. علت آن را می‌توان اینگونه توضیح داد که واکنش کربنات کلسیم با روی در خاک‌ها بیشتر از اینکه به مقدار کل آن وابسته باشد

غلظت روی متصل به کربنات‌ها (شکل 3 ب) نیز در خاک‌های مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشت و بیشترین غلظت روی در نمونه‌های شماره 7 و 9 بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر و دارای اختلاف معنی‌دار با سایر نمونه‌ها (دارای کمترین غلظت روی و بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر) مشاهده شد

غلظت روی اکسیدهای آهن و منگنز (شکل 3 پ) در نمونه شماره 3 بیشترین مقدار بود که با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت ولی بین سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شکل آلی (شکل 3 ج) بیشترین غلظت روی در نمونه شماره 3 مشاهده شد که با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت. در بخش باقیمانده بیشترین غلظت روی در نمونه شماره 8 مشاهده شد که با نمونه‌های شماره های 1، 2، 4، 5 و 10 اختلاف معنی‌داری نداشت ولی اختلاف آن با سایر نمونه‌ها معنی‌دار بود. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار روی در بخش باقیمانده (شکل 3 د) و کمترین آن در بخش تبدلی قرار دارد و اختلاف بین غلظت روی در خاک‌های مختلف، مربوط به ویژگی‌های متفاوت خاک‌ها است.

در جدول‌های 6 و 7 همبستگی شکل‌های مختلف روی با ویژگی‌های خاک و با یکدیگر ارائه شده است. همبستگی میان شکل‌های شیمیایی روی با یکدیگر و با روی کل، روی جذب شده بوسیله ریشه و اندام هوایی گیاه و روی قابل استفاده گیاه، بجز همبستگی میان شکل‌های اکسیدها و تبدلی روی مثبت و معنی‌دار شد. عدم وجود همبستگی بین بخش تبدلی و اکسیدهای آهن و منگنز احتمالاً نشان دهنده این واقعیت است که اکسیدهای آهن و منگنز بطور معمول تأمین کننده اصلی روی بخش محلول و تبدلی بعد از کربنات‌ها هستند، در این خاک‌ها نقش چندانی ندارند. در مطالعه ریحانی تبار و همکاران (37)، به غیر از جزء تبدلی، جزء آلی و متصل به اکسیدهای منگنز، بقیه جزء‌ها با روی کل همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. نتایج تحقیقات نیلسن و همکاران (34) نشان داد که مقدار روی کل خاک با مقدار روی در همه ی اجزاء همبستگی مثبت دارد. در تحقیق حاضر، ضرایب همبستگی بالا میان شکل‌های مختلف روی با یکدیگر و با روی کل، روی اندام هوایی و ریشه و روی قابل استفاده گیاه می‌تواند بیانگر پویایی سیستم خاک باشد. ضرایب همبستگی بین روی قابل استفاده گیاه و شکل‌های شیمیایی روی نشان‌دهنده این واقعیت است که روی این بخش از کلیه شکل‌های موجود تأمین می‌گردد. نتایج مشابهی در تحقیق غلامی و بارانی (17) مشاهده شد. ولی بین روی قابل استفاده گیاه با روی شکل کربناتی و آلی خاک‌ها ضریب همبستگی بالاتری مشاهده شد که می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که عمده روی قابل استفاده گیاه از این دو بخش تأمین می‌گردد. با توجه به جدول 7 همبستگی منفی

بنابراین روی متصل به مواد آلی می تواند تحت تأثیر واکنش خاک قرار گیرد. و حل شدن و قرار گرفتن روی در بخش محلول، فراهمی آن را برای گیاه افزایش داده و مقدار روی جذب شده توسط ریشه و اندام هوایی گیاه افزایش می یابد. البته در این مورد ترکیب مواد آلی بسیار اهمیت دارد.

به سطح ویژه کربنات کلسیم که نشانه توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم در خاک است، بستگی دارد (37). در این مطالعه pH با روی جذب شده بوسیله ریشه و اندام هوایی همبستگی منفی و معنی داری داشت (جدول 7). ناگانوما و همکاران (32) گزارش دادند که با افزایش pH، بر اثر حل شدن مواد آلی، روی وارد فاز محلول خاک می شود

جدول 6- ضریب های همبستگی ساده بین شکل های مختلف روی و برخی ویژگی های خاک

Table 6- Simple correlation coefficients between different forms of zinc and some soil properties.

شکل های شیمیایی روی Zn Fractions	تبادلی Exchangeable	کربناتی Carbonate	اکسیدها Oxides	آلی Organic	باقیمانده Residual	روی کل total Zn	روی اندام هوایی shoot Zn	روی ریشه root Zn	روی قابل استفاده گیاه DTPA Zn
تبادلی Exchangeable	1								
کربناتی Carbonate	0.698**	1							
اکسیدها Oxides	0.219	0.532**	1						
آلی Organic	0.605**	0.856**	0.740**	1					
باقیمانده Residual	0.741**	0.833**	0.440**	0.870**	1				
روی کل total Zn	0.739**	0.921**	0.539**	0.923**	0.985**	1			
روی اندام هوایی shoot Zn	0.446**	0.819**	0.476**	0.672**	0.635**	0.687**	1		
روی ریشه root Zn	0.570**	0.740**	0.409**	0.725**	0.778**	0.780**	0.676**	1	
روی قابل استفاده گیاه DTPA Zn	0.658**	0.874**	0.582**	0.923**	0.882**	0.924**	0.672**	0.705**	1

** معنی دار در سطح 1 درصد، * معنی دار در سطح 5 درصد
** Significant at 1% level, * significant at 5% level

اکسیدهای آهن و منگنز و روی تبادلی کاهش می یابد. در این خاک ها با توجه به کم بودن ماده آلی و احتمالاً اکسیدهای آهن و منگنز در خاک- ها، بخش کربناتی جذب کننده مهمی برای فلز روی می باشد. در سطوح بالای آلودگی درصد روی در بخش باقیمانده کاهش یافت و به درصد روی در بخش های دیگر، بویژه آلی و کربناتی افزوده شد که قابلیت فراهمی و پویایی بیشتری نسبت به بخش باقیمانده دارد که این امر تهدیدی برای محیط زیست می باشد. وجود ضرایب همبستگی بالا و معنی دار میان شکل های مختلف روی با یکدیگر و با روی کل، روی اندام هوایی و ریشه و روی قابل استفاده گیاه می تواند بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آن شکل ها و پویایی سیستم خاک باشد. عدم وجود همبستگی بین بخش تبادلی و اکسیدهای آهن و منگنز احتمالاً نشان می دهد که اکسیدهای آهن و منگنز که بطور معمول تامین کننده اصلی روی بخش محلول و تبادلی بعد از کربنات ها هستند، در این خاک ها نقش چندانی ندارند.

همبستگی بین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و روی اکسیدهای آهن و منگنز معنی دار شد. شومن (39) بیان کرد یکی از قویترین همبستگی های بین شکل های مختلف روی و ویژگی های خاک مربوط به ظرفیت تبادل کاتیونی است. در این تحقیق همبستگی بین کربن آلی با روی تبادلی معنی دار شد. این مطلب با یافته های نیلسن و همکاران (34) هم مطابقت دارد. لیندزی (26) یک ارتباط متقابل مثبت بین مقدار ماده آلی و مقدار روی خارج شده توسط عصاره گیرهای مختلف در خاک های مختلف را بیان نمود. در این مطالعه بین روی پیوند یافته با مواد آلی و کربن آلی همبستگی وجود نداشت. نیلسن و همکاران (34) نیز بیان کردند که مقدار روی قابل تبادل و روی پیوند یافته با مواد آلی همبستگی بالایی با مواد آلی ندارند.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه میانگین شکل های شیمیایی روی در خاک های مورد بررسی به ترتیب روی باقیمانده، روی کربناتی، روی آلی، روی

جدول ۷ ضرایب همبستگی ساده بین شکل‌های مختلف روی و برخی ویژگی‌های خاک
Table 7- Simple correlation coefficients between the different fractions and some soil properties

ویژگی‌های خاک Soil properties	تبادلی Exchangeable	کربناتی Carbonate	اکسیدها Oxides	آلی Organic	باقیمانده Residual	کل روی total Zn	روی اندام هوایی Shoot Zn	روی ریشه root Zn	روی قابل استفاده DTPA Zn
%Silt	-0.412*	-0.131	-0.247	-0.211	-0.215	-0.186	-0.089	-0.356*	-0.144
Mg ²⁺ (meq/l)	0.542*	0.067	0.007	-0.010	0.147	0.112	-0.034	0.535*	0.041
Na ⁺ (meq/l)	0.246	-0.843	-0.187	0.093	0.079	0.049	-0.425*	0.078	-0.083
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	-0.103	0.073	0.089	0.175	0.221	0.170	0.297	-0.419**	0.041
CO ₃ ²⁻ (meq/l)	0.154	0.234	0.491**	0.479**	0.336*	0.386	0.189	-0.327*	-0.083
SO ₄ ²⁻ (meq/l)	-0.051	0.151	0.437**	0.210	0.045	0.086	0.437*	0.275	0.191
% CaCO ₃	0.087	0.003	-0.658**	-0.248	0.059	-0.025	0.008	0.031	-0.079
pH	-0.101	-0.227	-0.304	-0.291	-0.271	-0.253	-0.429**	-0.0528**	-0.282
CEC	-0.095	-0.032	-0.505**	-0.198	0.072	-0.022	-0.142	0.137	-0.109
% OC	-0.531**	0.080	0.320	0.143	-0.052	0.014	0.288	-0.060	0.013

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

** Significant at 1% level, * Significant at 5% level

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد که هزینه اجرای این طرح را فراهم نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

پیشنهادها

اطلاعات بدست آمده از این مطالعه، عمدتاً براساس مطالعات تعادلی به وسیله روش‌های ترمودینامیکی می‌باشد که فقط حالت

نهایی سیستم را پیش‌بینی می‌کند و چون خاک‌ها تقریباً همیشه در حالت غیرتعادلی نسبت به تغییر شکل یون‌ها و برهمکنش مولکول‌های آلی قرار دارند، مطالعات تعادلی اغلب قابل تعمیم به شرایط مزرعه نمی‌باشند. اما آگاهی از روند آزادسازی عنصر روی و استخراج آن با رویکرد سینتیکی می‌تواند اطلاعات مهمی در رابطه با طبیعت واکنش‌ها و همچنین سرعت تأمین روی برای گیاه از طریق محلول خاک ارائه نماید.

منابع

- 1- Acosta J.A., Jansen B., Kalbitz K., Faz A., and Martinez-Martinez S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. *Journal of Chemosphere*, 85:1318-1324.
- 2- Allison L.E. 1965. Organic carbon. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI., 1372-1376.
- 3- Allison L.E., and Moodie C.D. 1965. Carbonate. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI., 1379-1396.
- 4- Alvarez J. M., Lopez-Valdivia L. M., Novillo J., Obrador A., and Rico M. I. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phyto availability prediction of Manganese and Zinc in agricultural alkaline soils. *Geoderma*, 132: 450-463.
- 5- Aravind P., and Prasad M.N.V. 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in Cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a fresh water macrophyte. *Plant Science*, 166:1321-1327.
- 6- Bermond A., and Varlaunt C. 2004. Application of a kinetic fractionation of trace elements (Cd, Cu & Pb) in unpolluted soil samples. *Environmental Technology*. 25:293-300.
- 7- Brummer G., Gerth J., and Tiller K.G. 1988. Reaction kinetics of adsorption and desorption of Nickel, Zinc and Cadmium by goethite. I. Adsorption and diffusion of metals. *J. Soil Sci.* 39: 37-52.
- 8- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI., 891-901.
- 9- Chen M., and Ma L.Q. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 491-499.
- 10- Dabkowska-Naskret H. 2003. The role of organic matter in association with zinc in selected arable soils from Kujawy region, Poland. *Organic Geochemistry*. 34: 645-649.
- 11- Day P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI., 545-567.
- 12- Everhart J. L., McNear Jr. D., Peltier E., van der Lelie D., Chaney R. L., and Sparks D.L. 2006. Assessing Nickel bioavailability in smelter-contaminated soils. *J. Science of the Total Environment*, 367: 732-744.
- 13- Filgueiras A.V., Lavilla I., and Bendicho C. 2002. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. *J. Environ. Monit.* 823-857.
- 14- Forstner U. 1985. *Chemical Methods for Assessing Bioavailable Metals in Sludges*, Elsevier. London.
- 15- Ghafarnejad A., and Karimian N. 2007. Determination of chemical forms of Manganese and their relations with soybean responses in some calcareous soils of fars province. *J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 1: 125-134. (in Persian with English abstract)
- 16- Ghane H., and Karimian N. 2003. Distribution of different forms of Zn in calcareous soils of Fars Province in relation to soil properties. 8th Congress of Soil Science. Rasht. (in Persian with English abstract).
- 17- Gholami M., and Barani Motlagh M. 2012. Distribution of zinc forms and the relationship of these fractions with soil properties in some soils of Golestan Province. *J. of Soil Management and Sustainable production*, 1(2). (in Persian with English abstract).
- 18- Han F.X. and Banin A. 1995. Selective sequential dissolution techniques for trace metals in arid-zone soils: The carbonate dissolution step. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26:553-576.
- 19- Harter R.D. 1991. Micronutrient adsorption – desorption reaction in Soils. P: 59-89. In S.H. Mickelson (ed.) *Micronutrient in. Agriculture. Soil. Sci. Soc. Am. Madison, Wis. USA*.

- 20- Iyengar S.S., Martens D.C., and Miller W.P. 1981. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:735-739.
- 21- Jones J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, 27-160.
- 22- Kabala C., and Singh B.R. 2001. Fractionation and mobility of Copper, Lead and Zinc in soil profiles in the vicinity of a Copper smelter. *J. Environ. Qual.*, 30: 485-492.
- 23- Keshavarz P., Malakouti M. J., Karimian N., and Fotovat A. 2006. The effects of salinity on extractability and chemical fractions of Zinc in selected calcareous soils of Iran. *J. Agric. Sci. Technol.*, 8: 181-190.
- 24- Kitchens L. 1995. Zinc In: Alloway, B.J. (ed.), *Heavy metals in soils*. Blackie Academic. London.
- 25- Li Z., and Shuman L.M. 1996. Redistribution of forms of Zinc, Cadmium, and Nickel in soils treated with EDTA. *J. Sci. Total Environ.*, 191: 95-107.
- 26- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
- 27- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- 28- Lorenzo H., Siverio J. M., and Caballero M. 2001. Salinity and nitrogen fertilization and nitrogen metabolism in rose plants. *J. Agric. Sci.* 137: 77-84.
- 29- Ma L.Q., and Rao G.N. 1997. Chemical fractions of Cadmium, Copper, Nickel and Zinc contaminated soils. *J. Environ. Qual.*, 26:259-264.
- 30- Maftoun M., Haghghatnia H., and Karimian N. 2000. Characterization of Zn adsorption in some calcareous paddy soils from Fars Province. *J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4: 71-85. (in Persian with English abstract)
- 31- McKenzie R.M. 1978. The effect of two Manganese dioxides on the uptake of Lead, Nickel, Copper and Zinc by subterranean clover. *Aust. J. Soil Res.*, 16: 209- 214.
- 32- Naganuma K., Okazaki M., Yonebayashi K., and AbuBaker Z. 1993. Surface charge and adsorption characteristics of copper and zinc on tropical soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 39: 455-462.
- 33- Navrot J., and Ravikovitch S. 1968. Zinc availability in calcareous soils. *Soil Sci.*, 105: 184- 189.
- 34- Neilsen D., Hoyt P.B., and Mackenzie A.F. 1986. Distribution of soil Zn fractions in British Columbia interior orchard soils. *J. Soil Sci.*, 66: 445-454.
- 35- Olsen S. R. C. V., Cole Watenable F. S., and Dean I. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Agric. Circs., 939. USA.
- 36- Qusheng L., Shasha C., Cehui M., Bei C., Lihua P., and Fangbing Y. 2010. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 84-88.
- 37- Reyhanitabar A., Karimian N., Ardalan M., Savaghebi Gh.R., and Ghanadha M.R. 2006. Zinc fractions of selected calcareous soils of Tehran Province and their relationships with soil characteristics. *J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 3: 125-136 (in Persian with English abstract).
- 38- Richards R. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Agriculture hand book. No: 60. Washington.
- 39- Shuman L.M. 1985. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci. J.*, 140 (1): 11-22.
- 40- Singh J.P., Karwasra S.P.S., and Singh M. 1988. Distribution and forms of Copper, Iron, Manganese, and Zinc in calcareous soils of India. *Soil Sci.*, 146(5): 359- 366.
- 41- Sparks D.L. 1995. Environmental soil chemistry. Academic Press. San Diego. USA.
- 42- Tessier A., Campbell P. G. C., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51:844-51.
- 43- Usman A.R.A., Kuzyakov Y., and Stahr K. 2005. Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals availability to wheat grown on sewage sludge contaminated soil. *Soil Sediment Contam.*, 14: 329-344.
- 44- Xian X. 2003. Effect of chemical forms of Cadmium, Zinc, and Lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. *Plant and Soil*, 113:256-264.
- 45- Xiang H.F., Tang H.A., and Ying Q.H. 1995. Transformation and distribution of forms of Zinc in acid, neutral and calcareous soils of China. *Geoderma*, 66: 121-135.
- 46- Yasrebi J., Karimian N., Maftoun M., Abtahi A., and Sameni. 1994. Distribution of Zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of Zinc sulfate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25: 2133-2145.
- 47- Young S. D., Zhang H., Tye A. M., Maxted A., Thums C., and Thornton I. 2005. Characterizing the availability of metals in contaminated soils. I. The solid phase: sequential extraction and isotopic dilution. *Soil Use Manage.*, 21: 450-458.
- 48- Zimmerman A.J., and Weindorf D. C. 2010. Heavy metal and trace metal analysis in soil by sequential extraction: a review of procedures, *International Journal of Analytical Chemistry*, 2010: A. ID 387803, 7 pages.



Distribution of Zn Fractons and their Relationship with Soil Properties in Some Soils of Khorasan Razavi Province

Z. Sharifi¹ -A. R. Astarai^{2*} -A. Fotovat³ -M. Barani Motlagh⁴ -H. Emami⁵

Received: 18-09-2016

Accepted: 20-06-2017

Introduction: Zinc is one of the essential micronutrients for plants, mining and industrial activities leading to pollution of heavy metals, including zinc metal contamination in soils. In addition to the total concentration, knowledge of the Zinc fractions is necessary to assess the mobility of zinc in the soils. One of the sequential extraction methods is Tessier method. sequential extraction with plant cultivation simultaneously, is the appropriate approach for assessing the mobility of toxic metals. Therefore this study was conducted to evaluate the chemical forms and determine their relationship to the physical and chemical properties of soils in some fields under cultivation in Khorasan Razavi province.

Materials and Methods: The experiment was conducted in a completely randomized design with factorial arrangement includes 4 levels of contamination (0, 500, 1000 and 1500 (mg/kg)) and 10 soil types from different regions of Khorasan Razavi province of 0-30 cm depth in the range of electrical conductivity 1 up to 15 ds/m, with three replications at Research greenhouses of Ferdowsi University of Mashhad. An example of mining waste was prepared as a source of pollution. The soil samples were kept at field capacity moisture for 6 months. Then air-dried soil samples were used for planting borage and determine the Zinc fractions. Then soil samples were air dried and used for planting borage and determining the Zinc fractions. Texture, cation exchange capacity, organic carbon, electrical conductivity, pH and Available phosphorus and potassium were measured in the saturation extract. DTPA-extractable Zinc was measured by atomic absorption spectrometry. Borage was planted in greenhouses in 3 kg pots with three replications. During flowering, the plants were harvested and dry digestion method was used to measure the concentration of Zinc. Chemical forms and Pseudo total concentration of zinc in the samples were determined using Tessier and digestion by HCl and HNO₃ acids (3:1) methods respectively. The concentration of the extracts was measured by atomic absorption spectrometry. Statistical analysis was done using Minitab and Excel softwares.

Results and Discussion: Chemical Forms Average of zinc in soils was as follows:

Exchangeable < iron and manganese oxides < organic < carbonate < residual

Despite the low percentage of organic matter in these soils, in high levels of Zinc contamination a large amount of zinc was saved. Lack of organic Zinc, in addition to the low amount of organic matter soil is related to the dominance of iron oxides. In high levels of soil contamination, increased concentrations of zinc in all fractions, especially organic and carbonate which leads to an increase in the availability of zinc, is a serious threat to environment. The amount of exchangeable zinc was insignificant. Also the exchangeable, forms a small part of total amount of metal in the soils. The correlation between the chemical forms with each other and with the pseudo total, absorbed by plant roots and shoots and extracted with DTPA together, was significant. Absence of correlation between the exchangeable and iron and manganese oxides is probably indicative of the fact that the main supplier of soluble and exchangeable zinc normally after carbonates are iron and manganese oxides, that have little role in these soils. There is a significant positive correlation between different fractions of zinc with each other and this indicate a dynamic relationship between the zinc chemical forms in the soil. Correlation coefficients between plant available and chemical forms of zinc showed that plant available zinc derived from all fractions. A higher correlation coefficient between the plant available with carbonate and organic zinc was obtained, which indicates that carbonate and organic are the major suppliers for available plants zinc.

Conclusion: In this study, the residual, carbonate and organic fractions are dominant form of zinc in soils, respectively. With increasing level of contamination, percentage of residual zinc decreased and percentage of other fractions increased, particularly organic and carbonate. Increasing the availability of zinc, is a threat to the environment. There is a high correlation coefficient between different fractions of Zinc with each other and with the pseudo total, amount of plant and available plant zinc showed that there is a dynamic relationship in the soil

1, 2 3 and 5- Ph.D. Student, Associate Professor, Professor and Associate Professor Department of Soil Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(*- Corresponding Author Email: Astarai@ferdowsi.um.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource

systems. There is a higher correlation coefficient between the available zinc and carbonate and organic fractions of soils, which indicate available plant zinc, are mainly derived from carbonate and organic fractions.

Keywords: Borage, Chemical forms, Contamination, Correlation, Mineral waste, Soil, Zinc



پیامد مایه‌زنی میکروبی بر رشد، جذب آهن و روی و پاسخ بیوشیمیایی بنگدانه (*Hyoscyamus niger* L.) در تنش سرب

اکبر کریمی^۱ - حبیب خداوردیلو^{۲*} - میرحسن رسولی صدقیانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

چکیده

در این پژوهش پیامد مایه‌زنی قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AMF) و باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) بر رشد، برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و جذب آهن و روی توسط گیاه بنگدانه (*Hyoscyamus niger* L.) در آلودگی سربی خاک بررسی گردید. برای این کار یک نمونه خاک گزینش و به-گونه یکنواختی با غلظت‌های گوناگون سرب (صفر، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از نمک نیترات سرب آلوده شد. سپس خاک آلوده شده سترون و با گونه‌های AMF (مخلوطی از زادمایه قارچ جنس *گوموس* شامل گونه‌های *G. intraradices*، *G. mosseae* و *G. fasciculatum*) و PGPR (مخلوطی از باکتری‌های جنس *سودوموناس* شامل گونه‌های *P. putida*، *P. fluorescens* و *P. aeruginosa*) مایه‌زنی گردید. این پژوهش در گلخانه به‌گونه آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور غلظت سرب (در ۴ سطح) و تیمار میکروبی (در ۳ سطح) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت سرب در خاک درازی شاخساره، وزن خشک ریشه و شاخساره، رنگدانه‌های فتوسنتزی، غلظت آهن و روی در شاخساره کاهش یافت و غلظت سرب در شاخساره، پرولین و قندهای محلول در گیاه افزایش یافت. مایه‌زنی AMF و PGPR سبب افزایش معنی‌دار ($P \leq 0.05$) وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول و غلظت آهن و روی در شاخساره شد. ویژگی‌های بیوشیمیایی در تیمارهای AMF و PGPR اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) نداشتند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مایه‌زنی میکروبی مایه بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه و افزایش بردباری بنگدانه در برابر آلودگی سرب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی سرب، باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه، قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار، ویژگی‌های بیوشیمیایی

مقدمه

گیاهان است که می‌تواند جذب عناصر غذایی ضروری مانند آهن و روی و منگنز در گیاه را بکاهد (۳ و ۳۳). سرب در گیاهان سبب ناهنجاری متابولیکی و کاهش کارکرد شده و حتی می‌تواند مایه نابودی بسیاری از گونه‌های گیاهی شود (۲۴ و ۳۶). مقدار بالای سرب در کلروپلاست گیاهان می‌تواند با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های کارا در بیوسنتز کلروفیل، تثبیت دی‌اکسیدکربن (CO_2) و ترکیبات پروتئینی رنگدانه‌ها در فتوسیستم I و II، ساختار کلروپلاست گیاهان را ویران نموده و رشد و کارکرد گیاهان را بکاهد (۲۵). سرب در گیاهان سبب تخریب مولکول‌ها شده و به‌گونه مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند مایه پیدایش گونه‌های کارای اکسیژن (ROS) مانند رادیکال اکسیژن ($O_2^{\cdot-}$)، رادیکال هیدروکسیل ($HO^{\cdot}$) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) شود (۲۴ و ۳۶). گونه‌های کارای اکسیژن مایه ایجاد تنش اکسیداتیو، پراکسیداسیون لیپید، آسیب غشای یاخته‌ای و دگرگونی سوخت و ساز بیوشیمیایی یاخته‌ها و در پایان کاهش رشد گیاه می‌

سرب یکی از فراوان‌ترین و زهری‌ترین فلزهای سنگین است که از راه‌های گوناگون به خاک راه یافته و بهداشت گیاهان، جانداران و مردم را به‌خطر می‌اندازد (۲۰ و ۲۴). گیاهان می‌توانند فلزهای فاز محلول خاک را جذب نمایند. این توانایی گیاهان به آن‌ها اجازه می‌دهد که فلزهای زهری مانند سرب را نیز جذب نموده و در بافت‌های خود بیاورند. بدین‌گونه گیاه در برابر آلودگی به این عنصر زهری هستند (۱).

غلظت‌های بالای سرب در خاک یکی از عوامل کم‌کننده رشد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه ارومیه و دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ و ۳- دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

(*) نویسنده مسئول: (Email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.59472

شوند (۲۴ و ۳۶).

مایه‌زنی AMF و PGPR در رشد، جذب عناصر سرب، آهن روی و اندوخته نسبی آب گیاه (RWC) و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مرتعی بنگ‌دانه، در یک خاک آلوده به سرب انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک بررسی شده از سری Inceptisols Typic Halaquepts Fine, mixed, mesic واقع در استان آذربایجان غربی نمونه‌برداری شد. این خاک پس از هواخشک شدن به دو بخش تقسیم گردید. یک بخش آن برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش‌های استاندارد (۸) اندازه‌گیری شد. بخش دیگر خاک پس از عبور از الک پنج میلی‌متری با غلظت‌های گوناگون سرب شامل صفر، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک آلوده شد. برای آلوده کردن خاک از نمک نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ بهره‌گیری شد (۱۹). بر پایه پژوهش‌های پیشین (۲۰)، خاک آلوده برای پنج ماه در برابر تناوب‌های تر و خشک شدن و برای ۱۸ ماه دیگر به گونه هواخشک نگهداری شد تا توزیع سرب در خاک به شرایط آلودگی طبیعی نزدیک‌تر شود.

نمونه‌های خاک آلوده شده در دو نوبت سترون شدند. خاک سترون به گلدان‌های سترون شده با گنجایش ۲/۵ کیلوگرم منتقل گردید. سپس مایه‌زنی قارچ‌ها شامل آمیخته‌ای از زادمایه قارچ جنس *گلووموس* (آمیخته گونه‌های *G. intraradices*, *G. mosseae* و *G. fasciculatum*) انجام شد. فراوانی اسپورهای قارچ زادمایه، ۲۵۰ اسپور در هر ۵۰ گرم زادمایه بود. برای تیمار باکتریایی، ۱۵ میلی‌لیتر از محیط کشت مایع Nutrient Broth دارای باکتری‌ها (آمیخته باکتری‌های جنس *سودوموناس* گونه‌های *P. putida*, *P. fluorescens* و *P. aeruginosa*) به گلدان‌ها مایه‌زنی گردید. فراوانی این باکتری‌ها نزدیک $10^8 \times 2/6$ (CFU ml⁻¹) بود (۱۹). باکتری‌های استفاده شده در این مطالعه دارای توانایی بالایی در تولید سیدروفور، آنزیم ACC دامیناز، ترشح هورمون اکسین، ترشح اسیدهای آلی و انحلال فسفات‌های نامحلول بودند (۳۱). گونه‌های قارچ و باکتری از بانک میکروبی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ارومیه و بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشورآماده شدند.

پس از رساندن رطوبت گلدان‌ها به گنجایش زراعی و کاربرد تیمارها کشت گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyamus niger* L.) انجام شد و گلدان‌ها در شرایط گلخانه نگهداری شدند. ابتدا در هر گلدان ۶ بذر از گیاه بنگ‌دانه با فواصل منظم کشت گردید. پس از جوانه‌زدن بذر، ۳ بوته از گیاه در گلدان‌ها نگهداری شدند. در پایان ماه پنجم رشد، درازی شاخساره گیاه اندازه‌گیری شد و سپس شاخساره و ریشه‌های

یکی از راهکارهای افزایش بردباری گیاهان و بهبود رشد آن‌ها در خاک‌های آلوده به سرب، همزیستی ریزسازواره‌های سودمند خاک مانند قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار (AMF) و باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) با گیاهان است (۱۸، ۱۹ و ۳۶). قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار یکی از مهم‌ترین ریزسازواره‌های خاک هستند که با بیش‌تر گیاهان در زیستگاه‌های گوناگون و در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین روابط همزیستی دارند (۳۴). نتایج مطالعات گوناگون نشان داده که این قارچ‌ریشه‌ها در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین می‌توانند با راهکارهای گوناگونی از جمله بهبود جذب آب و عناصر غذایی (۱۰)، افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک (۳۰) و تولید هورمون‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه بردباری و رشد گیاه را بیافزایند (۱۰). یانگ و همکاران (۳۶) گزارش کردند مایه‌زنی AMF سبب افزایش بردباری و رشد و کارکرد افاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) در خاک‌های آلوده به سرب می‌شود. همچنین خداوردی‌لو و همکاران (۲۷) در اثر مایه‌زنی AMF رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه مرتعی گل‌گندم در خاک آلوده به سرب بهبود می‌یابد. یافته‌های پژوهش رسولی صدقیانی و همکاران (۳۲) نیز نشان داد مایه‌زنی قارچ‌های *گلووموس* پیامدهای نامطلوب کادمیم در گیاه مرتعی خار زن‌بابا را کاسته و بردباری آن را در خاک‌های آلوده به کادمیم می‌افزاید.

باکتری‌های ریزوسفری افزایش‌دهنده رشد گیاه گروهی دیگر از ریزسازواره‌های سودمند خاک هستند که در شرایط تنش‌های محیطی می‌توانند همزیستی موثری با گیاهان پیدایش دهند (۲۷). نتایج پژوهش‌های گوناگون نشان داده PGPR در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین می‌توانند با تولید انواع اسیدهای آلی، سیدروفور، ویتامین‌ها، هورمون‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه و تولید آنزیم ACC دامیناز و بهبود فعالیت آنزیمی، مایه بهبود جذب عناصر غذایی ضروری توسط گیاه شده و بردباری و کارکرد گیاهان را افزایش دهند (۲۷). جان‌محمدی و همکاران (۱۵) گزارش کردند مایه زنی PGPR کارکرد ارقام گوناگون گندم را در خاک‌های آلوده به سرب می‌افزاید. همچنین خداوردی‌لو و همکاران (۲۱) گزارش کردند بهره‌گیری از زادمایه باکتری‌های *سودوموناس* تا حدودی اثر زهری بودن سرب را در گیاه گل‌گندم کاسته و بردباری و کارکرد این گیاه را در خاک‌های آلوده به سرب را افزایش می‌دهد.

تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در زمینه پیامد مایه‌زنی AMF و PGPR در رشد، جذب و اندوزش سرب توسط گیاهان گوناگون در خاک‌های آلوده انجام شده است. اما در مورد راه کارهای این ریزسازواره‌های خاک در کاهش زهری بودن سرب در گیاهان و تأثیر آن‌ها در ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان به ویژه گیاهان مرتعی مطالعات چندانی انجام نشده است و اطلاعات اندکی در این زمینه وجود دارد. بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی پیامد

و کاروتنوئیدها (کاروتن و گزانتوفیل) به روش استخراج با استون ۸۰ درصد (۲۶) و اندوخته پرولین به روش بیتز و همکاران (۵) اندازه‌گیری شد. همچنین، مقدار قندهای محلول در گیاه به روش فنل اسیدسولفوریک تعیین گردید (۲۳). در این پژوهش برای اندازه‌گیری اندوخته نسبی آب برگ (RWC) از روش تورنر (۳۵) بهره‌گیری شد و سپس با بهره‌گیری از رابطه (۱) مقدار آن محاسبه شد:

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه FW، DW و TW به ترتیب وزن تر برگ، وزن خشک برگ و وزن برگ پس از تورژسانس می‌باشند. این پژوهش به گونه فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و آزمون میانگین داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

گیاه جدا شدند. ریشه‌ها و بخش هوایی گیاه برای ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه اندازه‌گیری گردید (۲۱). حدود یک گرم از ریشه‌های ریز و ظریف برای رنگ‌آمیزی جهت تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه جداسازی شد و درصد کلنیزاسیون ریشه با روش رنگ‌آمیزی با محلول رنگی تریپان بلو و شمارش خطوط تلاقی شبکه اندازه‌گیری شد (۱۳).

در این پژوهش از روش اکسیداسیون تر برای عصاره‌گیری سرب از گیاه استفاده شد. برای اکسیداسیون تر، آمیزه‌ی اسیدنیتریک، اسیدپرکلریک و اسیدسولفوریک با نسبت حجمی ۴۰، ۴ و ۱ به کار رفت (۲۱) و غلظت سرب، آهن و روی با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu6300 AA) اندازه‌گیری شد. برای بررسی پیامد تنش سرب در گیاه و همچنین پیامد مایه‌زنی میکروبی در این زمینه برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه شامل اندازه‌های کلروفیل‌ها

جدول ۱- غلظت نخستین برخی عناصر در خاک بررسی شده

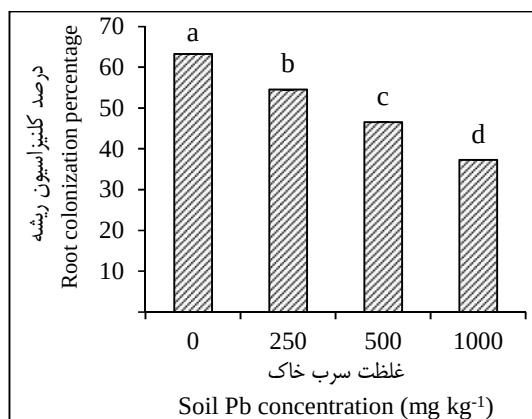
Table 1- Concentration of selected elements in the soil used for this study

ویژگی Property	مس کل Total Cu	روی کل Total Zn	آهن کل Total Fe	سرب کل Total Pb	بیکربنات محلول Soluble HCO ₃ ⁻	کربنات محلول Soluble CO ₃ ²⁻	سدیم محلول Soluble Na ⁺	منیزیم محلول Soluble Mg ²⁺	کلسیم محلول Soluble Ca ²⁺	پتاسیم محلول Soluble K ⁺
واحد Unit	(mg kg ⁻¹)				(mg L ⁻¹)					
مقدار Value	14.11	62	295.5	21.4	5.6	0.8	23.8	0.4	1.2	0/0

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شده

Table 2- Selected physico-chemical properties of the soil used for this study

ویژگی Property	واحد Unit	مقدار Value
شن Sand	g kg ⁻¹	323
سیلت Silt	g kg ⁻¹	403
رس Clay	g kg ⁻¹	274
کلاس بافتی Texture class		لوم Loam
مواد آلی Organic matter	g kg ⁻¹	26.9
گنجایش تبادل کاتیونی Cation exchange capacity (CEC)	cmol.kg ⁻¹	22.1
هدایت الکتریکی Electrical conductivity (EC _e)	dS m ⁻¹	2.5
کربنات کلسیم معادل Calcium Carbonate Equivalent	%	30.5
اسیدیته Ph		8.1



شکل ۱- درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه در سطوح گوناگون سرب در خاک

Figure 1- Root colonization percentage at different levels of Pb in soil

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند

Means similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, according to the Duncan's -test at 5% probability level (n = 3)

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول ۱ و ۲ به ترتیب غلظت اولیه عناصر در خاک و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک بررسی شده را نشان می‌دهند. این خاک دارای بافتی میانه، pH آن در بازه‌ی خاک‌های آهکی، کمی شور، غیر سدیمی (جدول ۲) و با توجه به اندازه پذیرفتنی گزارش شده در منابع (۷)، خاک ناآلوده به فلزهای سنگین بود (جدول ۱).

درصد کلنیزاسیون ریشه

شکل ۱ درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه بنگ‌دانه را در تیمار AMF در سطوح گوناگون آلودگی سربی خاک نشان می‌دهد. در تیمارهای شاهد و PGPR کلنیزاسیون ریشه مشاهده نشد. درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه با افزایش غلظت سرب در خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش کلنیزاسیون ریشه احتمالاً به دلیل کاهش زیست‌توده و کارکرد ریشه گیاه و در نتیجه کاهش احتمالی ترشحات ریشه بود (جدول ۴). کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه در خاک‌های آلوده به دلیل سمیت ناشی از فلزات سنگین برای اندام‌های قارچی، می‌باشد (۱۲). به‌گونه مشابه، نتایج پژوهش گاتای و همکاران (۱۲) نیز نشان داد آلودگی سرب در خاک درصد کلنیزاسیون ریشه را می‌کاهد.

شناسه‌های رویشی گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای میکروبی، سطوح سرب و برهمکنش آن‌ها بر درازی شاخساره و وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳). با افزایش

غلظت سرب در خاک درازی شاخساره و وزن خشک شاخساره گیاه در تیمارهای شاهد و PGPR به‌گونه معنی‌داری ($P \leq 0.05$) کاهش یافت (جدول ۴). در حالی‌که در تیمار AMF کاهش درازی شاخساره در غلظت Pb_{250} معنی‌دار نبود. همچنین وزن خشک شاخساره در تیمار AMF تنها در Pb_{1000} کاهش معنی‌داری نشان داد. در همه اندازه‌های سرب در خاک، درازی شاخساره و ماده خشک شاخساره در تیمارهای AMF و PGPR به‌گونه معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد (بدون مایه‌زنی میکروبی) بود.

به‌گونه میانگین، مایه‌زنی AMF و PGPR وزن خشک شاخساره گیاه را به‌ترتیب $64/6\%$ و $30/2\%$ درصد افزود. وزن خشک ریشه گیاه نیز در همه تیمارها با افزایش غلظت سرب در خاک کاهش یافت. همچنین مایه زنی AMF و PGPR وزن خشک ریشه را به‌گونه معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. اگر چه در Pb_0 و Pb_{250} اختلاف وزن خشک ریشه در تیمارهای AMF و PGPR معنی‌دار نبود، اما در غلظت‌های بالای سرب در خاک (Pb_{500} و Pb_{1000}) این مقدار در تیمار AMF به‌گونه معنی‌داری بیش‌تر از تیمار PGPR بود (جدول ۴). کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه در سطوح بالای سرب در خاک را می‌توان به کاهش سنتز پروتئین‌ها، ایجاد ناهنجاری در تنفس سلولی، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های ضروری در متابولیسم طبیعی گیاه در پی زهری بودن سرب در گیاهان نسبت داد (۹). همچنین آلودگی سربی خاک مایه ایجاد ناهنجاری در جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان می‌شود. افزون بر این، سرب در گیاهان مایه ناهنجاری در تعادل تغذیه‌ای شده و به همین دلیل کارکرد گیاه را به‌گونه چشم‌گیری می‌کاهد (۳۳). این نتایج با نتایج بسیاری از پژوهش‌ها همانند بود (۴، ۹ و ۲۲) برای

نمونه، کنکی و همکاران (۹) گزارش کردند سرب از تقسیم سلول‌های مریستمی و رشد سلول‌های ریشه جلوگیری کرده و وزن خشک ریشه گیاهان را می‌کاهد. همچنین نتایج پژوهش خداوردی‌لو و همکاران (۲۱) نشان داد ارتفاع و وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه مرتعی گل گندم با افزایش آلودگی سربی خاک کاهش می‌یابد. بیش‌تر بودن رشد و کارکرد گیاه در تیمارهای AMF و PGPR نسبت به تیمار شاهد به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی ضروری توسط گیاه و بهبود شرایط تغذیه‌ای در پی مایه‌زنی میکروبی و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه توسط این ریزسازواره‌های سودمند خاک می‌باشد (۲۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر درازی شاخساره و وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه

Table 3- Variance analysis of the treatments effects on shoot length and dry weight of shoot and root

متابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درازی شاخساره Shoot length	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Shoot dry weight
میکروب Microbe	2	83.69**	5.15**	6.27**
سرب Lead	3	313.27**	7.49**	4.17**
میکروب × سرب Lead×Microbe	6	4.97**	0.46**	0.26**
خطا Error	22	0.65	0.033	0.054

جدول ۴- آزمون میانگین درازی شاخساره و وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه در سطوح گوناگون سرب در خاک در تیمارهای AMF، PGPR و شاهد

Table 4- Mean comparison of shoot length and dry weight of shoot and root at different levels of soil Pb in control, PGPR and AMF treatments

کل سرب افزوده شده به خاک Total Pb added to soil (mg kg ⁻¹)	Control	PGPR	AMF
	درازی شاخساره Shoot length (cm)		
0	24.3 ± 0.18 ^{a,b}	28.8 ± 0.45 ^{a,a}	27.3 ± 0.61 ^{a,a}
250	21.7 ± 0.75 ^{b,c}	24.4 ± 0.13 ^{b,b}	26.3 ± 0.78 ^{ab,a}
500	18.2 ± 0.78 ^{c,c}	20.8 ± 0.11 ^{c,b}	24.7 ± 0.87 ^{b,a}
1000	9.7 ± 0.62 ^{d,b}	13.2 ± 0.62 ^{d,b}	16.6 ± 0.13 ^{c,a}
Mean	18.48 C	21.8 B	23.73 A
	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g pot ⁻¹)		
0	4.19 ± 0.22 ^{a,b}	4.73 ± 0.21 ^{a,a}	4.67 ± 0.30 ^{a,a}
250	3.42 ± 0.18 ^{b,b}	4.40 ± 0.14 ^{b,a}	4.63 ± 0.16 ^{a,a}
500	2.48 ± 0.25 ^{c,b}	4.13 ± 0.06 ^{c,a}	4.49 ± 0.12 ^{a,a}
1000	1.83 ± 0.23 ^{d,c}	2.24 ± 0.06 ^{d,b}	3.24 ± 0.08 ^{b,a}
Mean	2.98 B	3.88 A	4.26 A
	وزن خشک ریشه Root dry weight (g pot ⁻¹)		
0	2.98 ± 0.27 ^{a,b}	4.74 ± 0.25 ^{a,a}	4.68 ± 0.11 ^{a,a}
250	2.70 ± 0.38 ^{ab,b}	3.80 ± 0.29 ^{b,a}	4.06 ± 0.17 ^{b,a}
500	2.21 ± 0.18 ^{b,c}	3.02 ± 0.17 ^{c,b}	3.55 ± 0.12 ^{c,a}
1000	2.06 ± 0.06 ^{b,c}	2.44 ± 0.22 ^{d,b}	3.24 ± 0.08 ^{c,a}
Mean	2.49 B	3.50 A	3.88 A

حروف بالانویس اول و دوم بر روی هر عدد به ترتیب نشان دهنده اختلاف آماری ($P \leq 0.05$) در هر ستون و هر ردیف می‌باشند

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند

The first and second superscript letters on each number indicate significant different at 5% level in each row and column, respectively

Means similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, according to the Duncan's -test at 5% probability level (n = 3)

رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای میکروبی و سطوح سرب بر اندوخته کلروفیل‌ها (کلروفیل a، b و کل) و کاروتنوئیدها معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۵). با افزایش غلظت سرب در خاک اندازه‌های اندوخته کلروفیل‌ها (کلروفیل a، b و a+b) و کاروتنوئیدها در گیاه در همه تیمارها کاهش یافت (جدول ۶). اگر چه در تیمار AMF کاهش اندازه‌های کلروفیل (a+b) و کاروتنوئیدها در Pb₂₅₀ معنی‌دار نبود. در همه تیمارها بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها به ترتیب در Pb₀ و Pb₁₀₀₀ دیده شد. در همه اندازه‌های سرب در خاک اندازه‌های کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها در تیمارهای AMF و PGPR به‌گونه معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود. مایه‌زنی PGPR اندازه‌های کلروفیل‌های a، b، کلروفیل (a+b) و کاروتنوئیدها را به‌گونه میانگین (میانگین اندازه‌های در سطوح گوناگون سرب در خاک) به-ترتیب ۱۸/۰، ۱۷/۴، ۱۷/۷ و ۲۲/۲ درصد افزایش داد. همچنین در پی

مایه‌زنی AMF میانگین اندازه‌های کلروفیل‌های a، b، کلروفیل (a+b) و کاروتنوئیدها به‌ترتیب ۱۶/۰، ۱۸/۳، ۱۶/۲ و ۲۷/۷ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد در شرایط خاک غیرآلوده (Pb₀) و بدون تنش در گیاه اندازه‌های کلروفیل‌ها در تیمار AMF به‌گونه معنی‌داری کم‌تر از تیمار PGPR بود. اما در دیگر غلظت‌های سرب در خاک (Pb₂₅₀، Pb₅₀₀ و Pb₁₀₀₀) اختلاف اندازه‌های رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در این دو تیمار معنی‌دار نبود. یکی از دلایل کاهش کلروفیل‌ها در گیاه در پی افزایش غلظت سرب در خاک این است که سرب در گیاه مایه مهار فعالیت آنزیم‌های مؤثر در بیوسنتز کلروفیل از جمله δ-آمینولولینیک اسید دهیدراتاز (ALA دهیدراتاز) از طریق اتصال به گروه‌های سولفیدریل (-SH) این آنزیم می‌شود (۱۷). دلیل دیگر کاهش کلروفیل‌ها در شرایط تنش زهری بودن سرب در گیاه مهار کاتالیز آنزیمی چرخه کالوین و افزایش فعالیت کلروفیل‌از می‌باشد (۲۴).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها

Table 5- Variance analysis of the treatments effects on chlorophylls and carotenoids

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b Chlorophyll a+b	کاروتنوئید Cartenoid
میکروب Microbe	2	0.114**	0.038**	0.284**	0.03*
سرب Lead	3	1.578**	0.518**	3.905**	0.11**
میکروب × سرب Lead×Microbe	6	0.019 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.047 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
خطا Error	22	0.011	0.004	0.027	0.001

حاضر نشان داد جذب آهن در تیمارهای AMF و PGPR بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۱۰). بنابراین می‌توان بیش‌تر بودن اندازه‌های کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها در گیاهان مایه‌زنی شده با AMF و PGPR را به بیش‌تر بودن مقدار این عنصر در شاخساره گیاه به‌عنوان عناصر مؤثر در سنتز کلروفیل‌ها نسبت داد (۱۱). نتایج همانندی توسط پژوهش‌گران گوناگونی در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین گزارش شده است (۱۶ و ۳۶) برای نمونه، کامران و همکاران (۱۶) گزارش کردند مایه‌زنی باکتری‌های *Pseudomonas* مایه افزایش اندازه‌های کلروفیل در گیاه منداب (*Eruca sativa*) می‌شود. همچنین نتایج پژوهش یانگ و همکاران (۳۶) نشان داد مایه‌زنی AMF اندوخته رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) را در خاک‌های آلوده به سرب می‌افزاید.

سرب می‌تواند جایگزین منیزیم مرکزی در ساختار کلروفیل شده و با جلوگیری از دریافت نور، فتوسنتز در گیاه را بکاهد (۲۹). افزون بر این، تنش اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده در پی زهری بودن سرب در گیاه یک عامل بازدارنده برای فتوسنتز و فتوسیستم II می‌باشد (۲۵). کاهش مقدار کاروتنوئیدها در گیاه در پی زهری بودن سرب در گیاه احتمالاً به‌دلیل فروپاشی ساختار آن‌ها می‌باشد (۴۲). پژوهش‌گرانی چند کاهش اندازه‌های رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی را در غلظت‌های بالای فلزهای سنگین در خاک در گیاهان گوناگون گزارش کردند (۱۷ و ۲۸). نتایج این پژوهش نشان داد که مایه‌زنی AMF و PGPR مایه افزایش اندازه‌های رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شد. این نتیجه احتمالاً به‌دلیل تولید هورمون‌ها توسط جذب بیش‌تر عناصر در این تیمارها و آن‌ها از جمله فسفر به‌عنوان حامل انرژی در فتوسنتز می‌باشد (۱۱). همچنین یافته‌های پژوهش

جدول ۶- آزمون میانگین کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها در سطوح گوناگون سرب در خاک در تیمارهای AMF، PGPR و شاهد
Table 6- Mean comparison of chlorophylls and carotenoids, at different levels of soil Pb in control, PGPR and AMF treatments

کل سرب افزوده شده به خاک Total Pb added to soil (mg kg ⁻¹)	Control	PGPR	AMF
a کلروفیل			
Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)			
0	2.91 ± 0.10 ^{a,b}	3.63 ± 0.25 ^{a,a}	3.15 ± 0.14 ^{a,b}
250	2.31 ± 0.05 ^{b,a}	2.51 ± 0.29 ^{ab,a}	2.62 ± 0.02 ^{b,a}
500	1.73 ± 0.13 ^{c,a}	2.00 ± 0.17 ^{b,a}	2.09 ± 0.03 ^{c,a}
1000	1.04 ± 0.02 ^{d,b}	1.28 ± 0.22 ^{c,a}	1.42 ± 0.04 ^{d,a}
Mean	2.00 B	2.36 A	2.32 A
b کلروفیل			
Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)			
0	1.67 ± 0.06 ^{a,c}	2.08 ± 0.08 ^{a,a}	1.91 ± 0.08 ^{a,b}
250	1.32 ± 0.03 ^{b,a}	1.44 ± 0.11 ^{b,a}	1.50 ± 0.14 ^{b,a}
500	0.99 ± 0.08 ^{c,b}	1.14 ± 0.02 ^a	1.21 ± 0.04 ^{c,a}
1000	0.60 ± 0.03 ^{d,b}	0.73 ± 0.02 ^{d,a}	0.82 ± 0.03 ^{d,a}
Mean	1.35 B	1.35 A	1.36 A
a+b کلروفیل			
Chlorophyll a+b (mg g ⁻¹ FW)			
0	4.58 ± 0.15 ^{a,c}	5.71 ± 0.22 ^{a,a}	4.96 ± 0.24 ^{a,b}
250	3.64 ± 0.08 ^{b,b}	3.95 ± 0.13 ^{b,a}	4.12 ± 0.28 ^{ab,a}
500	2.73 ± 0.21 ^{c,b}	3.15 ± 0.04 ^{c,a}	3.29 ± 0.11 ^{c,a}
1000	1.64 ± 0.03 ^{d,b}	2.01 ± 0.06 ^{d,a}	2.25 ± 0.09 ^{d,a}
Mean	3.15 A	3.71 A	3.66 B
کاروتنوئید			
Carotenoid (mg g ⁻¹ FW)			
0	0.26 ± 0.01 ^{a,b}	0.32 ± 0.02 ^{a,a}	0.29 ± 0.02 ^{a,ab}
250	0.19 ± 0.03 ^{b,b}	0.25 ± 0.05 ^{b,a}	0.26 ± 0.02 ^{ab,a}
500	0.15 ± 0.03 ^{c,a}	0.18 ± 0.04 ^{c,a}	0.21 ± 0.03 ^{b,a}
1000	0.11 ± 0.01 ^{d,a}	0.13 ± 0.02 ^{d,a}	0.15 ± 0.01 ^{d,a}
Mean	0.18 B	0.22 A	0.23 A

حروف بالانویس اول و دوم بر روی هر عدد به ترتیب نشان دهنده اختلاف آماری ($P \leq 0.05$) در هر ستون و هر ردیف می‌باشند

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند

The first and second superscript letters on each number indicate significant different ($P \leq 0.05$) in each row and column, respectively.
Means similar letter(s) are not significantly ($P \leq 0.05$) different according to the Duncan's multiple range test

اندوخته نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای میکروبی و سطوح سرب بر اندوخته نسبی آب برگ معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود، اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۷). با افزایش غلظت سرب در خاک اندازه‌های RWC در سطوح گوناگون سرب در همه تیمارها کاهش یافت (جدول ۸). اما این کاهش معنی‌دار نبود. همچنین، اندازه‌های RWC در تیمارهای AMF و PGPR در همه اندازه‌های سرب در خاک بیش‌تر از تیمار شاهد بود، اگر چه این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده که سرب در گیاه می‌تواند با کاهش سطح برگ، کاهش انتقال آب به برگ، کاهش

رشد و قابلیت تراوایی ریشه، کاهش تعداد و اندازه آوندهای چوبی و آسیب کلروپلاست و ایجاد تغییرات در اندامک‌های سلول‌های گیاهی، مایه ناهنجاری در تعادل آبی گیاه و کاهش اندوخته آب برگ در گیاهان شود (۹). بیش‌تر بودن مقدار RWC در گیاهان مایه‌زنی شده با AMF و PGPR احتمالاً به دلیل کارکرد بیش‌تر ریشه گیاه در این تیمارها (جدول ۴) و در نتیجه جذب و انتقال بیش‌تر آب و بهبود تعادل آبی گیاه می‌باشد (۲۷). همچنین احتمالاً جذب بیش‌تر پتاسیم در تیمارهای میکروبی به‌عنوان مهم‌ترین یون در تورژسانس و گسترش سلول‌های برگ، در افزایش مقدار RWC در این تیمارها مؤثر بوده است.

محلول در گیاه با افزایش اندازه‌های سرب در خاک، همانند بود. بدین ترتیب که در همه تیمارها با افزایش غلظت سرب در خاک اندازه‌های پرولین و قندهای محلول به‌گونه معنی‌داری افزایش یافتند (جدول ۸).

پرولین و قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای میکروبی، سطوح سرب و برهمکنش آن‌ها بر پرولین و قندهای محلول در گیاه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۷). روند تغییرات پرولین و قندهای

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر اندوخته نسبی آب برگ، پرولین و قندهای محلول

Table 7- Variance analysis of the treatments effects on leaf relative water content, proline and soluble sugars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	اندوخته نسبی آب برگ Leaf relative water content	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars
میکروب Microbe	2	405.37**	4.69**	1.626**
سرب Lead	3	242.95**	22.62**	6.732**
میکروب × سرب Lead×Microbe	6	16.955 ^{ns}	0.511**	0.445**
خطا Error	22	33.181	0.057	0.004

جدول ۸- آزمون میانگین اندوخته نسبی آب برگ، پرولین و قندهای محلول در سطوح گوناگون سرب خاک در تیمارهای AMF، PGPR و شاهد

Table 8- Mean comparison of leaf relative water content, proline and soluble sugars, at different levels of soil Pb in control, PGPR and AMF treatments

کل سرب افزوده شده به خاک Total Pb added to soil (mg kg ⁻¹)	PGPR and AMF treatments		
	Control	PGPR	AMF
اندوخته نسبی آب برگ Leaf relative water content (%)			
0	74.62 ± 4.76 ^{a,a}	78.74 ± 2.13 ^{a,a}	78.34 ± 1.29 ^{a,a}
250	70.31 ± 3.01 ^{a,a}	75.82 ± 2.32 ^{a,a}	77.41 ± 2.48 ^{a,a}
500	66.66 ± 4.15 ^{a,a}	73.41 ± 1.50 ^{a,a}	74.98 ± 3.39 ^{a,a}
1000	60.65 ± 6.05 ^{a,a}	69.81 ± 6.38 ^{a,a}	71.50 ± 3.94 ^{a,a}
Mean	68.06 A	74.45 A	75.56 A
پرولین Proline (mg g ⁻¹ DW)			
0	0.36 ± 0.06 ^{d,a}	0.39 ± 0.02 ^{d,a}	0.43 ± 0.11 ^{d,a}
250	1.21 ± 0.13 ^{c,b}	2.11 ± 0.19 ^{c,a}	2.63 ± 0.20 ^{c,a}
500	1.93 ± 0.12 ^{b,b}	3.76 ± 0.12 ^{b,a}	3.82 ± 0.11 ^{b,a}
1000	3.32 ± 0.11 ^{a,b}	4.93 ± 0.41 ^{a,a}	4.94 ± 0.14 ^{a,a}
Mean	1.71 B	2.80 A	2.96 A
قندهای محلول Soluble sugars (mg g ⁻¹ DW)			
0	1.37 ± 0.09 ^{d,a}	1.35 ± 0.25 ^{d,a}	1.46 ± 0.11 ^{d,a}
250	1.54 ± 0.13 ^{c,b}	1.94 ± 0.24 ^{c,a}	1.81 ± 0.17 ^{c,a}
500	1.98 ± 0.08 ^{b,b}	2.64 ± 0.11 ^{b,a}	2.56 ± 0.12 ^{b,a}
1000	2.33 ± 0.06 ^{a,b}	3.86 ± 0.19 ^{a,a}	3.92 ± 0.08 ^{a,a}
Mean	1.76 B	2.45 A	2.44 A

حروف بالانویس اول و دوم بر روی هر عدد به ترتیب نشان دهنده اختلاف آماری ($P \leq 0.05$) در هر ستون و هر ردیف می‌باشند

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند

The first and second superscript letters on each number indicate significant different ($P \leq 0.05$) in each row and column, respectively Means similar letter(s) are not significantly ($P \leq 0.05$) different according to the Duncan's multiple range test

تنش‌های محیطی می‌شود (۱۶). همچنین هورمون‌های تولید شده توسط AMF و PGPR مایه افزایش فتوسنتز و باز شدن روزنه‌ها و در پایان افزایش قندهای محلول در گیاه می‌شوند (۱۱).

غلظت آهن، روی و سرب در شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای میکروبی، سطوح سرب و برهمکنش آن‌ها بر غلظت سرب و آهن در شاخساره گیاه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود اما اثر برهمکنش سرب و تیمار میکروبی بر غلظت روی در شاخساره گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۹). غلظت آهن و روی در شاخساره بنگ‌دانه با افزایش اندازه‌های سرب در خاک، در همه تیمارها به گونه معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۱۰). همچنین غلظت آهن و روی در تیمارهای مایه‌زنی شده به گونه معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود. به گونه کلی در تمامی غلظت‌های سرب در خاک، غلظت آهن و روی در شاخساره گیاه در تیمارهای گوناگون به این ترتیب بود: $AMF < PGPR$ شاهد. کاهش غلظت آهن و روی با افزایش غلظت سرب به دلیل شرایط رقابتی در جذب عناصر توسط گیاه و اثرات آنتاگونیستی سرب بر جذب و انتقال آهن و روی توسط گیاه می‌باشد (۳ و ۳۳). همچنین نتایج مطالعات نشان داده که سطوح بالای سرب در خاک می‌تواند مانع جذب دیگر عناصر غذایی از جمله آهن و روی و منگنز توسط سیستم ریشه‌ای گیاهان شود (۳). نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که میکروب‌های مایه‌زنی شده به‌ویژه PGPR تأثیر بسیار زیادی در افزایش جذب آهن و روی توسط بنگ‌دانه دارند (جدول ۱۰). تولید متابولیت‌های گوناگون مانند اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و سیدروفور مایه افزایش حلالیت و زیست-فراهمی عناصر کم‌مصرف از جمله آهن و روی برای گیاهان و در نتیجه افزایش جذب آن‌ها توسط گیاهان می‌شود (۲۷).

در Pb_0 اختلاف معنی‌داری میان اندازه‌های پرولین در تیمارهای گوناگون دیده نشد، اما در دیگر اندازه‌های سرب در خاک (Pb_{250} ، Pb_{500} و Pb_{1000})، اندازه‌های پرولین و قندهای محلول در تیمارهای AMF و PGPR به گونه معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود. به گونه میانگین مایه‌زنی AMF و PGPR اندازه‌های پرولین و قندهای محلول در گیاه را به ترتیب بیش از ۶۳ و ۳۷ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. اختلاف اندازه‌های پرولین و قندهای محلول گیاه در تیمارهای AMF و PGPR معنی‌دار نبود. افزایش اندوزش پرولین در پی افزایش غلظت سرب در گیاه یک راهکار محافظتی جهت بردباری در برابر تنش سرب و تنش اکسیداتیو ناشی از زهری بودن آن در گیاه می‌باشد (۴). دیگر پژوهش‌گران نیز افزایش اندوزش پرولین در گیاهان را در شرایط تنش فلزهای سنگین گزارش کرده‌اند (۱۶ و ۲۱). دلیل افزایش قندهای محلول در گیاه در پی افزایش غلظت سرب این است که گیاه با افزایش قندهای محلول در شرایط تنش می‌تواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای متابولیسم پایه سلولی در حد بهینه نگه دارد (۲). افزایش قندهای محلول گیاه در شرایط تنش یک راهکار بردباری در برابر تنش است و مایه تنظیم پتانسیل آب سلول در بخش سیتوزول و مقابله با غلظت بالای یون‌های جذب شده و اندوزش یافته در واکوئل می‌شود. همچنین کربوهیدرات‌های احیا کننده مایه کاهش آسیب‌های تنش اکسیداتیو ناشی از فلزهای سنگین و حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها در شرایط تنش آلودگی خاک می‌شوند (۲). همانند با این پژوهش الدوبی و بلتاجی (۲) گزارش کردند تنش سرب مایه افزایش مقدار قندهای محلول در گیاه لوبیا می‌شود. بیش‌تر بودن پرولین و قندهای محلول در تیمارهای مایه‌زنی شده احتمالاً به دلیل هورمون‌های تولید شده توسط این میکروب‌ها است، زیرا این هورمون‌ها در شرایط تنش می‌توانند با افزایش تولید اسیدهای آمینه به‌ویژه پرولین، مایه افزایش بردباری گیاه نسبت به

جدول ۹- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت آهن، روی و سرب در شاخساره

Table 9- Variance analysis of the treatments effects on shoot Fe, Zn and Pb concentration

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	غلظت آهن شاخساره Shoot Fe concentration	غلظت روی شاخساره Shoot Zn concentration	غلظت سرب شاخساره Shoot Pb concentration
میکروب Microbe	2	5010.47**	492.91**	199.13**
سرب Lead	3	7421.36**	1390.29**	941.51**
میکروب × سرب Lead×Microbe	6	83.79**	4.19 ^{ns}	21.16**
خطا Error	22	19.59	4.72	2.69

($P \leq 0.05$) در غلظت سرب در شاخساره گیاه در این تیمارهای میکروبی دیده نشد. این نتایج و نتایج مربوط به غلظت آهن و روی نشان می‌دهد که PGPR نسبت به AMF در افزایش فراهمی و جذب فلزات توسط بنگ‌دانه تأثیر نسبتاً بیش‌تری داشتند. نتایج این پژوهش نشان دهنده تأثیر بسیار زیاد AMF و PGPR در افزایش جذب سرب توسط گیاه بود. با وجود بیش‌تر بودن وزن خشک شاخساره گیاه در تیمارهای میکروبی نسبت به تیمار شاهد (جدول ۱۰)، غلظت سرب در شاخساره گیاهان نیز در تیمارهای میکروبی بیش‌تر از تیمار شاهد بود. این نتایج نشان دهنده کاهش زهری بودن سرب در گیاه در پی مایه‌زنی AMF و PGPR می‌باشد. یکی از دلایل این نتایج احتمالاً مربوط به بهبود جذب بیش‌تر عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در تیمارهای میکروبی باشد.

قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار نیز به دلیل سیستم هیفی گسترده و همچنین افزایش چشم‌گیر توسعه ریشه گیاه مایه افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی گوناگون از جمله آهن و روی می‌شود (۲۷). نتایج پژوهش‌های بهرامی‌نیا و همکاران (۳) و خداوردی‌لو و همکاران (۲۱) با این نتایج همانند بود.

با افزایش غلظت سرب در خاک در همه تیمارها غلظت سرب در شاخساره گیاه به گونه معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱۰). بهره گیری از زادمایه میکروبی AMF و PGPR غلظت سرب در شاخساره گیاه را به گونه معنی‌داری افزایش داد. در شرایط خاک غیرآلوده (Pb_0) و در بیش‌ترین غلظت سرب در خاک (Pb_{1000})، غلظت سرب در تیمار PGPR به گونه معنی‌داری بیش‌تر از تیمار AMF بود. اما در غلظت های متوسط آلودگی سربی خاک (Pb_{250} ، Pb_{500}) اختلاف معنی‌داری

جدول ۱۰- آزمون میانگین غلظت آهن، روی و سرب در شاخساره در سطوح گوناگون سرب در خاک در تیمارهای AMF، PGPR و شاهد
Table 10- Mean comparison of shoot Fe, Zn and Pb concentration at different levels of soil Pb in control, PGPR and AMF treatments

کل سرب افزوده شده به خاک Total Pb added to soil (mg kg ⁻¹)	Control	PGPR	AMF
غلظت آهن شاخساره Shoot Fe concentration (mg kg ⁻¹)			
0	113.19 ± 3.82 ^{a,c}	164.01 ± 7.51 ^{a,a}	135.81 ± 3.54 ^{a,b}
250	93.17 ± 2.16 ^{b,c}	132.15 ± 1.69 ^{b,a}	102.07 ± 1.71 ^{b,b}
500	70.15 ± 2.97 ^{c,c}	109.58 ± 5.09 ^{c,a}	91.97 ± 6.59 ^{c,b}
1000	52.63 ± 3.05 ^{d,c}	82.76 ± 4.88 ^{d,a}	67.44 ± 3.81 ^{d,b}
Mean	82.29 C	122.19 A	99.32 B
غلظت روی شاخساره Shoot Zn concentration (mg kg ⁻¹)			
0	39.17 ± 2.18 ^{a,c}	50.92 ± 1.74 ^{a,a}	46.15 ± 1.27 ^{a,b}
250	28.75 ± 3.32 ^{b,c}	43.12 ± 1.82 ^{b,a}	35.94 ± 1.92 ^{b,b}
500	19.87 ± 0.29 ^{c,c}	30.13 ± 0.49 ^{c,a}	25.85 ± 2.07 ^{c,b}
1000	8.84 ± 2.29 ^{d,c}	23.48 ± 1.38 ^{d,a}	18.40 ± 1.71 ^{d,b}
Mean	24.16 C	36.91 A	31.59 B
غلظت سرب شاخساره Shoot Pb concentration (mg kg ⁻¹)			
0	0.34 ± 0.07 ^{d,c}	2.35 ± 0.28 ^{d,a}	1.79 ± 0.11 ^{c,b}
250	6.93 ± 0.83 ^{c,b}	16.21 ± 1.59 ^{c,a}	15.81 ± 2.01 ^{b,a}
500	12.07 ± 0.69 ^{b,b}	20.35 ± 0.63 ^{b,a}	21.86 ± 2.89 ^{a,a}
1000	21.64 ± 1.19 ^{a,c}	30.64 ± 2.87 ^{a,a}	24.29 ± 0.82 ^{a,b}
Mean	10.25 B	17.39 A	15.94 A

حروف بالانویس اول و دوم بر روی هر عدد به ترتیب نشان دهنده اختلاف آماری ($P \leq 0.05$) در هر ستون و هر ردیف می‌باشند

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند

The first and second superscript letters on each number indicate significant different ($P \leq 0.05$) in each row and column, respectively
Means similar letter(s) are not significantly ($P \leq 0.05$) different according to the Duncan's multiple range test

فشار اسمزی و pH سلول و محافظت از ساختارهای سلولی، منبع کربن و نیتروژن احیاء شده نیز می‌باشد (۱۴). همچنین پرولین در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش فلزهای سنگین باکاهش

دلیل دیگر سمیت‌زدایی سرب در تیمار مایه‌زنی شده با AMF و PGPR را می‌توان به اندوزش بیش‌تر پرولین در گیاه در تیمارهای میکروبی نسبت داد (جدول ۸). پرولین در گیاهان افزون بر تنظیم

کتوبوتیرات مانع تولید اتیلن شده و همچنین منبع نیتروژنی را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. بدین ترتیب این باکتری‌ها افزون بر کاهش اثر زهری بودن سرب در گیاه، رشد گیاه را می‌افزایند (۱۶ و ۲۷).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که هر چند آلودگی سربی خاک، رشد، کارکرد، جذب آهن و روی و اندازه‌های رنگ‌دانه های فتوسنتزی در گیاه را کاهش داد، مایه‌زنی میکروبی AMF و PGPR جذب آهن و روی توسط گیاه را افزایش داد. همچنین در پی بهره‌گیری از زادمایه میکروبی اندوخته پرولین، قندهای محلول و کاروتنوئیدها و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بنگ‌دانه در شرایط آلودگی سربی خاک افزایش یافت و بدین ترتیب با کاهش زهری بودن سرب در گیاه، رشد و کارکرد گیاه در شرایط آلودگی سربی خاک بهبود یافت. با توجه به نتایج این پژوهش AMF و PGPR با بهبود جذب آهن و روی و ویژگی‌های بیوشیمیایی بنگ‌دانه در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش سرب در گیاه و بهبود رشد و کارکرد آن در شرایط آلودگی سربی خاک، بسیار سودمند هستند.

پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه آسیب‌های ناشی از گونه‌های کارای اکسیژن را کاهش می‌دهد (۱۴). همچنین احتمال کلاته شدن یون سرب در سلول و پیدایش ترکیب غیر سمی پرولین- سرب در گیاه وجود دارد. بیش‌تر بودن مقدار کاروتنوئیدها در تیمارهای AMF و PGPR نیز می‌تواند از دلایل کاهش زهری بودن سرب در این تیمارها باشد (جدول ۱۰). کاروتنوئیدها در شرایط تنش های اکسیداتیو به عنوان یک سیستم حفاظتی عمل کرده و می‌توانند با دریافت انرژی زیاد از طول موج‌های کوتاه و گرفتن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه اثرات سمی آن‌ها در گیاه را کاهش دهند (۶). افزون بر این با توجه به نقش عناصر آهن و روی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهان و همچنین بیش‌تر بودن غلظت این عناصر در گیاهان مایه‌زنی شده، به- نظر می‌رسد در غلظت‌های بالای سرب در خاک فعالیت این آنزیم‌ها در گیاهان مایه‌زنی شده با AMF و PGPR افزایش یافته و بدین ترتیب زهری بودن سرب در این تیمارها کاهش یافته است. در شرایط تنش فلزهای سنگین اتیلن تولید شده توسط گیاهان مایه کاهش رشد و گستردگی ریشه آن‌ها می‌شود (۱۶). در این شرایط PGPR با تولید آنزیم ACC دآمیناز با تبدیل پیش‌ماده اتیلن (ACC) به آمونیوم و α -

منابع

- 1- Abdullah M., Fasola M., Muhammad A., Malik S.A., Bostan N., Bokhari H., Kamran M.A., Shafqat, M.N., Alamdar A., Khan M., and Ali N. 2015. A vianfeathers as a non-destructive bio-monitoring tool of trace metals signatures: a case study from severely contaminated areas. *Chemosphere*, 119: 553-561.
- 2- Aldoobie N.F., and Beltagi M.S. 2013. Physiological, biochemical and molecular responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. *African Journal of Biotechnology*, 12(29): 4614-4622.
- 3- Bahraminia M., Zarei M., Ronaghi A., and Ghasemi-Fasaei R. 2015. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of lead-contaminated soil by *Vetiver grass*. *International Journal of Phytoremediation*, 18: 730-737.
- 4- Barbosa B., Boléo S., Sidella S., Costa J., Duarte M.P., Mendes B., Cosentino S.L., and Fernando A.L. 2015. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Using the Perennial Energy Crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. *BioEnergy Research*, 8: 1500-1511.
- 5- Bates L.S., Waldern R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- 6- Behera R.K., and Mishra P.C. 2002. High Irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of Plant Physiology*, 159: 967-97.
- 7- Cariny T. 1995. The reuse of contaminated land. John Wiley and Sons Ltd Publisher, 219 p.
- 8- Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil sampling and methods of analysis (2nd ed). CRC Press. Boca Raton. FL. 1204 p.
- 9- Cenkci S., Cioerci I.H., Yildiz M., Oezay C., Bozdao A., and Terzi H. 2010. Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in *Brassica rapa* L. *Environmental and Experimental Botany*, 67: 467-473.
- 10- Curaqueo G., Schoebitz M., Borie F., Caravaca F., and Roldán A. 2014. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and addition of composted olive-mill waste enhance plant establishment and soil properties in the regeneration of a heavy metal-polluted environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(12): 7403-7412.
- 11- Demir S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, 28: 85-90.

- 12- Gattai G.S., Pereira S.V., Costa C.M.C., Lima C.E.P., and Maia L. C. 2011. Microbial activity, arbuscular mycorrhizal fungi and inoculation of Woody plants in lead contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42: 859-867.
- 13- Giovannetti M., and Mosse B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84: 489-500.
- 14- Ivanov Y., Savochkin Y., and Kuznetsov V.I.V. 2013. Development of scots pine seedlings and functioning of antioxidant systems under the chronic action of lead ions. *Biological Bulletin*, 40(1): 26–35.
- 15- Janmohammadi M., Bihamta M., and Ghasemzadeh F. 2013. Influence of rhizobacteria inoculation and lead stress on the physiological and biochemical attributes of wheat genotypes. *Cercetari agronomice in Moldova*, 46: 49–67.
- 16- Kamran M.A., Eqani S.A., Bibi S., Xu R.K., Amna Monis M.F., Katsoyiannis A., Bokhari H., and Chaudhary H.J. 2016. Bioaccumulation of nickel by *E. sativa* and role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) under nickel stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126: 256–263.
- 17- Karamooz H., Safipour Afshar A., and Saeid Nematpour F. 2016. Tolerance and accumulation of heavy metals by *Descurainia sophia* L. *Journal of Chemical Health Risks*, 6(1): 69–78.
- 18- Karimi A., Khodaverdiloo H., Sepehri M., and Rasouli Sadaghiani M.H. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and heavy metal contaminated soils. *African Journal of Microbiology Research*, 5: 1571- 1576.
- 19- Karimi A. Khodaverdiloo H., and Rasouli Sadaghiani M.H. 2013. Enhanced soil Pb extraction by *Acroptilon (Acroptilon repens)* through inoculation with some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(3): 193-210. (In Persian with English abstract).
- 20- Khodaverdiloo H., Rahmanian M., Rezapour S., Ghorbani Dashtaki Sh., Hadi H., and Han F.X. 2012. Effect of wetting-drying cycles on redistribution of lead in some semi-arid zone soils spiked with a lead salt. *Pedosphere*, 22: 304–313.
- 21- Khodaverdiloo H., Rasouli Sadaghiani M.H., and Karimi A. 2013. Influence of microbial inoculation of a Pb-contaminated soil on growth, some physiological properties, and uptake and translocation of Pb, Fe, and Zn by *Centaurea (Centaurea cyanus)*. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(2): 75-93. (In Persian with English abstract).
- 22- Khodaverdiloo H., and Hamzenejad Taghlidabad R. 2014. Phytoavailability and potential transfer of Pb from a salt-affected soil to *Atriplex verucifera*, *Salicornia europaea* and *Chenopodium album*. *Chemistry and Ecology*, 30: 216-226.
- 23- Kochert. 1978. Carbohydrate determination by phenol–sulfuric acid method. In: J.A. Hellebust and J.S. Craige, Editors, *Handbook of physiological and biochemical methods*, Cambridge University Press, London, Pp: 95-97.
- 24- Kumar A., Prasad M.N.V., and Sytar O. 2012. Lead toxicity, defense strategies and associated indicative biomarkers in *Talinum triangulare* grown hydroponically. *Chemosphere*, 89: 1056– 1065.
- 25- Kumar A., and Prasad M.N.V. 2015. Lead-induced toxicity and interference in chlorophyll fluorescence in *Talinum triangulare* grown hydroponically. *Photosynthetica*, 53 (1): 66-71.
- 26- Lichtenthaler H.K., and Wellburn A.R. 1985. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11: 591-592.
- 27- Ma Y., Prasad M.N.V., Rajkumar M., and Freitas H. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances*, 29: 248-258.
- 28- Mohammadzadeh A., Tavakoli M., Chaichi M.R., and Motesharezadeh B. 2014. Effects of nickel and PGPRs on growth indices and phytoremediation capability of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1765-1778.
- 29- Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyay B., and Sharma A. 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52(3): 199-223.
- 30- Qian K., Wang L., and Yin N. 2012. Effects of AMF on soil enzyme activity and carbon sequestration capacity in reclaimed mine soil. *International Journal of Mining Science and Technology*, 22(4): 553–557.
- 31- Rasouli Sadaghiani M.H., Kavazi K., Rahimian H., Malakouti M.J., and Asadi H. 2006. An evaluation of the potentials of indigenous fluorescent pseudomonads of wheat rhizosphere for producing siderophore. *Journal of Soil Water Sciences*, 20: 133-143. (In Persian with English abstract).
- 32- Rasouli Sadaghiani M.H., Khodaverdiloo H., Barin, M., and Kazemalilou S. 2016. Influence of PGPR bacteria and arbuscular Mycorrhizal fungi on growth and some physiological parameters of *Onopordon acanthium* in a Cd-contaminated soil. *Journal of Water and Soil*, 30(2): 542-554. (In Persian with English abstract).
- 33- Sharma P., and Dubey R.S. 2005. Lead toxicity in plants. *Plant Physiology*, 17: 35-52.

- 34- Smith S.E., and Read D.J. 2010. Mycorrhizal symbiosis. Academic press, 800p.
- 35- Turner N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil, 58: 339-366.
- 36- Yang Y., Han X., Liang Y., Ghosh A., Chen J., and Tang M. 2015. The combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and lead (Pb) stress on Pb accumulation, plant growth parameters, photosynthesis, and antioxidant enzymes in *Robinia pseudoacacia* L. Plos One, 10(12): 1-24.



Influence of Microbial Inoculation on Growth, Fe and Zn Uptake and Biochemical Response of *Hyoscyamus niger* L. in Lead (Pb) Stress

A. Karimi¹– H. Khodaverdiloo^{2*}– M.H. Rasouli-Sadaghiani³

Received: 05-11-2016

Accepted: 03-10-2017

Introduction: Recently, due to enhancement of industrialization, urbanization and disposal of wastes, fertilizers and pesticides the concentration of heavy metals (HMs) in agricultural soil has increased. Heavy metals are serious threat for environment due to their hazardous effects. Lead (Pb) is one of the toxic heavy metal that threatens the health of plants, living organisms and human. Excessive Pb concentrations in agricultural soils result in decreasing the soil fertility and health which affects the plant growth and leads to decrease in plant growth. Plants simultaneously exposed to Pb suffer morphological, biochemical and physiological injury. Pb adversely affect plant absorption of essential elements, chlorophyll biosynthesis and shoot and root growth. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are known to enhance nutrient uptake and improvement of plant growth and tolerance in heavy metal contaminated soils through different mechanisms including producing low molecular weight organic acids, siderophore, antibiotics and hormones. The objective of this study was to evaluate the effect of AMF and PGPR on yield, leaf relative water content (RWC), some biochemical properties and uptake of Pb, Fe and Zn by *Hyoscyamus* (*Hyoscyamus niger* L.) under soil Pb contamination.

Materials and Methods: This study was carried out in greenhouse condition as a factorial experiment based on a randomized complete block design with two factors including Pb concentration (in four levels) and microbial treatment (in three levels including arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth-promoting rhizobacteria and control) and in three replications. Consequently, a soil was selected and spiked uniformly with concentrations of Pb (0, 250, 500 and 1000 mg Pb kg⁻¹ soil). The contaminated soil was then sterilized and inoculated with the selected species of arbuscular mycorrhizal fungi (a mixture of *Glomus* species including *G. intraradices*, *G. mosseae* and *G. fasciculatum*) or plant growth-promoting rhizobacteria (a mixture of *Pseudomonas* species including *P. putida*, *P. fluorescens*, and *P. aeruginosa*). Seeds of *Hyoscyamus niger* L. plant were grown in pots containing the Pb spiked soil. At the end of growth period shoot length, dry weights of root and shoot, Fe, Zn and Pb concentration in shoot, and some biochemical and physiological properties of plant including relative water content (RWC) chlorophyll a, b and total chlorophyll, carotenoids, proline and soluble sugars, were measured.

Results and Discussion: Results indicated that with increasing soil Pb concentration, dry weights of root and shoot, shoot length, photosynthetic pigments contents (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids), shoot Fe and Zn concentration decreased, while proline and soluble sugars contents and the shoot Pb concentration increased. With increasing of soil Pb concentration, relative water content decreased, however, this reduction in concentration of 1000 mg Pb kg⁻¹ soil was not significant ($P > 0.05$) in compared with concentration of 1000 mg Pb kg⁻¹ soil. Amounts of all measured properties in AMF and PGPR treatments were higher than that control treatment. The highest values of shoot weight and root weight, were observed in plants that inoculated with AMF. The lowest shoot weight was recorded in non-inoculated plants that were grown under 1000 mg Pb kg⁻¹ soil concentration. In this study Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria inoculation led to a significant increase ($P \leq 0.05$) in shoot length (12.9 -71.1%), shoot dry weight (11.5 - 81%), root dry weight (18.4 - 60.6%), chlorophyll (8.5 - 36.5%) and carotenoid (11.5 - 40.0%) pigments, proline (55 - 115.7%), soluble sugars (17.6 - 72.2%) and shoot Fe (9.5 - 57.2%) and Zn (25.0 - 165.5%) concentration in shoot at different levels of soil Pb. The highest and lowest amounts of shoot Fe, Zn and Pb concentration observed in AMF and control treatments respectively. Plant growth promoting rhizobacteria were more effective than arbuscular mycorrhizal fungi in shoot Fe, Zn and Pb concentration, while

1- Graduated M.Sc. Student of Soil Science, Urmia University and Ph.D. Student of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

2 and 3- Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, Urmia University

(*- Corresponding Author Email: H.Khodaverdiloo@urmia.ac.ir)

the mean of shoot length and shoot and root dry weight was higher in plants that inoculated with AMF compared to ones inoculated with PGPR. In general, there were not significant ($P \leq 0.05$) differences in amounts of chlorophyll (chlorophyll a, b and chlorophyll a+b) and carotenoids pigments, proline and soluble sugars between AMF and PGPR treatments.

Conclusion: It could be concluded that microbial inoculation (mixture of AMF and PGPR species) with improvement of plant biochemical properties results in improved *Hyoscyamus niger* L. yield and increased tolerance to Pb toxicity. Thus, the use of microbial inoculation (mixture of AMF and PGPR species) inoculation might be suggested for enhancement of plant tolerance in Pb contaminated soils.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Biochemical properties, Pb toxicity, Plant growth promoting rhizobacteria



پاسخ کرم خاکی *Eisenia fetida* به تنش شوری و آلودگی سرب در خاک تیمار شده با کود گاوی

مینا نظری زاده^{۱*} - فایز رئیسی^۲ - حمیدرضا متقیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۱

چکیده

شوری و آلودگی ناشی از فلزات سمی به عنوان دو تنش زیست محیطی می توانند به صورت هم زمان رشد و فعالیت کرم های خاکی را تحت تأثیر قرار دهند. اثر مشترک این دو تنش غیرزیستی بر کرم های خاکی، به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت کرم های خاکی در زیست بوم، بررسی اثر متقابل عوامل تنش زا بر رشد و فعالیت این جانداران ضروری است. در این پژوهش اثر مشترک شوری ناشی از نمک کلرید سدیم و آلودگی سرب بر جمعیت و فعالیت کرم های خاکی *Eisenia fetida* در شرایط گلخانه مطالعه شد. این آزمایش با ۳ فاکتور شامل آلودگی (شاهد و ۳۰ میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک)، شوری (شاهد، ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و کود گاوی (شاهد و ۴ درصد وزنی)، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه ای کاملاً تصادفی با ۴ تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که افزایش سطوح شوری خاک قابلیت دسترسی سرب را افزایش می دهد و سمیت این فلز را برای کرم های خاکی تشدید می کند. در مقابل افزودن کود گاوی در همه ی سطوح شوری، قابلیت دسترسی این فلز را کاهش می دهد. جمعیت، وزن مرطوب و خشک کرم و وزن مرطوب و خشک فضولات تولید شده توسط کرم های خاکی به صورت معنی دار ($p < 0.05$) تحت تأثیر برهمکنش شوری و آلودگی قرار گرفتند. این شاخص ها در خاک آلوده و مبتلا به شوری ۸ دسی زیمنس بر متر کمترین مقادیر را دارا بودند، به طوری که جمعیت کرم های خاکی ۵۹ درصد، وزن مرطوب و خشک کرم های خاکی به ترتیب ۲۸ و ۱۸ درصد و وزن مرطوب و خشک فضولات تولید شده به ترتیب ۱۸ و ۱۰ درصد کاهش داشتند. ماهیت اثر مشترک دو تنش شوری و آلودگی بر شاخص های رشد و فعالیت کرم های خاکی در غیاب کود گاوی اغلب به صورت هم افزا تا هم کرداری بود. کاربرد کود گاوی ضمن بهبود شاخص های رشد و فعالیت کرم های خاکی، آثار منفی شوری را در خاک های آلوده تعدیل نمود و اثرات مشترک این دو تنش را به پادکرداری تغییر داد. به طور خلاصه، جمعیت، وزن و فعالیت این گونه ی کرم خاکی نسبت به برهمکنش دو تنش شوری و آلودگی بسیار حساس می باشند و محیط های آلوده و شور پتانسیل بیشتری برای آسیب رسانی به این جانداران خاکزی دارند ولی افزایش ماده آلی خاک این اثر زیان بار را کاهش می دهد.

واژه های کلیدی: اثر مشترک، تنش زیست محیطی، تولید فضولات، قابلیت دسترسی سرب

مقدمه

معمول در خاک مانند شوری، خشکی و آلودگی نیز شرایط زندگی آن ها را تغییر می دهد (۲۰، ۲۱ و ۲۲). در شرایط طبیعی اغلب موجودات زنده به ویژه کرم های خاکی هم زمان در معرض چندین تنش غیرزیستی قرار دارند، درحالی که تأثیر هم زمان تنش ها متفاوت از اثر هر کدام به تنهایی است (۱۰، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). به عبارت ساده تر، یک تنش ممکن است اثر تنش دیگر را تشدید، خنثی یا تعدیل نماید (۳۷)، چنانچه اثر مشترک و متقابل تنش ها ممکن است به صورت هم افزا یا بدون اثر متقابل (Additive)، پادکرداری (Antagonistic) و یا هم کرداری (Synergistic) باشد (۱۰ و ۳۷). شوری و آلودگی خاک از جمله تنش های غیرزیستی رایج در نواحی خشک و نیمه خشک هستند (۲۰ و ۲۱) که هر کدام از این تنش ها منجر به کاهش فعالیت، رشد و زیست توده ی کرم های خاکی می شوند (۳، ۹، ۲۰ و ۲۷)، با این وجود

کرم های خاکی جزء مهمی از زیست بوم خاک هستند و فعالیت آن ها برای افزایش حاصلخیزی خاک در انواع زیست بوم های کشاورزی، جنگل و مرتع ضروری است (۷). به دلیل اثرات بسیار مثبت، این جانداران روده زمین و معماران زیست بوم محسوب می شوند (۶). نقش مفید این جانداران به عواملی چون کیفیت و کمیت مواد غذایی، دما، رطوبت و pH خاک بستگی دارد (۶ و ۷) و تنش های

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموزته ی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه

خاکشناسی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(*)- نویسنده ی مسئول: Email: mina.nazarizadeh@yahoo.com

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.61802

مواد و روش‌ها

در این پژوهش اثر هم‌زمان یا مشترک تنش‌های آلودگی سرب ناشی از مصرف نیترات سرب و شوری ناشی از مصرف کلرید سدیم بر کرم‌های خاکی *E. fetida* در شرایط کنترل شده‌ی گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور یک آزمایش فاکتوریل با ۳ فاکتور شامل آلودگی (شاهد و ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب)، شوری (شاهد، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و کود گاوی (۰ و ۲/۵ درصد وزنی)، در قالب طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی (در مجموع ۴۸ گلدان) اجرا شد. خاک لازم از اراضی زراعی دانشگاه شهرکرد (عرض جغرافیایی ۲۹° ۱۸' ۱۲" و طول جغرافیایی ۵۰° ۴۹' ۴۹") از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. خاک هواخشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت به روش هیدرومتری (۱۱)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی (۲۶)، pH با استفاده از pH متر (۱۴)، رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و فشار ۰/۳ اتمسفر (۲۵)، سرب کل با اسید نیتریک ۴ مولار (۲۹) و قابل دسترس با عصاره‌گیر DTPA-TEA (۱۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن کربنات کلسیم با اسیدکلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۱۶)، کربن آلی به روش اکسایش تر (۱۸) و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۴) اندازه‌گیری شد. کود گاوی از دامداری دانشگاه شهرکرد تهیه و هوا خشک گردید. سپس از الک ۱ میلی‌متر عبور داده شد و به مدت یک ساعت در دستگاه اتوکلاو (دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲ اتمسفر) استرون گردید. ویژگی‌هایی شامل قابلیت هدایت الکتریکی (۲۶)، pH (۱۴)، کربن آلی (۱۸) و نیتروژن کل (۴) در کود گاوی اندازه‌گیری شد. برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک و کود گاوی مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

برای اعمال تیمارهای آلودگی در سطح ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم، مقادیر لازم سرب از نمک نیترات سرب به خاک اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط گردید (با توجه به وزن مولکولی نمک نیترات سرب مورد استفاده $331/2 \text{ g mol}^{-1}$) با رسیدن به آلودگی ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب، حدود ۹ میلی گرم بر کیلوگرم آنیون نیترات به خاک افزوده شد که قادر به ایجاد سمیت برای کرم‌های خاکی نیست).

مقادیر نمک کلرید سدیم (NaCl) جهت رسیدن به سطوح قابلیت هدایت الکتریکی ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر از طریق معادله‌ی رگرسیون خطی برازش شده بین مقدار نمک (mg) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک بر حسب ds m^{-1} برآورد گردید و به خاک اضافه شد.

اثر تنش هم‌زمان آن‌ها بر کرم‌های خاکی به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که شوری می‌تواند تحرک و زیست‌فراهمی عناصر سمی از جمله سرب و کادمیم را در خاک‌های آلوده افزایش دهد (۱، ۳۲ و ۳۴)، بنابراین انتظار می‌رود اثر مسمومیت ناشی از فلزات سنگین بر فعالیت کرم‌های خاکی در شرایط شور تشدید گردد. در مطالعه‌ی اووجوری و همکاران (۲۰) اثر هم‌زمان شوری ناشی از نمک کلرید سدیم و فلز روی بر کرم خاکی *E. fetida* هم‌افزا تا هم‌کرداری بود. در این پژوهش برهمکنش دو تنش، کاهش قابل توجه وزن و مرگ‌ومیر کرم‌های خاکی را سبب گردید. این محققین اظهار کردند که شوری خاک شکل‌های قابل‌دسترس روی را برای کرم‌های خاکی افزایش می‌دهد، بنابراین منجر به افزایش سمیت این فلز برای کرم می‌شود. در مطالعه‌ی دیگر اووجوری و همکاران (۲۱) اثر مشترک شوری و فلز مس بر کرم خاکی *E. fetida* هم‌افزا یا بدون اثر متقابل بوده و سمیت ناشی از این دو تنش برای این کرم‌های خاکی به غلظت‌های جداگانه این دو عامل تنش‌زا بستگی داشت. اووجوری و رینک (۲۲) مشاهده کردند که بین تنش شوری و فلز مس بر پارامترهای رشد کرم خاکی *Aporrectodea caliginosa* در زمستان اثر متقابل وجود ندارد، در صورتی که در فصل بهار برهمکنش این دو عامل تنش‌زا بر رشد و زنده‌مانی این گونه‌ی کرم ماهیت هم‌کرداری داشت. نظر به آثار منفی تنش شوری و آلودگی بر کرم‌های خاکی و ضرورت کاهش این اثرات، کاربرد مواد آلی به‌عنوان یک روش مدیریتی ممکن است اثر بازدارندگی شوری و آلودگی را کاهش و یا تعدیل نماید (۳ و ۱۳). استفاده از مواد آلی در خاک‌های شور از طریق افزایش مقدار ماده آلی، افزایش تعداد و زیست‌توده‌ی جانداران خاک، افزایش غلظت اسیدهای هیومیک و فلویک و جذب سدیم، کلسیم و منیزیم توسط آنیون‌های آلی خاک، کاهش درصد سدیم تبادلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، فعالیت کرم‌های خاکی را افزایش می‌دهد (۱۳) و یکی از شیوه‌های مؤثر در افزایش فعالیت کرم‌های خاکی در خاک‌های شور و یا آلوده است (۳ و ۳۳). یون‌های آزاد فلزات سمی نیز که بخش قابل‌دسترس این عناصر برای گیرنده‌های زیستی به‌ویژه کرم خاکی هستند، تمایل بسیاری برای برقراری پیوند کوآلانس با گروه‌های عامل مواد آلی دارند. مواد آلی خاک با جذب یون‌های آزاد فلزات سمی آن‌ها را از دسترس خارج می‌کنند (۱، ۳۰ و ۳۲). آویلا و همکاران (۳) مشاهده کردند که کاربرد بقایای آلی با کاهش قابلیت دسترسی فلزات، سمیت آن‌ها را برای کرم خاکی *E. fetida* کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت کرم‌های خاکی در زیست‌بوم و ضرورت حفظ جمعیت و فعالیت آن‌ها در راستای حفاظت از ساختار بیولوژیکی و باروری خاک، در این مطالعه اثر تنش هم‌زمان شوری ناشی از نمک کلرید سدیم و آلودگی سرب بر کرم خاکی گونه‌ی *E. fetida* و نقش احتمالی کود گاوی در تعدیل اثرات منفی این دو تنش، مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و کود گاوی مورد استفاده

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil and manure used

ویژگی (Variable)	شن Sand	سیلت Silt (%)	رس Clay	بافت Texture -	θ_{FC} (%)	Pb_t (mg kg ⁻¹)	Pb_{acc} (mg kg ⁻¹)	$CaCO_3$ (g kg ⁻¹)	pH -	EC (dS m ⁻¹)	OC (g kg ⁻¹)	N_t (g kg ⁻¹)
خاک (Soil)	29	42	29	لومرسی Clay loam	23.7	9.47	1.19	353	7.6(1:2)	0.36(1:2)	5.7	0.54
کود گاوی (Cow manure)	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0(1:20)	2.4(1:20)	462	19.9

θ_{FC} : رطوبت ظرفیت مزرعه، Pb_t : سرب کل، Pb_{ava} : سرب قابل دسترس (DTPA)، OC: کربن آلی، N_t : نیتروژن کل

θ_{FC} : field capacity, Pb_t : total Pb, Pb_{acc} : accessible Pb (DTPA), OC: organic carbon, and N_t : total nitrogen

جلوگیری از خروج کرم‌های خاکی و کاهش تبخیر آب، سطح گلدان با توری‌های نازک پوشانده شد. گلدان‌ها به مدت ۱۳ هفته در گلخانه تحت شرایط کنترل شده قرار گرفتند و در پایان این مدت جمعیت، وزن و شاخص‌های فعالیت کرم‌های خاکی شامل فضولات (Cast) مرطوب و خشک تولید شده اندازه‌گیری گردید.

جهت آنالیز آماری ابتدا داده‌ها برای تأمین پیش شرط‌های تجزیه واریانس و استفاده از ANOVA (توزیع نرمال و همگنی واریانس باقی‌مانده‌ها) مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های برخی ویژگی‌ها که فاقد توزیع نرمال بودند با کمک روش آماری Box-Cox تبدیل شدند. مقایسه میانگین‌ها به روش Fisher's LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار 8 STATISTICA انجام گرفت. میزان اثرگذاری یک فاکتور یا تیمار در تغییرات مشاهده شده با پارامتر اندازه‌ی اثر جزئی (Partial Effect Size, η^2_p) نمایش داده شد (۳۱). ماهیت اثر متقابل دو تنش شوری و آلودگی با استفاده از مدل مستقل آماری بلیس (Bliss Independence Model) تعیین شد (۳۷). مدل بلیس به صورت زیر توصیف می‌گردد:

$$(Y_{sp})_p = Y_s + Y_p - (Y_s \times Y_p) \quad (۱)$$

که در آن $(Y_{sp})_p$ اثرات پیش‌بینی شده در حضور دو تنش شوری (S) و آلودگی (P)، Y_s اثر مشاهده‌شده در حضور تنش شوری و Y_p اثر مشاهده‌شده در حضور تنش آلودگی می‌باشد. در این مدل اثرات پیش‌بینی شده $(Y_{sp})_p$ با اثرات مشاهده‌شده $(Y_{sp})_o$ در حضور دو تنش مقایسه و نوع اثرات متقابل مطابق رابطه‌ی ۲ مشخص می‌گردد.

(۲)

هم‌افزا $(Y_{sp})_o = (Y_{sp})_p$

هم‌کرداری $(Y_{sp})_o > (Y_{sp})_p$

پادکرداری $(Y_{sp})_o < (Y_{sp})_p$

پس از محاسبه‌ی اثرات مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده، به منظور بررسی آماری اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده از آزمون t-test جفت نشده (Unpaired) استفاده شد تا پس از تأیید اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده به

کود گاوی (۲/۵ درصد وزنی) نیز به تیمارهای حاوی کود افزوده شد. ۴۵ روز پس از شروع آزمایش نیز به منظور تأمین غذای کرم‌های خاکی مجدداً ۱/۵ درصد کود گاوی به تیمارهای حاوی کود اضافه شد (مصرف بالای کود گاوی صرفاً به منظور مشاهده‌ی اثر کود بر پاسخ کرم خاکی *E. fetida* به تنش هم‌زمان شوری و آلودگی طی کوتاه مدت و تأمین نیاز غذایی بالای این گونه‌ی کرم بود) و جهت نزدیک شدن خاک آزمایش به شرایط طبیعی، پس از اعمال تیمار، خاک در گلدان‌های ۱۵ کیلوگرمی به مدت یک ماه در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه در شرایط گلخانه خوابانده شد. کرم‌های خاکی مورد نیاز به روش دستی از یک باغ گردو در شهرستان هرچگان استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و با انتقال به آزمایشگاه، ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها شناسایی شد. با استفاده از کلیدهای شناسایی مشخص شد که کرم‌های خاکی به خانواده‌ی *Lumbricide* جنس *Eisenia* و گونه‌ی *fetida* تعلق دارند (۷). کرم‌های خاکی، گونه‌ی *Eisenia fetida* نه تنها در تولید ورمی کمپوست در سراسر جهان کاربرد فراوانی دارد؛ بلکه با دارا بودن تغییرات قابل اندازه‌گیری سلولی، بیوشیمیایی، ساختاری یا عملکردی در برخورد با تنش‌های محیطی به‌ویژه آلودگی، به عنوان شاخص زیستی پایش آلودگی فلزات سنگین همچون سرب و کادمیم در خاک محسوب می‌شوند و به موجودات استاندارد آزمایشی جهت مطالعات بوم‌شناسی آلاینده‌ها تبدیل شده‌اند (۲۴). با توجه به اهمیت این گونه‌ی کرم خاکی مطالعه‌ی اثر تنش‌های غیرزیستی چندگانه بر آن‌ها ضروری است. با اتمام زمان انکوباسیون، خاک هواخشک هر تیمار درون گلدان‌های سه کیلوگرمی با ارتفاع ۲۵ و قطر ۲۰ سانتی‌متر ریخته شد. قبلاً کف هر گلدان دو سانتی‌متر شن و یک توری دو لایه به منظور جلوگیری از خروج کرم‌های خاکی قرار گرفته بود. قبل از تلقیح، جهت تخلیه‌ی محتویات سیستم گوارشی (gut)، کرم‌های خاکی به مدت ۲۴ ساعت در ظروف پلاستیکی دردار روی کاغذ صافی مرطوب به حالت نیمه‌شناور (Half-immersed) قرار داده شدند. آنگاه ۵ عدد کرم بالغ (معادل ۱۵۹ عدد کرم در هر متر مربع) به هر گلدان اضافه و به منظور

لحاظ آماری، ماهیت اثر متقابل تنش‌ها با استفاده از رابطه‌ی بلیس تعیین گردد.

نتایج و بحث

تغییرات EC، pH و Pb_{acc} خاک

شوری خاک در سطح احتمال ۵ درصد، تحت تأثیر برهمکنش سطوح نمک کلرید سدیم با کود گاوی و آلودگی با کود گاوی قرار گرفت (جدول ۲). این ویژگی پس از افزودن نمک کلرید سدیم در مرحله‌ی اعمال تیمار به سطوح مورد نظر (۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) رسید. نمک کلرید سدیم عامل شوری اغلب خاک‌ها و یکی از

طبیعی‌ترین و شاخص‌ترین ترکیبات زمین‌شناسی موجود در خاک است (۲۳) و در مقایسه با انواع نمک‌های کلرید سمیت بیشتری برای کرم‌های خاکی *E. fetida* دارد (۹). از طرفی سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر بنابر رده‌بندی کلاس‌های شوری خاک، به‌ترتیب در کلاس شوری متوسط و زیاد قرار دارند (۲۳) که در حد مقادیر EC50 (غلظت مؤثری که منجر به ۵۰ درصد کاهش در پارامتر اندازه‌گیری شده می‌شود) برای رشد و تولیدمثل کرم خاکی *E. fetida* بوده و می‌توانند برای فعالیت این گونه‌ی کرم خاکی آثار زیان‌باری داشته باشند (۲۰ و ۲۱).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر شوری، آلودگی سرب و کود گاوی بر قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، pH و سرب قابل دسترس (Pb_{acc}) خاک

Table 2- ANOVA results (mean square values) for the effect of salinity, Pb pollution and manure on soil electrical conductivity (EC), pH and accessible Pb (Pb_{acc})

منابع تغییر Sources of variation	df	EC	pH	Pb_{acc} . ^Ω
Pollution (P)	1	0.223** (0.21)	0.003* (0.16)	47.8*** (0.99)
Salinity (S)	2	210*** (0.99)	0.014*** (0.66)	0.391*** (0.71)
Pollution (P)	1	8.90*** (0.91)	0.366*** (0.96)	0.580*** (0.64)
P×S	2	0.01 ^{ns} (0.01)	0.001 ^{ns} (0.09)	0.152*** (0.48)
P×M	1	0.151* (0.15)	0.001 ^{ns} (0.05)	0.695*** (0.68)
S×M	2	0.090* (0.125)	0.002* (0.19)	0.038* (0.19)
P×S×M	3	0.002 ^{ns} (0.01)	0.001* (0.15)	0.188*** (0.54)
خطا (Error)	36	2.30×10^{-2}	4.14×10^{-4}	9.00×10^{-3}
(%) C.V.	-	3.22	1.26	5.82
R ² مدل (%)	-	99.8	96.4	99.4

اعداد داخل پرانتز مقدار Eta^2_p { $SS_{effect}/(SS_{effect} + SS_{error})$ } را نشان می‌دهند. ^{ns}، *، ** و *** به ترتیب به مفهوم غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد می‌باشد.

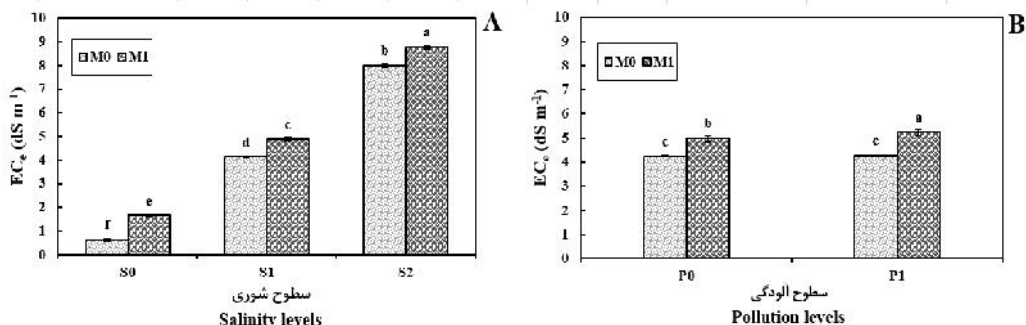
The numbers in parentheses indicate the amount of Eta^2_p { $SS_{effect}/(SS_{effect} + SS_{error})$ }. ^{ns}، *، ** and *** indicate non-significance and significance at levels 5, 1 and 0.1% respectively.

^Ω Data were normalized

نتایج نشان می‌دهند اثر (Eta^2_p) افزودن نمک به خاک (۰/۹۹) در تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به کود گاوی (۰/۹۱) بیشتر می‌باشد و آلودگی به‌عنوان کم تأثیرترین فاکتور در تغییرات EC خاک، تنها ۰/۲۱ سهم داشته است.

واکنش خاک یکی از عوامل مؤثر بر فعالیت کرم‌های خاکی است، این جانداران زندگی در pH خنثی را ترجیح می‌دهند (۷). در این پژوهش pH خاک در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر برهمکنش سه عامل شوری، آلودگی و کود گاوی قرار گرفت (جدول ۲). کود گاوی بیشترین سهم ($Eta^2_p=0/۹۶$) را در تغییرات pH خاک داشته است. اگرچه فاکتورهای آزمایش از نظر آماری بر pH خاک اثر معنی دار نداشته‌اند، اما مصرف نمک کلرید سدیم خاک را قلیایی نکرده و لذا تأثیرات مشاهده شده بر کرم‌های خاکی صرفاً ناشی از اثر سوء نمک و آلودگی می‌باشد (جدول ۳).

مصرف کود گاوی نیز در تمامی سطوح شوری، منجر به افزایش معنی‌دار ($p<0/۰۵$) قابلیت هدایت الکتریکی خاک شد (شکل A-۱). در خاک غیرشور، EC خاک در مقایسه با تیمار بدون کود ۲/۶ برابر شد و از ۰/۶۳ به ۱/۶۶ دسی‌زیمنس بر متر رسید. در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز این ویژگی به‌ترتیب ۱۸/۴ و ۱۰ درصد افزایش داشت. شوری کود گاوی مورد استفاده در این پژوهش بیشتر از خاک بود (جدول ۱)، لذا افزایش شوری خاک با کاربرد کود طبیعی است. مصرف کود گاوی در خاک‌های غیرآلوده، ۱۷/۷ درصد و در خاک‌های آلوده، ۲۲/۹ درصد شوری خاک را افزایش داده است (شکل B-۱). کود گاوی به‌عنوان یک منبع غذایی برای موجودات زنده‌ی خاک سرشار از یون‌های غیرآلی محلول هم‌چون Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ و K^+ می‌باشد که این یون‌ها به‌نوبه‌ی خود قادر به افزایش شوری خاک هستند، لذا کاربرد کود گاوی در خاک افزایش قابلیت هدایت الکتریکی را به‌همراه دارد (۱۷).



شکل ۱- برهمکنش شوری و کود گاوی (A) و آلودگی و کود گاوی (B) بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC_e). میانگین‌ها ($n_B=16$ و $n_A=8$) با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار ($p>0.05$) براساس آزمون LSD می‌باشند. S0، S1 و S2 به ترتیب شاهد، قابلیت هدایت الکتریکی ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر، شاهد، P0، آلودگی ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب، M0 شاهد و M1 حاوی ۴ درصد کود گاوی. مقادیر خطای استاندارد (SE) به صورت خط عمودی روی هر ستون نمایش داده شده است

Figure 1- The interaction effect of salinity and manure (A) and Pb pollution and manure (B) on soil electrical conductivity (EC_e). Means ($n_A=8$ and $n_B=16$) followed by the same letter are not significantly ($P<0.05$) different between salinity, pollution and manure levels according to the LSD's test. S0, S1 and S2 are control, 4 and 8 dS m⁻¹, respectively. P0, control; P1, 30 mg kg⁻¹ Pb, M0, control and M1 with 4 % (w/w) manure. Error bars indicate SE of the mean

سرب در کود گاوی مورد مطالعه تعیین نشد، اندازه‌گیری سرب در خاک‌های تیمار شده با کود گاوی نشان می‌دهد که مقدار این فلز در کود ناچیز بوده است. از نظر تغذیه‌ای غلظت سرب نباید در کود دامی بالا باشد؛ زیرا سلامت دام به خطر می‌افتد.

احتمالاً کاهش سرب قابل‌دسترس در تیمارهای حاوی کود گاوی به علت جذب اختصاصی سرب می‌باشد (۳۰). مواد آلی از طریق جذب سطحی (Adsorption) به صورت تشکیل کمپلکس پایدار (Stable and inner-sphere complexes) با اجزای محلول فلزات سمی، آن‌ها را از محلول خاک و دسترس گیرنده‌های زیستی خارج می‌کنند، به عبارت دیگر جذب اختصاصی Pb^{+2} روی گروه‌های عامل مواد آلی، کاهش قابلیت دسترسی این فلز را سبب می‌شود (۲۸). کاهش قابلیت دسترسی سرب با کاربرد مواد آلی توسط محققین زیادی نیز گزارش شده است (۱، ۳۰ و ۳۲).

برهمکنش آلودگی سرب، شوری و کود گاوی بر شاخص‌های رشد و فعالیت کرم‌های خاکی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که برهمکنش شوری، آلودگی و کود گاوی به صورت معنی‌دار ($p<0.05$) تمامی شاخص‌های رشد و فعالیت کرم خاکی *E. fetida* را (به غیر از تعداد کرم‌های خاکی بالغ) تحت تأثیر قرار داده است. مقادیر اندازه‌ی اثر جزئی (Eta^2_p) نیز نشان می‌دهد که کود گاوی با سهم بیش از ۰/۹۰ در تغییرات شاخص‌های مذکور در زندگی کرم خاکی مورد مطالعه بسیار حائز اهمیت است.

آلودگی ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب با توجه به آستانه‌ی شروع سمیت این فلز برای کرم‌های خاکی *E. fetida* بر اساس نتایج ارائه شده از سوی محققین انتخاب گردید (۲۷، ۳۵ و ۳۶). برهمکنش سه عامل شوری، آلودگی و کود گاوی در سطح احتمال ۰/۱ درصد سرب قابل‌دسترس خاک را تحت تأثیر قرار داد، در حالی که سهم این برهمکنش در تغییرات سرب قابل دسترس خاک ۰/۵۴ بود (جدول ۲). در تیمارهای فاقد کود گاوی افزایش شوری خاک به ۴ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش سرب قابل دسترس خاک‌های آلوده را منجر نشد ولی در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر این ویژگی تا ۲۴ درصد افزایش یافت. این سطوح شوری در خاک‌های غیرآلوده بین ۲۴ تا ۲۷ درصد افزایش سرب قابل دسترس خاک را منجر گردید (جدول ۳). در خاک‌های تیمار شده با کود گاوی غلظت سرب قابل دسترس تیمارهای آلوده در شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱/۸ و ۲/۲ برابر تیمار شاهد (غیرشور) بود، ولی سرب قابل دسترس تیمارهای غیرآلوده در این سطوح شوری با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت ($p>0.05$). افزایش سرب قابل دسترس خاک با افزایش سطوح شوری را می‌توان به تشکیل کمپلکس‌های محلول $PbCl_n^{2-n}$ جایگزینی یون سدیم به جای سرب بر مکان‌های تبادلی ذرات خاک و افزایش غلظت این فلز در فاز محلول خاک و همچنین افزایش قدرت یونی نسبت داد (۱، ۲ و ۳۴). افزودن کود گاوی در خاک‌های آلوده، سرب قابل دسترس خاک را کاهش داد (جدول ۳)، در خاک غیرشور سرب قابل دسترس خاک تا ۵۰ درصد کاهش یافت و در سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۲۶ و ۲۲ درصدی این شاخص را در مقایسه با تیمارهای فاقد کود گاوی سبب گردید (هر چند مقدار

جدول ۳- برهمکنش شوری، آلودگی سرب و کود گاوی بر pH و سرب قابل دسترس (Pb_{acc}) خاک
Table 3- The interaction effect of salinity, Pb pollution and manure on soil pH and accessible Pb

تیمار کودی Manure treatment (%)	سطوح سرب Pb levels ($mg\ kg^{-1}$)	سطوح شوری Salinity levels ($dS\ m^{-1}$)	pH	Pb_{acc} . ($mg\ kg^{-1}$)
بدون کود گاوی Without cow manure	0	Control	7.53±0.008G	1.240.05F
		4	7.56±0.015EF	1.47±0.05E
		8	7.57±0.006EF	1.56±0.07E
	30	Control	7.54±0.007FG	12.07±0.39B
		4	7.55±0.017FG	12.79±0.39B
		8	7.58±0.011E	15.01±0.43A
با کود گاوی With cow manure	0	Control	7.70±0.006D	1.46±0.07E
		4	7.73±0.013C	1.42±0.02E
		8	7.74±0.008BC	1.48±0.12E
	30	Control	7.69±0.006D	5.34±0.37D
		4	7.77±0.133C	9.41±0.07C
		8	7.79±0.004A	11.70±0.74B

اعداد میانگین ($n=4$) به همراه خطای استاندارد (SE) می باشند. میانگین ها ($n=4$) با حروف مشابه بزرگ بین سطوح مختلف شوری، آلودگی و کود گاوی براساس آزمون LSD تفاوت معنی دار ندارند ($p>0.05$)

The numbers are mean with standard error (SE). Means ($n=4$) followed by the same letter are not significantly between salinity, pollution and cow manure levels according to the LSD test ($P<0.05$)

تعداد کرم های خاکی بالغ

برهمکنش آلودگی و کود گاوی در سطح احتمال یک درصد و شوری و کود گاوی در سطح احتمال پنج درصد، تعداد کرم های خاکی بالغ را تحت تأثیر قرار داد. اندازه ی اثر جزئی (Eta^2_p) کود گاوی و شوری در تغییرات این شاخص به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۶۰، ولی اثر آلودگی (۰/۰۱) ناچیز بود. به عبارتی کود گاوی و شوری به میزان بیشتری شاخص های فعالیت این کرم خاکی را تحت تأثیر قرار داده است (جدول ۴). بدون کود گاوی، در خاک های آلوده ۵۵ درصد و در خاک های غیر آلوده ۴۸ درصد کاهش در تعداد اولیه ی کرم های بالغ افزوده شده به هر گلدان (۵ کرم خاکی بالغ) مشاهده گردید ولی با افزودن کود گاوی به خاک های آلوده و یا غیر آلوده هر ۵ کرم خاکی زنده ماندند (شکل ۲-۲A).

زالتاسکیت و سودین (۳۵) مشاهده کردند که ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب در خاک طی ۲۸ روز، زنده مانده ی کرم های خاکی *E. fetida* را ۱۰ درصد کاهش می دهد. کود گاوی در خاک های آلوده ۱۲۱ درصد و در خاک های غیر آلوده ۸۰ درصد نسبت به تیمارهای بدون کود گاوی در زنده مانده ی کرم های خاکی بالغ مؤثر بود، بنابراین کود گاوی تا حد زیادی اثر منفی آلودگی را بر تعداد کرم های خاکی بالغ کاهش داده است. از طرفی آثار مثبت کود گاوی بر زنده مانده ی کرم های بالغ به سطوح شوری خاک بستگی داشت (شکل ۲-۲B).

شوری نیز سهم عمده ای بر تغییرات این شاخص ها داشته (>0.60) ولی سهم عامل آلودگی (۰/۷۲ - ۰/۰۱) کمتر بوده است (جدول ۴). کرم های خاکی *E. fetida* به عنوان کرم های اپی ژئیک وابسته به مواد آلی هستند و تأمین این مهم در زندگی و فعالیت آن ها تأثیر بسزایی دارد (۶). هرچند در این مطالعه علی رغم آثار مفید کود گاوی، کاهش شاخص های رشد و فعالیت کرم های خاکی در تیمارهای حاوی کود گاوی محسوس تر بود. اوو جوری و همکاران (۲۰) اظهار کردند که کرم های خاکی نسبت به تنش شوری بسیار حساس هستند و خاک هایی با شوری کمتر از ۲ دسی زیمنس بر متر که برای گیاهان غیر شور و اصطلاحاً "ایمن" است، قادر به کاهش فعالیت و جمعیت آن ها است، با این وجود در خاک های آلوده و شور، سمیت فلزات تشدید شده و رشد و فعالیت این کرم خاکی به میزان بیشتری تحت تأثیر قرار می گیرد. از طرفی آلودگی سرب آثار منفی زیادی بر کرم خاکی *E. fetida* دارد، به طوری که بررسی ها حاکی است که غلظت های اندک ۲۰ و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب به میزان زیادی شاخص های رشد و تولید مثل کرم های خاکی را تحت تأثیر قرار می دهد (۳۵ و ۳۶). ساینر دنیس و همکاران (۲۷) نیز مشاهده کردند که ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب کل در یک خاک با pH ۵/۸ تا ۶/۲ بر رشد و فعالیت این جانداران اثر سمی دارد و این مقدار آستانه ی حساسیت گونه ی *E. fetida* به آلودگی سرب است.

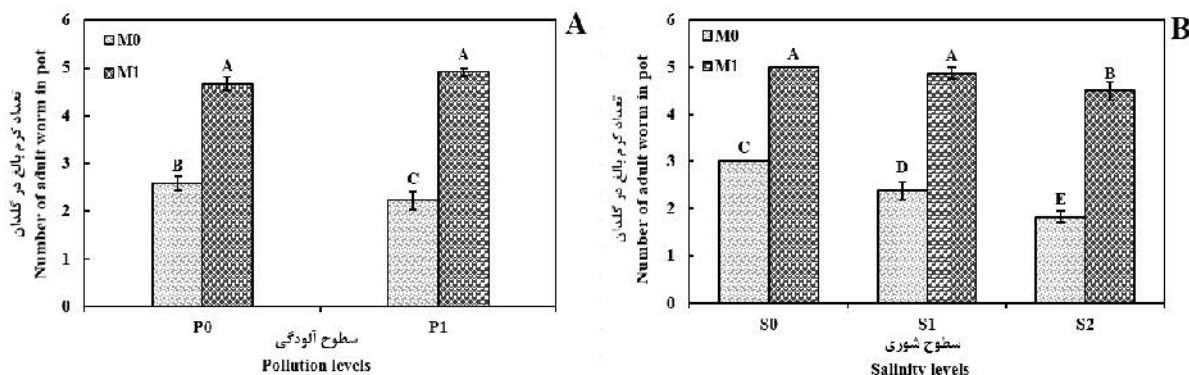
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آلودگی سرب، شوری و کود گاوی بر تعداد کرم‌های بالغ، جمعیت کرم‌های خاکی، وزن مرطوب و خشک و وزن مرطوب و وزن خشک فضولات کرم‌های خاکی
Table 4- ANOVA results (mean square values) for the effect of Pb pollution, salinity and manure on number of adult earthworm, earthworm population, wet and dry body weights, and wet and dry weights of worms casts

منابع تغییر Sources of variation	df	تعداد کرم‌های بالغ Number of adult worms	جمعیت کرم‌های خاکی Earthworm population	وزن مرطوب Wet weight ^u	وزن خشک Dry weight ^u	وزن مرطوب فضولات Cast wet weight ^u	وزن خشک فضولات Cast dry weight ^u
Pollution (P)	1	0.04 ^{ns} (0.01)	0.04 ^{ns} (0.18)	0.02 ^{ns} (0.33)	0.11 ^{ns} (0.72)	2.5×10 ^{-6ns} (0.01)	3.3×10 ^{-7ns} (0.01)
Salinity (S)	2	2.78 ^{ns} (0.60)	2.43 ^{ns} (0.96)	0.37 ^{ns} (0.94)	0.23 ^{ns} (0.91)	0.005 ^{ns} (0.95)	0.004 ^{ns} (0.91)
Pollution (P)	1	68.5 ^{ns} (0.94)	49.0 ^{ns} (0.99)	26.0 ^{ns} (0.99)	31.1 ^{ns} (0.99)	0.134 ^{ns} (0.99)	0.126 ^{ns} (0.99)
P×S	2	0.12 ^{ns} (0.06)	0.05 ^{ns} (0.33)	0.03 ^{ns} (0.56)	0.13 ^{ns} (0.85)	6.0×10 ^{-5ns} (0.21)	3.8×10 ^{-5ns} (0.08)
P×M	1	1.12 ^{ns} (0.23)	0.16 ^{ns} (0.46)	0.31 ^{ns} (0.87)	0.33 ^{ns} (0.88)	0.001 ^{ns} (0.73)	3.2×10 ^{-4ns} (0.28)
S×M	2	0.48 ^{ns} (0.20)	0.06 ^{ns} (0.39)	0.06 ^{ns} (0.73)	0.05 ^{ns} (0.70)	0.001 ^{ns} (0.75)	0.002 ^{ns} (0.80)
P×S×M	3	0.28 ^{ns} (0.13)	0.03 ^{ns} (0.23)	0.11 ^{ns} (0.83)	0.13 ^{ns} (0.85)	3.4×10 ^{-4ns} (0.59)	1.0×10 ^{-4ns} (0.20)
خطا (Error)	36	1.02×10 ⁻²	5.2×10 ⁻³	1.25×10 ⁻³	1.23×10 ⁻³	1.29×10 ⁻⁵	2.33×10 ⁻⁵
(%) C.V.	-	8.9	2.29	5.6	2.8	1.6	2.0
(%) R ²	-	95.5	99.7	99.8	99.8	99.6	99.3

اعداد داخل پرانتز مقدار $E_{df, p}$ را نشان می‌دهند. ^{ns} ، * ، ** ، *** به ترتیب به مفهوم غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱، ۵، ۱۰ و ۱ درصد می‌باشد.

^u داده‌ها نرمال شده‌اند.

The numbers in parentheses indicate the amount of $E_{df, p}$ { $SS_{effect} / (SS_{effect} + SS_{error})$ }; ^{ns} , * , ** and *** indicate non-significance and significance at levels 5, 1 and 0.1% respectively. ^uData were normalized



شکل ۲- برهمکنش آلودگی و کود گاوی (A) و شوری و کود گاوی (B) بر تعداد کرم‌های خاکی بالغ در گلدان. میانگین‌ها ($n_B=8$ و $n_A=12$) با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار ($p>0.05$) براساس آزمون LSD می‌باشند. S0، S1 و S2 به ترتیب شامل شاهد، قابلیت هدایت الکتریکی ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، P0 شاهد، P1 آلودگی ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب، M0 شاهد و M1 حاوی ۴ درصد کود گاوی. مقادیر خطای استاندارد (SE) به صورت خط عمودی روی هر ستون نمایش داده شده است

Figure 2- The interaction effect of Pb pollution and manure (A) and salinity (B) on the number of adult worms in pot. Means ($n_A=8$ and $n_B=16$) followed by the same letter are not significantly ($P<0.05$) different between salinity, pollution and manure levels according to the LSD' test. S0, S1 and S2 are control, 4 and 8 dS m⁻¹, respectively. P0, control; P1, 30 mg kg⁻¹ Pb, M0, control and M1 with 4 % (w/w) cow manure. Error bars indicate SE of the mean

نشد. شاید بتوان گفت که تأمین شرایط بهینه برای سپری شدن چرخه‌ی زندگی کرم‌های خاکی *E. fetida* تنها با وجود کود گاوی و عدم وجود تنش در بستر پرورش تأمین نمی‌شود و در شرایط طبیعی چرخه‌ی زندگی آن‌ها بدون تأخیر سپری می‌شود.

جمعیت کرم‌های خاکی

افزایش سطوح شوری در خاک‌های آلوده و غیرآلوده جمعیت کرم‌های خاکی را کاهش داد (جدول ۵). به‌طوری‌که در خاک‌های فاقد کود گاوی افزایش سطوح شوری خاک به ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر در تیمارهای آلوده به ترتیب ۳۴ و ۵۹ درصد تعداد کل کرم‌های خاکی را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد و در تیمارهای غیرآلوده نیز به ترتیب کاهش ۲۷ و ۵۰ درصدی این شاخص را نسبت به تیمار شاهد به همراه داشت.

بدین ترتیب، اثر شوری بر جمعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده محسوس‌تر از خاک‌های غیرآلوده است که دلیل آن افزایش قابلیت دسترسی و سمیت بیشتر سرب با افزایش سطوح شوری در خاک‌های آلوده می‌باشد. شوری خاک قابلیت دسترسی سرب را افزایش داد (جدول ۳) و لذا سمیت این فلز برای کرم‌های خاکی تشدید شد. با این حال ماهیت اثر مشترک تنش شوری و آلودگی بر جمعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های بدون کود گاوی به صورت هم‌افزا بود (جدول ۶).

به‌طوری‌که در خاک غیرشور و دارای شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تقریباً هر ۵ کرم بالغ زنده ماندند و با افزایش شوری خاک به ۸ دسی‌زیمنس بر متر ۱۰ درصد تلفات داشتند. بدون کود گاوی در تیمارهای غیرشور و مبتلا به شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۴۰، ۵۲ و ۶۳ درصدی تعداد کرم‌های بالغ نسبت به تعداد اولیه‌ی کرم‌های خاکی مشاهده شد. مقایسه‌ی تعداد کرم‌های بالغ در خاک‌های بدون کود و حاوی کود با سطوح شوری مختلف حاکی است، کود گاوی در خاک غیرشور ۶۷ درصد و در خاک‌های دارای سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس به ترتیب ۱۰۵ و ۱۴۵ درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی بالغ را افزایش داده است.

بنابراین اثر مثبت کود گاوی بر زنده‌مانی کرم‌های خاکی در تیمارهای شور بیشتر بوده است. جان و همکاران (۱۳) نیز مشاهده کردند که تأثیر مثبت کاربرد بقایای ذرت به منظور کاهش آثار سوء شوری بر زنده‌مانی کرم‌های خاکی *A. trapezoids* با افزایش سطوح شوری خاک بیشتر شد. از آنجاکه در خاک‌های غیرشور و غیرآلوده نیز تعداد کرم‌های خاکی بالغ کاهش یافت، می‌توان استنباط نمود که کمبود غذا سهم عمده‌ای در مرگ و میر کرم‌های خاکی در تیمارهای فاقد کود گاوی داشته است. منبع غذایی کرم‌های خاکی *E. fetida* مواد آلی خاک می‌باشد و نبود غذای کافی قدرت زنده‌مانی آن‌ها را کاهش می‌دهد (۷). همچنین این انتظار وجود دارد که در تیمارهای حاوی کود گاوی تعداد کرم‌های خاکی بالغ نسبت به تعداد اولیه (۵ کرم بالغ) بیشتر شده باشد، ولی در این پژوهش چنین نتیجه‌ای دیده

جدول ۵- برهم کنش آلودگی سرب، شوری و کود گاوی بر جمعیت، وزن مرطوب و خشک کرم‌های خاکی و وزن مرطوب و خشک فضولات کرم‌های خاکی

Table 5- The interaction effect of salinity, Pb pollution and cow manure on earthworm population, wet and dry weights of earthworm and wet and dry weights of earthworm cast

تیمار شوری Salinity treatment (dS m ⁻¹)	سطوح سرب Pb levels (mg kg ⁻¹)		سطوح سرب Pb levels (mg kg ⁻¹)	
	0	30	0	30
	بدون کود گاوی Without cow manure		با کود گاوی With cow manure	
جمعیت کرم‌های خاکی در گلدان Earthworm population in pot				
Control	14.0±0.40F	11.8±0.47G	117±6.70A	101±0.62B
4	10.3±0.25H	9.3±0.25H	58.0±2.08D	72.0±2.67C
8	7.00±1.75I	5.7±0.23J	45.2±1.79E	49.8±2.17E
وزن مرطوب کرم‌های خاکی Earthworm wet weight (g pot ⁻¹)				
Control	1.00±0.01F	0.93±0.01GH	4.84±0.06A	4.73±0.03A
4	0.97±0.01FG	0.92±0.01GH	3.74±0.08D	4.43±0.13B
8	0.91±0.03H	0.72±0.01I	2.49±0.04E	3.96±0.09C
وزن خشک کرم‌های خاکی Earthworm dry weight (g pot ⁻¹)				
Control	0.14±0.001E	0.13±0.001FG	0.78±0.005A	0.74±0.005AB
4	0.14±0.002EF	0.13±0.007 GH	0.60±0.008C	0.71±0.016B
8	0.12±0.002H	0.11±0.001I	0.38±0.006D	0.74±0.021AB
وزن فضولات مرطوب Cast wet weight (g pot ⁻¹)				
Control	13.57±0.2E	13.32±0.2E	43.67±0.4A	42.43±1.4A
4	13.45±0.1E	11.77±0.2F	28.54±0.5C	34.45±0.5B
8	11.83±0.1F	11.18±0.2G	22.62±0.1D	27.19±0.4C
وزن فضولات خشک Cast dry weight (g pot ⁻¹)				
Control	11.79±0.1F	11.55±0.1F	35.52±0.4A	34.03±1.4A
4	11.38±0.1FG	10.75±0.1H	24.36±0.3C	27.11±0.5B
8	10.93±0.1GH	10.63±0.3H	19.32±0.6E	20.93±0.4D

اعداد میانگین (n=۴) به همراه خطای استاندارد (SE) می‌باشند. میانگین‌ها (n=۴) با حروف مشابه بین سطوح مختلف شوری، آلودگی و کود گاوی براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند (p>۰/۰۵)

The numbers are mean with standard error (SE). Means (n=4) followed by the same letter are not significantly (P<0.05) different between salinity, pollution and cow manure levels according to the LSD's test

و بر کاهش اثر منفی دو تنش به‌صورت هم‌زمان دلالت می‌کند (جدول ۶).

تعداد کرم‌های خاکی *E. fetida* تا زمانی افزایش می‌یابد که غذا یک عامل محدودکننده نباشد (۶). منبع غذایی این جانداران مواد آلی خاک می‌باشد و عدم وجود غذای کافی از جمعیت آن‌ها می‌کاهد (۷)، بنابراین تأمین غذای لازم برای کرم‌های خاکی با افزودن کود گاوی، با وجود تنش شوری و آلودگی جمعیت کرم‌های خاکی را افزایش داد. وانگ و همکاران (۳۳) اظهار کردند که مدیریت مواد آلی یکی از شیوه‌های بسیار مؤثر برای افزایش جمعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های شور است.

با افزودن کود گاوی، خلاف این روند مشاهده گردید به‌طوری‌که در تیمارهای غیرآلوده اثر شوری محسوس‌تر از تیمارهای آلوده بود. در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر در خاک‌های غیرآلوده به ترتیب ۵۰ و ۶۱ درصد و در خاک‌های آلوده به‌ترتیب ۳۸ و ۵۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش در این شاخص مشاهده گردید (جدول ۵). بنابراین می‌توان استنباط نمود که اثر مواد آلی بر جمعیت کرم‌های خاکی، در خاک‌های شور و آلوده بیشتر از خاک‌های شور غیرآلوده است. نتایج جدول ۳ نشان داد که با افزودن کود گاوی قابلیت دسترسی و سمیت سرب کاهش می‌یابد و مکانیسم تأثیر شوری بر فراهمی سرب تغییر می‌کند. لذا اثر متقابل شوری و آلودگی بر شاخص تعداد کل کرم‌های خاکی با وجود کود گاوی ماهیت پادکرداری داشته

جدول ۶- ماهیت اثر متقابل تنش شوری و آلودگی بر جمعیت، وزن و فعالیت کرم خاکی *E. fetida*Table 6- The nature of interaction effect of salinity and Pb pollution on population, weight and activity of the earthworm *E. fetida*

تیمار Treatment	تیمار کودی Manure treatment (%)									
	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
	جمعیت population		وزن مرطوب Wet weight		وزن خشک Dry weight		وزن مرطوب فضولات Cast wet weight		وزن خشک فضولات Cast dry weight	
S1	0.27	0.51	0.03	0.23	0.03	0.23	0.01	0.03	0.03	0.31
P	0.16	0.13	0.07	0.02	0.07	0.04	0.02	0.35	0.02	0.04
(Y _{sp}) _o	0.34	0.39	0.08	0.09	0.08	0.08	0.13	0.21	0.09	0.24
(Y _{sp}) _p	0.39	0.57	0.10	0.24	0.09	0.26	0.03	0.36	0.05	0.34
t statistics	-1.72	-6.45	-3.72	-5.04	0.54	-7.62	4.20	-4.62	1.65	-2.79
p value	p>0.05	p<0.001	p>0.05	p<0.01	p>0.05	p<0.001	p<0.01	p<0.01	p>0.05	p<0.05
CI _{95%}	0.057	0.073	0.022	0.088	0.017	0.068	0.042	0.035	0.037	0.059
Interaction	ADD	ANT	ADD	ANT	ADD	ANT	SYN	ANT	ADD	ANT
S2	0.50	0.61	0.09	0.49	0.12	0.51	0.13	0.48	0.07	0.46
P	0.16	0.13	0.07	0.02	0.07	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04
(Y _{sp}) _o	0.60	0.58	0.28	0.18	0.18	0.05	0.18	0.38	0.10	0.41
(Y _{sp}) _p	0.58	0.67	0.15	0.50	0.18	0.53	0.14	0.50	0.09	0.48
t statistics	-1.31	-2.22	4.47	-1.03	-1.33	-16.62	0.42	-6.39	0.09	-2.13
p value	p>0.05	p<0.05	p<0.01	p<0.01	p>0.05	p<0.001	p>0.05	p<0.001	p>0.05	p<0.05
CI _{95%}	0.054	0.059	0.033	0.058	0.089	0.087	0.054	0.031	0.084	0.37
Interaction	ADD	ANT	SYN	ANT	ADD	ANT	ADD	ANT	ADD	ANT

اعداد داخل جدول نسبت بازدارندگی (Inhibitory ratio) هستند ($IR = \frac{\text{blank} - \text{treatment}}{\text{blank}}$). S1 و S2 سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، P: آلودگی ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب، (Y_{sp})_o: اثر مشاهده‌شده، (Y_{sp})_p: اثر پیش‌بینی شده، CI_{95%}: حد اطمینان، Interaction: نوع برهمکنش، ADD: بدون اثر متقابل (هم‌افزا)، ANT: پادکرداری، SYN: هم‌کرداری

The numbers are inhibitory ratio ($IR = \frac{\text{blank} - \text{treatment}}{\text{blank}}$). S1 and S2 are 4 and 8 dS m⁻¹; P, 30 mg kg⁻¹ Pb; (Y_{sp})_o: observed effect; (Y_{sp})_p: predicted effect; CI_{95%}: confidence interval; ADD: Additive; ANT: Antagonism and SYN: Synergism

ترتیب کاهش ۸ و ۲۸ درصدی وزن مرطوب کرم‌های خاکی مورد مطالعه را سبب شد، در حالی که در تیمارهای غیرآلوده افزایش سطوح شوری تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر اثر معنی‌داری بر وزن مرطوب کرم های خاکی نداشت ($p>0.05$) و زمانی که شوری خاک به ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت، این شاخص ۹ درصد کاهش نشان داد. همان‌طور که قبل از این نیز عنوان شد کاهش محسوس‌تر وزن مرطوب کرم‌های خاکی با افزایش سطوح شوری در تیمارهای آلوده به دلیل افزایش قابلیت دسترسی سرب در خاک‌های شور است (جدول ۳). شریف و همکاران (۲۸) نشان دادند که شوری کاهش وزن گونه های مختلف کرم‌های خاکی را سبب می‌شود. گازیت و همکاران (۱۲) اظهار کردند که هرچه شوری خاک بیشتر می‌شود، وزن مرطوب کرم‌های خاکی به میزان بیشتری کاهش می‌یابد. از طرفی زالتاسکیت و سودین (۳۶) مشاهده کردند که وزن مرطوب کرم‌های خاکی *E. fetida* در خاک‌های آلوده به ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب به‌مدت ۲۸ روز، بیش از ۳۰ درصد کاهش داشت. با افزودن کود گاوی این

در پژوهش نعمتی و همکاران (۱۹) مواد اصلاحی آلی شامل بقایای یونجه، ذرت و کود گاوی، جمعیت کرم‌های خاکی *L. terrestris* را تحت سطوح مختلف شوری، بین ۱۲ تا ۸۵ درصد بهبود بخشید. جان و همکاران (۱۳) گزارش کردند که کاربرد بقایای ذرت با بهبود کیفیت خاک و تأمین مواد غذایی جمعیت کرم‌های خاکی *A. trapezoids* را در محیط‌های شور افزایش می‌دهد. همچنین آویلا و همکاران (۳) گزارش کردند که کاربرد مواد آلی تا حد زیادی سمیت مس را برای کرم‌های خاکی *E. fetida* کاهش داده و منجر به افزایش جمعیت آن‌ها می‌شود.

وزن مرطوب و خشک کرم‌های خاکی

نتایج (جدول ۵) نشان می‌دهد با افزایش سطوح شوری خاک، وزن مرطوب کرم‌های خاکی کاهش یافت، ولی بدون افزودن کود گاوی کاهش این شاخص در خاک‌های آلوده بیشتر بود. در تیمارهای آلوده افزایش سطوح شوری خاک به ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به

وزن مرطوب و خشک فضولات کرم‌های خاکی

فضولات مرطوب تولیدشده در تیمارهای آلوده و فاقد کود گاوی، با افزایش سطوح شوری خاک به ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۱۳ و ۱۸ درصد کاهش یافت. در تیمارهای غیرآلوده با افزایش شوری خاک به ۴ دسی‌زیمنس بر متر تولید فضولات کاهش نداشت ولی در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر این شاخص ۱۳ درصد کمتر شد. با افزودن کود گاوی وزن مرطوب فضولات تولیدشده در سطوح شوری خاک به ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در خاک‌های غیرآلوده به‌ترتیب ۳۵ و ۴۸ درصد و در خاک‌های آلوده ۲۱ و ۳۸ درصد کاهش داشت (جدول ۵). ماهیت برهمکنش شوری و آلودگی بر وزن مرطوب فضولات در خاک فاقد کود گاوی با شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌صورت هم‌کردی بود ولی در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌هم‌افزا و یا بدون اثر متقابل تغییر یافت. در خاک‌های حاوی کود گاوی، برهمکنش دو تنش ماهیت پادکرداری داشت و تأثیر منفی برهمکنش دو تنش تعدیل شد (جدول ۶)، چراکه افزودن بقایای آلی در خاک‌های شور، می‌تواند تولید فضولات و توانایی حفر خاک را توسط کرم‌های خاکی افزایش دهد (۱۳).

وزن خشک فضولات تولیدشده در تیمارهای آلوده و مبتلا به شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور یکسان و بین ۹ تا ۱۰ درصد کاهش یافت. در تیمارهای غیرآلوده این شاخص تنها در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر ۷ درصد کاهش داشت. در خاک‌های حاوی کود گاوی تیمارهای غیرآلوده در این سطوح شوری به‌ترتیب ۳۱ و ۴۶ درصد و تیمارهای آلوده به‌ترتیب ۲۴ و ۴۱ درصد، کاهش وزن خشک فضولات تولید شده را منجر شدند (جدول ۵). ماهیت اثر مشترک تنش شوری و آلودگی بر وزن خشک فضولات تولید شده بدون کود گاوی به‌صورت هم‌افزا بود و با افزودن کود گاوی به پادکرداری تغییر یافت (جدول ۶). همان‌گونه که نتایج نشان داد شاخص‌های رشد و فعالیت کرم‌های خاکی *E. fetida* با افزایش سطوح شوری خاک کاهش می‌یابند و تولید فضولات نیز به‌عنوان نشانگر رفتاری کرم‌های خاکی در محیط‌های آشفته، از این قاعده مستثنی نیست و حتی به‌طور مشابه با سایر شاخص‌های رشد و فعالیت این کرم خاکی، افزایش شوری تیمارهای آلوده اثر محسوس‌تری بر کاهش تولید فضولات داشته است. شاید بتوان کاهش تولید فضولات توسط کرم‌های خاکی را مربوط به کاهش جمعیت، تضعیف و کاهش وزن آن‌ها دانست. شریف و همکاران (۲۸) گزارش کردند که با افزایش سطوح شوری خاک، ضمن کاهش جمعیت و وزن گونه‌های مختلف کرم خاکی، تولید فضولات نیز توسط آن‌ها کاهش می‌یابد. این محققان بیشترین تولید فضولات را در تیمار شاهد مشاهده کردند و این موضوع را مربوط به سلامت کرم‌های خاکی در خاک‌های غیرشور دانستند. کاپوویز و همکاران (۵) مشاهده کردند که تولید فضولات توسط

سطوح شوری در خاک‌های آلوده به‌ترتیب ۸ و ۱۸ درصد و در خاک غیرآلوده به‌ترتیب ۲۳ و ۴۸ درصد کاهش وزن مرطوب کرم‌های خاکی را به‌همراه داشت. می‌توان گفت که اثر کود گاوی بر وزن مرطوب کرم‌های خاکی در تیمارهای آلوده بیشتر از غیرآلوده بوده است. چراکه مواد آلی ضمن کاستن از قابلیت دسترسی سرب (جدول ۳)، به‌عنوان بستره‌ی غذایی توسط کرم‌های خاکی مصرف می‌شوند و از سویی افزایش جمعیت و زیست‌توده‌ی میکروبی به دنبال افزایش مواد آلی خاک، به‌صورت غیرمستقیم نیز این جانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۳)، لذا وزن کرم‌های خاکی افزایش می‌یابد.

ماهیت اثر مشترک دو تنش آلودگی و شوری بر وزن مرطوب کرم‌های خاکی در خاک‌های بدون کود گاوی به سطوح شوری خاک بستگی داشت (جدول ۶)؛ به‌طوری‌که در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر دو تنش اثر متقابل نداشتند و ماهیت برهمکنش هم‌افزا بود، ولی افزایش شوری خاک به ۸ دسی‌زیمنس بر متر ماهیت اثر متقابل دو تنش را به هم‌کرداری تغییر داد و اثر منفی دو تنش بر وزن مرطوب کرم‌های خاکی بیشتر شد. در خاک‌های حاوی کود گاوی دو تنش ماهیت پادکرداری داشتند. در پژوهش اووجوری و همکاران (۲۰) تغییرات وزن کرم‌های خاکی *E. fetida* تحت تأثیر برهمکنش شوری و آلودگی روی قرار گرفت و ماهیت اثر متقابل دو تنش به‌صورت هم‌افزا تا هم‌کرداری بود. این محققین اظهار کردند که افزایش سطوح شوری خاک، منجر به افزایش یون Cl^- و تشکیل $ZnCl_2$ شده که ضمن افزایش قابلیت دسترسی این فلز در خاک، جذب آن را توسط کرم‌های خاکی افزایش می‌دهد و کاهش وزن این جاندار بیشتر می‌شود.

کاهش وزن خشک کرم‌های خاکی نیز در تیمارهای آلوده و فاقد کود گاوی محسوس‌تر بود. به‌طوری‌که در تیمارهای آلوده افزایش شوری خاک به ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب کاهش ۸ و ۱۸ درصدی وزن خشک کرم‌های خاکی را به‌همراه داشت. در تیمارهای غیرآلوده شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش این شاخص نشد ولی با افزایش شوری خاک به ۸ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک کرم‌های خاکی ۱۲ درصد کاهش پیدا کرد. با افزودن کود گاوی در سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر در خاک‌های غیرآلوده به‌ترتیب وزن خشک کرم‌های خاکی ۲۳ و ۵۱ درصد کاهش یافت ولی در خاک‌های آلوده در این سطوح شوری کاهش این شاخص مشاهده نگردید و اختلافی بین وزن خشک کرم‌های خاکی در تیمارهای مبتلا به شوری با شاهد دیده نشد (جدول ۵). اثر مشترک تنش شوری و آلودگی بر وزن خشک کرم‌های خاکی در خاک‌های بدون کود گاوی به‌صورت هم‌افزا بود و بین دو تنش اثر متقابل وجود نداشت. با افزودن کود گاوی ماهیت برهمکنش دو تنش به پادکرداری تغییر یافت (جدول ۶).

خارج می‌کند، با این وجود اثر افزودن کود در خاک غیرشور محسوس‌تر بود. جمعیت، وزن و فعالیت کرم خاکی *E. fetida* نسبت به برهمکنش دو تنش شوری و آلودگی بسیار حساس می‌باشند. به عبارتی محیط‌های آلوده و شور پتانسیل بیشتری برای آسیب‌رسانی به این جانداران دارند، به‌طوری‌که کمترین جمعیت، وزن مرطوب و خشک و همچنین وزن مرطوب و خشک فضولات تولیدشده در خاک‌های آلوده و مبتلا به شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید. در غیاب کود گاوی ماهیت اثر مشترک این دو تنش بر شاخص‌های رشد و فعالیت کرم‌های خاکی اغلب هم‌افزا و به‌ندرت به صورت هم‌کرداری بود درحالی‌که در حضور کود گاوی اثر مشترک دو تنش شوری و آلودگی بر کرم‌های خاکی به پادکرداری تغییر یافت، می‌توان گفت که مصرف کود گاوی در خاک‌های آلوده‌ی شور به کاهش اثر مشترک این دو تنش بر این گونه‌ی کرم خاکی کمک می‌کند.

تشکر و سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه شهرکرد تشکر و قدردانی می‌شود.

کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده کاهش می‌یابد، لذا این شاخص نیز می‌تواند به‌عنوان نشانگر رفتاری کرم‌های خاکی در برخورد با آلودگی به کار رود، ولی یکی از ضعف‌های استفاده از شاخص تولید فضولات به‌عنوان نشانگر رفتاری کرم خاکی به هنگام آلودگی خاک، این است که با کاهش تولید فضولات به‌وضوح مشخص نیست که آیا بر اثر آسیب به سلامتی کرم خاکی تولید فضولات کاهش یافته و یا وجود آلودگی در خاک مانع مصرف آن توسط کرم شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش حاکی است شوری قابلیت دسترسی سرب (سرب عصاره‌گیری‌شده با DTPA) خاک را افزایش می‌دهد و از این طریق در کنار تنش شوری، سمیت سرب برای کرم‌های خاکی *E. fetida* تشدید می‌گردد. اثر نمک بر افزایش قابلیت دسترسی سرب به مقدار نمک و سطح ماده‌ی آلی خاک بستگی دارد، چنان‌که در خاک‌های آلوده و مبتلا به شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش سرب قابل دسترس محسوس‌تر بود. از طرف دیگر، مصرف کود گاوی در تمامی سطوح شوری قابلیت دسترسی سرب را کاهش داد. احتمالاً کود گاوی با جذب اختصاصی سرب قابل‌دسترس این فلز را از محلول خاک

منابع

- 1- Abbaspour A., Kalbasi M., Hajrasuliha Sh., and Fotovat A. 2007. Effect of plant residue and salinity on fractions of cadmium and lead in three soils. *Soil and Sediment Contamination*, 16:539-555.
- 2- Acosta J.A., Jansen B., Kalbitz K., Faz A., and Martinez S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. *Chemosphere*, 85:1318-1324.
- 3- Avila G.G., Gaete H.H., Sauve S.S., and Neaman A.A. 2009. Organic matter reduces copper toxicity for the earthworm *Eisenia fetida* in soils from mining areas in central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69:252-259.
- 4- Bremner J.M., and Mulvaney R.L. 1982. Nitrogen. P. 595-622. In Page A.L. et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- 5- Capowiez Y., Dittbrenner N., Rault M., Triebeskorn R., Hedde M., and Mazzia C. 2010. Earthworm cast production as a new behavioural biomarker for toxicity testing. *Environmental Pollution*, 158:388-393.
- 6- Edwards C.A. 2004. *Earthworm Ecology*. CRC Press, Boca Raton.
- 7- Edwards C.A. and Bohlen P.J. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Springer, London.
- 8- Falahati Marvast A., Hosseinpour A., and Tabatabaei S.H. 2013. Effect of salinity and sewage sludge on heavy metal availability and uptake by Barley plant. *Journal of Water and Soil*, 27(5):985-997. (in Persian with English abstract)
- 9- Ficher E., and Molnar L. 1997. Growth and reproduction of *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) in semi-natural soil containing various metal chlorides. *Soil Biology and Biochemistry*, 29:667-670.
- 10- Folt C.L., Chen C.Y., Moore M.V., and Burnaford J. 1999. Synergism and antagonism among multiple stressors. *Limnology and Oceanography*, 44:864-877.
- 11- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In Klute A. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- 12- Guzyte G., Sujetoviene G., and Zaltauskaite J. 2011. Effects of salinity on earthworm (*Eisenia fetida*). *Environmental Engineering*, 3:19-20.

- 13- Jun T., Wei G., Griffiths B., Xiaojing L., Yingjun X., and Hua Z. 2011. Maize residue application reduces negative effects of soil salinity on the growth and reproduction of the earthworm *Aporrectodea trapezoides*, in a soil mesocosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 49:46-51.
- 14- Klute A. 1982. Soil pH lime requirement. p. 199-223. In Mclean E.O. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- 15- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421- 428.
- 16- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In: Suarez D.L. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical properties*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- 17- Mufwanzala N., and Dikinya O. 2010. Impact of poultry manure and its associated salinity on the growth and yield of spinach (*Spinacea oleracea*) and carrot (*Daucus carota*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 12:489-494.
- 18- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1011. In Sparks D.L. et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- 19- Nemati F., Raiesi F., and Hosseinpour A.R. 2010. The study of population and growth characteristics of earthworm (*Lumbricus terrestris* L.) in a soil salinized with NaCl and the importance of organic amendments in alleviating salinity effects. *Journal of Water and Soil*, 24(6):1097-1108. (in Persian with English abstract)
- 20- Owojori O.J., Reinecke A.J., and Rozanov A.B. 2008. Effects of salinity on partitioning, uptake and toxicity of zinc in the earthworm *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry*, 40:2385-2393.
- 21- Owojori O.J., Reinecke A.J., and Rozanov A.B. 2009. The combined stress effects of salinity and copper on the earthworm *Eisenia fetida*. *Applied Soil Ecology*, 41:277-285.
- 22- Owojori O.J., and Reinecke A.J. 2010. Effects of natural (flooding and drought) and anthropogenic (copper and salinity) stressors on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* under field conditions. *Applied Soil Ecology*, 44:156-163.
- 23- Qadri M., Qureshi A.S. and Cheraghi S.A.M. 2008. Extent and characterisation of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Degradation and Development*, 19:214-227.
- 24- Reinecke A.J., and Reinecke S.A. 2004. Earthworm as test organisms in ecotoxicological assessment of toxicant impacts on ecosystems. p. 299-310. In: Edwards C.A. (ed.) *Earthworm Ecology. Part 8. Earthworms and environmental pollution*. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- 25- Reynolds W.D., and Clarke-Topp G. 2008. Soil water desorption and imbibition: tension and pressure techniques. p. 981-998. In Carter M.R. and Gregorich E.G. (eds.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 26- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. In Sparks D.L. et al. (eds.) *Methods of soil Analysis. Part 3: Chemical properties*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- 27- Saint-Denis M., Narbonne G.F., Arnaud C., and Ribera D. 2001. Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida* andrei exposed to contaminated artificial soil: effects of lead acetate. *Soil Biology and Biochemistry*, 33:395-404.
- 28- Sharif F., Danisha M.U., Ali A.S., Khan A.U., Shahzad L., Ali H., and Ghafoor A. 2016. Salinity tolerance of earthworms and effects of salinity and vermi amendments on growth of sorghum bicolor. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62: 1169-1181.
- 29- Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, 46:260-264.
- 30- Strawn D.G., Bohn H.L., and Ocnor G.A. 2015. *Soil Chemistry*. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey.
- 31- Tabachnick B.G., and Fidell L.S. 2012. *Using Multivariate Statistics* (6th ed.). Pearson Publisher. Upper Saddle River, New Jersey.
- 32- Violante A., Cozzolino V., Perelomov L., Caporale A.G., and Pigna M. 2010. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10:268-292.
- 33- Wang Y., Chen J., Gu W., Xu Y., Gu J., and Tao J. 2016. Earthworm activities increase the leaching of salt and water from salt-affected agricultural soil during the wet-dry process under simulated rainfall conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 52:323-330.

- 34- Xiong T.Z., and Feng T. 2001. Enhanced accumulation of lead in *Brassica pekinensis* by soil-applied chloride salts. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 67:67-74.
- 35- Zaltauskaite J., and Sodiene I. 2010. Effects of total cadmium and lead concentrations in soil on the growth, reproduction and survival of earthworm *Eisenia fetida*. Ekologija, 56:10-16.
- 36- Zaltauskaite J., and Sodiene L. 2014. Effects of cadmium and lead on the life-cycle parameters of juvenile earthworm *Eisenia fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 103:9-16.
- 37- Zhao W., Sachsenmeier K., Zhang L., Sult E., Hollingsworth R.E., and Yang H. 2014. A new bliss independence model to analyze drug combination data. Journal of Biomolecular Screening, 19:817-821.



Response of Earthworm *Eisenia fetida* to the Stresses Induced by Salinity and Lead Pollution in a Soil Amended with Cow Manure

M. Nazarizadeh^{1*} - F. Raiesi² - H. Motaghian³

Received: 24-01-2017

Accepted: 12-08-2017

Introduction: Salinity and pollution are two environmental stresses that individually influence the population, growth and activity of earthworms as soil bioengineers. It is well-known that the population and activity of these organisms are mostly reduced or even their activity and growth can be stopped in polluted and saline soils. The individual effects of these abiotic stresses on earthworms, however, depend on the level of salinity, pollution and organic matter. Nonetheless, the joint or combined effect of these stresses on earthworms, especially in arid and semi-arid areas, is poorly known. Because of the importance of earthworms in soil ecosystem, the study of salinity and pollution interactions on earthworm population and activity to reduce their detrimental effects using organic materials is essential. The aim of this study was to examine how salinity and lead (Pb) stresses simultaneously affect the earthworms in soil ecosystem.

Materials and Methods: In this research, the interaction effect of salinity stress using sodium chloride (NaCl) and Pb stress using lead nitrate (PbNO₃) on the population, weight and activity of the earthworm *Eisenia fetida* was studied under greenhouse conditions. This factorial experiment was carried out using 3 factors, including Pb pollution (control and 30 mg kg⁻¹ Pb), salinity (control, 4 and 8 dS m⁻¹) and cow manure (control and 4% by weight) arranged in a completely randomized design with four replicates. The experiment lasted 13 weeks and earthworm's population and activity including the number of adult worms, total earthworms, wet and dry weights, and wet and dry weights of casts produced by earthworm were measured at the end of the experiment. Concentration of DTPA (di-ethylene-triamine-pentaacetic acid) extractable Pb was also determined to assess how salinity influences the accessibility of this metal in the soil. The Fisher's least significant difference test was used to determine the significance of any difference between the means values at 5% level with the STATISTICA 8 software. The Bliss Independence Model was used to determine the type of interaction between salinity and Pb pollution for each manure treatment.

Results and Discussion: The current results showed that increasing salinity level enhanced the accessibility of Pb and subsequently its toxicity for earthworms. In contrast, addition of cow manure reduced the accessibility of Pb by 22-50% at all salinity levels. Earthworm population, wet and dry body weights, and wet and dry weights of casts produced by worms were all significantly ($p < 0.05$) influenced by the interaction of salinity, Pb pollution and manure application. Earthworm characteristics in Pb-polluted soils had the lowest values in the presence of 8 dS m⁻¹ salinity. Compared with the control, earthworm population tended to decline by 59%, wet weight by 28%, dry weight by 18%, cast wet weight by 18% and cast dry weight by 10% in Pb-polluted soils spiked with the highest salinity level. However, a reverse trend was observed with addition of cow manure, and the effect of salinity was greater in polluted than unpolluted treatments. In polluted soils amended with cow manure, 8 dS m⁻¹ salinity reduced earthworm population (57%), wet weight (18%), and cast wet (38%) and dry (41%) weights compared with non-saline soils. The nature of interaction between salinity and Pb pollution on earthworm characteristics was often additive or synergistic in the absence of cow manure, but antagonism in the presence of cow manure. Manure addition to this calcareous soil reduced to a large extent the harmful effect of Pb pollution and soil salinization on survival of adult earthworms.

Conclusions: The earthworm species *E. fetida* was very sensitive to the interaction between salinity and Pb stresses. The harmful effect of Pb pollution on earthworm depended largely on the salinity level and manure addition. Salinity could synergistically increase the mobility, bio-availability and toxicity of soil Pb. Polluted and

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Sharekord, Respectively

(*- Corresponding Author Email: mina.nazarizadeh@yahoo.com)

saline environments have a great potential to damage this earthworm species, however, manure addition could reduce the positive interaction of salinity and pollution on *E. fetida*, and improve its population and activity. It is concluded that the type of interaction between salinity and Pb pollution on *E. fetida* was additive or synergism in manure-unamended soils, but was changed to antagonism in manure-amended soils.

Keywords: Casting activity, Environmental stresses, Joint effect, Pb accessibility



بررسی پرتوزایی طبیعی خاک‌های کشاورزی و بکر در شهرهای اراک و سربند در استان مرکزی

رضا پورایمانی^{۱*} - فائزه یوسفی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

چکیده

هر ساله مقدار زیادی از انواع کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی و جبران مواد مغذی و ضروری به خاک اضافه می‌شود. این کودها حاوی فلزات سنگین و عناصر پرتوزا هستند و با افزودن آن‌ها به خاک، آلاینده‌های پرتوزایی محیطی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهند. در این پژوهش ۲۲ نمونه از خاک‌های کشاورزی و بکر از مناطق مختلف شهرهای اراک و سربند در استان مرکزی جمع‌آوری گردید. مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K با استفاده از روش طیف‌سنجی پرتوهای گاما و با به کارگیری آشکارساز HPGe با بازدهی ۳۰ درصد تعیین گردید. مقادیر میانگین فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K برای خاک‌های کشاورزی به ترتیب برابر ۴۵/۵۴، ۶۹/۰۹ و ۹۲۶/۷۱ برای خاک‌های بکر به ترتیب برابر ۴۳/۳۷، ۱۷/۲۶ و ۶۰۴/۰۴ برحسب Bq/kg بدست آمد. میانگین آهنگ دز جذبی در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب ۱۰۵/۲۲ و ۷۰/۵۹ برحسب nGy/y محاسبه گردید. میانگین مقادیر دز معادل سالیانه غدد و خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب برابر (۰/۷۲ و ۰/۴۸) و (۰/۴۵×۱۰^{-۳} و ۰/۲۹×۱۰^{-۳}) بدست آمد. مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای طبیعی، آهنگ دز جذبی، آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی و خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در تمام نمونه‌های خاک‌های کشاورزی بیشتر از مقدار میانگین جهانی بدست آمد و در مورد خاک‌های بکر با میانگین جهانی توافق خوبی را نشان می‌دهد. آنالیز آماری انجام شده نشان می‌دهد که در سطح معنی‌دار ۰/۰۱ استفاده از کودهای شیمیایی باعث افزایش پرتوزایی خاک گردیده است.

واژه‌های کلیدی: پرتوزایی، خاک بکر، خاک کشاورزی، کود شیمیایی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی اصلی عناصر پرتوزا می‌باشد که از آن به عنوان یک ماده اولیه در ساخت جاده‌ها ساختمان‌ها، محل‌های دفن زباله، زمین‌های بازی و زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود (۱۴). پرتوهای موجود در طبیعت به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم وارد بدن موجودات زنده می‌شوند. عناصر پرتوزای موجود در خاک به صورت مستقیم از طریق گردوغبار حاصله و استنشاق گاز رادن و یا اینکه به صورت غیرمستقیم از طریق مصرف محصولات کشاورزی و دامی وارد بدن انسان می‌شوند. این عناصر دارای رفتارهای متفاوتی در بدن انسان می‌باشند. تعدادی از آن‌ها در یک عضو تجمع بیشتری پیدا می‌کنند و تعداد دیگری به طور یکنواخت در بدن توزیع می‌گردند. تابش‌های هسته‌ای گسیل شده از این عناصر برای بافت‌های بدن مضر می‌باشد و ممکن است باعث بیماری‌هایی مانند سرطان و یا ناهنجاری‌های ژنتیکی گردند. کود یک ترکیب شیمیایی است که مهم‌ترین ماده مغذی گیاهان به حساب می‌آید و کودها به دلیل افزایش تولید محصول و جبران کمبود مواد مغذی زمین‌های کشاورزی یک ماده ضروری در سراسر جهان محسوب می‌شوند. کودها در انواع مختلفی نظیر فسفات، NPK و غیره تولید می‌شوند. سنگ‌های فسفات ماده اولیه تولید بیشتر این کودها به حساب می‌آید.

انسان‌ها همواره در معرض پرتوهای یون‌ساز قرار دارند. عمده این پرتوها در اثر واپاشی هسته‌های پرتوزای موجود در محیط‌زیست تولید می‌شوند. پوسته زمین یکی از منابع طبیعی اصلی عناصر پرتوزا است. بخش عمده پرتوهای یونساز طبیعی ناشی از واپاشی سری‌های واپاشان ^{238}U ، ^{235}U و ^{232}Th و ویژه هسته پرتوزای ^{40}K موجود در خاک، سنگ و آب می‌باشد (۱). مقدار میانگین اورانیوم در پوسته زمین ۲/۷ mg/kg تخمین زده شده است که این مقدار در سنگ‌های فسفات به ۱۲۰ mg/kg افزایش پیدا می‌کند سنگ‌های فسفات یکی از منابع اصلی تولید کودهای شیمیایی به حساب می‌آید (۱۵). در مورد توریم مقدار میانگین آن در پوسته زمین ۹/۶ mg/kg برآورد شده است (۹). پتاسیم یکی از عناصر اصلی تشکیل دهنده پوسته زمین می‌باشد که ۲/۸ درصد از ترکیبات خاک را شامل می‌گردد (۲۸). خاک

۱ و ۲ - دانشیار و فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک
(*) نویسنده مسئول:
Email: r-pourimani@araku.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.61000

ضریب جذب در نمونه‌ها نیست. به منظور حذف رطوبت اضافی و جلوگیری از تغییر وزن در طول اندازه‌گیری، نمونه‌ها به مدت یک شبانه روز در کوره‌ای با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس ۹۵۰ گرم از هر نمونه در ظرف نگهداری مارلینی بیکر قرار داده شد و جهت جلوگیری از خروج گاز رادن موجود در نمونه‌ها، ظروف کاملاً آب‌بندی شدند. به منظور ایجاد تعادل بین هسته مادر ^{226}Ra و هسته دختر ^{222}Rn نمونه‌ها به مدت ۵۰ روز در آزمایشگاه نگهداری شدند (۱۱).

طیف‌گیری پرتوهای گاما با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) هم‌محور از نوع P مدل GCD30195BSI ساخت شرکت Scientific Instrument LTD (LV-005 Latvia) با بازدهی نسبی ۳۰ درصد و با استفاده از نرم‌افزار Lsrmbasi Baltic با بازدهی نسبی ۳۰ درصد و با استفاده از آشکارساز ۱/۹۵ کیلو الکترون‌ولت انجام شد. قدرت تفکیک انرژی آشکارساز ۱۳۳۲/۵۲ کیلو الکترون‌ولت برای خط گاما مربوط به ^{60}Co با انرژی ۱۳۳۲/۵۲ کیلو الکترون‌ولت است و در ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت کار می‌کند. از هر یک از نمونه‌ها به مدت دقیقاً یک شبانه روز (۸۶۴۰۰ ثانیه) طیف‌گیری به عمل آمد. کالیبراسیون انرژی و بازدهی سیستم با استفاده از چشمه‌های استاندارد حاوی هسته‌های پرتوزا ^{133}Ba ، ^{57}Co ، ^{60}Co و ^{241}Am صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت‌شده با استفاده از نرم‌افزار Maestro II Gamma Vision32 محصول شرکت EG&G Ortec انجام گردید. به منظور کاهش اثرات تابش زمینه، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با یک لایه درونی مسی به ضخامت ۲ میلی‌متر قرار داده شد که پرتوهای نرم کیهانی شامل فوتون‌های کم انرژی و الکترون‌ها به وسیله حفاظ سربی به سطح بسیار پایینی کاهش می‌یابند (۲۰). تصحیح تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف خالی در تحت شرایط یکسان صورت گرفت. بر مبنای طیف‌های ثبت شده ویژه فعالیت هسته‌های ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در نمونه‌ها تعیین گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۴).

$$\varepsilon (\%) = \frac{N_i}{Act \times Pn(Ei) \times T} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه N_i شمارش خالص زیر قله فوتونیک متناظر با انرژی E_i ، Act ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای موجود در ظرف استاندارد برحسب Bq، $Pn(E_i)$ احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی برحسب درصد و T زمان طیف‌گیری از نمونه برحسب ثانیه است (۴).

اندازه‌گیری فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های مورد

مطالعه

با استفاده از طیف‌های ثبت‌شده، فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا از رابطه ۲ محاسبه گردید (۱۰).

کودهای فسفات می‌توانند دارای غلظت بالایی از اورانیوم باشند (۲۲). کودها معمولاً حاوی فلزات سنگین و عناصر پرتوزا با غلظت بالا هستند و یکی از منابع اصلی انتشار اورانیوم در محیط هستند (۱۸). به دلیل افزایش مصرف کودها در زمین‌های کشاورزی میزان دز تابشی نیز افزایش پیدا می‌کند که این امر سبب بروز بیماری‌های متعددی در انسان‌ها می‌گردد. نمک‌های رادیم به همراه سایر نمک‌ها در آب حل می‌شوند و به لایه‌های زیرین خاک نفوذ می‌کنند و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌گردند (۱۶). نتایج مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های مزارع برنج در چهار روستای شهر گرگان نشان می‌دهد که سطح پرتوزایی خاک‌های کشاورزی نسبت به میانگین جهانی افزایش قابل ملاحظه‌ای دارند در حالی که نتایج اندازه‌گیری پرتوزایی خاک‌های بکر در شهر تهران برای رادیوم و توریم در سطح میانگین جهانی ولی برای پتاسیم ۳۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد (۴ و ۱۷). بنابراین اندازه‌گیری پرتوزایی طبیعی خاک در نظارت بر تعیین میزان آلودگی محیط به مواد پرتوزا و کنترل آن‌ها امری ضروری است که در حفظ سلامتی افراد مؤثر می‌باشد. در این پژوهش نمونه‌های خاک‌های کشاورزی و بکر از مناطق مختلف شهرهای اراک و سربند واقع در استان مرکزی تهیه و با استفاده از روش طیف‌سنجی گاما مقدار فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در آن‌ها تعیین و مقایسه گردیده است. برای کلیه نمونه‌ها آنالیز آماری به کمک نرم‌افزار SPSSII، آزمون t-test (Independent sample test) در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شده است. پارامترهای رادیولوژیکی مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۲ نمونه خاک از زمین‌های کشاورزی و بکر در مناطق شهرهای اراک و سربند در استان مرکزی جمع‌آوری گردید. در شهر اراک ۱۲ نمونه از محل مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان مرکزی و ۲ نمونه از روستای گاوخانه و همچنین ۸ نمونه از روستای باغ برآفتاب در منطقه سربند تهیه گردید. نمونه‌برداری در این مناطق کاملاً به صورت تصادفی و تجربی از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام و از هر نمونه به میزان ۲ کیلوگرم تهیه شد. برای تهیه هر نمونه، دایره‌ای به قطر ۲ متر رسم گردید و سپس برداشت خاک از ۵ نقطه آن شامل مرکز دایره و ۴ نقطه از محل تلاقی دو قطر عمود برهم با محیط دایره انجام و به نسبت مساوی مخلوط گردیدند. پس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای اتاق، به منظور ریزدانه شدن با استفاده از آسیاب گلوله‌ای آسیاب شدند. جهت به دست آوردن نمونه‌های یکنواخت، پودرهای تهیه شده از مش ۵۰ گذرانده شدند. با این عمل نمونه‌های پودری از نظر پیکربندی مشابه نمونه استاندارد کالیبراسیون بازدهی می‌شوند و دیگر نیازی به اعمال تصحیحات

آهنگ دز جذبی (D)

آهنگ دز جذبی در هوا ناشی از پرتوهای گاما گسیل شده از ویژه هسته های پرتوزای موجود در خاک، سنگ و آب در ارتفاع یک متری بالاتر از سطح زمین با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می گردد (۲۳). مقدار میانگین جهانی آهنگ دز جذبی ناشی از مواد زمینی nGy/h ۵۵ می باشد (۲۶).

$$D(nGy/h) = 0.427A_{Ra} + 0.662A_{Th} + 0.0432A_K \quad (۶)$$

در روابط ۳ تا ۶، A_{Ra} ، A_{Th} و A_K به ترتیب فعالیت ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K برحسب Bq/kg می باشند.

آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی AED (annual effective dose)

انسان ها به طور معمول ۲۰ درصد در معرض پرتودهی در فضای خارج از محیط زندگی و ۸۰ درصد در معرض پرتودهی در فضای داخلی محل زندگی می باشند. با محاسبه مقادیر مربوط به آهنگ دز جذبی در هوا، آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی دریافتی توسط افراد در محیط زندگی ناشی از تابش های هسته ای طبیعی بر طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$AED \text{ indoor } (\mu Sv/y) = \text{Dose rate}(nGy/h) \times 8766(h/y) \times 0.8 \times 0.7(Sv/Gy) \times 10^{-3} \quad (۷)$$

$$AED \text{ outdoor } (\mu Sv/y) = \text{Dose rate}(nGy/h) \times 8766(h/y) \times 0.2 \times 0.7(Sv/Gy) \times 10^{-3} \quad (۸)$$

که در رابطه ۷ کمیت AED indoor دز مؤثر سالیانه داخلی، ۸۷۶۶ ساعت، مدت زمان قرارگیری انسان ها در معرض پرتو در طول یک سال و ۰/۸ ضریب قرارگیری در فضای داخلی محل زندگی و ۰/۷ ضریب تبدیل دز جذبی در هوا به دز مؤثر می باشد. در رابطه ۸ کمیت AED outdoor دز مؤثر سالیانه خارجی، ۰/۲ ضریب قرارگیری در فضای خارج از محیط زندگی می باشد. مقدار میانگین جهانی دز مؤثر جذبی سالیانه داخلی و خارجی به ترتیب برابر ۲۳۴/۹۳ و ۵۸/۷۳ برحسب $\mu Sv/y$ می باشد (۱۹).

دز معادل سالیانه غدد AGDE (Annual Gonadal Dose Equivalent)

مقدار دز دریافتی توسط برخی از غدد بدن مانند پستان ها، غدد تیروئید، ریه، مغز قرمز استخوان، سلول های سطح استخوان و غدد جنسی به دلیل اهمیت آن ها از نقطه نظر بیماری های ژنتیکی و سرطان مورد توجه کمیته علمی سازمان ملل متحد در مور تأثیرات تابش های هسته ای قرار گرفته است. بر طبق نظر این کمیته مقدار دز معادل سالیانه غدد مذکور از رابطه زیر محاسبه می گردد (۲۶).

$$AGDE(mSv \cdot y^{-1}) = (3.09 A_{Ra} + 4.18 A_{Th} + 0.314 A_K) \times 10^{-3} \quad (۹)$$

$$Act = \frac{Net \ Area}{\epsilon \times BR \times T \times m} \quad (۲)$$

که در این رابطه Act فعالیت ویژه نمونه پرتوزا برحسب بکرل بر کیلوگرم، Net Area سطح زیر پیک متناظر با انرژی خاص، ϵ بازدهی آشکارساز در آن انرژی، (BR) نسبت انشعابی یا احتمال گسیل اشعه گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی، T زمان طیف گیری از نمونه بر حسب ثانیه و m جرم نمونه برحسب کیلوگرم است. برای تعیین فعالیت ویژه ^{226}Ra در نمونه ها، از پرتوگامای ^{214}Pb با انرژی keV ۲۰۹/۳۱ و پرتوگامای ^{214}Bi با انرژی ۶۰۹/۳۱ کیلو الکترون ولت استفاده شده است. برای تعیین فعالیت ویژه ^{232}Th از دو خط گامای ^{228}Ac یکی با انرژی ۹۱۱/۲۱ کیلو الکترون ولت و احتمال واپاشی ۲۶/۶ درصد و دیگری با انرژی ۹۶۸/۹۷ کیلو الکترون ولت و احتمال واپاشی ۱۷/۴ درصد استفاده شده است. فعالیت ویژه ^{40}K از خط گامای این هسته با انرژی ۱۴۶۰/۷۰ کیلو الکترون ولت تعیین گردید (۹). مقدار میانگین جهانی ویژه فعالیت ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K در خاک و سنگ به ترتیب برابر ۳۵، ۴۰ و ۴۰۰ بکرل بر کیلوگرم می باشد (۲۵).

فعالیت معادل رادیوم (Ra_{eq})

با توجه به اینکه ۹۸/۵ درصد تابش ها هسته ای سری اورانیوم مربوط به رادیوم و دختران آن می باشد و به منظور تعیین پرتوزایی کلی خاک و تعیین ایمن بودن محیط تابش و مقایسه آن با حداکثر مقدار مجاز از کمیته به نام فعالیت معادل رادیوم استفاده می گردد. با توجه به اینکه ۱۰ بکرل بر کیلوگرم از ^{226}Ra و ۷ بکرل بر کیلوگرم از ^{232}Th و ۱۳۰ بکرل بر کیلوگرم از ^{40}K دارای آهنگ دز گامای یکسانی هستند بنابراین می توان آن ها را برحسب رادیوم معادل سازی کرد که به کمیت فعالیت معادل رادیوم معروف است و طبق رابطه ۳ محاسبه می شود (۲۵).

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (۳)$$

برای ایمن بودن محیط حداکثر مقدار Ra_{eq} باید کمتر از ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم باشد.

شاخص های خطرپذیری خارجی (H_{ex}) و داخلی (H_{in})

با توجه به اینکه پرتوگیری به دو صورت داخلی (مانند استنشاق گاز رادن) و خارجی مانند پرتوهای گامای موجود در محیط صورت می گیرد از شاخصی به نام شاخص خطرپذیری خارجی و داخلی استفاده می شود که با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه می گردد. برای ایمن بودن محیط مقادیر این کمیت ها باید کمتر از یک باشد (۶).

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 < 1 \quad (۴)$$

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 < 1 \quad (۵)$$

خطر ابتلا به سرطان در طول عمر Excess Lifetime (Cancer Risk) ELCR

برای محاسبه خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی در اثر تابش های گامای محیطی از رابطه ۱۰ استفاده می گردد.

$$ELCR = AED \times DL \times RF \quad (10)$$

که در این رابطه AED، دز مؤثر سالانه خارجی برحسب سیورت، DL طول عمر متوسط برابر ۷۰ سال و RF ضریب خطر می باشد. برای آثار احتمالی پرتوها بر افراد جامعه، کمیت بین المللی حفاظت در برابر اشعه ضریب SV^{-1} ۰/۰۵ را تعیین کرده است (۱۲). مقدار میانگین جهانی ELCR برابر $10^{-3} \times 0.05$ و حداکثر مقدار مجاز آن 10^{-3} است (۲۷).

نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری فعالیت ویژه هسته های پرتوزای ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K در جدول ۱ درج شده است. حاصل محاسبات فعالیت معادل رادیم (Ra_{eq})، شاخص های خطرپذیری داخلی و خارجی (H_{in} ، H_{ex})، دز جذبی در هوا (D)، دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی (AED) indoor، AED outdoor و دز معادل سالیانه غدد (AGDE) برای کلیه نمونه ها در جدول ۲ مشاهده می گردد. ارزیابی خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR) برای کلیه نمونه ها انجام شد که به صورت نمودار به همراه مقدار میانگین جهانی در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری شامل آنالیز واریانس و مقایسه میانگین

اثر کوددهی با استفاده از نرم افزار SPSSII، آزمون t-test فاکتورهای مستقل در سطح احتمال ۰/۰۵ در جداول ۳ و ۴ درج گردیده است. در جدول ۴ هر عدد داخل جدول میانگین $\pm SE$ است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است و حروف مشابه عدم اختلاف معنی دار بین میانگین ها بر اساس t-test (سطح احتمال ۰/۰۵) به دست آمده است.

مقادیر فعالیت ویژه هسته های پرتوزای ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K در خاک های کشاورزی و بکر به ترتیب در محدوده (۳۹/۶۰ - ۵۱/۹۴)، (۵۰/۹۰ - ۷۳/۸۴)، (۶۷۶/۰۹ - ۱۰۹۴/۵۰) و (۱۲/۹۸ - ۶۱/۶۰)، (۱۸/۱۵ - ۶۰/۹۸)، (۲۵۷/۴۸ - ۸۶۶/۵۸) برحسب Bq/kg تغییر می کند. میانگین فعالیت ویژه هسته های مذکور در خاک های کشاورزی و بکر به ترتیب ۴۵/۵۴، ۶۹/۰۹ و ۹۲۶/۷۱ و ۳۷/۲۷، ۴۳/۱۸، ۶۰۴/۰۵ برحسب Bq/kg بدست آمد. در مورد فعالیت ویژه ^{226}Ra کوددهی اثر معنی داری نداشته است و این می تواند به دلیل حلال بودن نمک های رادیوم در آب و جابجایی آنها به لایه های عمقی تر باشد ولی در مورد فعالیت ویژه ^{232}Th ، ^{40}K و کمیت Ra_{eq} طبق جدول آنالیز واریانس اختلاف بسیار معنی داری (۰/۰۱) بین خاک های بکر و کشاورزی وجود دارد. بیشترین افزایش مقدار میانگین فعالیت ویژه مربوط به ^{232}Th است که نسبت به میانگین آن در خاک های بکر ۱/۶ برابر شده است. به عبارتی دیگر کوددهی سبب افزایش ۶۰ درصدی فعالیت ویژه تورיום در خاک های کشاورزی نسبت به خاک های بکر شده است (جدول ۴).

جدول ۱- ویژه فعالیت هسته های پرتوزا در نمونه های خاک کشاورزی و بکر برحسب Bq/kg
Table 1- Specific activity of radionuclides in agriculture and virgin soils in Bq/kg

خاک های کشاورزی Agriculture soils				خاک های بکر Virgin soils			
کد نمونه Sample code	A _{Ra}	A _{Th}	A _K	کد نمونه Sample code	A _{Ra}	A _{Th}	A _K
S1	87.45	85.71	12.982	SA	98.12	15.18	48.257
S2	20.48	76.70	55.937	SB	03.38	63.27	98.359
S3	94.51	64.68	93.973	SC	27.28	18.42	42.613
S4	52.47	65.69	905.00	SD	17.28	13.43	56.620
S5	87.47	41.73	8.1018	SE	39.28	45.42	49.622
S6	88.45	07.71	19.996	SF	51.20	46.39	58.589
S7	45.44	19.70	23.944	SG	46.21	70.43	39.587
S8	49.40	27.70	57.686	SH	60.61	98.60	58.866
S9	60.39	90.50	09.676	SI	91.58	31.56	40.761
S10	86.42	46.69	87.978	SJ	07.58	01.51	73.785
S11	28.46	84.73	50.1094	SK	58.53	97.49	90.579

جدول ۲- پارامترهای پرتوشناختی نمونه های خاک های کشاورزی و بکر
 Table 2- Radiological parameters of agricultural and virgin soils

کد نمونه Sample code	Ra _{eq} (Bq/kg)	H _{ex}	H _{in}	D (nGy/h)	AEDindoor (μSv/y)	AEDoutdoor (μSv/y)	AGDE (mSv ⁻¹)	ELCR× 10 ⁻³
S1	224.24	0.61	0.73	109.58	537.92	134.48	0.75	0.47
S2	221.58	0.60	0.73	107.93	529.81	132.45	0.74	0.46
S3	225.09	0.61	0.75	109.69	538.47	134.62	0.75	0.47
S4	216.8	0.59	0.71	105.5	517.87	129.47	0.72	0.45
S5	231.29	0.62	0.75	113.05	554.96	138.74	0.77	0.49
S6	224.22	0.61	0.73	109.67	538.39	134.60	0.75	0.47
S7	217.53	0.59	0.71	106.24	521.51	130.38	0.73	0.46
S8	193.84	0.52	0.63	93.47	458.83	114.71	0.63	0.4
S9	164.45	0.44	0.55	79.81	391.79	97.95	0.55	0.34
S10	217.55	0.59	0.70	106.57	523.13	130.78	0.73	0.46
S11	236.14	0.64	0.76	115.92	569.07	142.27	0.80	0.50
SA	58.76	0.16	0.19	28.68	140.79	35.20	0.20	0.12
SB	105.26	0.28	0.39	50.08	245.85	61.46	0.35	0.22
SC	135.81	0.37	0.44	66.49	326.40	81.60	0.46	0.29
SD	137.62	0.37	0.45	67.38	330.78	82.70	0.46	0.29
SE	137.01	0.37	0.45	67.11	329.44	82.36	0.46	0.29
SF	122.34	0.33	0.39	60.35	296.26	74.07	0.41	0.26
SG	129.17	0.35	0.41	63.46	311.55	77.89	0.43	0.27
SH	215.53	0.58	0.75	104.11	511.06	127.77	0.72	0.45
SI	198.06	0.53	0.69	95.32	467.94	116.99	0.66	0.41
SJ	191.52	0.52	0.67	92.51	454.12	113.53	0.64	0.4
SK	169.69	0.46	0.60	81.01	397.68	99.42	0.56	0.35

 جدول ۳- نتایج آنالیز تغییر: اثر کوددهی بر مقدار فعالیت های ویژه ²²⁶Ra، ²³²Th، ⁴⁰K و Ra_{eq} خاک های بکر و کشاورزی
 Table 3- Results of variance analyze: The effect of fertilization on the amount of specific activities of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and Ra_{eq} of virgin and agriculture soils

منابع تغییر Variance source	فعالیت ویژه هسته های پرتوزا Specific activity of radionuclides			فعالیت ویژه معادل رادیوم Radium equivalent
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
بکر و کشاورزی Virgin and agriculture	28.21 ^{ns}	2.81 ^{**}	0.28 ^{**}	5.69 ^{**}

ns، * و ** به ترتیب نمایانگر: معنی دار نیست، معنی دار در سطح ۰/۰۵ و در سطح ۰/۰۱

و بکر به ترتیب در محدوده ۱۶۴/۴۵ تا ۳۳۶/۱۴ و ۵۸/۷۶ تا ۲۱۵/۵۳ برحسب Bq/kg بدست آمد. میانگین این کمیت در خاک کشاورزی و بکر به ترتیب ۲۱۵/۷۰ و ۱۴۵/۵۲ Bq/kg محاسبه گردید که از حداکثر مقدار مجاز (۳۷۰ Bq/kg) کمتر می باشد.

طبق جدول ۴ افزایش پرتوزایی کلی (Ra_{eq}) خاک های کشاورزی نسبت به خاک های بکر در سطح معنی داری مشاهده گردید به عبارتی دیگر کوددهی با احتمال ۹۹٪ باعث افزایش پرتوزایی کلی خاک های کشاورزی گردیده است. فعالیت معادل رادیوم در خاک های کشاورزی

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر کوددهی بر مقدار فعالیت ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و فعالیت ویژه معادل رادیوم برحسب Bq/kg
 Table 4- Comparison of the average effect of fertilization on the specific activity of ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K and the specific activity of radium equivalent in Bq / kg

نوع شاخص Indicator kind	خاک بکر Virgin soil	خاک کشاورزی Agriculture soil
^{226}Ra	$37.27^a \pm 5.33$	$45.54^a \pm 1.07$
^{232}Th	$43.18^b \pm 3.67$	$69.09^a \pm 1.88$
^{40}K	$604.05^b \pm 52.93$	$926.71^a \pm 39.41$
Radium equivalent	$145.52^b \pm 13.67$	$215.70^a \pm 6.06$

در جدول ۴ هر عدد داخل جدول میانگین ۱۱ تکرار $\pm$ SE است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است حروف مشابه عدم اختلاف معنی دار بین میانگین ها بر اساس t-test (سطح احتمال ۰/۰۵)

شاخص های خطرپذیری خارجی و داخلی در خاک های کشاورزی
 به ترتیب در محدوده ۰/۴۴ تا ۰/۶۴ و ۰/۵۵ تا ۰/۷۶ و در خاک های
 بکر در محدوده ۰/۱۶ تا ۰/۵۸ و ۰/۱۹ تا ۰/۷۵ تغییر می کند. میانگین
 شاخص های خطرپذیری خارجی و داخلی در خاک های کشاورزی و

بکر به ترتیب (۰/۵۸ و ۰/۷۱) و (۰/۳۹ و ۰/۴۹) محاسبه شد که در
 خاک های کشاورزی به ترتیب ۴۸/۲۲٪ و ۴۲/۹۱٪ بیشتر از خاک های
 بکر است.

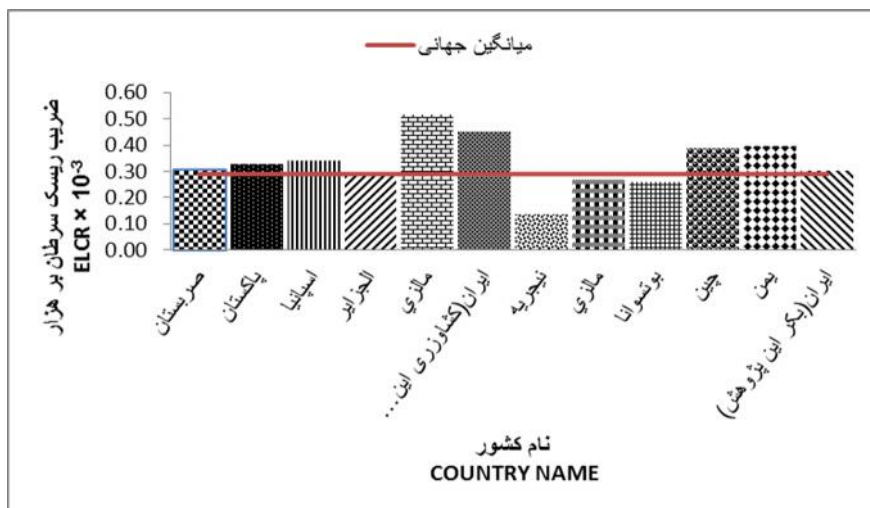
جدول ۵- مقایسه ویژه فعالیت هسته های پرتوزا در خاک های کشاورزی و بکر تعدادی از کشورها با نتایج این پژوهش برحسب Bq/kg
 Table 5- Comparison of specific activities of radionuclides in agriculture and virgin soils between some countries and this study in Bq/kg

خاک های کشاورزی Agriculture soils				
نام کشور Country name	A_{Ra}	A_{Th}	A_{K}	مراجع
صربستان Serbia	39.30	53.00	454.00	۷
پاکستان Pakistan	30.00	56.00	602.00	۲۴
اسپانیا Spain	46.00	49.00	650.00	۵
الجزایر Algeria	53.20	50.03	311.00	۸
مالزی Malaysia	80.63	116.87	200.66	۱۴
ایران Iran	45.54	69.09	926.71	This work
خاک های بکر Virgin soils				
یمن Yemen	44.00	58.00	822.00	۲
بوتسوانا Botswana	34.80	41.80	432.70	۱۳
نیجریه Nigeria	18.00	22.00	210.00	۳
چین China	38.00	57.60	838.00	۲۹
مالزی Malaysia	37.00	53.00	293.00	۲۱
ایران Iran	37.27	43.18	604.05	This work

جدول ۶- مقایسه پارامترهای پرتوشناختی خاک های کشاورزی و بکر در بعضی از کشورها و این پژوهش

Table 6- Comparison of radiological parameters in agriculture and virgin soils between some countries and this study

خاک های کشاورزی Soils Agriculture								
نام کشور Country name	Ra _{eq} (Bq/kg)	H _{ex}	H _{in}	D (nGy/h)	AEDindoor (μSv/y)	AEDoutdoor (μSv/y)	AGDE (mSv ⁻¹)	ELCR (×10 ⁻³)
صربستان Serbia	150.05	0.41	0.51	71.48	350.89	87.72	0.49	0.31
پاکستان Pakistan	156.43	0.42	0.50	75.89	372.53	93.13	0.52	0.33
اسپانیا Spain	166.12	0.45	0.57	80.16	393.50	98.38	0.55	0.34
الجزایر Algeria	148.69	0.40	0.55	69.27	340.05	85.01	0.47	0.30
مالزی Malaysia	263.20	0.71	0.93	120.47	591.36	147.84	0.80	0.52
ایران این پژوهش Iran this work	215.70	0.58	0.71	105.22	516.52	129.13	0.72	0.45
خاک های بکر Soils Virgin								
یمن Yemen	190.23	0.51	0.63	92.69	455.03	113.76	0.64	0.40
بوتسوانا Botswana	127.89	0.35	0.44	61.22	300.55	75.14	0.42	0.26
نیجریه Nigeria	65.63	0.18	0.23	31.32	153.76	38.44	0.21	0.13
چین China	184.89	0.50	0.60	90.56	444.55	111.14	0.62	0.39
مالزی Malaysia	135.35	0.37	0.47	63.54	311.93	77.98	0.43	0.27
ایران این پژوهش Iran(this work)	148.91	0.39	0.49	70.59	346.53	86.63	0.49	0.30



شکل ۱- مقایسه نتایج میانگین ضریب خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR) در این پژوهش و تعدادی از کشورها

Figure 1- Comparison the results of means of excess lifetime cancer risk factor (ELCR) in this study and some countries

پتاس و همچنین غنی بودن خاک‌های این منطقه از پتاسیم بیشتر باشد. میانگین خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در خاک‌های کشاورزی نسبت به کشورهای صربستان، پاکستان، اسپانیا و الجزایر به ترتیب $۴۳/۷۶\%$ ، $۳۷/۸۹\%$ ، $۲۹/۸۵\%$ و $۴۵/۰۷\%$ بیشتر و نسبت به کشور مالزی $۲۲/۰۲\%$ کمتر بدست آمد. این مقایسه در شکل یک نشان داده شده است. میانگین پارامترهای رادیولوژیکی در خاک‌های بکر نسبت به کشورهای یمن، بوتسوانا و نیجریه بیشتر و نسبت به کشور چین و مالزی کمتر می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌طور متوسط پرتوزایی طبیعی خاک‌های کشاورزی مورد مطالعه نسبت به خاک‌های بکر و خاک‌های کشاورزی تعدادی از کشورها بیشتر است. پارامترهای رادیولوژیکی خاک‌های کشاورزی در اکثر موارد بیشتر از میانگین جهانی و کمتر از حداکثر مقدار مجاز می‌باشد. در مورد خاک‌های بکر نتایج این پژوهش برابر با میانگین جهانی است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌طور متوسط پرتوزایی کلی طبیعی (R_{eq}) خاک‌های کشاورزی مورد مطالعه نسبت به خاک‌های بکر در سطح معنی دار $۰/۰۱$ افزایش دارد و همچنین از پرتوزایی خاک‌های کشاورزی تعدادی از کشورهای دیگر بیشتر است. پارامترهای رادیولوژیکی خاک‌های کشاورزی در اکثر موارد بیشتر از میانگین جهانی می‌باشد. در مورد خاک‌های بکر نتایج این پژوهش با میانگین جهانی توافق خوبی را نشان می‌دهد. با استفاده از نتایج و مقایسه آن‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از کودهای شیمیایی در مناطق مورد مطالعه در این پژوهش نسبت به کشورهای دیگر بیشتر بوده همین امر موجب افزایش پرتوزایی خاک شده است.

سیاسگزاری

این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه اراک تأمین مالی گردیده است بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت مذکور سپاسگزاری را داشته باشند.

در تمام نمونه‌ها این شاخص‌ها کمتر از یک هستند. آهنگ دز جذبی در خاک‌های کشاورزی از $۷۹/۸۱$ تا $۱۱۵/۹۲$ و در خاک‌های بکر از $۲۸/۶۸$ تا $۱۰۴/۱۱$ که به ترتیب دارای میانگین $۱۰۵/۲۲$ و $۷۰/۵۹$ برحسب nGy/h بدست آمد. میانگین این کمیت در خاک‌های کشاورزی $۴۹/۰۵\%$ از خاک‌های بکر و $۹۱/۳۱\%$ از مقدار میانگین جهانی بیشتر است.

آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی در خاک‌های کشاورزی به ترتیب از $۳۹۱/۷۹$ تا $۵۶۹/۰۷$ و $۹۷/۹۵$ تا $۱۴۲/۲۷$ و در خاک‌های بکر از $۱۴۰/۷۹$ تا $۵۱۱/۰۶$ و $۳۵/۲۰$ تا $۱۲۷/۷۷$ برحسب $\mu Sv/y$ محاسبه شد. میانگین این کمیت‌ها در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب $۵۱۶/۵۲$ ، $۱۲۹/۱۳$ و $۳۴۶/۵۳$ ، $۸۶/۶۳$ برحسب $\mu Sv/y$ می‌باشد که در خاک‌های کشاورزی نسبت به بکر $۴۹/۰۵\%$ و نسبت به میانگین جهانی $۱۱۹/۸۷\%$ افزایش را نشان می‌دهد. دز معادل سالیانه غدد در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب در محدوده $۰/۵۵$ تا $۰/۸۰$ و $۰/۲۰$ تا $۰/۷۲$ برحسب mSv/y با میانگین‌های $۰/۷۲$ و $۰/۴۸$ mSv/y محاسبه گردیدند. میانگین دز معادل سالیانه غدد در خاک‌های کشاورزی $۴۸/۴۷\%$ بیشتر از خاک‌های بکر است. خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در خاک‌های کشاورزی از $۱۰^{-۳} \times ۰/۳۴$ تا $۱۰^{-۳} \times ۰/۵۰$ و در خاک‌های بکر از $۱۰^{-۳} \times ۰/۱۲$ تا $۱۰^{-۳} \times ۰/۴۵$ بدست آمد. میانگین این کمیت در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب ۴۵×۱۰^{-۳} و ۲۹×۱۰^{-۳} محاسبه شد که در خاک‌های کشاورزی به ترتیب $۴۹/۰۵\%$ و $۵۵/۸۵\%$ بیشتر از خاک‌های بکر و مقدار میانگین جهانی است. این میانگین در خاک‌های بکر برابر میانگین جهانی و مقدار این کمیت در تمامی نمونه‌ها از حداکثر مجاز کمتر می‌باشد. به‌منظور مقایسه، نتایج این پژوهش با مقادیر گزارش شده در مورد خاک‌های کشاورزی کشورهای صربستان، پاکستان، اسپانیا، الجزایر، مالزی و در خاک‌های بکر کشورهای یمن، بوتسوانا، نیجریه، چین و مالزی در جدول ۵ درج شده است. بر مبنای این جدول مقادیر پارامترهای رادیولوژیکی مربوط به خاک کشورهای مذکور محاسبه گردید و نتایج آن در جدول ۶ درج گردیده است. مقادیر موجود در جدول مذکور نشان می‌دهد که تمامی میانگین‌های پارامترهای رادیولوژیکی در خاک‌های کشاورزی بیشتر از کشورهای صربستان، پاکستان، اسپانیا، الجزایر و کمتر از کشور مالزی است و این می‌تواند به دلیل استفاده بیشتر کشاورزان این منطقه از کودهای فسفات و

منابع

- 1- Abbady A. 2005. Assessment of the natural radioactivity and its radiological hazards in some Egyptian rock phosphates. Indian Journal Pure Applied Physics. 43: 489-493.
- 2- Abd El-mageed A., El-Kamel A., Abbady A., Harb S., Youssef A., and Saleh I. 2011. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen. Radiation Physics Chemistry. 80:710-715.

- 3- Agbalagba E., and Onoja R. 2011. Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes. *Nigerian Journal of Environmental Radioactivity*. 102: 667-671.
- 4- Asgharizadeh F., Ghannadi M., Samani A.B., Meftahi M., Shalibayk M., Sahafipour S.A., and Gooya E.S. 2013. Natural radioactivity in surface soil samples from dwelling areas in Tehran city, Iranian Radiation Protection Dosimetry. 156 (3): 376-382. DOI: 10.1093/rpd/nct067.
- 5- Beaza A., del Rio M., Mir C., and Paniagua J. M. 1992. Natural radioactivity in soils of the Province of Caceres (Spain). *Radiation Protection Dosimetry*. 45: 261-263.
- 6- Beretka J., and Mathew P. 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*. 48: 87-95.
- 7- Bikit I., Slivka J., Conkić L., Krmar M., Vesković M., Žikić-Todorović N., Varga E., Čurčić S., and Mrdja D. 2004. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). *Journal of Environmental Radioactivity*. 78: 11-19.
- 8- Boukhenfouf W., and Boucenna A. 2011. The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique *Journal of Environmental Radioactivity*. 102: 336-339.
- 9- Firestone B. R., Shirley S.V., Baglin M. C., Frank Chu S.Y., and Zipkin J. 1996. The 8th Edition of Table of isotopes. CD-ROM, John Wiley & Sons Inc.
- 10- Gilmore G., and Hemingway J. 2008. *Practical gamma-ray spectrometry*. John Willey & Sons, Inc, Chichester, West Sussex, UK.
- 11- International Atomic Energy Agency. 2003. Collection and Preparation of bottom sediment sample for analysis of radionuclides and trace element. IAEA- TECDOC-1360, IAEA, VIENNA.
- 12- ICRP. 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP. 21(1-3).
- 13- Murty V., and Karunakara N. 2008. Natural radioactivity in the soil samples of Botswana. *Radiation Measurement*. 43:1541-1545.
- 14- Nisar A., Suhaimi Jaafar M., and Alsaffar M.S. 2015. Natural radioactivity in virgin and agricultural soil and its environmental implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. *Pollution*. 1(3): 305-313.
- 15- Padam S., Rana N., Naqavi A., and Srivastava D. 1996. Levels of uranium in water from some Indian cities determined by Fission Track Analysis. *Radiation Measurements*. 26: 683-687.
- 16- Pourimani R., and Nemat Z. 2016. Measurement of Radionuclide Concentration in Some Water Resources in Markazi Province, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 13(1):49-57.
- 17- Pourimani R., and Anoosseh F. 2015. A Study on Transfer Factors of Environmental Radionuclides: Radionuclide Transfer from Soil to Different Varieties of Rice in Gorgan, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 12(3): 189-199.
- 18- Righi S., Luciali P., and Bruzzi L. 2005. Health and environmental impacts of a fertilizer plant-Part I: Assessment of radioactive pollution. *Journal of Environmental Radioactivity*. 82:167-182.
- 19- Ravisankar R., Sivakumar S., Chandrasekaran A., Prince Prakash Jebakumar J., Vijayalakshmi I., Vijayagopal P., et al. 2014. Spatial distribution of gamma radioactivity levels and radiological hazard indices in the east coast sediment of Tamilnadu, India with statistical approach. *Radiation Physics Chemistry*. 103: 89-98.
- 20- Saeed M., Wahab N., Hossain I., Ahmed R., Abdullah H., Ramli A., et al. 2011. Measuring radioactivity level in various types of rice using hyper pure germanium (HPGe) detector. *International Journal of Physical Sciences*, 6(32):7335-7340.
- 21- Saleh M. A., Ramli A. T., Alajerami Y., and Aliyu A. S. 2013. Assessment of natural radiation levels and associated dose rates from surface soils in Pontian District, Johor, Malaysia. *Journal of Ovonic Research*, 9(1):17-26.
- 22- Stojanović M., Stevanović D., Milojković J., Mihajlović M., Lopičić Z., and Šoštarić. 2012. Influence of soil type and physical-chemical properties on uranium sorption and bioavailability. *Water Air Soil Pollution*. 223:135-144.
- 23- Suresh G., Ramasamy V., Meenakshisundaram V., Venkatachalapathy R., and Ponnusamy V. 2011. A relationship between the natural radioactivity and mineralogical composition of the Ponnaiyar river sediments, India. *Journal of Environmental Radioactivity*. 102, 370-377.
- 24- Tufail M., Akhtar N., and Waqas M. 2006. Measurement of terrestrial radiation for assessment of gamma dose from cultivated and barren saline soils of Faisalabad in Pakistan. *Radiation Measurements*. 41: 443-451.
- 25- United Nations Scientific Committee on effects of Atomic Radiation. 2000. Exposures from natural radiation sources. UNSCEAR Report. United Nations.
- 26- United Nations Scientific Committee on effects of Atomic Radiation. 1988. Exposures from natural radiation sources. UNSCEAR Report. United Nations.
- 27- UNSCEAR. 2008. Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the general Assembly. New York, USA: United Nations.
- 28- Wedepohl K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59:217-239.

- 29- Ziqiang P., Yin Y., and Mingqiang G. 1988. Natural radiation and radioactivity in China. Radiation Protection Dosimetry. 24: 29-38.



Investigation of Natural Radioactivity of Agricultural and Virgin Soils in Arak and Saraband Cities in Markazi Province, Iran

R. Pourimani^{1*}- F. Yousefi²

Received: 24-01-2017

Accepted: 13-08-2017

Introduction: Humans are constantly exposed to ionizing radiation. Most of the radiations originate from radioactive decay of natural radionuclides in the environment. Most of the ionizing radiations resulting from the decay of natural radioactive series of ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides in soil, rock and water. The average amount of uranium in the earth's crust is estimated 2.7 mg/kg that its amount increases up to 120 mg/kg in phosphate rocks. Phosphate rocks are main raw material of chemical fertilizers production. Chemical fertilizers are chemical compounds that are used in order to increasing crops and improving properties of land. Yearly, many different types of fertilizers are produced such NPK, phosphate, etc.. Even though fertilizers can improve nutrient-deficient symptoms in farms but they contain heavy metals and radionuclides. Radionuclides in fertilizer enter to the soils and directly or indirectly can be absorbed by human body by inhalation of the radon gaseous or consumption of foodstuff. Radium salts with other salts are also dissolved in water and penetrate to deep layers of soil and can cause groundwater pollution. The consumption of chemical fertilizers containing radionuclides increases the radiological parameters of soils. Nuclear radiations is emitted from these elements are harmful to the body's tissues and may cause diseases such as cancer or genetic abnormalities. Therefore, the investigation of natural radioactivity contents in soils and radiological parameters are very important. In this research, the specific activities of natural radionuclides in agricultural and virgin soil samples determined using gamma ray spectrometry method in Arak and Saraband cities in Markazi province, Iran. For all samples, radiological parameters were calculated and compared with world average and some countries.

Materials and Methods: In this study, twenty two samples of agricultural and virgin soils were collected in different areas of Arak and Saraband cities of Markazi province in Iran, from surface up to 30 cm depth. The weight of each sample was about 2 kg. After drying the samples at room temperature, they were powdered by electric mill in the laboratory of Arak university. Soil samples were pulverized and passed through a 0.297mm sieve. They were kept in oven for 24 h at 100°C in order to remove the moisture content. After that, 950 g of each sample was packed in a Marinelli beaker container and sealed. Gamma ray spectra were registered after 50 days. The collected samples required particular care since radon is a short-lived gaseous nuclide and tends to escape from the samples. In this work, standard containers were sealed. After the minimum 50 days of preparing samples, gamma ray spectra were registered. This time is necessary for taking radioactive decay chain equilibrium, in which the decay rate of the daughters became equal to that of the parents. Specific activity measurements were performed by gamma ray spectrometry method employing high purity germanium (HPGe) P-type coaxial detector (GCD30195BSI) manufactured by Baltic Scientific Instrument LTD (005-Latvia) with 30% relative efficiency, which was connected to a multi-channel analyzer of 8192 channels. The energy resolution (full width at half maximum) of this detector is 1.95 keV for gamma energy line at 1332.520 keV due to ^{60}Co and a Peak-to-Compton ratio of 60, and operating voltage was 3000 V. The detector and preamplifier are shielded in a chamber of three layers composed of 10 cm thick lead, 1.5 mm thick cadmium, and 3 mm thick copper. This shield serves to reduce background radiation.

Results and Discussion: Based on the results, the specific activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides in soil samples varied in the range (39.60-51.94), (50.90 – 73.84) and (676.09 – 1094.50) in agricultural soils and (12.98 – 61.60), (18.15 – 60.98) and (257.48 – 866.58) in virgin soils, in Bq/kg. The mean specific activities of corresponding radionuclides were obtained 45.54, 69.09 and 926.71 Bq/kg for agricultural soils and 37.26, 43.17 and 604.04 Bq/kg for virgin soils. For all results calculated and have been tested variety of variance which show increasing in agriculture soil amount of ^{232}Th and ^{40}K compared with virgin soil. For ^{226}Ra , the significant variation in probability level of 0.05 was not observed because of more mobility of radium salt than other salts and penetration into deeper layers. The increases the amounts of studied radionuclides in agricultural soils compared with average of worldwide virgin soils are 74.12, 72.30 and 131.68 percent, respectively. The average absorbed dose in air calculated for agricultural and virgin soils that obtained 105.22 and 70.59 in nGy/h,

1 and 2- Associated Professor of Physics and M.Sc of Nuclear Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak

(*- Corresponding Author Email: r-pourimani@araku.ac.ir)

respectively. The average of Annual Gonadal Dose Equivalent (AGDE) and Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR) for agricultural and virgin soils were obtained as (0.72 and 0.48) and (0.45×10^{-3} and 0.29×10^{-3}), respectively. For virgin soil samples, radiological parameters were in good agreement with mean world value but in agricultural soil samples, increase was observed compared to virgin soil and agricultural soils of some countries.

Conclusions: The obtained data showed that the amount of mean specific radioactivity of natural radiouclides in agricultural soils were higher than some countries. The radiological parameters of agricultural soils in most samples were more than the world average of virgin soil values. The results of this research on virgin soil were in good agreement with the world average. This study showed that consumption of fertilizers in these cities was more than other countries. But all of radiological parameters of soil samples were less than maximum acceptable criteria and thus have no damaging effect for people health. However, the long term unsuitable usage of chemical fertilizers can have the effect of increasing of radioactivity in soils that can be harmful for the health of farmers and consumers of the crops.

Keywords: Agricultural soil, Chemical fertilizer, Radioactivity, Virgin soil

طولانی مدت را دارد. این مدل محاسبه‌گر کارآمدی است و برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز بسیار بزرگ با مراحل مدیریتی متفاوت بدون نیاز به زمان و سرمایه زیاد می‌تواند اجرا شود. مدل SWAT جهت محاسبه میزان فرسایش ناشی از باران و رواناب از معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE^۱) استفاده می‌نماید. در این معادله که اصلاح شده رابطه USLE^۲ می‌باشد، به‌جای فاکتور انرژی بارش از فاکتور رواناب استفاده می‌شود که خود باعث بهبود تخمین میزان رسوب می‌گردد. مزیت دیگر این مدل، لحاظ نمودن عامل ذوب برف در شبیه‌سازی فرسایش است (۲۷). این مدل برای کمک به مدیریت منابع آب در پیش‌بینی و تعیین اثر مدیریت زمین روی آب، رسوب و مواد شیمیایی کشاورزی در حوضه‌های آبخیز بزرگ یا حوضه رودخانه‌ها با خاک‌های متنوع توسعه یافت. اگرچه این مدل برای پیش‌بینی طولانی مدت است اما برای رخدادهای سیلابی منفرد طراحی نشده است. وان لیو و گاربرت (۳۱) توانایی مدل SWAT در تخمین شدت جریان تحت شرایط آب و هوایی مختلف را در سه زیرحوضه از ایالت اوکلاهامای آمریکا بررسی کردند و دریافتند که مدل SWAT می‌تواند به خوبی مقدار رواناب روزانه در هر زیرحوضه را تحت شرایط خشک، معتدل و مرطوب پیش‌بینی کند. پورا و برا (۸) پس از مقایسه مدل SWAT با چند مدل دیگر (که در مقیاس حوضه کاربرد دارند) نتیجه گرفتند که مدل نتایج امیدوارکننده‌ای در شبیه‌سازی حوضه‌های کشاورزی ارائه می‌نماید. دمیر و همکاران (۱۲) در مطالعه‌ای پیرامون ارزیابی پایدار اراضی دره‌ی ایرمند در شمال شرقی کشور ترکیه (استان ترابوزان)، به این نتیجه رسیدند که مسئله توسعه مناطق روستایی و شهری در حوضه آبخیز رودخانه مورد مطالعه در اثر افزایش جمعیت و توسعه صنعتی، نیاز به تعیین کاربری‌های اراضی بهینه را ضروری ساخته است. آنها دریافتند طیف وسیعی از فعالیت‌های سازندگی با طرح‌های اصولی و پایدار در تعارض هستند و پیشنهاد کردند طرح‌های مدونی برای احیا و بازسازی منطقه با الزام‌ها و محدودیت‌های قانونی و سیاست‌های جایگزینی اجرا گردد. سلمانی و همکاران (۲۹) با بررسی سناریوهای مختلف کاربری اراضی در حوضه گرگانرود استان گلستان دریافتند که در مناطق زراعی با شیب بیشتر از ۱۲ درصد رواناب سطحی افزایش یافت و مقادیر جریان زیرسطحی، نفوذپذیری، آب‌گذری به آبخوان عمیق کاهش پیدا نموده و همچنین تغییر کاربری از جنگل به مرتع، زراعت و مناطق مسکونی باعث افزایش فرسایش شده است. حسینی و همکاران، (۱۸) مؤلفه‌های بیابان آبی حوزه قره‌سو استان کرمانشاه را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که مؤلفه‌های تبخیر و تعرق، جریان سطحی، جریان زیرسطحی، جریان با ضرائب

تبین ۰/۳۷ تا ۰/۸۷ و ضرائب نش ساتکلیف (۲۶) ۰/۳۹ تا ۰/۷۳ دارای کارایی قابل قبولی در شبیه‌سازی می‌باشد. چنژو و همکاران (۱۱) تحقیقی درحوضه هولین چین انجام دادند. در این مطالعه ذکر شده است که در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، نگرانی‌هایی در سنجش توانایی یا عدم توانایی میزان عدم قطعیت پارامترها با روش‌های SUFI₂ و GLUE^۳ وجود دارد. همچنین دو روش فوق در قابلیت تعیین پارامترها و پیش‌بینی عدم قطعیت‌ها و بازدهی الگوریتم‌ها مقایسه شدند. در این تحقیق برتری SUFI₂ در آنالیز عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی با ساختار پیچیده و تجزیه و تحلیل-های محاسباتی بالا، مشاهده شد. محضری و همکاران (۲۲) از مدل SWAT به منظور شبیه‌سازی فرآیند دبی و رسوب و نیترا در حوضه رودخانه گرگانرود استفاده کرده و نتایج را رضایت‌بخش اعلام کردند. به‌طوری که در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، مقادیر ضریب نش-ساتکلیف در حدود ۰/۵۰ تا ۰/۷۱ برای دبی و ۰/۵۱ تا ۰/۶۷ برای رسوب برای ایستگاه‌های مختلف برآورد شد و نتایج حاکی از اجرای خوب مدل در کاربری‌های مختلف بوده است. غلامی و نصیری (۱۶) مدل SWAT را برای شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه در حوضه اترک استان گلستان به کار بردند. واسنجی و اعتبار سنجی مدل را با استفاده از برنامه SUFI2 انجام دادند و دقت شبیه‌سازی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تبیین در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۴ و در دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۶ برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری مهم برای شبیه‌سازی رواناب، فهم بهتر فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی حوضه و مدیریت بهینه منابع آبی مورد استفاده قرار بگیرد. وانگ و همکاران با مدل‌سازی اثر گزینه‌های مختلف کاربری اراضی در حوضه‌ای در چین به این نتیجه رسیدند که کاربری‌های مختلف دارای اثرات مختلفی بر مقدار رواناب و آب زیرزمینی می‌باشد و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی جنگلی در حوضه منجر به افزایش میزان رواناب سالانه و کاهش آب زیرزمینی در اثر کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. در زمینه شبیه‌سازی و بررسی کارایی مدل SWAT تحقیقات زیادی انجام شده‌است (۳، ۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۲). با توجه به رضایت‌بخشی مدل در خاک‌های اکثر نقاط جهان پیش‌بینی می‌شود که این مدل بتواند جهت ارزیابی فرسایش و رسوب خاک‌های لسی استان گلستان نیز مفید واقع شود که در این تحقیق به آن پرداخته شد. به طور کلی هدف از این تحقیق بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان و نرخ رسوب‌دهی روزانه در قسمت شرقی حوضه آبخیز گرگانرود می‌باشد.

1- Modified Universal Soil Loss Equation

2- Universal Soil Loss Equation

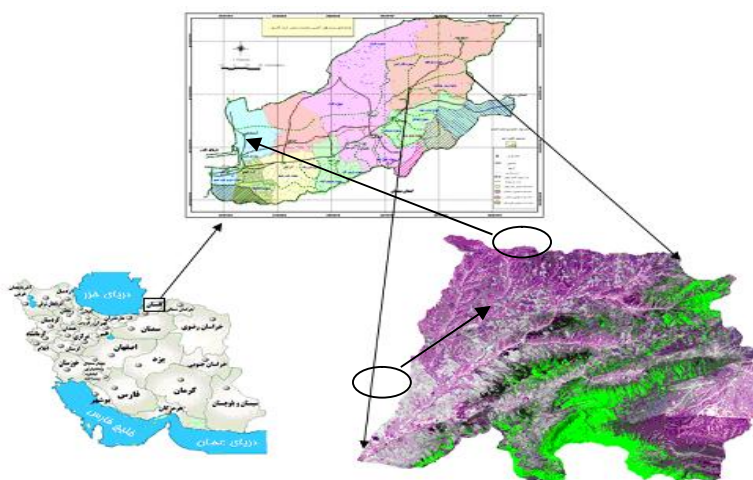
3- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های جغرافیایی حوزه آبخیز تمر

حوزه تمر در بالا دست سد بوستان در شرق استان گلستان با مساحت ۱۵۲۴ کیلومتر مربع بین طول‌های $55^{\circ}26'30''$ تا $56^{\circ}04'35''$ شرقی و عرض‌های $37^{\circ}25'5''$ تا $37^{\circ}47'33''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۹۶/۴ میلی‌متر می‌باشد. در این حوزه از سمت جنوب و جنوب غرب به سمت شمال و شمال شرق از میزان بارندگی کاسته شده و بر میزان

تبخیر و تعرق و دما و تعداد ماه‌های خشک سال افزوده می‌گردد. همچنین میانگین دمای سالانه حوزه، رطوبت نسبی و به ترتیب برابر ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و ۶۸/۵ درصد می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز ۲۱۳۳ و حداقل ارتفاع آن ۱۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۲). متوسط ارتفاع ۷۴۹/۲ متر از سطح دریا، شیب متوسط حوزه ۱۲/۷۳ درصد، زمان تمرکز تا خروجی حوزه تمر ۱۳/۵ ساعت و زمان تأخیر ۸/۱ ساعت می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز تمر در استان گلستان، ایران

Figure 1- The position of Tamer Watershed in Golestan province, Iran

ورودی‌های مدل SWAT

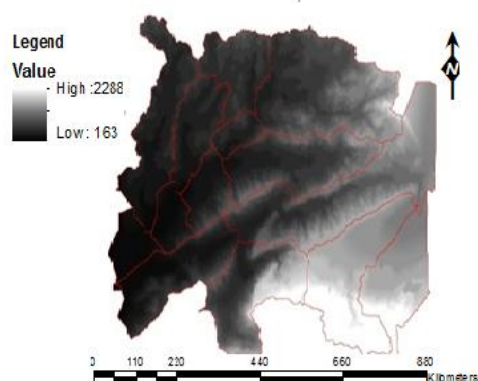
به منظور اجرای مدل در حوزه آبخیز تمر، از نقشه‌های رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متری (گزارش مطالعات تفصیلی حوزه بالادست سد وشمگیر استان گلستان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، ۱۳۹۰) استفاده شد (شکل ۲) و با اضافه کردن یک خروجی^۱ در محل ایستگاه هیدرومتری، تمر به ۱۵ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۳). مرحله بعدی وارد کردن نقشه خاک است. در حوزه آبخیز تمر، از نقشه اجزای واحد اراضی، بافت خاک و اطلاعات خاکرهای حفر شده استفاده گردید. سپس با اطلاعات اندازه‌گیری شده فاکتورهای جزئی‌تر خاک شامل تراکم حجمی خاک، ظرفیت حجمی آب قابل دسترس، هدایت الکتریکی لایه‌های خاک، کربن آلی، بافت خاک و آبدوی خاک (شهریاری و همکاران، ۱۳۹۰ و مطالعات تفصیلی حوزه بالادست سد وشمگیر، ۱۳۷۰) تکمیل و تصحیح شد (شکل ۵). در مرحله بعد نقشه پوشش گیاهی نیز به مدل معرفی شد (گزارش خاکشناسی، طبقه‌بندی اراضی و پوشش گیاهی

حوزه بالادست سد وشمگیر استان گلستان، معاونت برنامه‌ریزی استانداری و شرکت سهامی هامون، ۱۳۸۸). کدهای تعریف شده در مدل SWAT شامل RNRG, AGRR, FRSD, WATR, FPEA, URML, AGRL, ORCD به ترتیب مرتع، کشاورزی آبی، جنگل، استخر و آبنندان، جالیز، باغ، کشاورزی دیم و مناطق شهری می‌باشند. (شکل ۴) که منجر به تولید واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU^۲) در هر زیرحوضه می‌گردد. در این مرحله، حوزه گرگانود به ۲۸۴ واحد واکنش هیدرولوژیک تقسیم شد.

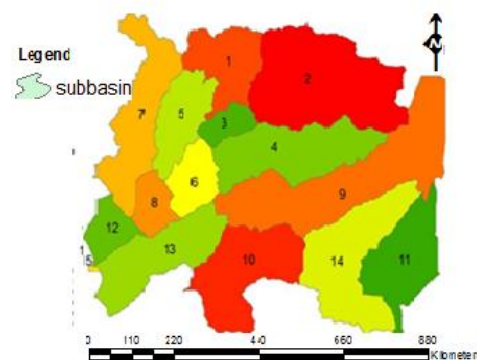
مدل SWAT نیازمند آمار و اطلاعات جامع از حوزه مورد مطالعه می‌باشد ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده در این تحقیق ایستگاه‌هایی با داده‌های با دوره زمانی بالا می‌باشند برای این منظور اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تمر و ایستگاه‌های قرقان، رباط قره بیل، تنگراه و پارک ملی گلستان از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شده و اطلاعات مورد نیاز استخراج و به فرمت dbf تبدیل و مرتب‌سازی شده وارد مدل شد.

2- Hydrologic Response Units

1- Outlet

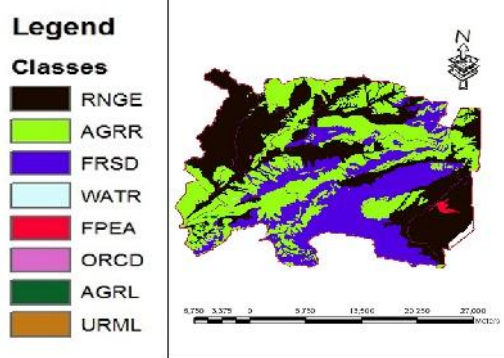
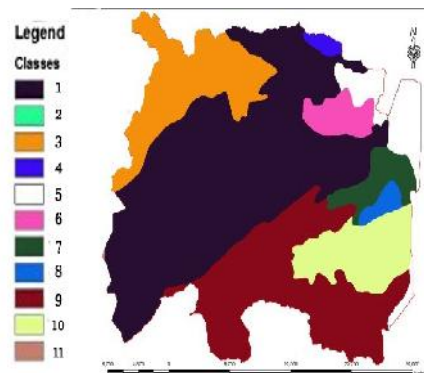


شکل ۳- نقشه زیر حوضه‌های حوضه آبخیز مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز مورد مطالعه

Figure 3- Map of sub-basin in the studied watershed Figure 2- Map of height classes in the studied watershed

شکل ۵- نقشه تنوع خصوصیات خاک حوضه آبخیز
Figure 5- Soil map of the studied watershedشکل ۴- نقشه کاربری اراضی در حوضه آبخیز مورد مطالعه
Figure 4- Land use map of the studied watershed

اشکال اصلی آن مانند اکثر مدل‌ها این است که نتایج اولیه آن بدون واسنجی دارای دقت و همخوانی با مقادیر مشاهداتی نیست (۳). هدف از واسنجی مدل حداقل کردن تفاوت‌ها بین خروجی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای است. یک مدل ابتدا از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده و یا پیش‌فرض مدل، استخراج می‌شود و سپس خروجی‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای واسنجی می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری مستقیم بسیاری از پارامترهای ورودی مدل به طور دقیق دشوار، وقت‌گیر و با کارایی کم می‌باشد، مدل‌سازی معکوس در تعیین پارامتر مورد توجه کاربران قرار گرفته‌است (۳). از روش‌های استفاده شده برای واسنجی خودکار می‌توان به روش‌های موجود در SWAT-CUP اشاره کرد. SWAT-CUP نرم افزاری است که با روش‌های GLUE¹، SUFI-2، MCMC²، PARASOL، به SWAT لینک شده و می‌تواند آنالیز حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و آنالیز عدم

به منظور مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل و ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان و رسوب، داده‌های روزانه جریان (متر مکعب بر ثانیه) و رسوب (تن در روز) ایستگاه هیدرومتری تمر واقع شده در خروجی حوضه تمر از مطالعات سازمان منابع آب (تماب) جمع‌آوری گردید. مدل SWAT نیازمند اطلاعات جامعی در مورد نوع مدیریت زراعی اعمال شده در مزارع شامل: نوع کشت، ابزار خاک‌ورزی مورد استفاده، میزان بذر پاشی، میزان واحد حرارتی مورد نیاز برای رسیدگی، نوع و میزان کود به کار رفته در هر هکتار، تاریخ کوددهی و خاک‌ورزی‌ها، تاریخ شروع کاشت و برداشت محصول، نوع آبیاری مورد استفاده و میزان آبیاری به میلی‌متر در هر هکتار دارد. برای این منظور اطلاعات مورد نیاز از اداره جهاد کشاورزی استان گلستان جمع‌آوری شد. مدل SWAT نیازمند داده‌های گوناگون جهت اجرا کردن می‌باشد، هر یک از این داده‌ها به علت عدم قطعیت‌های دخیل در آنها نیازمند کالیبره شدن برای حوضه مربوطه می‌باشد. مدل SWAT یک مدل فیزیکی می‌باشد بنابراین

1- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
2- Markov Chain Monte Carlo

مستقل تفسیر کند در حالی که R^2 فاقد این قابلیت است (۱۷). به بیان دیگر شاخص R^2 بیانگر دقت مدل هست ولی شاخص نش-ساتکلیف بیانگر صحت مدل می باشد برای این تحقیق از ضریب نش-ساتکلیف و تبیین بیش از ۰.۵ به عنوان استاندارد برای قابل قبول بودن شبیه‌سازی‌ها استفاده شد.

روش SUFI-2 در انجام تحلیل عدم قطعیت

با توجه به نتایج مثبت روش SUFI-2 نسبت به روش‌های دیگر (۱۹) این روش مورد استفاده قرار گرفت. ایده اولیه الگوریتم SUFI-2 در سال ۱۹۹۷ توسط عباسپور و همکارانش ارایه شد و در سال ۲۰۰۷ توسط ایشان توسعه یافت (۲). این الگوریتم که در چارچوب نرم افزار SWAT-CUP قابل اجرا است، روشی برای واسنجی و آنالیز عدم قطعیت همزمان مدل SWAT است. روش SUFI-2 ابتدا برای پارامترهای مدل حدود بزرگی را در نظر می‌گیرد تا تمام مقادیر مشاهده شده درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گیرند، سپس محدوده مربوط به پارامترها را به نحوی تغییر می‌دهد که اولاً بیشتر مقادیر مشاهده شده بین محدوده عدم قطعیت قرار گیرند و ثانیاً متوسط فاصله بین باندهای بالا و پایین مقدار کوچکی باشد. اگر چنانچه مقادیر مشاهده شده با دقت بالایی اندازه‌گیری شده باشند، قرار گرفتن ۸۰ درصد از مقادیر مشاهده شده بین باند عدم قطعیت و چنانچه مقادیر اندازه‌گیری شده از دقت پایینی برخوردار باشند، قرار گرفتن ۵۰ درصد از مقادیر مشاهده شده درون باند عدم قطعیت کفایت می‌کند (۳). همانطور که اشاره شد، درجه عدم قطعیت پارامترها توسط دو فاکتور به نام‌های R-factor و P-factor محاسبه می‌شود. P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهداتی که در باند عدم قطعیت ۹۵ درصد^۲ قرار گرفته‌اند. مقادیر بزرگتر P نشانگر نتایج مطلوبتری می‌باشد. R-factor از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهداتی به‌دست می‌آید. برنامه به دنبال طیفی از پارامترهاست که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند. حالت ایده‌آل زمانی است که P-factor برابر ۱۰۰ درصد و R-factor صفر باشد. ولی از آنجا که با کاهش R-factor مقدار P-factor نیز افزایش می‌یابد، بنابراین محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابد که دو شرط برقرار شود، اولاً اکثر داده‌های مشاهداتی در محدوده ۹۵ درصدی سطح محدوده باند عدم قطعیت، واقع شوند و ثانیاً فاصله متوسط بین حد بالا و پایین ۹۵ درصد تا حد ممکن کوچک شود. معیار ۹۵PPU با استفاده از نمونه‌برداری به روش نمونه‌گیری لاتین هاپر کیوب^۴ و حذف ۵ درصد شبیه‌سازی بسیار بد، به دست می‌آید (۳). عباسپور و

قطعیت^۱ را انجام دهد (۳). این عملیات توسط فاکتورهای P و R کنترل می‌شود. در صورتی که از فاکتورهای فوق مقادیر قابل قبولی به‌دست آمد، شبیه‌سازی مدل برای دوره صحت سنجی ارزیابی می‌گردد. واسنجی خودکار مدل SWAT با استفاده از مدل‌سازی معکوس تعیین می‌شود به این معنا که از خروجی‌های مدل‌های شبیه‌سازی، برای تخمین پارامترهای ورودی مدل استفاده می‌شود (۳). مدل‌سازی معکوس در سال‌های اخیر تبدیل به روشی رایج و پرطرفدار در انجام عمل واسنجی مدل‌ها شده است (۱۳). در این مرحله کالیبراسیون از مدل SUFI-2 جهت بهینه کردن مقادیر پارامترها استفاده و ۸ سال داده بارش و دمای روزانه ایستگاه‌های واقع در حوضه به مدل وارد گردید. همچنین داده‌های دبی روزانه ایستگاه تمر مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ تهیه گردید سپس مدل با پارامترهای مؤثر بر رواناب شبیه‌سازی و برای دوره مورد نظر اجرا شد و در هر تکرار دامنه پارامترها تعدیل شدند و مدل SWAT با استفاده از مدل SUFI-2 واسنجی شد. پس از مرحله واسنجی لازم است اعتبارسنجی انجام شود و توانایی مدل برای پیش‌بینی رخداد‌های آینده مشخص شود. این تحقیق یک چهارم کل داده‌های رواناب ایستگاه هیدرومتری تمر (۲۰۰۷-۲۰۱۰) برای مرحله اعتبارسنجی انتخاب شدند و پس از آن مدل با مجموعه‌ای از پارامترهای ورودی با دامنه به دست آمده در آخرین مرحله واسنجی و سپس اعتبارسنجی شد.

ارزیابی عملکرد مدل

برای ارزیابی عملکرد مدل از چهار پارامتر استفاده شد

ضریب نش-ساتکلیف^۲ که اندازه‌گیری میزان مناسب بودن را انجام می‌دهد و هر چقدر که شبیه‌سازی به طور قابل قبولی با نتایج مشاهداتی شبیه باشد به مقدار ۱ نزدیک می‌شود. معمولاً مقدار بالای ۰.۹ بیانگر دقت بسیار بالای مدل می‌باشد. در حالی که مقدار نش-ساتکلیف برابر با صفر بیانگر این است که مدل مشابه با گزارش میانگین داده‌ها عمل کرده است. مقادیر منفی نیز بیانگر عملکرد ضعیف مدل می‌باشد. ضریب نش-ساتکلیف تغییرات بیان شده برای مقادیر مشاهده شده در طول زمان که مدنظر مدل SWAT می‌باشد را توضیح می‌دهد (۱۷). به‌دست آمدن عدد منفی برای ضریب نش-ساتکلیف این نتیجه به‌دست می‌آید که مدل با توجه به داده‌های مشاهداتی قادر به شبیه‌سازی درستی نبوده و نیازمند واسنجی می‌باشد. همچنین از ضریب R^2 استفاده گردید که برای ارزیابی این که مدل با چه دقتی تغییرات در داده مشاهداتی را دنبال می‌کند. تفاوت بین ضریب نش-ساتکلیف و R^2 در این است که ضریب نش-ساتکلیف می‌تواند عملکرد مدل را با تکرار کردن داده‌های مشاهداتی

3- 95PPU, 95 percent prediction uncertainty

4- Latin Hypercube Sampling

1- Uncertainty analysis

2- NS, Nash & Sutcliffe, 1970

همکاران (۲) تأکید کردند که اگر داده‌های اندازه‌گیری شده کیفیت بالایی داشته باشند، باید بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد آن‌ها در سطح PPU ۹۵ قرار گیرند. در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده در این سطح قرار می‌گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابد تا دو شرط زیر برقرار شود:

اکثر داده‌های مشاهده‌ای در سطح PPU ۹۵ واقع شوند.

عدم قطعیت تا حد ممکن کوچک شود.

در این تحقیق به طور متوسط P-factor به دست آمده ۵۸ درصد و R-factor به دست آمده ۰/۰۵ می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل، همبستگی مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده شدت جریان در حوضه آبخیز تمر از خود نشان می‌دهد (جدول ۱). شاخص نش- ساتکلیف پرکاربردترین شاخص برای ارزیابی نتایج در شبیه‌سازی‌های جریان پیوسته است. عموماً اگر شاخص نش- ساتکلیف بیشتر از ۰,۷۵ باشد کارایی مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰,۳۶ تا ۰,۷۵ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰,۳۶ باشد غیر قابل قبول است. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که توانایی مدل در واسنجی دبی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ با ضریب نش ۰,۷۶ در شرایط عالی و در بخش‌های دیگر رضایت‌بخش است. شاخص P برای ارزیابی دبی ۰,۶۹ و ۰,۵۸ بوده که نسبتاً مناسب است. نزدیک بودن اعداد ۰,۰۶ و ۰,۰۵ شاخص R به عدد صفر بیانگر ارزیابی مناسب مدل توسط این شاخص است. همانطور که در اشکال (۶) تا (۹) آورده شده است. در اکثر ماه‌های سال، نتایج مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر است که این مسئله در نقاط اوج رواناب‌ها به وضوح دیده می‌شود. بورای و همکاران (۱۰) بیان می‌دارند که این موضوع به علت محدودیت مدل در توزیع مکانی بارش است به همین دلیل وقتی در قسمت کوچکی از حوضه باران بسیار شدیدی روی می‌دهد مدل این تأثیر را برای کل حوضه در نظر می‌گیرد و باعث شبیه‌سازی بیش از حد رواناب در مقایسه با مقادیر حقیقی می‌شود. دلایل دیگر کم بود اطلاعات مکانی

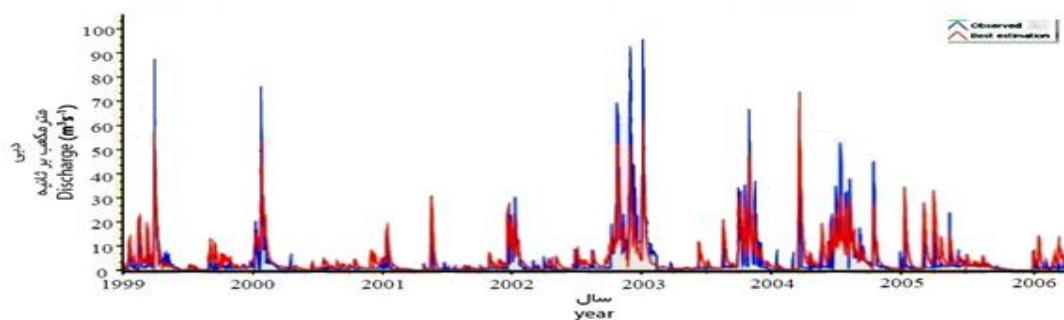
دقیق خاک برای منطقه مورد مطالعه و وجود کاربری کشاورزی آبی به صورت گسترده می‌باشد. بدین صورت که در سال‌های اخیر کشاورزی آبی در منطقه گسترش فراوانی یافته است و اکثر دیمزارها نیز آبیاری شده‌اند. این امر سبب می‌شود که رواناب تولید شده به جای شرکت در جریان رودخانه صرف تعرق گیاهان کشت شده و تبخیر از سطح خاک شود و چون این اثرات در مدل به دلیل نبود اطلاعات کافی وارد نشده است، مدل مقدار رواناب را بیشتر از مقدار مشاهده‌ای پیش‌بینی نموده است (۱۴).

با توجه به اشکال (۶) و (۹) و جدول ۱ استنتاج می‌شود که، در مورد شبیه‌سازی میزان رسوب، نتایج قدری حساس‌تر بوده است و مدل SWAT نتوانسته است رسوب را به درستی رواناب شبیه‌سازی نماید. یکی از دلایل این موضوع، کمبود داده‌های رسوب در ایستگاه هیدرومتری حوضه مورد مطالعه نسبت به اطلاعات رواناب و همچنین ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر می‌باشد (۲۲). بوش (۹) اظهار داشت تراکم داده‌ها در واسنجی مدل SWAT مهمتر از دوره طولانی آماری است و نتایج بهتری را در پی دارد. البته بستگی به هدف استفاده از مدل دارد. در صورتی که هدف ارزیابی مدل در فصول مختلف باشد داده‌برداری طولانی مورد نیاز است. این موضوع باعث بالاتر رفتن دقت واسنجی و افزایش دقت شبیه‌سازی و داشتن مقادیر شبیه‌سازی مدل طی فصل‌های مختلف می‌شود یکی دیگر از دلایل ضعف مدل در شبیه‌سازی ضعیف‌تر رسوب نسبت به رواناب، می‌تواند به علت شبیه‌سازی ضعیف جریان باشد. از علت‌های دیگر ضعف مدل در شبیه‌سازی رسوب می‌توان به تعداد کم داده‌های روزانه رسوب استفاده شده در مرحله واسنجی، صحت داده‌های رسوب استفاده شده و مهمتر از همه پیوسته نبودن اطلاعات رسوب اشاره کرد. از آنجایی که در شبیه‌سازی روزانه میزان تغییرات شدیدتر است بنابراین مدل در تخمین به صورت روزانه عملکرد ضعیف‌تری دارد. از دلایل دیگر می‌توان به پیچیدگی فرآیند تولید رسوب و عدم توانایی مدل جهت برآورد این فرآیندها اشاره کرد.

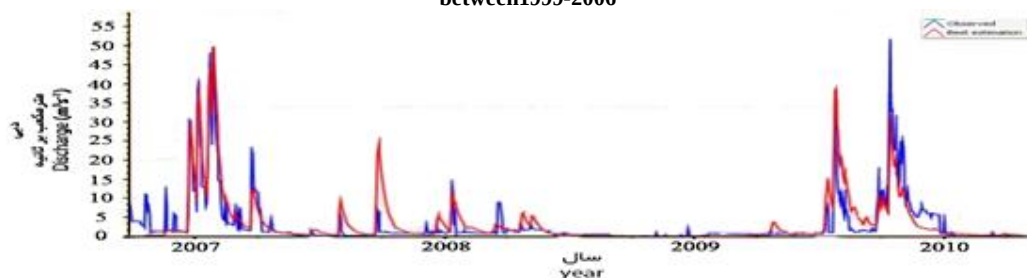
جدول ۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی دبی و رسوب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر

Table 2- The results of calibration and validation of diary discharge and sedimentation for hydrometric station of Temr

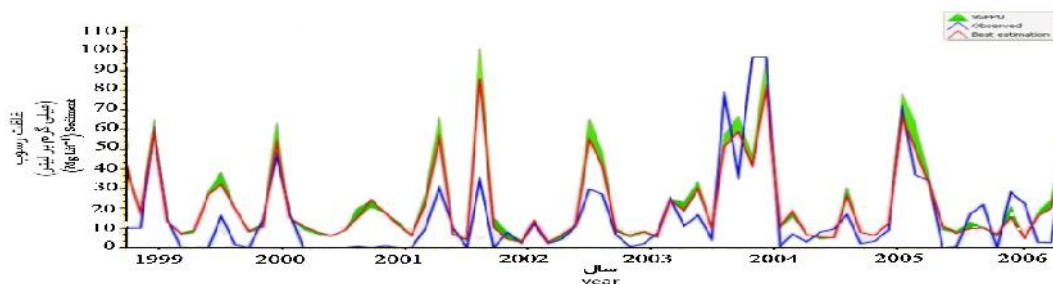
داده Data		شاخص‌های آماری Statistical indicators			
		P-factor	R-factor	R2	N-S
دبی Discharge	واسنجی Calibration 1996-2006	0.69	0.06	0.77	0.76
دبی Discharge	اعتبارسنجی Validation 2007-2010	0.58	0.05	0.75	0.72
رسوب Sediment	واسنجی Calibration 1999-2006	0.16	0.15	0.62	0.54
رسوب Sediment	اعتبارسنجی Validation 2007-2010	0.12	0.35	0.61	0.55



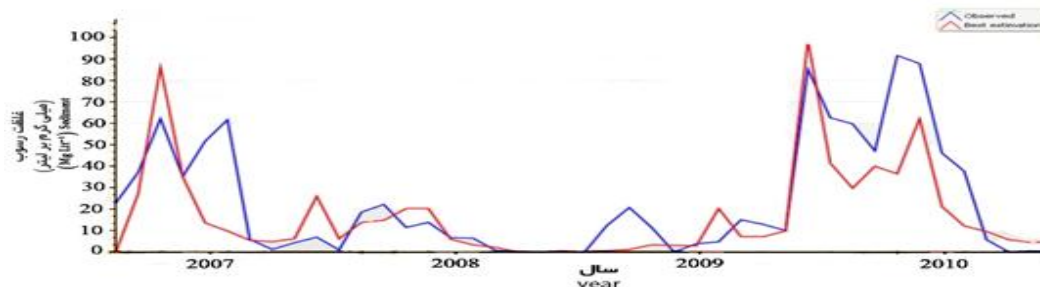
شکل ۶- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رواناب برای دوره واسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر در فاصله زمانی ۱۹۹۹-۲۰۰۶
Figure 6- Comparison of the observed and simulated monthly discharges at the Tamer station for the calibration period between 1999-2006



شکل ۷- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رواناب برای دوره اعتبارسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر در فاصله زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۰
Figure 7- Comparison of the observed and simulated monthly discharges at the Tamer station for the validation period between 2007-2010



شکل ۸- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رسوب برای دوره واسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر در فاصله زمانی ۱۹۹۹-۲۰۰۶
Figure 8- Comparison of the observed and simulated monthly sediment at the Tamer station for the calibration period between 1999-2006

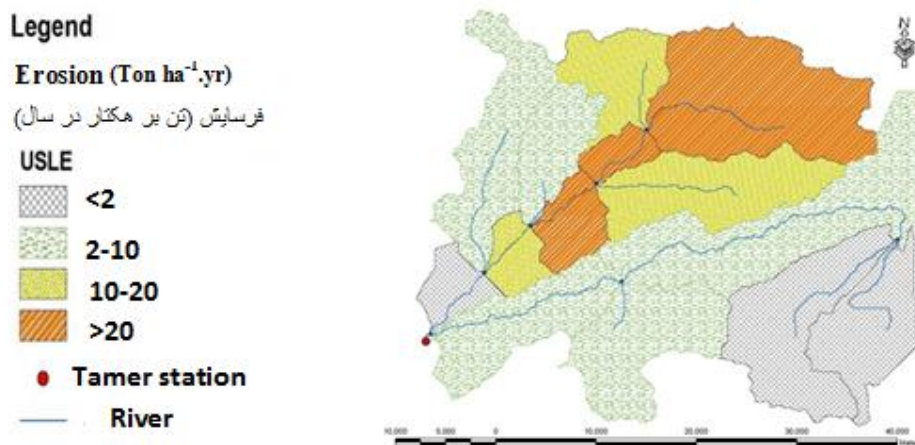


شکل ۹- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رسوب برای دوره اعتبارسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر با در فاصله زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۰
Figure 9- Comparison of the observed and simulated monthly sediment at the Tamer station for the validation period between 2007-2010

جدول ۲- مقدار رواناب، رسوب و فرسایش در زیر حوضه های آبخیز گرگانرود

Table 2- Amounts of runoff, sediment and erosion in sub-basin of Gorganroud watershed

فرسایش (تن در هکتار در سال)	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رواناب (میلی متر) در سال	زیر حوضه
Erosion (Tonha ⁻¹ .yr)	Sediment yield (Tonha ⁻¹ .yr)	Runoff (mm)	Subbasin
13.82	8.53	9.11	1
20.23	12.38	13.32	2
21.19	13.90	10.67	3
18.68	10.58	12.88	4
6.89	3.13	2.19	5
24.95	15.16	11.72	6
3.97	2.38	0.98	7
18.41	17.39	12.34	8
4.37	1.54	2.26	9
8.18	8.92	5.34	10
2.62	1.04	1.37	11
2.01	0.86	0.587	12
6.25	6.82	4.23	13
1.64	1.92	0.42	14
5.60	4.81	3.02	15



شکل ۱۰- نقشه مقدار فرسایش در حوضه آبخیز گرگانرود

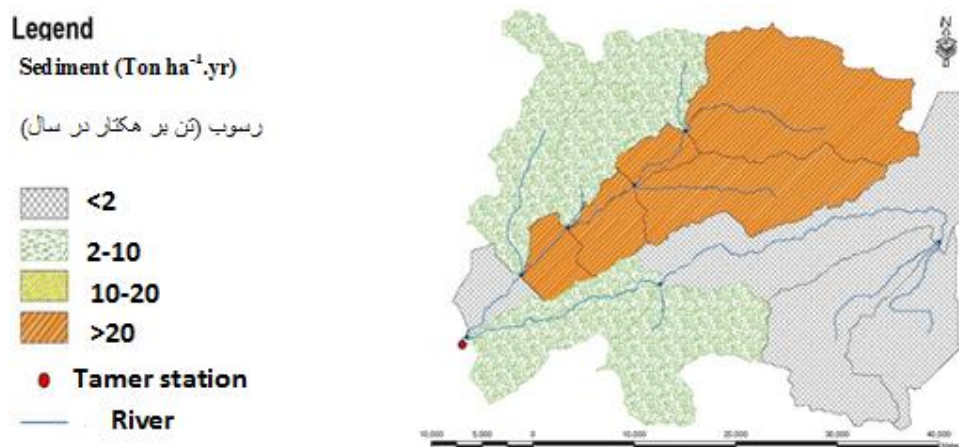
Figure 10- Map of erosion rate in Gorganroud watershed

هستند. فرسایش در این کاربری ها نسبت به استاندارد جهانی بسیار بالا می باشد (۲۸).

زیر حوضه های ۲، ۳، ۶ با میزان فرسایش ویژه ۲۴/۹۵، ۲۱/۱۹ و ۲۰/۲۳ تن در هکتار دارای بیشترین میزان فرسایش در حوضه هستند. با انطباق نقشه های کاربری و شیب چنین به نظر می رسد که فرسایش در حوضه های مذکور تحت تأثیر فرسایش پذیری خاک به علت کاربری زراعی در آن ها و شیب این زیر حوضه بوده است. اخوان و همکاران (۴) با مقایسه نقشه فرسایش و مدل رقومی ارتفاع نشان دادند که زیر حوضه های بحرانی در نواحی کوهستانی و تپه ای قرار گرفتند.

پس از اطمینان از رضایت بخشی نتایج مدل، مقادیر دبی و رسوب و فرسایش خروجی مدل در زیر حوضه ها و هر یک از پوشش اراضی نیز محاسبه شد. جدول (۲) نشان دهنده مقدار مقایسه ای رواناب، رسوب و فرسایش در زیر حوضه های حوضه آبخیز گرگانرود می باشد. در شکل (۱۰) نقشه فرسایش و در شکل (۱۱) نقشه بار رسوب برای زیر حوضه ها نشان داده شده است.

بررسی فرسایش و رسوب در کاربری های مختلف نشان می دهد که کشاورزی آبی با متوسط فرسایش ۲۴/۹۵ تن در هکتار و رسوب ۱۵/۵۶ تن در هکتار و کشاورزی دیم با متوسط فرسایش ۲۰/۲۳ تن در هکتار و رسوب ۱۲/۳۳ تن در هکتار حساس ترین کاربری ها



شکل ۱۱- نقشه شدت توزیع رسوب در حوزه آبخیز گرگانرود

Figure 11- Map of sediment distribution in Gorganroud watershed

جدول ۳- میزان فرسایش و بار رسوب برآورد شده توسط مدل SWAT در هر کاربری اراضی

Table 3- Erosion and sediment load rates in each land use

کدهای مدل SWAT Code	کاربری اراضی Land Use	مساحت (هکتار) Area (ha)	رسوب (تن در هکتار در سال) Sediment (Ton ha ⁻¹ yr)	فرسایش (تن در هکتار در سال) Erosion (Ton ha ⁻¹ yr)
AGRR	کشاورزی Agriculture	54160.88	15.56	24.95
AGRL	کشاورزی دیم Dry farming	493.64	12.33	20.23
FRSD	جنگل Forest	39868.97	0.86	2.01
RAGE	مرتع Range	85736.03	5	5
URML	مناطق مسکونی Urban	10.95	8.98	8.18
FPEA	جالیز kitchen-garden	106.33	3.13	6.89
ORCD	باغ Orchard	28.34	2	2

در بررسی منابع می‌توان نتایج مشابهی یافت. میتا و همکاران (۲۳) و باکر و همکاران (۷) به این مسئله اشاره کرده‌اند که اراضی با کاربری زراعی بر روی مناطق شیب‌دار باعث افزایش رواناب و رسوب تولیدی می‌شود. نتایج نشان دهنده توانایی خوب مدل در ارزیابی رواناب و نسبتاً خوب (ضرایب نش-ساتکلیف < ۰/۵) رسوب روزانه در محل ایستگاه هیدرومتری تمر می‌باشد. گزا و مس‌کری به‌دست آوردن چنین ضرایبی را خوب و عالی اعلام کرده‌اند (۱۵). مدل SWAT می‌تواند ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی جریان و بار رسوب در اراضی لسی باشد. همچنان که نتایج دیگر مطالعات انجام شده مانند سلمانی و همکاران (۲۹) در حوزه آبخیز قزاقلی استان گلستان، کهنر

کمترین میزان فرسایش و رسوب را نیز زیر حوزه‌های ۱۲ و ۱۴ دارند که به دلیل وجود اراضی مرتعی، جنگلی و باغ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، میزان فرسایش به‌دست آمده در کاربری مناطق شهری از میزان رسوب کمتر است این امر به این علت است که مدل در سنجش فرسایش از معادله جهانی فرسایش در سطح اراضی استفاده می‌کند و فرسایش کانالی در نظر گرفته نمی‌شود ولی برای سنجش رسوب علاوه بر رسوب حاصل از سطح اراضی، رسوب کانال‌ها هم در نظر گرفته می‌شود که این موضوع در کاربری شهری به علت سطح بالاتر کانال‌ها نسبت به سطح کاربری نمود پیدا کرده است.

زراعی بر روی اراضی شیب‌دار دارای وضعیت بحرانی از نظر فرسایش و رسوب قرار دارند که استفاده نادرست و نامعقول از اراضی بدون در نظر گرفتن مسأله قابلیت و تناسب اراضی باعث افزایش رواناب و رسوب و فرسایش در این کاربری‌ها شده‌اند. استفاده از مدل SWAT با کاهش هزینه‌های عملیات صحرایی امکان اندازه‌گیری و ارزیابی شرایط فرسایشی حوضه‌های آبخیز را فراهم می‌نماید. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تغییر کاربری اراضی باعث آثار افزایش میزان فرسایش در اراضی با شیب برابر شده است. پیشنهاد می‌گردد سایر مدل‌های هیدرولوژیکی نیز مورد استفاده قرار بگیرند و خروجی‌های فرسایش آنها با خروجی مدل‌های دیگر مقایسه گردد و تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن در مقیاس زیرحوضه‌ای بررسی و بهترین مدل برای تخمین فرسایش انتخاب گردد و همچنین داده‌های خروجی این مدل‌ها در محاسبه شاخص‌های مختلف خشکسالی که مسئله مهمی برای این مناطق می‌باشد، مدنظر قرار گیرد. با استفاده از مدل SWAT این امکان برای مدیران اجرایی و پژوهشگران فراهم می‌شود تا سناریوهای مختلف مدیریتی را مورد ارزیابی قرار دهند و با تحلیل نتایج بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند.

و همکاران (۲۱) در حوضه سن پدرو آمریکا، محمد و آدام (۲۴) در شمال غربی شهر هرن، ویجیاک و همکاران (۳۲) در حوضه دانوب اسلواکی، عباسپور و همکاران (۲) در حوضه تور سویس، فرامرزی و همکاران (۱۴) در حوضه گرگنرود اخوان و همکاران در حوضه بهار همدان (۴) مبین این موضوع هستند. محضری و همکاران (۲۲) و جعفرزاده، همکاران (۲۰) به نتیجه مشابهی رسیدند که مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در اراضی لسی می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان می‌دهد که توانایی مدل در واسنجی دبی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ با ضریب نش ۰٫۷۶ در شرایط عالی و در بخش‌های دیگر رضایت‌بخش است. شاخص P برای ارزیابی دبی ۰٫۵۸ و ۰٫۶۹ بوده که نسبتاً مناسب است. نزدیک بودن اعداد ۰٫۰۶ و ۰٫۰۵ شاخص R به عدد صفر بیانگر ارزیابی مناسب مدل در بخش دبی نسبت به رسوب توسط این شاخص است. مدل وضعیت فرسایش حوضه را با مقدار رسوب ویژه (۶/۴۹ تن در هکتار) و فرسایش (۱۰/۲۸ تن در هکتار) متوسط ارزیابی کرده و نشان داد که مناطق دارای کاربری

منابع

- 1- Abbaspour K. C., Sonnleitner C., and Schulin R. 1999. Uncertainty in Estimation of Soil Hydraulic Parameters by Inverse Modeling: Example Lysimeter Experiments. Journal of soil science society of American, 63: 501-509.
- 2- Abbaspour K. C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J., and Srinivasan R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology, 333: 413-430.
- 3- Abbaspour K.C. 2008. SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland, 2008, 95pp.
- 4- Akhavan S., Abedi-Koupai J., Mousavi S.F., Afyuni M., Eslamian S.S., and Abbaspour K. 2010. Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar watershed, Iran. Journal of Ecosystem Environment, 139(4):675-688.
- 5- Alansi A.W., M.S.M. Amin G., Abdul Halim H.Z.M., Shafri and Aimrun W. 2009. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical river basin, Malaysia. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 6: 7581-7609.
- 6- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., and Williams J.R. 1998. Hydrologic modeling and assessment part I: model development. Journal of Water Resources Association, 34(1):73-89.
- 7- Bakker M.M., Govers G., Doorn A.V., Quetier F., Chouvard D., and Rounsevel M. 2008. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. Journal of Geomorphology. 98: 213-226.
- 8- Borah D. K., and Bera M. 2003. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases. Trans. ASAE, 46(6), 1553-1566.
- 9- Bosch D.D., Sheridan J.M., Batten H. L., and Arnold J. G. 2004. Evaluation of the SWAT Model on coastal Plain Agricultural Watershed. Trans. ASAE, 47(5), 1493-1506.
- 10- Bouraoui F., Grizzetti B., Granlund K., Rekolainen S., and Bidoglio G. 2004. Impact of climate change on the water cycle and nutrient losses in a Finnish catchment. Clim. Change 66(1-2): 109-126.
- 11- Chen X., Bing C., and Hongjing W. 2014. Parameter Uncertainty Analysis of Surface Flow and Sediment Yield in the Huolin Basin, China, Journal of Hydrology Engineering, 19:6, 1224-1236.
- 12- Demir Y.M., Atasoy M., Bayrak T., and Biyik C. 2008. Evaluating Sustainable Land Use for the De Irmendere Valley: A Case Study From Northeastern Turkey. 14:626-633.
- 13- Duan Q. 2003. Global Optimization for Watershed Model Calibration, in Calibration of Watershed Models,

- edited by Q. Duan, H. V. Gupta, S. Sorooshian, A. N. Rousseau, and R. Turcotte, pp. 89-104, AGU, Washington, DC.
- 14- Faramarzi M., Abbaspour K., Schulin R., and Yang H. 2009. Blue and green water resources in Iran. *Journal of Hydrology. Process.* 23: 486-501.
- 15- Geza M., and McCray J.E. 2008. Effects of soil data resolution on SWAT model streamflow and water quality predictions. *Journal of Environmentn. Manager*, 88: 393-406.
- 16- Golami SH., and Nasiri M. 2014. Simulation of Atrak River monthly discharge using SWAT model, Case study: Maraveh Tappeh watershed, Gholestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management.* 7 (2): 126-135.
- 17- Green C.H., Greensoun J.G., Williams J.R., Haney R., and Harmel R.D. 2007. Soil and water assessment tool hydrologic and water quality evaluation of poultry litter application to small scale sub watershed in Texas. 50, 1199-1209.
- 18- Hosseini M., Ghafouri M., Tabatabaei M., Nadergholi E., and Zare Garizi A. 2016. Estimation of hydrologic budget for Gharesou watershed, Iran. *Journal of Ecopersia*, 4(3): 1455-1469.
- 19- Hyung Kyung J., Jong Yoon P., Hyun Kyo J., Hyun Hin S., Hyung Joong K., and Seong Joon K. 2011. The Uncertainty Analysis of SWAT Simulated Streamflow and Water Quaility Applied to Chungju Dam Watershed of South Korea for climate change analysis. *Journal of Agriculture. System*, 38(3): 225-238.
- 20- Jafarzadeh M.S., Rouhani H., Salmani H., and Fathabadi.H. 2016. Reducing uncertainty in a semi distributed hydrological modeling within the GLUE framework. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23 (1): 83-100.
- 21- Keppner W.G., Semmens D. J., Bassett S. D., Mouat D. A., and Goordrich D. C. 2004. Scenario analysis of the San Pedro river, analyzing hydrological consequences of a future environment. *Journal of Enviromental Monitoring and Assessment*, 94: 115-127.
- 22- Mahzari S., Kiani F., Khormali F., and Azimi M. 2016. Using SWAT model to determine runoff, sediment yield and Nitrate loss in Gorganrood watershed, Iran. *Journal of Ecopersia*, 4(2): 1359-1377.
- 23- Miyata S., Kosugi K., Gomi T., Onda Y., and Mizuyama T. 2007. Surface runoff as affected by soil water repellency in a japanes cypress forest. *Journal of Hydrological processes*, 21 (17): 2365-2376.
- 24- Mohammad A.G., and Adam M. A. 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and erosion under different land use. *Journal of Catena*, 81: 97-103.
- 25- Najafi Q. 2005. Land and agricultural lands in Iran. *Monthly Dehati Magazine*, 24: 17-24.
- 26- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
- 27- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., and King K.W. 2002. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation-Version 2000. .
- 28- Refahi H.Gh. 2006. Water erosion and conservation. Tehran University Publication. 22(5), 671.
- 29- Salmani H., Mohseni Saravi M., and Rouhan Hand Salajeghe A. 2012. Evaluation of Land Use Change and its Impact on the Hydrological Process in the Ghazaghli Watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 3(6): 43-60.
- 30- Shahriari A., Khormali F., and Azarmdel H. 2011. Clay mineralogy of Mollisols and Mollisols-like soils as affected by physiographic unit formed on loess deposits in southern Gorgan River, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(4): 63-79.
- 31- Van Liew M. W., and Garbrecht J. 2003. Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT. *Journal of American Water Resource. Assoc*, 39(2): 413-426.
- 32- Vigiak O., Malago A., Bouraoui F., Vanmaercke M., and Poesen J. 2015. Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large basins. *Journal of Science of the total environment*, 538: 855-875.



Evaluation Theerosion and Sediment in Different land Uses of Tamer Watershed, Golestan Province Using SWAT Model

F. Kiani^{1*} - B. Behtarinejad² - A. Najafinejad³ - R. Kaboli⁴

Received: 13-03-2017

Accepted: 03-07-2017

Introduction: population growth, urbanization and land use changes cause negative effects in natural ecosystems and water resources. Soil erosion is one of the most important problems in agriculture and natural resources of Golestan province. Using low cost and accurate methods for planning and proper management of land and water resources are essential for estimating consequences of soil erosion and providing appropriate solutions to reduce soil losses.

Materials and Methods: The study area is located in eastern part of Golestan province with an area of 1524 square Kilometers. The average annual precipitation of the region is 496 millimeters. In this watershed, rainfall decreases from south and south west to north and north east (due to the remoteness from the Caspian Sea), while evapotranspiration, temperature and the number of dry months increase in the same direction. Also the average annual temperature of the watershed and its relative humidity and evaporation are 17.8°C, 68.5 % and 1398.34 millimeters, respectively. Tamer watershed was divided into 15 sub-watersheds by adding an outlet in the site of Tamar gauging station. In this study, the SWAT model was used to simulate erosion and sedimentation. To compare the measured and simulated data and evaluation of the SWAT performance in terms of simulating flow and sediments, daily flow (cubic meters per second) and sediment (tons per day) data at the Tamar gauging station located in Tamar's watershed outlet was collected from the studies of water resources organization (Tamab). Simulated values were generally consistent with the data observed during calibration and validation period. At this stage of calibration, the SUFI-2 model was used to optimize the parameter values. In this study, daily rainfall and temperature data recorded during an 8-year period by the stations within the watershed were imported into the model. The daily discharge data and daily sediment data of Tamar station recorded during 1999- 2006 were selected. Then model was run using runoff and sediment parameters, and ranges of parameters were adjusted at each iterations, and therefore SWAT model was calibrated using SUFI-2 model. After calibration, model must be validated and its ability to predict future events must be determined. Validation was performed using the runoff and sediment data recorded in Tamar gauging station from 2007 to 2010.

Results and Discussion: NS, R², R-factor and P-factor were estimated for runoff calibration about 0.76, 0.77, 0.06 and 69 and for runoff evaluation 0.72, 0.75, 0.05 and 69 respectively. The same parameters were also measured for sediment calibration about 0.54, 0.62, 0.15, and 16 and sediment evaluation 0.55, 0.61, 0.35, and 12 respectively. The results showed that irrigated agriculture 24.95 and 15.56 t ha⁻¹y⁻¹ respectively, with average erosion and sediment ha of agriculture by an average of 20.23 and 12.33 t ha⁻¹y⁻¹ respectively erosion and sediment erosion and deposition are tons per hectare maximum value. Results also showed that the soil loss caused by erosion in this watershed is average 6.49 t ha⁻¹y⁻¹ in sediment and 10.28 t ha⁻¹y⁻¹ in erosion.

Conclusion: The assessment factors showed that model has successfully simulated the daily runoff discharge during calibration and validation phases with a Nash-Sutcliffe coefficient of 0.76 and 0.72. A Nash-Sutcliffe coefficient above 0.5 could be acceptable for sediment simulation. However, sediment load simulated for rainy seasons has been lower than actual value while this value has been higher than actual value during dry seasons. In most months of the year, model results are higher than measured values and this issue is more pronounced in the peak runoffs. This issue is due to limitations in spatial distribution of rainfall, so when a small area in watershed experience a severe rainfall, model considers the impact for the entire watershed and therefore overestimates the total runoff. The results showed that SWAT model can be a useful tool for the simulation of

1 and 2- Associate Professor and Former M.Sc., Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(* - Corresponding Author Email: kiani@gau.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Staff of Golestan Regional Water Authority

flow and sediment basins in the loess land.

Simulation results showed that land use changes have resulted in corresponding increases in surface runoff and sediment. Rates were highly variable both spatially and temporally, and the agricultural lands were most significantly affected. These land use changes have negative implications for the ecological health of the river system as and local communities.

Keywords: Digital elevation map, Modeling, SWAT-CUP, Uncertainty



اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر تعدیل تنش خشکی در مرحله گردهافشانی ذرت علوفه‌ای

الهام مددی^۱ - سیف اله فلاح^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱

چکیده

تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد ذرت به دلیل شرایط محیطی و کاهش دسترسی به آب آبیاری بسیار رایج است. از این رو به منظور بررسی اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر تعدیل اثرات تنش خشکی در مرحله گردهافشانی ذرت علوفه‌ای آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. سطوح تنش خشکی (بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید) در کرت‌های اصلی و نوع تنظیم کننده رشد (بدون تنظیم کننده رشد، اسید جاسمونیک و اسید هیومیک) در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار رطوبت نسبی برگ، کلروفیل، شاخص سطح برگ، وزن برگ‌ها، وزن ساقه، وزن بلال، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب گردید. استفاده از اسید جاسمونیک در مقایسه با شاهد و اسید هیومیک در شرایط تنش ملایم باعث افزایش معنی‌دار رطوبت نسبی برگ به ترتیب ۶۱/۱ و ۳۹/۳ درصد، وزن برگ (به ترتیب ۶۰/۴ و ۴۱/۸ درصد)، وزن ساقه (به ترتیب ۱۴/۸ و ۲۵/۱۲ درصد)، وزن بلال (به ترتیب ۱۳ و ۲۳/۸ درصد)، محتوای پروتئین (به ترتیب ۱۶ و ۳۲/۱ درصد)، عملکرد علوفه (به ترتیب ۲۴/۴ و ۲۴/۲ درصد) و کارایی مصرف آب (به ترتیب ۲۱/۱۵ و ۲۸/۳۵ درصد) شد. کاربرد تیمار اسید جاسمونیک به دلیل کاهش صدمه تنش در مورد عملکرد علوفه تر و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به اسید هیومیک نشان داد. بنابراین، استفاده از اسید جاسمونیک جهت افزایش تحمل به تنش خشکی ذرت علوفه‌ای در مرحله زایشی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی ملایم، تنظیم کننده رشد، رطوبت نسبی برگ، کارایی مصرف آب

مقدمه

کشور می‌تواند نقش مهمی در تأمین علوفه مورد نیاز دام به‌ویژه در فصل زمستان ایفا نماید (۵). علاوه بر این، سیلاژ آن به‌آسانی تهیه می‌شود و یک علوفه خوش‌خوراک با کیفیت پایدار برای دام می‌باشد و انرژی بالاتری نسبت به سایر علوفه‌ها دارا است (۷). گزارش شده است که در گیاه ذرت اعمال تنش می‌تواند عملکرد دانه را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد. در واقع اثرات مستقیم شامل نمونه‌هایی از قبیل مرگ کامل گیاه، تداخل در عمل گرده‌افشانی، پوسیدگی بلال ناشی از خسارت آفات ذرت و اثرات غیر مستقیم خسارت ناشی از تنش، شامل آنهایی است که میزان عملکرد و قابلیت برداشت محصول را کاهش می‌دهند (۲۲).

استفاده از مواد تنظیم کننده رشد و مواد زیستی که شامل ترکیباتی آلی که ماده غذایی نیستند ولی هنگامی که در غلظت کم مورد استفاده قرار گیرند بر فرایندهای فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهی تأثیر می‌گذارند از قبیل اسید جاسمونیک و اسید هیومیک که می‌تواند بسیاری از فرایندهای مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد یکی از روش‌های سریع در افزایش

امروزه نیاز بخش کشاورزی برای تأمین آب در حال افزایش است و در آینده نیز به‌واسطه افزایش جمعیت و همچنین تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان بارندگی‌ها و تبخیر در بسیاری از نواحی، ادامه خواهد یافت. بنابراین، در آینده بخش کشاورزی در رقابت شدید با مصارف دیگر همچون مصرف انسان‌ها، تأسیسات صنعتی، خنک کننده‌ها و دیگر بخش‌ها با بحران جدی در تأمین آب روبه‌رو خواهد شد (۳۵). بطور کلی تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌آید (۳۶) و این نوع تنش یک پدیده مهم و مؤثر بر عملکرد غلات از جمله ذرت است (۱). گیاه ذرت به‌دلیل توانایی تولید بالا و سازگاری در اکثر مناطق

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(*) نویسنده مسئول:

(Email: Falah1357@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62540

با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۱۱۶ متر از سطح دریا) اجرا گردید.

برای مشخص شدن خواص فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از عملیات اجرایی نمونه برداری و تجربه و تحلیل خاک صورت گرفت بافت خاک لومی رسی، قابلیت هدایت الکتریکی و pH آن به ترتیب ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ۸/۱ بود. میزان نیتروژن کل آن ۰/۰۶ درصد و میزان فسفر و پتاسیم قابل استفاده آن نیز به ترتیب ۱۹/۱ و ۳۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان ماده آلی خاک ۱/۰۱ درصد بود. براساس نتایج آزمایش خاک، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در نظر گرفته شد.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. سطوح تنش خشکی (بدون تنش (رطوبت ظرفیت مزرعه)، تنش ملایم (۰/۷۵ رطوبت ظرفیت مزرعه) و تنش شدید (۰/۵۰ رطوبت ظرفیت مزرعه)) در کرت‌های اصلی و نوع تنظیم‌کننده رشد (بدون تنظیم‌کننده رشد، اسید جاسمونیک و اسید هیومیک) در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط بدون تنظیم‌کننده رشد، از آب مقطر استفاده شد. محلول پاشی با اسید جاسمونیک ۱۰ میکرومولار و اسید هیومیک به مقدار ۱۵۰۰ گرم در هکتار در گرده‌افشانی ذرت انجام شد. از اسید جاسمونیک ساخت شرکت SIGMA-ALDRICH با خلوص بیش از ۹۷ درصد و اسید هیومیک (Humus WSC90) ساخت شرکت Organit با خلوص ۸۰ درصد استفاده شد.

در بهار پس از شخم بهاره عملیات تسطیح زمین و کودپاشی عناصر بر حسب آزمون خاک انجام شد. سپس کرت‌هایی به ابعاد (۵ در ۳ متر) ایجاد شد و پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و قبل از کشت، بذور ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با سم ایمیداکلوپراید (گاچو) به میزان ۷۵ گرم در کیلوگرم بذر ضدعفونی شد. عملیات کاشت در ۵ تیر ماه صورت گرفت و بذرها در رأس پشته و به فاصله ۱۲ سانتی‌متر از هم کاشته شد. یک سوم کود نیتروژن (۶۶/۵ کیلوگرم در هکتار) همزمان با کشت و دوسوم کود نیتروژن به صورت سرک (در مرحله ۷-۵ برگی) مورد استفاده قرار گرفت. تیمار تنش خشکی از مرحله ۵ برگی گیاه شروع و تا انتهای دوره رشد ادامه یافت و محلول پاشی با مواد مورد نظر در مرحله گرده‌افشانی اعمال شد.

تعیین مقدار آب مورد نیاز هر تیمار با توجه به فرمول شماره (۱) محاسبه و برای هر بار آبیاری، آب مورد نیاز هر تیمار توسط آبیاری نواری تأمین و توسط کنتور اندازه‌گیری شد. به منظور اعمال تنش خشکی، کل آب قابل استفاده گیاه از روش ردی و همکاران محاسبه شد (۲۵):

$$TAW = ((FC - PWP)/100) \times \gamma \times Z_r \times 1000 \quad (1)$$

FC = رطوبت حجمی ظرفیت زراعی مزرعه (%), PWP = رطوبت

تحميل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است (۹). در دهه ۱۹۶۰ جاسمونات به عنوان متابولیت‌های ثانویه در اسانس گیاه گل یاس مشاهده شد. دو دهه پس از شناسایی اولیه جاسمونات‌ها تأثیر فیزیولوژیکی آنها شناسایی و به عنوان ترکیبات پیش‌برنده پیری، بازدارنده رشد و محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گیاهان عالی، شناخته شدند (۱۸). اسید جاسمونیک ترکیبی مشتق شده از اسید چرب لینولئیک اسید است، مهم‌ترین نقش اسید جاسمونیک بسته شدن روزنه‌ها، تقسیم سلولی، رشد گیاه و فعالیت‌های فتوسنتزی است که نتیجه آن ممانعت از رشد، پیری زودرس و ریزش برگ گیاه می‌باشد. از طرفی این ترکیبات به عنوان پیام‌رسان کلیدی معرفی شده و در فرآیند القاء منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (۲۹).

اسید هیومیک یک پلی‌مر طبیعی است که دارای موضع‌های H^+ مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) می‌باشد. این اسید یک ماکرومولکول پیچیده آلی می‌باشد که با پدیده شیمیایی و باکتریایی در خاک تشکیل می‌شود و نتیجه نهایی عمل هومیفیکاسیون است (۳۰). مواد هیومیکی شامل سه دسته اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین می‌باشند. اسید هیومیک به طور طبیعی در ترکیبات خاک، پیت، زغال سنگ و غیره وجود دارد (۳۲).

اسید هیومیک حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی از طریق اثرات هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی، سبب افزایش بیوماس ریشه و اندام هوایی می‌شود. مواد آلی نقش اساسی در کیفیت خاک دارند. مواد هوموسی به عنوان مهم‌ترین بخش مواد آلی به طور مستقیم روی رهاسازی عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت بافری فسفر و ابقاء مولکول‌های آلی فلزی و سمی نقش اساسی دارند. تا مدت‌ها تصور می‌شد که اثرات تحریک کنندگی مواد هوموسی شبیه به هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و اسید آبسزیک است ولی بعداً مشخص شد که اثرات مواد هوموسی در ارتباط مستقیم با افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف مثل نیتروژن، فسفر، گوگرد و عناصر غذایی کم مصرف مثل مس، منگنز، روی، آهن می‌باشد (۱۲). مواد هوموسی جذب روی سطح کانی‌ها را از طریق تحریک و افزودن فعالیت میکروبیولوژی زیاد می‌کند (۱۲).

بخش عمده رشد گیاه ذرت طی فصل تابستان است و دوره گرده‌افشانی و پرشدن دانه آن همزمان با اوج کمبود منابع آب است. از این رو، در این آزمایش اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد

حجمی نقطه پژمردگی دائم (%)،

γ = وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)، Z_r = عمق ریشه (متر).

رطوبت سهل الوصول نیز از این رابطه محاسبه گردید:

$$RAW = P \times TAW \quad (2)$$

RAW = رطوبت سهل الوصول.

P = ضریب سهل الوصول بوده و کوچکتر از یک است. مقدار P به نوع گیاه و مرحله رشد گیاه بستگی دارد، که برای ذرت ۰/۵ در نظر گرفته می شود (۲۷).

و برای تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نیز، حجم آب آبیاری مشخص گردید. در مرحله گلدهی با انتخاب تصادفی سه بوته از هر کرت و سپس از برگ پرچم بوته‌ها نمونه کافی برای تعیین کلروفیل a ، کلروفیل b ، کاروتنوئید، رطوبت نسبی برگ، میزان پرولین تهیه شد.

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a و b از روش آرنون (۲) و برای کاروتنوئیدها از روش لیختن‌تالر و ولبورن استفاده شد (۲۲). برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش بیتس و همکاران (۳) و برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ نیز از روش ریتچی و همکاران استفاده گردید (۲۸). برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از عکس‌های تهیه شده به‌صورت عمودی با دوربین دیجیتال از فاصله یک متری از برگ‌های هر تیمار و استفاده از نرم‌افزار دیجی مایزر سطح برگ‌های هر تیمار محاسبه و با تقسیم کردن آن بر مساحت مورد نظر، بدست آمد.

برداشت علوفه با ظهور خط شیری یک سوم تا دوسوم دانه (۲۱) در اواخر شهریور ماه صورت گرفت. بوته‌های دو خط میانی هر کرت فرعی (خطوط عملکرد) با در نظر گرفتن حاشیه از سطح زمین، کف بر شدند. سپس وزن تر برگ، ساقه و بلال و عملکرد علوفه تر تهیه شد. با محاسبه میزان آب ورودی هر کرت، کارایی مصرف آب (نسبت عملکرد به آب مصرفی) محاسبه شد (۳۸).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. اثرات متقابل معنی‌دار تیمارهای آزمایشی نیز توسط نرم افزار MSTAT-C مقایسه شدند. مقایسه میانگین تیمارها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

رطوبت نسبی برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی بر رطوبت نسبی برگ در زمان ظهور برگ پرچم نشان داده که اثر رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل آنها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱)،

میانگین محتوای رطوبت نسبی برگ در سطوح مختلف تنش آبی متفاوت و این خصوصیت در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد تنش خشکی ۵۰ درصد کمتر از آبیاری مطلوب بود.

محتوای نسبی آب برگ، شاخصی برای نشان دادن آسیب ناشی از تنش خشکی معرفی شده است، به‌طوری که محتوای نسبی آب بیشتر سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (۱۰).

با توجه به مقایسه میانگین (شکل ۱) برای صفت رطوبت نسبی برگ و با توجه به تفاوت معنی‌دار حاصله، مشاهده شد که در شرایط بدون تنش تیمار اسید جاسمونیک برتری معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم و تنش شدید هم تیمار اسید جاسمونیک در محلول‌پاشی به ترتیب با (۱۱۹/۶ و ۶۸/۲ درصد) تأثیر مثبت و پس از آن اسید هیومیک بیش‌ترین اثر را از خود به‌جای گذاشت.

بسیاری از محققان بر این عقیده‌اند که کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کم‌آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسزیک اسید می‌دانند. به‌طوری که در شرایط تنش خشکی این هورمون در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد و هم‌چنین به‌نظر می‌رسد بین میزان محتوای رطوبت نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد. به‌طوری که کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش باعث کاهش میزان محتوای رطوبت نسبی برگ می‌شوند (۱۷). پس دور از انتظار نیست که استفاده از مواد تنظیم کننده رشد نسبت به شاهد برتری داشته باشد، از طرفی در آبیاری بدون تنش، بیش‌ترین میزان رطوبت نسبی برگ وجود داشت که نشان دهنده رابطه عکس بین تنش خشکی و رطوبت جذب شده در ساختار گیاه تحت شرایط محیطی اعمال شده و کمبود آب در دسترس برای گیاه است. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی در شرایط تنش توانسته باشد دسترسی بیشتر رطوبت خاک را فراهم آورد یا تحمل گیاه را بیشتر نماید.

پرولین

نتایج تجزیه واریانس طبق جدول ۱ حاکی از آن است که اثر اصلی تنش خشکی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر صفت فوق در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

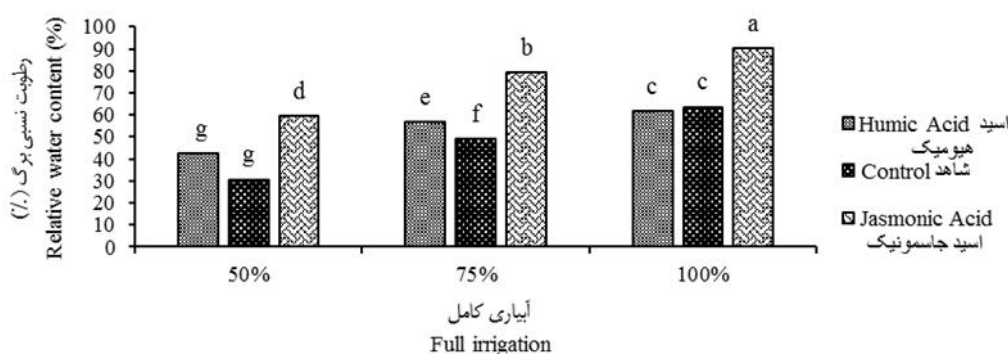
طبق یک قاعده کلی همگام با کاهش پتانسیل آب، غلظت هورمون‌های گیاهی نیز تغییر می‌کند. در شرایط تنش خشکی ملایم یا شدید، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش یافته و این هورمون به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلول کاهش دهنده پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم، عمل نمی‌نماید بلکه تحمل گیاه را به تنش افزایش می‌دهد (۳۴).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر رطوبت نسبی برگ، پرولین و رنگدانه‌های فتوسنتزی ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

Table 1- Analysis of variance effects of jasmonic acid and humic acid on relative humidity leaf, proline and photosynthetic pigments of forage maize under different regimes moisture

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares				
		رطوبت نسبی برگ Relative water content	پرولین Proline	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid
بلوک (R) Replication	2	18.6 ^{ns}	5.95 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.04 ^{ns}
تنش خشکی (D) Drought stress	2	2855.9 ^{**}	744.01 ^{**}	16.04 ^{**}	1.52 ^{**}	2.38 ^{**}
خطای a Error a	4	17.04	2.54	0.14	0.01	0.04
تنظیم کننده رشد (GR) Growth regulator	2	5257.01 ^{**}	19.84 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1.09 ^{**}
D × GR	4	1893.8 ^{**}	73.84 ^{**}	0.13 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.71 ^{**}
خطای b Error b	12	7	3.42	0.22	0.01	0.02
ضریب تغییرات (%) CV(%)		4.86	5.97	5.37	4.10	17.03

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند
ns, * and **: Non significant, significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively



شکل ۱- اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول پاشی بر رطوبت نسبی برگ ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 1- Effect of water regime and foliar application interaction on relative water content of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

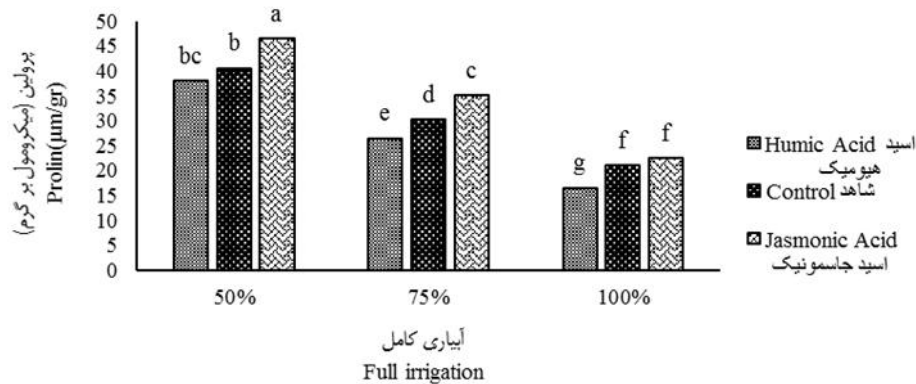
در محلول پاشی‌ها و در سطوح مختلف تنش از خود بجای گذاشته است.

براساس نتایج تحقیقات پیشین در طی بروز تنش خشکی بر مقدار پرولین افزوده می‌شود. احتمالاً دلیل افزایش پرولین طی تنش خشکی این است که پرولین اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده که احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرو ملکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد (۱۶). تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه

میزان تجمع پرولین در بین تیمارهای محلول پاشی تفاوت معنی‌داری داشت. اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول پاشی در شکل ۲ بیانگر آن است که تجمع پرولین در شرایط بدون تنش و تیمار اسید جاسمونیک بدون تفاوت معنی‌دار با شاهد نسبت به اسید هیومیک اثر افزایشی را داشته و در شرایط تنش ملایم باز هم این تیمار با ۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد دارای بیش‌ترین تأثیر و اسید هیومیک بی‌تأثیر بود. در شرایط تنش شدید، تیمار اسید جاسمونیک با ۱۴/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد بیش‌ترین تأثیر را در بین مواد بکار رفته

می‌شود (۱۴).

برای گیاه را فراهم کرده ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و منجر به کاهش عملکرد گیاهان



شکل ۲- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر پرولین ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 2- Effect of water regime and foliar application interaction on proline content of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

کلروفیل

کاروتنوئیدها

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثرات اصلی رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر کاروتنوئیدها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با توجه به مقایسه میانگین‌ها می‌توان اظهار نمود که بیش‌ترین میزان کاروتنوئیدها در شرایط تنش شدید و در شرایط محلول‌پاشی با اسید هیومیک بوده است. علاوه بر این، اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی در شکل ۴ گویای آن است که در تنش شدید کم‌ترین میزان کاروتنوئیدها در تیمار جاسمونیک اسید و بیش‌ترین آن در تیمار اسید هیومیک بوده است، هرچند که این افزایش در میزان کاروتنوئید معنی‌دار نبود. زودان (۴۰) دریافت که اسپری برگ‌های گندم با اسید هیومیک و فولویک در مزرعه و گلخانه سبب افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها شد.

در شرایط بدون تنش اسید هیومیک اثر معنی‌داری نداشت و اسید جاسمونیک نیز بی‌تأثیر بود. ولیکن در شرایط تنش ملایم و شدید، اسید هیومیک به ترتیب (با ۲۱ و ۱۱/۲ درصد افزایش) نسبت به شاهد اثر تنش را تعدیل نمود، در این شرایط اسید جاسمونیک در تنش شدید دارای اثر منفی و در تنش ملایم بی‌تأثیر بود.

در زمان فتوسنتز، کاروتنوئیدها به‌عنوان محافظ کلروفیل گیاه عمل می‌کنند به‌طوری‌که با رشد گیاه و ظهور رنگ نهایی همگام با کاهش کلروفیل، میزان کاروتنوئید زیاد می‌شود (۸). با توجه به کاهش کلروفیل a و b در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش

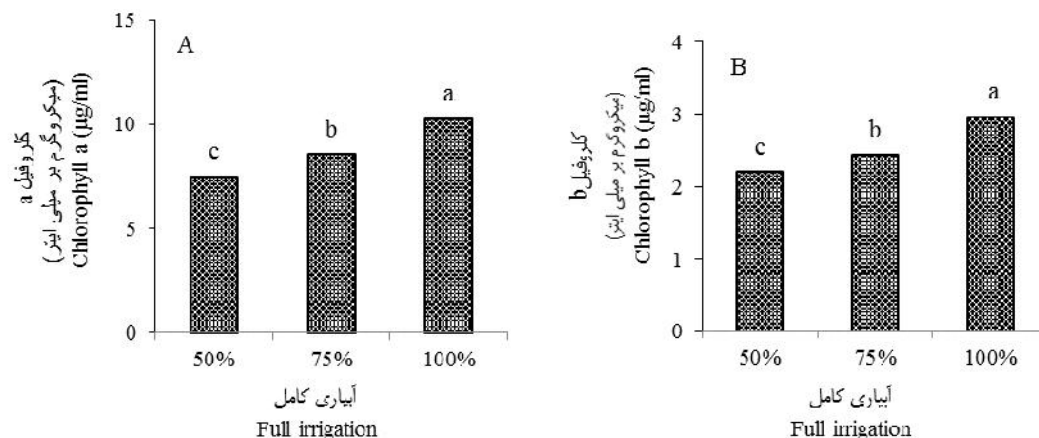
اثر اصلی رژیم رطوبتی بر کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر اصلی محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر میزان کلروفیل a و b در گیاه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۱) و (شکل ۳ A و B).

با توجه به مقایسه میانگین‌ها، می‌توان اظهار نظر کرد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a و b در شرایط بدون تنش بود و این تفاوت به ترتیب برای موارد فوق نسبت به شرایط تنش شدید ۳۵/۴ و ۳۸/۴ درصد افزایش داشته است.

کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (۱۹). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به‌شمار می‌آید. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. در واقع کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌شود، زیرا این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (۳۳). نشان داده شد که تخلیه رطوبتی خاک بر شاخص کلروفیل و کلروفیل a و b در ذرت سینگل کراس ۲۶۰ تأثیرگذار بود (۱۵). علاوه بر این، تحت تأثیر خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین رنگدانه b که محافظت‌کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفاز باشد (۳۵).

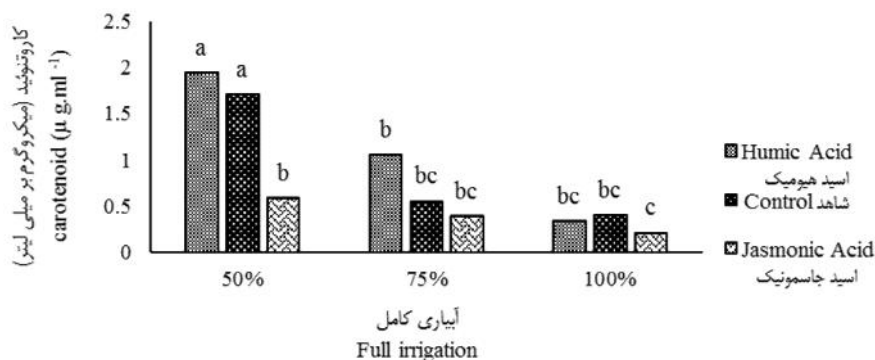
تخریب کمتر کلروفیل بوده است.

می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کاروتنوئیدها در این تیمار به دلیل



شکل ۳- اثر رژیم رطوبتی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل b ذرت علوفه‌ای (A و B). میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری دارند

Figure 3- Effect of water regime on the chlorophyll a and chlorophyll b in forage maize (A, B). Mean values followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ by LSD



شکل ۴- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر کاروتنوئید ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 4- Effect of water regime and foliar application interaction on carotenoid content of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

کاهش سطح برگ به واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش کلروپلاست و در نتیجه زرد و نکروزه شدن سریع برگ‌ها در شرایط کمبود رطوبت خاک دلالت می‌کنند که به‌عنوان مکانیسمی برای سازگاری به خشکی به‌شمار می‌آید (۱۱ و ۱۳). به‌نظر می‌رسد اثر تنش در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردید.

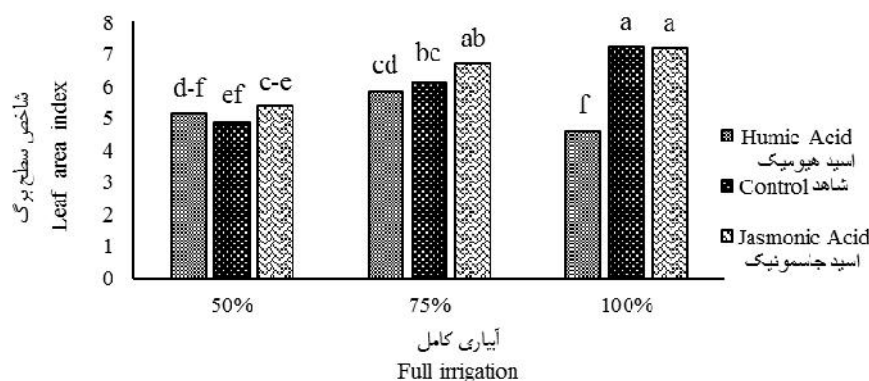
با اعمال تیمار اسید جاسمونیک بیش‌ترین میزان سطح برگ حاصل شد (افزایش ۱۵/۸ درصد)، مطابق با شکل ۵ و با توجه به اثر متقابل تنش آبی و محلول‌پاشی، در شرایط بدون تنش اسید جاسمونیک بی‌تأثیر و اسید هیومیک دارای اثر منفی بود. در تنش

شاخص سطح برگ

مطابق با جدول ۲ در این پژوهش تنش خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار (۱۰/۵ درصد) شاخص سطح برگ در مقایسه با آبیاری مطلوب گشت. مشاهده شد که شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر رژیم رطوبتی و در سطح احتمال ۱ درصد متأثر از اثر اصلی محلول‌پاشی و اثر متقابل این دو واقع شد. یافته‌های کاکر (۴) نیز مؤید همین موضوع است و اظهار داشت که میان گسترش و توسعه سطح برگ و آب موجود در گیاه همبستگی مثبت وجود دارد، به‌طوری‌که در گیاه تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. نتایج آزمایشات صورت گرفته سایر محققان نیز بر

فاقد اثرگذاری بود. اثر تنش خشکی در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردیده، کلروفیل‌سازی در کمبودهای شدید متوقف شده و شاخص سطح برگ را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد (۱۹).

ملایم (۷۵ درصد آبیاری نرمال) هر دو تیمار بدون اختلاف، بی‌تأثیر بودند و در تنش شدید اسید جاسمونیک بدون تفاوت معنی‌دار در مقایسه با تیمار شاهد، باعث افزایش شاخص سطح برگ (۱۰/۹ درصد) در آزمایش مورد بررسی شد و اسید هیومیک نیز در این شرایط



شکل ۵- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 5- Effect of water regime and foliar application interaction on leaf area index of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ، وزن برگ، وزن ساقه، وزن بلال، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

Table 2- Analysis of variance effects of jasmonic acid and humic acid on leaf area index, leaf weight, stem weight, ear weight, forage yield and water use efficiency of forage maize under different regimes moisture

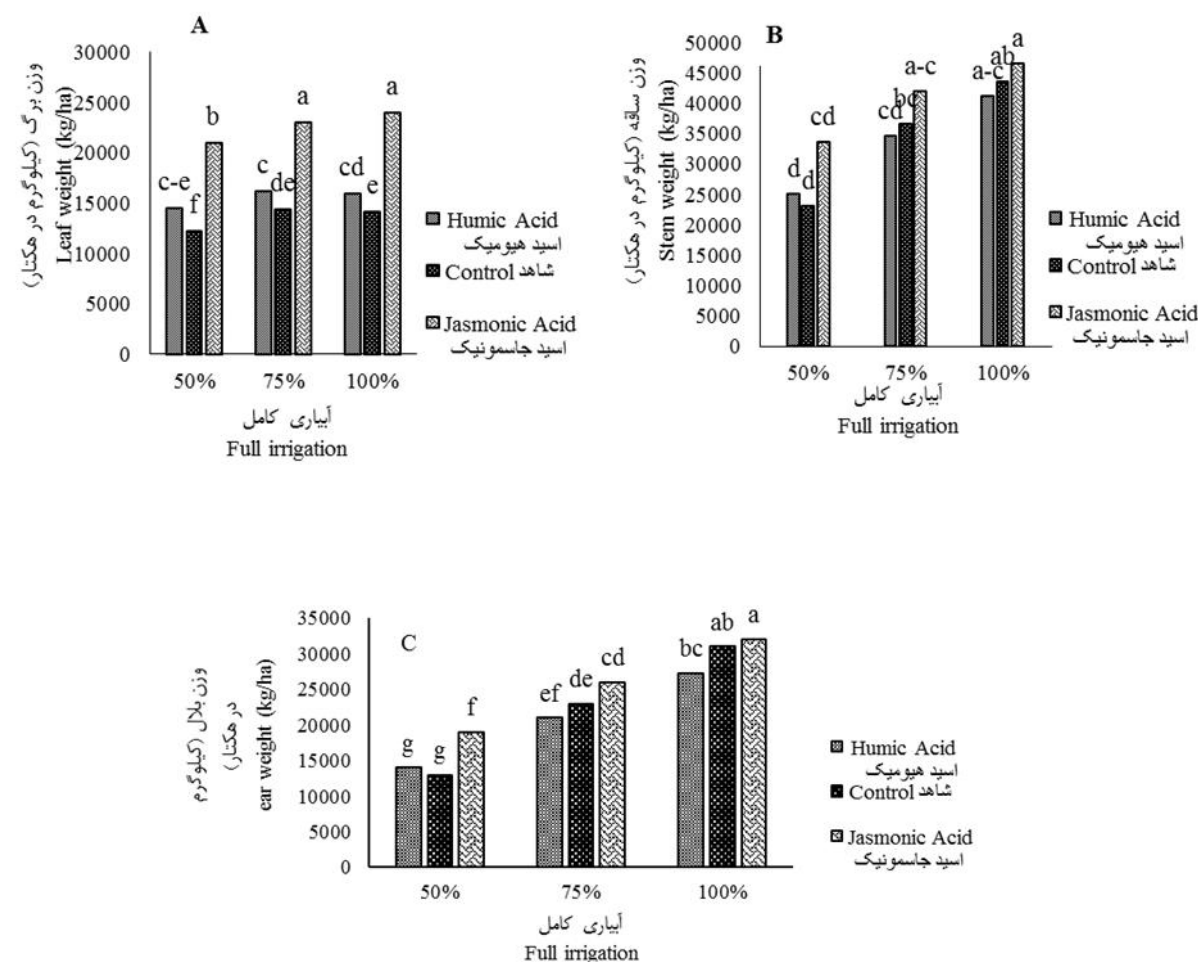
منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن برگ Leaf weight	وزن ساقه Stem weight	وزن بلال Ear weight	عملکرد علوفه Forage yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک (R) Replication	2	0.35 ^{ns}	354745 ^{ns}	101321759*	21527778 ^{ns}	235238611 ^{ns}	1.68 ^{ns}
تنش خشکی (D) Drought stress	2	1.78*	5472801 ^{ns}	231043982**	45250000**	1027796944**	66.79**
خطای a Error a	4	0.13	1146412	9446759	7902778	35939722	0.55
تنظیم کننده رشد (GR) Growth regulator	2	2.71**	85764468**	47127315 ^{ns}	23312500*	446460278**	1.46*
D × GR	4	2.29**	5405093**	205939815**	104187500**	465033056**	2.70**
خطای b Error b	12	0.18	1023148	25530093	4881944	43482407	0.31
ضریب تغییرات (%) CV(%)		7.5	6.15	13.24	9.08	8.67	9.67

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند

ns, * and **: Non significant, significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

وزن برگ

بنابر جدول ۲ وزن تر برگ تحت تأثیر اثر اصلی محلول پاشی و اثر متقابل تنش و محلول پاشی واقع شد ($P < 0.01$). واکنش وزن تر برگ به مواد به کار رفته در محلول پاشی نیز متفاوت از هم بود. هرچند برای وزن تر برگ با اعمال تنش بیشتر، میزان وزن گیری برگ ها کاهش یافت ولی در شرایط بدون تنش، تحت تنش ملایم (۷۵ درصد بدون تنش) و تنش شدید مواد به کار رفته در محلول پاشی تأثیر



شکل ۶- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول پاشی بر وزن برگ (الف)، ساقه (ب) و بلال (ج) ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 6- Effect of water regime and foliar application interaction on leaf weight (A), stem weight (B), and ear weight (C) of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

واقع شد (۲۰/۵ درصد کاهش در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش) و اثر متقابل این دو عامل نیز بر صفت مذکور پاسخ معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.01$)، (جدول ۲). برای وزن تر ساقه، در

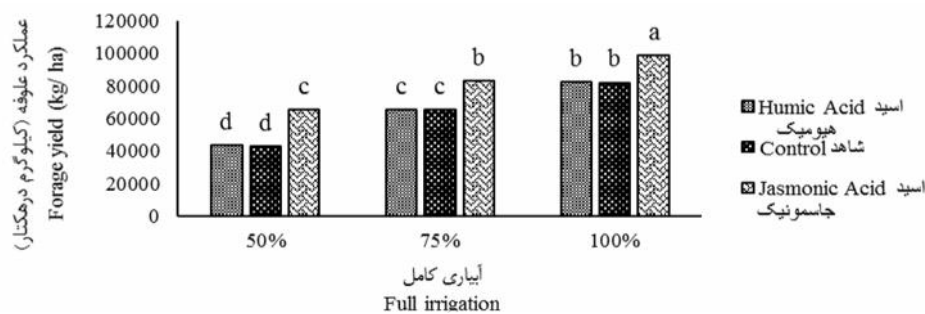
وزن ساقه

اثر تیمار محلول پاشی بر وزن تر ساقه در زمان برداشت معنی‌دار نبود، وزن تر ساقه تحت تأثیر رژیم رطوبتی در سطح احتمال ۱ درصد

می‌افتد به نظر می‌رسد که تیمار اسید جاسمونیک با حفظ سطح بالایی از پروتئین و رطوبت نسبی موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه کاهش اثرات تنش خشکی بر وزن بلال شده است.

عملکرد علوفه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داد که اثر اصلی رژیم رطوبتی در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها بر عملکرد علوفه تر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، که نظر اسپورن و همکاران (۲۴) را تأیید می‌نماید. شکل ۷ بیانگر این مطلب است که برای عملکرد علوفه تر در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و شدید، اسید جاسمونیک برتری معنی‌داری را نشان داد (به ترتیب با 20/4، 24/4 و ۳۸/۱ درصد افزایش) و اسید هیومیک بی‌تأثیر بود. همچنین میانگین عملکرد علوفه تر در سطوح مختلف تنش آبی متفاوت بوده و عملکرد علوفه تر در تیمار بدون تنش 21 کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار تنش شدید بیشتر بود. کاهش عملکرد علوفه تر در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش معنی‌دار وزن بلال و برگ‌ها باشد. در شرایط بدون تنش و تنش ملایم اعمال محلول‌پاشی اسید جاسمونیک موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت شده است. این افزایش به دلیل افزایش معنی‌دار وزن برگ و عمدتاً وزن بلال است (شکل ۷). بنابراین نقش بیشتر بلال در عملکرد تولیدی تیمار اسید جاسمونیک می‌تواند بیانگر افزایش کیفیت پروتئینی علوفه باشد زیرا میزان و کیفیت پروتئین دانه بیشتر از پروتئین برگ و ساقه است. کوسکولولا و فکت (۶) نیز بر این موضوع تأکید کردند که کاهش عملکرد در اثر تنش کمبود آب، ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه در اثر کاهش پتانسیل آب برگ و سطوح فعال فتوسنتزی بوده است. یانگ و همکاران (۳۹) نیز محدودیت کربوهیدراتی، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه و بلال را از دلایل کاهش عملکرد ماده خشک بیان کردند.



شکل ۷- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 7- Effect of water regime and foliar application interaction on yield of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

مورد مواد به کار رفته در محلول‌پاشی تحت شرایط بدون تنش و تنش ملایم می‌توان گفت که اسید جاسمونیک نسبت به اسید هیومیک اثر مثبت داشت ولیکن هر دو ماده نسبت به شاهد بی‌اثر بودند. تحت تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری نرمال) تأثیر محلول‌پاشی اسید جاسمونیک با اسید هیومیک یکسان و نسبت به شاهد اثر مثبت از خود نشان ندادند و نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۷). نیسانی و همکاران (۲۳) نیز ثابت کردند که وزن تر ساقه و بلال از لحاظ آماری تحت تأثیر تنش خشکی بوده است. رضایی استخرویه و همکاران (۲۶) اظهار داشتند تنش خشکی بر وزن تر اندام هوایی ذرت معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن تر در تیمار آبیاری در تمام فصل رشد گیاه و کم‌ترین آن در تیمار سه بار آبیاری در طول فصل رشد مشاهده شد. معمولاً در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش توسعه برگ‌ها، ساقه و کاهش میزان تجمع مواد ذخیره‌ای در این اندام‌ها از وزن تر کاسته می‌شود (۲۰). اعمال تنش خشکی در مرحله گرده افشانی موجب محدودیت کربوهیدراتی و عدم تکامل، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص، تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه، بلال و عملکرد دانه شد (۳۱).

وزن بلال

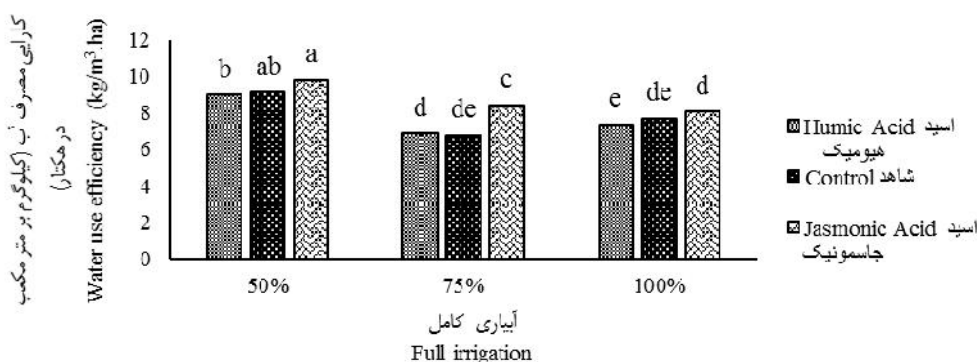
اثر تیمار رژیم رطوبتی بر وزن تر بلال در زمان برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش ۴۵/۷ درصد کاهش نشان داد. وزن تر بلال تحت تأثیر محلول‌پاشی ($P < 0.05$) و اثر متقابل رژیم رطوبتی نیز بر صفت مذکور در سطح ۱ درصد پاسخ معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). در مورد وزن بلال شاهد آن بودیم که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، اسید جاسمونیک با داشتن اثر خنثی در برابر شاهد نسبت به اسید هیومیک اثری افزایشی داشت و تیمار اسید هیومیک نیز نسبت به شاهد بی‌اثر بود. اما در شرایط تنش شدید تیمار اسید جاسمونیک با داشتن تفاوت معنی‌دار نسبت دیگران، برتری از خود نشان داد (شکل ۷). از آنجایی که وزن‌گیری بلال در انتهای مراحل رشد گیاه اتفاق

تأثیر مطلوبی در تعدیل کردن تنش وارده به گیاه ذرت داشت و در شرایط تنش شدید اسید جاسمونیک و اسید هیومیک نسبت به شاهد اثر معنی‌داری نداشتند. هر عامل مدیریتی که بدون افزایش تبخیر و تعرق محدودیت‌های رشد گیاه را کاهش یا تعدیل دهد مسلماً باعث افزایش عملکرد و بازده مصرف آب خواهد شد (۱۹). از این دسته می‌توان به کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد به صورت خارجی اشاره نمود. لذا در شرایط تنش شدید نسبت به بدون تنش، کاهش تعرق، کمتر بودن سطح برگ و عدم وجود موانع زیاده‌تر در برابر تبخیر بیشتر از سطح خاک، دریافت نور کمتر به منظور فتوسنتز و دسترسی کمتر به آب منجر به کارایی مصرف آب کمتر به طور قابل ملاحظه‌ای می‌شود (۱۹).

کارایی مصرف آب

اثر اصلی رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی کارایی مصرف آب در علوفه تر را در سطح احتمال ۱ درصد متأثر نمود (جدول ۲). با توجه به کاهش میزان آب مورد نیاز گیاه و تولید ماده خشک حاصله بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب مشاهده شده در تیمار بدون تنش مشاهده شد. لازم به ذکر است در بین مواد محلول‌پاشی شده، اسید جاسمونیک بیش‌ترین تأثیر را در بالا بردن کارایی مصرف آب داشته است.

مقایسه بین عکس‌العمل تنش آبی و محلول‌پاشی در خصوص کارایی مصرف آب (شکل ۸) نشان داد که در شرایط بدون تنش اسید جاسمونیک و اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند. در شرایط تنش ملایم، اسید جاسمونیک با ۲۴/۷۴ درصد افزایش،



شکل ۸- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 8- Effect of water regime and foliar application interaction on Water use efficiency of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at $P < 0.05$ by LSD

پارامترهای مختلف از جمله رطوبت نسبی برگ، پرولین، شاخص سطح برگ و وزن تر ساقه، بلال و برگ پاسخ مناسبی نسبت به کاربرد اسید جاسمونیک به صورت خارجی و محلول‌پاشی از خود نشان دادند. بنابراین آثار مثبت کاربرد اسید جاسمونیک به صورت محلول‌پاشی، کاهش صدمه تنش بر تولید علوفه و کارایی مصرف آب در شرایط تنش ملایم با داشتن تفاوت معنی‌داری نسبت به اسید هیومیک بیانگر این است که کاربرد این ماده می‌تواند در افزایش تولید و کیفیت علوفه سیلویی ذرت در سطح متوسط تنش خشکی مفید باشد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ذرت علوفه‌ای دارد. به طوری که بروز تنش خشکی شدید (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) عملکرد علوفه تر را به دلیل کاهش وزن برگ و بلال کاهش داد. بیش‌ترین نتایج مثبت اثر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد ذرت در شرایط تنش ملایم حاصل گردید، و تأثیر تعدیل‌کنندگی آنها در شرایط تنش خشکی در تولید محصول عمدتاً در مورد اسید جاسمونیک مشاهده شد. در این تحقیق

منابع

- 1- Altenbach S.B., Du Pont F.M., Kothari K.M., Chan R., Johnson E.L., and Lieu D. 2003. Temperature, water and

- fertilizer influence the timing of key events during grain development in US Spring wheat. *Journal of Cereal Science*, 37(1):9-20.
- 2- Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23:112-121.
 - 3- Bates L.S., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39:205-207.
 - 4- Cakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89:1-16.
 - 5- Chougan R. 1996. Review and compare the performance and yield components of hybrid varieties of maize silage. *Seed and Plant Journal*, 12:36-40. (in Persian).
 - 6- Cosculleola F., and Fact J.M. 1992. Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield function in respect to water using a line source sprinkler. *Field Crops. Abstract*, 93:5611-5612.
 - 7- Curran B., and Posch J. 2000. Agronomic management of silage for yield and quality: silage cutting height. *Crop Insights*. 10(2). Pioneer Hi-bred International .INC.
 - 8- Deman J.M. 1999. *Principles of Food Chemistry* (3th ed). Aspen publishers, Inc. Maryland.
 - 9- El-Tayeb M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45:215-225.
 - 10- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., and Basra S.M. 2009. Plant drought stress: effects mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 185-212.
 - 11- Flagella Z., Rotunno T., Tarantino E., Di Caterina R., and De Caro A. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*, 17: 221-230.
 - 12- Forghany A., and javanmard E. 2005. Humic and fulvic acid additive effect of the different soils. 9th Congress of Iranian soil science. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 28-۳۱ July. 20۰5. Soc., Karaj, Iran.
 - 13- Gavloski J.E., Whitfield G.H., and Ellis C.R. 1992. Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 72(2): 361-368.
 - 14- Good A.G., and Zaplachinski S.T. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiological Plantarum*, 90:9-14.
 - 15- Haghjoo M., and bohrani A. 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry matter remobilization of maize cv. SC260. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4(16):278-292. (in Persian).
 - 16- Heuer B. 1994. Osmoregulatory role of prolin in water stress and salt-stressed plants. pp. 363-481. In: M. Pessarkli (ed.), *Handbook of Plant and Crop stress*. Marcel Dekker Pub, New York.
 - 17- Khan H.U., Link W., Hhocking T., and Stoddard F. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in fababeen (*vicia faba* L.). *Plant and Soil*, 292:205-217.
 - 18- Koo A.J.K., and Howe G.A. 2009. The wound hormone jasmonate. *Phytochemistry*, 70:1571-1580.
 - 19- Koocheki A., and Sarmadnia G.H. 1999. *Crop Physiology* (Translation). ACECR of Mashhad.
 - 20- Lamm F. 2004. Corn production as related to sprinkler irrigation capacity. 16th annual central plains irrigation conference, 17-18 Feb. 2004. Soc., Kearney, Nebraska.
 - 21- Leoni L., Ambrosia C., Petrucca A., and Visca P. 2002. Transcriptional regulation of pseudo actin synthesis in the plant growth promoting pseudomonas B10. *FEMS Microbiology Letters*, 208(2): 219-225.
 - 22- Lichtenthaler H.K., and Wellburn A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5):591-592.
 - 23- Neisani S., Fallah S., and Raiesi F. 2012. The Effect of Poultry manure and urea on agronomic characters of forage maize under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 21(4):63-74. (in Persian with English abstract).
 - 24- Osborne S.L., Schepper J.S., Francis D.D., and Schlemmer M.R. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water- stressed corn. *Crop Science*, 42:165-171.
 - 25- Reddy G.R.C., and Vittala S.S. 2014. Water use efficiency through drip irrigation in water scarcity area-a case study. In: *Proceedings of 4th international conference*.
 - 26- Rezaei estakhroee A., Boroomandnasab S., Hooshmand A., and Khangani M. 2012. Effects of deficit irrigation and partial root zone drying on morphological and physiological characteristics of corn. *Iranian of Irrigation & Water Engineering*, 2(6):67-76. (in Persian).
 - 27- Richard G.A., Pereira S., Rae's D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. No. 56, Rome Italy.
 - 28- Ritchie S.W., Nguyun H.T., and Holaday A.S. 1990. Leaf Water Content and Gas-Exchange Parameters of Two Wheat Genotypes Differing in Drought Resistance. *Crop Science*, 30(1):105-111.

- 29- Rubio V., Bustos R., Luisa M., Irigoyen L., Cardona-Lopez X., Rojas-Triana M., and Paz-Ares J. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*, 69:361-373.
- 30- Samavat S., and Malakoti M.J. 2005. The necessity of using organic acids (humic and Fluvic) to increase the quantity and quality of agricultural products. Technical Bulletin 463, Soil and Water Research Institute, Press the Sana.
- 31- Schussler J.R., and Westgate M.E. 1991. Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. *Crop Science*, 31(5):1196-1203.
- 32- Sharif M., Khattak R.A., and Sarir M.S. 2002. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33:3567-3580.
- 33- Sheteawi S.A., and Tawfik K.M. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mungbean (*Vigna radiat*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(3):251-262.
- 34- Stewart C.R. 1982. The physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. In: L.G. Paleg and D. Aspinall (eds.), Academic Press, New York.
- 35- Tambussi E.A., Bartoli C.G., Beltrano J., Guiamet J.J., and Araus J.L. 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiologia Plantarum*, 108:398-404.
- 36- Tardieu F. 2005. Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus Geoscience*, 337:57-67.
- 37- Turhan H., and Baser I. 2004. In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianthus annus* L.). *HELIA*, 27:227-236.
- 38- Turner N.C. 1987. Crop water deficits: a decade of progress. *Advances in Agronomy*, 39:1-51.
- 39- Yang C.M., Fan M.J., and Hsiang W.M. 1993. Growth and yield responses of maize (*Zeamays* L.) to soil water deficits. II. Effects of water deficit timing and strength. *Journal of Agricultural Research of China*, 42(2):173-186.
- 40- Zudan X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. *Australian. Journal of Agricultural Research*, 37: 343-350.



Effects of Jasmonic Acid and Humic Acid to Mitigate Drought Stress Effect During Pollination of Forage Maize

E. Madadi¹- S. Fallah^{2*}

Received: 13-03-2017

Accepted: 22-07-2017

Introduction: Drought stress is one of the most important limiting factors for plant growth in the arid and semi-arid regions. This stress affecting crop production such as maize (*Zea mays* L.). Maize can play an important role in providing forage for silage animals, especially in the winter season in most parts of Iran due to high production capability. The application of plant growth regulators such as jasmonic acid and humic acid is one of the fastest ways to increase crop tolerance to environmental stresses viz. drought stress. The role of these acids is to prevent aging and falling of leaves, hormonal effects and improve nutrient uptake, which leads to increase of root and shoot biomass. Due to the expansion of industrial livestock, maize silage supply is essential. On the other hand, maize pollination and grain filling occur in the summer season and it overlaps with the peak of water limitation. Thus, in this experiment, the effect of jasmonic acid and humic acid on morpho-physiological characteristics and water use efficiency of forage maize under drought stress were studied.

Materials and Methods: In order to investigate the effects of jasmonic acid and humic acid to mitigate the impact of drought stress during pollination of forage maize (KSC 704), an experiment was conducted in research farm of the Shahrekord University, in 2016. The experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with three replicates. The treatments consisted of different levels of drought stress (no drought stress (field capacity), moderate drought stress (0.75 field capacity) and severe stress (0.50 field capacity)) as main plots and plant growth regulators (without hormone, jasmonic acid and humic acid) as sub plots. In no hormone condition, distilled water was used. Foliar application was done 10 mM jasmonic acid and humic acid content of 1500 grams per hectare before maize flowering. The volume of water consumed for each irrigation was measured by contour system. In this experiment leaf relative water content (RWC), proline, chlorophyll content, carotenoids, leaf area index (LAI), leaf weight, stem weight, ear weight, forage yield and water use efficiency (WUE) were measured. The analysis of data was performed using SAS software. Mean comparisons of study characteristics were done by LSD test at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results showed that the relative water content, proline, chlorophyll, carotenoids, leaf area index, shoot weight, ear weight, forage yield and water use efficiency were affected by drought stress conditions. Although drought stress was reduced forage yield and related traits, the use of jasmonic acid compared to the control and humic acid under mild stress was significantly increased relative water content (61.1 and 39.3 %, respectively), leaf weight (60.4 and 41.8%, respectively), stem (14.8 and 25.12%, respectively), ear weight (13 and 23.8%, respectively), proline content (16 and 32.1 %, respectively), forage yield (24.4 and 24.2%, respectively). Under severe stress conditions, jasmonic acid significantly increased relative water content of leaf, weight of leaf, weight of stem and leaf area index. Under severe drought stress, jasmonic acid and humic acid had no significant difference. It was observed that under non-stress conditions, jasmonic acid wasn't effective on water use efficiency and humic acid showed a negative effect. Under moderate drought stress, jasmonic acid was effective with increase 21.15 %, in moderating drought stress for maize and under severe stress jasmonic acid and humic acid had no significant effect.

Conclusion: According to the results, the occurrence of drought stress during pollination has a significant effect on maize yield. So that the severe drought stress (50% soil moisture depletion) leads to decrease in yield of maize forage due to decrease weight of leaf and ear. Although the most positive results of the use of growth regulators on maize yield were obtained under non-stress (full irrigation), the effect of moderate drought stress was mainly observed on forage production on jasmonic acid. The positive effect of foliar application of jasmonic acid in reducing the damage of drought stress and increasing of water use efficiency under moderate drought stress indicated that the use of this hormone could be useful in increasing production and quality of maize silage.

Keywords: Moderate drought stress, Growth regulator, Relative water content, Water use efficiency

1 and 2- Master Student and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
(*- Corresponding Author Email: Falah1357@yahoo.com)



پیامد ترکیب‌های درختی مختلف و ویژگی‌های خاک بر جامعه میکروبی خاک

سمانه تاجیک^۱ - شمس الله ایوبی^{۲*} - جهانگیر خواجه علی^۳ - شعبان شتایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱

چکیده

ریزجانداران خاک جزء ضروری سیستم زنده و پویای جنگل‌ها هستند و نقش کلیدی در دگرگونی و تبدیل عناصر غذایی و فروزینی مواد آلی ایفا می‌کنند. ارتباط بین درختان و ترکیب‌های درختی گوناگون با ریزجانداران خاک کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور در این پژوهش برای بررسی پیامد ترکیب‌های درختی گوناگون بر جامعه میکروبی خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری یازده ترکیب درختی مختلف نمونه‌برداری انجام گرفت. از آنالیز اسیدهای چرب فسفولیپیدی (PLFA) برای بدست آوردن ساختار جامعه میکروبی در خاک استفاده شد. نتایج نشان دادند درختان به همراه ویژگی‌های خاک بر جامعه میکروبی خاک تأثیر دارند. تقریباً تمامی گروه‌های میکروبی ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و تنفس میکروبی خاک داشتند. تغییرات پروتوزوئرها متفاوت از سایر گروه‌های میکروبی بود و بیشتر از آنها تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار گرفت. آنها همبستگی منفی و معنی‌داری با pH، کربنات کلسیم معادل، EC و شن داشتند. اما همبستگی آنها با سیلت مثبت و معنی‌دار بود. ترکیب درختی سه تایی ممرز-پلت-انجیلی بهترین شرایط برای ریزجانداران خاک را داشت و پلات‌هایی که تنها ممرز داشته‌اند دارای کمترین مقادیر ریزجانداران بودند. بنابراین، تغییر در ترکیب گونه‌های درختی همراه با تغییر در ویژگی‌های خاک منجر به تغییر در ترکیب و تنوع منابع در دسترس و شرایط زیستی برای ریزجانداران خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب فسفولیپید، افرا پلت، انجیلی، ترکیب درختان، ممرز

مقدمه

ریزجانداران خاک بسیار کم است. ریزجانداران درصد خیلی کمی از لایه بالایی خاک را شامل می‌شوند. اما این جز کوچک نقش کلیدی در چرخه نیتروژن، فسفر، گوگرد و فروزینی بقایای آلی خاک ایفا می‌کند (۳۴). ریزجانداران خاک از طریق تأثیر بر اتصال ذرات و کربن آلی، نقش مهمی در خاکدانه‌سازی، حاصل‌خیزی، بهبود ساختمان، فروزینی مواد آلی، تصفیه آب و ترکیب اتمسفر دارند (۳). بقایای آلی که توسط ریزجانداران فروزینه می‌شوند در واقع به زیست‌توده، دی اکسید کربن، آب، نیتروژن و فسفر معدنی و یا دیگر عناصر غذایی تبدیل می‌گردند. عناصر معدنی که در پیکر ریزجانداران تثبیت شده‌اند، زمانی که میکروب‌ها توسط شکارچیان مانند پروتوزوئرها و نماتدها شکار می‌شوند، آزاد می‌شوند (۲۳).

بچ و همکاران (۳) نشان دادند که بسیاری از فرآیندهای مستقیم و غیر مستقیم اکوسیستم توسط ریزجانداران خاک تعدیل می‌شوند. ریزجانداران خاک از طریق تأثیر بر اتصال ذرات خاک با مواد آلی و تشکیل خاکدانه‌ها، نقش ویژه‌ای در توسعه و تغییر در ساختمان خاک دارند (۳ و ۲۸) همچنین تغییرات در ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، مدیریت و اقلیم تأثیر معنی‌داری بر پویایی اکوسیستم دارند که منجر به تغییر جامعه میکروبی خاک می‌شود. کورم و همکاران (۱۶) بیان کردند که فراوانی ریزجانداران خاک متأثر از عناصر غذایی موجود

ریزجانداران خاک جزء ضروری سیستم زنده و پویای جنگل‌ها هستند و نقش کلیدی در چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کنند. همچنین فعالیت آنها را می‌توان به عنوان شاخص‌های حساسی از کیفیت خاک در نظر گرفت چرا که ترکیب و فعالیت جامعه میکروبی خاک تا اندازه زیادی چرخه‌های بیوشیمیایی، فروزینی کربن آلی، حاصل‌خیزی و کیفیت خاک را تعیین می‌کنند. از آنجایی که گروه‌های میکروبی گوناگون پاسخ متفاوتی به شرایط محیطی می‌دهند، ویژگی‌های پلات‌های جنگلی (خاک و گیاهان) بر جامعه میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند (۳۱).

فعالیت‌های زیستی در خاک در لایه بالایی آن متمرکز بوده و با عمق کاهش می‌یابد و در عمق ۳۰ سانتی‌متری مقدار فعالیت

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکترا و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(*)- نویسنده مسئول: Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

۳- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- دانشیار دانشکده جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62819

در خاک می باشد.

از آنجایی که پارامترهای میکروبی خاک در دسترس ترین شاخص های کیفیت خاک هستند (۳۵). بنابراین، توصیفات کمی تنوع میکروبی خاک از موضوعات مهم و مورد توجه می باشد. بیشتر ریزجانداران با روش های مرسوم قابل کشت نیستند. باتوجه به اینکه در حدود ۸۰-۹۹ درصد از گونه های ریزجانداران هنوز کشت نشده اند (۳۵)، یکی از روش هایی که می تواند به مشکل کشت انتخابی غلبه کند و نگاه بدون تبعیضی به ساختار پیچیده جامعه میکروبی داشته باشد، روش بررسی جمعیت میکروبی توسط اسیدهای چرب فسفولیپید^۱ (PLFA) است. در روش PLFA یا تعیین الگوی تمام اسیدهای چرب، استخراج لیپیدها از نمونه با استفاده از حلال مناسب انجام می شود و سپس آنها را در گروه های مختلف لیپیدها طبقه بندی می کنند. اسیدهای چرب از جز فسفولیپید آزاد می شوند و سپس توسط تکنیک کروماتوگرافی گازی^۲ (GC) تعیین می گردند و یا به گروه های شیمیایی مختلف تفکیک می شوند (۳۵). آنالیز PLFA یک گروه از مارکرها را فراهم می کند که شامل گروه های مختلف میکروبی هستند که می توانند برای تعیین زیست توده میکروبی زنده کل و بررسی تغییرات جامعه میکروبی استفاده شوند. فسفولیپیدها جزء ضروری غشای یاخته در تمام یاخته های زنده هستند و در ساختارهای ذخیره ای و یا در یاخته های مرده یافت نمی شوند. در شرایط طبیعی، فسفولیپیدها قسمتی از زیست توده ارگانیسم ها را تشکیل می دهند. نتایج بدست آمده از بررسی خاک و رسوبات نشان داده است که تغییرات سریع در ساختار جمعیت میکروبی می تواند توسط تغییرات در الگوی PLFA مشاهده و بررسی شود. بنابراین پیشنهاد شده است که آنالیزهای PLFA یک روش مناسب برای بررسی تغییرات سریع در جمعیت زنده میکروب ها می باشد (۳۵). در واقع PLFA این امکان را فراهم می کند تا یک دید جامع از اجتماع میکروبی در زیستگاه آنها بدست آید. پژوهش های مختلفی در خاک های جنگلی از آنالیز PLFA برای بررسی تغییرات ریزجانداران تحت تأثیر کودها و مدیریت های مختلف استفاده کرده اند (۶، ۱۷).

فراوانی، ترکیب و تنوع ریزجانداران موجود در خاک به طور اساسی می توانند منجر به تغییر فرایندهای خاک شوند به طوری که در نهایت عناصر غذایی در دسترس خاک را تغییر می دهند. همچنین رشد جمعیت میکروبی و فعالیت آنها در خاک بستگی به برهم کنش بین گونه های گیاهی و خاک دارد. در واقع یکی از مهم ترین متغیرها در تعیین ترکیب جمعیت میکروبی خاک گونه های گیاهی هستند. تأثیر گونه های گیاهی مختلف بر جامعه میکروبی احتمالاً به دلیل تفاوت در

اجزای سلولی ریشه و ترشحات ریشه آنها می باشد که این اثرات به دلیل منطقه ریشه، سن گیاه، منابع نیتروژن و داشتن قارچ مایکورایزا تغییر می کند (۱۹). لیو و همکاران (۱۷) گزارش کردند تنوع باکتری ها و قارچ ها در خاک ریزوسفر به طور معنی داری بیشتر از خاک غیر ریزوسفری است.

پژوهش های مختلف نشان دادند که گونه های گیاهی نه تنها بر ویژگی های خاک تأثیر دارند، بلکه بر فراوانی و ترکیب جامعه میکروبی خاک نیز مؤثرند. تأثیر درختان در تشکیل خاک و چرخه عناصر غذایی مدت زمان زیادی است که مورد بررسی قرار گرفته است. گونه های درختان دارای تأثیر معنی داری بر چرخه عناصر غذایی و هوادیدگی مواد معدنی در خاک دارند. همچنین گیاهان در طول رشد خود مقادیر متفاوتی از ترکیبات آلی، امینو اسیدها و قندها را به درون خاک ترشح می کنند (۲۲). بررسی تغییرات جامعه میکروبی خاک تحت تأثیر گونه های گیاهی می تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با چرخه عناصر غذایی مانند نیتروژن و کربن و قابلیت دسترسی عناصر غذایی ارائه کند (۸).

از آنجایی که به طور کلی تغییر پوشش گیاهی بر حیات و شرایط محیطی دیگر موجودات زنده خاک تأثیر دارد، به نظر می رسد ترکیب های درختی مختلف نیز بر ویژگی های خاک و ترکیب ریزجانداران تأثیرگذار باشند. همچنین دانش و شناخت بهتر از روابط اکوسیستم توانایی ما را برای پیش بینی تأثیر تغییرات محیط بر گونه های موجود در اکوسیستم افزایش می دهد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر گونه های درختی مختلف و ویژگی های خاک بر جامعه میکروبی جنگل طبیعی برای تفسیر فاکتورهای مؤثر بر روابط بین خاک، ریزجانداران و گونه های گیاهی در بخشی از جنگل های شصت کلاته استان گلستان طراحی و اجرا گردید.

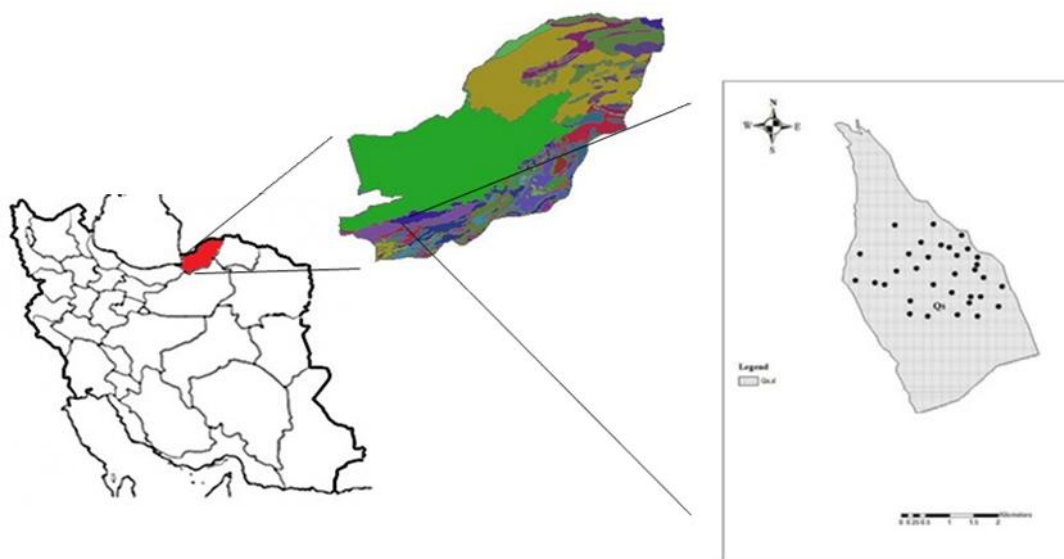
مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) واقع در جنگل آموزشی پژوهشی منطقه شصت کلاته در جنوب شرقی شهر گرگان در استان گلستان است. این منطقه در شیب شمالی کوه های البرز، در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی واقع شده است. که به صورت شرقی - غربی در امتداد دریای خزر قرار دارد و مساحت آن ۳۷۱۶ هکتار می باشد. ارتفاع این منطقه کوهستانی از سطح دریا بین ۲۸۰ تا ۷۰۶ متر متغیر است. ماده مادری منطقه لسی است و از نظر طبقه بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل با میانگین بارندگی سالانه ۶۴۹ میلی متر است که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی متر در سال تغییر می کند.

1- Phospholipid fatty acids

2- Gas chromatography



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و پراکنش نقاط مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی منطقه (بر روی رسوبات دوره کواترنری)

Figure 1- The map of geographic position and distribution of soil samples on geology map

تنفس میکروبی به روش تیتراسیون (۱۴). قسمت دوم نمونه‌ها برای انجام آنالیز اسیدهای چرب اشباع شده و شناسایی ریزجانداران موجود در خاک مورد استفاده قرار گرفتند. به این ترتیب که نمونه‌ها با استفاده از روش شاتر و دیک (۲۷) به اندازه ۶۵٪ ظرفیت زراعی مرطوب شدند و به مدت ۳ روز در دمای ۳۷ سلسیوس انکوباسیون شدند و سپس اسیدهای چرب اشباع شده استخراج گردیدند و توسط دستگاه Hewlett-Packard 5890 Series II gas chromatograph (GC) مجهز به HP Ultra 2 capillary و flame ionization detector نوع آنها تعیین شد و سپس توسط برنامه Sherlock™ Microbial ID System, Version 4.5 برای ریزجانداران موجود در نمونه‌ها شناسایی و گروه‌بندی شدند. نشانگرهای اسیدهای چرب اشباع شده فسفولیپیدی (PLFA) که برای توصیف ساختار جامع میکروبی خاک مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۲ آمده است.

آنالیزهای آماری

برای انجام آنالیزهای آماری از نرم افزار ۸.۰ (Copyright 1985-) Statistics (2003) استفاده شد. به منظور بررسی وضعیت کلی ویژگی‌ها و ریزجانداران خاک از کم‌ترین، بیش‌ترین و میانگین استفاده گردید.

طراحی الگوی نمونه‌برداری و انجام آنالیزهای آزمایشگاهی

برای انجام این پژوهش، ابتدا یازده ترکیب درختی مختلف شناسایی شدند (جدول ۱) و برای هر ترکیب سه پلات انتخاب شد. نحوه تیپ‌بندی هر پلات بر اساس فراوانی گونه‌های درختی با مبنای سطح مقطع درختان می‌باشد. نام‌گذاری پلات‌ها براساس ترتیب فراوانی گونه‌های درختان موجود در پلات بوده است به این صورت که پلات‌های محتوی یک گونه در واقع دارای تنها یک گونه با فراوانی بالاتر از ۵۰٪ هستند و دیگر گونه‌ها دارای فراوانی کمتر از ۱۰٪ می‌باشند و یا فاقد گونه‌های دیگر هستند. به همین ترتیب پلات‌های محتوی دو یا سه گونه در واقع دارای دو یا سه گونه با فراوانی کمتر از ۵۰٪ و بالاتر از ۱۰٪ می‌باشند و نام پلات براساس ترتیب بیشترین فراوانی گونه‌ها می‌باشد (۲۸).

نمونه‌برداری از خاک در ۳۳ نقطه از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر صورت گرفت. نمونه‌های جمع‌آوری شده هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. یک قسمت از نمونه‌های هوا خشک شده برای انجام آنالیزهای آزمایشگاهی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفتند: توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (۹)، اندازه‌گیری pH و EC در عصاره ۲/۵ به ۱ آب به خاک توسط دستگاه pH متر و EC متر، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی، کربن آلی به روش والکلی بلک (۱۲)، نیتروژن کل به روش کلدال (۴) و

جدول ۱- یازده ترکیب درختی مختلف

Table 1- Eleven different tree composition

Tree composition	ترکیب درختی	کد استفاده شده Tree cod used
Parrotia persica	انجیلی	1
Hornbeam	ممرز	2
Maple	پلت	3
Parrotia- Hornbeam	انجیلی-ممرز	4
Hornbeam- Parrotia	ممرز- انجیلی	5
Hornbeam- Maple	ممرز- پلت	6
Parrotia- Maple	انجیلی-پلت	7
Hornbeam- Maple-Parrotia	ممرز- پلت-انجیلی	8
Maple -Hornbeam -Parrotia	پلت -ممرز- انجیلی	9
Parrotia -Hornbeam- Maple	انجیلی-ممرز-پلت	10
Hornbeam -Parrotia -Maple	ممرز- انجیلی-پلت	11

جدول ۲- نشانگرهای اسیدهای چرب اشباع شده فسفولیپیدی انتخاب شده برای توصیف ساختار جامعه میکروبی خاک
Table 2- Phospholipid fatty acids signatures chosen to characterize microbial community structure.

ریزجانداران Microorganisms	اسید اشباع شده Fatty acid
قارچ‌های آربسکولارمایکورایزا Arbuscular Mycorrhiza Fungi(AMF)	16:1 ω5c
اکتینوباکتری‌ها Actinobacteria	16:0 10-methyl 17:0 10-methyl 18:0 10-methyl
قارچ‌ها fungus	18:2ω6 16:1ω9c 18:1ω9c
باکتری‌های عمومی General bacteria	14:0 iso 15:00 17:00
باکتری‌های گرم- منفی Gram ⁻ bacteria	16:1 ω7c 18:1 ω7c 19:0 cyclo
باکتری‌های گرم- مثبت Gram ⁺ bacteria	15:0 iso 15:0 anteiso 16:0 iso 17:0 iso 17:0 anteiso
پروتوزوئرها Protozoa	20:2ω6c 20:3ω6c 20:4ω6c

طرح کاملاً تصادفی آنالیز شده و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD¹ در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام گردید.

برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های خاک و ریزجانداران خاکزی، ابتدا توزیع داده‌ها توسط تبدیل لگاریتمی نرمال شد و سپس ضرایب همبستگی بین آنها محاسبه گردید. همچنین برای بررسی تأثیر ترکیب‌های درختی مختلف بر جامعه میکروبی خاک، داده‌ها در

1- Least significant difference

نتایج و بحث

میکروبی خاک نداشتند. اما EC ($r=-0.70$; $P<0.01$) pH ($r=-0.37$; $P<0.05$) و کربنات کلسیم معادل ($r=-0.60$; $P<0.01$) مقدار شن ($r=-0.39$; $P<0.05$) موجود در خاک همبستگی منفی و معنی داری بر پرتوزوورها داشتند و مقدار سیلت موجود در خاک دارای همبستگی مثبت و معنی داری ($r=0.49$; $P<0.01$) با آنها بود.

این نتایج احتمالاً به دلیل ساختار و نقش متفاوت پروتوزوئرها در خاک است. پروتوزوئرها دارای اندازه بزرگتر از سایر گروه‌های میکروبی بوده و با توجه به نقش شکارگر آنها در خاک انتظار می‌رود رفتار متفاوتی از دیگر ریزجانداران از خود نشان دهند. و از آنجایی که ذرات سیلت و رس نقش مثبت و موثری در تنوع و فعالیت ریزجانداران خاک دارند (۳) بنابراین این احتمال وجود دارد که افزایش ذرات سیلت شرایط مناسب‌تری برای زیستگاه و تغذیه پروتوزوئرها ایجاد کرده باشد. رن و همکاران (۲۵) بیان کردند که پروتوزوئرها آغازیان تک یاخته‌ای هسته‌دار هستند. آنها به عنوان مهم‌ترین شکارچیان در نظر گرفته شده‌اند که می‌توانند فراوانی دیگر ریزجانداران مانند باکتری‌ها، معدنی شدن کربن و نیتروژن توسط باکتری‌ها را کنترل کنند. و این نقش پروتوزوئرها در خاک‌های با بافت درشت‌تر بیشتر است (۲۶).

همچنین نتایج همبستگی نشان دادند که تقریباً تمامی گروههای میکروبی نقش موثر و مثبتی در تنفس میکروبی خاک داشتند (جدول ۵). همچنین تنفس میکروبی به مقدار زیادی تحت تأثیر ویژگیهای خاک مانند EC ($r = -0.50$; $P < 0.01$)، کربن آلی ($r = -0.62$; $P < 0.01$) و نیتروژن کل ($r = -0.57$; $P < 0.01$) خاک بود.

پیامد ترکیب‌های درختی مختلف بر جامعه میکروبی خاک

آنالیز واریانس (جدول ۶) نشان داد که پیامد ترکیب‌های درختی مختلف تنها بر نشانگرهای ۱۶۰:۱۰۰-methyl-w6c, 18:2, 20:2 w6c, 20:3 w6c, 20:4 w6c معنی‌دار است ($P > 0.05$) و دیگر نشانگرها تحت تأثیر ترکیب درختی قرار نگرفتند. این نشانگرها متعلق به گروه‌های میکروبی اکتینوباکتری‌ها، باکتری‌های گرم-مثبت و پروتوزوئرها هستند. نتایج (جدول ۶) نشان داد که ترکیب‌های درختی دوتایی و سه تایی دارای بیشترین مقادیر نشانگرها و پلات‌های که دارای تک گونه ممرز هستند، دارای کمترین مقادیر نشانگرها بودند. مشابه با نتایج تک تک نشانگرها، بررسی مقایسه میانگین گروه‌های میکروبی در ترکیب‌های درختی مختلف (جدول ۷) نشان داد که بین گروه‌های میکروبی مختلف در ترکیب‌های درختی متفاوت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تنها پروتوزوئرها هستند که در پلات‌های با ترکیب گونه‌های درختی مختلف دارای تفاوت معنی‌دار هستند. همچنین با توجه به نتایج همبستگی و مقایسه میانگین می‌توان اظهار داشت فراوانی پروتوزوئرها در خاک بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های خاک است. از آنجاییکه نسبت C:N در باکتری‌ها و پروتوزوئرها فرق

منطقه مورد مطالعه دارای بافت غالب لومی رسی سیلتی با مقدار کربن آلی زیاد و pH اسیدی تا خنثی است (جدول ۳). همچنین دارای کربنات کلسیم معادل کم و تنفس میکروبی زیاد می‌باشد. ریزجانداران موجود در خاک منطقه شامل قارچ‌های مایکورایز^۱ (AMF)، اکتینوباکتری‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌های عمومی، باکتری‌های گرم‌منفی، باکتری‌های گرم-مثبت و پروتوزوئرها می‌باشند (جدول ۴). نتایج نشان دادند که در بین ریزجانداران موجود در خاک، باکتری‌های گرم مثبت و گرم-منفی بیشترین فراوانی و پروتوزوئرها کمترین فراوانی را در منطقه دارند. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که متناسب با نوع و شرایط خاک، شمار ریزجانداران تغییر می‌کند. باکتری‌ها جزء فراوان-ترین ریزجانداران موجود در خاک هستند که تعداد آنها در خاک‌های مختلف تغییر می‌کند (۳۲).

ارتباط بین ویژگی‌های خاک و ریزجانداران

نتایج همبستگی نشان دادند که بین ریزجانداران و ویژگی‌های خاک ارتباط معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). بطوری‌که مقادیر کربن و نیتروژن خاک دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با ریزجانداران خاک بودند. پژوهش‌های مختلفی نقش مؤثر ویژگی‌های خاک را بر ریزجانداران گزارش کرده‌اند (۱ و ۳). ریزجانداران از طریق تأثیر بر اتصال مواد آلی و ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها، نقش مؤثری در خاکدانه‌سازی دارند (۳۵). افزون بر آن مواد آلی منبع اصلی مواد غذایی برای ریزجانداران می‌باشد (۳۳). ریزجانداران خاک بخش ضروری در چرخه‌های کربن و نیتروژن هستند و از طریق تأثیر بر آنزیم‌های خاک در معدنی شدن عناصر غذایی نقش بسزایی دارند (۶ و ۱).

آنالیز همبستگی نشان داد که EC دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با AMF و اکتینوباکتری‌ها است. اگرچه EC مقدار نمک‌های محلول را به صورت مستقیم بیان نمی‌کند، اما این پارامتر دارای همبستگی بالایی با غلظت یون‌هایی مانند Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، K^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- و NO_3^- است (۲۹). رشد ریزجاندانان با افزایش عناصر غذایی افزایش می‌یابد (۱۵). بنابراین به نظر می‌رسد احتمالاً افزایش EC شرایط بهتری از نظر عناصر مورد نیاز برای ریزجاندانان فراهم کرده و منجر به افزایش فعالیت آنها شده است. همچنین افزودن مقادیر اندک نمک‌های محلول به خاک منجر به افزایش فعالیت باکتری‌ها موجود در خاک می‌شود (۱۰ و ۲۴).

همبستگی بین پروتوزوئرها با ویژگی‌های خاک متفاوت از دیگر ریزجانداران بود. به طوری که آنها هیچ همبستگی معنی‌داری با تنفس

1- Arbuscular mycorrhizal fungi

می‌کند و پروتوزوئرها نیتروژن اضافی دریافت شده از باکتری‌ها را در محیط آزاد می‌کنند بنابراین اثر مثبت و معنی‌داری بر رشد گیاهان خواهد داشت که تفسیر روابط بین آنها و درختان را پیچیده‌تر می‌کند (۱۳).

جدول ۳- آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 3- Statistical description of soil properties in the study area

ویژگی‌های خاک Soil properties	کم‌ترین Minimum	بیش‌ترین Maximum	میانگین Mean
pH	5.65	7.46	6.44
EC(μ Siemens/cm) Electrical conductivity	221.00	741.00	448.85
کربنات‌های کلسیم معادل (%) Equivalent calcium carbonate (%)	0.80	21.00	4.25
کربن آلی (%) Organic carbon %	3.12	9.26	5.42
نیتروژن کل (%) Total nitrogen (%)	0.25	0.57	0.38
رس (%) Clay (%)	30.42	63.33	43.86
سیلت (%) Silt (%)	31.58	56.50	41.62
شن (%) Sand (%)	4.58	34.67	14.51
تنفس میکروبی ($\text{mgCO}_2/\text{kg soil.day}$) Microbial respiration	267.14	809.28	433.33

جدول ۴- آمار توصیفی تغییرات غلظت PLFA (ریز جانداران خاک)

Table 4- Statistical description of PLFA concentration (soil microorganisms)

گروه‌های میکروبی (nmol/gr soil) Microbial group	کم‌ترین Minimum	بیش‌ترین Maximum	میانگین Mean
قارچ‌های آربسکولار مایکورایزا Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF)	4.12	11.26	6.98
اکتینوباکتری‌ها Actinobacteria	21.14	60.90	32.58
باکتری‌های عمومی Generalbacteria	2.76	11.29	6.52
باکتری‌های گرم-منفی Gram ⁻ bacteria	27.99	80.77	50.38
باکتری‌های گرم-مثبت Gram ⁺ bacteria	25.32	80.41	52.58
قارچ‌ها Fungi	10.35	39.24	18.70
پروتوزوئرها Protozoa	0.00	3.13	1.44
کل PLFA Total PLFA	93.21	274.95	169.17

خاک، این دو گروه دارای پراکنش متفاوتی از سایر گروه‌های میکروبی هستند. مارچنر و همکاران نشان دادند که ترکیب جامعه میکروبی خاک نتیجه برهم‌کنش بین نوع خاک، گونه‌های گیاهی و موقعیت

همچنین علت تفاوت در مقادیر و روند AMF و اکتینوباکتری‌ها نسبت به سایر ریز جانداران را می‌توان به تغییرات ویژگی‌های خاک و وابستگی آنها به EC نسبت داد. بنابراین به دلیل وابستگی به EC

های ممز همراه با دیگر گونه‌ها در فراوانی گروه‌های میکروبی دارای پیامد مثبت است. ترکیب درختان ممز با گونه انجیلی دارای ریزجانداران بیشتری نسبت به ترکیب درختی ممز با افرا پلت می‌باشد. احتمالاً حضور همزمان گونه‌های گیاهی مختلف منجر به تولید ترشحات ریشه‌ای مختلف و کربن آلی متفاوت حاصل از تجزیه لاشبرگ می‌شوند که این عوامل منجر به افزایش پیچیدگی تفسیر تغییرات حضور ریزجانداران می‌شوند (۳۰).

متفاوت از دیگر ریزجانداران، در پلات‌های جفتی، اکتینوباکتری‌ها و پروتوزوئرها دارای بیشترین فراوانی بودند (جدول ۷). پروتوزوئرها در پلات‌های گونه انجیلی تنها دارای فراوانی کمتری بودند، اما در پلات‌هایی با ترکیب دوتایی که در آنها گونه درختان انجیلی همراه با ممز بود، بیشترین فراوانی را نشان می‌دادند. احتمالاً این تفاوت به این دلیل است که پروتوزوئرها افزون بر درختان به مقدار زیادی وابسته به ویژگی‌های خاک هستند و بنابراین پراکنش و فراوانی آنها با توجه به ویژگی‌های خاک تغییر می‌کند. همچنین در ترکیب درختی با حضور گونه درختی پلت، ترکیب درختی انجیلی- پلت دارای ریزجانداران بیشتری بود. در مقایسه پلات‌هایی با ترکیب درختی ممز-انجیلی با ترکیب درختی انجیلی- پلت مشخص شد که ریزجانداران خاک در پلات‌های انجیلی پلت فراوانی بیشتری دارند.

با توجه به میانگین غلظت PLFA بدست آمده برای ریزجانداران در ترکیب سه تایی از درختان انجیلی، ممز و پلت (جدول ۷)، ترکیب درختی ممز- پلت -انجیلی دارای بیشترین جمعیت ریزجانداران خاکی می‌باشد و مشابه آن، ریزجانداران خاک در ترکیب درختی ممز-انجیلی- پلت فراوانی زیادی دارند. در پلات‌های سه تایی که دارای مقدار متوسطی از ممز هستند مقدار ریزجانداران کمتری نسبت به پلات‌هایی که دارای مقدار بیشتری از ممز هستند، می‌باشند. در پلات‌های با مقادیر متوسط ممز، حضور گونه‌های درختی انجیلی نسبت به پلت تأثیر مثبت بیشتری بر ریزجانداران خاک دارد. باتوجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد حضور ترکیب سه تایی از گونه‌های درختی مورد مطالعه که در آن مقدار بیشتری از گونه ممز و مقدار متوسطی از درختان انجیلی و پلت وجود داشته باشد، تأثیر مثبتی بر جامعه میکروبی خاک دارد. این نتایج احتمالاً به دلیل تغییر در مواد ترشح شده از ریشه‌های درختان می‌باشد. بطوری‌که با تغییر درصد درختان موجود در پلات‌ها و ترکیب‌های درختی، مقدار و ترکیب مواد ترشح شده از درختان تغییر یافته که در نهایت منجر به تغییر در جامعه میکروبی خاک گردیده است. در واقع محیط ریشه گیاهان منطقه‌ای غنی از مواد غذایی برای ریزجانداران و محل همزیستی با قارچ‌های مایکورایزا می‌باشد بنابراین می‌تواند بر ترکیب جامعه میکروبی خاک تأثیر بگذارد (۱۶).

رایزوسفر می‌باشد (۱۹). اما اینکه کدام عامل تأثیر بیشتری دارد و تعیین کننده تغییرات جامعه میکروبی در خاک هستند متناسب با نوع منطقه، نوع گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های خاک تغییر می‌کند. برخی پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که تغییرات پوشش گیاهی به صورت غیر مستقیم از طریق اثر بر کربن آلی (۲۲)، نیتروژن، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و یا جذب آب و مواد غذایی (۲) منجر به تغییر در جامعه میکروبی خاک می‌شوند.

هاکل و همکاران (۱۱) به بررسی تغییرات جامعه میکروبی در جنگل‌هایی با درختان مختلف پرداختند. نتایج آنها نشان داد که pH خاک دلیل تغییرات جامعه میکروبی است و تنها برخی از نشانگرها در پلات‌هایی با گونه‌های درختی مختلف دارای فراوانی متفاوتی بودند. برخی پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که پیامد ویژگی‌های خاک بر ریزجانداران بیشتر از گونه‌های گیاهی است (۵). درحالی‌که میتلین و همکاران (۲۱) نشان دادند که تأثیر گونه‌های گیاهی بر ترکیب جامعه میکروبی قوی‌تر از ویژگی‌های خاک است. مارچنر و همکاران (۱۹) نشان دادند که رایزوسفر، گونه‌های درختان و ویژگی‌های خاک بر پراکنش باکتری‌ها اثر دارند. آنها گزارش کردند که در خاک‌هایی با درصد رس بیشتر، ترکیب باکتری‌های خاک بیشتر تحت تأثیر گونه‌های درختی است. درحالی‌که در خاک‌های شنی و لومی شنی، ترکیب باکتری‌های خاکزی بیشتر تحت تأثیر رایزوسفر است. لیو و همکاران (۱۷) گزارش کردند ترکیب‌های درختی به طور معنی‌داری جامع میکروبی و نیتروژن موجود در خاک را تغییر می‌دهند.

بررسی پلات‌هایی که تنها دارای یک گونه درختی بوده‌اند (جدول ۷) نشان داد که درختان انجیلی و پلت اثر مثبتی بر ریزجانداران خاک داشته و برعکس تأثیر درختان ممز بر ریزجانداران خاک منفی بود. به طوری‌که در مقایسه تمامی پلات‌های تک گونه‌ای دیده شد که، در پلات‌های درخت ممز فعالیت ریزجانداران نسبت به پلات‌های تک درختی انجیلی و پلت کمتر بود. در این پلات‌ها ویژگی‌های خاک تفاوت معنی‌داری نداشتند، بنابراین پراکنش و فراوانی ریزجانداران خاک بیشتر تحت تأثیر گونه‌های درختی موجود در منطقه بوده است. درواقع گونه‌های گیاهی مختلف به دلیل تولید انواع متفاوت ترشحات ریشه‌ای با مقادیر مختلف منجر به تکثیر و رشد ریزجانداران مختلفی می‌شوند (۲۲). به عبارت دیگر از آن جایی که ترشحات ریشه‌ای گونه‌های گیاهی از نظر ترکیب بیوشیمی تفاوت دارند بنابراین تغییر در بیوشیمی خاک شده است که در نهایت جامعه میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۷).

بررسی پلات‌هایی با ترکیب درختی جفتی (جدول ۷) نشان داد که مشابه با پلات‌های دارای تنها گونه انجیلی و تنها افرا پلت، پلات‌های جفتی محتوی این دو گونه دارای گونه‌های میکروبی زیادی هستند. در این پلات‌ها برخلاف پلات‌های تک گونه‌ای، حضور گونه ممز تأثیر مثبتی بر ریزجانداران داشته است. به عبارت دیگر وجود گونه-

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک و ریزجانداران خاک
Table 5- Correlation coefficient (Pearson) between soil properties and soil microorganisms

ریزجان داران خاک Soil microorganisms	pH	EC Electrical conductivity	معادل Equivalent calcium carbonate	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	رسی Clay	سیلت Silt	شن Sand	تنفس میکروبی Microbial respiration
قارچ‌های آربوسکولار مایکورریزایز (Arbuscular Mycorrhiza Fungi(AMF))	0.31	0.69**	0.20	0.59**	0.47**	-0.04	-0.07	0.24	0.68**
اکتیونوباکتری‌ها Actinobacteria	0.04	0.51**	-0.00	0.81**	0.68**	0.06	-0.07	0.13	0.79**
باکتری‌های عمومی Generalbacteria	-0.22	0.28	-0.09	0.61**	0.53**	0.00	0.09	0.05	0.77**
باکتری‌های گرم-منفی Gram ⁻ bacteria	-0.24	0.25	-0.18	0.64**	0.59**	-0.00	0.13	0.03	0.77**
باکتری‌های گرم-مثبت Gram ⁺ bacteria	-0.23	0.31	-0.15	0.70**	0.60**	0.06	0.05	0.03	0.80**
قارچ‌ها Fungi	-0.33	0.17	-0.17	0.64**	0.61*	0.02	0.13	-0.01	0.80**
پروتوزوئورها Protozoa	-0.70**	-0.37*	-0.60**	0.08	0.13	-0.01	0.49**	-0.39*	0.21
کل PLFA	-0.18	0.34*	-0.10	0.72**	0.65**	0.02	0.05	0.06	0.84**
Total PLFA									

* و ** به ترتیب بیان معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰ درصد است.

جدول ۶- مقایسه میانگین نشانه‌ها در یازده ترکیب درختی مختلف
Table 6- Mean comparison of signatures in eleven different tree compositions
ترکیب‌های درختی (Tree compositions)

نشانه‌های زیستی biomarkers	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16:1 w5c	6.49 ^a	6.84 ^a	7.47 ^a	6.19 ^a	6.40 ^a	6.10 ^a	7.57 ^a	8.31 ^a	6.62 ^a	7.39 ^a	7.35 ^a
16:0 10-methyl	24.80 ^{ab}	18.65 ^b	21.70 ^{ab}	19.94 ^{ab}	23.63 ^{ab}	24.91 ^{ab}	33.48 ^a	22.03 ^{ab}	20.44 ^{ab}	27.72 ^{ab}	24.74 ^{ab}
17:0 10-methyl	1.778 ^a	1.381 ^a	1.499 ^a	1.800 ^a	1.952 ^a	1.611 ^a	1.625 ^a	2.23 ^a	1.44 ^a	1.44 ^a	2.05 ^a
18:0 10-methyl	7.46 ^a	5.99 ^a	6.93 ^a	7.36 ^a	6.92 ^a	6.55 ^a	7.33 ^a	8.56 ^a	5.97 ^a	6.43 ^a	7.96 ^a
14:0 iso	3.75 ^a	2.98 ^a	3.09 ^a	2.90 ^a	3.62 ^a	3.35 ^a	3.70 ^a	3.74 ^a	2.94 ^a	3.20 ^a	3.71 ^a
15:0	1.73 ^a	1.37 ^a	1.44 ^a	1.65 ^a	1.89 ^a	1.59 ^a	1.49 ^a	1.96 ^a	1.29 ^a	1.33 ^a	1.77 ^a
17:0	1.60 ^a	1.34 ^a	1.64 ^a	1.57 ^a	1.57 ^a	1.48 ^a	1.59 ^a	1.98 ^a	1.26 ^a	1.46 ^a	1.75 ^a
16:1 w7c	9.83 ^a	10.33 ^a	10.67 ^a	11.20 ^a	11.18 ^a	11.65 ^a	12.96 ^a	13.51 ^a	10.41 ^a	11.49 ^a	11.30 ^a
18:1 w7c	19.92 ^a	19.25 ^a	21.99 ^a	21.78 ^a	22.02 ^a	18.98 ^a	22.86 ^a	26.56 ^a	19.35 ^a	21.50 ^a	22.58 ^a
19:0 cyclo w7c	15.83 ^a	13.88 ^a	14.70 ^a	14.90 ^a	17.96 ^a	15.38 ^a	16.87 ^a	16.18 ^a	13.65 ^a	14.59 ^a	17.43 ^a
16:1 w9c	1.71 ^a	2.18 ^a	2.35 ^a	1.58 ^a	2.41 ^a	2.28 ^a	1.49 ^a	2.79 ^a	0.74 ^a	2.02 ^a	1.92 ^a
15:0 iso	19.48 ^a	14.09 ^a	16.24 ^a	15.86 ^a	19.01 ^a	18.96 ^a	20.01 ^a	18.67 ^a	15.37 ^a	18.07 ^a	18.85 ^a
15:0 anteiso	15.18 ^a	10.86 ^a	13.11 ^a	13.91 ^a	15.40 ^a	14.57 ^a	13.39 ^a	15.33 ^a	11.84 ^a	12.10 ^a	15.10 ^a
16:0 iso	10.51 ^a	7.49 ^a	8.48 ^a	9.82 ^a	11.11 ^a	10.79 ^a	10.53 ^a	11.33 ^a	9.02 ^a	8.66 ^a	10.61 ^a
17:0 iso	5.65 ^a	4.45 ^a	5.38 ^a	5.18 ^a	5.78 ^a	5.69 ^a	6.18 ^a	5.88 ^a	4.89 ^a	5.66 ^a	5.83 ^a
17:0 anteiso	6.17 ^a	4.82 ^a	5.39 ^a	5.74 ^a	6.17 ^a	6.21 ^a	6.20 ^a	6.62 ^a	5.15 ^a	5.47 ^a	6.11 ^a
18:2 w6c	3.50 ^{ab}	3.71 ^{ab}	3.16 ^{ab}	3.54 ^{ab}	3.68 ^{ab}	4.02 ^{ab}	3.16 ^{ab}	6.83 ^a	3.85 ^{ab}	2.60 ^b	3.67 ^{ab}
18:1 w9c	14.81 ^a	12.26 ^a	14.32 ^a	13.86 ^a	14.76 ^a	14.73 ^a	17.37 ^a	17.77 ^a	13.36 ^a	14.85 ^a	15.89 ^a
20:2 w6c	0.00 ^b	0.27 ^{ab}	0.00 ^b	0.71 ^a	0.00 ^b	0.24 ^{ab}	0.00 ^b	0.00 ^b	0.16 ^{ab}	0.00 ^b	0.16 ^{ab}
20:3 w6c	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.16 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b
20:4 w6c	1.06 ^{abcd}	1.27 ^{abcd}	1.54 ^{abc}	1.54 ^{abc}	1.71 ^a	1.36 ^{abcd}	1.06 ^{abcd}	1.64 ^{ab}	0.95 ^{cd}	1.16 ^{abcd}	0.80 ^d

بودن حداقل یک حرف همانند در هر سطر نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد (از مبنای LSD) است.
Similar letters in each row show non-significant differences according to LSD test.

جدول ۷- مقایسه میانگین ریز جانداران خاک در یازده ترکیب درختی مختلف
Table 7- Mean comparison of soil microorganisms in eleven different tree compositions

نشانگرهای زیستی biomarkers	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
قارچ‌های آربوسکولار مایکورایزا Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF)	6.49 ^a	6.84 ^a	7.47 ^a	6.19 ^a	6.40 ^a	6.10 ^a	7.57 ^a	8.31 ^a	6.62 ^a	7.39 ^a	7.35 ^a
اکتیوباکتری‌ها Actinobacterial	34.04 ^a	26.02 ^a	30.14 ^a	29.10 ^a	32.51 ^a	33.09 ^a	42.43 ^a	32.82 ^a	27.85 ^a	35.58 ^a	34.75 ^a
باکتری‌های عمومی Generalbacteria	18.31 ^a	15.97 ^a	17.48 ^a	17.40 ^a	18.43 ^a	18.74 ^a	20.53 ^a	24.60 ^a	17.21 ^a	17.44 ^a	19.56 ^a
باکتری‌های گرم-منفی Gram ⁻ bacteria	7.09 ^a	5.69 ^a	6.17 ^a	6.12 ^a	7.08 ^a	6.41 ^a	6.79 ^a	7.68 ^a	5.50 ^a	5.99 ^a	7.22 ^a
باکتری‌های گرم-مثبت Gram ⁺ bacteria	47.30 ^a	45.64 ^a	49.71 ^a	49.46 ^a	53.56 ^a	48.29 ^a	54.19 ^a	59.03 ^a	44.16 ^a	49.62 ^a	53.24 ^a
قارچ‌ها Fungi	57.00 ^a	41.70 ^a	48.61 ^a	50.49 ^a	57.48 ^a	56.23 ^a	56.31 ^a	57.83 ^a	46.26 ^a	49.96 ^a	56.50 ^a
پروتوزوئرها Protozoa	1.06 ^b	1.54 ^{ab}	1.54 ^{ab}	2.26 ^a	1.71 ^{ab}	1.60 ^{ab}	1.06 ^b	1.80 ^{ab}	1.12 ^b	1.16 ^b	0.96 ^b
کل PLFA	171.28 ^a	143.41 ^a	161.13 ^a	161.03 ^a	177.18 ^a	170.47 ^a	188.88 ^a	192.08 ^a	148.71 ^a	167.14 ^a	179.59 ^a
Total PLFA											

است. بودن حداقل یک حرف همانند در هر سطر نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد (آزمون LSD).

Similar letters in each row show non-significant differences according to LSD test.

مارچنر و همکاران (۱۹) بیان کردند که تأثیر گونه‌های درختی احتمالاً به دلیل تفاوت در ترکیبات سلول‌های ریشه‌ای و ترشحات ریشه‌ای می‌باشد. به عبارت دیگر ترشحات ریشه‌ای دارای ترکیب‌هایی مانند کربن و نیتروژن و اسیدهای آلی محلول در آب هستند که بر تعادل عناصر غذایی در خاک و جامعه میکروبی خاک تأثیر دارند و تغییر در این ترکیب‌ها منجر به تغییر در جامعه میکروبی می‌گردد (۲۰).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که باکتری‌های گرم-مثبت و گرم-منفی بیشترین فراوانی و پروتوزوئرها کمترین فراوانی را در بین گروه‌های میکروبی را در منطقه مورد مطالعه دارند. در بین ویژگی‌ها خاک، کربن، نیتروژن و EC دارای بیشترین همبستگی با ریزجاندانان خاک بودند. پروتوزوئرها بیشتر از سایر گروه‌های میکروبی تحت تأثیر ویژگی‌های خاکی قرار گرفتند. ویژگی‌های خاک به همراه ترکیب‌های درختی مختلف دارای

پیامد معنی‌داری بر گروه‌های میکروبی موجود در خاک بودند. در پلات‌های دارای تک گونه درختی انجیلی و تک گونه پلت ریزجاندانان بیشتری نسبت به پلات‌های تک گونه ممرز دیده شد. در پلات‌های جفتی، ترکیب درختی انجیلی - پلت نسبت به دیگر ترکیب‌های درختی دوتایی دارای ریزجاندانان بیشتری بود. ترکیب درختی سه تایی ممرز - پلت - انجیلی و ممرز - انجیلی - پلت دارای ریزجاندانان بیشتری نسبت به دیگر پلات‌های دارای ترکیب‌های سه تایی درختی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های خاک و گونه‌های درختی در تغییرات جامعه میکروبی خاک تأثیر دارند. با مقایسه این فاکتورها و ترکیب‌های چندتایی درختان، می‌توان دریافت که برهم‌کنش پیچیده‌ای بین گونه‌های درختان، ویژگی‌های خاک و ترکیب جامعه میکروبی وجود دارد که بررسی این روابط نیازمند مطالعه همه جانبه‌ای از پارامترهای تأثیرگذار و روابط غیر خطی بین این پارامترها می‌باشد.

منابع

- 1- Aislabie J., Deslippe J.R., and Dymond J.R. 2013. Soil microbes and their contribution to soil services. *Ecosystem Services in New Zealand - Conditions and Trends*, 143-161.
- 2- Ayres E., Steltzer H., Berg S., Wallenstein M.D., Simmons B.L., and Wall D.H. 2009. Tree species traits influence soil physical, chemical, and biological properties in high elevation forests. *PLoS ONE*, 4:e5964.
- 3- Bach E.M., Baer S.G., Meyer C.K., and Six J. 2010. Soil texture affects soil microbial and structural recovery during grassland restoration. *Soil Biology and Biochemistry*, 42:2182-2191.
- 4- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen—total. *American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*.
- 5- Buyer J.S., Roberts D.P., and Russek-Cohen E. 1999. Microbial community structure and function in the spermosphere as affected by soil and seed type. *Canadian Journal of Microbiology*, 45:138-144.
- 6- Cusack D.F., Silver W.L., Torn M.S., Burton S.D., and Firestone M.K. 2011. Changes in microbial community characteristics and soil organic matter with nitrogen additions in two tropical forests. *Ecology*, 92:621-632.
- 7- Eisenhauer A.N., Beßler H., Engels C., Gleixner G., Habekost M., Milcu A., Partsch S., Sabais A.C.W., Scherber C., Steinbeiss S., Weigelt A., Weisser W.W., and Scheu S. 2010. Plant diversity effects on soil microorganisms support the singular hypothesis. *Ecology*, 91:485-496.
- 8- Fang S., Liu D., Tian Y., Deng S., and Shang X. 2013. Tree species composition influences enzyme activities and microbial biomass in the rhizosphere: A rhizobox approach. *PLoS ONE*, 8:e61461.
- 9- Gee G.W., and Bauder J.W. 1979. Particle size analysis by hydrometer: A simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. *Soil Science Society of America Journal*, 43:1004-1007.
- 10- Greaves J.E. 1922. Influence of salts on bacterial activities of soil. *Botanical Gazette*. 73:161-180.
- 11- Hackl E., Pfeffer M., Donat C., Bachmann G., and Zechmeister-Boltenstern S. 2005. Composition of the microbial communities in the mineral soil under different types of natural forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 37:661-671.
- 12- Hesse P.R. 1971. *A Text Book of Soil Chemistry Analysis*. John Murray Ltd. London, 412:120-309.
- 13- Hoorman J.J. 2011. The role of soil protozoa and nematodes. *Fact Sheet: Agriculture and Natural Resources*. (Smith KL), The Ohio State University Extension, Colombus, Ohio, 1-5.
- 14- Jenkinson D.S., and Powlson D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: a method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8:209-213.
- 15- Jones E.B.G., and Jennings D.H. 1965. The effect of cations on the growth of fungi. *New Phytologist*, 64:86-100.
- 16- Koorem K., Gazol A., Opik M., Moora M., Saks U., Uibopuu A., Sober V., and Zobel M. 2014. Soil nutrient content influences the abundance of soil microbes but not plant biomass at the small-scale. *PLoS ONE*, 9:e91998.
- 17- Liu D., Liu Y., Fang S., and Tian Y. 2015. Tree species composition influenced microbial diversity and nitrogen availability in rhizosphere soil. *Plant Soil and Environment*, 61:438-443.

- 18- Lundquist E.J., Scow K.M., Jackson L.E., Uesugi S.L., and Johnson C.R. 1999. Rapid response of soil microbial communities from conventional, low input, and organic farming systems to a wet/dry cycle. *Soil Biology and Biochemistry*, 31:1661–1675.
- 19- Marschner P., Yang C., Lieberei R., and Crowley D.E. 2001. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 33:1437–1445.
- 20- Merbach W., Mirus E., Knof G., Remus R., Ruppel S., Russow R., Gransee A., and Schulze J. 1999. Release of carbon and nitrogen compounds by plant roots and their possible ecological importance. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162:373–383.
- 21- Miethling R., Wieland G., Backhaus H., and Tebbe C.C. 2000. Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin, and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L33. *Microbial Ecology*, 40:43–56.
- 22- Nguyen C. 2003. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. In *Agronomie*, 23: 375–396.
- 23- Nielsen M.N., Winding A., Binnerup S., Hansen B.M., Hendriksen N.B. and Kroer N. 2002. Microorganisms as indicators of soil health, Neri. National Environmental Research Institute, Denmark.
- 24- Rath K.M., Maheshwari A., Bengtson P. and Rousk J. 2016. Comparative toxicity of salts to microbial processes in soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 82:2012–2020.
- 25- Ronn R., Vestergard M., and Ekelund F. 2012. Interactions between bacteria, protozoa and nematodes in soil. *Acta Protozoologica*, 51:223–235.
- 26- Rutherford P.M., and Juma N.G. 1992. Influence of soil texture on protozoa-induced mineralization of bacterial carbon and nitrogen. *Canadian Journal of Soil Science*. 72:183–200.
- 27- Schutter M.E., and Dick R.P. 2000. Comparison of fatty acid methyl ester (FAME) methods for characterizing microbial communities. *Soil Science Society of America Journal*, 64:1659–1668.
- 28- Shataee Jouibary S. 2003. Survey possibility forest type map using satellite data the case study nowshahr Khairoud kenar. Forestry Ph.D. Thesis. Natural Resource Faculty of Tehran University, 155p.
- 29- Shi D., and Wang D. 2005. Effects of various salt-alkaline mixed stresses on *Aneurolepidium chinense* (Trin.) Kitag. *Plant and Soil*, 27(1):15–26.
- 30- Six J., Elliot E.T., and Paustian K. 2000. Soil microaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C organic under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32:2099–2103.
- 31- Stephan A., Meyer A.H., and Schmid B. 2000. Plant diversity affects culturable soil bacteria in experimental grassland communities. *Journal of Ecology*, 88:988–998.
- 32- Urbanova M., Snajdr J., Baldrian P., Urbanova M., Snajdr J., and Baldrian P. 2015. Composition of fungal and bacterial communities in forest litter and soil is largely determined by dominant trees. *Soil Biology and Biochemistry*, 84:53–64.
- 33- Whitman W.B., Coleman D.C., and Wiebe W.J. 1998. Prokaryotes: the unseen majority. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95:6578–6583.
- 34- Williams M.A., Myrold D.D., and Bottomley P.J. 2006. Carbon flow from ¹³C-labeled straw and root residues into the phospholipid fatty acids of a soil microbial community under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 38:759–768.
- 35- Yan N., Marschner P., Cao W., Zuo C., and Qin W. 2015. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3:316–323.
- 36- Zelles L. 1999. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: A review. *Biology and Fertility of Soils*, 111–129.



Impact of Different Tree Compositions and Soil Properties on Soil Microbial Community

S.Tajik¹- Sh. Ayoubi ^{2*}- J. Khajehali ³- Sh. Shataee ⁴

Received: 13-03-2017

Accepted: 02-08-2017

Introduction: Soil microorganisms are the essential part of forest ecosystems which play a key role on soil nutrient changes. The biological activity in soil is largely concentrated in topsoil. Despite the small volume of microorganisms in soil, they have a key role on nitrogen, sulphur and phosphorous cycles and the decomposition of organic residues. Soil microorganisms have been identified as the sensitive indicators for soil quality. The composition of microorganisms and their fractional activities in soils significantly affect biochemical cycles, carbon sequestration and soil fertility. As soil microbial communities respond differently respected to environmental conditions, it seems that variation in forest ecosystem could significantly affect microbial community. Plants are one of the important variables for assessing soil microbial communities which their effect is related to root secretions and litter decomposition. The phospholipid fatty acid (PLFA) analysis is one of the methods that can overcome the problem of selective growth of microorganisms on culture media which is a major defect in the identification of microbial diversity. The objective of this study was to investigate the effects of different tree compositions and soil properties on soil microbial community using PLFA analysis approach.

Materials and Methods: This study was conducted in ShastKalate forest, an experimental forest station of Gorgan University, located at eastern Caspian region, North of Iran (36° 43' 27" N ,54°24' 57" E). Eleven different tree compositions were selected and the surface soils collected from 0-10 cm depth of 33 plots. Soil samples were air dried and passed through a 2mm sieve. Then one portion of the sieved samples was used for physical and chemical analyses. The other portion was rewetted to 65% of field capacity and incubated at 37 °C for 3 days to analyses PLFA. Soil particle size distribution (clay, silt and sand) was determined using the hydrometer method. Soil pH in 1/ 2.5 soil to water suspension and electrical conductivity (EC) in the same extract were measured.. Calcium carbonate equivalent (CCE),soil organic carbon (OC) and total nitrogen (TN) was determined, too. Biological analyzes including soil microbial respiration determination and PLFA analysis were carried out. The PLFA detection and quantification were performed with a Hewlett-Packard 5890 Series II gas chromatograph (GC) equipped with an HP Ultra 2 capillary column and a flame ionization detector. The normalized data were employed for Pearson's correlation analysis and ANOVA to determine the effects of soil properties and different tree compositions on soil microbial community.

Results and Discussion: Gram+ and Gram- bacteria were the most microorganisms and protozoa were the least microorganisms in soil samples. The results of the correlation between soil properties and microorganisms showed that OC and TN had significant positive effects on microorganism's communities. EC was significantly correlated with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), actionbacterial, protozoa and total PLFA. In addition, soil microorganisms and total PLFA were significantly correlated with soil respiration. However, there was no significant correlation between TN and OC with protozoa. The correlations between pH, EC, CCE and sand with protozoa were significantly negative, but in the case of silt, this correlation was significantly positive. Different studies showed that soil organic matter is the main nutrient source for soil microorganisms and soil microorganisms are also the essential part of C and N cycles. The effects of tree compositions on 16:0 10-methyl, 18:2 w6c, 20:2 w6c, 20:3 w6c and 20:4 w6c were significant($p<0.05$). We found that trees can impact on soil organic carbon, nitrogen, water content, soil physicochemical properties and the availability of other nutrients via litter decomposition, roots growth and their exudates. Thus, trees indirectly affect soil microorganisms. In the single tree species plots, hornbeam species had negative effect on soil microorganism's diversity. In two species plots, though hornbeam species positively increased soil microorganisms, but plots

1 and 2- Ph.D. Student and Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(*- Corresponding Author Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)

3- Associate Professor of Plant Protection Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4- Associate Professor of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

containing parrotia-maple had the most diversity of microorganism. In addition, in the plots containing three species, more hornbeam and medium number of parrotia and maple compositions had the positive effect on soil microorganism diversity.

Conclusions: The present study showed that soil properties and tree compositions had significant effects on soil microbial groups. Tree compositions including “hornbeam-maple-parrotia” and “hornbeam-parrotia-maple” had the most microorganism diversities, and single hornbeam plots had the least microorganism diversity.

Keywords: Hornbeam, Maple, Microbial community, Parrotia, Phospholipid fatty acids



بررسی کارایی مصرف و کودپذیری آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم

پیمان کشاورز^{۱*} - مجید فروهر^۲ - مسعود دادپور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

چکیده

شناخت و تمایز ارقام عنصرکارا و کودپذیر از یکدیگر برای کاشت در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و سیستم‌های کشاورزی پر نهاده ضروری است. در کشاورزی ارگانیک ژنوتیپ‌های عنصر کارا به دلیل کودپذیری پایین در اولویت انتخاب قرار دارند، در حالی که در کشاورزی پر نهاده و پر تولید، ارقام پرمحصول انتخابی، معمولاً کودپذیری بالایی دارند. به منظور شناخت و تمایز ژنوتیپ‌های گندم آهن کارا و کودپذیر از یکدیگر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (طرق) طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۶ ژنوتیپ گندم (گونه‌های گندم تربیتکاله و دوروم (رقم بلیخ - ۲) و ارقام الوند، فلات، C75-5 و طوس) و دو مقدار مصرف آهن (صفر و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کلات Fe-EDDHA) بود. نتایج نشان داد مصرف آهن به طور میانگین، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ($P < 0.05$) به میزان ۹/۹ درصد نسبت به شاهد گردید. در بین ژنوتیپ‌های گندم، بیشترین افزایش عملکرد در گندم دوروم به میزان ۱۷/۱ درصد) و کمترین آن در گندم رقم طوس (به میزان ۴/۱ درصد) بدست آمد. در اثر مصرف آهن، تغییر غلظت آهن در دانه، علی‌رغم ۵/۷ درصد افزایش، از نظر آماری معنی‌دار نگردید. ولی جذب آهن در دانه گندم به میزان ۱۶/۴ درصد افزایش معنی‌داری یافت ($P < 0.01$). کارایی مصرف آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم به صورت: طوس و فلات > تربیتکاله > الوند > C75-5 > دوروم بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آهن کارا، تربیتکاله، دوروم، عناصر کم مصرف، کارایی زراعی

مقدمه

و (۳۰). در چنین شرایطی حصول به عملکرد مطلوب کمی و کیفی دانه، مستلزم مصرف مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی است که به نوبه خود تخریب ساختمان خاک، بهم خوردن تعادل عناصر غذایی و آلودگی محیط زیست را به دنبال خواهد داشت (۱۵، ۱۶ و ۳۳). برای اجتناب از خسارت‌های فزاینده ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، شناخت گونه‌ها و یا ارقامی از محصولات زراعی که از نظر مصرف عناصر غذایی کارآمد هستند از اهمیت بسزایی برخوردار است. گیاهان عنصر کارا یا گیاهان با کارایی بالای مصرف یک عنصر غذایی، نیاز خود به آن عنصر غذایی را از دو طریق برطرف می‌کنند. این گیاهان ممکن است دارای ساز و کارهای قوی برای جذب عنصر از خاک باشند و یا توانایی خوبی در انتقال و به‌کارگیری عنصر در داخل گیاه داشته باشند. تغییر ریخت‌شناسی ریشه، برقراری روابط همزیستی با ریزجانداران، ترشح کلات‌ها و ترکیب‌های احیاء کننده در ریزوسفر (به عنوان ابزاری برای جذب بهتر عنصر از خاک) و تغییر در فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه (به عنوان ابزاری برای انتقال و به‌کارگیری بهتر عنصر در داخل گیاه) از جمله راهبردهای افزایش کارایی مصرف محسوب می‌شوند (۲۱).

در بیش از ۳۰ درصد خاک‌های زراعی دنیا فقر آهن یک مشکل اساسی محسوب می‌شود (۱ و ۱۲). کمبود این عنصر در اراضی تحت کشت غلات علاوه بر کاهش عملکرد دانه، کیفیت تغذیه‌ای غلات تولید شده را کاهش داده و اختلالات تغذیه‌ای کمبود آهن را در جوامع بشری مصرف کننده غلات به دنبال خواهد داشت. بر این اساس، بیش از ۲ بیلیون نفر از جمعیت جهان دچار اختلالات تغذیه‌ای کمبود آهن هستند (۳۴).

در ایران نیز کمبود آهن در خاک‌ها به دلیل آهکی بودن، pH بازی، فقر مواد آلی و همچنین بی‌کربناته بودن آب‌های آبیاری، گسترش زیادی دارد. طبق بررسی‌های انجام شده، ۳۷ تا ۴۰ درصد از مزارع تحت کشت گندم آبی ایران دچار کمبود شدید آهن می‌باشند (۳)

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و مربیان پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: P.keshavars@areeo.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62545

طول هر کرت آزمایشی ۹ متر و عرض آن ۳/۶ متر در نظر گرفته شد. به جز آهن، سایر عناصر غذایی ضروری، بر اساس توصیه‌های مبتنی بر آزمون خاک در تمامی کرت‌ها بصورت یکسان مصرف شد. مقدار بذر مصرفی برای هر کرت با توجه به وزن هزار دانه هر ژنوتیپ

تجزیه مرکب دو ساله داده‌ها برای هر یک از متغیرها انجام شد. در زیر نتایج تجزیه مرکب دو ساله داده‌ها ارائه شده است.

تأثیر مصرف آهن بر عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم

مصرف آهن به طور میانگین سبب افزایش عملکرد دانه گندم به میزان ۹/۹ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). بیشترین افزایش عملکرد ناشی از مصرف آهن در گندم دوروم و ارقام C75-5 و الوند به ترتیب با ۱۷/۱ و ۱۳/۰ و ۱۱/۷ درصد و کمترین آن از ارقام طوس، فلات و گندم تریتیکاله بترتیب برابر با ۴/۱، ۴/۹ و ۸/۸ درصد بدست آمد. افزایش عملکرد ناشی از مصرف آهن در گندم دوروم ۴/۲ برابر رقم طوس بود. همان‌تاراجان و گراگ (۱۸) نشان دادند که آهن با تأثیر بر کلروفیل برگ، موجب افزایش معنی‌داری در اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد. آنها همچنین اعلام نمودند که مقدار کلروفیل a و b در اثر مصرف آهن افزایش می‌یابد. افزایش مقدار کلروفیل موجب افزایش مقدار فتوسنتز شده که این امر موجب تولید ماده خشک و عملکرد بیشتری می‌گردد. ضیائی‌ان و ملکوتی (۳۵) گزارش نمودند که مصرف آهن، عملکرد دانه و کلش گندم را به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد افزایش داد.

میانگین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (اثر اصلی رقم) نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان داد، به طوری که بیشترین عملکرد از گندم تریتیکاله با ۷۹۹۹/۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار از رقم C75-5 برابر با ۵۹۱۷/۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد.

غلظت آهن در اندام هوایی

جدول ۳ نشان می‌دهد که میانگین اثر مصرف آهن بر غلظت آهن در اندام هوایی ژنوتیپ‌های گندم اگرچه افزایشی است ولی معنی‌دار نیست.

مابقی به صورت سرک در دو مرحله انتهای پنجه‌دهی و ابتدای خوشه‌دهی مصرف شد. به منظور تعیین غلظت و جذب آهن در اندام هوایی در مرحله رشد رویشی GS6 در مقیاس فیکس (ابتدای ساقه رفتن و ظهور اولین گره ساقه) نمونه‌برداری از کل اندام هوایی انجام شد. بعد از برداشت و تعیین عملکرد دانه بر اساس روابط زیر اقدام به محاسبه کارایی آهن در ارقام و گونه‌های گندم گردید.

گراهام و همکاران (۱۳) کارایی عناصر غذایی را بر حسب عملکرد نسبی یک ژنوتیپ در خاک فقیر، در مقایسه با عملکرد آن در شرایط تغذیه مطلوب را بر اساس رابطه ۱ تعریف نمودند.

$$\text{[رابطه ۱]} \quad 100 \times \frac{\text{عملکرد دانه در تیمار شاهد (Fe}_0\text{)}}{\text{عملکرد دانه در تیمار کودی (Fe}_1\text{)}} \times \frac{\text{کارایی مصرف}}{\text{مصرف}}$$

کراس ول و گودوین (۹) نوع دیگری از کارایی را بصورت تولید اقتصادی بدست آمده به ازای هر واحد عنصر غذایی مصرف شده تعریف نمودند و آنرا با استفاده از رابطه ۲ محاسبه نمودند. [رابطه ۲]

$$\text{عملکرد دانه در شاهد (Fe}_0\text{)} - \text{عملکرد دانه در تیمار (Fe}_1\text{)} = \frac{\text{کارایی زراعی (کودپذیری)}}{\text{مقدار کود مصرف شده (کود آهن)}}$$

رائون و جانسون (۲۸)، نوع دیگری از کارایی تحت عنوان کارایی بازیافت را بر حسب مقدار عنصر غذایی جذب شده به ازای هر واحد عنصر غذایی مصرف شده بر اساس رابطه ۳ محاسبه نمودند. [رابطه ۳]

$$\text{[جذب آهن در دانه شاهد - جذب آهن در دانه تیمار]} = \frac{\text{کارایی بازیافت}}{\text{مقدار عنصر (آهن) مصرف شده}}$$

نتایج و بحث

باتوجه به اینکه آزمون بارتلت یکنواختی واریانس‌ها را برای هر یک از متغیرهای مورد اندازه‌گیری در طی دو سال آزمایش تأیید کرد،

جدول ۲- اثر مصرف آهن (Fe) بر عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم (آزمون دانکن $\alpha = 0.05$)

Table 2- Effect of iron use on grain yield of wheat genotype (Duncan's multiple range test)

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه (Kgha ⁻¹) Grain yield			درصد افزایش عملکرد دانه Grain yield increase percentage
	-Fe	+Fe	میانگین Mean	
دوروم Durum	5855.6 ^{ef}	6860.8 ^{cd}	6358.2 ^c	17.1
تریتیکاله Thrictosecale	7661.1 ^b	8338.1 ^a	7999.6 ^a	8.8
الوند Alwand	6263.6 ^{de}	6996.0 ^c	6629.8 ^{bc}	11.7
فلات Falat	6809.8 ^{cd}	7145.1 ^{bc}	6977.5 ^b	4.9
C75-5	5556.5 ^f	6279.0 ^{de}	5917.7 ^d	13.0
طوس Toos	6533.5 ^{cd}	6799.8 ^{cd}	6666.6 ^{bc}	4.1
Mean	6446.6	7069.8 ^{**}		9.9

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است

معمولاً بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک می باشد (۶) و (۲۹). در مقادیر کمتر از ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم، شاهد بروز کمبود آهن خواهیم بود (۲۶).

با این وجود بیشترین افزایش غلظت آهن در اندام هوایی مربوط به گندم تریتیکاله (۷ درصد افزایش) و کمترین آن در گندم دوروم (۱/۴ درصد) می باشد. دامنه کفایت غلظت آهن در بافت گیاهی گندم

جدول ۳- غلظت آهن در اندام هوایی در ژنوتیپ های گندم در مرحله ابتدای ساقه رفتن (GS6) آزمون دانکن ($\alpha = 0.05$)
Table 3- Iron concentration in shoot of wheat genotypes at stem elongation stage
(Duncan's multiple range test)

ژنوتیپ Genotype	غلظت آهن اندام هوایی Concentration of Fe in shoot (mg kg ⁻¹)			افزایش غلظت آهن (درصد) Increase of Fe Concentration (%)
	- Fe	+ Fe	Mean	
Durum دوروم	128.8 ^b	130.6 ^b	129.7 ^b	1.4
Thriticosecale تریتیکاله	137.6 ^{ab}	147.3 ^a	142.5 ^a	7.0
Alwand الوند	133.1 ^b	137.6 ^{ab}	135.4 ^{ab}	3.4
Falat فلات	133.8 ^b	137.8 ^{ab}	135.8 ^{ab}	3.0
C75-5	134.6 ^{ab}	141.0 ^{ab}	137.8 ^{ab}	4.7
Toos طوس	135.5 ^{ab}	138.5 ^{ab}	137.0 ^{ab}	2.2
Mean	133.9	138.8 ^{ns}		3.6

^{ns} در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نیست

آهن برابر با ۳۳۹/۶ گرم در هکتار و گندم C75-5 دارای کمترین مقدار جذب آهن برابر با ۲۶۰/۳ گرم در هکتار می باشد. در اثر مصرف آهن در ارقام مختلف گندم، میانگین جذب آهن دانه، به مقدار ۱۶/۴ درصد ($P < 0.01$) افزایش یافت. بیشترین افزایش جذب آهن در دانه، مربوط به گندم دوروم با ۳۸/۱ درصد افزایش و کمترین افزایش جذب آهن در دانه مربوط به رقم طوس با ۵/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آهن) بود. ضیائیان و ملکوتی (۳۵) گزارش نمودند که بر اثر مصرف آهن، غلظت و جذب آن در دانه گندم به ترتیب ۱۵ و ۲۵ درصد افزایش می یابد.

کیفیت غذایی دانه گندم، شامل وضعیت غلظت عناصر کم مصرف در آن، موضوع مشترک مورد توجه متخصصان کشاورزی و تغذیه می باشد (۳۲). گاوآلو و همکاران (۱۱) در یک بررسی سه ساله روی نمونه های گندم گردآوری شده از مزارع گندم کانادا، دریافتند که عوامل خاکی از گزینه های اصلی مؤثر در کنترل غلظت عناصر کم مصرف در دانه گندم هستند. مک گرات (۲۲) اختلافات ناچیزی بین ارقام مختلف گندم از لحاظ غلظت عناصر کم مصرف در دانه، گزارش کرد. این در حالی است که دکمن و همکاران (۱۰)، مورگانف و همکاران (۲۴) و چاتراف (۷) تفاوت های بارزی بین ارقام مختلف گندم ملاحظه کردند. در پژوهش های انجام شده روی ۸۱ ژنوتیپ گندم، غلظت آهن دانه بین ۴۱/۴ تا ۶۶/۷ میلی گرم در کیلوگرم متغیر بود (۲).

با تأمل در جداول ۲ و ۳ ملاحظه می شود که در ارقام گندم طوس و فلات، کوددهی آهن تأثیری بر غلظت آهن در برگ و عملکرد دانه نداشته است. یا به عبارت دیگر این دو رقم قادر به تأمین آهن مورد نیاز خود در شرایط بدون کوددهی هستند. در ارقام دوروم، تریتیکاله، الوند و C75-5 کوددهی آهن نیز اگرچه تأثیر معنی داری بر غلظت آهن برگ نداشته ولی عملکرد دانه را بطور معنی داری ($P < 0.05$) افزایش داده است. این عدم همخوانی ظاهری تغییرات غلظت آهن در برگ با تغییرات عملکرد دانه می تواند به سبب اثر رقت رخ داده باشد. به عبارت دیگر کوددهی آهن علاوه بر افزایش عملکرد دانه، سبب افزایش رشد اندام هوایی و جذب بیشتر آهن نیز شده است ولی اثر رقت حاصل از افزایش رشد اندام هوایی سبب ثابت ماندن مقدار آهن در واحد وزن اندام هوایی شده است.

غلظت و جذب آهن در دانه

مصرف آهن موجب افزایش میانگین غلظت آهن در دانه به میزان ۵/۷ درصد گردید ولی این افزایش از نظر آماری معنی دار نبود (جدول ۴). با این وجود بیشترین افزایش غلظت آهن در اثر مصرف این عنصر در دانه، مربوط به گندم دوروم و به میزان ۱۷/۸ درصد بود. همچنین مقایسه ژنوتیپ های گندم در ارتباط با جذب آهن توسط دانه نشان می دهد که گندم تریتیکاله دارای بیشترین میزان جذب

دامنه کفایت غلظت آهن در دانه گندم بین ۲۵ تا ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک دانه گزارش شده است (۶ و ۲۹). این در حالی است که بر اساس اظهارات گراهام و همکاران (۱۴) غلظت تأثیرگذار آهن بر سلامت افراد جامعه، ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک دانه گندم می‌باشد.

جدول ۴- اثر مصرف آهن بر غلظت و جذب آهن در دانه ژنوتیپ‌های گندم

Table 4- Effect of iron use on iron concentration and uptake in grain of wheat genotypes

Table 4- Effect of iron use on iron concentration and uptake in grain of wheat genotypes								
ژنوتیپ Genotype	غلظت آهن Fe Concentration (mg kg ⁻¹)			افزایش غلظت آهن در (%) دانه Increase of Fe concentration in grain	جذب آهن در دانه Fe Uptake in grain(gha ⁻¹)			افزایش جذب آهن در دانه (%) Increase of Fe uptake in grain (%)
	- Fe	+ Fe	Mean		-Fe	+ Fe	Mean	
Durum دوروم	44.8 ^{ab}	52.8 ^a	48.8 ^a	17.8	262.3 ^{cd}	362.2 ^a	312.2 ^a	38.1
Thriticosecale تربتیکاله	41.0 ^b	43.8 ^{ab}	42.8 ^a	6.8	314.1 ^{bc}	365.2 ^a	339.6 ^a	16.2
Alwand الوند	45.5 ^{ab}	48.3 ^{ab}	46.9 ^a	6.1	284.9 ^{bcd}	337.9 ^{abc}	311.4 ^a	18.6
Falat فلات	45.1 ^{ab}	46.1 ^{ab}	45.6 ^a	2.2	307.1 ^{bcd}	329.3 ^{ab}	318.2 ^a	7.2
C75-5	44.0 ^{ab}	44.0 ^{ab}	44.0 ^a	0	244.4 ^d	276.2 ^{bcd}	260.3 ^b	13.0
Toos طوس	42.5 ^{ab}	43.0 ^{ab}	42.7 ^a	1.1	277.6 ^{bcd}	292.3 ^{abc}	284.9 ^{ab}	5.3
Mean	43.9	46.2 ^{ns}		5.7	282.2	326.6 ^{**}		16.4

کارایی آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم

کارایی مصرف، کارایی زراعی (اقتصادی یا کودپذیری) و کارایی بازیافت آهن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در جدول ۵ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌گردد ارقام گندم فلات، طوس و همچنین گندم تریتیکاله دارای کارایی مصرف آهن بالاتر از ۹۰ درصد بوده و در دسته ارقام با کارایی مصرف بالای آهن قرار می‌گیرند. در مقابل گندم دوروم با کارایی مصرف ۸۱/۰۲ درصد کمترین کارایی را در مقایسه با سایر ارقام گندم دارد. کارایی زراعی آهن (کودپذیری) در

ژنوتیپ‌های مختلف نیز در گندم دوروم بیش از سایر ارقام بوده و کمترین کارایی زراعی مربوط به ارقام گندم فلات و طوس می‌باشد. به عبارت دیگر به ازاء مصرف هر کیلوگرم کود آهن در هکتار، ۱۳۰/۲ کیلوگرم دانه در گندم دوروم تولید شده است. نتایج مربوط به کارایی بازیافت آهن در ژنوتیپ‌های مختلف نیز نشان دهنده آن است که بیشترین کارایی بازیافت مربوط به رقم دوروم با ۱۶/۶۵ درصد بوده و سایر ارقام گندم مورد مطالعه در این آزمایش بطور کلی دارای کارایی بازیافت کمتری برای آهن می‌باشند.

جدول ۵- کارایی مصرف، زراعی و بازیافت آهن در ژنوتیپ‌های گندم

Table 5- Iron use efficiency, agronomic efficiency and apparent recovery efficiency wheat genotypes

ژنوتیپ Genotype	کارایی مصرف Use Efficiency (%)	کارایی زراعی (کودپذیری) Agronomic Efficiency (kgkg ⁻¹)	کارایی بازیافت ظاهری Apparent Recovery Efficiency (%)
Durum دوروم	81.02	130.22	16.65
Thriticosecale تریتیکاله	91.80	67.70	8.51
Alwand الوند	89.50	73.24	8.83
Falat فلات	95.30	33.53	3.70
C75-5	88.40	72.25	5.30
Toos طوس	96.00	26.63	2.45

جذب آهن داشت.

در تحقیق انجام شده توسط شی و همکاران (۳۱)، هیچ همبستگی معنی‌داری بین غلظت آهن دانه و کارایی آهن در مراحل اول رشد وجود نداشت. بررسی‌های بیشتر توسط آن‌ها نشان داد که

راحمی و همکاران (۲۷)، در یک تحقیق گلخانه‌ای با سه رقم گندم فلات، پیشتاز و پارسی، مشاهده کردند که در رقم فلات با افزایش آهن، جذب، عملکرد رویشی و نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش یافت و در بین این سه رقم، رقم فلات کارایی کمتری در

(II) مشهور است، در شرایط کمبود آهن صورت می‌گیرد. این موضوع در تحمل ژنوتیپ‌های گندم به کمبود آهن دخالت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

ژنوتیپ‌های مختلف گندم مورد بررسی در این تحقیق، توانایی‌های متفاوتی در جذب و مصرف آهن داشتند. در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق، ارقام طوس، فلات و گندم تربیتکاله کارایی آهن بالاتری داشتند. این ارقام ضمن داشتن کارایی بالای مصرف آهن، عملکردهای بالای دانه را نیز به خود اختصاص داده‌اند.

اصلی‌ترین عامل مؤثر در کارایی مصرف آهن، جذب آهن بوده و این عامل نیز بیشتر تحت تأثیر سطح ریشه بوده است.

پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با کارایی عناصر کم‌مصرف در خانواده گرامینه نشان می‌دهد که این کارایی بیشتر متأثر از توانایی گیاه برای جذب این عناصر از خاک است، تا تحرک مجدد آن‌ها در درون گیاه (۱۳). در ارتباط با گندم، ساز و کارهایی نظیر ریخت‌شناسی ریشه، تلقیح میکروبی، ترشح فیتوسیدروفورهای متحرک کننده آهن و تفاوت در جذب، ممکن است در افزایش آهن کارایی دخالت داشته باشند (۵). کاکماک و همکاران (۵) اظهار داشتند که آزاد شدن فیتوسیدروفورها از ریشه گیاهان خانواده گرامینه که به استراتژی دو

منابع

- Aciksoz S.B., Yazici A., Ozturk L., and Cakmak I. 2011. Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. *Plant and Soil*. (349):215-225.
- Badakhshan H., Namdar M., Mohammadzadeh H., and Mohammadi R. Z. 2013. Genetic variability analysis of grains Fe, Zn and beta-carotene concentration of prevalent wheat varieties in Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*.(6):57-62.
- Balali M.R., Malakouti M.J., Khademi Z., and Mashayekhi H.H. 1999. The effects of micronutrients on the increase of yield, and determination of their critical level in irrigated wheat in Iran. *Journal of Soil and Water (Special Issue, Wheat)*, 12(6):111-119. (In Persian with English abstract).
- Behl K.R., Osaki M., Wasaki J., Watanabe T., and Shinano T. 2003. Breeding wheat for zinc efficiency improvement in semi-arid climate- A review. *Tropics*. (12): 295-312.
- Cakmak I., Sari N., Marschner H., Yilmaz M., Ekiz S., and Gulut K.Y. 1996. Dry matter production and distribution of zinc in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant and Soil*. (180): 173-181.
- Cakmak I., Pfeiffer W.H., and McClafferty B. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*. 87(1): 10-20.
- Chatzav M., Peleg Z., Ozturk L., Yazici A., Fahima T., Cakmak I., and Saranga Y. 2010. Genetic diversity of grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement. *Annals of Botany*.(105).1211-1220.
- Clark R.B. 1983. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. *Plant and Soil*.(72): 175-196.
- Craswell E.T., and Godwin D.C. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. *Advances in Plant Nutrition*.
- Dikeman E., Pomeranz Y., and Lai F.S. 1982. Mineral and protein contents in hard red winter wheat. *Cereal chemistry*. 59(2): 139-142.
- Gawalko E.J., Garret R.G., and Nowicki T.W. 2001. Trace elements in western Canadian hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.): Levels and quality assurance. *The Journal of AOAC International* (84): 1953-1963.
- Gayomba S.R., Zhai Z., Jung H.I., and Vatamaniuk O.K. 2015. Local and systemic signaling of iron status and its interactions with homeostasis of other essential elements. *Frontiers in Plant Science*. (6):716.
- Graham R.D., Ascher J.S., and Hynes S.C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotype for soils of low zinc status. *Plant and Soil*. (146): 241-250.
- Graham R.D., Welch R.M., Saunders D.A., Ortiz-Monasterio I., Bouis H.E., Bonierbale M., Haan S., Burgos G., Thiele G., Liria R., Meisner C.A., Beebe S.E., Potts M.J., Kadian M., Hobbs P.R. Gupta R., and Twomlow S. 2007. Nutritious subsistence food systems. *Advanced in Agronomy*. (92): 1-72.
- Kalayci M., Torun B., Eker S., Aydin M., Ozturk L., and Cakmak I. 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivation grown in a zinc- deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crop Research*.(63): 87-98.
- Khoshgoftarmansh A.H., Razizadeh E.S., Eshghizadeh H.R., Sharifi H.R., Savaghebi GH., Afiuni D., and Tadaionnejad M. 2012. Comparison of different spring wheat genotypes based on their response to iron fertilization in a calcareous soil. *Jornal of Water and Soil Science - Isfahan University*. 15 (58):99-107.
- Hajiboland R., Yang X.E., Romheld V., and Neumann G. 2005. Effect of bicarbonate on elongation and distribution of organic acids in root and root zone of Zn-efficient and Zn-inefficient rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Environmental and Experimental Botany*.(54): 163-173.
- Hemantaranjam A., and Grag O.K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum*

- aestivum* L. Journal of Plant Nutrition. (11):1439-1450.
- 19- Klute A. 1986. Method of soil analysis, part I: Chemical and microbiological methods. Madison, Wisconsin USA
- 20- Lindsay W. L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. (42): 421-428
- 21- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants 2nd Academic press. 890P. Newyork.
- 22- McGrath S.P. 1985. The effects of increasing yield on the macro and microelement concentration and offtakes in the grain of winter wheat. Journal of the Science of Food and Agriculture.(36):1073-1083
- 23- Mendoza A.B. 1999. Absorption and assimilation of iron in plant. Departamento De Horticultura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Translation by Roger Miller. Available in electronic address: <http://home.infinet.net/teban/iron/ironw.html>.
- 24- Morgounov A., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A., Dzhunusova M., Yessimbekova M., Muminjanov H., Zelenskiy Y., Ozturk L., and Cakmak I. 2007. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. Euphytica.(155):193-203.
- 25- Paye A.L., Miler R.H., and Keeney D.R. 1984. Method of soil analysis. Part II. SSSA Inc.
- 26- Pervaiz Z., Hussain K., Kazmi S.S.H., Gill K.H., and Sheikh A.A. 2003. Iron requirement of barani wheat. International Journal of Agriculture and Biology. (5):608-610.
- 27- Rahemi S., Khorassani R., and Halajnia A. 2014. Uptake efficiency of iron in different wheat varieties. Journal of Water and Soil. (28), No: 3: 556-564. (In Persian with English abstract)
- 28- Raun W.R., and Johnson G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. (91):357-363.
- 29- Rengel Z., Batten G.D., and Crowley D.E. 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density inedible portions of field crops. Field Crops Research(60):27-40.
- 30- Shahbazi K., and Besharati H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Journal Management System. 1(1): 1-15. (In Persian with English abstract).
- 31- Shi R.L., Zhang F.S., and Zou C.Q. 2010. Iron efficiency of different wheat genotypes and its main contributed factor. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 16(6): 1306-1311.
- 32- Svecnjak Z., Jenel M., Bujan M., Vitali D., and Dragojevic I.V. 2013. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. Agricultural and Food Science. (22): 445-451.
- 33- Tinker P. B., and Lauchli A. 1984. Advances in plant nutrition. Academic Pub., Dordrecht, the Netherlands.
- 34- Velu G., Ortiz-Monasterio I., Cakmak I., Hao Y., and Singh R.P. 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. Journal of Cereal Science. 59(3): 365-372.
- 35- Ziayeian A., and Malakouti M.J. 1999. The Performance of wheat in some strongly calcareous soil supplemented with Fe, Mn, Zn and Cu in greenhouse. Journal of Soil and Water (Special Issue, Wheat), 12(6):75-86. (In Persian with English abstract).



Application and Fertilization Efficiency of Iron in Some Wheat Genotypes

P. Keshavars^{*1}- M. Forouhar²- M. Dadivar³

Received: 13-03-2017

Accepted: 13-08-2017

Introduction: World cereal demand is growing at present in accordance with the global expansion of human populations. Deficiency of micronutrients in cereal cropping is one of the major worldwide problems. Beside of lowering grain yield, it may cause some healthy problems in human populations. Iron is an essential micro element in the soil that mainly had been found as the insoluble (Ferric or Fe^{3+}) form. Although ferric iron is relatively insoluble in water, the solubility of total inorganic iron decreases between pH of 7.4 to 8.5 range which is dominant in calcareous soils. It is estimated that nearly half of the world population is affected from Fe deficiency problem. Major reason for widespread occurrence of Fe deficiency in human populations is very little dietary diversity and high consumption of cereal-based foods with very low amount and poor availability of Fe. Bread wheat is the most widely grown cereal grain with 65% (6.5 million hectares) of the total crop cultivated area in calcareous soils of Iran. Most wheat cultivars currently used have been selected for high yields under optimum fertilizer conditions. Consequently, research is needed to select efficient genotypes that will grow and produce under conditions of lower fertilizer input or soil micronutrients deficiencies. This is especially true for the expansion of wheat cultivation which is often growing in calcareous soil of Iran. These soils are characterized with low fertility, high pH value, low organic matter content and low micronutrients availability. Environmental concerns in wheat production for human population indicate that to improve wheat quality and quantity, the zero or possible lowest amounts of chemical fertilizers would be applied. In this regard, the use of iron-efficient genotypes that have also high yield can be considered as a key strategy.

Materials and Methods: In order to investigate Fe efficiency in various wheat genotypes, a factorial experiments a randomized complete block design was carried out with three replications in agricultural and natural resource research and education center of Khorasan Razavi province, Mashhad (Torough Station), Iran, during 2009-2011. Treatments were consisted of two levels of Fe fertilizer (0 and 10 kg h^{-1} as Fe-EDDHA) and six genotypes of wheat including: three cultivars and one line of bread wheat (Alvand, Falat, Toos, and C75-5, respectively), two species of wheat known as *Thriticosecale* and *Durum*. The trial plots's size was 9×3.6 (32.4 m^2). According to the results of soil analysis, total nitrogen, available forms of phosphorus and potassium were 0.05%, 7.2, and 180 mg kg^{-1} , respectively. DTPA extractable of iron, zinc, manganese and copper were 2.4, 0.52, 3.4 and 0.7 mg kg^{-1} , respectively. Soil texture was silt loam. Soil organic carbon percentage and equivalent CaCO_3 percentage (T.N.V) were 0.48% and 18.7%, respectively. The electrical conductivity (EC) and pH measured in saturated extract were 1.4 dSm^{-1} and 8.1, respectively. At defined phenological stage (SG6 based on Fix's Index), the Fe concentration in shoot was measured. Moreover, grain yield and Fe uptake by grain were determined at the end of ripening stage. Iron use efficiency, agronomic efficiency and apparent recovery efficiency were calculated and studied as dependent variables.

Results and Discussion: The grain yield is the most integrative trait of a particular genotype. The results showed that Fe application increased significantly grain yield by 9.9% in comparison with control. In our research the highest grain yield increase due to Fe application was found in *Durum* wheat (17.1%), and the lowest grain yield increase, were found in Toos cultivar (4.1% yield increase). Application of Fe increased Fe concentration and uptake in grain about 5.7% and 16.4%, respectively. In terms of iron uptake by grain, *Thriticosecale* wheat and C75-5 cultivar had the highest (339.6 g ha^{-1}) and the lowest amounts of Fe uptake (260.3 g ha^{-1}), respectively. Also, application of Fe had no significant effects on Fe concentration in shoot. Fe use efficiency in bread wheat genotype, *Durum* and *Thriticosecale* wheat was ranked as: *Durum* < C75-5 < Alvand < *Triticale* < Falat < Toos. According to our research results, Toos and Falat cultivars and *Thriticosecale* have higher iron use efficiency than Alvand and C75-5 cultivars and *Durum* wheat. The results also suggest that to obtain higher yield in *Durum* wheat, soil and foliar application of Fe is more necessary in comparison with other genotypes especially Toos and Falat.

1, 2 and 3- Associate Professor and Instructors of Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, Respectively

(*- Corresponding Author Email: P.keshavars@areeo.ac.ir)

Conclusion: There were various abilities to uptake and use Fe by different wheat genotypes. Fe-efficient genotypes of wheat were Toos and Falat also Triticale. Moreover, these genotypes also had higher grain yield.

Keywords: Durum, Agronomic efficiency, Iron Efficient, Microelement , Thriticosecale



تعیین عوامل مؤثر بر گسترش آبکندهای حوزه‌ی آبخیز مدرس شوشتر

فریدون سلیمانی^۱ - مجید صوفی^{۲*} - عزیز ارشم^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴

چکیده

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز شهید مدرس شوشتر می‌باشد که بخش‌های زیادی از اراضی کشاورزی آن مورد تهدید فرسایش آبکندی واقع شده است. هدف از این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر در پیشروی طولی فرسایش آبکندی و مدل‌سازی آن می‌باشد. به همین منظور ابتدا نقشه پراکنش اقلیمی و آبکندی استان تهیه و سپس از هر طبقه اقلیمی یک حوزه آبخیز که دارای بیش‌ترین خسارات فرسایش آبکندی بود انتخاب شد و در نهایت حوزه آبخیز هدام از طبقه اقلیمی گرم- خشک بیابانی و حوزه آبخیز شریف از طبقه اقلیمی گرم- نیمه خشک انتخاب شد و از هر حوزه آبخیز ۱۵ عدد آبکند انتخاب و پارامترهای مختلف در این آبکندها بررسی و اندازه‌گیری شد. در نهایت رابطه بین پیشروی طولی آبکند با ویژگی‌های آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، درصد پوشش گیاهی، سنگ‌ریزه، خاک لخت، لاشبرگ، شیب، مساحت بالای پیشانی آبکندها، بارندگی و مساحت کاربری‌های مختلف در طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۲) مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌سازی پیشروی آبکند با استفاده از رگرسیون چندمتغیره در نرم‌افزار SPSS با استفاده از روش گام به گام انجام گردید. نتایج حاکی از این است که در حوزه آبخیز هدام بیش‌ترین رشد طولی آبکند در دوره بررسی، مربوط به آبکند شماره A17 به میزان ۷۸/۸ متر است و آبکند B2 کم‌ترین میزان رشد طولی را به میزان ۳/۸ متر داشته است. در حوزه آبخیز شریف بیش‌ترین رشد طولی آبکند مربوط به آبکند شماره B3 به میزان ۱۰۸/۱ متر و آبکند B4 کم‌ترین میزان رشد طولی به میزان ۱۰/۱ متر را در طی این ۲۰ سال داشته است. نتایج حاصل از خوشه‌بندی آبکندها نشان داد که آبکندهای حوزه آبخیز هدام در دو خوشه و آبکندهای حوزه آبخیز شریف در سه خوشه قرار گرفتند. معادله نهایی برای گسترش طولی آبکندهای هدام در خوشه یک نشان می‌دهد که میزان گسترش طولی تابع سه متغیر مساحت بالای نقطه اولیه (X4)، درصد خاک لخت (X6) و شیب نقطه اولیه (X2) است. در خوشه دو، میزان گسترش طولی تابع دو متغیر درصد سیلت (X18) و مقدار اسیدیته (X23) است. معادله نهایی برای پیشرفت آبکندهای شریف در خوشه یک نشان می‌دهد که میزان پیشرفت تابع مساحت بالای پیشانی (X3) است. در خوشه دو، میزان پیشرفت تابع دو متغیر مساحت بالای نقطه اولیه (X4) و سدیم (X22) است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز خوشه‌ای، حوزه آبخیز هدام و شریف، خوشه بندی آبکند، فرسایش آبکندی

مقدمه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶/۴ میلیون هکتار، دارای

اراضی مستعد کشاورزی می‌باشد که فرسایش آبکندی بخش‌های زیادی از این اراضی را تخریب می‌کند. یکی از حوضه‌های مهم و معرف استان که بخش‌های زیادی از اراضی کشاورزی آن مورد تهدید فرسایش آبکندی واقع شده است حوزه آبخیز شهید مدرس شوشتر می‌باشد. پیشروی فرسایش آبکندی در این حوضه باعث از بین رفتن اراضی کشاورزی و در نتیجه ترک کردن کار کشاورزی از سوی زارعین منطقه شده که در نهایت فقر و مهاجرت به شهرها و... از تبعات اجتماعی آن خواهد بود. آبکند مشهودترین شکلی از فرسایش خاک است که بر توان تولیدی خاک و محدود کردن استفاده از زمین اثر گذاشته و می‌تواند تهدیدی برای جاده‌ها، اراضی کشاورزی و ساختمان‌ها باشد (۵). انجمن علوم خاک امریکا (۲۵) آبکند را کانالی با عمق ۵/۳ تا ۳/۰ متر در اراضی زراعی تعریف کرده که با استفاده از ادوات معمول کشاورزی قابل حذف نیستند این نوع آبکند را آبکند

- ۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، پژوهشگر بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۲- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- (*) نویسنده مسئول: (Email: majidsoufi2@gmail.com)
- ۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.63329

دائمی یا کلاسیک می‌نامند.

عوامل مؤثر بر تشکیل و گسترش آبکندها به دو گروه عمده طبقه بندی می‌گردند: الف- فاکتورهای ناشی از دخالت انسان (تغییر کاربری اراضی، استفاده بیش از حد از زمین‌های کشاورزی، چرای مفرط، آتش سوزی، استخراج معادن و ساخت جاده) و ب- فاکتورهای فیزیکی (شرایط آب و هوایی، توپوگرافی شامل مساحت حوزه آبخیز بالادست آبکند، شکل حوزه آبخیز بالادست آبکند، شیب آبکند، کف آبکند و نهایتاً عوامل خاک و زمین‌شناسی شامل بافت و نفوذپذیری خاک و سازند، وجود املاح و نمک‌های انحلال‌پذیر، خصوصیات افق‌های خاک و پوشش گیاهی می‌باشد (۷). این در حالی است که مورگان و همکاران (۱۵) فرسایش آبکندی را ناشی از عملکرد درونی بین مجموعه‌ای از عوامل می‌داند که مهم‌ترین آن‌ها حجم و سرعت رواناب سطحی، حساسیت خاک به فرسایش، تغییرات پوشش گیاهی و نحوه استفاده از اراضی است. در سه دهه اخیر پژوهش‌هایی درباره انواع مختلف فرسایش خاک از جمله فرسایش آبکندی انجام شده است که پاره‌ای از آنها به شرح زیر است:

رستمی‌زاد و همکاران (۲۲) با بررسی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها و پیش‌بینی گسترش آن در شهرستان دره‌شهر ایلام اظهار داشت گسترش طولی آبکند تابعی از طول آبکند، نسبت جذب سدیم، درصد شن و میزان انحناى دامنه بوده و گسترش حجمی آبکند تابعی از سطح مقطع آبکند، درصد آهک و ضریب کشیدگی حوزه آبخیز بالادست آبکند می‌باشد.

عابدینی (۱) در مطالعه خود در اراضی آبکندی دشت هادی شهر آذربایجان شرقی بیان می‌کند که رابطه معکوس و معنی‌داری بین ابعاد آبکند با شیب و ارتفاع محل پیدایش آن وجود دارد وی دلیل این رابطه را ضخامت کمتر خاک و مواد ریزدانه در محل‌های مرتفع و پرشیب می‌داند. بیاتی خطیبی (۳) با بررسی عوامل مؤثر بر گسترش فرسایش آبکندی در منطقه مشکین شهر بیان می‌کند که شیب و مساحت بالادست آبکند عوامل اصلی در تمرکز جریان و پیدایش آبکند بوده و طول دامنه و اختلاف ارتفاع را عوامل اصلی گسترش آبکند در منطقه می‌داند. با افزایش مساحت بالادست آبکند، هدایت الکتریکی خاک، درصد سیلت و شن رشد طولی آبکند بیش‌تر می‌شود (۱۶، ۱۲، ۹ و ۲۶). مایر و مارتینز (۱۳) عوامل مؤثر بر گسترش فرسایش آبکندی را در یک حوضه کشاورزی مورد مطالعه قرار دادند. ابتدا از میان عوامل مختلف توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی با استفاده از آزمون‌های تی و کای اسکوئر عوامل تأثیرگذار را انتخاب نمودند. بر این اساس دو عامل درجه و شکل شیب بعنوان مؤثرترین عوامل انتخاب شدند که می‌توانند با دقت ۸۵٪ وقوع فرسایش آبکندی را پیش‌بینی کنند. احتمال آبکندی شدن در شیب‌های مقعر بدلیل تمرکز جریان آب بیش‌تر است (۲۷).

ناشرگیل و همکاران (۱۷) در مطالعه خود سیر تکاملی آبکندهای

ایجاد شده در اراضی کشاورزی واقع در کمربند لسی بلژیک را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها با بررسی تغییرات در یک دوره ۱۳ ساله بیان می‌کنند که طول، مساحت بالادست و حجم آبکند در طول زمان بصورت یک رابطه توانی معکوس تکامل می‌یابند. پژوهش‌های متعدد حاکی از این است که با افزایش مقدار رس خاک، رشد حجمی آبکند کاهش می‌یابد. ریزدانه بودن ذرات تشکیل دهنده سازند زمین‌شناسی مانند سیلت و شن، بستر بسیار مناسبی برای پیشروی آبکندهاست (۱۴). طی پژوهشی در منطقه دره شهر ایلام مشخص گردید که آبکندها در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد ایجاد شده و درصد رس عامل مهمی در توسعه آبکند است (۲۰). در پژوهشی دیگر احمدی و محمدی (۲) عوامل مؤثر بر رشد و توسعه آبکند را در حوزه آبخیز حبله رود مورد مطالعه قرار دادند. ایشان با مقایسه عکس‌های هوایی طی دوره زمانی ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۴ به این نتیجه رسیدند که عوامل مساحت بالادست آبکند، درصد نمک‌های محلول خاک و میزان رس به ترتیب بیش‌ترین معنی‌داری را با میزان گسترش آبکندها داشته‌اند.

نظری سامانی و همکاران (۱۸) در حوزه آبخیز سمل در بوشهر شرایط تشکیل آبکند را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با استفاده از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی و همچنین مدل ارتفاعی رقومی تعداد ۹۷ بالاکند فعال را شناسایی کرده و بر اثر فرآیند غالب تشکیل آن‌ها را در سه گروه با منشأ پایپینگ، لغزش و رواناب سطحی تقسیم کردند. نتایج نشان داد که در ارتباط با منشأ پایپینگ، خصوصیات خاک (EC، SAR و بافت خاک) و کاربری اراضی مهم‌ترین عوامل هستند. برای منشأ لغزش، شیب‌های بالا (۴۰-۲۸ درصد)، سازندهای حساس و وجود لایه ماسه در نیمرخ خاک مؤثر می‌باشند و در مورد منشأ رواناب سطحی که بیش‌تر در اراضی مرتعی ایجاد شده رابطه معنی‌دار و قوی بین شیب و مساحت بالادست آبکند وجود دارد که از این رابطه می‌توان برای پیش‌بینی مناطق مستعد توسعه فرسایش آبکندی استفاده کرد. نظری سامانی و همکاران (۱۹) با مطالعه پارامترهای محیطی توسعه آبکندها در حوزه حبله رود بیان می‌کنند که شیب بالادست آبکند و املاح موجود در خاک دو عامل مهم تغییرات زمانی و مکانی توسعه طولی آبکندها می‌باشند. بوخیر و همکاران (۴) با هدف تعیین مناطق مستعد فرسایش آبکندی، تعداد ۱۱ پارامتر ترکیبی مؤثر در فرسایش آبکندی را محاسبه کردند. در ادامه مدل‌های رگرسیونی بر اساس جفت‌های متفاوتی از پارامترها بدست آوردند. نتایج نشان داد که معادله رگرسیونی بر اساس جفت پارامتر نسبت مساحت به شیب و ظرفیت انتقال رسوب با ضریب تعیین ۸۰ درصد بهترین پیش‌بینی را داشته است. مالیک (۱۰)، طی بررسی‌های صورت گرفته بر روی آبکندهای کوچک در فلات جنوبی لهستان، به این نتیجه رسیده است که آبکندهای کوچک به روش‌های مختلف در کف دره‌ها و یا در شیب آن‌ها تشکیل می‌شوند. همچنین نرخ متوسط فرسایش آبکندهای کوچک را ۰/۶۳، نرخ متوسط

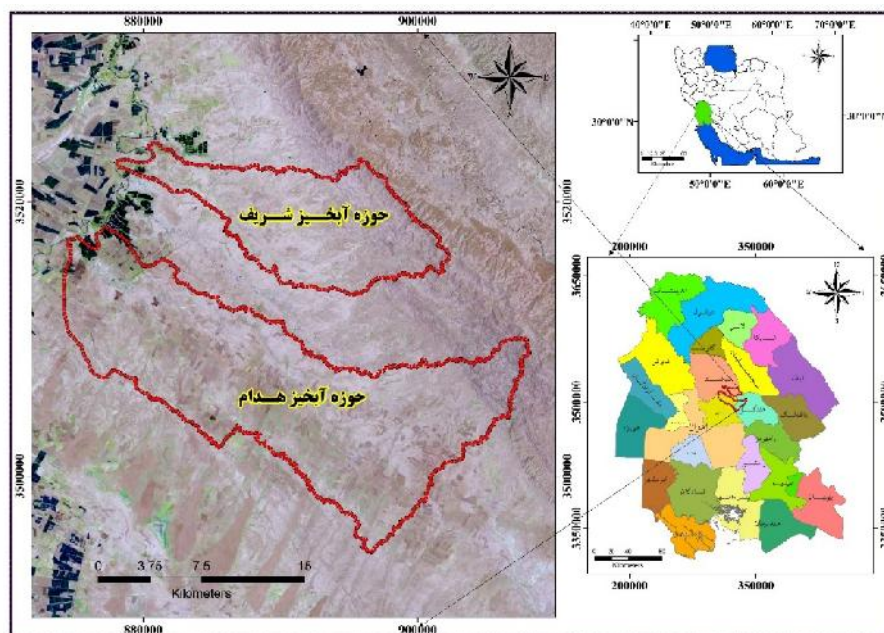
اراضی به جهت توسعه فعالیت‌های کشاورزی، ضرورت تحقیق بر روی آبکندهای استان خوزستان را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

یکی از حوضه‌های مهم و معرف استان خوزستان که بخش‌های زیادی از اراضی کشاورزی آن مورد تهدید فرسایش آبکنده واقع شده است حوزه آبخیز شهید مدرس می‌باشد. حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه به نام‌های شریف و هدام از زیرحوضه‌های شهید مدرس می‌باشند که جزء حوزه آبخیز کارون میانی است. حوزه آبخیز شریف در شرق رودخانه گرگر و حوزه آبخیز هدام در جنوب شرق رودخانه گرگر واقع شده‌اند. شکل (۱) موقعیت مناطق مورد پژوهش در کشور، استان و شهرستان را نشان می‌دهد.

فرسایش آبکنده در شیب‌ها را $0/21$ تا $0/52$ و نرخ متوسط فرسایش آبکنده در کف دره‌ها را $0/18$ تا $1/98$ متر در سال برآورد کرده است. با در نظر گرفتن مجموع مطالب فوق که منعکس کننده نتایج تحقیقات انجام شده درباره فرسایش آبکنده به ویژه عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش این نوع فرسایش است، می‌توان نتیجه گرفت که هرچند تا حدود زیادی عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید فرسایش آبکنده مشخص شده است، اما تنوع و تغییر تعداد و میزان تأثیر عوامل مختلف از نقطه‌ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آنها در شکل‌گیری و گسترش آبکندها در تبعیت از شرایط زمین محیطی ایجاب می‌نماید که تحقیقات بیشتری جهت شناسایی هر چه بیشتر عوامل مؤثر در رخداد فرسایش آبکنده و میزان مشارکت آنها در شکل‌گیری و گسترش این پدیده در نقاط مختلف و با شرایط زمین محیطی متفاوت به مرحله اجرا در آید. لذا لزوم ارائه یک مدل با هدف شناسایی و تعیین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش آبکنده و پهنه‌بندی خطر فرسایش در زمینه حفظ و پایداری این

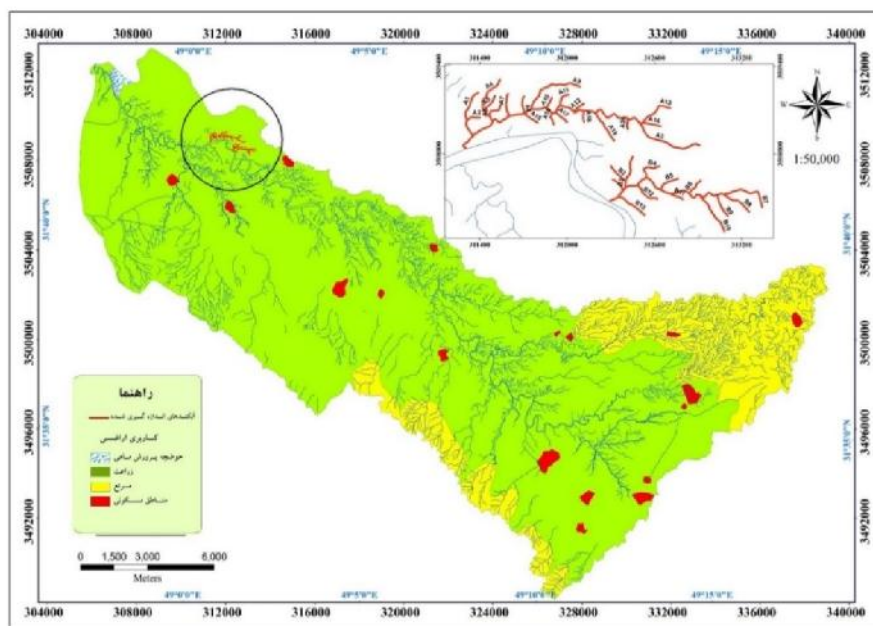


شکل ۱- موقعیت حوزه‌های آبخیز مورد پژوهش

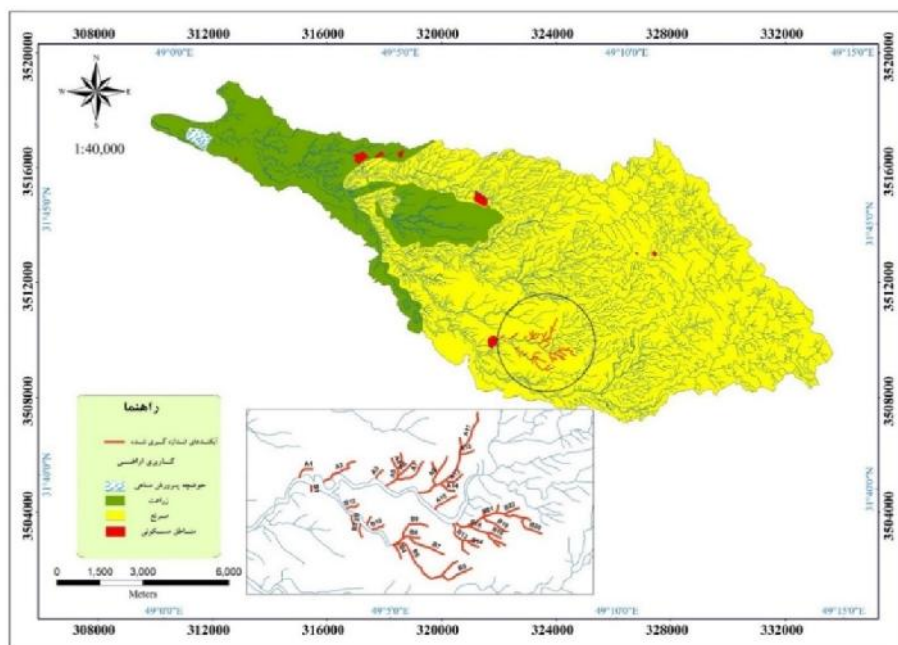
Figure 1- Location of studied watersheds

انتخاب و پارامترهای مختلف در این آبکندها بررسی و اندازه‌گیری شد. شکل‌های (۲ و ۳) به ترتیب نقشه کاربری و موقعیت آبکندهای اندازه‌گیری شده حوزه آبخیز هدام و شریف را نشان می‌دهد.

سپس از هر طبقه اقلیمی یک حوزه آبخیز که دارای فرسایش آبکنده بود انتخاب گردید که در نهایت حوزه آبخیز هدام از طبقه اقلیمی گرم- خشک بیابانی و حوزه آبخیز شریف از طبقه اقلیمی گرم- نیمه‌خشک انتخاب شد و از هر حوزه آبخیز ۱۵ عدد آبکنده



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز هدام و موقعیت آبکندهای اندازه‌گیری شده
Figure 2- Land use map of Haddam watershed and location of measured gullies



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز شریف و موقعیت آبکندهای اندازه‌گیری شده
Figure 3- Land use map of Sharif watershed and location of measured gullies

۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص گردید و مرز حوزه آبخیز منطقه آبکندی بر روی نقشه توپوگرافی ترسیم شد. از روی D.G.N های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۲۰ متر

روش کار

ابتدا مناطق آبکندی استان بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس

همبستگی بین پیشروی آبکند با ویژگی‌های آبخیز و آبکند
بعد از انجام خوشه‌بندی رابطه پیشروی آبکندها (پیشروی آبکند از طریق تفاضل طول آبکند بین سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۹۱ محاسبه می‌شود) با ویژگی‌های آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، درصد پوشش گیاهی، درصد سنگ‌ریزه، درصد خاک لخت و درصد لاشبرگ و شیب و مساحت در بالای پیشانی آبکندها و خصوصیات خاک برای قسمت‌های پیشانی و آبکند در هر خوشه بررسی شد.

رگرسیون چند متغیره

در این مطالعه رگرسیون گام به گام جهت مدل‌سازی پیشروی آبکند در نظر گرفته شد. متغیر پیشروی طولی آبکند به عنوان متغیر وابسته و سایر عوامل آبخیز و آبکند مانند مساحت و شیب بالای پیشانی آبکند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، درصد پوشش گیاهی، درصد سنگ‌ریزه و ... به عنوان متغیر مستقل می‌باشند.

نتایج و بحث

محاسبه میزان پیشروی آبکندها

الف- حوزه آبخیز هدام: در حوزه آبخیز هدام بیش‌ترین رشد آبکند مربوط به آبکند شماره A17 به میزان ۷۸/۸ متر است، این در حالی است که آبکند B2 کم‌ترین میزان رشد طولی را به میزان ۳/۸ متر برخوردار بوده است (جدول ۱).

ب- حوزه آبخیز شریف: در حوزه آبخیز شریف بیش‌ترین رشد آبکند مربوط به آبکند شماره B3 به میزان ۱۰۸/۱ متر است، این در حالی است که آبکند B4 کم‌ترین میزان رشد طولی را به میزان ۱۰/۱ متر برخوردار بوده است (جدول ۱).

شکل (۴) تصویر سمت راست نمایی از آبکندهای واقع شده در حوزه آبخیز هدام را نشان می‌دهد و تصویر سمت چپ یکی از آبکندهای حوزه آبخیز شریف را نشان می‌دهد که در حال گسترش در اراضی مرتعی می‌باشد.

خوشه‌بندی آبکندها

به منظور ارزیابی اثر متغیرهای مختلف حوزه آبخیز و آبکند بر روی پیشروی آبکند و هم‌چنین برای مدل‌سازی آن‌ها، لزوم خوشه‌بندی کردن آبکندهایی که رفتار یکسانی را ارائه می‌کنند احساس می‌شود. با توجه به اینکه تعداد خوشه‌ها بر روی روند مدل‌سازی اثر خواهد گذاشت، محققین مختلف جهت تعیین تعداد خوشه در هر آنالیز آماری روش‌های مختلفی ارائه کرده‌اند. در این مطالعه از فرمول (۱) ارائه شده توسط زارع چاهوکی (۲۸) استفاده شد.

استخراج گردید. سپس به روش دومارتن اصلاح شده طبقه‌بندی اقلیمی صورت گرفت و از هر طبقه اقلیمی یک منطقه آبکندی که دارای بیش‌ترین مشکلات و خسارت بود انتخاب گردید.

تعداد ۱۵ آبکند در هر حوزه انتخاب و موقعیت آبکندها بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و در صحرا با GPS تعیین گردید. پس از این که آبکندهای انتخاب شده بر روی نقشه در عرصه شناسایی شدند اقدام به اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل شیب نقطه اولیه ایجاد آبکند، شیب پیشانی آبکند، مساحت بالادست پیشانی آبکند گردید. هم‌چنین هر آبکند به مقاطع مختلف با فواصل ده متر تقسیم شد و در هر مقطع پارامترهایی از قبیل عرض بالا، عرض پایین و عمق آبکند اندازه‌گیری شد. که با محاسبه مقاطع عرضی و بدست آوردن احجام جزئی در مسیر هر آبکند، در نهایت حجم کل آبکند (میزان خاک از دست رفته) محاسبه گردید.

در بالای پیشانی هر آبکند درصد پوشش گیاهی، لاشبرگ، خاک لخت، شن و سنگ‌ریزه از طریق پلات اندازه‌گیری محاسبه گردید. نمونه خاک سطحی و تحتانی از بالای پیشانی و دو کناره آبکند جهت اندازه‌گیری مواردی مانند بافت خاک، هدایت الکتریکی، اسیدیته، سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم تهیه شد. ابتدا طول آبکند بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ حاصل از عکس هوایی سال ۱۳۷۲ اندازه‌گیری شد و به عنوان طول آبکند در سال ۱۳۷۲ لحاظ گردید و در مرحله میدانی طول همان آبکند در عرصه اندازه‌گیری و به عنوان طول ۱۳۹۱ آبکند در نظر گرفته شد و از طریق تفاضل طول آبکند در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۹۱، میزان پیشروی طولی آبکند برای منطقه تحقیق مدنظر قرار گرفت.

نقشه کاربری اراضی جدید از روی تصویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat (سال ۲۰۱۲) تعیین شد و مساحت هر نوع کاربری نیز مشخص گردید. در هیچ کدام از حوزه‌های آبخیز مورد بررسی ایستگاه هواشناسی موجود نمی‌باشد، و مناطق مورد بررسی درست مابین چهار ایستگاه سینوپتیک شوشتر، رامهرمز، مسجد سلیمان و اهواز قرار دارند. بنابراین مقادیر داده‌های بارش این ایستگاه‌ها از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۴ میلادی تهیه گردید و میانگین دراز مدت بارش چهار ایستگاه برابر با تقریباً ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد که برای حوزه‌های آبخیز شریف و هدام در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای ارزیابی اثر متغیرهای مختلف حوزه آبخیز و آبکند بر روی پیشروی آبکند، گروه‌بندی آبکندها به روش آنالیز خوشه‌ای (روش k-mean) صورت گرفت.

جدول ۱- میزان پیشرفت طول آبکندها (۱۳۹۱-۱۳۷۲)

Table 1- Amount of gullies longitodina progression (1993-2012)

حوزه آبخیز هدام Haddam Watershed		حوزه آبخیز شریف Sharif Watershed	
پیشروی آبکند (متر) Gully Development(m)	شماره آبکند Gully No.	پیشروی آبکند (متر) Gully Development(m)	شماره آبکند Gully No.
60.0	A8	63.9	A1
28.0	A10	28.8	A2
31.6	A11	61.5	A3
24.5	A12	32.0	A4
68.8	A15	42.0	A5
54.8	A16	45.0	A6
78.8	A17	50.0	A7
46.7	A18	82.0	B1
52.5	B1	43.6	B2
3.8	B2	108.1	B3
23.1	B4	10.1	B4
27.5	B5	58.5	B9
26.9	B8	47.8	B10
25.2	B9	42.3	B11
23.9	B10	21.9	B12
38.4	میانگین Average	49.2	میانگین Average
78.8	بیشینه Maximum	108.1	بیشینه Maximum
3.8	کمینه Minimum	10.1	کمینه Minimum
20.7	انحراف معیار Standard Deviation	24.1	انحراف معیار Standard Deviation



شکل ۴- تصویری از آبکندهای حوزه آبخیز هدام و شریف
Figure 4- Image of gullies in Haddam and Sharif watersheds

بنابراین بهترین تعداد خوشه‌ها دو تا سه مورد خواهد بود. لازم به ذکر است که تنها متغیرهای مستقل جهت خوشه‌بندی استفاده شده‌اند. آبکندهای مورد بررسی در حوزه آبخیز هدام در دو خوشه و

رابطه (۱) $(N/2)^{1/2}$ = تعداد خوشه‌ها
که در آن N تعداد گالی‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به این که در هر دو حوزه‌ی آبخیز هدام و شریف تعداد آبکندها ۱۵ مورد است

حوزه آبخیز شریف در سه خوشه همگن قرار گرفتند. جدول (۲) تعداد خوشه‌ها، شماره خوشه و فاصله هر آبکند از مرکز خوشه متناظر را

جدول ۲- خوشه‌بندی آبکندها در حوزه‌های آبخیز هدام و شریف
Table 2- Gullies clustering in Haddam and Sharif watersheds

Haddam Watershed حوزه آبخیز هدام						Sharif Watershed حوزه آبخیز شریف			
خوشه ۱ Cluster 1		خوشه ۲ Cluster 2		خوشه ۱ Cluster 1		خوشه ۲ Cluster 2		خوشه ۳ Cluster 3	
شماره ه	فاصله از مرکز خوشه ۱ Distance from cluster1	شماره ه	فاصله از مرکز خوشه ۲ Distance from cluster2	شماره ه	فاصله از مرکز خوشه ۱ Distance from cluster1	شماره ه	فاصله از مرکز خوشه ۲ Distance from cluster2	شماره ه	فاصله از مرکز خوشه ۳ Distance from cluster3
A10	89.6	A8	1071.3	A7	253.8	A1	357.2	A2	746.4
A11	107.4	A12	242.4	B1	428.3	A3	622.4	A6	746.4
A15	355.3	B2	395.9	B2	190.7	A4	853.3		
A16	124.8	B5	168.0	B3	654.7	A5	304.7		
A17	196.2	B8	423.9	B4	205.9	B10	844.9		
A18	148.2			B9	495.1	B11	327.1		
B1	173.6			B12	450.8				
B4	321.0								
B9	316.3								
B10	168.9								

مساحت بالای نقطه اولیه رابطه قوی‌ای با پیشروی آبکندها دارد. مواردی در جداول (۳ و ۴) که هیچ مقدار همبستگی و سطح معنی‌داری برای متغیرها ارائه نشده است، نشان دهنده این است که متغیر برای همه آبکندها برابر بوده است.

ب) حوزه آبخیز شریف

جدول (۴) رابطه پیشروی آبکندها و سایر خصوصیات آبکند و حوضه در آبخیز شریف را نشان می‌دهد. مقادیر همبستگی و سطح معنی‌داری در این جدول ارائه شده است. در خوشه یک رابطه معنی‌داری بین پیشرفت طول آبکند با شیب و مساحت بالای پیشانی دیده می‌شود. در خوشه دو رابطه معنی‌داری بین پیشرفت طول آبکند با متغیرهای هدایت الکتریکی، سدیم و شن در قسمت پیشانی برقرار است. همانطور که در قسمت آنالیز خوشه‌ای ذکر شده آبخیز شریف به سه خوشه تقسیم شد. نتایج همبستگی خوشه سوم به دلیل اینکه تنها دو آبکند را شامل می‌شد (که رفتاری متفاوت از مابقی خوشه‌ها و آبکندها را داشتند) ارائه نشده است، چرا که با توجه به تعداد کم آبکندها نتایج آماری صحیح نمی‌باشد.

جدول (۵) نتایج تجزیه شیمیایی برخی پارامترهای خاک در مناطق آبکندی حوزه‌های آبخیز هدام و شریف را نشان می‌دهد. این اعداد نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی ۶ نمونه خاک در هر آبکند (۹۰ نمونه خاک در هر حوزه آبخیز) است.

همبستگی بین پیشرفت طول آبکند و خصوصیات حوزه آبخیز و آبکند

رابطه پیشروی آبکندها (تفاضل طول آبکند بین سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۹۱) با ویژگی‌های آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، درصد پوشش گیاهی، سنگ‌ریزه، خاک لخت، لاشبرگ، شیب و مساحت در بالای پیشانی آبکندها در هر خوشه به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت:

الف) حوزه آبخیز هدام: جدول (۳) رابطه پیشروی آبکندها و سایر خصوصیات آبکند و حوضه در آبخیز هدام را نشان می‌دهد. مقادیر همبستگی و سطح معنی‌داری در این جدول ارائه شده است. در مواردی که سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ باشد متغیر مورد نظر با پیشروی آبکند به احتمال ۹۵٪ رابطه همبستگی معنی‌دار دارد.

در خوشه یک پیشرفت طول آبکند دارای رابطه مثبت معنی‌داری با مساحت بالای پیشانی، مساحت بالای نقطه اولیه، درصد خاک لخت و دارای رابطه منفی معنی‌دار با درصد پوشش گیاهی دارد. بدین معنی که هر چه مساحت بالای پیشانی، مساحت بالای نقطه اولیه و درصد خاک لخت بیشتر شود پیشرفت طولی آبکند بیشتر خواهد شد. برعکس هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر شود پیشرفت طولی آبکند کمتر می‌شود.

همچنین در خوشه دو این رابطه قوی علاوه بر مساحت بالای نقطه اولیه با متغیرهای سیلت و شن در قسمت پیشانی برقرار است. بنابراین می‌توان گفت که در آبخیز هدام و در خوشه‌های متفاوت

جدول ۳- رابطه پیشروی آبکندها با سایر خصوصیات آبکند در حوزه آبخیز هدام
Table 3- Gullies progression relationship with other gully properties in Haddam Watershed

خوشه ۲ Cluster 2			خوشه ۱ Cluster 1		
معنی داری Significant Level	همبستگی پیرسون Pearson Corelation	متغیر Variable	معنی داری Significant Level	همبستگی پیرسون Pearson Corelation	متغیر Variable
	1	پیشرفت طول Length progress		1	پیشرفت طول Length progress
0.87	-0.10	شیب بالای پیشانی (درصد) Slope of headcut upstream%	0.97	0.01	شیب بالای پیشانی (درصد) Slope of headcut upstream%
0.21	0.68	شیب نقطه اولیه (درصد) Slope of initiate point%	0.66	-0.16	شیب نقطه اولیه (درصد) Slope of initiate point%
0.69	0.25	مساحت بالای پیشانی (مترمربع) Upstream area of headcut (m ²)	0.05	0.63	مساحت بالای پیشانی (مترمربع) Upstream area of headcut (m ²)
0.04	0.90	مساحت بالای نقطه اولیه (مترمربع) Upstream area of initiate point(m ²)	0.00	0.81	مساحت بالای نقطه اولیه (مترمربع) Upstream area of initiate point(m ²)
	0	پوشش گیاهی Vegetation Cover	0.00	- 0.77	پوشش گیاهی Vegetation Cover
	0	خاک لخت Bare Soil	0.00	0.77	خاک لخت Bare Soil
	0	لاشبرگ Litter		0	لاشبرگ Litter
	0	سنگ ریزه Gravel		0	سنگ ریزه Gravel
0.64	-0.29	رس (G) Clay (G)	0.45	-0.27	رس (G) Clay (G)
0.25	0.63	سیلت (G) Silt (G)	0.14	0.50	سیلت (G) Silt (G)
0.33	-0.56	شن (G) Sand (G)	0.19	0.45	شن (G) Sand (G)
0.43	-0.47	منیزیم (G) Mg (G)	0.47	0.26	منیزیم (G) Mg (G)
0.31	-0.57	کلسیم (G) Ca (G)	0.36	-0.33	کلسیم (G) Ca (G)
0.32	-0.57	سدیم (G) Na (G)	0.87	0.06	سدیم (G) Na (G)
0.78	0.18	اسیدیته (G) pH (G)	0.59	0.20	اسیدیته (G) pH (G)
0.23	0.66	هدایت الکتریکی (G) EC (G)	0.47	0.26	هدایت الکتریکی (G) EC (G)
0.42	-0.47	Clay (H)	0.79	0.09	Clay (H)
0.01	0.97	Silt (H)	0.92	0.03	Silt (H)
0.04	0.98	Sand (H)	0.99	0.00	Sand (H)
0.16	-0.73	Mg (H)	0.81	-0.08	Mg (H)
0.28	-0.60	Ca (H)	0.81	-0.08	Ca (H)
0.36	-0.53	Na (H)	0.65	0.17	Na (H)
0.69	0.25	Ph (H)	0.93	-0.03	Ph (H)
0.30	-0.59	EC (H)	0.65	0.16	EC (H)

(H): پیشانی آبکند و (G): در طول آبکند

مدل سازی پیشروی آبکند

در این قسمت سعی شد در هر خوشه پیشروی آبکند مدل سازی شود. بطوری که در آن پیشروی آبکند به عنوان متغیر وابسته (Y) و سایر عوامل مانند ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، درصد پوشش گیاهی، درصد سنگ ریزه و ... به عنوان متغیر مستقل (X1 تا X24) می باشند. برای این منظور از روش های رگرسیون چندگانه (گام به گام) جهت به دست آوردن روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته استفاده شد.

الف) حوزه آبخیز هدام

معادله نهایی پیشروی آبکند برای کل آبکندهای هدام حاکی از آن است که میزان پیشرفت آبکندهای این حوضه تنها تابعی از پوشش گیاهی و میزان منیزیم است. علی رغم این که مقدار ضریب تبیین اصلاح شده ۶۰ درصد است ولی با توجه به نتایج همبستگی بالای پوشش گیاهی با گسترش طولی آبکندها که برابر ۷۷٪- است حاکی از تأثیر زیاد و معکوس پوشش گیاهی در گسترش طولی آبکندهای منطقه هدام می باشد. یعنی با افزایش پوشش گیاهی شاهد کاهش گسترش آبکندها خواهیم بود. با این وجود معادلات رگرسیونی

برای خوشه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد: معادله نهایی برای پیشرفت آبکندهای هدام در خوشه یک نشان می‌دهد که میزان پیشرفت در آبکندهای این منطقه تابع سه متغیر مساحت بالای نقطه اولیه (X4)، درصد خاک لخت (X6) و شیب نقطه اولیه (X2) است. بیش‌ترین تأثیر سه عامل ذکر شده مربوط به مساحت بالای نقطه اولیه با $\beta_1 = 0/58$ و کمترین آن مربوط به شیب نقطه اولیه با $\beta_3 = 0/32$ است. این سه عامل با ضریب تبیین اصلاح شده ۹۰ درصد در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار بر پیشرفت آبکندهای خوشه

یک منطقه هدام دارند (جدول ۶). در خوشه دو این آبخیز، میزان پیشرفت در آبکندهای این منطقه تابع دو متغیر درصد سیلت پیشانی آبکند (X18) و مقدار اسیدیته پیشانی آبکند (X23) است. تأثیر درصد سیلت برابر با $\beta_1 = 0/96$ و اثر اسیدیته برابر با $\beta_2 = 0/23$ است که این ضریب استاندارد پائین حاکی از تأثیر ناچیز اسیدیته در گسترش طولی آبکندهای خوشه دو بوده و قابل اغماض می‌باشد.

جدول ۴- رابطه پیشروی آبکندها با سایر خصوصیات آبکند در حوزه آبخیز شریف
Table 4- Gullies progression relationship with other gully properties in Sharif watershed

خوشه ۲ Cluster 2			خوشه ۱ Cluster 1		
سطح معنی‌داری Significant Level	همبستگی پیرسون Pearson Corelation	متغیر Variable	سطح معنی‌داری Significant Level	همبستگی پیرسون Pearson Corelation	متغیر Variable
	1	پیشرفت طول Length progress		1	پیشرفت طول Length progress
0.60	0.27	شیب بالای پیشانی (درصد) Slope of headcut upstream%	0.05	-0.74	شیب بالای پیشانی (درصد) Slope of headcut upstream%
0.64	-0.24	شیب نقطه اولیه (درصد) Slope of initiate point%	0.34	0.43	شیب نقطه اولیه (درصد) Slope of initiate point%
0.17	0.64	مساحت بالای پیشانی (مترمربع) Upstream area of headcut (m ²)	0.02	0.83	مساحت بالای پیشانی (مترمربع) Upstream area of headcut (m ²)
0.70	0.20	مساحت بالای نقطه اولیه (مترمربع) Upstream area of initiate point(m ²)	0.09	0.69	مساحت بالای نقطه اولیه (مترمربع) Upstream area of initiate point(m ²)
0.16	-0.64	پوشش گیاهی Vegetation Cover	0.89	0.07	پوشش گیاهی Vegetation Cover
0.10	0.72	خاک لخت Bare Soil	0.89	0.06	خاک لخت Bare Soil
0.09	-0.74	لاشبرگ Litter	0.89	0.06	لاشبرگ Litter
	0	سنگ‌ریزه Gravel		0	سنگ‌ریزه Gravel
0.42	0.41	رس (G) Clay (G)	0.67	0.20	رس (G) Clay (G)
0.15	0.66	سیلت (G) Silt (G)	0.83	0.10	سیلت (G) Silt (G)
0.39	0.44	شن (G) Sand (G)	0.69	-0.18	شن (G) Sand (G)
0.95	0.04	منیزیم (G) Mg (G)	0.49	-0.32	منیزیم (G) Mg (G)
0.97	0.02	کلسیم (G) Ca (G)	0.63	0.22	کلسیم (G) Ca (G)
0.66	0.23	سدیم (G) Na (G)	0.78	0.13	سدیم (G) Na (G)
0.61	0.27	اسیدیته (G) pH (G)	0.46	0.33	اسیدیته (G) pH (G)
0.78	0.15	هدایت الکتریکی (G) EC (G)	0.74	-0.15	هدایت الکتریکی (G) EC (G)
0.16	0.65	Clay (H)	0.57	-0.26	Clay (H)
0.08	0.76	Silt (H)	0.77	0.13	Silt (H)
0.05	-0.81	Sand (H)	0.89	0.06	Sand (H)
0.42	0.41	Mg (H)	0.21	-0.54	Mg (H)
0.17	0.64	Ca (H)	0.68	-0.19	Ca (H)
0.01	0.92	Na (H)	0.60	-0.24	Na (H)
0.12	0.70	Ph (H)	0.46	0.33	Ph (H)
0.02	0.89	EC (H)	0.45	0.34	EC (H)

(H): پیشانی آبکند و (G): در طول آبکند

جدول ۵- نتایج تجزیه شیمیایی خاک در آبکندهای حوزه آبخیز هدام و شریف

Table 5- The results of chemical analysis of the soil in gullies of Haddam and Sharif watersheds

شماره	سیلت	رس	منیزیم	کلسیم	سدیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی	پارامتر	حوزه آبخیز
Sand%	Silt%	Clay%	Mg(meq l ⁻¹)	Ca(meq l ⁻¹)	Na(meq l ⁻¹)	pH	EC(dS m ⁻¹)	Parameter	Watershed
53.5	30.5	16	31.4	50.8	165.3	7.4	25.8	میانگین Average	حوزه آبخیز هدام Haddam Watershed
86	46	34	255	218	1950	8.2	174	بیشینه Maximum	
26	6	6	1.6	2	3.6	6.9	1.1	کمینه Minimum	
6.8	10	14.7	45.2	48.4	293.8	0.3	36.7	انحراف معیار Standard Deviation	
43.9	39.1	17	36.6	36.7	61.1	7.4	12.8	میانگین Average	حوزه آبخیز شریف Sharif Watershed
67	50	30	320	317	435	8.5	84	بیشینه Maximum	
28	13	8	1.4	1.6	3.6	6.8	1.2	کمینه Minimum	
4.8	6.6	8.4	43.2	53.2	99.1	0.4	16.9	انحراف معیار Standard Deviation	

با توجه به عامل درصد سیلت پیشانی آبکند با ضریب تبیین اصلاح شده ۹۹ درصد در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار بر پیشرفت آبکندهای خوشه دو منطقه هدام دارد (جدول ۶). با توجه به ضرایب استاندارد و معادلات خطی جدول (۶) مشخص می‌گردد که در خوشه

یک به ازاء هر واحد X6 (خاک لخت) مقدار ۰/۵۴، و در خوشه دو به ازاء هر واحد X18 (درصد سیلت پیشانی آبکند) مقدار ۰/۹۶ به میزان Y (طول آبکند) اضافه می‌شود.

جدول ۶- معادله نهایی پیشروی آبکند (روش رگرسیون گام به گام) در حوزه آبخیز هدام

Table 6- Final equation of gully progression (stepwise regression) in Haddam Watershed

سطح معنی‌داری Significant Level	ضریب تبیین اصلاح شده Adjusted R ²	ضرایب استاندارد Standard Coefficients			معادله Equation	آبکند Gully
		β_1	β_2	β_3		
1%	0.60	-	0.43	0.71	Y = -36.3 X5 -13 X20 +51.7	کل آبکندها Total Gullies
1%	0.90	-0.32	0.54	0.58	Y = 0.02 X4 + 25 X6 -13 X2 -2429	خوشه یک Cluster 1
1%	0.99	-	0.23	0.96	Y = 2.7 X18 + 44 X23 - 205	خوشه دو Cluster 2

X2= شیب نقطه اولیه، X4= مساحت بالای نقطه اولیه، X5= پوشش گیاهی، X6= خاک لخت، X18= Silt، X20= Mg، X23= pH

عامل با ضریب تبیین اصلاح شده ۹۰ درصد در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار بر پیشرفت آبکندهای خوشه یک منطقه شریف دارد (جدول ۷).

در خوشه دو این آبخیز، میزان پیشرفت در آبکندهای این منطقه تابع دو متغیر مساحت بالای نقطه اولیه (X4) و میزان سدیم پیشانی آبکند (X22) است. تأثیر مساحت بالای نقطه اولیه برابر با ۰/۳۶ = β_1 و اثر سدیم برابر با ۰/۹۸ = β_2 است. این دو عامل با ضریب تبیین اصلاح شده ۹۹ درصد، در سطح ۱ درصد خطا تأثیر معنی‌داری بر پیشرفت آبکندهای خوشه دو منطقه هدام دارند (جدول ۷). با توجه به

(ب) حوزه آبخیز شریف معادله نهایی پیشروی آبکند برای کل آبکندهای شریف حاکی از آن است که میزان پیشرفت تابعی از هیچ کدام از متغیرهای ورودی نیست. به عبارتی هیچ کدام از متغیرها موفق به ایجاد معادله رگرسیونی نشده‌اند. بنابراین معادلات رگرسیونی برای خوشه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. معادله نهایی برای پیشرفت آبکندهای شریف در خوشه یک نشان می‌دهد که میزان پیشرفت در آبکندهای این منطقه تابع مساحت بالای پیشانی (X3) است. اثر عامل ذکر شده با پیشرفت طول آبکند برابر با ۰/۸۳ = β_1 است. این

به ازاء هر واحد X_4 (مساحت بالای نقطه اولیه) مقدار $0/36$ واحد به میزان Y (طول آبکند) اضافه می‌شود.

ضرایب استاندارد و معادلات خطی جدول (۷) مشخص می‌گردد که در خوشه یک به ازاء هر واحد X_3 (مساحت بالای پیشانی) مقدار $0/83$ و در خوشه دو به ازاء هر واحد X_{22} (سدیم) مقدار $0/98$ و هم‌چنین

جدول ۷- معادله نهایی پیشروی آبکند (روشن رگرسیون گام به گام) در حوزه آبخیز شریف

Table 7- Final equation of gully progression (stepwise regression) in Sharif Watershed

سطح معنی‌داری Significant level	ضریب تبیین اصلاح شده Adjusted R ²	ضرایب استاندارد Standard Coefficients		معادله Equation	آبکند Gully
		β	β		
-	-	-	-	هیچ متغیری وارد معادله رگرسیون نشده است	کل آبکندها Total Gullies
1%	0.63	-	0.83	$Y = 0.2 X_3 + 23$	خوشه یک Cluster 1
1%	0.96	0.36	0.98	$Y = 0.08 X_{22} + 0.002 X_4 + 22$	خوشه دو Cluster 2

$X_{22}=Na$ ، مساحت بالای نقطه اولیه X_4 ، مساحت بالای پیشانی X_3

با شخم عمیق صورت گرفته و با توجه به همبستگی بالای سیلت و شن ریز با پیشروی طولی آبکند و با برهم خوردگی خاک از طریق عملیات خاک‌ورزی منطقه را مستعد فرسایش آبکندی نموده و انتظار گسترش آن را داریم. علاوه بر موارد ذکر شده دانه‌بندی ذرات خاک در آبکندهای حوزه آبخیز هدام نشان می‌دهد که درصد متوسط رس، سیلت و شن به ترتیب معادل $18/2$ ، $34/8$ ، $46/8$ و $14/8$ ، $28/8$ ، $56/8$ در قسمت پیشانی و در طول آبکند بوده است. میزان متوسط رس منطقه آبکندی با مقدار $18/7$ و $16/2$ درصد (به ترتیب در پیشانی و در طول آبکند) است که در محدوده اعلام شده توسط ایوانس (۶)، بین ۹ تا ۳۰ درصد برای خاک‌های فرسایش‌پذیر قرار دارد. با توجه به اینکه متوسط مقدار EC برابر با $21/3$ و 35 دسی‌زیمنس در متر برای آبکند و پیشانی متغیر می‌باشد، یکی دیگر از عوامل ناپایداری خاک و ایجاد فرسایش در حوزه آبخیز هدام شوری بالاست که علاوه بر شوری بالا مقدار سدیم خاک نیز بر اساس نتایج جدول (۴) بالاست و این خصوصیات معرف خاک‌های شور و سدیمی است که به دلیل میزان سدیم بالا خاک دیسپرس شده و با کوچک‌ترین میزان روانابی مستعد فرسایش است.

در حوزه آبخیز شریف برعکس حوزه آبخیز هدام بیش از ۸۰ درصد مناطق را مرتع تشکیل می‌دهد که آبکندها در این اراضی قرار دارند، به علاوه اندازه‌گیری سطح آبخیز بالای آبکندها نشان دهنده وضعیت خیلی فقیر پوشش در منطقه است. دانه‌بندی ذرات خاک در آبکندهای حوزه آبخیز شریف نیز نشان می‌دهد که درصد متوسط رس، سیلت و شن به ترتیب معادل $18/7$ ، $39/8$ ، $41/46$ و $16/2$ ، $38/7$ ، $45/2$ در قسمت پیشانی و در طول آبکند بوده است. طبق نظر ریشر و نگندانک (۲۱) که فرسایش‌پذیرترین خاک‌ها را با ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت می‌داند، متوسط سیلت در سطح پیشانی و آبکندهای این

رفتار آبکندها در برابر نحوه گسترش و میزان رشد آن تحت تأثیر عوامل محیطی متفاوت است. در تحقیق جاری تحلیل آماری داده‌های موجود نشان داد که مهم‌ترین عوامل در گسترش آبکندها، ویژگی‌های آبخیز واقع در بالادست پیشانی آبکند (گستره و شیب آبخیز) و هم‌چنین ریزدانه بودن تشکیلات سازند زمین‌شناسی (سیلت) و بالا بودن شوری خاک می‌باشند، که این عوامل در کنار فقر پوشش گیاهی و وجود اراضی کشاورزی بستر بسیار مناسبی برای پیشروی طولی آبکندها ایجاد کرده‌اند. هم‌چنین میانگین رشد طولی آبکندها در طی یک دوره ۲۰ ساله در حوزه آبخیز شریف حدود $49/2$ متر، مقدار بیشینه پیشرفت طولی حدود $108/1$ متر و مقدار کمینه آن برابر $10/1$ متر در این دوره بوده است. در حوزه آبخیز هدام میانگین رشد طولی آبکندها در طی این دوره حدود $38/4$ متر، مقدار بیشینه پیشرفت طولی حدود $78/8$ متر و مقدار کمینه آن برابر $3/8$ متر بوده است. یکی از دلایل افزایش پیشروی طولی آبکندها در حوزه آبخیز شریف نسبت به حوزه آبخیز هدام با توجه به برتری نسبی شیب منطقه نسبت به حوزه آبخیز هدام، رواناب در مسیری خاص متمرکز شده و آبکند به صورت خطی و در یک مسیر مشخص گسترش داشته است در حالی که در حوزه آبخیز هدام به دلیل ناپایداری بیش از حد خاک (شور و سدیمی) و شیب خیلی کم منطقه، رواناب در مسیرهای متفاوت و چندگانه منشعب شده و آبکندهای درهم تنیده و چندجهته با پلان عمومی پنجه‌ای مرکب و منشعب را شکل داده است. تصاویر ارائه شده در شکل شماره (۴) خود گویای این مطلب است.

در حوزه آبخیز هدام بیش از ۸۰٪ حوضه دارای کاربری اراضی زراعی می‌باشد. در این منطقه با توجه به وجود اراضی زراعی آبی در مناطق آبکندی، استعداد تبدیل باران به جریان سطحی وجود دارد. از طرفی کشت و زرع در حوزه آبخیز هدام هنوز به صورت سنتی همراه

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که رشد متوسط طولی آبکندها در حوضه‌ی مرتعی با مقدار ۲/۴۶ متر در سال بیشتر از حوضه‌ی کشاورزی با مقدار ۱/۹۲ متر در سال بوده است. همچنین تحلیل آماری داده‌های موجود نشان داد که مهم‌ترین عوامل در گسترش آبکندهای حوزه آبخیز هدام، با کاربری کشاورزی ویژگی‌های آبخیز واقع در بالادست پیشانی آبکند (گستره و شیب آبکند)، ریزدانه بودن تشکیلات سازند زمین‌شناسی (سیلت)، درصد خاک لخت، بالا بودن شوری خاک و میزان سدیم بالایی‌باشد، که این عوامل در کنار فقر پوشش گیاهی بستر بسیار مناسبی برای پیشروی طولی آبکندها ایجاد کرده‌اند بطوری‌که در طی یک دوره ۲۰ ساله حداقل ۳/۸ و حداکثر ۷۸/۸ متر رشد طولی داشته‌اند. در حوزه آبخیز شریف نیز با کاربری مرتعی بطور کلی مساحت بالادست پیشانی و نقطه اولیه آبکند و هم‌چنین میزان سدیم باعث گسترش طولی آبکندها به میزان حداقل ۱۰/۱ و حداکثر ۱۰۸/۱ متر شده است.

سیاسگذاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی تحت عنوان بررسی عوامل مؤثر بر گسترش آبکندهای استان خوزستان بوده که منابع مالی آن توسط مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تأمین گردیده است بدین وسیله نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

منطقه نزدیک به ۴۰ درصد است که دارای فرسایش شدید آبکندی است. میزان متوسط رس منطقه آبکندی برابر با مقدار ۱۸/۷ و ۱۶/۲ درصد (به ترتیب در پیشانی و در طول آبکند) در محدوده اعلام شده توسط ایوانس (۶)، بین ۹ تا ۳۰ درصد برای خاک‌های فرسایش‌پذیر قرار دارد.

به دلیل ناچیز بودن شیب در بالای پیشانی آبکندهای این منطقه، رواناب سطحی ایجاد شده دارای سرعت زیادی نیست، بلکه به دلیل فقدان پوشش گیاهی در آبخیز آبکندها و نفوذپذیری ناچیز خاک به دلیل فراوانی سیلت و شوری بالا در پروفیل خاک خطر گسترش آبکندها افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین می‌تواند در تایید باشد، به نحوی که شیب کم منطبق بر یافته‌های احمدی (۲) در تایید این موضوع بوده که آبکند در شیب‌های کم ایجاد می‌شود. در این پژوهش شیب نقطه اولیه و بالای پیشانی در تمامی آبکندها کمتر از ۵٪ است که با پیشرفت طولی آبکند همبستگی معنی‌دار دارند و از طرفی دلیل نبود فقر پوشش گیاهی شرایط برای رشد طولی آبکندها فراهم شده است.

مطالعات زینک و همکاران (۲۹) نیز موید این نکته است که بیش از ۵۰ درصد نواحی آبکندی در محدوده شیب ۴ تا ۷ درصد قرار دارد. درباره بستر محیطی آبکندها، بافت خاک در بیشتر مناطق از نوع لومی و لومی سیلتی است که در مطالعات ثروتی (۲۳) بر نقش این عامل در آبکندزایی به عنوان رسوبات ریزدانه و سست مستعد تأکید شده است.

منابع

- 1- Abedini M. 2005. Research in gully erosion of West Plain Hadishahr southern highlands (North West Azarbaijan) through methods and new techniques. Geography and Development Iranian Journal, 3(6):93-113. (in Persian)
- 2- Ahmadi H., and Mohamadi A. 2008. Gully land management and modeling through analysis of impact factors to determine the gully longitudinal growth potential (case study: Hableh Rood basin). 4th national conference on watershed management. Faculty of natural resources. University of Tehran. Karaj. Iran.
- 3- Bayati Khatibi M. 2006. Gully characteristics and factors controlling the gully processes. Geography and Development Iranian Journal, 4(7):115-137. (in Persian)
- 4- Bou Kheir R., Wilson J., and Deng Y. 2007. Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. Earth Surface Processes and Landforms, 32(12): 1770–1782.
- 5- Carey B., Gray J., and Seagrave C. 2001. Gully erosion, The State of Queensland, Department of Natural Resources and Mines.
- 6- Evans R. 1980. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical view point. In Kirkby M.J., Morgan R.P.C., (Eds.). Soil erosion. Chichester, Wiley, 109-128.
- 7- Geyik M.P. FAO watershed management field manual gully control. No. 13/2. Translated by Abbasi. 2002. Registered 421/81.
- 8- Gómez Gutiérrez A., Schnabel S., and Lavado Contador F. 2009. Gully erosion, land use and topographical thresholds during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain. Land Degradation & Development, 20(5):535–550.
- 9- Karimi M., Vali Samani J., and Ghodousi J. 2007. Investigation of effective factors on gully erosion and predicting of longitudinal growth. 10th national Congress on Soil Science. Iran. Karaj. (in Persian)
- 10- Malik Ireneusz. 2007. Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by

- means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland).pp:41-82.
- 11- Martínez-Casasnovas J.A., Concepción Ramos M., and García-Hernández D. 2009. Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, 34 (14):1927–1937.
- 12- Mehrjerdi Z., Soufi M., and Choupani S. 2007. Investigation of effective factors on gully erosion in Griz region of Hormozgan Province. 10th national Congress on Soil Science. Iran. Karaj. (in Persian)
- 13- Meyer A., and Martínez-Casasnovas J.A. 1999. Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: a logistic modelling approach. *Soil and Tillage Research*, 50(3-4):319-331.
- 14- Moghimi E., and Ghodsi M. 2014. Study the inter put environmental parameters affecting on gully formation and development. *Watershed Management Research(Pajouhesh & Sazandegi)*, 27(2):113-122. (in Persian with English abstract)
- 15- Morgan P., and Mngomezulu D. 2003. Threshold condition for initiation of valley-side gullies in the middle veldt of Swaziland. *Catena*, 50:401-414.
- 16- Mortezaei Gh., Ahmadi H., Ghodousi J., Feiznia S., and Jafari M. 2008. Evaluation of the quantitative effects of environmental parameters on occurrence of gully erosion. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 60(4): 1211-1223. (in Persian with English abstract)
- 17- Nachtergaele J., Poesen J., Oostwoud Wijdenes D., and Vandekerckhove L. 2002. Medium-term evolution of a gully developed in a loess-derived soil. *Geomorphology*, 46(3-4):223-239.
- 18- Nazari Samani A., Ahmadi H., Jafari M., Boggs G., Ghoddousi J., and Malekian A. 2009. Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed). *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(2):180-189.
- 19- Nazari Samani A., Ahmadi H., Mohammadi A., Ghoddousi J., and Salajegheh A. 2010. Factors controlling gully advancement and models evaluation (Hableh Rood Basin, Iran). *Water Resources Management*, 24(8):1531-1549.
- 20- Nourmohamadi F. 2006. Alometry and gully sediment yield of Darreh Shahr- Ilam province. Thesis of M.Sc. in watershed management. Tarbiat Moddares University. 74p.
- 21- Richter G., and Negendank J. 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle River. *Earth Surface Processes* 2: 261-278.
- 22- Rostamizad Gh., Salajegheh A., Nazari Samani A., and Ghodousi J. 2015. Determination of effective factors on longitudinal growth of gullies and prediction of its development. *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 4(1):46-58. (in Persian)
- 23- Servati M., Ghodousi J., and Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. *Pajouhesh & Sazandegi*, 78:20-33. (in Persian with English abstract)
- 24- Shahini Gh., and Charkhabi A. 2007. The relationship between gully erosion and watershed characteristics and soil in loess hills north of Gorgan. 10th national congers of soil science. Agriculture and natural resources campus. University of Tehran. Karaj. Iran.
- 25- Soil Science Society of America. 2001. Glossary of soil science terms, Madison, WI, <http://www.soils.org/sssagloss>.
- 26- Soleimanpour M., Soufi M., and Ahmadi A. 2010. A study on the topographic threshold and effective factors on sediment production and gully development in Neyriz, Fars Province. *Iranian Journal of Natural Resources(Range and Watershed Management)*, 63(1):53-41. (in Persian with English abstract)
- 27- Verachtert E., Van Den Eeckhaut M., Poesen J., and Deckers J. 2010. Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils: A case study from central Belgium. *Geomorphology*, 118(3-4):339-348.
- 28- Zareh Chahooki M.A. 2010. Data analysis in natural resources researches using SPSS. Tehran University Press. 310 p.
- 29- Zinck A., Lopez J., Metternich G.I., Shrestha D.P., and Vazquez-Selem L. 2001. Mapping and modelling mass movement and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(1):44-53.



Determination of Effective Factors in Gullies Development in Modares Watershed of Shushtar

F. Soleimani¹ M. Soufi^{2*} - A. Orsham³

Received: 25-04-2017

Accepted: 05-07-2017

Introduction: Khuzestan province with 4.6 million hectares area has suitable agricultural lands that gully erosion destroyed some parts of them. One of the major basins in which much of its agricultural land threatened by gully erosion is located in Modarres watershed of Shushtar. Gully erosion progression in this basin causing the loss of farmland and thus the farmers are leaving farming and consequently would lead to poverty and migration to urban areas and social consequences. Therefore, presenting a model to determine the factors that impact on gully erosion and erosion hazard zonation for conserving and stability of the land need to research and investigate on gullies of Khuzestan province.

Materials and Methods: Study area is located in Shahid Modares basin that large parts of these farm lands destroyed by gully erosion. The aim of this project is to identify the main factors affecting on linear gully development and modeling them. For this purpose, distribution maps of climate and the gully was determined. Then a Watershed from each climate class with the highest losses was selected. At last Haddam watershed with warm-arid climate and Sharif watershed with warm-semi arid climate were selected. And 15 gullies were selected from each watershed then some parameters studied and measured in these gullies. Finally relationship between the length and volume development of gully with watershed characteristics, Physio-chemical soil properties, the percentage of vegetation cover, pebbles, bare soil, litter, slope and upstream area of head cuts, rainfall and different land use area a 20-year period (1993-2012) were analyzed. Modeling of the gully development was done using multivariate regression.

Results and Discussion: The results showed that in Haddam watershed the gully number A17 had most elongation (78.8 meters) while the gully number B2 had lowest elongation (3.8 meters). In Sharif watershed the gully number B3 had the most elongation (108.1 meters) while the gully number B4 had the lowest elongation (1993-2012). Gully clustering results showed that gullies of Haddam's watershed were in two clusters and gullies of Sharif's watershed in the three clusters. The final equation for the development of Haddams gullies in the cluster one shows the amount of development in these gullies depends on three variables including upstream area of initial point (X4), the percentage of bare soil (X6) and slope of initial point (X2). At cluster two the amount of progress in these gullies depends on silt percent (X18) and PH(X23). The final equation for the development of Sharif's gullies in the cluster one shows the amount of progress in these gullies depends on upstream area of head cut(X3). At cluster two the amount of development depends on two variables upstream area of initial point (X4) and Sodium content (X22). In Haddam's watershed more than 80 percent of land use is covered by rain fed and irrigated land. Unlike Sharif's watershed that more than 80 percent of pasture land form. In addition, measurement of upstream watershed area reflects very poor range condition. In this region, due to the slight slope in gully head cut the surface runoff has not velocity but also due to lack of canopy cover in gullies' watershed and low soil permeability because of silt frequency and high salinity in the soil profile increases the risk of gully development. In this research, slope of head cut upstream and slope of initiates point is less than 5 percent at total gullies that are correlated with development of gully elongation. However, due to poverty and lack of vegetation cover conditions provided for gully linear growth.

Conclusions: Gully erosion is a form of progressive erosion that allocated the largest portion of soil degradation in different climates to itself. Gullies behavior against its spreading and growth is affected by

1- PhD in Watershed Engineering, Researcher at Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran

2- Associated Professor of Soil Conservation and Watershed Management Department, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Fars, Iran (*- Corresponding Author Email: majidsoufi2@gmail.com)

3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran

different environmental factors. In this research, available data analysis in Haddam's watershed showed that the most important factors on the gully development were watershed characteristics on gully headcut (area and slope), the fine geological formation (silt), acidity and high soil salinity. These factors along with poor vegetation cover and agricultural land had created an excellent platform for gully elongation so that over a 20 year period have at least 3.8meter per year and a maximum elongation 78.8 m. In Sharif 's watershed showed that the most important factors on gully development were upstream area of head cut, upstream area of initiate pointed amount of sodium which caused to 10.1 and 108.1 meters minimum and maximum linear development respectively.

Keywords: Cluster analysis, Haddam and Sharif watershed, Gully clustering, Gully erosion



یک روش ساده فیزیکی خالص سازی سیپولیت

مهديه مومن¹ - علیرضا کریمی^{2*} - اکرم حلاج نیا³ - پریسا میرحسینی موسوی⁴

تاریخ دریافت: 1396/02/18

تاریخ پذیرش: 1396/05/22

چکیده

سیپولیت یک کانی رسی فیبری است که معمولاً در رسوبات دوران سوم یافت می‌شود. این کانی در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما وجود برخی ناخالصی‌های رسی و غیررسی که عمده آن پالیگورسکیت، کوارتز و دولومیت است، باعث کاهش کیفیت سیپولیت می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی قابلیت کارایی خالص سازی فیزیکی مبتنی بر تفکیک اندازه ذرات بر اساس ته نشینی در سوسپانسیون، بدون استفاده از روش‌های شیمیایی بر میزان خالص سازی سیپولیت استخراجی از معدن الیا تو فریمان بود. سه گروه ذرات 20 تا 50، صفر تا 20 و کمتر از 2 میکرون جدا شدند. کارایی خالص سازی با این روش با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس مشخص شد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش جداسازی اندازه ذرات، می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش مقدار کوارتز در ذرات جدا شده و نیز حذف کامل دولومیت در ذرات کمتر از 2 میکرون و حذف پالیگورسکیت به طور کامل در ذرات 20-50 میکرون داشته باشد. نتیجه این پژوهش نشان داد که بدون استفاده از روش‌های شیمیایی و با استفاده از روش فیزیکی ساده و کم هزینه، می‌توان فرآیند خالص سازی سیپولیت را تا حد مناسبی انجام داد.

واژه‌های کلیدی: جداسازی اندازه ذرات، دولومیت، کانی‌های فیبری

مقدمه

کنندگی قوی و ویژگی‌های رئولوژیکی خاص این کانی اشاره کرد. از مهم‌ترین استفاده‌های این کانی می‌توان به تهیه گل‌های حفاری، رنگ‌ها، شوینده‌های مایع، چسب‌ها، مواد براق کننده اتومبیل، لوازم آرایشی و بهداشتی، جاذب‌های کف ساختمان و مواد تمیزکننده آلودگی‌های نفتی اشاره کرد (4 و 18). سیپولیت به عنوان عامل تعلیق در حفر چاه‌های نفت و گاز کاربرد دارد و به دلیل اینکه پایداری این کانی در مقایسه با بنتونیت در حضور شور آب‌ها و الکترولیت‌ها بیشتر است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (18).

بزرگ‌ترین ذخایر سیپولیت دنیا در کشور اسپانیا قرار دارد و این کشور را می‌توان به عنوان بزرگ‌ترین صادرکننده این کانی در دنیا به شمار آورد (18). در رابطه با حضور کانی سیپولیت در ایران گزارشاتی وجود دارد که تعداد آنها بسیار محدود است. برای نمونه می‌توان به مطالعه خادمی و مرموت (13) اشاره کرد که مقادیر ناچیزی از این کانی را در سنگ‌های آهکی الیگوسن - میوسن در ایران مرکزی گزارش کردند. جنتی (8)، نیز حضور مقدار کمی کانی سیپولیت را در مارن‌های پلیوسن ایران مرکزی گزارش کرده است.

کانی‌های رسی از جمله سیپولیت به ندرت در طبیعت با درجه خلوص بالا یافت می‌شوند و با کانی‌های رسی و غیررسی دیگر همراه هستند. برای استفاده از آنها لازم است که تا رسیدن به درجات خلوص مورد نیاز، خالص شوند. خالص سازی باید به نحوی باشد که

کانی سیپولیت از کانی‌های فراوان در مناطق خشک دنیا است. پراکندگی زمانی و جغرافیایی این کانی نشان می‌دهد که فراوانی کانی یاد شده در رسوبات جوان تر از کرتاسه پسین، افزایش می‌یابد (19)، 20، 13، 1 و 7). همچنین، بیشترین فراوانی این کانی در عرض‌های جغرافیایی 30 تا 40 درجه در نیمکره‌های شمالی و جنوبی دیده می‌شود (24 و 7). سیپولیت از گروه کانی‌های سیلیکات ورقه‌ای با ساختار 2:1 است. هر واحد ساختمانی در این کانی از دو صفحه چهار وجهی در اطراف و یک صفحه هشت وجهی غنی از منیزیم در مرکز تشکیل شده است. فرمول ساختمانی ایده آل این کانی به صورت $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$ می‌باشد (4). ساختار و ترکیب شیمیایی این کانی در لبه‌ها، به دلیل در بر گرفتن بخش بسیار زیادی از کل ساختار کانی در مقایسه با سایر سیلیکات‌های ورقه‌ای، موجب ظهور خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی در این کانی شده است که از میان آن می‌توان به تخلخل، سطح ویژه زیاد، جذب

1، 2 و 3 - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار و دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*) نویسنده مسئول:
(E-mail: karimi-a@um.ac.ir)

مواد و روش‌ها

تعیین ویژگی‌های سیپولیت

نمونه اولیه سیپولیت از شرکت در کاو مشهد تهیه شد که معدن آن پیرامون روستای الیاتو از توابع شهرستان فریمان قرار دارد. نمونه به صورت تکه‌های نسبتاً سخت بود که آسیاب و به مدت 24 ساعت هواخشک شد. برای تعیین ترکیب کانی‌شناسی، نمونه پودری توسط دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Explorer در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد مورد آنالیز قرار گرفت. ترکیب عنصری نمونه توسط دستگاه XRF مدل PHILIPS-PW1480 شرکت کانسانران بینالود انجام شد. میزان کربنات کلسیم معادل در نمونه به روش تیتراسیون برگشتی (14) اندازه‌گیری شد.

خالص‌سازی

خالص‌سازی شامل دو بخش کلی خالص‌سازی و برآورد کارایی خالص‌سازی انجام می‌شود. برای خالص‌سازی معمولاً از روش‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود. با توجه به این که کانی‌ها در اندازه‌های ذرات مختلف متمرکز می‌شوند، جدا کردن کلاس‌های مختلف ذرات می‌تواند یکی از روش‌های معمول خالص‌سازی باشد (14، 11، 6 و 15). برای این منظور، 20 گرم از نمونه پودر شده، پس از مرطوب کردن در محلول دیسپرس کننده (0/1 درصد کالگون و کربنات سدیم) از الک 270 مش (50 میکرون) عبور داده شد و ذرات کمتر از 50 میکرون (ذرات در اندازه سیلت و رس) به استوانه یک لیتری منتقل شد. براساس سرعت ته‌نشینی ذرات در سوسپانسیون براساس قانون استوکس، ذرات کمتر از 2 میکرون (در اندازه رس)، 0-20 میکرون و 20-50 میکرون تفکیک شدند (14).

بهترین روش‌های شیمیایی، برای حذف انواع کربنات‌ها (مانند کلسیت و دولومیت) استفاده از بافر استات سدیم - اسید استیک با pH=5 یا اسید کلریدریک رقیق می‌باشد (6 و 10). با توجه به کم بودن مقدار دولومیت در سیپولیت فریمان و نیز حساس بودن ساختار سیپولیت در مواجهه با اسید، در این مطالعه از روش‌های شیمیایی استفاده نشد.

تعیین کارایی خالص‌سازی

به منظور بررسی کارایی روش خالص‌سازی مورد استفاده، از آزمایشات پراش پرتو ایکس استفاده شد. نمونه اصلی پودری (سیپولیت)، ذرات کمتر از 2 میکرون، اندازه ذرات بین 20-0 میکرون و نیز اندازه ذرات بین 20-50 میکرون توسط دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Explorer آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد مورد آنالیز قرار گرفتند و ترکیب کانی‌شناسی آنها مقایسه و مناسب-

علاوه بر حذف ناخالصی‌ها، ساختار کانی اصلی و ویژگی‌های آن تغییر نکند. مطالعات صورت گرفته بر روی خالص‌سازی کانی سیپولیت اندک می‌باشد. اینوکای و همکاران (10) برای حذف دولومیت از سیپولیت رسوبی در رسوبات ینی‌دوگان ترکیه، از اسید کلریدریک استفاده کردند. وقتی که سرعت اسید مصرفی کنترل شده نباشد، به دلیل کاهش سریع pH، واکنش‌های رقابتی اسید کلریدریک با دولومیت و سیپولیت ایجاد می‌شود و باعث خروج منیزیم و تجزیه سیپولیت و تشکیل سیلیس بی‌شکل می‌شود. با این حال، با افزایش کنترل شده اسید کلریدریک به نمونه در محلول 0/1 مولار $MgCl_2$ و تنظیم pH سوسپانسیون بالاتر از 6، امکان خالص‌سازی موفق سیپولیت فراهم شد و محتوای سیپولیت از 47 به 92 درصد افزایش یافت و محتوای دولومیت از 52 به 1 درصد کاهش یافت.

برای به دست آوردن اندازه ذرات کمتر از 2 میکرون، 0-20 میکرون و بین 20-50 میکرون، روش‌هایی مانند الک کردن، پراش مغناطیسی، پراکنش ذرات براساس سرعت ته‌نشینی، استفاده از امواج مافوق صوت (اولتراسونیک) برای جداسازی ذرات مونت موریلونیت از ذرات درشت ارائه شده است (11، 6 و 15). نمک‌های محلول و کربنات‌ها، سولفیدها، ترکیبات آلی، هیدروکسیدهای سیلیسیوم، تیتانیوم، آلومینیوم، آهن و منگنز با استفاده از تیمارهای مختلف حل شده و خارج می‌شوند (11 و 6). ژاکلین و همکاران (11) یک روش ساده با استفاده از ته‌نشینی و سانتریفیوژ با سرعت کم، جهت خالص‌سازی رس‌های خام ارائه کرده است. هاتوک و همکاران (6) برای جداسازی ذرات غیررسی، از روش ته‌نشینی، سانتریفیوژ و امواج مافوق صوت استفاده کردند و استفاده از این روش‌ها را برای حذف ناخالصی کوارتز مؤثر گزارش کرده‌اند. ژو و همکاران (25) برای جداسازی ذرات غیر رسی مانند کوارتز از روش رسوب‌گذاری و برای حذف کربنات‌ها از تابش مایکروویو همراه با اسید کلریدریک استفاده کردند.

با توجه به شرایط زمین‌شناسی ایران و شرایط تشکیل پالیگورسکیت و سیپولیت، احتمال حضور این کانی به‌صورت معدن وجود دارد. یک معدن سیپولیت پیرامون روستای الیاتو از توابع شهرستان فریمان در شمال شرق ایران قرار دارد. میزان حضور کانی سیپولیت در ذخایر منطقه فریمان 70 تا 80 درصد برآورد شده است (9). جهت کاربردهای صنعتی و به ویژه کاربردهای دارویی، بهداشتی و غذایی، خالص‌سازی این کانی باید تا حد امکان و به شکل مناسبی انجام شود. با توجه به این که سیپولیت کانی حساسی است و در شرایط اسیدی تجزیه می‌شود، هدف از این مطالعه بررسی و تعیین روش مناسب فیزیکی بر اساس جداسازی ذرات در اندازه‌های مختلف برای خالص‌سازی این کانی بود.

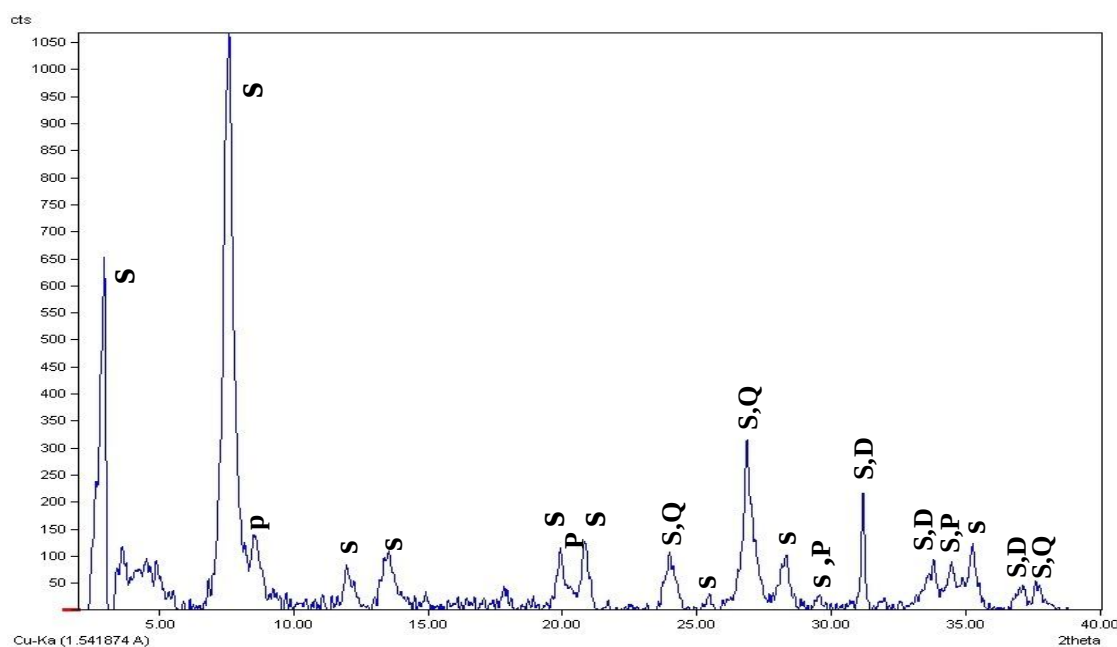
ترین ذرات انتخاب شد.

نتایج و بحث

کانی‌شناسی نمونه اولیه سپیولیت

بر اساس نتایج به دست آمده از پراش پرتو ایکس نمونه پودری اولیه (شکل 1)، کانی سپیولیت به عنوان فاز اصلی و کانی‌های کوارتز، دولومیت و پالگورسکیت به عنوان کانی‌های همراه شناسایی شدند. سپیولیت یک قله شاخص با شدت زیاد در 12 آنگستروم و قله‌های با شدت کمتر در 4/27، 4/47، 3/74، 3/34 و 3/18 آنگستروم دارد (19 و 22). در نمونه مورد مطالعه، شاخص‌ترین قله سپیولیت در این نمونه 12/3 آنگستروم می‌باشد و قله‌های با شدت متوسط معادل 4/47، 4/27، 3/74، 3/34 و 3/18 آنگستروم رده‌های دیگر این کانی هستند

(شکل 1). قله‌های 4/26 و 3/34 آنگستروم نشان دهنده حضور کوارتز، قله 2/87 آنگستروم نشان دهنده دولومیت و قله 10/27 آنگستروم قله شاخص پالگورسکیت در نمونه مورد مطالعه می‌باشند. بر اساس آنالیزهای نیمه کمی، سپیولیت حدود 80 درصد، کوارتز حدود 10-20 درصد و دولومیت و پالگورسکیت هر کدام حدود 5-10 درصد نمونه مورد آزمایش را تشکیل می‌دهند. دولومیت، کوارتز و پالگورسکیت سه کانی معمول همراه در ذخایر سپیولیت در دنیا هستند (10، 21 و 9). با توجه به نتایج حاصله، مقدار سپیولیت موجود در نمونه معدن فریمان نسبتاً زیاد است، در حالی که در نمونه ذخایر سپیولیت سفیدینی دوگان ترکیه، میزان سپیولیت حدود 46 درصد است و دولومیت بیش از 50 درصد آن را شامل می‌شود (10).



شکل 1- پراش نگاشت پرتو ایکس نمونه اولیه سپیولیت (سپیولیت: S، پالگورسکیت: P، کوارتز: Q، دولومیت: D)
Figure 1- X-ray diffractogram bulk sepiolite (S: Sepiolite, P: Paligorskite, Q: Quartz, D: Dolomite)

ترکیب عنصری

نتایج تجزیه عنصری سپیولیت فریمان در جدول 1 آورده شده است. برای مقایسه، ترکیب عنصری ذخایر سپیولیت در برخی از کشورها نشان داده شده است. در نمونه مورد مطالعه، مقدار SiO_2 معادل 54/51 درصد می‌باشد که با مقادیر SiO_2 در ویکالوارو اسپانیا (23)، ال‌بور سومالی (21) و نیز مقدار اندازه‌گیری شده در بررسی حجتی و خادمی (9) در همین منطقه تقریباً برابر است. مقدار SiO_2 در ینی‌دوگان ترکیه معادل 27/95 درصد بود که مقدار کم آن را می‌توان

به ناخالصی دولومیت ربط داد. منیزیم یکی از عناصر اصلی در ترکیب سپیولیت است و مقدار MgO بعد از SiO_2 بیشترین مقدار است. سپیولیت عمدتاً در محیط‌های رسوبی و با شوری و قلیائیت و فعالیت زیاد سیلیسیم و منیزیم و فعالیت بسیار کم آلومینوم تشکیل می‌شود (19). میزان منیزیم به کلسیم در سپیولیت در مطالعات نشان می‌دهد که تشکیل این کانی در محیط‌های غنی از منیزیم و فقیر از کلسیم می‌باشد (19). مقدار MgO در سپیولیت فریمان معادل 22/29 درصد است که با مقادیر MgO در ویکالوارو اسپانیا (23)، ال‌بور سومالی

دلالت دارد. زیرا در ساختار لایه چهار وجهی سیپولیت جایگزینی آلومینیوم و آهن با منیزیم وجود ندارد و یا بسیار ناچیز است. از این رو مقدار منیزیم در سیپولیت بیشتر از پالیگورسکیت است (8). مقدار LOI نیز معادل 19/68 درصد است که تقریباً برابر با مقدار LOI سایر کشورها است ولی این مقدار برای ینی‌دوگان ترکیه معادل 31/06 درصد می‌باشد که با مقدار بالای دولومیت در سیپولیت ینی‌دوگان مرتبط است.

(21) و ینی‌دوگان ترکیه تقریباً برابر است. مقدار CaO در سیپولیت فریمان معادل 1/7 درصد است که با مقدار CaO ال‌بور سومالی تقریباً برابر است، در حالی که مقدار CaO در ویکالوارو اسپانیا 0/21 درصد است ولی برای سیپولیت ینی‌دوگان ترکیه این مقدار معادل 16/3 درصد است که به دلیل وجود مقدار قابل توجهی دولومیت در ذخیره سیپولیت ینی‌دوگان ترکیه می‌باشد. مقدار کم Al_2O_3 بر وجود کانی پالیگورسکیت که یک سیلیکات آلومینیوم و منیزیم با نسبت تقریباً برابر از این دو عنصر است (19) به همراه سیپولیت

جدول 1- ترکیب عنصری (درصد) سیپولیت فریمان و در سایر کشورها
Table 1- Elemental composition (%) of Fariman sepiolite and in other countries

منبع	*LOI	S	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	سیپولیت
مطالعه حاضر	19.68	0.005	0.005	0.009	0.02	0.02	0.03	22.29	1.70	0.81	0.63	54.51	ایران، فریمان Iran (Fariman)
حجتی و خادمی، 1391 Hojati and Khademi, 2012	25.11	-	-	-	0.02	0.01	0.02	15.73	2.74	0.61	0.3	55.32	ایران، فریمان Iran, Fariman
ویسراس و همکاران، 1998 Viseras et al., 1998	17.32	-	-	0.02	0.06	0.64	0.10	23.50	0.21	0.38	1.28	56.44	اسپانیا، ویکالوارو Spain, Vicalvaro
سینگر و همکاران (1998) Singer et al., 1998	0.19	-	-	-	0.12	0.47	0.00	20.80	1.30	0.50	1.00	56.70	بور Somalia, El bor
اینوکای و همکاران، 1994 Inukai et al., 1994	31.06	-	-	-	0.04	0.08	0.10	23.72	16.3	0.19	0.54	27.95	ترکیه، ینی‌دوگان Turkey, Yenidogan

* کاهش وزن در دمای بالا (LOI) (LOI) Weight loss at high temperatures

کردن ذرات کمتر از 2 میکرون، زمان زیادی و در نتیجه هزینه زیادی می‌طلبد. به همین دلیل ذرات صفر تا 20 میکرون که حدود 70 درصد نمونه را تشکیل می‌دهند، تفکیک و مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول 2- مقدار ذرات (درصد) در اندازه‌های مختلف (میکرون)
سیپولیت فریمان

Table 2- The amount of particles (percent) of different sizes (μm) Fariman sepiolite

>50	20-50	0-20	2-20	<2
19.27	11.23	69.50	32.25	37.25

بررسی کارایی تفکیک اندازه ذرات در خالص‌سازی

در این مطالعه همان گونه که مشخص شد (شکل 1)، دولومیت، کوارتز و پالیگورسکیت ناخالصی‌های اصلی هستند. کوارتز و

توزیع اندازه ذرات

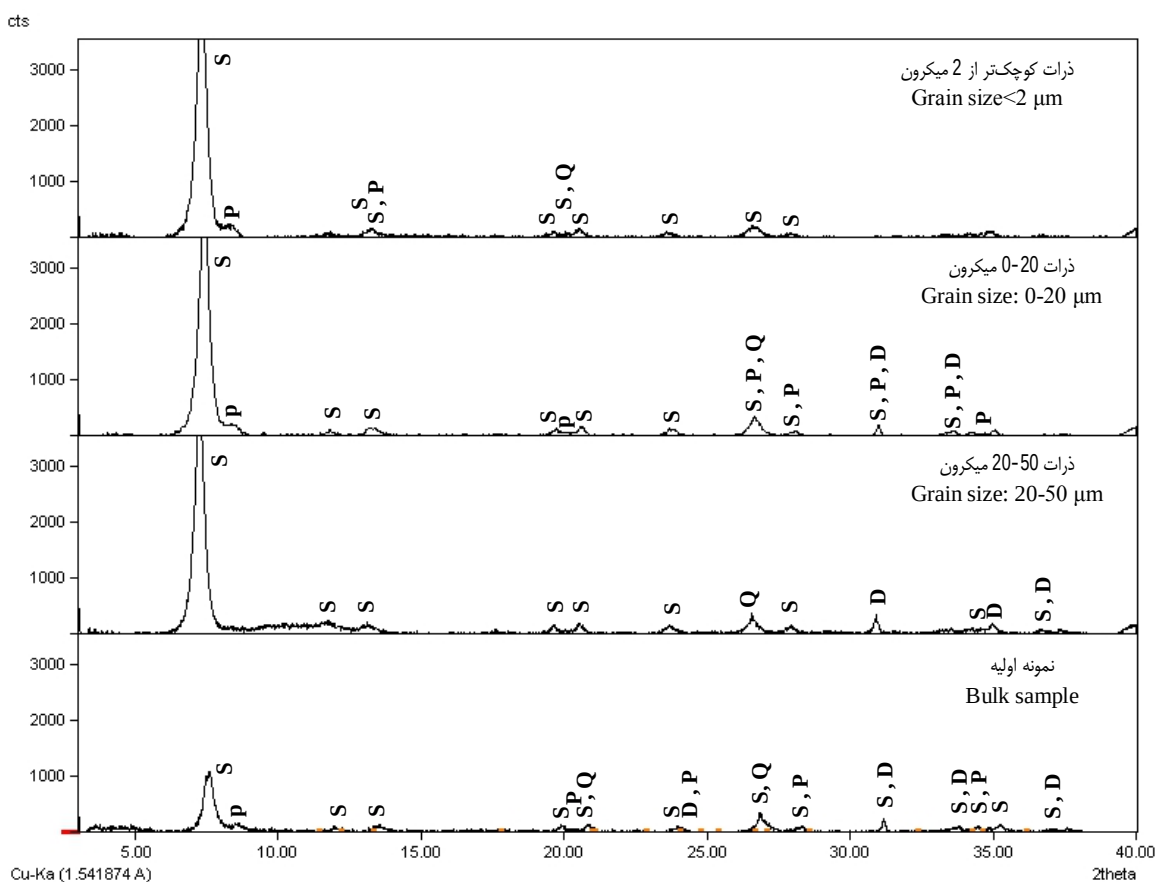
نتایج توزیع اندازه ذرات نمونه پودر شده در جدول 2 ارائه شده است. ذرات بزرگ‌تر از 50 میکرون (در اندازه شن) حدود 20 درصد و ذرات کمتر از 2 میکرون (در اندازه رس) حدود 37 درصد ذرات را تشکیل می‌دهند. حدود 43 درصد ذرات در اندازه سیلت است و حدود 32 درصد آن را ذرات در اندازه 2 تا 20 میکرون (سیلت ریز و متوسط) تشکیل می‌دهند.

میرحسینی و همکاران (17) نشان دادند که در نمونه‌های بنتونیت قائن، ناخالصی‌هایی مانند کوارتز در ذرات درشت‌تر نمونه پودر شده تجمع پیدا می‌کنند. به همین دلیل، بخش‌های سیپولیت پودر شده به اندازه‌های مختلف تفکیک شدند تا از نظر کانی شناسی بررسی شوند. از سوی دیگر، یکی از مواردی که باید در خالص‌سازی مد نظر قرار گیرد، انتخاب روشی است که از نظر اقتصادی به صرفه باشد. جدا

0-20 میکرون و ذرات کمتر از 2 میکرون در شکل 2 نشان داده شده است. پراش نگاشت نمونه اصلی برای مقایسه در این شکل آورده شده است. در ذرات 20-50 میکرون علاوه بر سپیولیت به عنوان کانی اصلی، کوارتز و دولومیت هم شناسایی شدند. در این اندازه ذرات، قله مربوط به پالیگورسکیت از بین رفته است. در اندازه ذرات 0-20 میکرون نیز علاوه بر سپیولیت، کانی‌های پالیگورسکیت، کوارتز و دولومیت هم شناسایی شدند. در دامنه ذرات کمتر از 2 میکرون، سپیولیت به همراه پالیگورسکیت و کوارتز قابل مشاهده است و قله مربوط به دولومیت در این اندازه ذره از بین رفته است.

پالیگورسکیت توسط روش‌های شیمیایی قابل حذف نیستند و معمولاً برای جدا کردن آنها از تیمارهای فیزیکی مانند الک کردن، پراکنش ذرات براساس سرعت ته‌نشینی و استفاده از امواج مافوق صوت استفاده می‌شود (11، 6 و 15). میرحسینی و همکاران (17)، جیمز و همکاران (12) و ماروکوبین کاردونا و همکاران (16) نیز برای خالص سازی بتونیت توانستند بخش قابل توجهی از ناخالصی‌های غیررسی را با استفاده از الک 50 میکرومتر قبل از روش ته‌نشینی ذرات حذف کنند. هر چند که دو کانی کریستوبالیت و مقادیر کمی از کوارتز، هنوز در بخش رس قابل مشاهده بود.

کانی‌شناسی نمونه اولیه سپیولیت، ذرات 20-50 میکرون، ذرات



شکل 2- پراش نگاشت پرتو ایکس نمونه اولیه، ذرات کمتر از 2 و 0-50 میکرون

Figure 2- X-ray diffractogram of bulk sample and particles <2, 0-20 and 20-50 μm

نشان دادن کارایی خالص‌سازی استفاده کردند. برای نشان دادن میزان حذف ناخالصی‌ها، نسبت شدت قله سپیولیت (12/3 آنگستروم) به قله پالیگورسکیت (10/27)، کوارتز (3/34) و دولومیت (2/87) در هر سه دسته اندازه ذرات جدا شده و نیز نمونه اصلی در جدول 3 ارائه شده است. بر این اساس، نسبت شدت قله سپیولیت به شدت قله‌های شاخص کوارتز، دولومیت و پالیگورسکیت به ترتیب 2/82، 5/11 و

پراش نگاشت‌های ذرات مختلف نشان می‌دهد که پالیگورسکیت در بخش درشت (20-50 میکرون) و دولومیت در بخش ریز (کمتر از 2 میکرون) حذف شده است. یکی از روش‌های تعیین میزان خالص شدن، استفاده از تغییر شدت قله‌های شاخص کانی‌ها یا نسبت آنها است. اینیوکای و همکاران (10) و ژو و همکاران (25) در مطالعات خود از مقایسه قله‌ها قبل و بعد از خالص‌سازی برای

در بخش‌های درشت حذف می‌شوند. نسبت سپیولیت به پالیگورسکیت در ذرات 20-50 میکرون و نسبت سپیولیت به دولومیت در ذرات کمتر از 2 میکرون، اعداد بسیار بزرگی هستند که نشان می‌دهد که پالیگورسکیت از بخش درشت (50-20 میکرون) و دولومیت از ذرات ریز (کمتر از 2 میکرون) کاهش پیدا کرده است.

7/28 است. این نسبت‌ها در همه اندازه‌های ذرات بیشتر شده است که می‌توان گفت که مقدار قابل توجهی از ناخالصی‌ها در ذرات بزرگ‌تر از 50 میکرون باقی مانده‌اند که در اصل با یک الک کردن ساده این اتفاق افتاده است. میرحسینی و همکاران (17) نیز در بررسی بر روی بنتونیت قائن، حضور ناخالصی کوارتز را در بخش سیلت گزارش کردند. آنها نشان دادند که بخش عمده کوارتز با تفکیک اندازه ذرات

جدول 3- نسبت شدت قله شاخص سپیولیت به شدت قله‌های شاخص پالیگورسکیت، کوارتز و دولومیت در اندازه ذرات جداسازی شده سپیولیت

فریمان

Table 3- Ratio intensity of sepiolite indicator peak to indicator peaks of palygorskite, quartz and dolomite in the bulk and fractions of Fariman sepiolite

Bulk sample	20-50 μm	0-20 μm	<2 μm	کانی Mineral
7.28	High	20.28	17.60	پالیگورسکیت Palygoeskite
2.82	13.60	11.36	20.03	کوارتز Quartz
5.11	13.72	21.06	High	دولومیت Dolomite

ذرات کمتر از 2 میکرون 10 درصد بود. این در حالی است که، اثری از قله دولومیت مشاهده نشد. به نظر می‌رسد روش تیتراسیون با اسید، روش مناسبی برای اندازه‌گیری کربنات‌ها در سپیولیت نیست. این مسئله در جریان تیتراسیون برای اندازه‌گیری کربنات‌ها قابل مشاهده بود. در جریان اندازه‌گیری کربنات، پس از اتمام تیتراسیون و تغییر رنگ به صورتی، مجدداً نمونه پس از لحظاتی بی‌رنگ می‌شد و این روند به صورت ممتد پس از تیتراسیون ادامه داشت که نشان می‌داد سپیولیت در حال حل شدن است. مطالعات نیز نشان دهنده سرعت زیاد حل شدن آن در اسید است (3، 5 و 2). به همین دلیل است که در ذرات کمتر از 2 میکرون، با وجودی که در پراش‌نگاشت پرتو ایکس اثری از دولومیت مشاهده نشد (شکل 2) ولی به روش تیتراسیون، مقدار کربنات‌ها 10 درصد اندازه‌گیری شد که می‌تواند به دلیل ریزتر شدن ذرات و حلایت بیشتر سپیولت باشد.

در سپیولیت ینی‌دوگان ترکیه، تقریباً نیمی از آن را دولومیت تشکیل می‌داد که اینیوکای و همکاران (10) برای جلوگیری از حل شدن سپیولیت در جریان حذف دولومیت با اسید کلریدریک، با اضافه کردن غلظت منیزیم با افزودن کلرید منیزیم، حل شدن سپیولیت را کاهش دادند. ولی به دلیل کم بودن مقدار دولومیت در سپیولیت فریمان و حذف مقدار قابل توجه آن با تفکیک اندازه ذرات، استفاده از اسید کلریدریک برای حذف دولومیت مناسب نیست.

ناخالصی دولومیت به طور کامل در بخش رس (ذرات کمتر از 2 میکرون) از بین رفته است و سهم آن در این اندازه ذرات 37/25 درصد می‌باشد (جدول 2). جدا کردن ذرات کمتر از 2 میکرون، از نظر زمان و هزینه برای مصارف صنعتی مقرون به صرفه نیست ولی برای استفاده‌های بهداشتی و دارویی و نیز مصارفی که از دقت و حساسیت بیشتری برخوردار هستند می‌توان از این بخش استفاده کرد. ضمن این که بیشتر ناخالصی این بخش، پالیگورسکیت است که با سپیولیت در گروه رس‌های فیبری قرار می‌گیرند و ویژگی‌های نسبتاً مشابهی دارند. در دامنه ذرات 20-50 میکرون نیز با وجود مقدار کم این بخش از ذرات (11/23 درصد) و نیز حضور ناخالصی‌های کوارتز و دولومیت، به نظر می‌رسد می‌توان از این بخش از ذرات صرف نظر کرد. با این حال، اگر نمونه سپیولیت عاری از پالیگورسکیت نیاز باشد، می‌توان از این بخش استفاده کرد. شاید بتوان گفت ذرات صفر تا 20 میکرون از نظر اقتصادی به صرفه باشد. زیرا از یک سو مقدار آن زیاد است و تا حدود 70 درصد می‌رسد و از سوی دیگر، مقدار ناخالصی‌های آن کم شده است. حتی می‌توان دولومیت را با اسید رقیق از بین برد.

کربنات‌ها یکی از ناخالصی‌های معمول همراه کانی‌ها هستند. در مطالعات شناسایی کانی‌ها در بخش رس از بافر استات سدیم - اسید استیک استفاده می‌شود که سرعت واکنش آن کم است؛ به همین دلیل برای خالص‌سازی از اسید کلریدریک رقیق استفاده می‌شود (10، 11 و 6). ولی نکته‌ای که باید در نظر داشت، حساسیت بالای سپیولیت در محیط اسیدی و حل شدن آن است. کربنات کلسیم اندازه‌گیری شده در نمونه اصلی 8/78 درصد و در نمونه خالص شده

از نظر زمان و هزینه برای خالص‌سازی است. ناخالصی‌ها با الک کردن ابتدایی، در ذرات بزرگ‌تر از 50 میکرون جدا شدند. در ذرات کمتر از 2 میکرون، دولومیت حذف شده بود ولی پالیگوسکایت به مقدار کمی در این بخش حضور داشت. به طور کلی، ذرات در اندازه صفر تا 20 میکرون که بخش اصلی نمونه را تشکیل می‌داد، از نظر اقتصادی و درجه خلوص مناسب تشخیص داده شد.

نتیجه‌گیری کلی

مقدار سپیولیت در ذخایر معدن الیاتو فریمان 70 تا 80 درصد است و کانی‌ها پالیگورسکیت، کوارتز و دولومیت به عنوان کانی‌های همراه سپیولیت هستند. نتایج این پژوهش نشان داد که تفکیک سپیولیت معدن فریمان در اندازه‌های مختلف، روشی مناسب

منابع

- 1- Akbulut A., and Kadir S. 2003. The geology and origin of sepiolite, palygorskite and saponite in Neogene lacustrine sediments of the Serinhisar- Acipayam Basin, Denizli, SW Turkey, *Clays and Clay Minerals*, 51: 279-292.
- 2- Cetisli H., and Gedikbey T. 1990. Dissolution kinetics of sepiolite from Eskisehir (Turkey) in hydrochloric and nitric acids, *Clay Minerals*, 25: 207-215.
- 3- Corma A., Mifsud A., and Perez J. 1986. Etude cinetique de l'attaque de la sepiolite: Modifications des proprietes texturales, *Clay Minerals*, 31: 69-84.
- 4- Galan E. 1996. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays, *Clays and Clay Minerals*, 31: 443-453.
- 5- Gonzalez-Hernandez L., Ibarra-Ruoda L., Rodriguez-Dias A., and Chamorro-Anton C. 1986. Preparation of amorphous silica by acid dissolution of sepiolite kinetics and textural study, *Journal of Colloid and Interface Science*, 109: 150-160.
- 6- Ha Thuc Grillet A.C., Reinert L., Ohashi F., Ha Thuc H., and Duclaux L. 2010. Separation and purification of montmorillonite and polyethylene oxide modified montmorillonite from Vietnamese bentonites, *Applied Clay Science*, 220- 238.
- 7- Hojati S., and Khademi H. 2011. Genesis and distribution of palygorskite in Iranian soils and sediments. In: Galan E. and Singer A. (Eds.). *Developments in Palygorskite-Sepiolite Research: A New Look at These Nanomaterials*, Elsevier, Amsterdam, PP. 201-218.
- 8- Hojati S. 2011. Distribution patterns, genesis and stability of fibrous clay minerals in selected soils associated Tertiary sediments in Central Iran and Zagros regions. Ph.D. Thesis, Department of Soil Science, Isfahan University of Technology. (In Persian with English abstract)
- 9- Hojati S., and Khademi H. 2012. Physicochemical and mineralogical characteristics of sepiolite deposits of Northeastern Iran, *Scientific Quarterly Journal Geosciences*, 165- 174: 23. (In Persian with English abstract)
- 10- Inukai K., Miyawaki R., Tomura S., Shimosaka K., and Irkec T. 1994. Purification of Turkish sepiolite through hydrochloric acid treatment, *Applied Clay Science*, 9: 11-29.
- 11- Jacqueline Arroyo L., Teppen B.J., and Boyd S. 2005. A simple method for partial purification of references clays, *Clays and Clay Mineral*, 53: 512- 520.
- 12- James O.O., Adediran Mesubi M., Adekola A., Odebunmi O., and Adekeye J.I.D. 2008. Beneficiation and characterization of a bentonite from north-eastern Nigeria, *Journal of the North Carolina Academy of Science*, 124: 154-158.
- 13- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran, *Clay Minerals*, 33: 561-578.
- 14- Klute A. 1986. *Methodes of soils Analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods*, Soil Science Society of America Book Series Number 5, Madison, WI.
- 15- Liu X., Lu X., Qiu J., Wang Zh., and Wu P. 2012. Purification of low grade Ca-bentonite for Iron ore pellets, *Advanced Material Research*, 454: 237-241.
- 16- Marroquin-Cardona A., Deng Y., Garcia-Mazcorro J.F., Johnson N.M., Mitchell N.J., Tang L., Robinson A., Taylor J.F., Wang J.S., and Philips T.D. 2011. Characterization and safety of uniform particle size NovaSil clay as a potential aflatoxin entorsorbent, *Applied Clay Science*, 54: 248-257.
- 17- Mirhosseini Moosavi P., Astaraei A., Karimi A., and Karimi Gh. 2014. Identification and purification of montmorillonite mineral of Ghaen mine bentonite, *Journal of Water and Soil*, 987-997. (In Persian with English abstract)
- 18- Murray H.H. 2007. *Applied Clay Mineralogy: Occurrence, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite, and common clays*, Elsevier, Amsterdam, 180 p.

- 19- Singer A. 1989. Palygorskite and sepiolite group minerals. In: Dixon J.B. and Weed S.B. (Eds.), Minerals in Soil Environments, Soil Science Society of America, Madison, WI, PP. 829-872.
- 20- Singer A., Kristen W., and Bühmann C. 1995. Fibrous clay minerals in the soils of Namaqualand, South Africa: characteristics and formation, *Geoderma*, 66: 43-70.
- 21- Singer A., Stahr K., and Zarei M. 1998. Characteristics and origin of sepiolite (Meerschaum) from Central Somalia, *Clay Minerals*, 33: 349-362.
- 22- Singer A. 2002. Palygorskite and sepiolite. In: Dixon J.B. and Schulze D.G. (Eds.), Soil mineralogy with environmental applications, Soil Science Society of America, Madison, PP. 555-583.
- 23- Viseras C., and Lopez- Galindo A. 1998. Pharmaceutical applications of some Spanish clays (Sepiolite, palygorskite, bentonite): some reformulation studies, *Applied Clay Science*, 14: 69- 82.
- 24- Yalcin H., and Bozkaya O. 1995. Sepiolite-palygorskite from the Hekimhan region (Turkey), *Clays and Clay Minerals*, 43: 705-717.
- 25- Zhou F., Yan Ch., Yan Zh., Tan J., Wang H., Zhou S., and Pu S. 2016. *Applied Clay Science: Purification and defibering of a Chinese sepiolite*, Elsevier, 124- 125: 119- 126.



A Simple Physical Method for Purification of Sepiolite

M. Momen¹- A. Karimi^{2*}- A. Halajnia³- P. Mirhoseini Moosavi⁴

Received: 08-05-2017

Accepted: 13-08-2017

Introduction: Sepiolite is a fibrous clay mineral which is usually found in Tertiary sediments in arid environments. The most abundance of sepiolite is between 30° to 40° latitudes of both northern and southern hemispheres. Sepiolite is an Mg-rich clay minerals which is very sensitive to weathering. Sepiolite is an industrial mineral with a variety of applications due to its structural and chemical properties. However, the clay (e.g. palygorskite and smectite) and no-clay (e.g. dolomite and quartz) impurities reduce the quality of sepiolite. Therefore, removing the impurities enhances the quality of the main clay mineral. Mineral purification consists of a series of chemical (e.g. acid treatment) and physical (e.g. particle size fractionation, sieving, ultrasonic treatment) procedures. There is a sepiolite mine in the northeastern Iran, near the city of Fariman. The sepiolite is a sensitive clay to weathering, especially in acidic solution. Therefore, the objective of this study was to propose a simple physical method based on particle size fractionation to purify the sepiolite.

Materials and Methods: Sepiolite mine is located around Elyator, a village near the city of Fariman. The relatively hard sepiolite samples were grinded and passed through a 2 mm sieve. To determine the mineralogical composition, the powdered samples were analyzed by X-ray diffractometer (model: Explorer). XRF spectroscopy (model: PHILIPS-PW148) was used to identify the elemental composition. Pipette method was used to separate the particle size fractions. Firstly, the samples were passed through a 270 mesh (50 µm) sieve. The 0-50 µm fraction was then transferred to the cylinder containing dispersion solution (0.1% sodium carbonate and sodium hexametaphosphate solution). Based on the settling time of the particles in the suspension, three classes of particle size of 20-50, 0-20 and <2 µm were separated. Each fraction size was analyzed by X-ray diffractometer to determine the changes in mineralogical composition. In addition, the intensity ratio of the indicator peaks of sepiolite to dolomite, palygorskite and quartz were calculated to evaluate the efficiency of purification.

Results and Discussion: XRD diffractogram of the bulk sample indicated the presence of sepiolite as the major phase (70-80 %). Dolomite (5-10 %), quartz (10-20 %) and palygorskite (5-10 %) were the minor phases. Elemental analysis indicated that the amount of SiO₂, MgO and CaO were 54.51, 22.29 and 1.70 %, respectively. This composition confirmed the presence high amount of sepiolite which is in agree with the XRD results.

The particles with >50 µm size (sand size) were about 20 % and those with less than 2 µm size (clay size) consisted 37 % of the sample. Silt size particles (2-50 µm) were about 43 % of the sample. The XRD diffractograms indicated that particle size fractionation considerably decreased the amount of quartz. Dolomite peaks were completely absent in the diffractogram of the < 2 µm fraction. Furthermore, the peaks of palygorskite were not present in diffractogram of 20-50 µm. The intensity of sepiolite peaks considerably increased and the intensities of the other minerals decreased in relation to bulk samples. This confirmed that the most impurities were in the fraction > 50 µm. The ratios of the sepiolite indicator peak to the dolomite, palygorskite and quartz indicator peaks in bulk sample were 5.11, 7.28 and 2.82. This ratio was very high for dolomite in < 2 µm fraction and for palygorskite in 20-50 µm fraction. A purification procedure should be both efficient and economic. The 0-20 µm fraction composed about 70 % the particles. The separation time for this fraction is also pretty fast. Therefore, 0-20 µm particles seem to be economically purified. Based on the conventional measurement method for carbonates (HCl digestion and NaOH titration method), the calcium carbonate equivalent in < 2 µm fraction was calculated to be about 10 % despite removal of dolomite in this fraction. This illustrates that HCl dissolved the sepiolite. However, if removal of dolomite from coarser fraction by HCl is needed, it should be applied in the solution with high amount of Mg to prevent sepiolite dissolution.

Conclusion: Dolomite, palygorskite and quartz were the impurities in Fariman sepiolite. There is no chemical treatment to remove the quartz and palygorskite. Dolomite can be easily removed using HCl, but it dissociates the sepiolite, too. The result indicated that particle size fractionation as a simple physical method purifies sepiolite effectively.

Keywords: Fariman sepiolite, Dolomite, Particle size fractionation, Purification

1, 2, 3 and 4- M.Sc. Student, Associate Professor, Assistant Professor and Ph.D. Grduated of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Respectively

(* - Corresponding Author Email: karimi-a@um.ac.ir)



کارایی الگوریتم کرم شب تاب و الگوریتم ژنتیک در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با شبکه های عصبی مصنوعی

مسلم ثروتی^{1*} - حمیدرضا ممتاز²

تاریخ دریافت: 1396/03/02

تاریخ پذیرش: 1396/07/03

چکیده

در دهه های اخیر اندازه گیری غیرمستقیم ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از توابع انتقالی مختلف موفقیت آمیز بوده است. شبکه عصبی مصنوعی (ANN) نسبت به روش های رگرسیون آماری دارای نتایج مناسب تری بوده ولی با داده های اندک کارایی بالایی نداشته و از سوی دیگر فاقد یک روش استقرایی جامع در انتخاب الگوریتم یادگیری شبکه و توقف در حداقل محلی است. در این راستا استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ضروری به نظر می رسد. هدف از این تحقیق، ارزیابی کارایی الگوریتم های کرم شب تاب (FA) و ژنتیک (GA) در تخمین CEC با استفاده از ANN است. برای نیل به اهداف فوق 220 نمونه از منطقه گلفرج به صورت تصادفی برداشته شد. سپس مدل سازی با سه مدل ANN، شبکه عصبی مصنوعی-ژنتیک (ANN-GA) و شبکه عصبی مصنوعی-کرم شب تاب (ANN-FA) انجام شد. در این تحقیق شبکه های عصبی با ساختار پرسپترون چندلایه، با الگوریتم پس انتشار خطا، تابع آموزشی بایزین و تابع محرک سیگموئید آکسون با 5 نرون مناسب ترین ساختار بوده است. نتایج نشان داد که مدل ANN-FA دارای بیشترین کارایی بوده، به طوری که ضریب تبیین و میانگین انحراف مربعات خطا و ضریب نش - ساتکلیف به ترتیب در مرحله آموزش 0/94، 1/31 و 0/53 و در مرحله آزمون 1/06، 0/97 و 0/59 بوده و مدل ANN-GA در مقام دوم از نظر کارایی بوده است. میانگین هندسی نسبت خطا 0/84 برای مدل ANN-FA بوده که نشان دهنده بیش برآوردی نسبی آن است. نهایتاً مدل پیشنهادی برای تخمین ویژگی خروجی مناسب بوده و کاربرد الگوریتم بهینه سازی کرم شب تاب و ژنتیک، حاکی از کاربردی بودن این الگوریتم ها در فرآیندهایی با طبیعت پیچیده و غیرخطی است.

واژه های کلیدی: الگوریتم تلفیقی، بهینه سازی، ویژگی های زود یافت

مقدمه

(17). روش های مختلفی برای ایجاد توابع انتقالی جهت تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی استفاده شده که از آن جمله می توان به روش های آماری چندمتغیره، شبکه های عصبی مصنوعی و روش های ترکیبی اشاره نمود. اکبرزاده و همکاران (2) ظرفیت تبادل کاتیونی 80 نمونه خاک از ایران را به وسیله رگرسیون های خطی چندگانه مدل سازی نمودند. نتایج نشان داد که ماده آلی و رس به عنوان عوامل تأثیرگذار در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی بوده و ضریب تبیین نیز نسبتاً قابل قبول است. با توسعه سریع فناوری های پردازش رایانه ای و ایجاد نرم افزارهای مربوطه، از مزایای فناوری هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی³ برای مسائل مربوط به مدل سازی سامانه ها و فرآیندها استفاده شد (16). یکی از مزیت های استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی نسبت به مدل های آماری عدم نیاز به یک تابع خاص برای بیان رابطه میان داده های ورودی و خروجی بوده و رابطه بین آن ها از طریق فرآیند آموزش به دست می آید (20). امینی و همکاران

در دهه های اخیر کاربرد داده های خاکی قابل اطمینان در مقیاس بزرگ برای طراحی سامانه های ارزیابی اراضی رو به توسعه است (17). ظرفیت تبادل کاتیونی از جمله ویژگی های خاک بوده که در پایگاه های اطلاعاتی (15) به عنوان ورودی در مدل های زیست محیطی به کار می رود (13 و 14). همچنین این ویژگی خاکی یکی از شاخص های حاصلخیزی در ارتقای کیفیت نقشه ها است (19). ظرفیت تبادل کاتیونی به روش مستقیم قابل اندازه گیری بوده ولی اندازه گیری آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل مقادیر زیاد آهک و گچ، سخت و پرهزینه است (6) لذا تخمین آن با استفاده از توابع انتقالی، از سایر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ضروری به نظر می رسد

1- استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه
(*) - نویسنده مسئول: (Email: m.sarvati@urmia.ac.ir)

2- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

طول شرقی قرار دارد. رژیم رطوبتی منطقه اردبک هم‌مرز با زیرک⁶ و رژیم حرارتی آن ترمیک⁷ است. خاک‌های منطقه بر اساس کلید رده بندی آمریکایی (22) در رده انتی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌ها رده‌بندی شدند. جهت نیل به اهداف، 220 نمونه خاک انتخاب گردید. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها برای مدل‌سازی، شامل مقدار نسبی سه ذره (بافت)، سنگریزه، کربن‌آلی، گچ، آهک و pH بر اساس تحقیقات قبلی با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. برای مدل‌سازی تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، عصبی-ژنتیک و عصبی-کرم شب‌تاب، ابتدا با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون ویژگی‌های مؤثر در ظرفیت تبادل کاتیونی انتخاب گردید.

مدل‌سازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این شیوه از مدل‌سازی، از ساختاری نرونی و هوشمند با الگوبرداری مناسب از نرون‌های موجود در مغز انسان سعی می‌گردد تا از طریق توابع تعریف شده ریاضی رفتار درون‌سلولی نرون‌های مغز شبیه‌سازی شود و از طریق وزن‌های محاسباتی موجود در خطوط ارتباطی نرون‌های مصنوعی، عملکرد سیناپسی در نرون‌های طبیعی به مدل تبدیل شود. بدین منظور الگو، با دسته‌ای از داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده، آموزش داده‌شده تا برای ورودی‌های جدید با توجه به رابطه پیدا شده در مرحله آموزش، خروجی مناسب را محاسبه نماید. در این پژوهش جهت شبیه‌سازی و تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی از بین ساختارهای گوناگون شبکه‌های عصبی مصنوعی، از روش آموزش تحت نظارت یا سرپرستی با ساختار پرسپترون چندلایه (MLP) با الگوریتم پس انتشار خطا (BP) (4 و 8) استفاده شد. برای این منظور ابتدا داده‌ها دسته‌بندی و با رسم باکس پلات مربوط به هر ویژگی، داده‌های پرت شناسایی و حذف شد. اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت شبکه‌های عصبی می‌شود. برای اجتناب از چنین شرایطی داده‌ها استاندارد شدند. برای استانداردسازی داده‌های اولیه از رابطه (1) استفاده شد.

$$X_n = (X_r - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

در تابع فوق X_n ، X_r ، $X_{\max}$ و $X_{\min}$ به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر واقعی، استاندارد شده، حداکثر و حداقل داده‌های تحت بررسی هستند.

پس از استانداردسازی داده‌ها، کل داده‌ها به دو بخش آموزش و آزمون تفکیک شد. 75 درصد داده‌ها، یعنی 165 مجموعه داده برای آموزش و 55 مجموعه داده برای آزمون در نظر گرفته شدند. برای کنترل و نظارت بر یادگیری صحیح شبکه، 25 درصد مابقی داده‌ها

(3)، تانگ و همکاران (21)، قربانی و همکاران (9) و کاشی و همکاران (11 و 12) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تخمین استفاده کردند و دریافتند که شبکه‌های عصبی ظرفیت تبادل کاتیونی را با دقت بیشتر نسبت به مدل‌های رگرسیونی چند متغیره تخمین می‌زند. با این حال شبکه‌های عصبی مصنوعی با داده‌های اندک کارایی بالایی نداشته و از سوی دیگر فاقد یک روش استقرایی جامع در انتخاب الگوریتم یادگیری شبکه و توقف الگوریتم در حداقل محلی¹ است (1). برای حل این مشکل می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک²، کرم شب‌تاب³ و ... استفاده نمود. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکاملی است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش نسخه‌برداری شده است. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. موتور الگوریتم ژنتیک یک جمعیت اولیه از روابط ایجاد می‌کند. هر فرد در برابر مجموعه‌ای از داده‌های مورد آزمایش قرار می‌گیرند و مناسب‌ترین آن‌ها باقی می‌مانند و بقیه کنار گذاشته می‌شوند. مناسب‌ترین افراد باهم جفت‌گیری و تغییر کرده‌اند. مشاهده می‌شود که با گذشت از میان تعداد زیادی از نسل‌ها، الگوریتم ژنتیک به سمت ایجاد رابطه‌هایی که دقیق‌تر هستند، میل می‌کنند (10). الگوریتم کرم شب‌تاب نیز یک تکنیک‌های فرا ابتکاری⁴ است که با الهام از رفتارهای ساطع کردن نورهای شب‌تاب به دست آمده است. هدف اولیه کرم شب‌تاب از ساطع نمودن نور برای جذب سایر هموعان است. تحقیقات نشان داده است که این الگوریتم در مقایسه با پرواز پرندگان و ژنتیک برای پیدا کردن نقاط بهینه عمومی⁵ در برخی از کاربردهای مورد آزمون قرار گرفته، از کارایی بیشتری برخوردار است (23). هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی روش الگوریتم کرم شب‌تاب در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است. شایان ذکر است که کاربرد الگوریتم کرم شب‌تاب در بهینه‌سازی تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از نوآوری‌های تحقیق حاضر محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه گلرچ به وسعت حدود 8000 هکتار در شمال استان آذربایجان شرقی در شهرستان جلفا واقع شده است. این منطقه به لحاظ جغرافیایی بین 38 درجه و 42 دقیقه تا 38 درجه و 46 دقیقه عرض شمالی و بین 45 درجه و 30 دقیقه تا 45 درجه و 53 دقیقه

- 1- Local minimum
- 2- Genetic Algorithm (GA)
- 3- Firefly algorithm (FA)
- 4- Metaheuristic Techniques
- 5- Gravitational search algorithm

6- Aridic Border to Xeric

7- Thermic

مدل‌سازی با الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی-کرم شب‌تاب

در این تحقیق کلیه ویژگی‌های ورودی در بازه صفر تا یک نرمال شدند تا باعث افزایش سرعت آموزش و کاهش خطا در شبکه عصبی و همسان‌سازی تغییرات در ابعاد مختلف شود. شایان ذکر است که این ویژگی‌ها براساس مدل نهایی شامل رس، سیلت، شن، ماده آلی بودند. ضریب جذب نور، تغییر جذایت را مشخص می‌کند و مقدار آن مشخص کننده تعیین سرعت همگرایی و چگونگی رفتار الگوریتم کرم شب‌تاب بوده و رفتار الگوریتم را کنترل می‌کند. با این روش می‌توان چندین نقطه بهینه را در صورت وجود در طی تکرارهای مشابه با تنظیم ضریب جذب نور پیدا کرد. با افزایش ضریب جذب نور، پارامتر جذایت کم‌رنگ‌تر شده، لذا کرم‌ها به سمت بهینه‌های محلی جذب نمی‌شوند. در صورت وجود چندین نقطه بهینه در فضای جواب، چنانچه تعداد کرم‌ها به‌صورت قابل توجهی از نقاط بهینه بیشتر باشد، هیچ نقطه‌ای از چشم کرم‌ها دور نخواهد ماند. برای بهینه‌سازی تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی ابتدا با استفاده شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌سازی پروسه صورت گرفت. جمعیت اولیه برای کرم شب‌تاب 40 کرم شب‌تاب در فضای جواب منظور شد. داده‌های اولیه داده‌شده به الگوریتم کرم شب‌تاب در حقیقت داده‌های آموزش شبکه عصبی هستند. میزان روشنایی هر کرم شب‌تاب که مبین تابع هدف یا ظرفیت تبادل کاتیونی است توسط خروجی شبکه عصبی پیش‌بینی و به الگوریتم کرم شب‌تاب داده شد. ابتدا لازم است مناسب‌ترین مقادیر پارامترهای مرتبط با جذب نور محیط و حرکت تصادفی کرم شب‌تاب برای بهینه‌سازی توسط کرم شب‌تاب به‌دست آیند (24). به این منظور در مرحله اول حرکت تصادفی در مرحله اول برابر با 0/5 در نظر گرفته شد و با تغییر ضریب جذب نور تأثیر آن در مقادیر بهینه بررسی و ضریب جذب نور مناسب انتخاب شد. برای تنظیم مقادیر جذب نور در بازه صفر تا 3 مقادیر بهینه تابع هدف به‌دست آمد.

مقایسه صحت و دقت ارزیابی

برای این منظور از آماره‌های ضریب تبیین (R^2) (رابطه 1)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه 2)، از معیار نش-ساتکلیف⁴ (رابطه 3) و میانگین هندسی نسبت خطا⁵ (رابطه 4) استفاده شد. در صورت نزدیکی مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی شاخص ضریب تبیین، معیار نش-ساتکلیف و میانگین هندسی نسبت خطا به یک و جذر میانگین مربعات خطا به صفر نزدیک خواهد شد.

به‌عنوان داده‌های آزمون مدل معرفی گردید. برای مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی پس از واردکردن داده‌ها به نرم‌افزار، جهت تعیین شبکه بهینه از کلیه توابع محرک تعریف شده در نرم‌افزار (تانژانت هیپربولیک آکسون، سیگموئید آکسون، تانژانت هیپربولیک خطی آکسون، سیگموئید خطی آکسون، بایاس آکسون، آکسون خطی و آکسون) به شکل سعی و خطا تا حصول بهترین نتیجه استفاده شد. برای آموزش شبکه‌های طراحی‌شده با معماری متفاوت، از توابع آموزشی بایزین¹ استفاده شد. این الگوریتم آموزش، بهترین روش برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده است و پایداری بیشتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های پس انتشار خطا دارد (18).

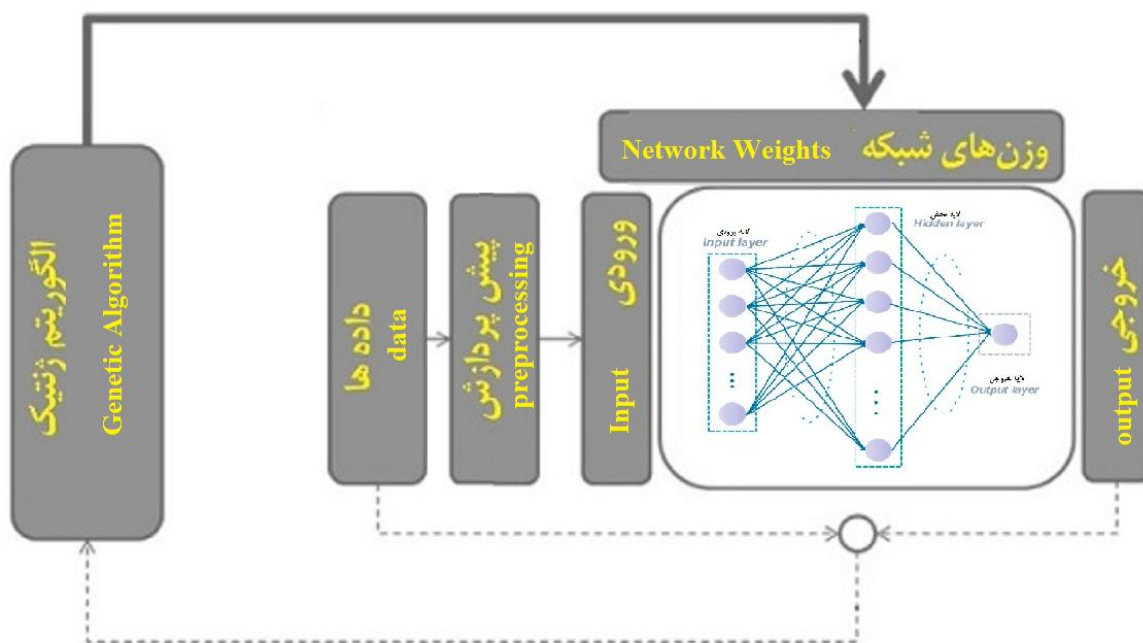
مدل‌سازی با الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی-ژنتیک

در این روش الگوریتم ژنتیک به تنظیم اوزان اتصالات شبکه می‌پردازد. شایان ذکر است که در شبکه‌های عصبی مصنوعی بایستی تعداد و نوع ورودی‌ها، لایه‌های میانی، نرون‌ها و الگوریتم مناسب آموزش شبکه درست انتخاب شوند، تا شبکه کارآمد و دقیق طراحی گردد. شکل 1 چگونگی تعامل شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک را نمایش می‌دهد. پس از فرآیند پیش‌پردازش، مجموعه داده‌ها به‌عنوان ورودی شبکه عصبی مورداستفاده قرار گرفت. وزن‌های اولیه متناظر با ورودی‌های شبکه عصبی (کروموزم‌های الگوریتم ژنتیک) در تکرار اول به‌صورت تصادفی شدند. همچنین، رابطه میانگین مجذور خطا² به‌عنوان تابع برازش هر کروموزم از الگوریتم ژنتیک انتخاب شد و از این‌رو به‌کارگیری عملگر تقاطع³ امکان‌پذیر شد. در پایان هر تکرار، 10 درصد از بهترین کروموزم‌ها به همراه 90 درصد کروموزم تولید شده تصادفی جدید، به نسل بعد منتقل گردید. فرآیند مذکور تا رسیدن به شرایط توقف الگوریتم ادامه یافت. در پایان بهترین کروموزم به‌عنوان وزن‌های اولیه به شبکه عصبی مصنوعی اعمال شد. تعداد کل تکرار الگوریتم ژنتیک برابر با 200 در نظر گرفته شد و اگر بعد از 40 تکرار بهینه شدن افزایش نیافت، الگوریتم متوقف شد. به‌منظور انتخاب پارامترهای الگوریتم ژنتیک شامل تعداد جمعیت اولیه، احتمال تقاطع و احتمال جهش، الگوریتم از روش سعی و خطا استفاده شد. فرآیند آموزش و آزمون شبکه عصبی پیشنهادی و همچنین الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب نسخه 2012 کد نویسی شده و نتایج محاسباتی آن‌ها توسط سیستم یکسان با مشخصات پردازنده 27/2 گیگاهرتزی و رم 4 گیگابیتی به‌دست آمد.

- 1- Bayesian (Ba)
- 2- Mean squared error (MSE)
- 3- Crossover

4- Nash-Sutcliffe (NES)

5- Geometric Mean Error Ratio (GMER)



شکل 1- بهینه سازی شبکه های عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک
Figure 1- Optimization of Artificial Neural Network by Genetic Algorithm

پیرسون بین ویژگی های مؤثر در مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی را نشان می دهد. چنانچه ملاحظه می شود 4 ویژگی رس، سیلت، شن و ماده آلی دارای همبستگی بیشتری نسبت به سایر ویژگی ها با ظرفیت تبادل کاتیونی داشته لذا به عنوان پارامترهای ورودی انتخاب شدند. دران و پارکین (7) ظرفیت تبادل کاتیونی را یکی از پارامترهای مهم کیفیت خاک می دانند اگرچه ذرات و ترکیبات خاک (ماده آلی، رس، شن، سیلت، گچ، آهک، نوع رس و ...) به درجات مختلف در ایجاد نقاط تبادل کاتیونی نقش دارند، ولی این ویژگی ها در غالب خاک ها در بخش رس و مواد آلی آن ها متمرکز است که نتایج تحقیق فوق نیز مؤید این مطلب است.

جدول های 3 و 4 کارایی توابع محرک مختلف را به ترتیب در مرحله آموزش و آزمون و جدول 5 و 6 کارایی تعداد نرون های مختلف را به ترتیب در مرحله آموزش و آزمون برای تابع محرک انتخابی نشان می دهد. نتایج مؤید این مطلب است که بهترین تابع محرک سیگموئید آکسون با 5 نرون در مرحله آموزش و آزمون است. حداقل مقدار RMSE مربوط به شبکه با پنج نرون در یک لایه مخفی است. تغییرات RMSE دارای روند مشخصی نبوده، چون شبکه عصبی یک مدل جعبه سیاه بوده و وزن ها به طور تصادفی انتخاب می شود لذا نمی توان این روند موجود را به طور کامل توضیح داد. فقط باید با سعی و خطا بهترین ساختار را به دست آورد. شاید به توان گفت با پیچیده تر شدن رابطه بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، مدل شبکه عصبی

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(I_i - \bar{I})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{O}_i - I_i) \quad (2)$$

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - I_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$GMER = \exp \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{I_i}{O_i} \right) \right] \quad (4)$$

در این روابط، O_i مقدار عملکرد مشاهده شده، I_i مقدار عملکرد برآورد شده توسط مدل، O_{ii} میانگین مقادیر عملکرد مشاهداتی، I_{ii} میانگین مقادیر عملکرد محاسباتی و n تعداد داده ها می باشد.

نتایج و بحث

جدول 1 میانگین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده را در ایجاد توابع انتقالی نشان می دهد. این ویژگی ها به همراه آماره های توزیع برای مراحل آموزش و آزمون جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. چنانچه ملاحظه می شود، خاک های مورد بررسی در دامنه وسیعی از نظر ویژگی های مورد بررسی قرار دارند. نرمال بودن داده ها نیز با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج مؤید نرمال بودن داده است. جدول 2 ماتریس همبستگی

بیش از حد آموزش می بیند و قادر به برآزش مناسب بر روی داده های جدید نیست (5).

نتایج مدل سازی با شبکه های عصبی مصنوعی مؤید این مطلب است که این روش دارای دقت بالایی بوده به طوری که ضریب تبیین و میانگین انحراف مربعات خطا به ترتیب در مرحله آموزش 0/84 و 1/94 و در مرحله آزمون 0/87 و 1/81 برآورد گردید. استفاده از معیار نش و ساتکلیف در مرحله آموزش 0/24 و در مرحله آزمون 0/28 نشان دهنده دقت نسبتاً بالایی مدل است. میانگین هندسی نسبت خطا در این روش 1/43 برآورد گردید که نشان دهنده کم برآوردی مدل است.

نتایج مدل سازی با شبکه های عصبی مصنوعی - الگوریتم ژنتیک مؤید این مطلب است که این روش نیز دارای دقت بالایی بوده

به طوری که ضریب تبیین و میانگین انحراف مربعات خطا به ترتیب در مرحله آموزش 0/91 و 1/77 و در مرحله آزمون 0/93 و 1/50 برآورد گردید. استفاده از معیار نش و ساتکلیف در مرحله آموزش 0/45 و در مرحله آزمون 0/48 نشان دهنده دقت نسبتاً بالایی مدل است. میانگین هندسی نسبت خطا در این روش 1/43 برآورد گردید که نشان دهنده کم برآوردی مدل است.

در شبکه های عصبی مبتنی بر کرم شب تاب نیز پارامترهای مدل در حالت بهینه محاسبه گردید. برای ضریب جذب نور در بازه صفر تا 3 مقادیر تابع هدف به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد، مقادیر بهینه در این تحقیق تحت تأثیر تغییرات ضریب جذب نور قرار نمی گیرد، لذا ضریب جذب نور برابر 1، در نظر گرفته شد. مقدار حرکات تصادفی نیز در حالت بهینه 0/3 برآورد گردید.

جدول 1- پارامترهای آماری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک برای 220 نمونه خاک

Table 1- Statistics criteria of physical and chemical properties for 220 soil sample

مرحله Stage	آماره Statistics	گچ Gypsum (%)	کربن آلی Organic matter (%)	pH	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	سنگریزه Gravel (%)	آهک Lime (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol+ kg-1)
آموزش Train	میانگین Average	3.33	0.37	8.19	43.28	32.2	24.38	17.5	26.31	23.7
	بیشینه Maximum	32.34	1.07	8.89	86	54	58	85	61	35.5
	کمینه Minimum	0.1	0.01	7.60	8	4	6	1	7	7.4
	ضریب تغییرات Coefficient of variation	0.47	1.70	27.83	43.28	32.2	2.03	0.87	2.46	28.1
	کشیدگی Kurtosis	0.91	0.98	0.25	0.22	0.37	0.91	0.43	0.95	0.86
	چولگی Skewness	0.62	0.61	0.34	0.68	0.34	0.55	0.45	0.33	0.57
	آزمون نرمال بودن Normality test	0.09*	0.31**	0.13**	0.12**	0.07*	0.12**	0.02**	0.12**	0.11**
	میانگین Average	0.77	0.37	7.83	49.81	35.36	14.95	23.5	26.42	21.4
آزمون Test	بیشینه Maximum	7.5	1.23	8.3	84	44	26	50	48.5	2.34
	کمینه Minimum	0.05	0.04	7.5	30	12	4	2	3.5	1.8
	ضریب تغییرات Coefficient of variation	0.42	1.23	37.62	3.92	4.21	2.53	1.63	2.03	1.26
	کشیدگی Kurtosis	3.24	1.31	0.46	0.94	1.41	0.43	0.37	0	0.79
	چولگی Skewness	10.11	1.71	0.32	1.67	1.89	0.31	0.94	0.33	0.43
	آزمون نرمال بودن Normality test	0.09*	0.31**	0.16**	0.01**	0.06*	0.13**	0.2**	0.17**	0.14**
	میانگین Average	0.77	0.37	7.83	49.81	35.36	14.95	23.5	26.42	21.4
	بیشینه Maximum	7.5	1.23	8.3	84	44	26	50	48.5	2.34

*: در سطح احتمال 5 درصد، **: در سطح احتمال 1 درصد

جدول 2- ماتریس همبستگی بین پارامترهای انتخابی برای مدل سازی ظرفیت تبادل کاتیونی 220 نمونه خاک

Table 2- Correlation matrix between selected properties for cation exchange capacity modeling for 220 sample

ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange capacity	سنگریزه Gravel	واکنش خاک pH	آهک Lime	گچ Gypsum	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	ماده آلی Organic matter
								1
							1	0.82**
						1	-0.43*	0.44*
					1	-0.29	0.35	0.41*
				1	0.05	0.14	0.15	0.11
			1	0.26	0.29	0.32	0.26	0.18
		1	0.44*	0.29	0.22	0.32	0.21	0.45*
	1	0.35	0.13	0.21	0.21	0.19	0.25	0.46*
1	0.29	0.38	0.42	0.31	-0.53*	-0.57*	0.86**	0.93**

جدول 3- پارامترهای آماری برای توابع محرک متفاوت شبکه های عصبی مصنوعی در مرحله آموزش

Table 3- Statistics parameter for different stimulating functions of artificial neural networks in train stage

تابع محرک Motion function	شبکه های عصبی مصنوعی Artificial Neural Networks	
	RMSE	R ²
Axon آکسون	2.37	0.72
Bias Axon بایاس آکسون	1.81	0.81
Linear Axon خطی آکسون	2.30	0.74
Linear Sigmoid Axon سیگموئید خطی آکسون	2.07	0.77
Linear Tanh Axon تانژانت خطی آکسون	2.16	0.76
Sigmoid Axon سیگموئید آکسون	1.67	0.82
Tanh Axon تانژانت آکسون	1.94	0.79

جدول 4- پارامترهای آماری برای توابع محرک متفاوت شبکه های عصبی مصنوعی در مرحله آزمون

Table 4- Statistics parameter for different stimulating functions of artificial neural networks in test stage

تابع محرک Motion function	شبکه های عصبی مصنوعی Artificial Neural Networks	
	RMSE	R ²
Axon آکسون	2.37	0.73
Bias Axon بایاس آکسون	1.74	0.83
Linear Axon خطی آکسون	2.24	0.75
Linear Sigmoid Axon سیگموئید خطی آکسون	2.00	0.79
Linear Tanh Axon تانژانت خطی آکسون	2.15	0.78
Sigmoid Axon سیگموئید آکسون	1.59	0.85
Tanh Axon تانژانت آکسون	1.86	0.80

جدول 5- پارامترهای آماری برای تعداد نرون‌های متفاوت تابع محرک Sigmoid Axon در مرحله آموزش

Table 5- Statistics parameter for different number of neurons triggers function Sigmoid Axon in train stage

تابع محرک Motion function	شبکه‌های عصبی مصنوعی Artificial Neural Networks		
	تعداد نرون Number of neurons	RMSE	R ²
سیگموئید آکسون Sigmoid Axon	2	2.20	0.73
	3	2.16	0.76
	4	2.13	0.79
	5	1.94	0.84
	6	2.23	0.81
	7	2.54	0.78
	8	2.45	0.79
	9	2.69	0.75
	10	2.67	0.74

جدول 6- پارامترهای آماری برای تعداد نرون‌های متفاوت تابع محرک Sigmoid Axon در مرحله آزمون

Table 6- Statistics parameter for different number of neurons triggers function Sigmoid Axon in test stage

تابع محرک Motion function	ANN		
	تعداد نرون Number of neurons	RMSE	R ²
سیگموئید آکسون Sigmoid Axon	2	2.18	0.74
	3	2.14	0.79
	4	2.03	0.81
	5	1.81	0.87
	6	2.11	0.85
	7	2.41	0.79
	8	2.36	0.80
	9	2.57	0.78
	10	2.55	0.76

کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم کرم شبتاب دارد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس ماتریس همبستگی پیرسون چهار ویژگی در تخمین CEC بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند و لذا به‌عنوان ورودی‌های مدل انتخاب شدند. از نظر شیمی خاک، از بین سه ذره رس، سیلت و شن فقط ذرات رس دارای بار الکتریکی منفی بوده و باعث ایجاد CEC می‌شوند، از طرفی افزایش در میزان سیلت و شن باعث کاهش CEC می‌شود. در روش شبکه‌های عصبی مصنوعی بیشترین کارایی متعلق به شبکه‌ها با تابع محرک سگموئید آکسون با 5 نرون در مرحله آموزش و آزمون بود. در مقایسه میان سه روش مورد استفاده برای تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی -کرم شبتاب از دقت بیشتری برخوردار بود. لازم به ذکر است که کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک نیز باعث افزایش کارایی مدل‌سازی تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی گردید. بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به اینکه

نتایج مدل‌سازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر الگوریتم کرم شبتاب نشان داد که این روش دارای دقت بالایی بوده به‌طوری که ضریب تبیین و میانگین انحراف مربعات خطا به ترتیب در مرحله آموزش 0/94 و 1/31 و در مرحله آزمون 0/97 و 1/06 برآورد گردید. استفاده از معیار نش و ساتکلیف در مرحله آموزش 0/53 و در مرحله آزمون 0/59 نشان دهنده دقت نسبتاً بالایی مدل است. میانگین هندسی نسبت خطا در این روش 0/84 برآورد گردید که حاکی از بیش‌برآوردی مدل است.

درکل می‌توان چنین بیان کرد که روش شبکه‌های عصبی مصنوعی -الگوریتم کرم شبتاب، شبکه‌های عصبی مصنوعی -الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل ضریب تبیین بیشتر، ریشه میانگین مربعات خطای کمتر، ضریب نش-ساتکلیف نزدیک‌تر به یک به ترتیب بیشترین کارایی را دارند. همچنین این روش علاوه بر کارایی بیشتر از سرعت بالایی در رسیدن به جواب تخمین برخوردار است. شایان ذکر است که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی -الگوریتم شبتاب دارای بیش‌برآوردی و دو مدل دیگر دارای کم-برآوردی هستند. نهایتاً نتایج بهینه‌سازی حاکی از امکان افزایش

روش هیبرید شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم بهینه سازی کرم شب تاب دارای کارایی زیاد برای تخمین و تشخیص روابط غیرخطی بین متغیرها می باشد.

شبکه های عصبی مصنوعی فاقد یک روش استقرایی جامع در انتخاب الگوریتم یادگیری شبکه و توقف الگوریتم در حداقل محلی است، لذا در تخمین های مختلف ویژگی های دیر یافت خاک از یک الگوریتم بهینه سازی استفاده گردد. در نهایت می توان چنین عنوان کرد که

منابع

- 1- Andonie R. 2010. Extreme Data Mining: Inference from small data sets, *International Journal of Computers Communications and Control*, 5(3):280-291.
- 2- Akbarzadeh A., Taghizadeh Mehrjardi R., Rahimi Lak H., and Ramezanzpour H. 2009. Application of artificial intelligence in modeling of soil properties (Case study: Roodbar Region, North of Iran), *Environmental Research Journal*, 3(2):19-24.
- 3- Amini M., Abbaspour K.C., Khademi H., Fathianpour N., Afyuni M., and Schulin R. 2005. Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran, *European Journal of Soil Science*, 53:748-757.
- 4- Asgari M.S., Khodadadi M., Sarmadian F., and Gzny R. 2009. The effectiveness of artificial neural networks in the yield of wheat, barley and maize, *Journal of Agriculture*, 85(1):62-71.
- 5- Bell M.A., and Van Kullen H. 1995. Soil pedotransfer function for four Mexican soils, *Soil Science Society of America Journal*, 59:865-871.
- 6- Carpena O., Lux A., and Vahtras K. 1972. Determination of exchangeable cations in calcareous soils, *Journal of Soil Science*, 33:194-199.
- 7- Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. p. 543-569. In J.W Doran et al (Ed.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Science Society American Special publication, Madison, Wisconsin, USA.
- 8- DuBose P., and Klimasauskas C. 1989. *Introduction to Neural Networks with Examples and Applications*, Neural Ware Inc, Pittsburgh.
- 9- Ghorbani H., Kashi H., Hafezi Moghadas N., and Emamgholizadeh S. 2015. Estimation of soil cation exchange capacity using multiple regression, artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system models in Golestan Province, Iran. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 46(6):763-780.
- 10- Holland J.H. 1984. *The Georgians: Genealogies of Pioneer Settlers*. Genealogical Publishing Com, Amesterdam.
- 11- Kashi H., Ghorbani H., Emamgholizadeh S., and Hashemi S.A.A. 2013. The Estimation of Soil Cation Exchange Capacity in Disturbed and Undisturbed Soils Using Artificial Neural Networks and Multiple Regressions, *Journal of water and soil*, 27:472-484.
- 12- Kashi H., Emamgholizadeh S., and Ghorbani H. 2014. Estimation of soil infiltration and cation exchange capacity based on multiple regression, ANN (RBF, MLP), and ANFIS Models, *Soil Science and Plant Analysis*, 45:1195-1213.
- 13- Keller A., Von steiger B., Van der Zee S.T., and Schulin R. 2001. A stochastic empirical model for regional heavy metal balances in agro ecosystems, *Journal of Environmental Quality*, 30:1976-1989.
- 14- Krogh L., Madsen H.B., and Greve M.H. 2000. Cation exchange capacity pedotransfer functions for Danish soils, *Soil and Plant Science*, 50:1-12.
- 15- Manrique L.A., Jones C.A., and Dyke P.T. 1991. Predicting cation exchange capacity from soil physical and chemical properties, *Soil Science Society of America Journal*, 50:787-794.
- 16- Merdun H., Cinar O., and Apan M. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer function for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity, *Soil and Tillage Research*, 90:-108-116.
- 17- McBratney A.B., Minasny B., Cattle S. R., and Vervoort R.W. 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems, *Geoderma*, 109:41-73.
- 18- Mirzaee S., Ghorbani-dashtaki Sh., Mohammadi J., Asadzadeh F., and Kerry R. 2017. Modeling WEPP erodibility parameters in calcareous soils in northwest Iran, *Ecological Indicators*, 74:302-310.
- 19- Oberthur T., Doberman A., and Neue H.V. 1996. How good is a reconnaissance soil map for agronomic purpose?, *Soil Use and Management*, 12:33-43.
- 20- Schaap M.G., and Bouten W. 1996. Modelling water retention curves of sandy soils using neural networks, *Water Research*, 32: 3033-3040.
- 21- Tang L., Zeng G.M., Nourbakhsh F. and Shen G.L. 2008. Artificial neural network approach for predicting cation

- exchange capacity in soil based on physico-chemical properties, Environmental Engineering Science, 26(2):1-10.
- 22- USDA. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition, Soil Survey Staff, Natural Resource Conservation Service.
- 23- Yang, X. S. 2008. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Luniver Press, UK.
- 24- Yang X.S. 2009. Firefly Algorithms for Multimodal Optimization. P. 169-178. In Stochastic Algorithms. Foundations and Applications, SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences, Cambridge, UK.



Firefly Algorithm and Genetic Algorithm Performance in Cation Exchange Capacity Prediction by Artificial Neural Networks

M. Servati^{1*}- H. Momtaz²

Received: 23-05-2017

Accepted: 25-09-2017

Introduction: Cation Exchange Capacity (CEC) refers to the amount of negative charges available on the soil colloids surface. Clay and organic colloids carry a negative charge on their surfaces. Cations are attracted to the colloids by electrostatic bonds. Therefore, the charge of the soil is zero. For fertility map planning and commonly indicator of soil condition, CEC is an essential property. CEC is commonly measured on the fine earth fraction (soil particles less than 2 mm in size). CEC could be obtained directly but its measurement is difficult and expensive in the arid and semi-arid regions with high amounts of gypsum and lime. Pedotransfer functions (PTFs) are appropriate tools to estimate CEC from more readily measured properties such as texture, organic carbon, gravel, pH and etc. Regression PTFs, artificial neural networks (ANN), and hybrids technique (HA) could be used to developing pedotransfer functions. The prior research revealed that could provide superior predictive performance when developed ANN model. Furthermore, ANN technique has no comprehensive method to select network learning algorithm and stopping algorithm in the minimum local. Therefore, application of optimization algorithms such as Genetic (GA) and firefly (FA) is necessary. The Purpose of the present study was to evaluate the performance of FA and GA to predict the soil cation exchange capacity by ANN technique based on easily-measured soil properties.

Materials and Methods: 220 soil samples were collected from 39 soil profiles located in Golfaraj (Jolfa) area of East Azarbaijan province. The study site lies from 45° 30' to 45° 53' east longitudes and from 38° 42' to 38° 46' north latitudes. Then, soil samples were air-dried and passed through a 10 mesh sieve for removing gravels and root residues. Soil textural class, organic matter content and CEC were, respectively, determined by hydrometer, Walkley and Black, and bower methods. The artificial neural network (ANN), artificial neural network-Genetic algorithm (ANN-GA) and artificial neural network-Firefly algorithms (ANN-FA) models were applied to predict the soil cation exchange capacity on the basis of the easily-measured soil properties. In ANN-GA and ANN-FA models, soil CEC was estimated via an artificial neural network and were then optimized using a genetic algorithm and firefly algorithm. The Genetic algorithms are commonly used to generate high-quality solutions to be optimized by relying on crossover, mutation and selection operators. The firefly algorithm is modeled by the light attenuation over fireflies' mutual gravitation, instead of the phenomenon of the fireflies light. The schema of flashes is frequently unique for specific types. The techniques' results were then compared by four parameter, i.e., correlation coefficient (R^2), root mean square errors (RMSE), Nash-Sutcliffe (NES) and Geometric mean error ratio (GMRE).

Results and Discussion: The correlation coefficients of soil characteristic factors with CEC were analyzed through correlation matrix analysis. According to this analysis, the factors which had insignificant influence on the CEC were excluded. The clay, silt, sand and organic matter content were selected as input data. The parameter of the best deployment for MLP network could be used to predict CEC in the studied site. This model comprised 4 neurons (sand, silt, clay percentage and OM) in input layer. The optimum number of neurons in hidden layer was estimated to be 5. Additionally, the most efficient activity function in hidden layer was Axon sigmoid. Results showed that three CEC models performed reasonably well. ANN-FA model had the highest R^2 (0.94), lowest RMSE ($1.31 \text{ Cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$) and highest Nash-Sutcliffe coefficient (0.53) in training stage and high R^2 (0.97), lowest RMSE ($1.06 \text{ Cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$) and highest Nash-Sutcliffe coefficient (0.59) in test stage. ANN-GA model had also higher R^2 (0.91), lower RMSE ($1.77 \text{ Cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$) and higher Nash-Sutcliffe coefficient (0.45) in training stage and higher R^2 (0.93), lower RMSE ($1.50 \text{ Cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$) and higher Nash-Sutcliffe coefficient (0.48) in test stage indicating good performance of the model as compared with ANN models. The results showed that both ANN and Hybrid algorithm methods performed poorly in extrapolating the minimum and maximum amount of CEC soil properties data. In addition, the comparison of ANN-FA, ANN-GA results with ANN

1- Assistant Professor Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: m.sarvati@urmia.ac.ir)

2- Assistant Professor of Soil Science Department, Urmia University, Urmia, Iran

models revealed that ANN-FA was more efficient than the others.

Conclusions: The results of present study illustrated that ANN model can predict CEC with acceptable limits. Therefore, FA and GA algorithms provide superior predictive performance when is combined with ANN model. Firefly algorithm as a new method is utilized to optimize the amount of the weights by minimizing the network error. Final results revealed that this suggested technique improves the modeling performance.

Keywords: Easily-measured properties, Hybrid algorithm, Optimizations



تأثیر محلول پاشی منابع آهن بر پارامترهای رشد، غلظت آهن و فعالیت برخی آنزیم‌های گیاه سورگوم

صبیره گلشاهی^۱ - احمد غلامعلی زاده آهنگر^{۲*} - نوشین میر^۳ - مریم قربانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی منابع مختلف آهن بر پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن و فعالیت آنزیمی در گیاه سورگوم رقم اسپیدفید (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench)، آزمایشی در شرایط گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح آهن (۰/۲۵ و ۰/۵ گرم آهن در لیتر همراه با شاهد (C)) از نه منبع کودی آهن (کلات آهن (F1)، سولفات آهن (F2)، نانواکسید آهن (F3)، نانواکسید آهن تک‌پاش (F4)، نانو آهن سبز (تجاری) (F5)، کلات آهن پلیمری (F6)، سولفات آهن پلیمری (F7)، نانواکسید آهن پلیمری (F8) و نانواکسید آهن تک‌پاش پلیمری (F9)) بود. با توجه به نتایج پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی، در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر، کلروفیل b در تیمار نانواکسید آهن تک‌پاش، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای سولفات آهن پلیمری و کلات آهن پلیمری، غلظت و جذب آهن در ریشه در تیمار نانواکسید آهن تک‌پاش پلیمری و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار کلات آهن افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر، وزن خشک اندام هوایی در تیمار کلات آهن، وزن خشک ریشه و آنزیم کاتالاز در تیمار نانو آهن سبز، کلروفیل a در تیمار کلات آهن پلیمری و آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمار نانواکسید آهن تک‌پاش افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد یافتند. همچنین پیامدهای ساده منابع آهن نشان داد که بیشترین مقدار کارتنوئید در تیمار کلات آهن پلیمری دیده شد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، سولفات آهن پلیمری، نانواکسید آهن تک‌پاش، وزن خشک اندام هوایی و ریشه

مقدمه

اندام‌های گیاه است و به همین علت نشانه‌های کمبود آهن بیشتر در برگ‌های جوان ظاهر می‌شوند و این در حالی است که برگ‌های پیرتر سالم‌تر به نظر می‌آیند و آهن فقط از طریق آوند چوبی به سلول‌های برگ جوان می‌رسد (۲۷). کمبود آهن منجر به زرد برگی (۲۶)، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل (۲۲)، کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه (۵۹)، تغییر غلظت و محتوای آهن (۲۶) و محدود شدن فعالیت آنزیم‌هایی همانند پراکسیداز و کاتالاز (۲۱ و ۴۲) می‌شود. این صفات ارتباط بسیار نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند.

روش‌های مختلفی برای رفع کمبود آهن در گیاهان پیشنهاد شده که می‌توان به مصرف خاکی، محلول پاشی و یا اختلاط آهن با بذر اشاره کرد (۱۶). مصرف کودهای معدنی آهن‌دار برای رفع کمبود مؤثر واقع نشده و به سرعت به ترکیبات نامحلول و غیرقابل جذب در خاک تبدیل می‌شوند ولی محلول پاشی با کلات‌های آهن باعث جذب بهتر آهن و توزیع سریع‌تر آن در اندام‌های گیاهی و نقاط مصرف می‌شود (۱۱). مصرف برگری آهن (سولفات آهن یا کلات‌های آهن) روشی معمول در کشاورزی می‌باشد، بویژه در خاک‌هایی که با کمبود آهن

با افزایش جمعیت، اهمیت کشاورزی برای تمام جوامع بشری بیش از هر زمان دیگری مشخص شده است. اولین و مهم‌ترین نیاز هر انسان، به مواد غذایی و عرضه مواد غذایی است که در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با کشاورزی می‌باشد. آهن عنصری حیاتی برای رشد، گسترش و بقای گیاه می‌باشد، چراکه برای عملکرد صحیح متابولیک‌های چندانگانه و فرآیندهای فیزیولوژیکی ضروری است (۱۷). با اینکه آهن در سرتاسر پوسته زمین وجود دارد، اما مشکلات حلالیت ترکیب‌های آهن در خاک‌ها، مانع جذب آهن توسط گیاه شده و علائم کمبود آهن در گیاه گسترش می‌یابد (۲۵). آهن فاقد قدرت تحرک در

۱، ۲ و ۴ - به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و مربی گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

(*) نویسنده مسئول: Email: ahangar@uoz.ac.ir

۳ - استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط گلخانه و بر روی گیاه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با ۹ تیمار مختلف کودی آهن شامل کلات آهن (F1)، سولفات آهن (F2)، نانو اکسید آهن (F3)، نانو اکسید آهن تک‌پاش (F4)، نانو آهن سبز (F5)، کلات آهن پلیمری (F6)، سولفات آهن پلیمری (F7)، نانو اکسید آهن پلیمری (F8) و نانو اکسید آهن تک‌پاش پلیمری (F9) با سطوح آهن ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم آهن خالص در لیتر همراه با شاهد (C) (۱۲) در سه تکرار طراحی و اجرا شد. خاک مورد استفاده از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری گلخانه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه زابل تهیه و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت به روش هیدرومتری (۷)، پهاش در گل اشباع به وسیله پهاش متر (۵۵)، قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی (۴۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشین کردن کاتیون‌های قابل تبادل با یون سدیم با استفاده از استات سدیم در pH=۷ و سپس جایگزین نمودن یون‌های سدیم با آمونیوم و اندازه‌گیری با دستگاه فلیم‌فوتومتر (۵۳)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۵۴)، ماده آلی به روش والکی و بلک (۵۷)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۴۱)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۴۰)، غلظت آهن فراهم خاک با DTPA عصاره‌گیری (۲۴) و توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۱۸) توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر تعیین گردید (جدول ۱).

سه کیلوگرم خاک الک شده در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. قبل از کشت بذرها، با توجه به آزمون خاک و برای جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر ماکرو، ۱۵۰ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در دو مرحله، ۷۵ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک و ۷۵ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به گلدان‌ها افزوده شد. پس از چند روز که رطوبت خاک داخل کیسه‌ها به حد مناسبی رسید، خاک کیسه‌ها کاملاً مخلوط و به گلدان‌های سه کیلوگرمی منتقل گردید. تعداد پنج بذر سورگوم در هر گلدان در عمق حدود ۲ تا ۳ سانتی متری کشت گردید و گلدان‌ها تا رسیدن به حدود رطوبت ظرفیت زراعی آبیاری شدند. پس از گذشت حدود ۱۰ روز از کشت، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۳ عدد تقلیل یافت. آبیاری گلدان‌ها در طول دوره رشد با آب مقطر و به صورت وزنی انجام گرفت. محلول‌پاشی منابع آهن در دو مرحله (چهار برگی و دو هفته بعد از محلول‌پاشی اول) انجام شد. دو ماه بعد از کشت، اندام هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و هوا خشک گردید. ریشه‌ها نیز با آب مقطر شسته و به آرامی از خاک جدا شدند. اندام هوایی و ریشه‌ها در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به

همراه هستند (۱۳). کاربرد مفید و مناسب انواع مختلف کودها راه‌حل اصلی برای اصلاح و نگهداری حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصولات است (۴۵).

بروس‌چات و موره (۸) با کاربرد سولفات آهن و فروس سولفات آمونیوم مشاهده کردند که غلظت آهن در گیاه همیشه بهار آفریقایی (*Tagetes Erecta*) افزایش و وزن خشک آن کاهش یافت. برووسکی و مایکلک (۶) گزارش کردند که کاربرد برگی نمک آهن مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید لوبیا سبز^۱ را افزایش می‌دهد. شیخ بوغلو و همکاران (۵۲) نشان دادند که کاربرد نانوذرات اکسید آهن عملکرد سویا را افزایش می‌دهد. غفاری و رزمجو (۱۵) گزارش کردند کاربرد نانو اکسید آهن بر مقدار کلروفیل a، b و کل گیاه گندم در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. آرمین و همکاران (۲) مشاهده کردند با افزایش غلظت نانو آهن، عملکرد و اجزای عملکرد گندم افزایش می‌یابد. هر چند که در حال حاضر، ساز و کار مشخصی برای سمیت نانوذرات در گیاهان وجود ندارد (۳۸)، اما بررسی‌های به عمل آمده در رابطه با مواد نانو ساختار یا نانو مقیاس به عنوان حامل کودی یا ناقل کنترل کننده رهاسازی به منظور ایجاد کودهای هوشمند بوده است. فن‌آوری نانو منشاء امیدواری‌های بسیاری در جهت عبور از محدودیت‌های تکنیکی موجود بر سر راه آزادسازی آرام و کنترل شده عناصر کودها شده است (۱۰). برخی پژوهش‌ها پیامد مثبت نانوذرات آهن را بر روی گیاهان گزارش کردند (۱). لی و همکاران (۲۳) و رن و همکاران (۴۴) مشاهده کردند که نانوذرات آهن می‌توانند از لحاظ فیزیولوژیکی، جوانه‌زنی، بذر، رشد ریشه و مقدار کلروفیل را در گیاهان هندوانه و لوبیای مونگ^۲ افزایش دهند، اما طی این روند تنش اکسیداتیو به گیاهان القا می‌گردد. وانگ و همکاران (۵۸) گزارش کردند که سطح ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید آهن، مقدار کلروفیل برگ گیاه هندوانه را افزایش می‌دهد. برخی پژوهش‌ها افزایش مقدار کلروفیل گیاهانی که در برابر نانو اکسید آهن قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهند (۴۴). روی و همکاران (۴۷) بیان داشتند که نانوذرات آهن می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای آهن سنتی در کشت گیاه بادام زمینی باشند. هو و همکاران (۲۰) در تحقیقی بر روی گیاه *Citrus maxima* گزارش کردند که مصرف ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات آهن افزایش معنی‌داری در مقدار کلروفیل برگ، نسبت به شاهد (۲۳/۲ درصد) نشان داد. هدف از این پژوهش مقایسه اثر محلول‌پاشی منابع مختلف آهن بر پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز بر روی گیاه سورگوم علوفه‌ای جهت یافتن بهترین ترکیب کودی آهن می‌باشد.

1- French Bean

2- Mung Bean

نمونه‌ها جهت انجام تجزیه گیاه آسیاب و عصاره گیاهی به روش خاکسترسازی خشک آماده شد (۹).

مدت ۴۸ ساعت خشک گردید (۳۵). سپس وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم دیجیتالی تعیین و

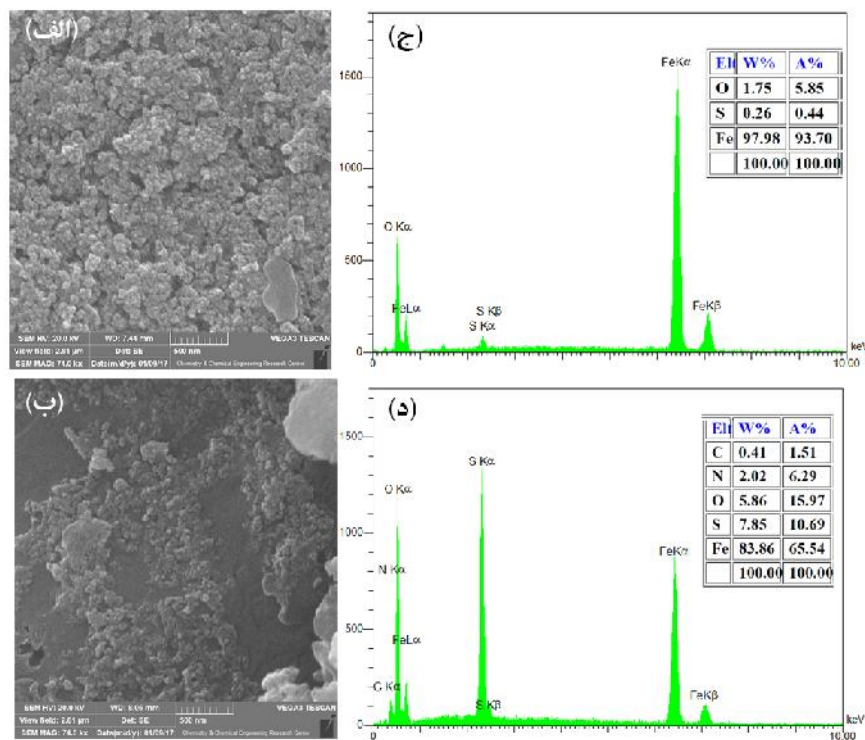
جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some of the physical and chemical characteristics of the studied soil

بافت خاک Soil Texture	pH	EC (dS.m ⁻¹)	CEC (Cmol ⁺ .kg ⁻¹)	OM (%)	CCE (%)	N (%)	P	K	Fe
							(mg.kg ⁻¹)		
لوم شنی Sandy Loam	7.77	1.82	9	0.48	20.5	0.12	12.7	30	2.32

و آنزیم آسکوربات پراکسیداز براساس روش ناکانو و اسدا (۳۷) مورد سنجش قرار گرفت و در نهایت فعالیت آنزیمی بر حسب واحد (Unit=U) در گرم بر وزن تر بیان گردید. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS 9.4 و Excel و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد.

مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید، بر اساس روش آرنون (۳) تعیین گردید. جهت محاسبه و ارزیابی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز، تعدادی برگ کاملاً جوان و گسترده برداشت شد. برگ‌ها داخل پاکت قرار گرفتند و در ظروف عایق که کف آن از یخ پوشیده شده بود قرار داده شدند و سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز براساس روش بیرز و سایزر (۴)، آنزیم گایاکول پراکسیداز براساس روش همدا و کلین (۱۹)



شکل ۱- تصاویر SEM و EDX (الف) و (ب) نانواکسید آهن (F3) و نانواکسید آهن تک‌پاش (F4)

Figure 1- SEM and EDX images (a) and (b) Iron oxide nanoparticles (F3) and Monodisperse iron oxide nanoparticles (F4)

شکل ۱ مورفولوژی و ترکیب عنصری نانوذرات تهیه شده را نشان می‌دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانواکسید آهن (F3) و نانواکسید آهن تک‌پاش (F4) به ترتیب در شکل ۱الف و

نتایج و بحث

مورفولوژی و ترکیب عنصری نانوذرات

ب نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه F3 که بدون حضور هیچ سورفکتانت و یا پلیمری تهیه شده است به میزان بیشتری نسبت به نمونه F4 تجمع یافته است. در حقیقت همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، نانوذرات در میان مواد سورفکتانت که در حین تهیه به محلول اضافه شده‌اند قرار دارند و این موجب جدایی بیشتر نانوذرات از یکدیگر می‌شود. هر چه نانوذرات بیشتر به صورت تک‌پاش باشند احتمال اینکه بتوانند از روزه‌های برگ وارد گیاه شوند بیشتر است. از طرفی افزودن پلیمر به این نانوذرات سبب می‌شود تا حلالیت نانوذرات بیشتر شده و راحت‌تر به گیاه وارد شوند. شکل ۱۱ ج و د به ترتیب آنالیز EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) نانوذرات F3 و F4 را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در نمونه F4 علاوه بر آهن و اکسیژن، کربن نیز وجود دارد که به وجود سورفکتانت در میان نانوذرات دلالت دارد.

شاخص‌های رشدی سورگوم

نتایج تجزیه واریانس پیامدهای ساده و متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول‌پاشی نشان می‌دهد که غلظت آهن اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱ درصد و جذب آهن ریشه و آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). اثرات ساده منابع آهن و اثرات متقابل دوگانه سطح و منابع آهن نشان می‌دهد که وزن خشک اندام هوایی و ریشه، کلروفیل a و b برگ، جذب آهن اندام هوایی و آنزیم‌های گایاکول و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). میزان محتوای کارتنوئید برگ نیز در سطح احتمال ۵ درصد در اثرات ساده منابع آهن معنی‌دار گردید (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل منابع آهن و سطح محلول‌پاشی بر برخی پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه و فعالیت آنزیم‌های برگ

Table 2- Analysis of variance interaction between iron and level of spraying on some growth parameters, concentration and absorption of iron in the shoot and root and leaf enzyme activity

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square					
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	غلظت آهن در اندام هوایی
		Dry weight of shoot	Dry weight of root	Chl. a	Chl. b	Carotenoid	Iron Con. in Shoot
C ^a	1	0.0707ns	0.0866ns	0.0487ns	0.2653ns	0.0960ns	65.9611**
F ^b	9	4.6195*	1.7682*	1.2724*	3.2515*	0.2790*	1139.9126**
C*F	9	3.2281*	0.8102*	0.0464*	1.5689*	0.0486ns	608.3000**
Error	40	0.0502	0.0489	0.0362	0.1016	0.0221	0.2864
C.V. (%)	-	8.1430	12.7817	7.0469	16.5579	16.9214	1.2433

میانگین مربعات Mean Square							
کاتالاز CAT	آسکوربات APX	گایاکول GPOX	جذب آهن در ریشه Iron absorption in root	غلظت آهن در ریشه Iron con. in root	جذب آهن در اندام هوایی Iron absorption in shoot	غلظت آهن در اندام هوایی Iron con. in shoot	کاتالاز CAT
C ^a	1	0.0000ns	0.0000ns	1394310.75*	172904.3538**	264.5580ns	0.0000*
F ^b	9	0.0000*	0.0000*	1453765.54*	93076.7315**	17155.5808*	0.0000*
C*F	9	0.0000*	0.0000*	620250.62*	67921.1812**	14275.6744*	0.0000*
Error	40	0.0000	0.0000	20698.67	0.313	82.1200	0.0000
C.V. (%)	-	17.5531	13.0092	11.6454	0.0786	7.3600	6.9734

^a سطح آهن، ^b منابع آهن، *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

^a Iron Level, ^b Iron Sources, * and ** denoted significance at the 5 and 1 percent level; ns is not significant

(جدول ۳). با افزایش غلظت آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر علاوه بر تیمار F1، تیمارهای F4 (۳/۹۷ گرم در گلدان) و F9 (۳/۸۰ گرم در گلدان) نیز از لحاظ آماری افزایش معنی‌داری یافته‌اند (جدول ۳). با توجه به قطر نانوذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (۳۳).

مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول‌پاشی نشان می‌دهد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر تیمار F1 (۵/۴۴ گرم در گلدان) می‌باشد که نسبت به شاهد (۰/۷۱ گرم در گلدان) با کمترین وزن خشک اندام هوایی ۸۶/۹۵ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر نیز به ترتیب تیمارهای F2، F3 و F6 افزایش معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد نشان دادند

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی بر برخی پارامترهای رشد در اندام هوایی و ریشه گیاه
Table 3- Comparison of the mean effects of intractions iron resources and level of spraying on some growth parameters in shoots and roots of the plant

تیمار Treatment		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b
سطوح آهن (g.L ⁻¹)	منابع آهن	Dry weight of shoot (g.Pot ⁻¹)	Dry weight of root (g.Pot ⁻¹)	Chlo. a (mg.g ⁻¹ fresh weight)	Chlo. b (mg.g ⁻¹ fresh weight)
0.25	شاهد (C)	0.71 ⁱ	0.56 ^g	2.31 ^{gh}	0.94 ^{gh}
	F1	2.18 ^{fg}	1.04 ^f	3.14 ^{ab}	2.83 ^b
	F2	3.77 ^{bc}	2.11 ^{bc}	3.00 ^{abc}	1.57 ^{ef}
	F3	3.70 ^{bc}	2.46 ^{ab}	3.07 ^{abc}	2.23 ^{cd}
	F4	2.08 ^{gh}	1.48 ^{de}	2.79 ^{bcd}	3.99 ^a
	F5	2.53 ^{ef}	2.51 ^{ab}	2.77 ^{bcd}	1.64 ^{def}
	F6	3.46 ^c	1.68 ^{de}	3.02 ^{abc}	2.87 ^b
	F7	2.93 ^{de}	1.62 ^{de}	2.65 ^{def}	1.96 ^{cde}
	F8	2.01 ^{gh}	1.55 ^{de}	1.55 ⁱ	0.69 ^h
0.5	F9	2.36 ^{fg}	2.66 ^a	2.42 ^{fgh}	1.18 ^{fgh}
	F1	5.44 ^a	2.35 ^{ab}	2.86 ^{abc}	1.28 ^{fgh}
	F2	2.98 ^d	1.45 ^{de}	3.07 ^{abc}	1.96 ^{cde}
	F3	2.76 ^{de}	1.51 ^{de}	3.09 ^{ab}	3.03 ^b
	F4	3.97 ^b	2.34 ^{ab}	2.71 ^{cde}	2.47 ^{bc}
	F5	2.84 ^{de}	2.72 ^a	3.04 ^{abc}	2.52 ^{bc}
	F6	2.25 ^{fg}	1.73 ^{cde}	3.20 ^a	1.74 ^{def}
	F7	2.84 ^{de}	1.34 ^{ef}	2.83 ^{abc}	1.39 ^{efg}
	F8	1.72 ^h	1.04 ^f	1.76 ⁱ	0.91 ^{gh}
	F9	3.80 ^{bc}	1.79 ^{cd}	2.57 ^{efg}	2.47 ^{bc}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون معنی‌دار نیست (p<0.01)

Means with the same letters in each column are not significantly different (p<0.01)

گزارش کردند.

بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار F4 در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر (۳/۹۹ میلی گرم بر گرم) مشاهده شد که نسبت به شاهد (۰/۹۴ میلی گرم بر گرم) و سایر تیمارها در همین سطح آهن، افزایش معنی‌داری داشت. اگرچه کمترین مقدار کلروفیل b نیز در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر F8 (۰/۶۹ میلی گرم بر گرم) مشاهده گردید ولی نسبت به شاهد (۰/۹۴ میلی گرم بر گرم) این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). با محلول پاشی نانوکلات آهن به واسطه افزایش رشد سبزینه‌ای، بهبود کلروفیل سازی گیاه و افزایش ظرفیت و فرایند فتوسنتزی، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته شده و سهم دریافتی مواد پرورده آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه ضمن افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین افزوده می‌شود (۳۳). ماسونیک و همکاران (۲۸) در ایتالیا اثر کمبود آهن را بر گیاهان آفتابگردان، ذرت، گندم و جو بررسی و مشاهده کردند که کمبود آهن موجب کاهش کلروفیل شده در نتیجه عملکرد و ماده خشک گیاه را نیز کاهش می‌دهد.

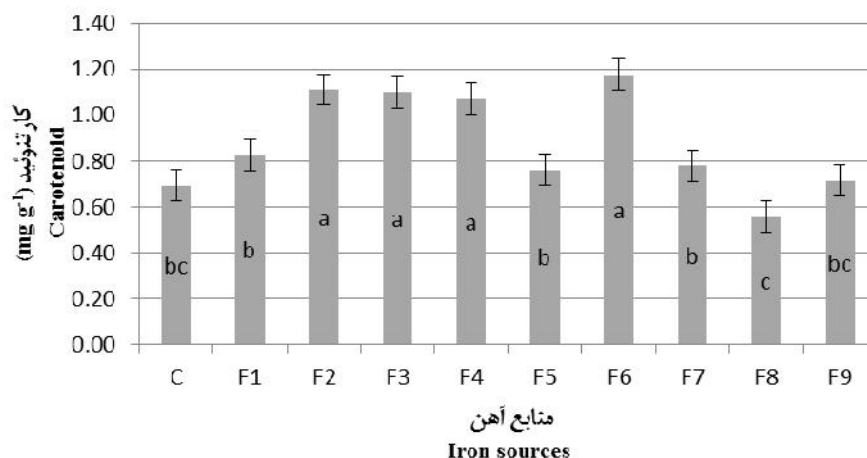
نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده منابع آهن بر مقدار کارتنوئید برگ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کارتنوئید برگ در تیمار F6 مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است (شکل ۲). با توجه به شکل ۲، بعد از آن بیشترین مقدار کارتنوئید به ترتیب در تیمارهای F2، F3 و F4 دیده شد که نسبت به شاهد این افزایش،

بیشترین وزن خشک ریشه ۲/۷۲ گرم در گلدان) مربوط به غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر F5 می‌باشد که نسبت به شاهد با کمترین وزن خشک ریشه (۰/۵۶ گرم در گلدان) ۷۹/۴۱ درصد افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد (جدول ۳). در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر، تمامی تیمارهای آهن نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته‌اند. با افزایش غلظت از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، وزن خشک ریشه در تیمارهای F1 و F4 افزایش معنی‌داری یافته بودند (جدول ۳).

بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار F6 در غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر (۳/۲۰ میلی گرم بر گرم) مشاهده شد که نسبت به شاهد (۲/۳۱ میلی گرم بر گرم) ۲۷/۸۱ درصد افزایش معنی‌داری داشت. همچنین، در غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر، علاوه بر F6، تیمارهای F2، F3 و F5 نیز بر افزایش مقدار کلروفیل a نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشتند (جدول ۳). در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در بین تیمارها به جز F8 از لحاظ آماری در مقدار کلروفیل a، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با افزایش غلظت آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، کلروفیل a در تیمارهای F2، F3، F5، F6، F7 و F8 و F9 افزایش یافت. نتایج رید و همکاران (۴۳) نیز هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد به طوری که با محلول پاشی سولفات آهن ۱ درصد پلیمری بر روی گیاه انگور افزایش معنی‌داری در مقدار کلروفیل، و در نتیجه افزایش سبزی گیاه، نسبت به شاهد را

بیشترین مقدار کارتنوئید در برگ گیاه آفتابگردان به ترتیب در مصرف محلول پاشی (۰/۸۵ میلی گرم بر گرم) و مصرف خاکی (۰/۸۳ میلی گرم بر گرم) تیمار آهن Nano Fe-EDTA مشاهده شد که نسبت به شاهد در حد زیادی افزایش معنی دار یافته بود.

معنی دار بود اما این تیمارها نسبت به یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند و در یک سطح آماری قرار گرفته بودند. کمترین مقدار کارتنوئید برگ در تیمار F8 مشاهده شد که تفاوت معنی داری با شاهد نداشت (شکل ۲). شهرکی زاد و همکاران (۵۰) نیز بیان داشتند که



شکل ۲- پیامد ساده منابع آهن بر مقدار کارتنوئید برگ

Figure 2- The simple effects of iron resources on the amount of the leaf carotenoid

گزارش کردند که بیشترین و کمترین غلظت آهن در گیاه لوبیا به ترتیب در محلول پاشی ۴ گرم در لیتر نانوکلات آهن و شاهد مشاهده شد.

نتایج مقایسه میانگین های پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی (جدول ۴) حاکی از آن است که بیشترین جذب آهن در اندام هوایی مربوط به تیمار F6 (۲۶۸/۴۳) با غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر نسبت به شاهد (۲۰/۳۶) با کمترین جذب آهن می باشد که ۱۳/۲ برابر افزایش معنی داری نشان داد، که مربوط به غلظت بالای آهن در اندام هوایی (۷۷/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و وزن خشک اندام هوایی (۳/۴۶ گرم در گلدان) این تیمار می باشد (جدول ۳). نتایج تحقیق حاضر هم راستا با نتایج شایلس و همکاران (۵۱) می باشد، آن ها گزارش دادند که غلظت آهن در جوانه زنی لوبیا با کاربرد نانوذرات معلق در مقایسه با کاربرد بدون نانوذرات افزایش پیدا کرد، حضور این عناصر در گیاهان اسپری شده با نانوذرات معلق که در محلول هوکلند نگهداری می شدند یافت شد که اینطور به نظر می رسد که اسپری نانوذرات می تواند باعث جذب نانوذرات از طریق برگ و انتقال آن ها در گیاه شود.

غلظت و جذب آهن در گیاه

نتایج تجزیه واریانس پیامدهای متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی نشان می دهد که غلظت آهن اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱ درصد و جذب آهن ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد افزایش معنی داری نشان دادند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی نشان داد که بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی مربوط به تیمار F7 (۸۴/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم) در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر می باشد که نسبت به شاهد ۳ برابر افزایش معنی دار یافته است، و در همین سطح آهن، تیمار F6 با غلظت ۷۷/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین افزایش معنی دار را بعد از F7 نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۴). با افزایش سطح تیمارها از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، غلظت آهن اندام هوایی در گیاه سورگوم از تیمارهای F1، F2، F3، F4، F5 و F8 افزایش معنی داری نشان دادند. سالارپور و همکاران (۴۸) بیان داشتند که بیشترین غلظت آهن در گیاه شاهی مربوط به تیمار ۴/۵ گرم کلات آهن به همراه محلول پاشی (۸/۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بدست آمد که در مقایسه با شاهد افزایش معنی داری یافته بود. کمترین مقدار غلظت آهن در اندام هوایی مربوط به تیمار شاهد (۲۸/۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۴). نادری و همکاران (۳۶)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی بر غلظت و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه سورگوم
Table 4- Comparison of the mean effects of intractions iron resources and level of spraying on concentration and absorption of iron in shoots and roots of Sorghum

تیمار Treatment	منابع آهن Iron sources	غلظت آهن در اندام هوایی Iron Con. in Shoot (mg.kg ⁻¹)	جذب آهن در اندام هوایی Iron absorption in shoot	غلظت آهن در ریشه Iron con. in root (mg.kg ⁻¹)	جذب آهن در ریشه Iron absorption in root
0.25	شاهد (C)	28.79 ^l	20.36 ^m	677.15 ^m	380.60 ^{gh}
	F1	28.89 ^l	63.24 ^{kl}	798.21 ^h	833.80 ^{ef}
	F2	31.58 ^k	119.06 ^f	753.31 ^j	1591.30 ^c
	F3	31.42 ^k	116.41 ^f	662.00 ⁿ	1625.50 ^c
	F4	31.00 ^k	64.52 ^{kl}	460.42 ^q	683.00 ^{efg}
	F5	33.00 ^j	83.65 ^{ij}	844.31 ^d	2122.60 ^b
	F6	77.52 ^b	268.43 ^a	735.21 ^k	1238.10 ^d
	F7	84.42 ^a	247.32 ^b	871.73 ^c	1414.40 ^{cd}
	F8	35.52 ⁱ	71.44 ^{jk}	841.42 ^e	1301.70 ^d
	F9	44.79 ^e	105.84 ^{fgh}	1007.94 ^a	2687.70 ^a
0.5	F1	39.36 ^g	214.24 ^c	384.84 ^s	904.20 ^{ef}
	F2	58.94 ^d	175.70 ^d	448.00 ^r	652.80 ^{fg}
	F3	35.73 ⁱ	98.79 ^{hi}	793.10 ⁱ	1198.30 ^d
	F4	37.15 ^h	147.39 ^e	517.79 ^p	1210.40 ^d
	F5	60.94 ^c	173.19 ^d	812.94 ^f	2210.00 ^b
	F6	44.58 ^e	100.18 ^{gh}	700.05 ^l	1210.70 ^d
	F7	58.31 ^d	165.61 ^d	909.89 ^b	1218.30 ^d
	F8	40.89 ^f	70.55 ^{jk}	810.47 ^g	848.20 ^{ef}
	F9	36.63 ^h	139.32 ^e	524.63 ^o	941.50 ^e

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون معنی‌دار نیست (p<0.01)

Means with the same letters in each column are not significantly different (p<0.01)

F1 در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر می‌باشد که نسبت به شاهد (۶۷۷/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم) ۷۵/۹۶ درصد کاهش معنی‌داری یافته است. این کاهش با افزایش مقدار کود آهن، می‌تواند ناشی از اثر رقت باشد، چرا که با افزایش وزن خشک (جدول ۳) معمولاً غلظت عناصر به دلیل اثر رقت کاهش می‌یابد.

بیشترین جذب آهن در ریشه مربوط به تیمار ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر F9 (۲۶۸۷/۷) می‌باشد که بیشترین غلظت آهن را دارا می‌باشد و نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری یافته است (جدول ۴). کمترین مقدار جذب آهن مربوط به شاهد (۳۸۰/۶) می‌باشد که کمترین وزن خشک ریشه را دارا می‌باشد (جدول ۳).

وطانی و همکاران (۵۶) گزارش کردند که کاربرد نانوکودهای کلات آهن در گیاه اسفناج پیامدهای مثبتی بر تجمع آهن داشت. محمدی‌پور و همکاران (۳۲) گزارش کردند که بیشترین غلظت آهن در گل سوسن به مقدار ۷۳۰ میلی گرم در کیلوگرم در محلول پاشی برگی سولفات آهن بدست آمد و پس از آن محلول پاشی نانوکود آهن با ۴۷۵/۵ میلی گرم در کیلوگرم رتبه بعدی را در غلظت آهن به خود اختصاص داد.

فعالیت برخی آنزیم‌ها در گیاه

نتایج تجزیه واریانس پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح

مورتوت و همکاران (۳۴) بیان داشتند که پلیمرهای آب‌دوست پتانسیل بالقوه‌ای در افزایش قابلیت دسترسی سایر عناصر غذایی برای گیاه دارند. برای مثال، وقتی پلیمر پلی‌آکریل‌آمید در محلول حاوی سولفات آهن، آبدار می‌شود، ژل حاصل یک منبع غذایی عالی در خاک‌هایی با قابلیت دسترسی محدود آهن می‌باشد. جذب آهن توسط دانه‌های سورگوم زمانی که سولفات آهن با پلیمر پیوندی پلی‌آکریل‌آمید به‌عنوان کود مورد استفاده قرار گرفت، در مقایسه با کاربرد تنه‌ای سولفات آهن دو برابر گردید. فرض بر این است که گنجاندن کود در یک گروه از پلیمر هیدراته انتشار عناصر غذایی را محدود کرده و واکنش‌های خاک را که ممکن است قابلیت دسترسی عناصر غذایی را برای گیاهان کاهش دهند به تأخیر می‌اندازد (۳۰). استفاده از پلیمرها جهت عرضه عناصر غذایی ممکن است بتواند شرایط دقیق‌تری را برای تأمین نیاز گیاه فراهم آورد، درحالی‌که بایستی حفاظت از کیفیت محیط زیست و همچنین حفظ منابع طبیعی لحاظ گردد (۲۹).

نتایج مقایسه میانگین پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی بر غلظت آهن در ریشه (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت آهن در ریشه (۱۰۰۷/۹۴ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار F9 در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر می‌باشد که نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری یافته است، و کمترین مقدار غلظت آهن در ریشه (۳۸۴/۸۴ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار

با کمبود آهن در نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش کردند. ننووا و استویانو (۳۹) گزارش کردند که شدت کمبود آهن نتیجه فعالیت پایین پراکسیداز، کاتالاز و نیترات ردوکتاز در ذرت (*Zea mays* L.) است.

کاربرد دو تیمار F1 و F4 در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر نیز بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر مثبتی داشت اما این تأثیر معنی‌دار نبود. با افزایش سطح آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر F5 و F7 افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را نشان دادند (جدول ۵). معاونی (۳۱) گزارش نمود که غلظت کاتالاز در تیمار ۰/۰۳ درصد نانو آهن در گیاه سورگوم حداکثر افزایش را نشان داد. احتمالاً این افزایش به علت توانایی گیاه در ذخیره‌سازی بیشتر آهن آزاد شده از نانو آهن می‌باشد و بهترین سازوکار جذب آهن از سمت ریشه به ساقه رخ داده بود (۳۱).

محلول‌پاشی نشان می‌دهد که آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده‌اند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول‌پاشی داده‌ها برای آنزیم کاتالاز در جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت مربوط به سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر تیمار F5 (۰/۱۶۰ واحد در گرم بر وزن تر) می‌باشد که نسبت به شاهد ۳۱/۲۵ درصد افزایش معنی‌داری یافته است. با توجه به جدول ۵ کمترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۵۶ واحد در گرم بر وزن تر) مربوط به تیمارهای F3 و F9 در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر می‌باشد که نسبت به شاهد ۹۶/۴۲ درصد کاهش معنی‌داری یافته است. احتمالاً این کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز، می‌تواند به دلیل اثر رقت (۱۴) که مربوط به افزایش رشد در اندام هوایی گیاه است (جدول ۳) باشد. کائور و همکاران (۲۱) وابستگی محدود فعالیت پراکسیداز و کاتالاز را

جدول ۵- مقایسه میانگین پیامدهای متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در برگ

Table 5- Comparison of the mean effects of intractions iron resources and level of spraying on Enzyme activities; Catalase (CAT), Ascorbate peroxidase (APX) and Guaiacol peroxidase (GPOX) in leaves of Sorghum

تیمار Treatment		(Unit.Fresh W ⁻¹) GPOX	(Unit.Fresh W ⁻¹) APX	(Unit.Fresh W ⁻¹) CAT
سطوح آهن (g.L ⁻¹) Iron levels	منابع آهن Iron sources			
0.25	شاهد (C)	0.0063 ^h	0.060 ^{bc}	0.0110 ^c
	F1	0.0080 ^{fgh}	0.076 ^a	0.0120 ^b
	F2	0.0093 ^{cdef}	0.032 ^h	0.0103 ^c
	F3	0.0035 ⁱ	0.054 ^{bcd}	0.0106 ^c
	F4	0.0100 ^{bcde}	0.040 ^{efgh}	0.0126 ^b
	F5	0.0096 ^{cdef}	0.044 ^{defgh}	0.0110 ^c
	F6	0.0066 ^{gh}	0.047 ^{cdef}	0.0063 ^{gh}
	F7	0.0116 ^{ab}	0.046 ^{def}	0.0063 ^{gh}
	F8	0.0090 ^{def}	0.052 ^{bcde}	0.0063 ^{gh}
0.5	F9	0.0110 ^{abc}	0.049 ^{bcdef}	0.0090 ^d
	F1	0.0040 ⁱ	0.060 ^{bc}	0.0076 ^{ef}
	F2	0.0090 ^{def}	0.061 ^b	0.0063 ^{fg}
	F3	0.0103 ^{bcd}	0.054 ^{bcd}	0.0056 ^h
	F4	0.0123 ^a	0.053 ^{bcd}	0.0060 ^h
	F5	0.0110 ^{abc}	0.045 ^{defg}	0.0160 ^a
	F6	0.0090 ^{def}	0.037 ^{fgh}	0.0070 ^{fg}
	F7	0.0080 ^{fgh}	0.033 ^{gh}	0.0080 ^e
	F8	0.0100 ^{bcde}	0.048 ^{bcdef}	0.0060 ^h
	F9	0.0083 ^{efg}	0.044 ^{defgh}	0.0056 ^h

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون معنی‌دار نیست (p<0.01)

Means with the same letters in each column are not significantly different (p<0.01)

۰/۲۵ گرم آهن در لیتر در تیمار F2 (۰/۰۳۲ واحد در گرم بر وزن تر) مشاهده گردید که نسبت به شاهد ۸۷/۵ درصد کاهش معنی‌داری یافت. به نظر می‌رسد به دلیل افزایش وزن خشک گیاه، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز کاهش یافته است که می‌تواند ناشی از اثر رقت (۳۴) باشد چراکه با افزایش وزن خشک (جدول ۳) معمولاً غلظت عناصر (غلظت آهن اندام هوایی) (جدول ۴) به دلیل اثر رقت کاهش

مقایسه میانگین پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر تیمار F1 (۰/۰۷۶ واحد در گرم بر وزن تر) می‌باشد که نسبت به شاهد (۰/۰۶۰ واحد در گرم بر وزن تر) ۲۱/۰۵ درصد افزایش معنی‌داری یافته است. کمترین مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح

گایاکول پراکسیداز علاوه بر تیمار F4، در تیمارهای F3 و F6 نیز افزایش معنی داری یافتند (جدول ۵). رانی پری و همکاران (۴۲) توقف فعالیت پراکسیداز را در آفتابگردان دارای کمبود آهن مشاهده کردند. کمبود آهن، همواره موجب از بین رفتن کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست و کاهش فعالیت آنزیمهای اکسیداز نظیر کاتالاز و پراکسیداز می گردد (۶۰).

نتیجه گیری کلی

نتایج پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی نشان می دهد محلول پاشی در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر صفات کلروفیل b در تیمار F4، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای F7 و F6، غلظت و جذب آهن در ریشه در تیمار F9 و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار F1 افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان دادند که با افزایش سطح آهن این تیمارها، صفات فوق کاهش معنی داری یافتند. اما در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر، وزن خشک اندام هوایی در تیمار F1، وزن خشک ریشه و آنزیم کاتالاز در تیمار F5، کلروفیل a در تیمار F6 و آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمار F4 افزایش معنی داری نسبت به شاهد یافتند. پیامدهای ساده منابع آهن بر مقدار کارتنوئید برگ نشان داد که بیشترین مقدار کارتنوئید در تیمار F6 مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی داری یافته است. پژوهش های زراعی دقیق در نظر گرفته شده برای تعیین بهای فن آوری پلیمر در بهبود باز یافت عناصر غذایی در شرایط گوناگون کشاورزی مورد نیاز است. تیمارهای پلیمری بکار رفته در پژوهش حاضر نیاز به تحقیق بیشتر داشته و تنها به نتایج پژوهش های گلخانه ای نباید اکتفا کرد، و تحقیقات بیشتر در این زمینه در سطح گلخانه و مزرعه توصیه می گردد.

یافته و در نتیجه باعث کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردیده است. بیش بود بسیاری از فلزات سنگین از جمله آهن در داخل سلول ممکن است سبب تولید رادیکال های آزاد اکسیژن مثل سوپراکسید و هیدروکسیل و نیز ایجاد پراکسید هیدروژن بیشتر شود (۵). کاتالازها و پراکسیدازها از جمله آنزیم هایی به شمار می آیند که نقش بسیار مهمی در پاسخ به تنش غیر زیستی دارند. افزایش غلظت آهن در گیاهان موجب ایجاد سمیت آهن و تولید انواع اکسیژن های فعال می شود که تنش اکسیداتیو را در گیاه القاء می کند. در شرایط طبیعی پراکسید هیدروژن و رادیکال های آزاد اکسیژن در بخش های مختلف یاخته های گیاهان ایجاد می شود (۵).

مقایسه میانگین پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی بر آنزیم گایاکول پراکسیداز در جدول ۵ نشان می دهد که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر تیمار F4 (۰/۱۲۳) واحد در گرم بر وزن تر) می باشد که نسبت به شاهد (۰/۰۶۳) واحد در گرم بر وزن تر) ۴۸/۷۸ درصد افزایش معنی داری یافته است. در بررسی اثر آهن در گیاهان دارای ارزش دارویی بر روی گیاه (*Bacops monnieri* L.) استفاده از آهن سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در ریشه و کاهش فعالیت پراکسیداز در برگ ها شد و محتوی آسکوربات هم در ریشه و هم در برگ در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (۴۹). کمترین مقدار فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر در تیمار F3 (۰/۰۳۵) واحد در گرم بر وزن تر) مشاهده گردید که نسبت به شاهد (۰/۰۶۳) واحد در گرم بر وزن تر) ۸۰ درصد کاهش معنی داری یافت. دلیل کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز می تواند مربوط به افزایش ناگهانی رشد اندام هوایی گیاه باشد که توسط اثر رقت قابل توجیه می باشد و توسط محققین دیگر گزارش شده است (۱۴ و ۳۴). با افزایش سطح آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، فعالیت آنزیم

منابع

- Alidoust D., and Isoda A. 2014. Phytotoxicity assessment of γ -Fe₂O₃ nanoparticles on root elongation and growth of rice plant. *Environmental Earth Sciences*, 71:5173-5182.
- Armin M., Akbari S., and Mashhadi S. 2014. Effect of time and concentration of nano-Fe foliar application on yield and yield components of wheat. *International Journal of Biosciences*, 4(9):69-75.
- Arnon D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, 24:1-75.
- Beers G.R., and Sizer I.V. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Biological Chemistry*, 195:133-140.
- Bhattacharjee S. 2005. Reactive oxygen species and oxidative stress, senescence and signal transduction in plants. *Current Science*, 89:1113-1121.
- Borowski E., and Michalek S. 2011. The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 10(2): 183-193.
- Bouyoucos C.J. 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54:464-465.

- 8- Broschat T.K., and Moore K.K. 2004. Phytotoxicity of several iron fertilizers and their effects on Fe, Mn, Zn, Cu, and P content of African Marigolds and Zonal Geraniums. *Horticultural Science*, 39(3): 595-598.
- 9- Cottenie A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. *FAO Soils Bull*, 38: 70-73.
- 10- Cui H.C., Sun Q., Liu J., and Gu W. 2006. Applications of Nanotechnology in Agrochemical Formulation. p. 1-6. *Perspective, Challenges and Strategies*, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing, China.
- 11- Datir R.B., Apparao B.J., and Laware S.L. 2012. Application of amino acid chelated micronutrient for enhancing growth and productivity in chili (*Capsicum annum* L.). *Plant Sciences Feed*, 2(6): 100-106.
- 12- Delfani M., Baradarn Firouzabadi M., Farrokhi N., and Makarian H. 2014. Some Physiological Responses of Black-Eyed Pea to Iron and Magnesium Nanofertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(4): 530-540.
- 13- Fang Y., Wang L., Xin Z., Zhao L.Y., An X.X., and Hu Q.H. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:2079-2084.
- 14- Feil B., Moser S.B., Jampatong S., and Stamp P. 2005. Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by preanthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science*, 45:516-523.
- 15- Ghafari H., and Razmjoo J. 2013. Effect of Foliar Application of Nano-iron Oxidase, Iron Chelate and Iron Sulphate Rates on Yield and Quality of Wheat. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(11): 2997-3003.
- 16- Godsey R.J., and Johnson B. 2001. Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8): 1255-1268.
- 17- Grillet L., Mari S., and Schmidt W. 2014. Iron in seeds loading pathways and subcellular localization. *Frontiers in Plant Science*, 4:535.
- 18- Helmke P.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. p. 551-574. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods and processes*. Madison, Soil Science Society of America.
- 19- Hemeda H.M., and Kelin B.P. 1990. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. *Journal of Food Science*, 55: 184-185.
- 20- Hu J., Guo H., Li J., Gan Q., Wang Y., and Xing B. 2017. Comparative impacts of iron oxide nanoparticles and ferric ions on the growth of *Citrus maxima*. *Environmental Pollution*, 221:199-208.
- 21- Kaur N.P., Takkar P.N., and Nayyar V.K. 1984. Catalase, peroxidase, and chlorophyll relationship to yield and iron deficiency chlorosis in Cicer genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 7:1213-1220.
- 22- Ksouri R., Debez A., Mahmoudi H., Ouerghi Z., Gharsalli M., and Lachaa M. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 315-322.
- 23- Li J., Chang P., Huang J., Wang Y., Yuan H., and Ren H. 2013. Physiological effects of magnetic iron oxide nanoparticles towards watermelon. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13:5561-5567.
- 24- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42: 421-428.
- 25- Lucena J.J. 2006. Synthetic iron chelates to correct iron deficiency in plants. p. 103-128. In L.L. Barton and J. Abadía (ed.) *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*, Springer: Dordrecht.
- 26- Mahmoudi H., Ksouri R., Gharsalli M., and Lachaal M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: Lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Plant Physiology*, 162(11):1237-1245.
- 27- Marschner H., Romheld V., and Kissel M. 1995. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *Journal of Plant Nutrition*, 9:695-713.
- 28- Masonic A., Evacoli A., and Mavoti M. 1996. Spectral of leaves deficient in iron sulphur, magnesium and manganese. *Agronomy Journal*, 88(6):937-943.
- 29- Mikkelsen R.L. 1994. Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Fertilizer Research*, 38: 53-59 .
- 30- Mikkelsen R.L. 1995. Using hydrophilic polymers to improve uptake of manganese fertilizers by soybeans. *Fertilizer Research*, 41: 87-92.
- 31- Moaveni P. 2014. Study the priming of nano iron on biochemical traits of Sorghum (*Sorghum Bicolor* L.). *Data Management Association (DAMA) International*, 3(2):102-108.
- 32- Mohamadipoor R., Sedaghatthoor S., and Mahboub Khomami A. 2013. Effect of application of iron fertilizers in two methods 'foliar and soil application' on growth characteristics of Spathyphyllum illusion. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(1):232-240.
- 33- Monica R.C., and Cremonini R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62: 161-165.
- 34- Mortvedt J.J., Mikkelsen R.L., and Behel A.D.Jr. 1992. Grain sorghum response to granular formulations of iron

- sources and hydrophilic polymers. *Journal of Plant Nutrition*, 15: 1913-1926.
- 35- Motsara M.R., and Roy R.N. 2008. Plant analysis. p. 80. In *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 36- Nadi E., Ayneband A., and Mojaddam M. 2013. Effect of nano-iron chelate fertilizer on grain yield, protein percent and chlorophyll content of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Biosciences*, 3(9): 267-272.
- 37- Nakano Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidases in spinach chloroplasts. *Plant cell physiology*, 22: 867-880.
- 38- Navarro E., Piccapietra F., Wagner B., Marconi F., Kaegi R., Odzak N., Sigg L., and Behra R. 2008. Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*. *Environmental Science and Technology*, American Chemical Society, 42(32): 8959-8964.
- 39- Nenova V., and Stoyanov I. 1995. Physiological and biochemical changes in young maize plants under iron deficiency. Catalase, peroxidase, and nitrate reductase activities in leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 2081-2091.
- 40- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
- 41- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part2. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
- 42- Ranieri A., Castagna A., Baldan B., and Soldatini G.F. 2001. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. *Journal of Experimental Botany*, 52: 25-35.
- 43- Reed D.W.M., Lyons Jr.C.G., and McEachern G.R. 1988. Field evaluation of inorganic and chelated iron fertilizers as foliar sprays and soil application. *Journal of Plant Nutrition*, 11(6-11):1369-1378.
- 44- Ren H., Liu L., Liu C., He S., Huang J., Li J., and Gu N. 2011. Physiological investigation of magnetic iron oxide nanoparticles towards Chinese mung bean. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 7: 677-684.
- 45- Rezaeei M., Daneshvar M., and Shirani A.H. 2014. Effect of iron nano chelated fertilizers foliar application on three wheat cultivars in Khorramabad climatic conditions. *Scientific Journal of Crop Science*, 3(2): 9-16.
- 46- Rhoades J.D. 1982. Soluble salts. p. 167-179. In: A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Chemical and microbiological properties. Monograph Number 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- 47- Rui M., Ma C., Hao Y., Guo J., Rui Y., Tang X., Zhao Q., Fan X., Zhang Z., Hou T., and Zhu S. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers Plant Science*, 7: 815-825.
- 48- Salarpour O., Parsa S., Sayyari M.H., and Jami Alahmadi M. 2013. Effect of Nano-iron Chelates on Growth, Peroxidase Enzyme Activity and Oil Essence of Cress (*Lepidium sativum* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4: 3583-3589.
- 49- Sinha S., and Saxena R. 2006. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant and bacoside- A content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L. *Chemosphere*, 62(8): 134-135.
- 50- Shahrakizad M., Gholamalizadeh Ahangar A., and Mir N. 2015. EDTA-Coated Fe₃O₄ nanoparticles: a novel biocompatible fertilizer for improving agronomic traits of sunflower (*Helianthus Annuus*). *Journal of Nanostructures*, 5: 117-127.
- 51- Shailesh K.D., Pramod M., Rajashri K., and Anand K. 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of Mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. *Nanotechnology Development*, 3:e1. 1-5.
- 52- Sheykhabglou R., Sedghi M., Tajbakhsh shishevan M., and Sharifi S.R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2:112-113.
- 53- Toth S.J., and Prince A.L. 1949. Estimation of cation exchange capacity and exchangeable Ca, K and Na contents of soils by flamephotometric techniques. *Soil Science*, 67:439-445.
- 54- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Alkaline-earth carbonates by gravimetric loss of carbon dioxide. p. 105. In: L.A. Richards (ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agric. Handbook. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 55- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. pH reading of saturated soil paste. p. 102. In: L.A. Richards (ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 56- Vattani H., Keshavarz N., and Baghaei N. 2012. Effect of sprayed Soluble different levels of iron chelate Nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin88 and Virofly). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(S): 2651-2656.
- 57- Walkley A., and Black I.A. 1934. Chromic acid titration for determination of soil organic matter. *Soil Science*, 63:251.
- 58- Wang Y., Hu J., Dai Z., Li J., and Huang J. 2016. In vitro assessment of physiological changes of watermelon (*Citrullus lanatus*) upon iron oxide nanoparticles exposure. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108: 353-360.
- 59- Yousefi S., Rabhi M., Abdelly C., and Gharsalli M. 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*). *Comptes Rendus Biologies*, 332(6): 523-533.

- 60- Zuo Y., and Zhang F. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant and Soil*, 339: 83-93.



The Effect of Foliar Application of Iron Sources on Growth Parameters, Iron Concentration and Activity of Some Enzymes of Sorghum

S. Golshahi¹- A. Gholamalizadeh Ahangar^{2*}- N. Mir³- M. Ghorbani⁴

Received: 23-05-2017

Accepted: 09-10-2017

Introduction: First and the most important requirement of human being is food and food supply, which is directly, or indirectly associated with agriculture. Iron is a critical element for the growth, expansion and survival of the plant, since multiple metabolic and a physiological process is essential for the proper functioning. Agricultural areas in the world have a high pH in soil, which in turn decreases iron absorption by plants. Iron deficiency depending on many soil and environmental factors as well as plant genetic that in turns can decrease the yield and product quality. One method of overcome iron deficiency in plants is foliar application. A foliar application of iron fertilizer in agriculture is the common practice, especially in soils that accompanied with iron deficiency. The proper use of various types of fertilizers is the main solution to improve and maintaining soil fertility and increase crop production. The objective of this study is to evaluate the effect of foliar application of iron sources on growth parameters, concentration and absorption of iron in shoot and root and enzymes activity of catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (GPOX) on forage sorghum plant to determine the best combination of iron fertilizer.

Materials and Methods: An experiment was conducted in a completely randomized design with factorial arrangement and three replications in greenhouse condition on forage sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) varieties of speed feed. The treatments included two levels of iron (0.25 and 0.5 g Fe.L⁻¹ with Control (C)) from nine iron sources (Iron chelate (F1), Iron sulfate (F2), Iron oxide nanoparticles (F3), Monodisperse iron oxide nanoparticles (F4), Green nano iron (F5), Polymeric iron chelate (F6), Polymeric iron sulfate (F7), Polymeric iron oxide nanoparticles (F8) and Polymeric monodisperse iron oxide nanoparticles (F9)). The soil was obtained from educational and research greenhouses of Zabol university and after air drying and sieving passing 2 mm, some physical and chemical characteristics of soil such as texture, pH, electrical conductivity, cations exchange capacity, calcium carbonate equivalent, organic matter, total nitrogen contents, available P contents, available K contents and available Fe contents was measurement. Spraying of iron resources performed in two stages (4 leaf and the two weeks after first spraying). After two months of planting, the shoot cut from the surface of the soil and roots of the plants collected. Some parameters such as shoot and root dry weight, chlorophyll a, b and carotenoids, iron concentration in shoot and root, iron absorption in shoot and root, and activity of the enzyme (catalase, ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase) was measured. The experimental data examined using Excel and SAS 9.4 statistical software and the averages were compared using Duncan's Multiple Range Tests at 0.01 and 0.05 significance level.

Results: Results analysis of variance indicated that the interaction effects between iron resources and iron level on the dry weight of shoots and roots, chlorophyll a and b, iron absorption in shoots and roots, enzymes guaiacol peroxidase. Ascorbate peroxidase and catalase were significant at the level of 5 percent and iron concentrations in shoots and roots were significant at the level of 1 percent. The carotenoid content in leaves in the simple effects of iron resources was significant at the level of 5 percent. According to the results, foliar application of treatments on dry weight of shoots and roots, Fe concentration and Fe absorption by shoots and roots, chlorophyll a, b and the enzyme activity of APX, GPOX in addition CAT were significantly increased compared to Control. Foliar application at 0.25 g Fe.L⁻¹, chlorophyll b in the treatment of monodisperse iron oxide nanoparticles, Fe concentration and Fe absorption in the shoots in treatments of polymeric iron sulfate and polymeric iron chelate, respectively. Fe concentration and Fe absorption in the roots in treatment of polymeric monodisperse iron oxide nanoparticles and APX activity in iron chelate treatment increased significantly compared to control. At level of 0.5 g Fe.L⁻¹, dry weight of shoots in the treatment of iron chelate, dry weight of roots and CAT enzyme in the treatment of green nano iron, chlorophyll a in the treatment of polymeric iron chelate and GPOX enzyme in the treatment of monodisperse iron oxide nanoparticles were compared with the

1, 2 and 4- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Instructor in Soil Science, Soil and Water Engineering Faculty, University of Zabol, Respectively

(*- Corresponding Author Email: ahangar@uoz.ac.ir)

3- Assistant Professor in Chemistry, Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran

control increased significantly. The simple effects of iron sources indicated that the highest level of carotenoids observed in the foliar application of polymeric iron chelate.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Dry weight of shoot and root, Monodisperse iron oxide nanoparticles, Polymeric iron sulfate



تأثیر محلول پاشی منابع آهن بر پارامترهای رشد، غلظت آهن و فعالیت برخی آنزیم های گیاه سورگوم

صبیره گلشاهی^۱ - احمد غلامعلی زاده آهنگر^{۲*} - نوشین میر^۳ - مریم قربانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی منابع مختلف آهن بر پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن و فعالیت آنزیمی در گیاه سورگوم رقم اسپیدفید (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench)، آزمایشی در شرایط گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح آهن (۰/۲۵ و ۰/۵ گرم آهن در لیتر همراه با شاهد (C)) از نه منبع کودی آهن (کلات آهن (F1)، سولفات آهن (F2)، نانو اکسید آهن (F3)، نانو اکسید آهن تک پاش (F4)، نانو آهن سبز (تجاری) (F5)، کلات آهن پلیمری (F6)، سولفات آهن پلیمری (F7)، نانو اکسید آهن پلیمری (F8) و نانو اکسید آهن تک پاش پلیمری (F9)) بود. با توجه به نتایج پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی، در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر، کلروفیل b در تیمار نانو اکسید آهن تک پاش، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای سولفات آهن پلیمری و کلات آهن پلیمری، غلظت و جذب آهن در ریشه در تیمار نانو اکسید آهن تک پاش پلیمری و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار کلات آهن افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان دادند. در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر، وزن خشک اندام هوایی در تیمار کلات آهن، وزن خشک ریشه و آنزیم کاتالاز در تیمار نانو آهن سبز، کلروفیل a در تیمار کلات آهن پلیمری و آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمار نانو اکسید آهن تک پاش افزایش معنی داری نسبت به شاهد یافتند. همچنین پیامدهای ساده منابع آهن نشان داد که بیشترین مقدار کارتنوئید در تیمار کلات آهن پلیمری دیده شد.

واژه های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، سولفات آهن پلیمری، نانو اکسید آهن تک پاش، وزن خشک اندام هوایی و ریشه

مقدمه

اندام های گیاه است و به همین علت نشانه های کمبود آهن بیشتر در برگ های جوان ظاهر می شوند و این در حالی است که برگ های پیرتر سالم تر به نظر می آیند و آهن فقط از طریق آوند چوبی به سلول های برگ جوان می رسد (۲۷). کمبود آهن منجر به زرد برگی (۲۶)، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل (۲۲)، کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه (۵۹)، تغییر غلظت و محتوای آهن (۲۶) و محدود شدن فعالیت آنزیم هایی همانند پراکسیداز و کاتالاز (۲۱ و ۴۲) می شود. این صفات ارتباط بسیار نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند.

روش های مختلفی برای رفع کمبود آهن در گیاهان پیشنهاد شده که می توان به مصرف خاکی، محلول پاشی و یا اختلاط آهن با بذر اشاره کرد (۱۶). مصرف کودهای معدنی آهن دار برای رفع کمبود مؤثر واقع نشده و به سرعت به ترکیبات نامحلول و غیر قابل جذب در خاک تبدیل می شوند ولی محلول پاشی با کلات های آهن باعث جذب بهتر آهن و توزیع سریع تر آن در اندام های گیاهی و نقاط مصرف می شود (۱۱). مصرف برگی آهن (سولفات آهن یا کلات های آهن) روشی معمول در کشاورزی می باشد، بویژه در خاک هایی که با کمبود آهن

با افزایش جمعیت، اهمیت کشاورزی برای تمام جوامع بشری بیش از هر زمان دیگری مشخص شده است. اولین و مهم ترین نیاز هر انسان، به مواد غذایی و عرضه مواد غذایی است که در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با کشاورزی می باشد. آهن عنصری حیاتی برای رشد، گسترش و بقای گیاه می باشد، چراکه برای عملکرد صحیح متابولیک های چندان و فرآیندهای فیزیولوژیکی ضروری است (۱۷). با اینکه آهن در سرتاسر پوسته زمین وجود دارد، اما مشکلات حلالیت ترکیب های آهن در خاک ها، مانع جذب آهن توسط گیاه شده و علائم کمبود آهن در گیاه گسترش می یابد (۲۵). آهن فاقد قدرت تحرک در

۱ و ۲ - به ترتیب دانش آموزانه کارشناسی ارشد، دانشیار و مربی گروه

خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

(*) نویسنده مسئول: (Email: ahangar@uoz.ac.ir)

۳ - استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط گلخانه و بر روی گیاه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با ۹ تیمار مختلف کودی آهن شامل کلات آهن (F1)، سولفات آهن (F2)، نانو اکسید آهن (F3)، نانو اکسید آهن تک‌پاش (F4)، نانو آهن سبز (F5)، کلات آهن پلیمری (F6)، سولفات آهن پلیمری (F7)، نانو اکسید آهن پلیمری (F8) و نانو اکسید آهن تک‌پاش پلیمری (F9) با سطوح آهن ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم آهن خالص در لیتر همراه با شاهد (C) (۱۲) در سه تکرار طراحی و اجرا شد. خاک مورد استفاده از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری گلخانه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه زابل تهیه و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت به روش هیدرومتری (۷)، پهاش در گل اشباع به وسیله پهاش متر (۵۵)، قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی (۴۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشین کردن کاتیون‌های قابل تبادل با یون سدیم با استفاده از استات سدیم در pH=۷ و سپس جایگزین نمودن یون‌های سدیم با آمونیوم و اندازه‌گیری با دستگاه فلیم‌فوتومتر (۵۳)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۵۴)، ماده آلی به روش والکی و بلک (۵۷)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۴۱)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۴۰)، غلظت آهن فراهم خاک با DTPA عصاره‌گیری (۲۴) و توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۱۸) توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر تعیین گردید (جدول ۱).

سه کیلوگرم خاک الک شده در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. قبل از کشت بذرها، با توجه به آزمون خاک و برای جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر ماکرو، ۱۵۰ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در دو مرحله، ۷۵ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک و ۷۵ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به گلدان‌ها افزوده شد. پس از چند روز که رطوبت خاک داخل کیسه‌ها به حد مناسبی رسید، خاک کیسه‌ها کاملاً مخلوط و به گلدان‌های سه کیلوگرمی منتقل گردید. تعداد پنج بذر سورگوم در هر گلدان در عمق حدود ۲ تا ۳ سانتی متری کشت گردید و گلدان‌ها تا رسیدن به حدود رطوبت ظرفیت زراعی آبیاری شدند. پس از گذشت حدود ۱۰ روز از کشت، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۳ عدد تقلیل یافت. آبیاری گلدان‌ها در طول دوره رشد با آب مقطر و به صورت وزنی انجام گرفت. محلول‌پاشی منابع آهن در دو مرحله (چهار برگی و دو هفته بعد از محلول‌پاشی اول) انجام شد. دو ماه بعد از کشت، اندام هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و هوا خشک گردید. ریشه‌ها نیز با آب مقطر شسته و به آرامی از خاک جدا شدند. اندام هوایی و ریشه‌ها در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به

همراه هستند (۱۳). کاربرد مفید و مناسب انواع مختلف کودها راه‌حل اصلی برای اصلاح و نگهداری حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصولات است (۴۵).

بروس‌چات و موره (۸) با کاربرد سولفات آهن و فروس سولفات آمونیوم مشاهده کردند که غلظت آهن در گیاه همیشه بهار آفریقایی (*Tagetes Erecta*) افزایش و وزن خشک آن کاهش یافت. برووسکی و مایکلک (۶) گزارش کردند که کاربرد برگی نمک آهن مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید لوبیا سبز^۱ را افزایش می‌دهد. شیخ بوغلو و همکاران (۵۲) نشان دادند که کاربرد نانوذرات اکسید آهن عملکرد سویا را افزایش می‌دهد. غفاری و رزمجو (۱۵) گزارش کردند کاربرد نانو اکسید آهن بر مقدار کلروفیل a، b و کل گیاه گندم در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. آرمین و همکاران (۲) مشاهده کردند با افزایش غلظت نانو آهن، عملکرد و اجزای عملکرد گندم افزایش می‌یابد. هر چند که در حال حاضر، ساز و کار مشخصی برای سمیت نانوذرات در گیاهان وجود ندارد (۳۸)، اما بررسی‌های به عمل آمده در رابطه با مواد نانو ساختار یا نانو مقیاس به عنوان حامل کودی یا ناقل کنترل کننده رهاسازی به منظور ایجاد کودهای هوشمند بوده است. فن‌آوری نانو منشاء امیدواری‌های بسیاری در جهت عبور از محدودیت‌های تکنیکی موجود بر سر راه آزادسازی آرام و کنترل شده عناصر کودها شده است (۱۰). برخی پژوهش‌ها پیامد مثبت نانوذرات آهن را بر روی گیاهان گزارش کردند (۱). لی و همکاران (۲۳) و رن و همکاران (۴۴) مشاهده کردند که نانوذرات آهن می‌توانند از لحاظ فیزیولوژیکی، جوانه‌زنی، بذر، رشد ریشه و مقدار کلروفیل را در گیاهان هندوانه و لوبیای مونگ^۲ افزایش دهند، اما طی این روند تنش اکسیداتیو به گیاهان القا می‌گردد. وانگ و همکاران (۵۸) گزارش کردند که سطح ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید آهن، مقدار کلروفیل برگ گیاه هندوانه را افزایش می‌دهد. برخی پژوهش‌ها افزایش مقدار کلروفیل گیاهانی که در برابر نانو اکسید آهن قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهند (۴۴). روی و همکاران (۴۷) بیان داشتند که نانوذرات آهن می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای آهن سنتی در کشت گیاه بادام زمینی باشند. هو و همکاران (۲۰) در تحقیقی بر روی گیاه *Citrus maxima* گزارش کردند که مصرف ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات آهن افزایش معنی‌داری در مقدار کلروفیل برگ، نسبت به شاهد (۲۳/۲ درصد) نشان داد. هدف از این پژوهش مقایسه اثر محلول‌پاشی منابع مختلف آهن بر پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز بر روی گیاه سورگوم علوفه‌ای جهت یافتن بهترین ترکیب کودی آهن می‌باشد.

1- French Bean

2- Mung Bean

نمونه‌ها جهت انجام تجزیه گیاه آسیاب و عصاره گیاهی به روش خاکسترسازی خشک آماده شد (۹).

مدت ۴۸ ساعت خشک گردید (۳۵). سپس وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم دیجیتالی تعیین و

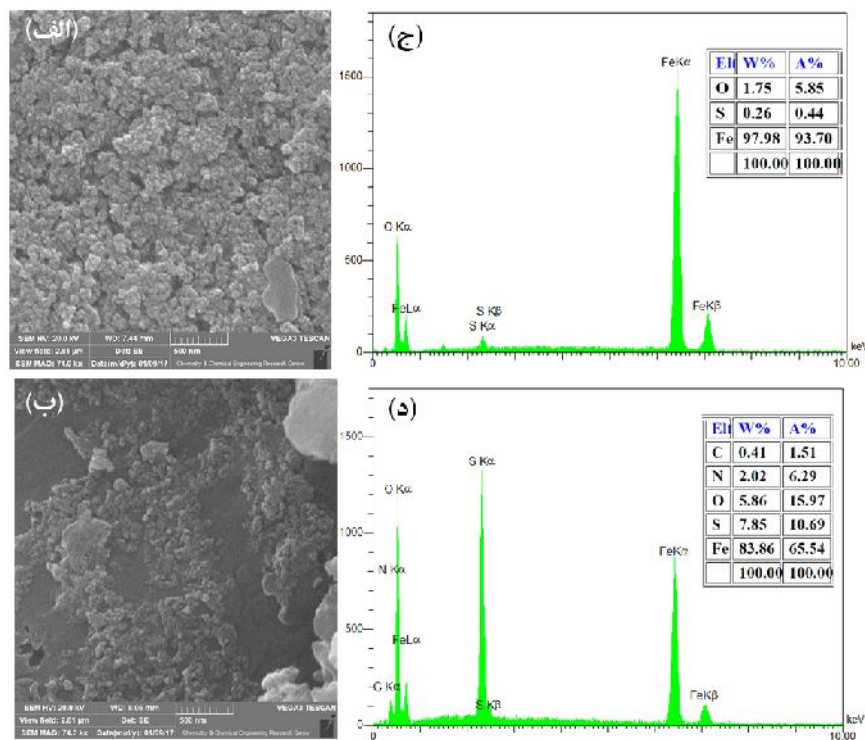
جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some of the physical and chemical characteristics of the studied soil

بافت خاک Soil Texture	pH	EC (dS.m ⁻¹)	CEC (Cmol ⁺ .kg ⁻¹)	OM (%)	CCE (%)	N (%)	P	K	Fe
							(mg.kg ⁻¹)		
لوم شنی Sandy Loam	7.77	1.82	9	0.48	20.5	0.12	12.7	30	2.32

و آنزیم آسکوربات پراکسیداز براساس روش ناکانو و اسدا (۳۷) مورد سنجش قرار گرفت و در نهایت فعالیت آنزیمی بر حسب واحد (Unit=U) در گرم بر وزن تر بیان گردید. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS 9.4 و Excel و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد.

مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید، بر اساس روش آرنون (۳) تعیین گردید. جهت محاسبه و ارزیابی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز، تعدادی برگ کاملاً جوان و گسترده برداشت شد. برگ‌ها داخل پاکت قرار گرفتند و در ظروف عایق که کف آن از یخ پوشیده شده بود قرار داده شدند و سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز براساس روش بیرز و سایزر (۴)، آنزیم گایاکول پراکسیداز براساس روش همدا و کلین (۱۹)



شکل ۱- تصاویر SEM و EDX (الف) و (ب) نانواکسید آهن (F3) و نانواکسید آهن تک‌پاش (F4)

Figure 1- SEM and EDX images (a) and (b) Iron oxide nanoparticles (F3) and Monodisperse iron oxide nanoparticles (F4)

شکل ۱ مورفولوژی و ترکیب عنصری نانوذرات تهیه شده را نشان می‌دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانواکسید آهن (F3) و نانواکسید آهن تک‌پاش (F4) به ترتیب در شکل ۱الف و

نتایج و بحث

مورفولوژی و ترکیب عنصری نانوذرات

ب نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه F3 که بدون حضور هیچ سورفکتانت و یا پلیمری تهیه شده است به میزان بیشتری نسبت به نمونه F4 تجمع یافته است. در حقیقت همانطور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، نانوذرات در میان مواد سورفکتانت که در حین تهیه به محلول اضافه شده‌اند قرار دارند و این موجب جدایی بیشتر نانوذرات از یکدیگر می‌شود. هر چه نانوذرات بیشتر به صورت تک‌پاش باشند احتمال اینکه بتوانند از روزه‌های برگ وارد گیاه شوند بیشتر است. از طرفی افزودن پلیمر به این نانوذرات سبب می‌شود تا حلالیت نانوذرات بیشتر شده و راحت‌تر به گیاه وارد شوند. شکل ۱۷ و د به ترتیب آنالیز EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) نانوذرات F3 و F4 را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در نمونه F4 علاوه بر آهن و اکسیژن، کربن نیز وجود دارد که به وجود سورفکتانت در میان نانوذرات دلالت دارد.

شاخص‌های رشدی سورگوم

نتایج تجزیه واریانس پیامدهای ساده و متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول‌پاشی نشان می‌دهد که غلظت آهن اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱ درصد و جذب آهن ریشه و آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). اثرات ساده منابع آهن و اثرات متقابل دوگانه سطح و منابع آهن نشان می‌دهد که وزن خشک اندام هوایی و ریشه، کلروفیل a و b برگ، جذب آهن اندام هوایی و آنزیم‌های گایاکول و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). میزان محتوای کارتنوئید برگ نیز در سطح احتمال ۵ درصد در اثرات ساده منابع آهن معنی‌دار گردید (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل منابع آهن و سطح محلول‌پاشی بر برخی پارامترهای رشد، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه و فعالیت آنزیم‌های برگ

Table 2- Analysis of variance interaction between iron and level of spraying on some growth parameters, concentration and absorption of iron in the shoot and root and leaf enzyme activity

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square					
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	غلظت آهن در اندام هوایی
		Dry weight of shoot	Dry weight of root	Chl. a	Chl. b	Carotenoid	Iron Con. in Shoot
C ^a	1	0.0707ns	0.0866ns	0.0487ns	0.2653ns	0.0960ns	65.9611**
F ^b	9	4.6195*	1.7682*	1.2724*	3.2515*	0.2790*	1139.9126**
C*F	9	3.2281*	0.8102*	0.0464*	1.5689*	0.0486ns	608.3000**
Error	40	0.0502	0.0489	0.0362	0.1016	0.0221	0.2864
C.V. (%)	-	8.1430	12.7817	7.0469	16.5579	16.9214	1.2433

میانگین مربعات Mean Square							
کاتالاز CAT	آسکوربات APX	گایاکول GPOX	جذب آهن در ریشه Iron absorption in root	غلظت آهن در ریشه Iron con. in root	جذب آهن در اندام هوایی Iron absorption in shoot	غلظت آهن در اندام هوایی Iron con. in shoot	کاتالاز CAT
C ^a	1	0.0000ns	0.0000ns	1394310.75*	172904.3538**	264.5580ns	0.0000*
F ^b	9	0.0000*	0.0004*	1453765.54*	93076.7315**	17155.5808*	0.0000*
C*F	9	0.0000*	0.0001*	620250.62*	67921.1812**	14275.6744*	0.0000*
Error	40	0.0000	0.0000	20698.67	0.313	82.1200	0.0000
C.V. (%)	-	17.5531	13.0092	11.6454	0.0786	7.3600	6.9734

^a سطح آهن، ^b منابع آهن، *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

^a Iron Level, ^b Iron Sources, * and ** denoted significance at the 5 and 1 percent level; ns is not significant

(جدول ۳). با افزایش غلظت آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر علاوه بر تیمار F1، تیمارهای F4 (۳/۹۷ گرم در گلدان) و F9 (۳/۸۰ گرم در گلدان) نیز از لحاظ آماری افزایش معنی‌داری یافته‌اند (جدول ۳). با توجه به قطر نانوذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (۳۳).

مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول‌پاشی نشان می‌دهد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر تیمار F1 (۵/۴۴ گرم در گلدان) می‌باشد که نسبت به شاهد (۰/۷۱ گرم در گلدان) با کمترین وزن خشک اندام هوایی ۸۶/۹۵ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر نیز به ترتیب تیمارهای F2، F3 و F6 افزایش معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد نشان دادند

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی بر برخی پارامترهای رشد در اندام هوایی و ریشه گیاه
Table 3- Comparison of the mean effects of interactions iron resources and level of spraying on some growth parameters in shoots and roots of the plant

تیمار Treatment		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b
سطوح آهن (g.L ⁻¹)	منابع آهن	Dry weight of shoot (g.Pot ⁻¹)	Dry weight of root (g.Pot ⁻¹)	Chlo. a (mg.g ⁻¹ fresh weight)	Chlo. b (mg.g ⁻¹ fresh weight)
0.25	شاهد (C)	0.71 ⁱ	0.56 ^g	2.31 ^{gh}	0.94 ^{gh}
	F1	2.18 ^{fg}	1.04 ^f	3.14 ^{ab}	2.83 ^b
	F2	3.77 ^{bc}	2.11 ^{bc}	3.00 ^{abc}	1.57 ^{ef}
	F3	3.70 ^{bc}	2.46 ^{ab}	3.07 ^{abc}	2.23 ^{cd}
	F4	2.08 ^{gh}	1.48 ^{de}	2.79 ^{bcd}	3.99 ^a
	F5	2.53 ^{ef}	2.51 ^{ab}	2.77 ^{bcd}	1.64 ^{def}
	F6	3.46 ^c	1.68 ^{de}	3.02 ^{abc}	2.87 ^b
	F7	2.93 ^{de}	1.62 ^{de}	2.65 ^{def}	1.96 ^{cde}
	F8	2.01 ^{gh}	1.55 ^{de}	1.55 ⁱ	0.69 ^h
0.5	F9	2.36 ^{fg}	2.66 ^a	2.42 ^{fgh}	1.18 ^{fgh}
	F1	5.44 ^a	2.35 ^{ab}	2.86 ^{abc}	1.28 ^{fgh}
	F2	2.98 ^d	1.45 ^{de}	3.07 ^{abc}	1.96 ^{cde}
	F3	2.76 ^{de}	1.51 ^{de}	3.09 ^{ab}	3.03 ^b
	F4	3.97 ^b	2.34 ^{ab}	2.71 ^{cde}	2.47 ^{bc}
	F5	2.84 ^{de}	2.72 ^a	3.04 ^{abc}	2.52 ^{bc}
	F6	2.25 ^{fg}	1.73 ^{cde}	3.20 ^a	1.74 ^{def}
	F7	2.84 ^{de}	1.34 ^{ef}	2.83 ^{abc}	1.39 ^{efg}
	F8	1.72 ^h	1.04 ^f	1.76 ⁱ	0.91 ^{gh}
	F9	3.80 ^{bc}	1.79 ^{cd}	2.57 ^{efg}	2.47 ^{bc}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون معنی‌دار نیست (p<0.01)

Means with the same letters in each column are not significantly different (p<0.01)

گزارش کردند.

بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار F4 در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر (۳/۹۹ میلی گرم بر گرم) مشاهده شد که نسبت به شاهد (۰/۹۴ میلی گرم بر گرم) و سایر تیمارها در همین سطح آهن، افزایش معنی‌داری داشت. اگرچه کمترین مقدار کلروفیل b نیز در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر F8 (۰/۶۹ میلی گرم بر گرم) مشاهده گردید ولی نسبت به شاهد (۰/۹۴ میلی گرم بر گرم) این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). با محلول پاشی نانوکلات آهن به واسطه افزایش رشد سبزینه‌ای، بهبود کلروفیل سازی گیاه و افزایش ظرفیت و فرایند فتوسنتزی، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته شده و سهم دریافتی مواد پرورده آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه ضمن افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین افزوده می‌شود (۳۳). ماسونیک و همکاران (۲۸) در ایتالیا اثر کمبود آهن را بر گیاهان آفتابگردان، ذرت، گندم و جو بررسی و مشاهده کردند که کمبود آهن موجب کاهش کلروفیل شده در نتیجه عملکرد و ماده خشک گیاه را نیز کاهش می‌دهد.

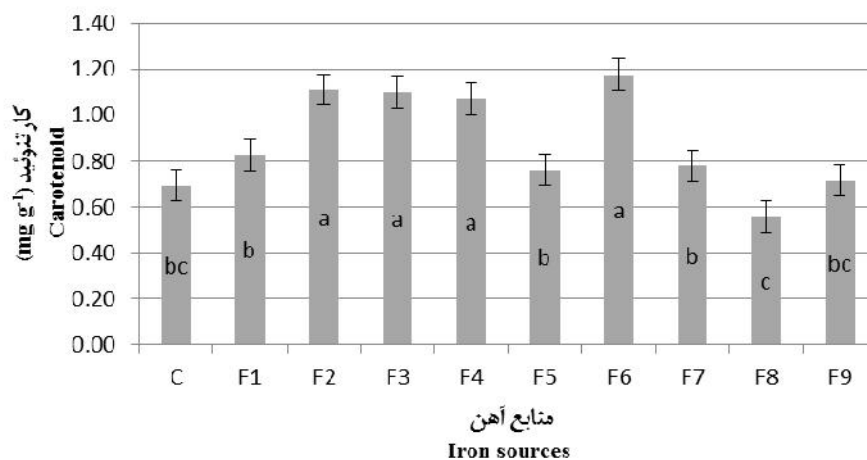
نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده منابع آهن بر مقدار کارتنوئید برگ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کارتنوئید برگ در تیمار F6 مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است (شکل ۲). با توجه به شکل ۲، بعد از آن بیشترین مقدار کارتنوئید به ترتیب در تیمارهای F2، F3 و F4 دیده شد که نسبت به شاهد این افزایش،

بیشترین وزن خشک ریشه ۲/۷۲ گرم در گلدان) مربوط به غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر F5 می‌باشد که نسبت به شاهد با کمترین وزن خشک ریشه (۰/۵۶ گرم در گلدان) ۷۹/۴۱ درصد افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد (جدول ۳). در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر، تمامی تیمارهای آهن نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته‌اند. با افزایش غلظت از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، وزن خشک ریشه در تیمارهای F1 و F4 افزایش معنی‌داری یافته بودند (جدول ۳).

بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار F6 در غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر (۳/۲۰ میلی گرم بر گرم) مشاهده شد که نسبت به شاهد (۲/۳۱ میلی گرم بر گرم) ۲۷/۸۱ درصد افزایش معنی‌داری داشت. همچنین، در غلظت ۰/۵ گرم آهن در لیتر، علاوه بر F6، تیمارهای F2، F3 و F5 نیز بر افزایش مقدار کلروفیل a نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشتند (جدول ۳). در غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در بین تیمارها به جز F8 از لحاظ آماری در مقدار کلروفیل a، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با افزایش غلظت آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، کلروفیل a در تیمارهای F2، F3، F5، F6، F7 و F8 و F9 افزایش یافت. نتایج رید و همکاران (۴۳) نیز هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد به طوری که با محلول پاشی سولفات آهن ۱ درصد پلیمری بر روی گیاه انگور افزایش معنی‌داری در مقدار کلروفیل، و در نتیجه افزایش سبزی گیاه، نسبت به شاهد را

بیشترین مقدار کارتنوئید در برگ گیاه آفتابگردان به ترتیب در مصرف محلول پاشی (۰/۸۵ میلی گرم بر گرم) و مصرف خاکی (۰/۸۳ میلی گرم بر گرم) تیمار آهن Nano Fe-EDTA مشاهده شد که نسبت به شاهد در حد زیادی افزایش معنی دار یافته بود.

معنی دار بود اما این تیمارها نسبت به یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند و در یک سطح آماری قرار گرفته بودند. کمترین مقدار کارتنوئید برگ در تیمار F8 مشاهده شد که تفاوت معنی داری با شاهد نداشت (شکل ۲). شهرکی زاد و همکاران (۵۰) نیز بیان داشتند که



شکل ۲- پیامد ساده منابع آهن بر مقدار کارتنوئید برگ

Figure 2- The simple effects of iron resources on the amount of the leaf carotenoid

گزارش کردند که بیشترین و کمترین غلظت آهن در گیاه لوبیا به ترتیب در محلول پاشی ۴ گرم در لیتر نانوکلات آهن و شاهد مشاهده شد.

نتایج مقایسه میانگین های پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی (جدول ۴) حاکی از آن است که بیشترین جذب آهن در اندام هوایی مربوط به تیمار F6 (۲۶۸/۴۳) با غلظت ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر نسبت به شاهد (۲۰/۳۶) با کمترین جذب آهن می باشد که ۱۳/۲ برابر افزایش معنی داری نشان داد، که مربوط به غلظت بالای آهن در اندام هوایی (۷۷/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و وزن خشک اندام هوایی (۳/۴۶ گرم در گلدان) این تیمار می باشد (جدول ۳). نتایج تحقیق حاضر هم راستا با نتایج شایلس و همکاران (۵۱) می باشد، آن ها گزارش دادند که غلظت آهن در جوانه زنی لوبیا با کاربرد نانوذرات معلق در مقایسه با کاربرد بدون نانوذرات افزایش پیدا کرد، حضور این عناصر در گیاهان اسپری شده با نانوذرات معلق که در محلول هوکلند نگهداری می شدند یافت شد که اینطور به نظر می رسد که اسپری نانوذرات می تواند باعث جذب نانوذرات از طریق برگ و انتقال آن ها در گیاه شود.

غلظت و جذب آهن در گیاه

نتایج تجزیه واریانس پیامدهای متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی نشان می دهد که غلظت آهن اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱ درصد و جذب آهن ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد افزایش معنی داری نشان دادند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی نشان داد که بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی مربوط به تیمار F7 (۸۴/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم) در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر می باشد که نسبت به شاهد ۳ برابر افزایش معنی دار یافته است، و در همین سطح آهن، تیمار F6 با غلظت ۷۷/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین افزایش معنی دار را بعد از F7 نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۴). با افزایش سطح تیمارها از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، غلظت آهن اندام هوایی در گیاه سورگوم از تیمارهای F1، F2، F3، F4، F5 و F8 افزایش معنی داری نشان دادند. سالارپور و همکاران (۴۸) بیان داشتند که بیشترین غلظت آهن در گیاه شاهی مربوط به تیمار ۴/۵ گرم کلات آهن به همراه محلول پاشی (۸/۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بدست آمد که در مقایسه با شاهد افزایش معنی داری یافته بود. کمترین مقدار غلظت آهن در اندام هوایی مربوط به تیمار شاهد (۲۸/۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۴). نادری و همکاران (۳۶)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول پاشی بر غلظت و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه سورگوم
Table 4- Comparison of the mean effects of intractions iron resources and level of spraying on concentration and absorption of iron in shoots and roots of Sorghum

تیمار Treatment	منابع آهن Iron sources	غلظت آهن در اندام هوایی Iron Con. in Shoot (mg.kg ⁻¹)	جذب آهن در اندام هوایی Iron absorption in shoot	غلظت آهن در ریشه Iron con. in root (mg.kg ⁻¹)	جذب آهن در ریشه Iron absorption in root
	شاهد (C)	28.79 ^l	20.36 ^m	677.15 ^m	380.60 ^{gh}
	F1	28.89 ^l	63.24 ^{kl}	798.21 ^h	833.80 ^{ef}
	F2	31.58 ^k	119.06 ^f	753.31 ^j	1591.30 ^c
	F3	31.42 ^k	116.41 ^f	662.00 ⁿ	1625.50 ^c
	F4	31.00 ^k	64.52 ^{kl}	460.42 ^q	683.00 ^{efg}
0.25	F5	33.00 ^j	83.65 ^{ij}	844.31 ^d	2122.60 ^b
	F6	77.52 ^b	268.43 ^a	735.21 ^k	1238.10 ^d
	F7	84.42 ^a	247.32 ^b	871.73 ^c	1414.40 ^{cd}
	F8	35.52 ⁱ	71.44 ^{jk}	841.42 ^e	1301.70 ^d
	F9	44.79 ^e	105.84 ^{fgh}	1007.94 ^a	2687.70 ^a
	F1	39.36 ^g	214.24 ^c	384.84 ^s	904.20 ^{ef}
	F2	58.94 ^d	175.70 ^d	448.00 ^r	652.80 ^{fg}
	F3	35.73 ⁱ	98.79 ^{hi}	793.10 ⁱ	1198.30 ^d
0.5	F4	37.15 ^h	147.39 ^e	517.79 ^p	1210.40 ^d
	F5	60.94 ^c	173.19 ^d	812.94 ^f	2210.00 ^b
	F6	44.58 ^e	100.18 ^{gh}	700.05 ^l	1210.70 ^d
	F7	58.31 ^d	165.61 ^d	909.89 ^b	1218.30 ^d
	F8	40.89 ^f	70.55 ^{jk}	810.47 ^g	848.20 ^{ef}
	F9	36.63 ^h	139.32 ^e	524.63 ^o	941.50 ^e

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون معنی‌دار نیست (p<0.01)

Means with the same letters in each column are not significantly different (p<0.01)

F1 در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر می‌باشد که نسبت به شاهد (۶۷۷/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم) ۷۵/۹۶ درصد کاهش معنی‌داری یافته است. این کاهش با افزایش مقدار کود آهن، می‌تواند ناشی از اثر رقت باشد، چرا که با افزایش وزن خشک (جدول ۳) معمولاً غلظت عناصر به دلیل اثر رقت کاهش می‌یابد.

بیشترین جذب آهن در ریشه مربوط به تیمار ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر F9 (۲۶۸۷/۷) می‌باشد که بیشترین غلظت آهن را دارا می‌باشد و نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری یافته است (جدول ۴). کمترین مقدار جذب آهن مربوط به شاهد (۳۸۰/۶) می‌باشد که کمترین وزن خشک ریشه را دارا می‌باشد (جدول ۳).

وطانی و همکاران (۵۶) گزارش کردند که کاربرد نانوکودهای کلات آهن در گیاه اسفناج پیامدهای مثبتی بر تجمع آهن داشت. محمدی‌پور و همکاران (۳۲) گزارش کردند که بیشترین غلظت آهن در گل سوسن به مقدار ۷۳۰ میلی گرم در کیلوگرم در محلول پاشی برگ سولفات آهن بدست آمد و پس از آن محلول پاشی نانوکود آهن با ۴۷۵/۵ میلی گرم در کیلوگرم رتبه بعدی را در غلظت آهن به خود اختصاص داد.

فعالیت برخی آنزیم‌ها در گیاه

نتایج تجزیه واریانس پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح

مورتوت و همکاران (۳۴) بیان داشتند که پلیمرهای آب‌دوست پتانسیل بالقوه‌ای در افزایش قابلیت دسترسی سایر عناصر غذایی برای گیاه دارند. برای مثال، وقتی پلیمر پلی‌آکریل‌آمید در محلول حاوی سولفات آهن، آبدار می‌شود، ژل حاصل یک منبع غذایی عالی در خاک‌هایی با قابلیت دسترسی محدود آهن می‌باشد. جذب آهن توسط دانه‌های سورگوم زمانی که سولفات آهن با پلیمر پیوندی پلی‌آکریل‌آمید به‌عنوان کود مورد استفاده قرار گرفت، در مقایسه با کاربرد تنه‌ای سولفات آهن دو برابر گردید. فرض بر این است که گنجاندن کود در یک گروه از پلیمر هیدراته انتشار عناصر غذایی را محدود کرده و واکنش‌های خاک را که ممکن است قابلیت دسترسی عناصر غذایی را برای گیاهان کاهش دهند به تأخیر می‌اندازد (۳۰). استفاده از پلیمرها جهت عرضه عناصر غذایی ممکن است بتواند شرایط دقیق‌تری را برای تأمین نیاز گیاه فراهم آورد، درحالی‌که بایستی حفاظت از کیفیت محیط زیست و همچنین حفظ منابع طبیعی لحاظ گردد (۲۹).

نتایج مقایسه میانگین پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی بر غلظت آهن در ریشه (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت آهن در ریشه (۱۰۰۷/۹۴ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار F9 در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر می‌باشد که نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری یافته است، و کمترین مقدار غلظت آهن در ریشه (۳۸۴/۸۴ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار

با کمبود آهن در نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش کردند. ننووا و استویانو (۳۹) گزارش کردند که شدت کمبود آهن نتیجه فعالیت پایین پراکسیداز، کاتالاز و نیترات ردوکتاز در ذرت (*Zea mays* L.) است.

کاربرد دو تیمار F1 و F4 در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر نیز بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر مثبتی داشت اما این تأثیر معنی‌دار نبود. با افزایش سطح آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر F5 و F7 افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را نشان دادند (جدول ۵). معاونی (۳۱) گزارش نمود که غلظت کاتالاز در تیمار ۰/۰۳ درصد نانو آهن در گیاه سورگوم حداکثر افزایش را نشان داد. احتمالاً این افزایش به علت توانایی گیاه در ذخیره‌سازی بیشتر آهن آزاد شده از نانو آهن می‌باشد و بهترین سازوکار جذب آهن از سمت ریشه به ساقه رخ داده بود (۳۱).

محلول‌پاشی نشان می‌دهد که آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده‌اند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین پیآمدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول‌پاشی داده‌ها برای آنزیم کاتالاز در جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت مربوط به سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر تیمار F5 (۰/۱۶۰ واحد در گرم بر وزن تر) می‌باشد که نسبت به شاهد ۳۱/۲۵ درصد افزایش معنی‌داری یافته است. با توجه به جدول ۵ کمترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۵۶ واحد در گرم بر وزن تر) مربوط به تیمارهای F3 و F9 در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر می‌باشد که نسبت به شاهد ۹۶/۴۲ درصد کاهش معنی‌داری یافته است. احتمالاً این کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز، می‌تواند به دلیل اثر رقت (۱۴) که مربوط به افزایش رشد در اندام هوایی گیاه است (جدول ۳) باشد. کائور و همکاران (۲۱) وابستگی محدود فعالیت پراکسیداز و کاتالاز را

جدول ۵- مقایسه میانگین پیآمدهای متقابل دوگانه منابع آهن و سطح محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در برگ

Table 5- Comparison of the mean effects of intractions iron resources and level of spraying on Enzyme activities; Catalase (CAT), Ascorbate peroxidase (APX) and Guaiacol peroxidase (GPOX) in leaves of Sorghum

تیمار Treatment		(Unit.Fresh W ⁻¹) GPOX	(Unit.Fresh W ⁻¹) APX	(Unit.Fresh W ⁻¹) CAT
سطوح آهن (g.L ⁻¹) Iron levels	منابع آهن Iron sources			
0.25	شاهد (C)	0.0063 ^h	0.060 ^{bc}	0.0110 ^c
	F1	0.0080 ^{fgh}	0.076 ^a	0.0120 ^b
	F2	0.0093 ^{cdef}	0.032 ^h	0.0103 ^c
	F3	0.0035 ⁱ	0.054 ^{bcd}	0.0106 ^c
	F4	0.0100 ^{bcde}	0.040 ^{efgh}	0.0126 ^b
	F5	0.0096 ^{cdef}	0.044 ^{defgh}	0.0110 ^c
	F6	0.0066 ^{gh}	0.047 ^{cdef}	0.0063 ^{gh}
	F7	0.0116 ^{ab}	0.046 ^{def}	0.0063 ^{gh}
	F8	0.0090 ^{def}	0.052 ^{bcde}	0.0063 ^{gh}
0.5	F9	0.0110 ^{abc}	0.049 ^{bcdef}	0.0090 ^d
	F1	0.0040 ⁱ	0.060 ^{bc}	0.0076 ^{ef}
	F2	0.0090 ^{def}	0.061 ^b	0.0063 ^{fg}
	F3	0.0103 ^{bcd}	0.054 ^{bcd}	0.0056 ^h
	F4	0.0123 ^a	0.053 ^{bcd}	0.0060 ^h
	F5	0.0110 ^{abc}	0.045 ^{defg}	0.0160 ^a
	F6	0.0090 ^{def}	0.037 ^{fgh}	0.0070 ^{fg}
	F7	0.0080 ^{fgh}	0.033 ^{gh}	0.0080 ^e
	F8	0.0100 ^{bcde}	0.048 ^{bcdef}	0.0060 ^h
	F9	0.0083 ^{efg}	0.044 ^{defgh}	0.0056 ^h

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون معنی‌دار نیست (p<0.01)

Means with the same letters in each column are not significantly different (p<0.01)

۰/۲۵ گرم آهن در لیتر در تیمار F2 (۰/۰۳۲ واحد در گرم بر وزن تر) مشاهده گردید که نسبت به شاهد ۸۷/۵ درصد کاهش معنی‌داری یافت. به نظر می‌رسد به دلیل افزایش وزن خشک گیاه، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز کاهش یافته است که می‌تواند ناشی از اثر رقت (۳۴) باشد چراکه با افزایش وزن خشک (جدول ۳) معمولاً غلظت عناصر (غلظت آهن اندام هوایی) (جدول ۴) به دلیل اثر رقت کاهش

مقایسه میانگین پیآمدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر تیمار F1 (۰/۰۷۶ واحد در گرم بر وزن تر) می‌باشد که نسبت به شاهد (۰/۰۶۰ واحد در گرم بر وزن تر) ۲۱/۰۵ درصد افزایش معنی‌داری یافته است. کمترین مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح

گایاکول پراکسیداز علاوه بر تیمار F4، در تیمارهای F3 و F6 نیز افزایش معنی داری یافتند (جدول ۵). رانی پری و همکاران (۴۲) توقف فعالیت پراکسیداز را در آفتابگردان دارای کمبود آهن مشاهده کردند. کمبود آهن، همواره موجب از بین رفتن کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست و کاهش فعالیت آنزیمهای اکسیداز نظیر کاتالاز و پراکسیداز می گردد (۶۰).

نتیجه گیری کلی

نتایج پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی نشان می دهد محلول پاشی در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر صفات کلروفیل b در تیمار F4، غلظت و جذب آهن در اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای F7 و F6، غلظت و جذب آهن در ریشه در تیمار F9 و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار F1 افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان دادند که با افزایش سطح آهن این تیمارها، صفات فوق کاهش معنی داری یافتند. اما در سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر، وزن خشک اندام هوایی در تیمار F1، وزن خشک ریشه و آنزیم کاتالاز در تیمار F5، کلروفیل a در تیمار F6 و آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمار F4 افزایش معنی داری نسبت به شاهد یافتند. پیامدهای ساده منابع آهن بر مقدار کارتنوئید برگ نشان داد که بیشترین مقدار کارتنوئید در تیمار F6 مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی داری یافته است. پژوهش های زراعی دقیق در نظر گرفته شده برای تعیین بهای فن آوری پلیمر در بهبود باز یافت عناصر غذایی در شرایط گوناگون کشاورزی مورد نیاز است. تیمارهای پلیمری بکار رفته در پژوهش حاضر نیاز به تحقیق بیشتر داشته و تنها به نتایج پژوهش های گلخانه ای نباید اکتفا کرد، و تحقیقات بیشتر در این زمینه در سطح گلخانه و مزرعه توصیه می گردد.

یافته و در نتیجه باعث کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردیده است. بیش بود بسیاری از فلزات سنگین از جمله آهن در داخل سلول ممکن است سبب تولید رادیکال های آزاد اکسیژن مثل سوپراکسید و هیدروکسیل و نیز ایجاد پراکسید هیدروژن بیشتر شود (۵)، کاتالازها و پراکسیدازها از جمله آنزیم هایی به شمار می آیند که نقش بسیار مهمی در پاسخ به تنش غیر زیستی دارند. افزایش غلظت آهن در گیاهان موجب ایجاد سمیت آهن و تولید انواع اکسیژن های فعال می شود که تنش اکسیداتیو را در گیاه القاء می کند. در شرایط طبیعی پراکسید هیدروژن و رادیکال های آزاد اکسیژن در بخش های مختلف یاخته های گیاهان ایجاد می شود (۵).

مقایسه میانگین پیامدهای متقابل منابع آهن و سطح محلول پاشی بر آنزیم گایاکول پراکسیداز در جدول ۵ نشان می دهد که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به سطح ۰/۵ گرم آهن در لیتر تیمار F4 (۰/۱۲۳) واحد در گرم بر وزن تر) می باشد که نسبت به شاهد (۰/۰۶۳) واحد در گرم بر وزن تر) ۴۸/۷۸ درصد افزایش معنی داری یافته است. در بررسی اثر آهن در گیاهان دارای ارزش دارویی بر روی گیاه (*Bacops monnieri* L.) استفاده از آهن سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در ریشه و کاهش فعالیت پراکسیداز در برگ ها شد و محتوی آسکوربات هم در ریشه و هم در برگ در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (۴۹). کمترین مقدار فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در سطح ۰/۲۵ گرم آهن در لیتر در تیمار F3 (۰/۰۳۵) واحد در گرم بر وزن تر) مشاهده گردید که نسبت به شاهد (۰/۰۶۳) واحد در گرم بر وزن تر) ۸۰ درصد کاهش معنی داری یافت. دلیل کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز می تواند مربوط به افزایش ناگهانی رشد اندام هوایی گیاه باشد که توسط اثر رقت قابل توجیه می باشد و توسط محققین دیگر گزارش شده است (۱۴ و ۳۴). با افزایش سطح آهن از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم آهن در لیتر، فعالیت آنزیم

منابع

- Alidoust D., and Isoda A. 2014. Phytotoxicity assessment of γ -Fe₂O₃ nanoparticles on root elongation and growth of rice plant. *Environmental Earth Sciences*, 71:5173-5182.
- Armin M., Akbari S., and Mashhadi S. 2014. Effect of time and concentration of nano-Fe foliar application on yield and yield components of wheat. *International Journal of Biosciences*, 4(9):69-75.
- Arnon D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, 24:1-75.
- Beers G.R., and Sizer I.V. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Biological Chemistry*, 195:133-140.
- Bhattacharjee S. 2005. Reactive oxygen species and oxidative stress, senescence and signal transduction in plants. *Current Science*, 89:1113-1121.
- Borowski E., and Michalek S. 2011. The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 10(2): 183-193.
- Bouyoucos C.J. 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54:464-465.

- 8- Broschat T.K., and Moore K.K. 2004. Phytotoxicity of several iron fertilizers and their effects on Fe, Mn, Zn, Cu, and P content of African Marigolds and Zonal Geraniums. *Horticultural Science*, 39(3): 595-598.
- 9- Cottenie A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. *FAO Soils Bull*, 38: 70-73.
- 10- Cui H.C., Sun Q., Liu J., and Gu W. 2006. Applications of Nanotechnology in Agrochemical Formulation. p. 1-6. Perspective, Challenges and Strategies, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing, China.
- 11- Datil R.B., Apparao B.J., and Laware S.L. 2012. Application of amino acid chelated micronutrient for enhancing growth and productivity in chili (*Capsicum annum* L.). *Plant Sciences Feed*, 2(6): 100-106.
- 12- Delfani M., Baradarn Firouzabadi M., Farrokhi N., and Makarian H. 2014. Some Physiological Responses of Black-Eyed Pea to Iron and Magnesium Nanofertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(4): 530-540.
- 13- Fang Y., Wang L., Xin Z., Zhao L.Y., An X.X., and Hu Q.H. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:2079-2084.
- 14- Feil B., Moser S.B., Jampatong S., and Stamp P. 2005. Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by preanthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science*, 45:516-523.
- 15- Ghafari H., and Razmjoo J. 2013. Effect of Foliar Application of Nano-iron Oxidase, Iron Chelate and Iron Sulphate Rates on Yield and Quality of Wheat. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(11): 2997-3003.
- 16- Godsey R.J., and Johnson B. 2001. Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8): 1255-1268.
- 17- Grillet L., Mari S., and Schmidt W. 2014. Iron in seeds loading pathways and subcellular localization. *Frontiers in Plant Science*, 4:535.
- 18- Helmke P.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. p. 551-574. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods and processes*. Madison, Soil Science Society of America.
- 19- Hemeda H.M., and Kelin B.P. 1990. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. *Journal of Food Science*, 55: 184-185.
- 20- Hu J., Guo H., Li J., Gan Q., Wang Y., and Xing B. 2017. Comparative impacts of iron oxide nanoparticles and ferric ions on the growth of *Citrus maxima*. *Environmental Pollution*, 221:199-208.
- 21- Kaur N.P., Takkar P.N., and Nayyar V.K. 1984. Catalase, peroxidase, and chlorophyll relationship to yield and iron deficiency chlorosis in Cicer genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 7:1213-1220.
- 22- Ksouri R., Debez A., Mahmoudi H., Ouerghi Z., Gharsalli M., and Lachaa M. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 315-322.
- 23- Li J., Chang P., Huang J., Wang Y., Yuan H., and Ren H. 2013. Physiological effects of magnetic iron oxide nanoparticles towards watermelon. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13:5561-5567.
- 24- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42: 421-428.
- 25- Lucena J.J. 2006. Synthetic iron chelates to correct iron deficiency in plants. p. 103-128. In L.L. Barton and J. Abadía (ed.) *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*, Springer: Dordrecht.
- 26- Mahmoudi H., Ksouri R., Gharsalli M., and Lachaal M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: Lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Plant Physiology*, 162(11):1237-1245.
- 27- Marschner H., Romheld V., and Kissel M. 1995. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *Journal of Plant Nutrition*, 9:695-713.
- 28- Masonic A., Evacoli A., and Mavoti M. 1996. Spectral of leaves deficient in iron sulphur, magnesium and manganese. *Agronomy Journal*, 88(6):937-943.
- 29- Mikkelsen R.L. 1994. Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Fertilizer Research*, 38: 53-59 .
- 30- Mikkelsen R.L. 1995. Using hydrophilic polymers to improve uptake of manganese fertilizers by soybeans. *Fertilizer Research*, 41: 87-92.
- 31- Moaveni P. 2014. Study the priming of nano iron on biochemical traits of Sorghum (*Sorghum Bicolor* L.). *Data Management Association (DAMA) International*, 3(2):102-108.
- 32- Mohamadipoor R., Sedaghathoor S., and Mahboub Khomami A. 2013. Effect of application of iron fertilizers in two methods 'foliar and soil application' on growth characteristics of *Spathiphyllum* illusion. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(1):232-240.
- 33- Monica R.C., and Cremonini R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62: 161-165.
- 34- Mortvedt J.J., Mikkelsen R.L., and Behel A.D.Jr. 1992. Grain sorghum response to granular formulations of iron

- sources and hydrophilic polymers. *Journal of Plant Nutrition*, 15: 1913-1926.
- 35- Motsara M.R., and Roy R.N. 2008. Plant analysis. p. 80. In *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 36- Nadi E., Ayneband A., and Mojaddam M. 2013. Effect of nano-iron chelate fertilizer on grain yield, protein percent and chlorophyll content of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Biosciences*, 3(9): 267-272.
- 37- Nakano Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidases in spinach chloroplasts. *Plant cell physiology*, 22: 867-880.
- 38- Navarro E., Piccapietra F., Wagner B., Marconi F., Kaegi R., Odzak N., Sigg L., and Behra R. 2008. Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*. *Environmental Science and Technology*, American Chemical Society, 42(32): 8959-8964.
- 39- Nenova V., and Stoyanov I. 1995. Physiological and biochemical changes in young maize plants under iron deficiency. Catalase, peroxidase, and nitrate reductase activities in leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 2081-2091.
- 40- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
- 41- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part2. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
- 42- Ranieri A., Castagna A., Baldan B., and Soldatini G.F. 2001. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. *Journal of Experimental Botany*, 52: 25-35.
- 43- Reed D.W.M., Lyons Jr.C.G., and McEachern G.R. 1988. Field evaluation of inorganic and chelated iron fertilizers as foliar sprays and soil application. *Journal of Plant Nutrition*, 11(6-11):1369-1378.
- 44- Ren H., Liu L., Liu C., He S., Huang J., Li J., and Gu N. 2011. Physiological investigation of magnetic iron oxide nanoparticles towards Chinese mung bean. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 7: 677-684.
- 45- Rezaeei M., Daneshvar M., and Shirani A.H. 2014. Effect of iron nano chelated fertilizers foliar application on three wheat cultivars in Khorramabad climatic conditions. *Scientific Journal of Crop Science*, 3(2): 9-16.
- 46- Rhoades J.D. 1982. Soluble salts. p. 167-179. In: A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Chemical and microbiological properties. Monograph Number 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- 47- Rui M., Ma C., Hao Y., Guo J., Rui Y., Tang X., Zhao Q., Fan X., Zhang Z., Hou T., and Zhu S. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers Plant Science*, 7: 815-825.
- 48- Salarpour O., Parsa S., Sayyari M.H., and Jami Alahmadi M. 2013. Effect of Nano-iron Chelates on Growth, Peroxidase Enzyme Activity and Oil Essence of Cress (*Lepidium sativum* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4: 3583-3589.
- 49- Sinha S., and Saxena R. 2006. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant and bacoside- A content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L. *Chemosphere*, 62(8): 134-135.
- 50- Shahrakizad M., Gholamalizadeh Ahangar A., and Mir N. 2015. EDTA-Coated Fe₃O₄ nanoparticles: a novel biocompatible fertilizer for improving agronomic traits of sunflower (*Helianthus Annuus*). *Journal of Nanostructures*, 5: 117-127.
- 51- Shailesh K.D., Pramod M., Rajashri K., and Anand K. 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of Mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. *Nanotechnology Development*, 3:e1. 1-5.
- 52- Sheykhabglou R., Sedghi M., Tajbakhsh shishevan M., and Sharifi S.R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2:112-113.
- 53- Toth S.J., and Prince A.L. 1949. Estimation of cation exchange capacity and exchangeable Ca, K and Na contents of soils by flamephotometric techniques. *Soil Science*, 67:439-445.
- 54- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Alkaline-earth carbonates by gravimetric loss of carbon dioxide. p. 105. In: L.A. Richards (ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agric. Handbook. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 55- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. pH reading of saturated soil paste. p. 102. In: L.A. Richards (ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 56- Vattani H., Keshavarz N., and Baghaei N. 2012. Effect of sprayed Soluble different levels of iron chelate Nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin88 and Virofly). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(S): 2651-2656.
- 57- Walkley A., and Black I.A. 1934. Chromic acid titration for determination of soil organic matter. *Soil Science*, 63:251.
- 58- Wang Y., Hu J., Dai Z., Li J., and Huang J. 2016. In vitro assessment of physiological changes of watermelon (*Citrullus lanatus*) upon iron oxide nanoparticles exposure. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108: 353-360.
- 59- Yousefi S., Rabhi M., Abdelly C., and Gharsalli M. 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*). *Comptes Rendus Biologies*, 332(6): 523-533.

- 60- Zuo Y., and Zhang F. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant and Soil*, 339: 83-93.



The Effect of Foliar Application of Iron Sources on Growth Parameters, Iron Concentration and Activity of Some Enzymes of Sorghum

S. Golshahi¹- A. Gholamalizadeh Ahangar^{2*}- N. Mir³- M. Ghorbani⁴

Received: 23-05-2017

Accepted: 09-10-2017

Introduction: First and the most important requirement of human being is food and food supply, which is directly, or indirectly associated with agriculture. Iron is a critical element for the growth, expansion and survival of the plant, since multiple metabolic and a physiological process is essential for the proper functioning. Agricultural areas in the world have a high pH in soil, which in turn decreases iron absorption by plants. Iron deficiency depending on many soil and environmental factors as well as plant genetic that in turns can decrease the yield and product quality. One method of overcome iron deficiency in plants is foliar application. A foliar application of iron fertilizer in agriculture is the common practice, especially in soils that accompanied with iron deficiency. The proper use of various types of fertilizers is the main solution to improve and maintaining soil fertility and increase crop production. The objective of this study is to evaluate the effect of foliar application of iron sources on growth parameters, concentration and absorption of iron in shoot and root and enzymes activity of catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (GPOX) on forage sorghum plant to determine the best combination of iron fertilizer.

Materials and Methods: An experiment was conducted in a completely randomized design with factorial arrangement and three replications in greenhouse condition on forage sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) varieties of speed feed. The treatments included two levels of iron (0.25 and 0.5 g Fe.L⁻¹ with Control (C)) from nine iron sources (Iron chelate (F1), Iron sulfate (F2), Iron oxide nanoparticles (F3), Monodisperse iron oxide nanoparticles (F4), Green nano iron (F5), Polymeric iron chelate (F6), Polymeric iron sulfate (F7), Polymeric iron oxide nanoparticles (F8) and Polymeric monodisperse iron oxide nanoparticles (F9)). The soil was obtained from educational and research greenhouses of Zabol university and after air drying and sieving passing 2 mm, some physical and chemical characteristics of soil such as texture, pH, electrical conductivity, cations exchange capacity, calcium carbonate equivalent, organic matter, total nitrogen contents, available P contents, available K contents and available Fe contents was measurement. Spraying of iron resources performed in two stages (4 leaf and the two weeks after first spraying). After two months of planting, the shoot cut from the surface of the soil and roots of the plants collected. Some parameters such as shoot and root dry weight, chlorophyll a, b and carotenoids, iron concentration in shoot and root, iron absorption in shoot and root, and activity of the enzyme (catalase, ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase) was measured. The experimental data examined using Excel and SAS 9.4 statistical software and the averages were compared using Duncan's Multiple Range Tests at 0.01 and 0.05 significance level.

Results: Results analysis of variance indicated that the interaction effects between iron resources and iron level on the dry weight of shoots and roots, chlorophyll a and b, iron absorption in shoots and roots, enzymes guaiacol peroxidase. Ascorbate peroxidase and catalase were significant at the level of 5 percent and iron concentrations in shoots and roots were significant at the level of 1 percent. The carotenoid content in leaves in the simple effects of iron resources was significant at the level of 5 percent. According to the results, foliar application of treatments on dry weight of shoots and roots, Fe concentration and Fe absorption by shoots and roots, chlorophyll a, b and the enzyme activity of APX, GPOX in addition CAT were significantly increased compared to Control. Foliar application at 0.25 g Fe.L⁻¹, chlorophyll b in the treatment of monodisperse iron oxide nanoparticles, Fe concentration and Fe absorption in the shoots in treatments of polymeric iron sulfate and polymeric iron chelate, respectively. Fe concentration and Fe absorption in the roots in treatment of polymeric monodisperse iron oxide nanoparticles and APX activity in iron chelate treatment increased significantly compared to control. At level of 0.5 g Fe.L⁻¹, dry weight of shoots in the treatment of iron chelate, dry weight of roots and CAT enzyme in the treatment of green nano iron, chlorophyll a in the treatment of polymeric iron chelate and GPOX enzyme in the treatment of monodisperse iron oxide nanoparticles were compared with the

1, 2 and 4- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Instructor in Soil Science, Soil and Water Engineering Faculty, University of Zabol, Respectively

(*- Corresponding Author Email: ahangar@uoz.ac.ir)

3- Assistant Professor in Chemistry, Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran

control increased significantly. The simple effects of iron sources indicated that the highest level of carotenoids observed in the foliar application of polymeric iron chelate.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Dry weight of shoot and root, Monodisperse iron oxide nanoparticles, Polymeric iron sulfate



بررسی توزیع بارش‌های روزانه با روش NRC (مطالعه موردی: تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد)

فاطمه بانان فردوسی^{۱*} - یعقوب دین پژوه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

چکیده

در این مطالعه، از بارش‌های روزانه ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد جهت بررسی منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC) استفاده شد. منحنی‌های بارش نرمال شده، نشان‌دهنده تغییرات درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه (X_k) به‌ازای درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش (Y_k) است. برای بررسی این منحنی‌ها، از دو مدل رایج در هیدرولوژی شامل $X_k = ay_k \exp(by_k)$ و $X_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ استفاده شد، افزون بر این، پانزده مدل دیگر (از جمله، توانی، نمایی و ...) نیز برای ایستگاه‌ها مورد آزمون واقع شد. این کار، هم برای تمامی روزهای بارانی دوره آماری و هم برای بارش‌های روزانه هر ماه به‌طور جداگانه (در هر ایستگاه) تکرار شد. از بین مدل‌های مذکور، مناسب‌ترین مدل با توجه به آماره‌های RMSE و R^2 انتخاب گردید. نتایج نشان داد که تقریباً در همه ایستگاه‌ها، مدل $X_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار R^2 را دارا بود و به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای بسط منحنی‌های بارش نرمال شده انتخاب شد. با این حال، در ماه آوریل (در تبریز) مدل نمایی سه پارامتری و در ماه اوت (در مهاباد) مدل چندجمله‌ای درجه ۴ به‌عنوان مدل مناسب انتخاب گردید. افزون بر این، اختلاف آماره R^2 این دو مدل با مشاهدات (در هر دو سری) کمتر از ۰/۰۰۱ به‌دست آمد. در پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین ماه‌های سال، دامنه تغییرات RMSE بین ۰/۲۵۵۹ میلی‌متر در آوریل (مراغه) و ۰/۶۷۰۹ میلی‌متر در آوریل (تبریز) و مقادیر R^2 بین ۰/۹۹۹۲ در اوت (مراغه) و ۰/۹۹۹۹ در آوریل (مراغه) حاصل شد. در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در نیمی از روزهای همراه با بارش، کمتر از پانزده درصد کل عمق بارش نازل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارش روزانه، توزیع زمانی و مکانی، مدل تجربی، منحنی‌های بارش نرمال شده

مقدمه

مقادیر بارش (ناشی از طوفان‌های سنگین) را در مناطق مختلف مطالعه کرد. ایشان الگوهای توزیع زمانی را برای چهار گروه احتمال (از چارک اول تا چارک چهارم) مورد مطالعه قرار داد. معلوم شد که منحنی‌های این توزیع‌ها صاف و منعکس‌کننده توزیع بارش متوسط نسبت به زمان هستند. معلوم شد که منحنی‌های مذکور در مدیریت زمانی منابع آب در منطقه مفید هستند. آنانتاکریشن و راجان (۱)، توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه را با استفاده از داده‌های بارش‌های موسمی ایستگاه ساحلی کوچین و جزیره مینی‌کوی واقع در خلیج بنگال برای دوره آماری ۱۹۸۲-۱۹۷۳، مورد مطالعه قرار دادند. ایشان از دو مدل رایج در هیدرولوژی، شامل $X_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ و $X_k = ay_k \exp(by_k)$ برای ارتباط بین درصد تجمعی بارش روزانه و درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش استفاده کردند. آنانتاکریشن و سومان (۲)، با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۵ ایستگاه هند، به تجزیه و تحلیل آماری بارش روزانه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۰۱

مطالعه جنبه‌های مختلف بارش‌های روزانه، در مدیریت علمی منابع آب هر منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. ایران به‌لحاظ قرار گرفتن در کمربند پرفشار جنب حاره، علاوه بر بارش کم، دارای رژیم بارندگی بسیار نامنظم است. بارش‌های سالانه اندک، نوسانات شدید سالانه و فصلی، کوتاه بودن دوره بارش و نزول بارش‌ها به صورت ناگهانی از ویژگی‌های بارز رژیم بارندگی کشور محسوب می‌شود (۳). استان‌های آذربایجان شرقی و غربی جزو مناطق مهم کشاورزی، به‌ویژه تولید غلات در ایران می‌باشند. بنابراین، مطالعه توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه آن‌ها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در زمینه توزیع زمانی و مکانی بارش در سطح جهانی و ایران تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. هاف (۹)، توزیع زمانی

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(*) نویسنده مسئول: (Email: fh.ferdosi71@yahoo.com)

۷۱ درصد مقدار بارش کل را شامل می‌شوند. در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف بارش‌های روزانه انجام شده است. مثلاً محمدی و جاوری (۱۵) تغییرات زمانی بارش در نه ایستگاه ایران را در دوره آماری ۱۹۹۵-۱۹۶۵ مطالعه کردند. همچنین، تغییرات مکانی و زمانی بارش توسط مدرس و داسیلوا (۱۳) در نواحی خشک و نیمه خشک ایران، محمدی (۱۴) در ۱۴۳۷ ایستگاه همدید ایران، میرعباسی و دین‌پژوه (۱۲) در شمال غرب ایران، دین‌پژوه (۸) در ایران (روند بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته) و سیاه‌چشم (۱۹) در بخش جنوبی حوضه رود ارس مطالعه شد. علی‌رغم مطالعات متعددی که راجع به جنبه‌های مختلف بارش‌های روزانه در ایران انجام شده است، به‌نظر می‌رسد که در زمینه بسط مدل توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه در ایران، مطالعه جامعی انجام نشده است. افزون بر این، در مطالعات انجام شده در زمینه توزیع زمانی بارش‌های روزانه فقط از دو مدل رایج در هیدرولوژی شامل $x_k = ay_k \exp(by_k)$ و $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ برای رسم منحنی‌های NRC استفاده شده است که در این تحقیق، علاوه بر این دو مدل مذکور، تعداد ۱۵ مدل دیگر (مطابق مندرجات جدول ۲) نیز مورد آزمون قرار گرفته‌اند که می‌توان از آن به‌عنوان نوآوری مطالعه حاضر یاد کرد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، بسط و معرفی مناسب‌ترین مدل مربوط به منحنی‌های NRC در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد می‌باشد. دانستن این که در چند درصد از زمان، چند درصد از کل بارندگی ریزش می‌کند در مدیریت علمی منابع آب ناشی از باران مهم است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران است. مساحت این حوضه، حدود ۵۷۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و ایستگاه‌های تبریز و مراغه از استان آذربایجان شرقی و ایستگاه‌های ارومیه و مهاباد از استان آذربایجان غربی، برای مطالعه انتخاب گردید. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها، در جدول ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه از بدو تأسیس ایستگاه تا سال ۲۰۱۶ از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی اخذ شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را در حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. در این مطالعه، روز بارانی، به روزی اطلاق شد که مقدار بارش در آن بیش از ۰/۱ میلی‌متر بود. بر این اساس، میانگین تعداد روزهای بارانی ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد به ترتیب، ۸۰، ۷۱، ۷۴ و ۷۵ روز در سال حاصل شد. میانگین دمای هوا در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد به ترتیب، ۱۲، ۱۲، ۱۱ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تعداد روزهای یخبندان (در یک سال) به‌طور متوسط، در

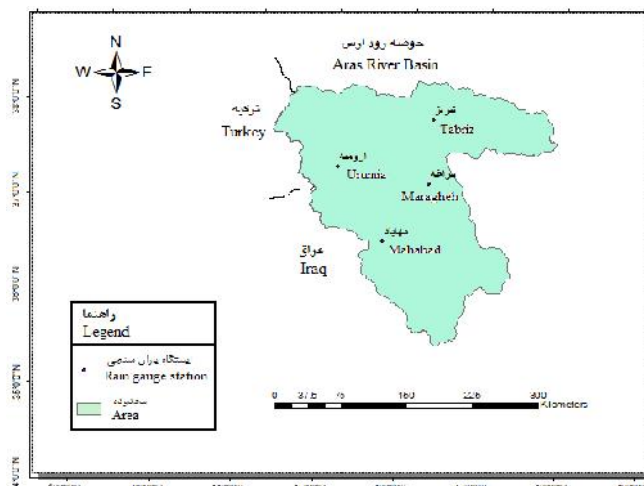
پرداختند. منحنی‌های بارش نرمال شده^۱ (NRC)، نشان‌دهنده تغییرات درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه (x_k) به‌ازای درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش (y_k) می‌باشد. ایشان با استفاده از ارتباط بین x_k و y_k ، منحنی‌های NRC را برای هر کدام از ایستگاه‌ها رسم نمودند. این دانشمندان نتیجه گرفتند که منحنی‌های NRC ابزار مفیدی برای نمایش الگوی توزیع زمانی بارندگی می‌باشد. بنابه گزارش ایشان، مدل تجربی $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ ، برای برازش منحنی‌های بارش نرمال شده بسیار مناسب است. جولایف و هوپ (۱۰)، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، به بررسی توزیع زمانی بارش در هند پرداختند. نتایج نشان داد که منحنی‌های NRC برای نشان دادن توزیع‌های زمانی و مکانی بارش مناسب هستند. بورگوئو و همکاران (۶)، داده‌های بارش روزانه را برای ۷۵ ایستگاه باران‌سنجی بارسلونا در شمال شرقی اسپانیا و در طول ۵۱ سال دوره آماری (۱۹۵۰-۲۰۰۰) مطالعه و منحنی‌های NRC را به مشاهدات بارش‌های روزانه برازش دادند. بورگوئو و همکاران (۴)، توزیع آماری بارش‌های روزانه را برای ۷۵ ایستگاه باران‌سنجی کاتالونیا در شمال شرقی اسپانیا و در طول ۵۱ سال دوره آماری (۱۹۵۰-۲۰۰۰) مطالعه نمودند و منحنی‌های NRC را به مشاهدات بارش‌های روزانه برازش دادند. لانا و همکاران (۱۱)، توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه و ماهانه را با استفاده از داده‌های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا (در شمال شرقی اسپانیا) مورد مطالعه قرار دادند. ایشان از مدل تجربی $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ برای استخراج منحنی‌های NRC استفاده کردند. بورگوئو و همکاران (۵)، توزیع آماری بارش‌های روزانه را برای دوره آماری ۵۰ سال (۱۹۵۱-۲۰۰۰) در اروپا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که برخی از ویژگی‌های مختلف جغرافیایی، بر میانگین بارش و تعداد روزهای بارانی تأثیرگذار است. ناندارجی و مالی (۱۶)، ویژگی‌های توزیع بارش‌های روزانه (از طریق ارتباط بین درصد تجمعی مقدار بارش و درصد تجمعی تعداد روزهای بارانی) را مورد مطالعه قرار دادند و منحنی‌های بارش نرمال شده مشاهداتی را از طریق مدل رایج در هیدرولوژی $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ برازش دادند. زابیتا و همکاران (۲۰)، به بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی مقدار بارش روزانه در ۴۶ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه آبریز مانتارو در پرو و در دوره آماری ۱۹۷۴-۲۰۰۴ پرداختند. نتایج نشان داد که در این منطقه بارش‌های با شدت کم در ۳۸ درصد روزهای بارانی نازل می‌شوند. این بارش‌ها تنها نه درصد مقدار کل بارش را شامل می‌شوند. در حالی که، بارش‌های با شدت زیاد در ۳۵ درصد روزهای بارانی نازل می‌شوند و

ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد به‌ترتیب، ۱۰۸، ۱۱۴، ۱۲۰ و ۹۳ روز در سال به‌دست آمد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Geographical characteristics studied stations

مشخصه Characteristic	نام ایستگاه (Station name)			
	تبریز Tabriz	ارومیه Urmia	مراغه Maragheh	مهاباد Mahabad
دوره آماری Time Period	1951-2016	1951-2016	1983-2016	1985-2016
ارتفاع (m) Altitude	1455	1332	1478	1320
عرض جغرافیایی latitude	38° 05' 00"	37° 31' 47"	37° 22' 18"	36° 45' 41"
طول جغرافیایی Longitude	46° 15' 00"	45° 02' 48"	46° 12' 18"	45° 44' 40"
متوسط بارش سالانه (mm) average annual rainfall	281.89	335.33	291.71	395.69
ضریب تغییرات سالانه annual coefficient of variation	0.0092	0.0099	0.0099	0.0097



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های منتخب در مطالعه حاضر

Figure 1- The geographical location of the Urmia Lake basin and selected stations in the present study

تجمعی تعداد روزهای بارانی (با بارش روزانه بیش از ۰/۱ میلی‌متر در این مطالعه) و a ، b و c پارامترهای مدل هستند. این پارامترها با توجه به داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه تخمین زده می‌شوند. برای یافتن مقادیر X_k در مدل‌های فوق به شرح زیر عمل شد. ابتدا مقادیر بارش‌های مشاهداتی روزانه با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز، به‌صورت صعودی، مرتب گردید. سپس سری مذکور، به‌صورت تجمعی در نظر گرفته شد. ابتدا منحنی‌های NRC هر ایستگاه، برای کل طول دوره آماری (به‌طور متوالی) رسم شد و سپس این کار به‌طور جداگانه برای یک ماه معین (مانند ژانویه) و یکایک ماه‌های سال در طول دوره

منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC)

در این مطالعه، منحنی بارش نرمال شده (NRC)، برای سری مشاهدات بارش‌های روزانه چهار ایستگاه منتخب در حوزه دریاچه ارومیه رسم شد. مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه، در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. مدل ریاضی منحنی‌های NRC، اولین بار توسط اولاسکاگا، به‌صورت مدل شماره ۱ (جدول ۲) ارائه گردید (۱۷). این مدل، در سال ۱۹۸۹ توسط آنانتاکریشن و سومان (۲) (به‌صورت مدل شماره ۲) اصلاح شد. که در آن X_k درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز)، Y_k درصد

و R^2) مطابق جدول ۳ استفاده شد. در این جدول $X_{obs,i}$ و $X_{model,i}$ به ترتیب، مقادیر مشاهداتی و محاسباتی (به دست آمده از مدل های مختلف (NRC) مندرج در جدول ۲، $\bar{X}_{obs,i}$ و $\bar{X}_{model,i}$ به ترتیب، میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی می باشند.

نتایج و بحث

بر اساس خلاصه آماری میانگین بارش های روزانه در کل روزهای دوره آماری و هریک از ماه های سال (در دوره آماری) در هر چهار ایستگاه منتخب، میانه سری بارش های روزانه در همه ایستگاه ها صفر (میلی متر) برآورد شد. به عبارت بهتر، بارش های روزانه در کل دوره آماری دارای چولگی مثبت بوده است. از طرفی، مقدار آماره مد (یا نما) برای همه سری های مورد بحث صفر (میلی متر) است. این نتیجه حاکی از واقعیتی است که تعداد مشاهدات بارش صفر میلی متر (یعنی روزهای خشک) در ایستگاه های مورد مطالعه از هر رقم دیگری بیشتر بوده است. همچنین، مقدار بارش روزانه، در ایستگاه های مذکور، از حداقل ۴۲ (میلی متر در روز) در ایستگاه مراغه تا حداکثر ۷۹ (میلی متر در روز) در ایستگاه ارومیه تغییر می کند. حداکثر مقدار بارش نازل شده در یک روز در ایستگاه مهاباد در پرباران ترین ماه سال یا آوریل (معادل ۶۸ میلی متر در روز) و در کم باران ترین ماه سال یا اوت (معادل ۶ میلی متر در روز) رخ داده است. جدول ۴ مقادیر ضریب تغییرات بارش های روزانه را در ایستگاه های مورد مطالعه نشان می دهد. نتایج با توجه به جدول مذکور حاکی از پراکنش بسیار نامنظم بارش روزانه در تمام ماه های سال (به ویژه در ماه های تابستان) می باشد. این ارقام در مقایسه با کشور اسپانیا، در مطالعه بورگوئو و همکاران (۶)، بسیار بالاتر است، زیرا در مطالعه مذکور، مقدار ضریب تغییرات بارش های روزانه بارسلونا (در شمال شرقی اسپانیا) از حداقل ۱۴۱ درصد برای ماه مارس تا حداکثر ۱۷۹ درصد برای ماه فوریه گزارش شده است که در مقایسه با منطقه مورد مطالعه بسیار اندک است. افزون بر این، ضریب تغییرات بارش های روزانه در کل سال برای منطقه مذکور ۱۶۱ درصد گزارش شده است که این رقم به ترتیب، برای ایستگاه های تبریز، ارومیه، مراغه و مهاباد معادل ۳۴۳، ۳۷۱، ۳۶۴ و ۳۵۷ درصد بود. لانا و همکاران (۱۱) نیز در مطالعه داده های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا (در شمال شرقی اسپانیا) مقدار ضریب تغییرات بارش های روزانه را در کل سال از حداقل ۹۴ درصد، برای ایستگاه تورتوسا تا حداکثر ۲۰۸ درصد، برای ایستگاه ولنیکا به دست آوردند. این رقم، برای ایستگاه های مورد مطالعه خیلی کمتر است زیرا رقم مذکور، برای تبریز ۳۴۳، برای ارومیه ۳۷۱، برای مراغه ۳۶۴ و برای مهاباد ۳۵۷ درصد است. پر واضح است که هرچه CV بارش های روزانه کمتر باشد نشان دهنده یکنواختی بارش در طول زمان (در یک سال) می باشد. بنابراین، چهار

آماره نیز به انجام رسید. در حالت اخیر، بارش های روزانه (با بارش بیش از ۰/۱ میلی متر در روز) یک ماه معین (مانند ژانویه) در سال i به طور پی در پی (در مقیاس روزانه) در یک ستون صفحه گسترده اکسل درج شد. سپس، بارش های نظیر همان ماه برای سال $i+1$ در دنباله همان داده ها درج گردید و به همین ترتیب، همه بارش های روزانه (ماه مذکور) در کل دوره آماری به طول N سال (تعداد سال های دوره آماری) در همان ستون از صفحه گسترده اکسل قرار گرفتند. به این ترتیب، برداری ستونی، با q درایه، برای ماه مورد نظر تشکیل شد که در آن q در حقیقت، تعداد روزهای بارانی در همان ماه و در طول دوره آماری می باشد.

در مرحله بعد، مقادیر بارش غیر صفر (مرتب شده به طور صعودی) در هر روز با مقدار نظیر روز ماقبل خود جمع و سپس بر مجموع بارش نازل شده در کل دوره آماری (R) تقسیم گردید. همچنین، برای یافتن مقادیر y_k ، شماره هر یک از روزهای بارانی بر کل روزهای بارانی (N) تقسیم گردید. برای محاسبه R از فرمول زیر استفاده شد:

$$R = \sum_{i=1}^N r_i \quad (1)$$

که در آن $r_1, r_2, \dots, r_N$ ، مقادیر بارش روزانه مشاهداتی غیر صفر (مرتب شده به طور صعودی) در کل N روز بارانی در کل دوره آماری مورد نظر و R عمق کل بارش های مشاهداتی در ایستگاه مورد نظر می باشد. مقادیر مشاهداتی x_k و y_k از روابط زیر محاسبه شدند:

$$x_k = \left(\sum_{i=1}^k \frac{r_i}{R} \right) \times 100, k = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$y_k = \left(\frac{k}{N} \right) \times 100, k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

که در آن x_k و y_k به ترتیب، مقادیر بارش های روزانه غیر صفر (تراکمی) در ترتیب صعودی و تعداد روزهای بارانی (تراکمی) است، که از ابتدای روز بارانی اول در دوره آماری تا روز بارانی k ام (به ترتیب صعودی و هر دو به صورت درصد) در نظر گرفته شد. برای تخمین پارامترهای a ، b و c (پارامترهای مدل های شماره ۱ و ۲ در جدول ۲) از روش بهینه سازی GRG^۱ استفاده گردید. به طوریکه، تابع هدف، به صورت جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمینه گردید. در این مطالعه، علاوه بر مدل های ۱ و ۲، تعداد ۱۵ مدل دیگر (مندرج در جدول ۲) نیز مورد آزمون واقع شدند. فرم ریاضی همه مدل های مورد مطالعه (۱۷ مدل) در جدول ۲ قابل مشاهده است.

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

در این مطالعه، از دو معیار ارزیابی عملکرد مدل (شامل RMSE

ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش، از نظر پراکنش زمانی نسبت به هفت ایستگاه اسپانیا بسیار نامنظم می‌باشد. به عبارت بهتر، در اکثر روزهای سال بارانی نازل نمی‌شود و برعکس در تعداد کمی از روزهای سال مانند بهار بارش‌ها روی می‌دهند. همچنین، ناندارجی و مالی (۱۶) در هشت ایستگاه هندوستان، ضریب تغییرات بارش‌های روزانه در ماه‌های مونسون را بین ۱۱۰ تا ۱۲۹ درصد گزارش کرده‌اند که این ارقام در مقایسه با منطقه مورد مطالعه بسیار ناچیز است. دلیل آن به اقلیم ایستگاه‌های هندوستان برمی‌گردد که بارش‌های آن به‌طور نسبتاً نامنظم در مقایسه با شمال غرب ایران نازل می‌شود. در این مطالعه، مقادیر بارش روزانه، در دامنه یک تا ۳۰ میلی‌متر (و بیشتر) و با گام‌های پنج میلی‌متری، برای هر چهار ایستگاه منتخب، کلاس-بندی شد. نتایج نشان داد که درصد فراوانی مطلق در کلاس بارش-های کمتر از یک میلی‌متر، برای تبریز ۸۷/۰۱٪، برای ارومیه

۸۷/۲۵٪، برای مراغه ۸۷/۸۷٪ و برای مهاباد ۸۶/۳۵٪ می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در این ایستگاه‌ها، بیشترین فراوانی بارندگی در کلاس کمتر از یک میلی‌متر است. همچنین، درصد فراوانی مطلق بارش‌های بین یک تا پنج میلی‌متر، در این چهار ایستگاه، هیچ‌وقت از ۸/۲٪ و درصد فراوانی مطلق بارش‌های بین پنج تا ۱۰ میلی‌متر از ۳٪ تجاوز نکرده است. در این مطالعه، درصد مقادیر مشاهداتی بارش و درصد روزهای بارانی با توجه به فرمول‌های ۱ تا ۳ محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها (NRC) رسم گردید، همچنین، مقادیر محاسباتی بارش با توجه به همه مدل‌ها (جدول ۲) محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها، همراه با مقادیر مشاهداتی در یک دیگرام رسم و مقادیر RMSE هر کدام به‌دست آمد. قابل ذکر است که به‌دلیل کثرت تعداد داده‌های آماری و نزدیک بودن مقادیر محاسبات و مشاهدات به‌هم، نمودارها تقریباً روی هم منطبق شده‌اند.

جدول ۲- مدل‌های کاندیدا برای برازش منحنی‌های NRC، در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه دریاچه ارومیه
Table 2- Candidate models to fit the NRC curves, at the selected stations located in the Urmia Lake basin

شماره مدل Model number	نام مدل Model name	مدل ریاضی Mathematical model	پارامترها Parameters
1	مدل نمایی ارائه شده توسط Olascoaga (17) Exponential model provided by Olascoaga (17)	$x_k = ay_k \exp(by_k)$	a, b
2	مدل نمایی ارائه شده توسط Soman و Ananthakrishnan (2) Exponential model provided by Ananthakrishnan and Soman (2)	$x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$	b, c
3	چند جمله‌ای درجه nام n th degree polynomial	$x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4 + \dots$	a, b, c, d, e, ...
4	Hoerl	$x = ab^y y^c$	a, b, c
5	Exponential (نمایی دو پارامتری)	$x = ae^{by}$	a, b
6	Exponential Association (3) (نمایی سه پارامتری)	$x = a(b - e^{-cy})$	a, b, c
7	Power (توانی)	$x = ay^b$	a, b
8	Modified Power (توانی اصلاح شده)	$x = ab^y$	a, b
9	Vapor Pressure (فشاربخار)	$x = e^{\frac{a+b}{y} + c \ln y}$	a, b, c
10	Geometric (هندسی)	$x = ay^{by}$	a, b
11	Harris	$x = \left(\frac{1}{a + by^c} \right)$	a, b, c
12	Gompertz	$x = ae^{-c^{b-cy}}$	a, b, c
13	Logistic	$x = \frac{a}{1 + b e^{-cy}}$	a, b, c
14	MMF	$x = \frac{ab + cy^d}{b + y^d}$	a, b, c, d
15	Weibull	$x = a - be^{-cy^d}$	a, b, c, d
16	Sinusoidal (سینوسی)	$x = a + b \cos(cy + d)$	a, b, c, d
17	Gaussian	$x = ae^{-\frac{(y-b)^2}{2c^2}}$	a, b, c

جدول ۳- آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر

Table 3- Performance evaluation criteria of used models in this study

معیار ارزیابی Evaluation Criteria	منبع Reference	فرم معادله آماره Statistic equation form
RMSE (mm)	.Dai et al (7)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}$
R^2 (بی‌بعد)	Sentelhas et al (18)	$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs,i}) \times (X_{model,i} - \bar{X}_{model,i}))^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs,i})^2 \times \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - \bar{X}_{model,i})^2}$

جدول ۴- مقادیر حداکثر و حداقل ضریب تغییرات بارش‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- The values of maximum and minimum coefficient of variation of daily precipitation in the studied stations

ایستگاه Station	تبریز Tabriz	ارومیه Urmia	مراغه Maragheh	مهاباد Mahabad
ضریب تغییرات Coefficient of variation				
حداکثر ضریب تغییرات Maximum coefficient of variation	9.47 (اوت) August	10.62 (اوت) August	15.03 (اوت) August	9.25 (اوت) August
حداقل ضریب تغییرات Minimum coefficient of variation	2.34 (آوریل) April	2.63 (آوریل) April	2.60 (آوریل) April	2.59 (مارس) March

محاسباتی از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) نشان می‌دهد. در روی این شکل‌ها، ضرایب تعیین برای مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) نشان داده شده است. به‌طوری‌که از شکل ۳ می‌توان دریافت، نمودار حاصل از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲)، هیچ انحرافی از خط نیمساز (خط ۱:۱) ندارند و به‌خوبی روی آن منطبق شده‌اند و مقدار ضریب تعیین آن‌ها به‌ترتیب، در تبریز، ارومیه، مراغه و مهاباد برابر با ۰/۹۹۹۶، ۰/۹۹۹۷، ۰/۹۹۹۶ و ۰/۹۹۹۴ به‌دست آمد و نیز مقادیر پارامترهای تخمین زده شده برای مدل شماره ۲ (مناسب‌ترین مدل) به‌همراه آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌شرح جدول ۵ به‌دست آمد. ملاحظه می‌شود که R^2 در ارومیه بیشترین مقدار (۰/۹۹۹۷) را دارد. کمترین مقدار این آماره (۰/۹۹۹۴) برای مهاباد به‌دست آمد. این در حالی است که آماره‌ی RMSE در مهاباد بیشترین مقدار (۰/۵۶۱۲ میلی‌متر) و در ارومیه کمترین مقدار (۰/۴۰۴۹ میلی‌متر) را دارد. همچنین، در این جدول، مقدار ضریب تغییرات از ۱/۴۲۶۲ (در ارومیه) تا ۱/۳۳۸۴ (در مراغه) تغییر می‌کند. قابل ذکر است که شکل‌های دیگری، مشابه با شکل‌های ۲ و ۳، برای هریک از ماه‌های سال در طول دوره آماری (با بارش‌های شروع شده از ۰/۱ میلی‌متر در روز) نیز رسم گردید. به‌عنوان نمونه، شکل‌های ۴ و ۵، نمودارهای مذکور را به‌ترتیب، برای پرباران‌ترین (آوریل) و کم باران‌ترین ماه سال (اوت) نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۴

شکل ۲، منحنی بارش نرمال شده روزانه (با شروع بارش از ۰/۱ میلی‌متر) را برای کل دوره آماری، در هر چهار ایستگاه منتخب در حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت، نمودار NRC مشاهداتی و محاسباتی (حاصل از مدل ۲) برای ایستگاه‌ها خیلی به‌هم نزدیک هستند. این نمودارها مقعر بوده و حاکی از این واقعیت است که در بیشتر اوقات سال مقدار کمی از بارش نازل می‌شود. به‌عنوان مثال، در شکل ۲-الف می‌توان مشاهده کرد که در ۲۵ درصد روزهای دوره آماری تنها ۱/۸۲ درصد بارش کل در تبریز نازل شده است. افزون بر این، در ۵۰ درصد روزهای دوره آماری فقط ۹/۴۰ درصد بارش کل نازل شده است. به‌همین ترتیب، در ۷۵ درصد اوقات، فقط ۳۰ درصد بارش کل و در ۹۰ درصد اوقات، تنها ۵۷/۵۹ درصد بارش کل نازل می‌شود. هرچه نزولات جوی در طول زمان یکنواخت‌تر باشد، تقعر منحنی NRC نیز کمتر خواهد بود، به‌طوری‌که اگر همه روزهای دوره آماری، به یک اندازه مساوی بارش داشته باشند، نمودار، حالت خطی (نیمساز) به خود می‌گیرد و هرچه نزولات جوی در طول زمان غیریکنواخت‌تر نازل شود، تقعر منحنی زیادت‌ر می‌گردد. در این مطالعه، همچنین مقادیر بارش‌های مشاهداتی حاصل شده از فرمول‌های ۱ تا ۳ در مقابل مقادیر بارش‌های محاسبه شده از مناسب‌ترین مدل (از بین ۱۷ مدل مندرج در جدول ۲) رسم گردید و ضرایب تعیین هر یک از مدل‌ها محاسبه شد. شکل ۳، مقادیر درصد بارش‌های تجمعی مشاهداتی را در مقابل مقادیر نظیر

چشم‌پندان آسان نیست. همچنین، شکل ۵، منحنی‌های بارش نرمال شده را در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) برای چهار ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

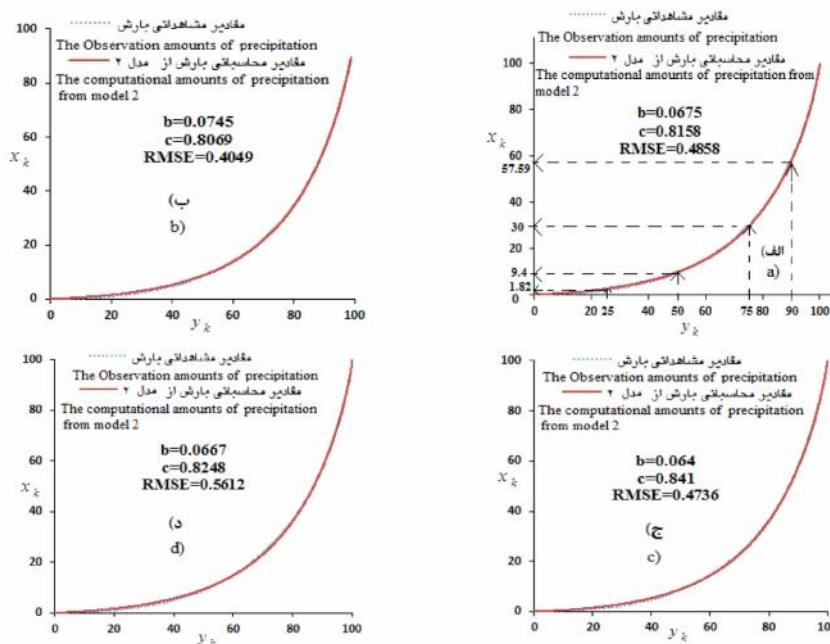
می‌توان نتیجه گرفت، در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) مدل نمایی سه پارامتری در تبریز و مدل شماره ۲ در ارومیه، مراغه و مهاباد نسبت به سایر مدل‌ها کارایی خوبی دارند و منحنی‌های مربوطه آن چنان روی نقاط مشاهدات منطبق شده است که تمیز دادن آن‌ها با

جدول ۵- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد مناسب‌ترین مدل (مدل ۲) و پارامترهای آن برای منحنی NRC در ایستگاه‌های مورد مطالعه و در کل طول دوره آماری

Table 5- The performance evaluation criteria of the most appropriate model (model 2) and its parameters for NRC curve in the selected stations in the whole time period

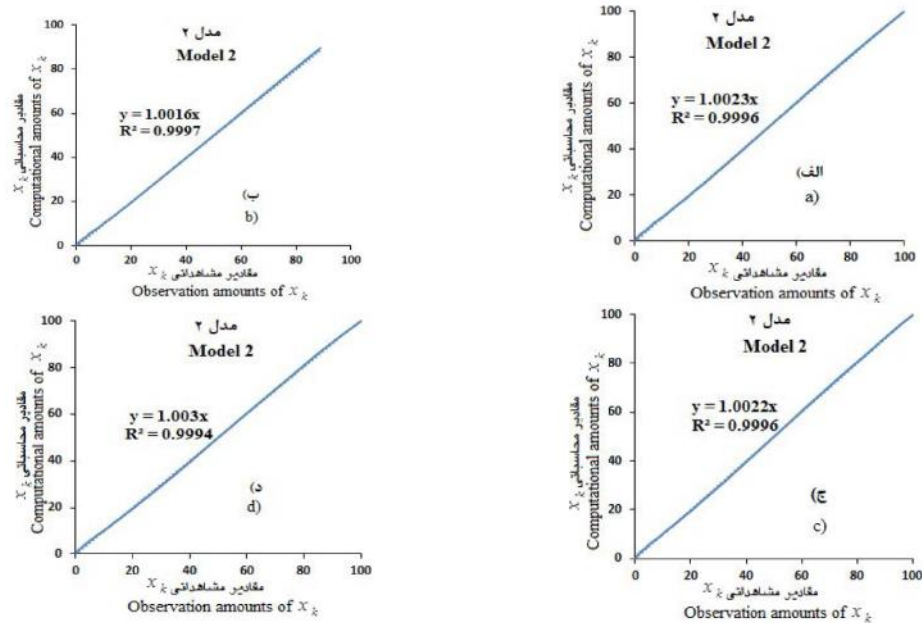
ایستگاه Station	پارامترهای مدل ۲ Model 2 parameters		R^2	RMSE (mm)	N	CV
	c	b				
تبریز Tabriz	0.8158	0.0675	0.9996	0.4858	5250	1.3470
ارومیه Urmia	0.8069	0.0745	0.9997	0.4049	4882	1.4262
مراغه Maragheh	0.841	0.064	0.9996	0.4736	2357	1.3384
مهاباد Mahabad	0.8248	0.0667	0.9994	0.5612	2366	1.3566

توجه: b و c پارامترهای مدل ۲ و N تعداد داده‌های مشاهداتی و cv ضریب تغییرات داده‌های مورد استفاده (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز) هستند
Note: b and c are parameters of the model 2 and N is the number of the observed data and cv is the coefficient of variation of data used (with rainfalls having depth at least 0.1 mm per day)



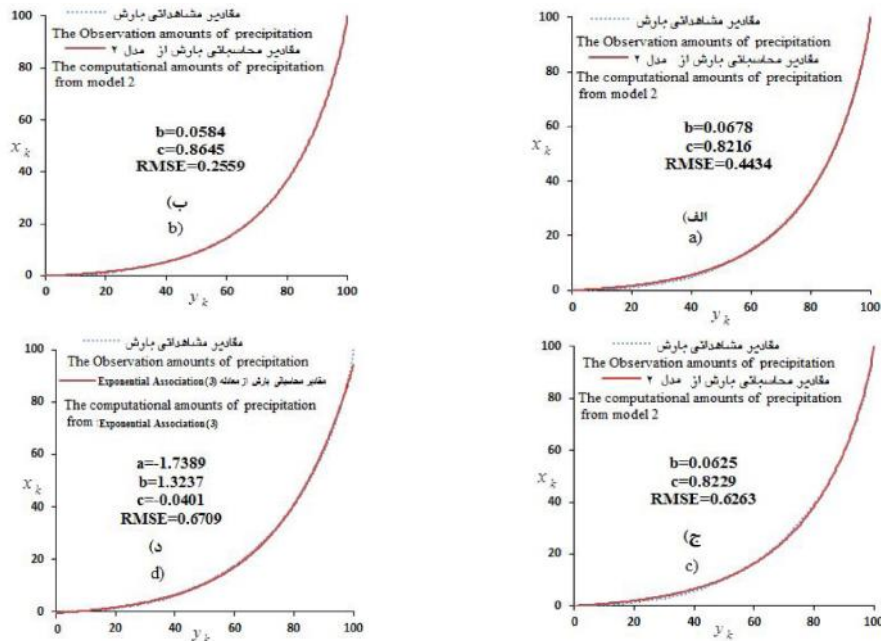
شکل ۲- منحنی‌های NRC با بارش نرمال شده روزانه (در کل دوره آماری) با حداقل عمق بارش ۰/۱ میلی‌متر و با استفاده از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) در ایستگاه‌های منتخب: الف) تبریز، ب) ارومیه، ج) مراغه و د) مهاباد

Figure 2- NRC curves with daily normalized rainfall (in the time period) with the minimum depth of precipitation of 0.1 mm and using the most appropriate model (model 2) at the selected stations: a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad



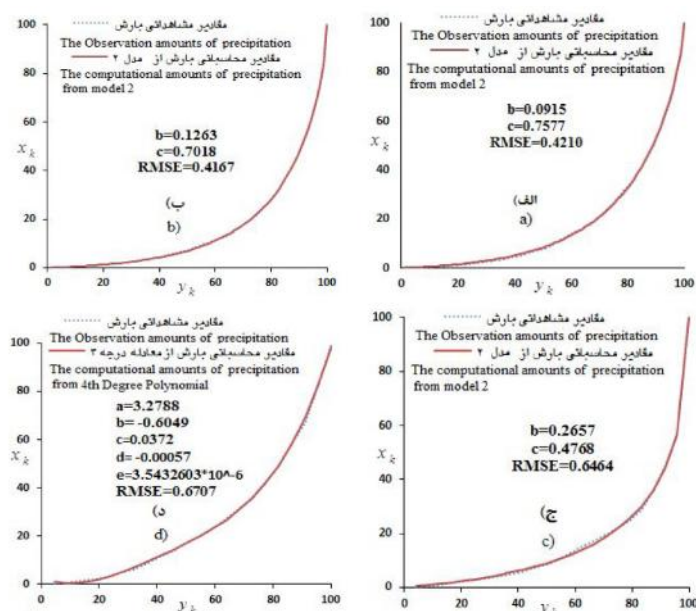
شکل ۳- نقاط پراکنش درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی و محاسباتی برای بارش‌های با حداقل عمق ۰/۱ میلی‌متر در روز و با استفاده از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) در ایستگاه‌های منتخب: الف) تبریز، ب) ارومیه، ج) مراغه و د) مهاباد

Figure 3- Scatter plot of cumulative percentage of observed and computed daily rainfalls with minimum depth of rainfall 0.1 mm per day and using the most appropriate model (model 2) at the selected stations: a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad



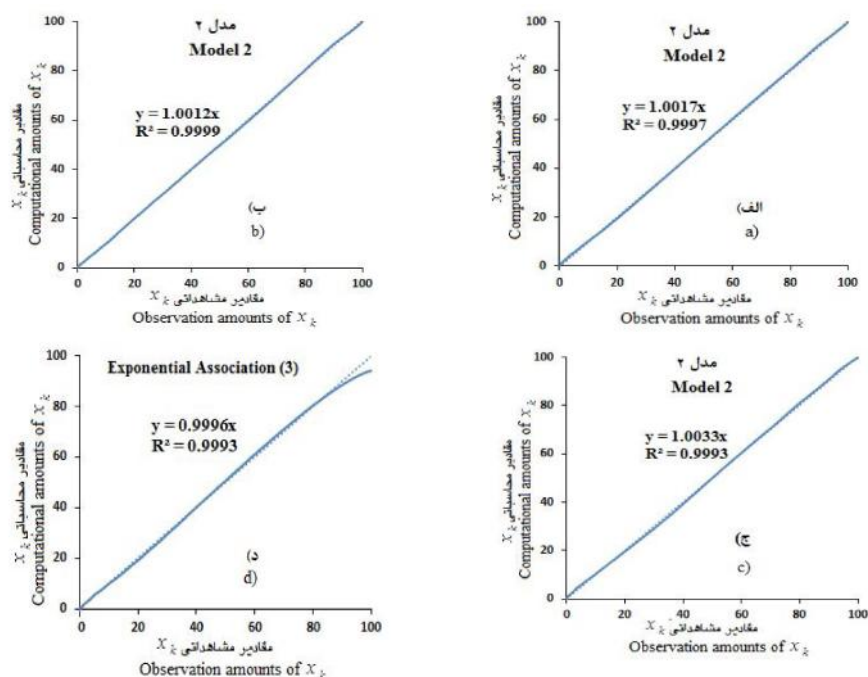
شکل ۴- منحنی‌های NRC با بارش نرمال شده روزانه در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: الف) ارومیه، ب) مراغه، ج) مهاباد و د) تبریز

Figure 4- NRC curves with daily normalized rainfall in the rainiest month of the year (April) using the most appropriate model in the studied stations: a) Urmia, b) Maragheh, c) Mahabad and d) Tabriz



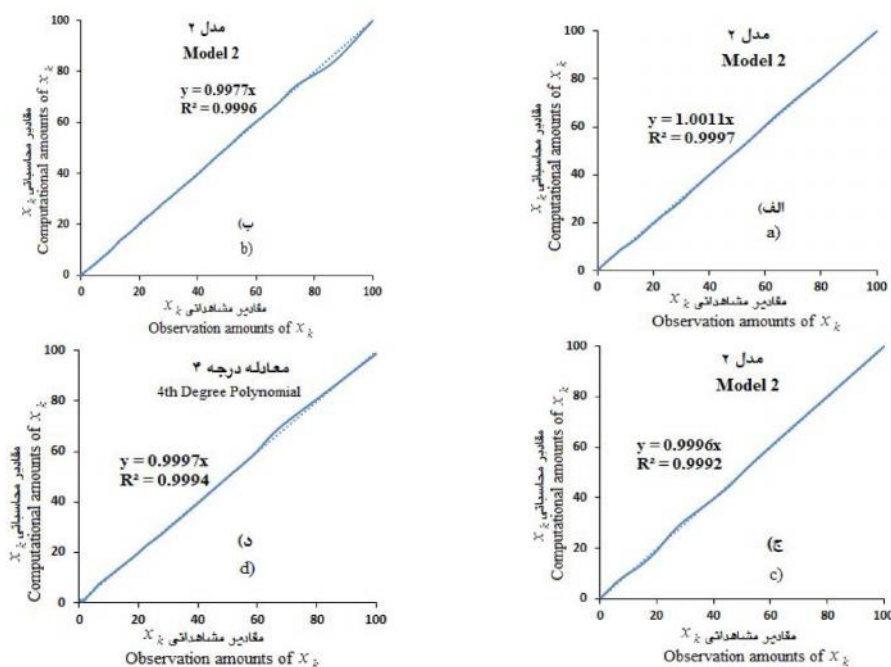
شکل ۵- منحنی‌های NRC با بارش نرمال شده روزانه در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: (الف) تبریز، (ب) ارومیه، (ج) مراغه و (د) مهاباد

Figure 5- NRC curves with daily normalized rainfall in the driest month of the year (August) using the most appropriate model in the studied stations : a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad



شکل ۶- نقاط پراکنش درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی و محاسباتی در پر باران‌ترین ماه سال (آوریل) و با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: (الف) ارومیه، (ب) مراغه، (ج) مهاباد و (د) تبریز

Figure 6- Scatter plot of cumulative percentage of observed and computed daily rainfalls in the rainiest month of the year (April) and using the most appropriate model in the studied stations: a) Urmia, b) Maragheh, c) Mahabad and d) Tabriz



شکل ۷- نقاط پراکنش درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی و محاسباتی در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: الف) تبریز، ب) ارومیه، ج) مراغه و د) مهاباد

Figure 7- Scatter plot of cumulative percentage observed and computed daily rainfalls in the driest month of the year (August) and using the most appropriate model in the studied stations: a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad

در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) از $1/7363$ (در ارومیه) تا $1/133$ (در مهاباد) تغییر می‌کند. جدول ۷، مقادیر آماره‌های ارزیابی R^2 و RMSE بارش روزانه (مشاهداتی و محاسباتی) را به ترتیب، در پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین ماه سال (برای هر چهار ایستگاه) نشان می‌دهند. با توجه به جدول مذکور، در اغلب ماه‌های مذکور (به جز ماه آوریل در ایستگاه تبریز و ماه اوت در ایستگاه مهاباد) مقدار آماره R^2 در مورد مدل ۲ بیشترین مقدار و آماره RMSE آن کمترین مقدار را دارا می‌باشد. برای همه ماه‌ها، مدل ۲ نتیجه بهتری را برای مقادیر محاسباتی بارش روزانه ارائه کرد. قابل ذکر است که در ماه آوریل در ایستگاه تبریز مدل شماره ۶ (Exponential Association (3)) و در ماه اوت در ایستگاه مهاباد مدل شماره ۳ (چندجمله‌ای درجه ۴) مناسب‌تر از مدل ۲ به دست آمده است، اما ملاحظه می‌گردد که مقدار ضریب تعیین این دو مدل فقط 0.0001 (در هر دو ایستگاه) اختلاف دارند که رقمی بسیار ناچیز و قابل اغماض است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در حالت کلی، مدل ۲ هم در مقیاس ماهانه و هم در مقیاس سالانه برای توجیه بارش‌های روزانه ایستگاه‌های منتخب مناسب تشخیص داده شد.

جدول ۸، مقادیر شاخص X_k را به‌زای y_k (معادل با ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد) در ماه‌های مختلف سال و در هر چهار ایستگاه نشان

از این شکل، می‌توان استنباط کرد که در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) مدل شماره ۳ (چندجمله‌ای درجه ۴) در مهاباد و مدل شماره ۲ در ارومیه، مراغه و تبریز، نسبت به سایر مدل‌ها، خوب عمل کرده‌اند. چنین نتیجه‌هایی برای سایر ماه‌ها نیز حاصل شد. در حالت کلی، مدل شماره ۲، برای تمام ماه‌های سال در هر چهار ایستگاه به‌عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. شکل‌های ۶ و ۷، نمودار نقاط پراکنش مقادیر X_k (حاصل از مدل) را در مقابل مقادیر نظیر مشاهداتی، برای مناسب‌ترین مدل، نشان می‌دهد. مناسب‌ترین مدل، از بین مدل‌های مندرج در جدول ۲ به ترتیب، برای پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) و کم‌باران‌ترین آن (اوت) در هر چهار ایستگاه در شکل‌های مذکور مشخص شده‌اند.

جدول ۶ مقادیر پارامترهای تخمین‌زده شده برای مدل ۲ در پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین ماه‌های سال (برای هر چهار ایستگاه) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مقادیر R^2 در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) در مراغه بیشترین مقدار (0.9999) و در تبریز کمترین مقدار (0.9992) را دارد. در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) مقدار R^2 در تبریز بیشترین (0.9997) و کمترین مقدار (0.9992) را به‌خود اختصاص داد. همچنین، در این جدول، ضریب تغییرات در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) از $1/3480$ (در ارومیه) تا $1/2343$ (در تبریز) و

نازل شده در ۹۰٪ روزهای بارانی به مقدار نظیر در ۲۵٪ روزهای بارانی ملاحظه می‌شود که در تبریز، کمترین و بیشترین مقدار این نسبت به ترتیب، مربوط به ماه‌های اکتبر (با ۲۵/۸۴ درصد) و سپتامبر (۳۸/۰۹ درصد) بود. این در حالی است که در ارومیه، ماه‌های آوریل (با ۳۲ درصد) و ژوئیه (۴۰/۴۲ درصد)، و در مراغه، ماه‌های اوت (با ۱۴/۹۰ درصد) و دسامبر (۴۳/۰۴ درصد) و بالأخره در مهاباد، ماه‌های اوت (با ۱۶/۷۷ درصد) و دسامبر (۴۵/۷۱ درصد) به ترتیب، کمترین و بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. زابیتا و همکاران (۲۰)، در یک تحلیل مشابه برای بارش‌های روزانه‌ی کشور پرو در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۷۴ نشان دادند که ۷۱٪ مقادیر بارش‌های روزانه تنها در ۳۵٪ روزهای بارانی نازل می‌شوند. نامبردگان برای ۴۶ ایستگاه پرو نشان دادند که در ۲۵٪ روزهای بارانی بین حداقل ۵۲/۷ تا حداکثر ۶۵/۷ درصد مقدار بارش نازل می‌شود که در مقایسه با یافته‌های مطالعه حاضر به مراتب بیشتر است.

می‌دهد. به طوریکه از جدول ۸ می‌توان استنباط کرد، در ۲۵ درصد روزهای بارانی، مقدار درصد بارش رسیده از کل مابین یک تا چهار درصد است. این رقم در ۵۰ درصد روزهای بارانی، مابین پنج تا ۱۶، در ۷۵ درصد روزهای بارانی، مابین ۲۰ تا ۴۰ و در ۹۰ درصد روزهای بارانی، مابین ۴۰ تا ۶۷ درصد می‌باشد. یکی از نکات مهمی که از جدول ۸ می‌توان استنتاج کرد این است که به ازای y_k معادل ۵۰ درصد، ماه‌های مختلف ارقام متفاوتی را برای x_k به خود اختصاص داده‌اند، طوری که، در تبریز کمترین مقدار x_k در ماه اوت (۷/۸۵٪) و بیشترین آن در ماه آوریل (۱۰/۷۶٪) به دست آمد. در حالی که در ارومیه، کمترین مقدار x_k در ماه ژوئیه (۶/۲۵٪) و بیشترین آن در ماه می (۹/۷۲٪)، و در مراغه، کمترین مقدار x_k در ماه ژوئیه (۵/۸۹٪) و بیشترین آن در ماه نوامبر (۱۱/۵۸٪) و بالأخره در مهاباد کمترین مقدار x_k در ماه دسامبر (۷/۳۲٪) و بیشترین آن در ماه اوت (۱۶/۹۶٪) حاصل شد. همچنین، با مقایسه‌ی نسبت مقدار عمق بارش

جدول ۶- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد و پارامترهای مناسب‌ترین مدل (مدل ۲) در ایستگاه‌های منتخب در پرباران‌ترین (ماه آوریل) و کم‌باران

ترین (ماه اوت) ماه سال برای منحنی NRC

Table 6- The performance evaluation criteria and the values of parameters of the most appropriate model (model 2) in the selected stations of the rainiest (April) and driest (August) month of the year for NRC curve

ایستگاه Station	ماه month	پارامترهای مدل ۲ Model 2 parameters		R^2	RMSE (mm)	N	CV
		b	c				
تبریز Tabriz	آوریل April	0.0537	0.8515	0.9992	0.6934	765	1.2343
	اوت August	0.0915	0.7577	0.9997	0.4210	72	1.5129
ارومیه Urmia	آوریل April	0.0678	0.8216	0.9997	0.4434	703	1.3480
	اوت August	0.1263	0.7018	0.9996	0.4167	70	1.7363
مراغه Maragheh	آوریل April	0.0584	0.8645	0.9999	0.2559	341	1.2966
	اوت August	0.2657	0.4768	0.9992	0.6464	24	2.1273
مهاباد Mahabad	آوریل April	0.0625	0.8229	0.9993	0.6263	311	1.3104
	اوت August	0.0465	0.8170	0.9993	0.7305	22	1.0133

توجه: b و c پارامترهای مدل ۲ و N تعداد داده‌های مشاهداتی و cv ضریب تغییرات داده‌های مورد استفاده (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز) هستند

Note: b and c are parameters of the model 2 and N is the number of the observed data and cv is the coefficient of variation of data used (with rainfalls having depth at least 0.1 mm per day)

جدول ۷- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل بارش روزانه به ترتیب، در پرباران‌ترین (آوریل) و کم‌باران‌ترین (اوت) ماه سال و با حداقل عمق بارش ۰/۱ میلی‌متر در روز

Table 7- The performance evaluation criteria of daily rainfall model respectively, in the rainiest (April) and driest (August) month and with minimum depth of rainfall 0.1 mm per day

ایستگاه	ماه	نام یا شماره مدل	R^2	RMSE (mm)
Station	Month	Name or Model number		
تبریز Tabriz	آوریل	Exponential Association (3)	0.9993	0.6709
	April			
	اوت	(2)	0.9997	0.4210
ارومیه Urmia	August			
	آوریل	(2)	0.9997	0.4434
	April			
مراغه Maragheh	اوت	(2)	0.9996	0.4167
	August			
	آوریل	(2)	0.9999	0.2559
مهاباد Mahabad	April			
	اوت	(2)	0.9992	0.6464
	August			
	آوریل	(2)	0.9993	0.6263
	April			
	اوت	4 th Degree Polynomial	0.9994	0.6707
	August			

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، در بررسی توزیع زمانی بارش‌های روزانه چهار ایستگاه منتخب در حوضه دریاچه ارومیه (تبریز، ارومیه، مراغه و مهاباد) با روش NRC نتایج زیر حاصل گردید:

از بین ۱۷ مدل کاندیدا، مدل شماره ۲ با داشتن بالاترین مقدار آماره‌ی R^2 ، کمترین مقدار RMSE و با فرم ریاضی $X_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$ به‌عنوان مناسب‌ترین مدل، جهت برازش منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC) در هر چهار ایستگاه و در کل دوره آماری انتخاب شد که در آن X_k درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه، y_k درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش و b و c پارامترهای مدل ۲ می‌باشند. همچنین، مدل مذکور، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای همه ماه‌ها (در هر چهار ایستگاه) انتخاب شد.

برای یکایک ایستگاه‌ها، درصد مقادیر مشاهداتی بارش و درصد روزهای بارانی (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر) محاسبه و منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC) از طریق مدل ۲ رسم گردید. این نمودارها مقعر بوده و مفهوم آن این است که در بیشتر اوقات، مقدار کمی از بارش کل نازل می‌شود و در این نمودارها، مقدار درصد بارش رسیده از کل، در هر نقطه، با شیب خط مماس بر منحنی، در همان نقطه، ارتباط مستقیم دارد. همچنین، در دو ایستگاه تبریز و ارومیه با توجه به منحنی‌های NRC، در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به

همچنین، براساس گزارش ناندارجی و مالی (۱۶)، ۵۰ درصد مقدار باران در هشت ایستگاه مورد مطالعه در هندوستان تنها در ۱۳ تا ۱۶ درصد روزهای همراه با بارش نازل می‌شود. این رقم، در مقایسه با مطالعه حاضر (حدود ۹۰ درصد) بسیار ناچیز است. قابل ذکر است که شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه ایشان با شرایط اقلیمی مطالعه حاضر بسیار متفاوت است، طوریکه، تعداد روزهای بارانی در حوضه کوپنا در هند بین ۸۸ تا ۱۰۹ روز فقط در فصل مونسون می‌باشد، در حالی که، تعداد روزهای بارانی (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر) به‌طور متوسط در تبریز ۸۰، در ارومیه ۷۴، در مراغه ۷۱ و در مهاباد ۷۵ روز در سال می‌باشد. لانا و همکاران (۱۱) نیز با استفاده از داده‌های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا در شمال شرقی اسپانیا نشان دادند که در ایستگاه ولنیکا، در ۵۰٪ روزهای بارانی، تنها هشت درصد بارش کل نازل می‌شود، این نتیجه، با یافته‌های مطالعه حاضر در تبریز، ارومیه و مراغه همخوانی دارد زیرا در ۵۰٪ روزهای بارانی بین ۷/۸۵٪ تا ۱۰/۷۶٪ بارش در تبریز، ۶/۲۵٪ تا ۹/۷۲٪ بارش در ارومیه و ۵/۸۹٪ تا ۱۱/۵۸٪ بارش کل سال نازل می‌شود. همچنین، ایشان نشان دادند که در ایستگاه توروسا در نیمی از روزهای بارانی حدود ۲۰٪ بارش کل نازل می‌شود که این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر در مهاباد تا حدودی مطابقت دارد زیرا در ۵۰٪ روزهای بارانی بین ۷/۳۲٪ تا ۱۶/۹۶٪ بارش کل نازل می‌شود.

(بیش از ۱/۰ میلی‌متر) فقط ۱۵ درصد کل بارندگی در مهاباد نازل می‌شود.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، چنین به نظر می‌رسد که توزیع زمانی بارش در روزهای مختلف سال بسیار نامنظم است. در نتیجه، مدیریت خردمندانه منابع آب قابل دسترس در حوضه آبریز دریاچه ارومیه امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. در غیر اینصورت، علاوه بر خشک شدن دریاچه ارومیه، نابودی تدریجی باغات و مزارع مورد انتظار است که ازجمله تبعات آن مهاجرت دسته‌جمعی مردم روستاها و شهرهای اطراف دریاچه برای امرار معاش به سایر نقاط ایران خواهد بود، که آن هم مشکلات متعددی خواهد داشت.

ترتیب، حدود دو، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد کل بارندگی نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در مراغه در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به ترتیب، ۲، ۱۰، ۳۵ و ۶۵ درصد کل بارندگی نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در مهاباد در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به ترتیب، سه، ۱۵، ۳۵ و ۶۵ درصد کل بارندگی نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در نیمی از روزهای همراه با بارش (بیش از ۱/۰ میلی‌متر) فقط ۱۰ درصد کل بارندگی در تبریز، ارومیه و مراغه نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در نیمی از روزهای همراه با بارش

منابع

- 1- Ananthakrishnan R., and Rajan C.K. 1987. Some features of the south-west monsoon rainfall of Cochin and Minicoy. *International Journal of Climatology*, 7:355-372.
- 2- Ananthakrishnan R., and Soman M.K. 1989. Statistical distribution of daily rainfall and its association with the coefficient of variation of rainfall series. *International Journal of Climatology*, 9:485-500.
- 3- Babaei Fini S., and Farajzadeh M. 2002. Patterns of temporal and spatial variations of rainfall in Iran. *Journal of Modarres*, 4: 51-70 (in Persian).
- 4- Burgueño A., Martinez M.D., Lana X., and Serra C. 2005. Statistical distribution of the daily rainfall regime in Catalonia (northeastern Spain) for the years 1950-2000. *International Journal of Climatology*, 25:1381-1403.
- 5- Burgueño A., Martinez M.D., Lana X., and Serra C. 2010. Statistical distributions of the daily rainfall regime in Europe for the years 1951-2000. *Theoretical and Applied Climatology*, 102:213-226.
- 6- Burgueño A., Serra C., and Lana X. 2004. Monthly and annual statistical distributions of the daily rainfall at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) for the years 1917-1999. *Theoretical and Applied Climatology*, 77:57-75.
- 7- Dai X., Shi H., Li Y., Ouyang Z., and Huo Z. 2009. Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factor. *Hydrological Processes*, 23:442-450.
- 8- Dinpashoh Y. 2014. Trend analysis of maximum 24-hour rainfall in Iran. The final report of the research project Tabriz University, Page 134 (in Persian).
- 9- Huff F.A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources*, 3(4):1007-1019.
- 10- Jolliffe I.T., and Hope P.B. 1996. Representation of daily rainfall distributions using normalized rainfall curves. *International Journal of Climatology*, 16:1157-1163.
- 11- Lana X., Burgueño A., Martinez M.D., and Serra C. 2009. A review of statistical analyses on monthly and daily rainfall in Catalonia. *Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean*, 6:15-29.
- 12- Mirabbasi R., and Dinpashoh Y. 2012. Trend analysis of rainfalls in northwest of Iran in the past half century. *Journal of Science and Irrigation Engineering*, 4 (35): 59-73 (in Persian).
- 13- Modarres R., and Dasilva V. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environment*, 70(2): 344-355.
- 14- Mohammadi B. 2011. Trend Analysis of annual rainfall in Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 3 (22): 95-106 (in Persian).
- 15- Mohammadi H., and Javeri M. 2006. Temporal variability of rainfall in Iran. *Journal of Ecology*, 32 (40): 87-100 (in Persian).
- 16- Nandargi S., and Mulye S.S. 2012. Relationships between rainy days, mean daily intensity and seasonal rainfall over the Koyna catchment during 1961-2005. *The Scientific World Journal*, doi: 10.1100/2012/894313, Page 1-10.
- 17- Olascoaga M.J. 1950. Some aspects of Argentina rainfall. *Tellus*, 2: 312-318.
- 18- Sentelhas P.C., Gillespie T.J., and Santos E.A. 2010. Methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97(5): 635-644.
- 19- Siyahcheshm A. 2015. The effect of global warming on precipitation and temperatures in the southern basin of Aras River. Master thesis of Civil engineering (hydraulic structures), Ahar Islamic Azad University (in Persian).

- 20- Zubieta R., Saavedra M., Silva Y., and Giraldez L. 2016. Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: central Andes of Peru. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(6): 1305-1318.



Investigation of Daily Rainfall Distribution Using the NRC Method (Case Study: Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad)

F. Banan Ferdosi^{1*} - Y. Dinpashoh²

Received: 30-07-2017

Accepted: 09-10-2017

Introduction: Study of various aspects of daily rainfalls is so crucial from the view of scientific management of water resources in every region. Iran is located in subtropical high-pressure belt, which had low annual rainfall. The precipitation regime is very irregular both in time and space. The East and West Azarbaijan provinces are known as the important areas of agriculture, especially cereal production in Iran. Therefore, study of temporal and spatial distribution of daily rainfalls is very important in this region. The purpose of this study is to extract the best model for normalized rainfall curves (NRC) in the four selected stations namely, Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad.

Materials and Methods: In this study, daily rainfalls of four stations namely, Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad were used to fit the normalized rainfall curves (NRC). For this purpose, the two custom hydrologic models i.e. $X_k = ay_k \exp(by_k)$ and $X_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ were employed for NRCs. In order to find the values of X_k (cumulative percentage of daily rainfalls) firstly the amount of daily rainfalls observations were arranged in ascending Order. Then, cumulative percent of rainfall calculated during the time period. The NRC curves of each station, plotted by drawing the X_k versus Y_k for a total statistical period, separately. This was done for a given month (eg, January) data across the whole period and whole day's rainfall during the consecutive months of the years of the study period. In the latter case, the daily rainfalls of the first month of the first year of the study period were written consecutively in a distinct column of Excel spreadsheets. Then, daily rainfalls of the second year were written similarly, following the first years data. Daily rainfalls of the third, fourth and so on were written consecutively in the same mentioned column of Excel spreadsheets. Similarly, another column attributed to the number of rainy days in the studied period. Then, the values of non-zero daily rainfalls (arranged in ascending order) accumulated consecutively, and the resulted value were divided to the total number of observed rainfalls in the period (R). Similarly cumulative rainy days were divided to the total days (N). Moreover, the other fifteen models (including the power, exponential ...), were tested for the stations observations separately. Among the mentioned models, the most suitable one is selected according to RMSE and R^2 criteria.

Results and Discussion: Results showed that the maximum amount of daily rainfall experienced in Mahabad station in the rainiest month of the year or April (equivalent to 68 mm per day). The minimum value of daily rainfall belonged to the August (equivalent to 6 mm per day). The shape of NRCs created in this study for period in each of the four stations, showed that these curves were concave in almost all of the cases. This implies that a small amount of rainfall fell in a long period. In addition, the results showed that nearly in all of the stations the model of $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ had the lowest value of RMSE and the largest value of R^2 . Therefore, this model selected as the most suitable one for NRCs of the stations. Although, the Exponential Association (3) model (in Tabriz) in April and the 4th degree Polynomial model (in Mahabad) in August selected as the most suitable model for them. Furthermore, the difference of R^2 statistics for the two models (at both of the time series) obtained as less than 0.0001. In the rainiest month and driest month of a year, the range of RMSE varied between 0.2559 mm in April (Maragheh) and 0.6709 mm in April (Tabriz). Moreover, the R^2 values varied between 0.9992 in August (Maragheh) and 0.9999 in April (Maragheh). In general, it can be concluded that the amount of precipitation receives in half of the rainy days is less than fifteen percent of the total rainfall depth. In this study, the values of R^2 of the most appropriate model for Tabriz, Urmia, Maragheh, Mahabad obtained as equal to 0.9996, 0.9997, 0.9996 and 0.9994, respectively.

Conclusions: Among the 17 candidate models, the model number 2 showed the highest R^2 , and the lowest

1 and 2- Master Student and Associate Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University

(*- Corresponding Author Email: fh.ferdosi71@yahoo.com)

RMSE. Therefore, the model $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ was selected as the most appropriate model for drawing NRCs. Also, the mentioned model, were selected as the most appropriate model for all the months (in the four stations). The results showed that the NRCs were concave and in most cases, a small amount of total rainfall fell during the large number of days. In addition, in the two stations namely, Tabriz and Urmia the amount of rainfall receives in the 25, 50, 75 and 90 percent of rainy days were about two, 10, 30 and 60 percent of the total rainfall depth, respectively.

Keywords: Daily rainfall, Experimental model, Normalized rainfall curves, Temporal and spatial distribution



برآورد آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E و مدل GLDAS (مطالعه موردی: حوضه‌های شمال غرب ایران)

هادی انصاری¹ - صفر معروفی^{2*}

تاریخ دریافت: 1395/08/11

تاریخ پذیرش: 1396/05/07

چکیده

آب معادل برف اطلاعات مهمی برای مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد و اخیراً مورد توجه بسیاری از محققین سنجنش از راه دور قرار گرفته است. اگرچه سعی شده است که با استفاده از مدل‌های بزرگ مقیاس جهانی، آب معادل برف تخمین زده شود، ولی اثرات منطقه‌ای مانند چگالی برف، توپوگرافی و شرایط هواشناسی محلی ممکن است به عدم قطعیت منجر شوند. در این مطالعه از داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) برای تخمین آب معادل برف روزانه در ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه‌های شمال غرب ایران (حوضه دریاچه ارومیه و غرب حوضه آبریز مازندران) در طول سال‌های آبی 85-86 الی 89-90 در تاریخ‌هایی که اندازه‌گیری برف صورت گرفته بود، استفاده گردید. دلیل انتخاب این محدوده، کوهستانی بودن، بارش زیاد برف و تراکم ایستگاه‌های برف‌سنجی نسبت به سایر مناطق کشور بود. با توجه به نتایج به دست آمده، داده‌های محاسباتی آب معادل برف همبستگی معنی‌داری در سطح 1 درصد با داده‌های مشاهداتی داشتند. استفاده از چگالی برف اندازه‌گیری شده در داده‌های AMSR-E، باعث افزایش ضریب همبستگی از میزان 0/27 به 0/55 گردید. نتایج نشان داد که بهترین تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌هایی بوده که در سطوح ارتفاعی 1350 الی 1600 متری قرار داشته‌اند و با افزایش ارتفاع، دقت تخمین به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. با استفاده از نقشه‌های آب معادل برف ماهانه مدل GLDAS، آب معادل برف ماهانه برای دوره 2000 الی 2015 برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. در اکثر سال‌ها مورد بررسی، بیشترین میزان آب معادل برف برای ماه‌های ژانویه و فوریه به دست آمد و در محدوده زمانی ژوئن تا سپتامبر، منطقه مورد مطالعه فاقد ذخیره برفی بود. با توجه به میانگین آب معادل برف سالانه و نمودارهای میانگین‌های متحرک سه، پنج و هفت ساله، میزان آب معادل برف حوضه‌های شمال غرب ایران در دوره آماری 2001-2015، روند کاهشی داشته است.

واژه‌های کلیدی: توپوگرافی، چگالی برف، ماهواره آکوا، میانگین متحرک

مقدمه

هیدرولوژیکی در طول فصل بارش و ذوب برف ضروری است. ویژگی‌های مکانی - زمانی آب معادل برف می‌تواند به‌طور غیر مستقیم از داده‌های سنجنش از دور و یا مدل‌های مختلف برآورد شود. همچنین می‌توان به‌طور مستقیم از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی آب معادل برف را به دست آورد (28).

مدل‌هایی که برای برآورد ویژگی‌های زمانی - مکانی انباشت و فرسایش برف به کار می‌رود، معمولاً بر یک سری معادلات فیزیکی تکیه دارند که موازنه جرم و انرژی را بین برف، خاک و جو محاسبه می‌کند (12). این مدل‌ها نیازمند داده‌های هواشناسی متعدد و داده‌های پارامتری مختلف می‌باشند که بسیاری از آنها به‌طور منظم اندازه‌گیری نمی‌شود و یا به راحتی قابل برآورد نیستند. اندازه‌گیری‌های زمینی آب معادل برف معمولاً در مقایسه با مدل‌های برف و یا تخمین‌های به دست آمده از داده‌های سنجنش از راه دور، از

برآورد پوشش برف و آب ذخیره شده در آن، در مطالعات تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار است. بر اساس مطالعات انجام شده، پوشش برف می‌تواند به‌طور مستقیم آب و هوا را تحت تأثیر قرار خود دهد (7). همچنین برآورد پوشش برف فصلی و دائمی و همچنین حجم آب ذخیره‌سازی شده در آن، می‌تواند بر توانایی ما، برای نظارت بر تغییرات آب و هوایی و ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی آب و هوا تأثیرگذار باشد (18). توزیع مکانی و زمانی آب معادل برف برای استفاده در مدل‌های

1 و 2 - دانشجوی دکتری و استاد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*) نویسنده مسئول:
(Email: smarofi@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.58484

دقت بیشتری برخوردار هستند. ولی مشکل اصلی اندازه‌گیری‌های زمینی این است که آنها اطلاعات کافی از توزیع مکانی برف ارائه نمی‌دهند. زیرا سایت‌های اندازه‌گیری برف به ویژه در مناطق کوهستانی که در آن میزان ذخیره برف زیاد می‌باشد، پراکنده هستند. با این وجود، روش‌های درون‌یابی از قبیل الگوهای زمین آماری، با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی برای برآورد توزیع مکانی برف به کار برده شده است. اما اشکال عمده روش‌های درون‌یابی این است که آنها به یک شبکه متراکم از اندازه‌گیری‌ها نیاز دارند و این اندازه‌گیری‌ها به طور معمول تنها از طریق برف‌سنجی‌های فشرده زمینی و معمولاً برای یک زمان و منطقه محدود صورت می‌گیرد. بنابراین استفاده از داده‌های سنجش از دور در مساحت‌های وسیع و حوضه‌های بزرگ برای تخمین آب معادل برف ضروری می‌باشد (11).

در ایران استفاده از داده‌های سنجش از راه دور برای تخمین سطح پوشش برف و کاربرد آن در مدل‌های هیدرولوژیکی توسط برخی از پژوهشگران (9، 10، 16 و 27) انجام شده است. ولی در زمینه تخمین آب معادل برف از طریق داده‌های سنجش از راه دور تقریباً کاری انجام نگرفته است گرچه برخی از محققان (3 و 31) به طور غیر مستقیم با استفاده از داده‌های سنجش از دور سطح پوشش برف و داده‌های مشاهداتی آب معادل برف ایستگاه‌های برف‌سنجی و با کاربرد روش‌هایی نظیر تیسن، آب معادل را تخمین زده‌اند. با این حال در خارج از کشور مطالعاتی در زمینه محاسبه آب معادل برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفته است.

درکسن و همکاران (11) آب معادل برف را با استفاده از تصاویر مایکروویو ویژه تخمین زدند و برای ارزیابی تخمین‌های به دست آمده از داده‌های مشاهداتی زمینی در غرب کانادا استفاده کردند. تکلی (38) با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E¹، آب معادل برف را در شرق ترکیه محاسبه کردند. برای ارزیابی آب معادل برف، برآوردی از داده‌های اندازه‌گیری زمینی طی سال 2002-2003 استفاده کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت تخمین با توجه به توپوگرافی منطقه و نوع پوشش زمین متفاوت است. تانگ و ویلی کوگنا (39) آب معادل برف را در حوضه‌ای واقع در کانادا با استفاده از داده‌های آب معادل برف سنجنده AMSR-E² ماهواره آکوا² تخمین زدند. نتایج ارزیابی نشان داد که مقدار میانگین خطای مطلق در محدوده 12 میلی‌متر در اوایل فصل زمستان تا 50 میلی‌متر در اواخر فصل زمستان متغیر می‌باشد. بیون و چوی (4) در چهار منطقه واقع در کره جنوبی آب معادل برف را با استفاده از داده‌های آب معادل برف AMSR-E تخمین زدند و با داده‌های زمینی در دوره زمانی دسامبر 2002 تا

فوریه 2011 ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که در سه منطقه تخمین بیش از مقدار واقعی بوده و بر عکس در منطقه چهارم تخمین آب معادل برف با داده‌های AMSR-E کمتر از مقادیر مشاهداتی می‌باشد. مطالعات جیانگ و همکاران (21) در چین نشان داد که تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E در مناطق جنگلی و پوشش گیاهی متراکم دارای خطای بیشتری نسبت به زمین‌های بایر و بدون پوشش گیاهی است. لیانگ و همکاران (20) در حوضه واقع در شمال غرب چین با استفاده از داده‌های AMSR-E آب معادل برف را برآورد کردند. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به ترتیب 32/87 میلی‌متر و 0/47 می‌باشد. یانگ و همکاران (43) آب معادل برف را با استفاده از داده‌های مایکروویو غیرفعال سنجنده AMSR-E در چین برآورد کردند و توپوگرافی و پوشش گیاهی را از عوامل موثر در الگوریتم بازایی آب معادل برف دانستند و نشان دادند که خطای برآورد در مناطق با پوشش گیاهی متراکم بیشتر از مناطق با پوشش گیاهی ضعیف و بدون پوشش است. زیبانشکی و فرانز (14) از داده‌های آب معادل برف AMSR-E در مدل snow17 برای شبیه‌سازی دبی در شمال آمریکا استفاده کردند. نتایج نشان داد که در حالت کلی استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E باعث بهبود شبیه‌سازی توسط مدل snow17 می‌شود. اسانفر و همکاران (33) با تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل GLDAS در کانادا نشان دادند که بیشترین خطای برآورد آب معادل برف مربوط به مناطق دارای توپوگرافی پیچیده می‌باشد.

در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه برآورد آب معادل برف به روش سنجش از دور از داده‌های مایکروویو غیر فعال استفاده شده است و آب معادل برف می‌تواند از دمای درخشندگی اندازه‌گیری شده توسط مایکروویو غیر فعال به دست آید (18). برتری امواج مایکروویو نسبت به تصاویر مرئی استقلال آنها از شرایط آب و هوایی (ابری یا صاف بودن آسمان) و روشنایی هوا می‌باشد. طولانی‌تر بودن طول موج اشعه مایکروویو باعث نفوذ آن به پوشش ابر، مه، گرد و غبار و سایر پدیده‌های جوی می‌شود و اجازه پراکندگی توسط جو را به امواج نمی‌دهد، مشکلی که برای طول موج‌های نوری کوتاه‌تر رخ می‌دهد و موجب بروز خطا در داده‌های حاصل می‌شود. این ویژگی باعث می‌شود تا تشخیص انرژی مایکروویو تقریباً در تمام شرایط آب و هوایی و زیست محیطی میسر و امکان جمع‌آوری داده‌ها در هر زمان وجود داشته باشد (37). از سال 2002 دسترسی به داده‌های آب معادل برف در سطح جهانی با استفاده از سنجنده مایکروویو ماهواره آکوا (AMSR-E) امکان‌پذیر شده است. صحت‌سنجی داده‌های آب معادل برف به دست آمده از سنجنده مایکروویو آکوا به منظور پایش و مدیریت منابع آب بسیار ضروری است (39).

1- Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System

2- Aqua

است. در جدول 1 مشخصات ایستگاه‌های برف سنجی حوضه آبریز مهاباد از زیر حوضه‌های حوضه دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی آورده شده است این داده‌ها از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردیده است.

داده‌ها و روش کار

در این مطالعه از داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E ماهواره Aqua و داده‌های 3 ساعته و ماهانه مدل سطح زمین GLDAS برای تخمین آب معادل برف استفاده شد. علاوه بر این از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در محدوده مورد مطالعه که زیر نظر وزارت نیرو می‌باشد برای ارزیابی استفاده گردید. این داده‌ها شامل عمق برف، آب معادل برف و چگالی برف می‌باشد که عمدتاً در ماه‌های دی، بهمن و اسفند اندازه‌گیری شده‌است

الف- استخراج داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E

AMSR-E یکی از سنجنده‌های ماهواره آکوا است که پرتوهای میکروویو غیرفعال را در 6 فرکانس اندازه‌گیری و ثبت می‌کند (22و26). این ابزار تشعشع میکروویو را به صورت پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی (دمای روشنایی) از فرکانس 6/9 گیگاهرتز تا 89 گیگاهرتز و تفکیک‌های مکانی مختلف از 5/4 کیلومتر در 89 گیگاهرتز تا 56 کیلومتر در 6/9 گیگاهرتز اندازه‌گیری می‌کند. این اندازه‌گیری‌ها، تخمین پارامترهای زمینی، اقیانوسی و جوی را برای بررسی‌های جهانی آب و چرخه انرژی نظیر میزان دمای سطح دریا، رطوبت خاک، سرعت باد، بخار آب و آب معادل برف فراهم می‌کند (23). عمق نفوذ مؤثر میکروویو در پشته برف معمولاً 10 الی 100 برابر طول موج بوده و بستگی به اندازه کریستال‌های برف دارد. هنگامی که طول موج بسیار بزرگتر از اندازه کریستال برف باشد (بیشتر از 5 سانتی‌متر) جذب امواج توسط پشته برف بیشتر از پراکنش امواج می‌شود یعنی جذب اثر غالب است. زمانی که طول موج در مقایسه با اندازه کریستال برف کوچکتر باشد (کوچکتر از 1 سانتی‌متر) پراکنش امواج اثر غالب می‌گردد (5).

برای استخراج آب معادل برف از پرتوهای میکروویو از الگوریتم چانگ و همکاران استفاده شده است. در این الگوریتم از گرادیان دمای روشنایی 18 و 37 گیگاهرتز برای محاسبه آب معادل برف استفاده گردیده است.

در این رابطه آب معادل برف از طریق رگرسیون گرادیان دمای روشنایی و داده‌های مشاهداتی آب معادل برف استخراج شده است (35). این رابطه به فرم زیر است (6).

هدف این تحقیق تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و داده‌های آب معادل برف مدل تلفیق داده‌های جهانی زمین (GLDAS1) و ارزیابی این داده‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های برف‌سنجی می‌باشد. علت استفاده از این داده‌ها را می‌توان تحت پوشش قراردادن محدوده جغرافیایی ایران توسط این داده‌ها، رایگان و در دسترس بودن آنها از طریق سایت ناسا دانست. استفاده از داده‌های مدل GLDAS نظیر دما، بارش و رطوبت خاک توسط محققان داخلی (3، 17 و 30) در زمینه برآورد بیلان آب و ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی انجام شده‌است ولی استفاده از داده‌های آب معادل برف مدل GLDAS به خصوص ارزیابی این داده‌ها در محدوده جغرافیایی ایران صورت نگرفته است.

در این مطالعه منظور از عدم قطعیت، تأثیری است که عواملی مانند چگالی برف و توپوگرافی می‌توانند بر دقت تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌ای ذکر شده (داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و مدل GLDAS داشته باشند. لذا در این تحقیق برای اینکه اثر چگالی در محاسبه آب معادل برف از داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا مشخص شود، از داده‌های چگالی برف مشاهداتی که همزمان با آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید. برای بررسی اثر توپوگرافی بر تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی، ایستگاه‌ها در چهار کلاس ارتفاعی تفکیک شدند و ارزیابی داده‌های مشاهداتی و داده‌های محاسباتی در هر کلاس ارتفاعی انجام شد تا تأثیر عوامل توپوگرافی و چگالی برف بر دقت برآورد آب معادل برف مشخص شود.

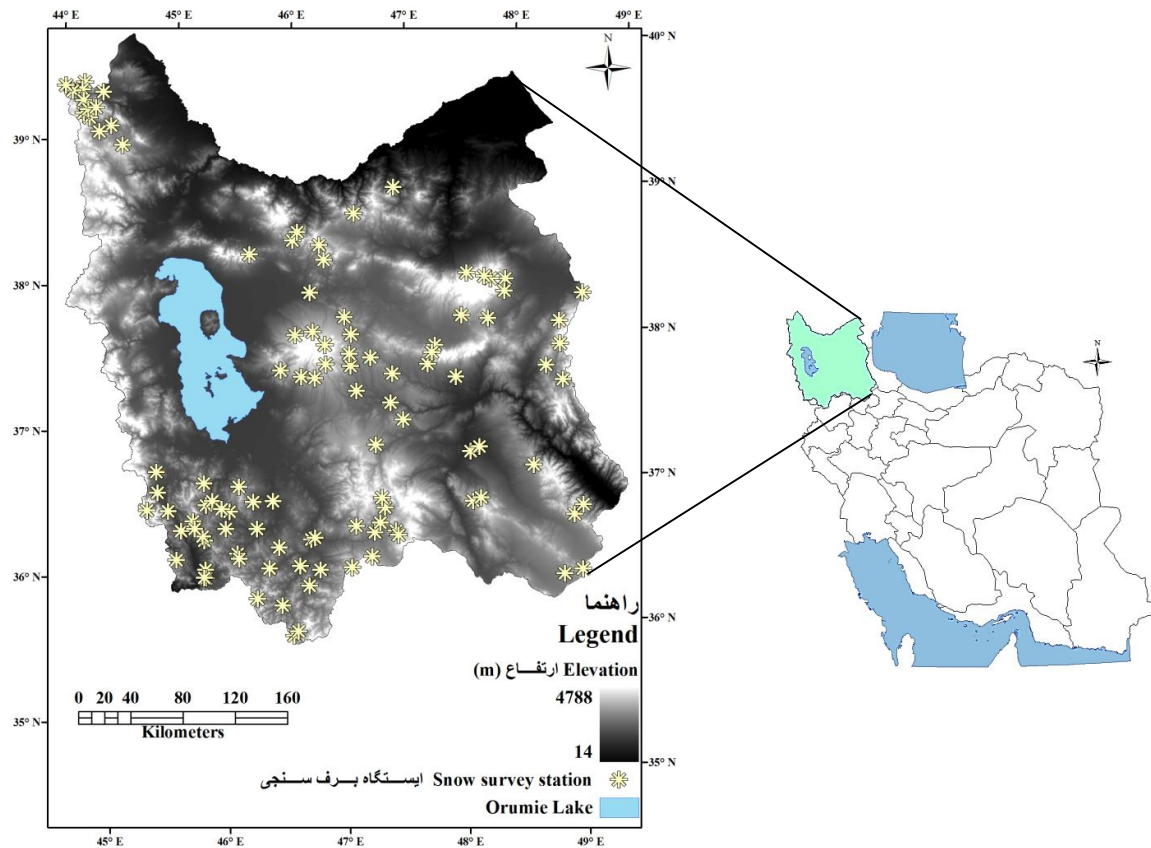
منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه برای اینکه داده‌های برف‌سنجی کافی جهت ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای در دسترس باشد، سعی گردید که محدوده مورد مطالعه وسیع در نظر گرفته شود، لذا حوضه آبریز دریاچه ارومیه و بخش غربی حوضه دریای مازندران به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شد. این محدوده شامل استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و قسمت شمالی استان کردستان می‌باشد. دلیل انتخاب این محدوده، کوهستانی بودن و بارش زیاد برف در این منطقه بوده است. همچنین این منطقه نسبت به سایر مناطق کشور، دارای ایستگاه‌های برف‌سنجی متراکم‌تر و به تعداد 110 ایستگاه می‌باشد. این محدوده در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}59'43''$ تا $28^{\circ}14'49''$ طول شرقی و $35^{\circ}48'43''$ تا $10^{\circ}44'39''$ عرض شمالی قرار دارد. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقشه رقمی ارتفاعی در شکل 1 نشان داده شده

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های برف سنجی حوزه آبریز مهاباد

Table 1- Snow survey stations Characteristics of Mahabad basin

ایستگاه Station	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (متر) Elevation (m)
Mazrae مزرعه	45° 35'	36° 35'	1500
Afan آفان	45° 38'	36° 05'	1500
Pagardan پاگردان	45° 38'	36° 37'	1600
Gakesh Olia گاکش علیا	45° 29'	36° 28'	1700
Agasoor آقاسور	45° 37'	36° 05'	1720
Kamem کامم	45° 43'	36° 34'	1750
Khatolras خط الراس	45° 05'	36° 31'	1750
khalife خلیفه	45° 33'	36° 44'	1910
Jandaran جانداران	45° 30'	36° 25'	1850



شکل 1- موقعیت محدوده مطالعاتی و ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در آن

Figure 1- Location of the study area and snow survey stations

$$SWE = 4.8 (T_{BH} - T_{37H})$$

(3)

در این روابط داریم:

$$SD = 1.59 (T_{BH} - T_{37H})$$

(1)

$$SWE = SD \times 10 \text{ Snow Density}$$

(2)

NOAA تولید شده و از سال 2000 تا حال حاضر را پوشش می‌دهد. تکنیک زمانی محصولات GLDAS، 3 ساعته است که فرآورده‌های ماهانه نیز از طریق میانگین‌گیری از محصولات 3 ساعته تولید می‌شوند (15).

در این مطالعه داده‌های آب معادل برف 3 ساعته با وضوح 0/25 درجه و فرمت netCDF از سایت Giovanni دانلود شد. این داده‌ها در محیط Arcmap و با میانگین‌گیری به داده‌های روزانه تبدیل شد. از این داده‌های روزانه برای تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی استفاده شد. بعد از ارزیابی داده‌های مدل GLDAS با داده‌های مشاهداتی روزانه، از داده‌های ماهانه مدل برای تخمین حجم آب معادل برف در 16 سال اخیر استفاده گردید.

برای ارزیابی تخمین‌های به دست‌آمده آب معادل برف با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های برف‌سنجی از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE2) و ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده گردید (24).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [E_i - O_i]^2}{n}} \quad (3)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}} \quad (4)$$

که در این روابط n تعداد داده‌ها، O_i مقدار مشاهده‌ای، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای، E_i مقدار برآوردی و $\bar{E}$ میانگین مقادیر برآوردی می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از پردازش داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکووا و مدل GLDAS با نرم افزارهای مربوطه، آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی تخمین زده شد و با داده‌های مشاهداتی این ایستگاه‌ها مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در شکل 2 آمده است.

با توجه به شکل 2 و معیارهای ارزیابی محاسبه شده و سطح معنی‌داری (1 درصد) داده‌های مشاهداتی و محاسباتی، تخمین آب معادل برف در محدوده مطالعاتی نسبت به برخی از مطالعات انجام شده (8 و 24) با داده‌های سنجنده AMSR-E، از دقت نسبتاً پایین‌تری برخوردار است.

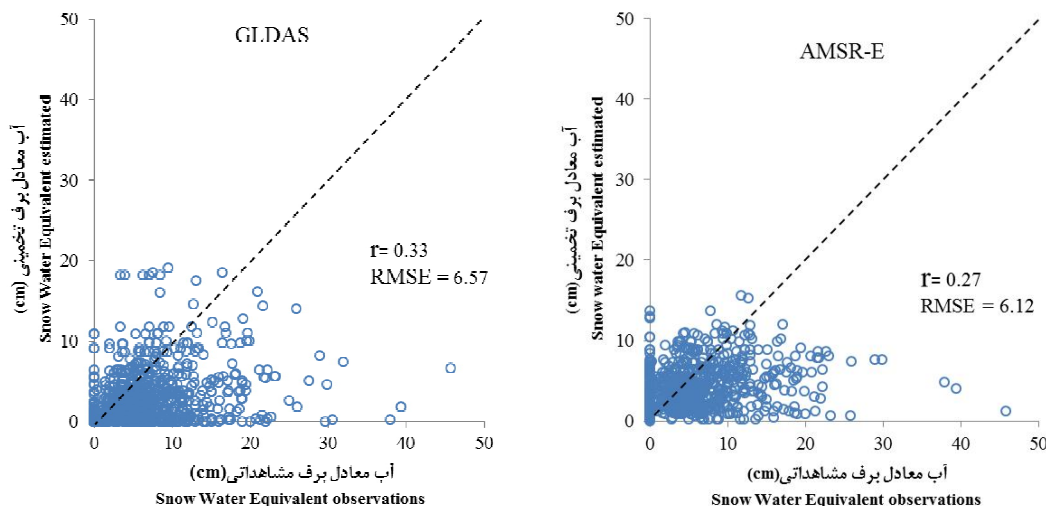
T_{37H} و T_{18H} مقادیر دمای روشنایی (درخشندگی) در فرکانس‌های 18 و 37 گیگاهرتز پلاریزاسیون افقی، SD عمق برف بر حسب سانتی‌متر، Snow Density چگالی برف که معمولاً برابر 0/3 گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد، که از طریق میانگین‌گیری داده‌های اندازه‌گیری شده چگالی برف شمال کانادا و روسیه به دست آمده است و SWE نیز آب معادل برف بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

پس از بازیابی آب معادل برف با استفاده از الگوریتم ذکر شده، داده‌ها به صورت رقومی با اندازه شبکه سلولی 25 کیلومتر و با فرمت HDF-EOS¹ ذخیره شده‌است. مقادیر 0 - 240 ارزش پیکسل برای آب معادل برف بر حسب میلی‌متر می‌باشد. از آنجا که مقادیر واقعی آب معادل برف برای ذخیره‌سازی بر عامل 2 تقسیم شده است، در نتیجه برای استفاده، آنها باید در عدد 2 ضرب شوند (42). برای استفاده از نقشه‌های رقومی شده آب معادل برف، این داده‌ها باید زمین مرجع شوند. بدین منظور از نرم افزار HEGTool استفاده شد. بعد از زمین مرجع کردن نقشه‌های آب معادل برف، این نقشه‌ها در محیط Arcmap بر روی لایه ایستگاه‌های برف‌سنجی محدوده مورد مطالعه اضافه شد و آب معادل برف برای تمام ایستگاه‌ها در طول سال‌های آبی 85-86 الی 89-90 در تاریخ‌هایی که اندازه‌گیری برف صورت گرفته بود، از نقشه‌های روزانه استخراج گردید.

ب- استخراج داده‌های مدل جهانی سطح زمین (GLDAS)

GLDAS یک مدل همانندسازی داده‌های جهانی است که از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی زمینی، با کاربرد مدل‌سازی پیشرفته سطح زمین و تکنیک همانندسازی داده‌ها، یک سری از داده‌های وضعیت سطح زمین نظیر رطوبت خاک، دمای سطح، آب معادل برف، ذوب برف و تبخیر را ارائه می‌نماید. (32). این مدل، کار مشترک بین سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوسی و جو (NOAA) و مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیط زیست (NCEP) می‌باشد. داده‌های خروجی GLDAS در قالب چهار مدل سطح زمین (CLM, Mosaic, Noah and VIC) می‌باشد. از ویژگی‌های این مدل تولید مقدار زیادی از داده‌ها با پوشش جهانی، در چند مدل متفاوت در زمان کوتاه است.

این محصولات در مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات هیدرولوژی (HDISC) و مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات علوم زمین گودارد ناسا (GES DISC) در دسترس هستند. تولیدات مدل GLDAS شامل دو مجموعه از داده می‌باشد. سری اول شامل داده‌های با وضوح 1 درجه است که از سال 1979 تا حال حاضر را پوشش می‌دهد. سری دوم مجموعه‌ای از داده‌ها با وضوح 0/25 درجه می‌باشد که از مدل



شکل 2- مقایسه آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی
Figure 2- Compare snow water equivalent (SWE) measurements and computational

بطور کلی با افزایش عمق و همچنین فرآیند فصلی ذخیره سازی، چگالی برف افزایش (محدوده از 200 تا 400 کیلوگرم بر متر مکعب) می یابد (19)

لذا در این تحقیق برای اینکه اثر چگالی در محاسبه آب معادل برف از داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا مشخص شود، از داده‌های چگالی برف مشاهداتی که همزمان با آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید. بدین صورت که داده‌های محاسباتی به دست آمده از نقشه‌های آب معادل برف برای ایستگاه‌های برف‌سنجی بر 0.3 g/cm^3 (چگالی برف در الگوریتم محاسبه آب معادل برف) تقسیم و در چگالی برف اندازه‌گیری شده ایستگاه در تاریخ مربوطه ضرب شد. در شکل 3 نمودار و معیار ارزیابی آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی پس از اعمال چگالی برف مشاهداتی در داده‌های AMSR-E آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه چگالی برف اندازه‌گیری شده محدوده مورد مطالعه در تخمین آب معادل برف حاصل از داده‌های AMSR-E دارد. تکلی (31) در شرق ترکیه و بیون و چوی (4) در کره جنوبی نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند و چگالی برف را عامل تأثیرگذاری در الگوریتم ارزیابی آب معادل برف داده‌های AMSR-E دانستند.

ب- اثر توپوگرافی بر دقت تخمین آب معادل برف

عواملی نظیر ناهمواریها، پوشش زمین و تغییرات قابل توجه در خواص برف باعث خطای برآورد آب معادل برف در مناطق کوهستانی

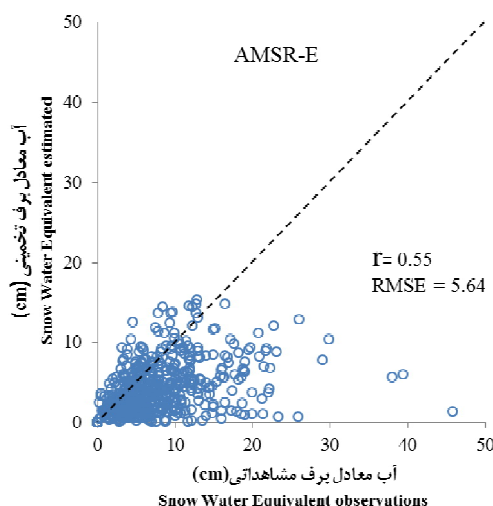
علت این امر می‌تواند ناشی از خطای زمین مرجع کردن نقشه‌های آب معادل برف، خطا در چگالی برف به کار رفته برای محاسبه آب معادل برف، خطا در مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های برف‌سنجی و خطای مربوط به اندازه‌گیری آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی باشد. خطای زمین مرجع به ویژه برای ایستگاه‌هایی که نزدیک مرز پیکسل‌های نقشه‌های آب معادل برف قرار دارند می‌تواند باعث تخمین نادرست آب معادل برف در این نقاط گردد. در مورد خطای اندازه‌گیری، چون به اذعان کارشناسان مطالعات آب‌های سطحی وزارت نیرو در برخی مواقع که برف در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی موجود نبوده و یا قابلیت اندازه‌گیری نداشته، اندازه‌گیری برف در اطراف ایستگاه و با فاصله نامعین از نقطه مربوطه صورت گرفته است و این امر می‌تواند باعث ناهمخوانی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی گردد.

الف- اثر چگالی بر دقت تخمین آب معادل برف

چگالی برف تأثیر زیادی بر ارزیابی آب معادل برف از داده مایکروویو سنجنده AMSR-E دارد (36 و 38). در الگوریتم بکار رفته برای ارزیابی آب معادل برف از داده‌های مایکروویو، از میانگین داده‌های مشاهداتی چگالی برف شمال کانادا و روسیه و مقدار ثابت 0.3 g/cm^3 گرم در سانتی متر مکعب برای محاسبه آب معادل برف استفاده شده است. در صورتی که چگالی برف نسبت به زمان و مکان می‌تواند متغیر باشد. برف تازه اغلب از چگالی کم (حتی کمتر از 100 کیلوگرم بر متر مکعب) برخوردار است با انباشته شدن برف‌ها بر روی یکدیگر و

داده‌های مایکروویو غیرفعال در مناطقی که عمق برف زیاد است، وجود دارد که یک آستانه تقریبی 150 میلی‌متر برای آن گزارش شده و مناطق کوهستانی به طور معمول بیشتر از این مقدار برف دریافت می‌کنند (13).

می‌شود. سیگنال‌های مایکروویو دریافت شده توسط سنسور ماهواره در مناطق مرتفع به علت تغییرات زیاد ارتفاع زمین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (29). علاوه بر این، عمق نفوذ امواج مایکروویو محدود است به عبارت دیگر محدودیت‌هایی برای تخمین آب معادل برف از



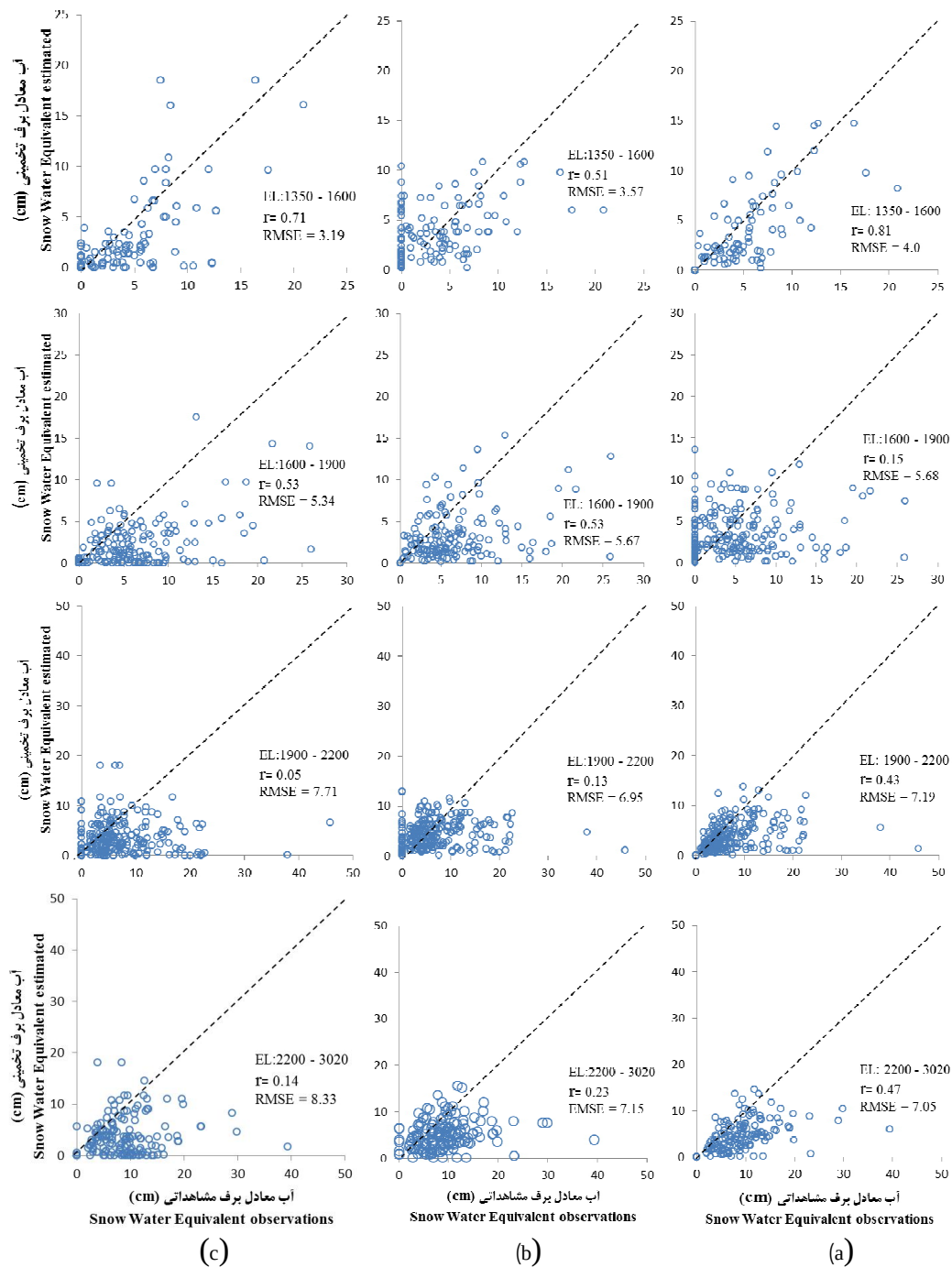
شکل 3- مقایسه آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی پس از اعمال چگالی برف مشاهداتی در داده‌های AMSR-E
Figure 3- Compare SWE measurements and computational after applied snow density observations in the AMSR-E data

در کلاس ارتفاعی 1600 الی 1900 قرار داشتند نیز دارای نتایج قابل قبولی بوده و تخمین مناسبی از آب معادل برف در این ایستگاه‌ها صورت گرفته است. ولی با زیاد شدن ارتفاع در کلاس‌های ارتفاعی بعدی (2200-1900 و 3020-2200)، تخمین آب معادل برف با توجه به معیارهای ارزیابی برای ایستگاه‌هایی که در این دو کلاس ارتفاعی قرار داشته‌اند از دقت پایینی برخوردار بوده است. نتایج مطالعات آندردیس و لتن‌مایر (2) و لی و همکاران (25) نیز نشان داد که با افزایش ارتفاع دقت تخمین به‌طور قابل توجهی پایین آمده است.

ج- تخمین آب معادل برف ماهانه در منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش برای برآورد آب معادل برف به صورت ماهانه در منطقه مورد مطالعه از داده‌های ماهانه آب معادل برف مدل GLDAS استفاده گردید. دلیل انتخاب این داده‌ها دقت نسبتاً بالای داده‌های روزانه این مدل نسبت به داده‌های سنجنده AMSR-E بود که داده‌های ماهانه هم از میانگین‌گیری داده‌های روزانه بدست آمده است. لذا از داده‌های ماهانه GLDAS برای تخمین آب معادل برف ماهانه محدوده مطالعاتی برای دوره 2000 الی 2015 استفاده شد.

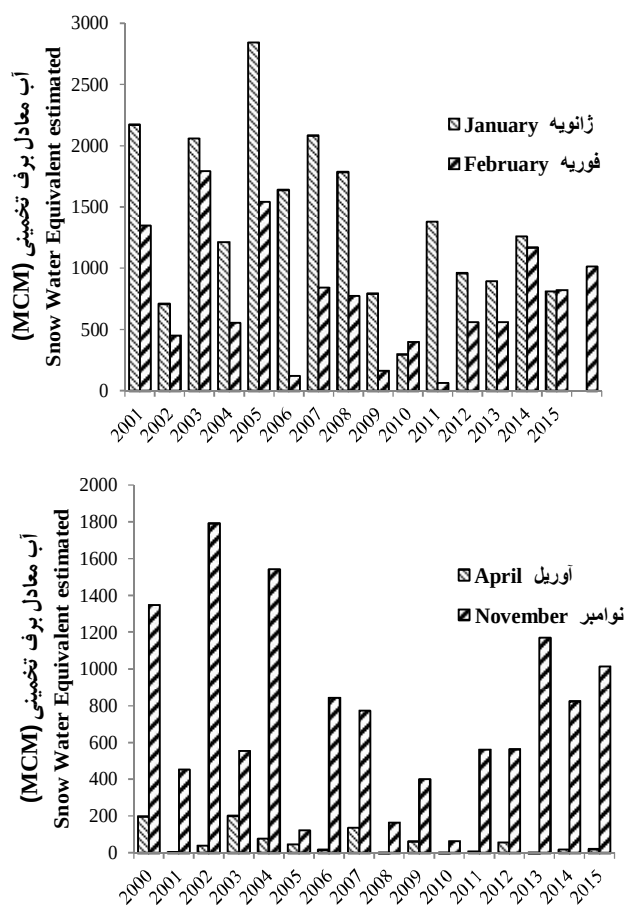
بنابراین دقت نقشه‌های آب معادل برف تابع توپوگرافی و نوع پوشش زمین می‌باشد (12 و 15). با توجه به اینکه تخمین آب معادل برف در مناطق کوهستانی که دارای تغییرات ارتفاع و شیب زیاد می‌باشد از دقت کمی برخوردار است. این امر در تولیدات آب معادل برف اژانس فضایی اروپا (ESA1) نیز مشهود است و این تولیدات با وجود تخمین مناسب آب معادل برف در نیمکره شمالی زمین، در مناطق کوهستانی به ویژه مناطق مرتفع فاقد تخمین این پارامتر می‌باشند (7). از این روی، در این مطالعه برای اینکه اثر ارتفاع بر تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی به وسیله نقشه‌های آب معادل برف مشخص شود، ایستگاه‌ها به ترتیب ارتفاع مرتب شده و در چهار کلاس ارتفاعی طوری تفکیک شدند که داده‌های مشاهداتی کافی برای ارزیابی داده‌های محاسباتی در هر کلاس ارتفاعی وجود داشته باشد. در شکل 4 نمودارها و معیارهای ارزیابی تولیدات آب معادل برف مدل GLDAS، سنجنده AMSR-E و AMSR-E با اعمال چگالی برف مشاهداتی، در 4 کلاس ارتفاعی آورده شده است. بر اساس این شکل، بهترین تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌هایی بوده که در ارتفاع 1350 الی 1600 متری قرار داشته‌اند. بعد از کلاس ارتفاعی اول (1350-1600)، ایستگاه‌هایی که



شکل 4- مقایسه آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی، (a): داده‌های AMSR-E پس از اعمال چگالی برف، (b): داده‌های AMSR-E، (c): داده‌های GLDAS

Figure 4- Compare SWE measurements and computational, (a): AMSR-E data after the imposition of the observations snow density, (b): AMSR-E data, (c): GLDAS data.

نمودار ستونی حجم آب معادل برف منطقه مطالعاتی از مارس سال 2000 الی دسامبر سال 2015 (در ماه‌های دارای ذخیره برفی) آورده شده است.



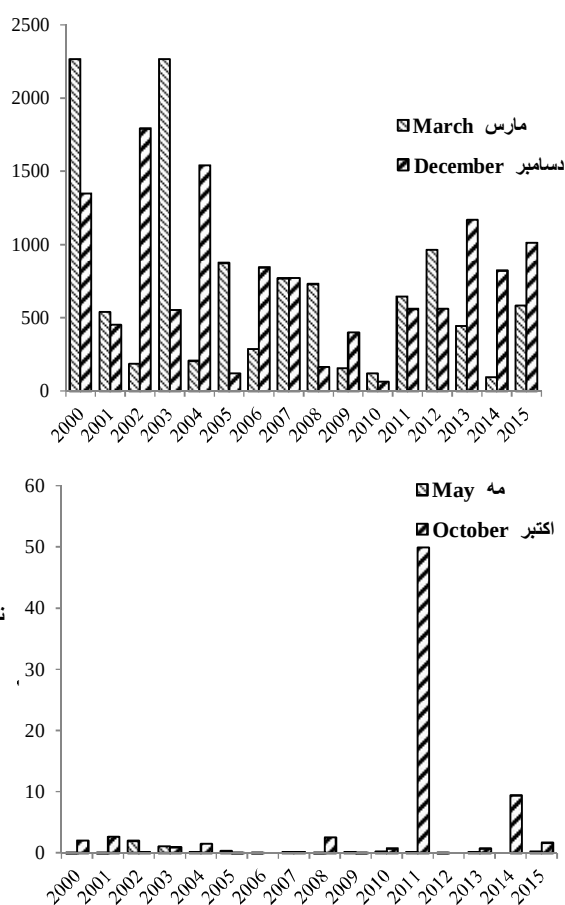
شکل 5- آب معادل برف ماهانه به دست آمده با استفاده از نقشه‌های آب معادل برف ماهانه مدل GLDAS
Figure 5- SWE Monthly derived using the monthly SWE maps, model GLDAS

منطقه مطالعاتی فاقد ذخیره برفی بوده که با توجه به شرایط هواشناختی محل مورد مطالعه، منطقی به نظر می‌رسد.

د - روند تغییرات آب معادل برف سالانه

جهت بررسی تغییرات آب معادل برف در دوره زمانی 2001 الی 2015، با میانگین‌گیری از داده‌های ماهانه هر سال، میانگین آب معادل برف سالانه به دست آمد. برای اینکه روند تغییرات آب معادل برف در این دوره زمانی مشهود باشد، از داده‌های سالانه به دست آمده، میانگین‌های متحرک 3، 5 و 7 ساله تهیه گردید. در شکل 6

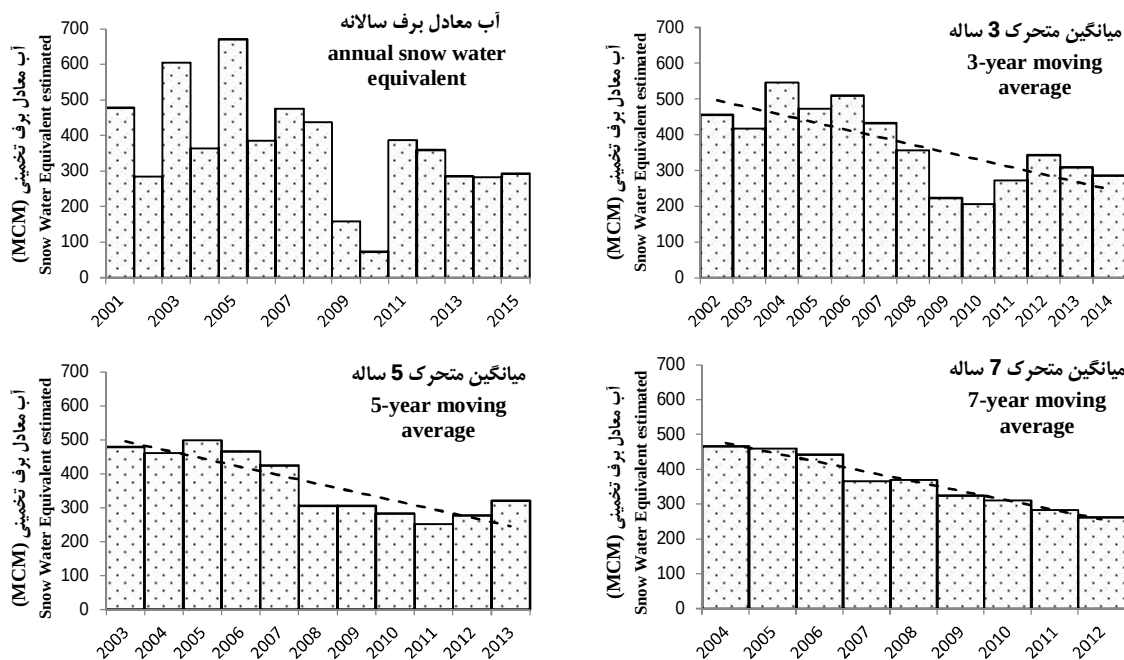
با استفاده از نقشه‌های آب معادل برف و نقشه پلی‌گون منطقه (در محیط نرم افزار Arcmap)، میزان آب معادل برف برحسب میلیون متر مکعب برای همه ماه‌های دوره مذکور محاسبه شد. در شکل 5



با توجه به شکل 5 بیشترین میزان آب معادل برف در اکثر سال‌ها متعلق به ماه‌های ژانویه و فوریه می‌باشد و ماه فوریه سال 2005 بیشترین میزان آب معادل برف را در این دوره 16 ساله به میزان 4063 میلیون متر مکعب دارا می‌باشد. با توجه به اینکه ماه‌های ژانویه و فوریه میلادی که تقریباً معادل ماه‌های دی و بهمن سال شمسی می‌باشد و بیشترین بارش برف و ماندگاری آن در این منطقه متعلق به این دو ماه است، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نتایج به دست آمده با شرایط واقعی منطقه هم‌خوانی دارد. ضمناً با توجه به نتایج به دست آمده در اکثر سال‌ها در محدوده زمانی اواخر خرداد تا اوایل مهر ماه

آب معادل برف سالانه مربوط به سال 2005 به میزان 699 میلیون متر مکعب و کمترین به میزان 73 میلیون متر مکعب مربوط به سال 2010 می‌باشد.

نمودار ستونی آب معادل برف سالانه به همراه نمودارهای میانگین‌های متحرک 3، 5 و 7 ساله در بازه زمانی 2001 الی 2015 آورده شده است. با توجه به نمودار آب معادل برف سالانه، بیشترین



شکل 6- نمودار ستونی میانگین آب معادل برف سالانه به همراه نمودارهای میانگین متحرک 3، 5 و 7 ساله

Figure 6- Histogram average annual SWE and moving averages 3, 5 and 7 years old

گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که داده‌های محاسباتی آب معادل برف همبستگی معنی‌داری در سطح 1 درصد با داده‌های مشاهداتی داشته و تخمین آب معادل برف با این داده‌ها قابل اطمینان است. با این حال، عواملی نظیر توپوگرافی و چگالی برف دقت تخمین این داده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در الگوریتم بازیابی آب معادل برف از داده‌های میکروویو سنجنده AMSR-E، چگالی برف به عنوان داده فرعی مورد استفاده قرار گرفته است ولی با این وجود، چگالی برف دقت تخمین را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. می‌توان الگوریتم بازیابی این داده‌ها را با استفاده از داده‌های مشاهداتی چگالی برف که در گام‌های زمانی کوتاه مدت (مثلاً روزانه، هفتگی یا 10 روزه) در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده کالیبره کرد و با استفاده از این الگوریتم‌های منطقه‌ای برآوردهای دقیق‌تری از آب معادل برف به دست آورد.

تفکیک ایستگاه‌های برف‌سنجی در 4 کلاس ارتفاعی و ارزیابی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی آب معادل برف نشان داد که ارتفاع عامل تأثیرگذاری بر تخمین آب معادل برف تولیدات سنجنده AMSR-E و مدل GLDAS می‌باشد و با افزایش ارتفاع، دقت

همان‌طور که از نمودارهای میانگین متحرک سالانه به خصوص میانگین متحرک 7 ساله مشهود است، در دوره زمانی مورد بررسی، میزان آب معادل برف در این محدوده مطالعاتی روندی کاهشی داشته است. این امر می‌تواند به دلیل افزایش دما در این دوره زمانی و به طبع آن تأثیر این افزایش دما بر کاهش نزولات جوی به صورت برف و حتی افزایش سرعت ذوب برف در این منطقه باشد.

نتیجه‌گیری کلی

داده‌های مختلف سنجنش از راه دور برف به طور گسترده‌ای در مناطق سردسیر برای تعیین روابط بین توزیع برف، دبی رودخانه، و تغییر اقلیم استفاده شده است. دقت محصولات سنجنش از راه دور برف در تحقیقاتی که از این داده‌ها استفاده می‌شود باید به خوبی شناخته و ثبت شود (40 و 41). در این مطالعه برای اولین بار در کشور داده‌های آب معادل برف سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و داده‌های مدل GLDAS برای تخمین آب معادل برف روزانه در حوضه‌های شمال غرب کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تخمین آب معادل برف روزانه، با داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی مقایسه

با وجود تغییرات زیاد در توزیع زمانی و مکانی برف انباشته، اطلاعات مشاهده‌ای برف اندک و معمولاً به نواحی با ارتفاع کم محدود می‌شود. این موضوع کاربرد سنجنش از دور در تأمین بخشی از اطلاعات برف را از دهه‌های پیش اجتناب ناپذیر نموده است. برآورد آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنش از راه دور به طور مداوم در حال بهبود است و تحقیقات زیادی با هدف بازیابی بهتر آن از میکروویو غیر فعال انجام شده است. با این وجود هنوز هم برخی ابهامات در الگوریتم داده‌های فعلی آب معادل برف سنجنده -AMSR-E وجود دارد. برای غلبه بر این اشکالات، باید مطالعات اعتبارسنجی بیشتری روی این داده‌ها در مناطقی که تاکنون در آن مناطق ارزیابی این داده‌ها انجام نشده صورت گیرد.

تخمین به‌طور قابل توجهی پایین می‌آید. نتایج نشان داد میزان آب معادل برف سالانه در 15 سال اخیر (2001 الی 2015) در منطقه مطالعاتی کاهش یافته است دلیل این امر می‌تواند ناشی از روند گرم شدن کره زمین به عنوان بخشی از تغییر اقلیم، مهم‌ترین مسئله زیست‌محیطی مطرح شده باشد. دما رابطه مستقیم با ذوب برف دارد یعنی هرچه دما بالاتر باشد میزان ذوب برف نیز بیش تر شده و عمق برف انباشته کاهش می‌یابد. از آن جا که عمق برف رابطه مستقیم با آب معادل برف دارد در اثر کاهش عمق برف، آب معادل برف نیز کاهش می‌یابد. ضمناً دما می‌تواند بر نوع نزولات جوی نیز تأثیرگذار باشد بدین ترتیب افزایش دما باعث کاهش نزولات جوی به صورت برف شده و به طبع آن میزان ذخیره آب معادل برف نیز کاهش می‌یابد.

منابع

- 1- Akhavan Karbasi F., Aref M.R., and Sarkargar S.A. 2015. Estimate the volume of snow water equivalent of cover with MODIS data processing and ground data (case study: Yazd Province). P. 1–9. National Conference on Application of spatial analysis advanced models (remote sensing and GIS) in spatial planning, 24–25 February. 2015. Islamic Azad University, Yazd, Iran. (in Persian)
- 2- Andreadis K.M., and Lettenmaier D.P. 2006. Assimilating remotely sensed snow observations into amacroscale hydrology model. *Advances in Water Resources*, 29:872–886.
- 3- Ashrafzadeh Afshar A., Joodaki G R., and Sharifi M A. 2016. Evaluation of Groundwater Resources in Iran Using GRACE Gravity Satellite Data. *Journal of Geomatics Science And Technology*, 5 (4):73–84. (in Persian)
- 4- Byun K., and Choi M. 2014. Uncertainty of snow water equivalent retrieved from AMSR-E brightness temperature in northeast Asia. *Hydrological Processes*, 28:3173–3184.
- 5- Chang A.T.C., Foster J.L., and Hall D.K. 1987. Nimbus-7 Derived Global Snow Cover Parameters. *Annals of Glaciology*, 9:39–44.
- 6- Chang A. T. C., Foster J.L., Hall D.K., Goodison B.E., Walker A.E., and Metcalfe J.R. 1997. Snow Parameters Derived from Microwave Measurements During the BOREAS Winter Field Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 102:29663–29671.
- 7- Cohen J., and Entekhabi D. 1999. Eurasian snow cover variability and Northern Hemisphere climate predictability. *Geophysical Research Letters*, 26:345–348.
- 8- Dai L., Che T., Wang J., and Zhang P. 2012. Snow depth and snow water equivalent estimation from AMSR-E data based on a priori snow characteristics in Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment*, 127:14–29
- 9- Dehghani M., Morid S., and Norouzi A.A. 2010. Runoff Simulation in Snowbound Catchments, Using SRM and ANN Models to Estimate Hydropower Potentials in Data Scarcity Situations. *Iran-Water Resources Research*, 3:12–24. (in Persian)
- 10- Delavar M., Morid S., and Nikbakht N. 2012. Distributed Snowmelt Simulation in Ungauged Mountainous Catchments, Case Study: Imamzadeh Davoud Catchment. *Iran-Water Resources Research*, 4:41–50. (in Persian with English abstract)
- 11- Derksen C., Walker A., and Goodison B. 2005. Evaluation of passive microwave snow water equivalent retrievals across the boreal forest/tundra transition of western Canada. *Remote Sensing of Environment*, 96:315–327.
- 12- Davis R.E., McKenzie J.C., and Jordan R. 2006. Distributed snow process modeling: an image processing approach. *Hydrological Processes*, 9:865–875.
- 13- Dong J., Jeffrey P., and Houser P. 2005. Factor affecting remote sensed snow water equivalent uncertainty. *Remote Sensing of Environment* 97:68–82.
- 14- Dziubanski D.J., and Franz K.J. 2016. Assimilation of AMSR-E snow water equivalent data in a spatially lumped snow model. *Journal of Hydrology*, 540:26–39.
- 15- Fang H., Beaudoin H.K., Rodell M., Teng W.L., and Vollmer B.E. 2009. Global land data assimilation (GLDAS) products, services and application from nasa hydrology data and information services center (HDISC). P. 1–9. ASPRS 2009 Annual Conference. 8–13 March, 2009. Baltimore, Maryland, United States.
- 16- Fathzade A., and Zare Bidaki R. 2012. Estimating the Distribution of Snow Melt Equivalent at the Peak of Snow Accumulation, through Degree – Day Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43:171–177. (In

- Persian)
- 17- Farokhnia A., and Morid S. 2014. Assessment of GRACE and GLDAS Capabilities for Estimation of Water Balance in Large Scale Areas, a Case Study of Urmia Lake Watershed. *Iran-Water Resources Research*, 1:51–62. (in Persian with English abstract)
 - 18- Foster J.L., Hall D.K., Chang A.T.C., and Rango A. 1984. An overview of passive microwave snow research and results. *Reviews of Geophysics & Space Physics*, 22:195–208.
 - 19- Foster J.L., Sun C., Walker J.P., Kelly R., Chang A., Dong J., and Powell H. 2005. Quantifying the uncertainty in passive microwave snow water equivalent observations. *Remote Sensing of Environment*, 94: 187–203.
 - 20- Frei A., and Robinson D.A. 1999. Northern Hemisphere snow extent: Regional variability 1972–1994. *International Journal of Climatology*, 19:1535–1560.
 - 21- Jiang L.M., Wang P., Zhang L.X., Yang H., and Yang J.T. 2014. Improvement of snow depth retrieval for FY3B-MWRI in China. *Science China Earth Sciences*, 57(6):1278–1292.
 - 22- Kawanishi T., Sezai T., Ito Y., Imaoka K., Takeshima T., Ishido Y., Shibata A., Miura M., Inahata H., and Spencer R.W. 2003. The Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41:184–194.
 - 23- Kelly R.E., Chang A.T., Tsang L., and Foster J.L. 2003. A prototype AMSR-E global snow area and snow depth algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41:230–242.
 - 24- Liang J., Liu X., Huang K., Li X., Shi X.b., Chen Y., and Li J. 2015. Improved snow depth retrieval by integrating microwave brightness temperature and visible/infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 156: 500–509
 - 25- Li D., Durand M., and Margulis S.A. 2012. Potential for hydrologic characterization of deep mountain snowpack via passive microwave remote sensing in the Kern River basin, Sierra Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment*, 125:34–48.
 - 26- Lobl E., Spencer W.R., Shibata A., Imaoka K., Sasaki M., and Kachi M. 2002. Global climate monitoring with the Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR and AMSR-E). *SPIE 3rd Int'l Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium*, 23 October. 2002. Hangzhou, China.
 - 27- Mir Yaghoobzadeh M.H., and Ghanbarpour M.R. 2010. Investigation to MODIS Snow Cover Maps Usage in Snowmelt Runoff Modeling (Case Study: Karaj Dam Basin). *Journal of Geoscience*, 76:141–148. (in Persian)
 - 28- Mizukami N., Perica S., and Hatch D. 2011. Regional approach for mapping climatological snow water equivalent over the mountainous regions of the western United States. *Journal of Hydrology*, 400:72–82.
 - 29- Mizukami N., and Perica S. 2011. Towards improved snow water equivalent retrieval algorithms for satellite passive microwave data over the mountainous basins of western USA. *Hydrological Processes*, 26:1991–2002.
 - 30- Najafi M., Sharifi M.A., and Mokhtari E. 2011. Using GRACE satellite data for estimation of the total water level variation over Iran. *Geospatial Engineering Journal*, 1:1–10. (in Persian with English abstract)
 - 31- Rasouli A.A., and Edhami S. 2008. Calculate the water equivalent of snow cover with image processing MODIS sensor. *Geography and Development Iranian Journal*, 10:23–36. (in Persian)
 - 32- Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalk J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., and Toll D. 2004. "The Global Land Data Assimilation System. *American Meteorological Society*, 85(3):381–394.
 - 33- Snauffer A M., Hsieh W W., and Cannon A J. 2016. Comparison of gridded snow water equivalent products with in situ measurements in British Columbia, Canada. *Journal of Hydrology*, 541:714–726.
 - 34- Takala M., Pulliainen J., Metsämäki S., and Koskinen J. 2009. Detection of Snowmelt Using Spaceborne Microwave Radiometer Data in Eurasia from 1979 to 2007. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47:2996–3007.
 - 35- Tedesco M., Kelly R., Foster J.L., and Chang A.T. 2004. AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids. Version 2. [indicate subset used]. Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: 10.5067/AMSR-E/AE_DYSNO.002.
 - 36- Tedesco M., and Narvekar P.S. 2010. Assessment of the NASA AMSR-E SWE product. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3:141–159.
 - 37- Tekeli A.E., Akyurek Z.A., Sormanc A.A., Sensoyc A., and Sorman A.U. 2005. Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97:216–230.
 - 38- Tekeli A.E. 2008. Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE-grids data with in situ observations for Eastern Turkey. *Hydrological Processes*, 22:2737–2747.
 - 39- Tong J., and Velicogna I. 2010. A comparison of AMSR-E/Aqua snow products with in situ observations and MODIS snow cover products in the Mackenzie River Basin, Canada. *Remote Sensing*, 2:2313–2322.
 - 40- Tong J., Déry S.J., Jackson P.L., and Derksen C. 2010. Snow distribution from SSM/I and its relationships to the hydroclimatology of the Mackenzie River Basin, Canada. *Advances in Water Resources*, 33:667–677.

- 41- Yang D., Robinson D., Zhao Y., Estilow T., and Ye B. 2003. Streamflow response to seasonal snow cover extent changes in large Siberian watersheds. *Journal of Geophysical Research*, 108:7-1,7-14.
- 42- Yang G., Hongjie X., Ning L., Tandong Y., and Tiangang L. 2010. Toward advanced daily cloud-free snow cover and snow water equivalent products from Terra-Aqua MODIS and Aqua AMSR-E measurements. *Journal of Hydrology*, 385:23-35.
- 43- Yang J., Jiang L., Ménard C B., Luojus K., Lemmetyinen J., and Pulliainen J. 2015. Evaluation of snow products over the Tibetan Plateau. *Hydrological Processes*, 29(15): 3247-3260.



Snow Water Equivalent Estimation Using AMSR-E and GLDAS Model (Case Study: Basins of Northwestern Iran)

H. Ansari¹ – S. Marofi^{2*}

Received: 01-11-2016

Accepted: 29-07-2017

Introduction: Snow water equivalent (SWE) provides important information for water resources management and recently has attracted the attention of many researchers using remote sensing. Remote sensing presents a possibility for observation of snow characteristics, like water equivalent, over larger areas. Validation of remote sensing data of snow water equivalent (SWE) has always been an important issue for the researchers. Previous studies have assessed the global SWE data. Although it has been tried by using large-scale models of the world to estimate SWE, but regional effects such as snow density, topography and local meteorological conditions may lead to uncertainty.

Materials and Methods: The Northwestern Iran was selected as the study area in this research. Reasons for choosing this area are being mountainous with much snowfall. Also this region compared to the other parts of Iran, has more dense snow survey stations. In this study the AMSR-E sensor data and Global Land Data Assimilation System (GLDAS) was used to estimate SWE in the basins of the northwestern Iran. After processing AMSR-E sensor data and GLDAS model with related software, SWE was estimated in the snow survey stations and evaluated with observed data. To specify the snow density effect on SWE data in AMSR-E sensor from the snow density data, the stations were used. To determine the accuracy of estimation of SWE at different heights, snow survey stations is arranged by considering height and were divided into four height classes that contain enough observational data to evaluate computational data in each height class. To verify SWE obtained estimations in the stations, Root Mean Square Error (RMSE) and Pearson correlation coefficient (r) assessment criteria were used. After evaluating, the SWE data of AMSR-E sensor and GLDAS model for the GLDAS model monthly data to estimate SWE was used for the period 2000 to 2015. With calculating average annual SWE from monthly data, SWE trend changes in mentioned period, the moving averages graphs 3, 5 and 7-year-old was drawn.

Results and Discussion: According to the obtained results, SWE computational data with observational data had significant correlation at the 1% level. Using in situ snow densities, the correlation coefficient between AMSR-E and situ SWE increased from 0.27 to 0.55. The results showed that the best estimation of SWE is in the stations, which have the height of 1,350 to 1600 meters. Also with increasing altitude, the estimation accuracy is significantly reduced. In most years maximum of the SWE was obtained in January and February and in the period of June to September, the area was out of snow storage. According to the average annual SWE and moving averages graphs 3, 5 and 7-years old, the SWE of Northwestern Iran basins in period 2015-2001 has a reducing trend.

Conclusions: In the regions like the Northwestern Iran mountainous where snowfall constitutes a significant fraction of total precipitation, the snowpack delays the resulting runoff into the time of year where water demand is greater. So measurement of snow on the ground has been an important component of hydrologic forecasting for a century. Various remotely sensed snow data have been widely utilized for cold regions to explore the relationships between snow distribution, river discharge, and climate change. The accuracy of remotely sensed snow products should be well understood and incorporated in any investigations using such data. The main objective of the present study was to quantitatively compare the AMSR-E and GLDAS model for an understudied region of the earth. AMSR-E global SWE data and GLDAS data were compared by situ SWE measurements performed in the snow courses. The results showed that the snow density is an effective factor in derived algorithm for the SWE AMSR-E data. Also with increasing height, precision of the estimation significantly decreased. The determination of SWE from satellite imagery in progress updated with new learning. The obtained results from passive microwave in smooth terrain are promising, but involvement of different mechanisms become more complicated as the terrain gets more complex. Nevertheless, it is believed that if the above discussions are taken into account, AMSR-E would provide valuable SWE information even for a mountainous region like Northwestern Iran. It is also hoped that this study would be a starting point in the water scarce, developing Iran to plan and use the limited supply in a suitable manner.

Keywords: Aqua satellite, Moving average, Snow density, Topography

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Water Resource Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(* - Corresponding Author Email: smarofi@yahoo.com)



بررسی روند تغییرات بارش‌های منطقه جنوب غرب آسیا

محمد ناظری تهرودی^{*1} - حسین خزیمه‌نژاد²

تاریخ دریافت: 1395/12/23

تاریخ پذیرش: 1396/05/16

چکیده

یکی از چالش‌های مهم در عصر حاضر رقابت جهت دسترسی به منابع آب می‌باشد. منطقه خاورمیانه نیز با توجه به موقعیت ژئوپولوتیکی و استراتژیکی خود مورد توجه می‌باشد. اما مسئله‌ای که این منطقه را در آینده وارد ابعاد تازه از چالش‌ها خواهد نمود، کاهش منابع آب در این منطقه با توجه به تغییر اقلیم جهانی خواهد بود. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به‌ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترها در حال تغییر می‌باشند. خاورمیانه نیز در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک واقع شده و منابع آب محدودی دارد و تغییر اقلیم به خوبی در آن مشهود می‌باشد. بررسی روند تغییرات زمانی بارش در برنامه‌ریزی و طراحی دقیق‌تر پروژه‌های آبی در آینده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در این مطالعه روند تغییرات بارش منطقه جنوب غرب آسیا (4152 ایستگاه) در دو مقیاس سالانه و ماهانه در دوره آماری 1970-2014 با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال اصلاح شده با حذف کامل ساختار خودهمبستگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی روند تغییرات سالانه مقادیر بارش جنوب غرب آسیا نشان داد که از بین کشورهای مورد بررسی، روند تغییرات دو کشور عراق و ایران نسبت به سایر کشورها بحرانی‌تر بوده و به ترتیب حدود 1/2 و 1/03 میلی‌متر از مجموع بارش‌های سالانه در هر سال کاهش یافته است. روند کاهشی بارش تمام نواحی این دو کشور را در مقیاس سالانه در بر گرفته است و حتی می‌توان کانون بحران کمبود بارش را در این دو کشور بیان کرد. در بین کشورهای مورد بررسی در مقیاس سالانه و ماهانه وضعیت چهار کشور ترکیه، یمن، ترکمنستان و تاجیکستان بهتر از سایر کشورها از نظر کاهش بارندگی می‌باشد. در مقیاس ماهانه نیز شرایطی همانند مقیاس سالانه وجود دارد. در ماه‌های سردتر سال نیز روند تغییرات بارش نواحی مرکزی منطقه مورد مطالعه کاهشی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آسیا، خاورمیانه، روند، مان کندال اصلاح شده

مقدمه

افزایش خشک‌سالی‌های پی در پی و مداوم و همچنین به رشد تقاضا برای آب و کمبود آب توجه شود، این چالش ابعاد وسیعی به خود می‌گیرد. بر اساس برآورد IPCC این منطقه در آینده گرم‌تر و خشک‌تر خواهد شد. افزایش در آستانه‌های دمایی و کاهش بارندگی منجر به خشک‌سالی‌های شدیدی در منطقه خواهد شد. مطابق با مدل‌سازی‌های IPCC بیش از 80 تا 100 میلیون نفر تا سال 2050 در معرض کمبود آب در منطقه قرار خواهند گرفت و آب‌های زیرزمینی نیز کاهش سریعی می‌یابد. این عوامل نشان می‌دهد که سطح آب در این منطقه تا 0/5 متر بالا خواهد آمد و سواحل کشورهای همچون قطر، امارات، کویت و غیره در معرض آب‌گرفتگی و نابودی قرار خواهند گرفت. بر اساس گزارش FAO در بیش از 80 درصد مدل‌های برآورد تغییر اقلیم، بارش موجود در منطقه بیش از 40 میلی‌متر در سال کاهش خواهد داشت. با کاهش بارش منطقه منابع آبی نیز با خطر جدی روبرو خواهند شد.

اولین گام در اعمال مدیریت صحیح منابع آب، مطالعه عوامل اثرگذار بر این منابع از جمله تغییرات اقلیمی می‌باشد. اقلیم فرآیندی

تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی باعث گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها شده و همچنین این تغییر باعث نایک‌نواختی توزیع بارش می‌شود و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد. خاورمیانه نیز از این تأثیرات مستثنا نبوده و در این مناطق نیز همانند سایر نقاط جهان منابع آب کم شده و این منطقه با کمبود ذخیره آب در آینده مواجه خواهد بود. این موضوع نه تنها در خاورمیانه بلکه بیش از چهار میلیارد نفر از ساکنین کره زمین تحت تأثیر کم‌آبی قرار خواهند گرفت. علیرغم رشد علمی و افزایش آگاهی ما نسبت به پیامدهای منطقه‌ای و جهانی تغییر اقلیم، توجه چندانی به اثرات این تغییرات در خاورمیانه و آسیای مرکزی نشده است. در منطقه خاورمیانه تغییر اقلیم چالشی بزرگ محسوب می‌شود، مخصوصاً اگر به

1 و 2- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند
(*) نویسنده مسئول: Email: m_nazeri2007@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62604

پویاست که در مقیاس زمانی و مکانی تغییر می‌کند. بخش‌های زیادی از کره زمین تغییرپذیری را به‌صورت بخشی از اقلیم عادی خود در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت تجربه می‌کنند تغییرات اقلیمی کوتاه‌مدت به دلیل تفاوت سالانه در مقادیر متغیرهای اقلیمی معین در دوره‌های متوسط مثل دوره‌های 30 ساله می‌باشند (20). دلایل و اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان به‌طور گسترده از جنبه‌های گوناگون مورد مطالعه قرار گرفته است. از بین متغیرهای هیدرولوژیکی، بارش مهم‌ترین پارامتر چرخه پیچیده هیدرولوژیک می‌باشد. به دنبال پدیده گرم شدن هوای سطح زمین الگوی بارش جهانی دچار دگرگونی شده است. تغییر الگوی بارش متأثر از تغییر تبخیر در اثر گرم شدن هوا و دگرگونی الگوی گردش عمومی می‌باشد. به نظر می‌رسد به دنبال تغییر الگوی عمومی، برخی نواحی مرطوب‌تر و برخی خشک‌تر از گذشته خواهند شد. گذشته از تغییر مقدار ریزش‌های جوی، زمان وقوع بارش و نوع ریزش هم در معرض دگرگونی است. بررسی روند تغییرات پارامترهای تأثیرگذار بر خشک‌سالی یک منطقه نظیر بارش کمک بسزایی در شناخت اقلیم منطقه دارد. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در این زمینه در سراسر جهان انجام شده است. از این‌رو در سالیان اخیر مطالعات متعددی در زمینه تحلیل روند متغیرهای هیدرولوژی در سراسر جهان صورت پذیرفته است که نشان از اهمیت بالای این مطالعات دارد. بررسی روند تغییرات بارش در نقاط مختلف دنیا توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

دلیما و همکاران (6) روند بارش‌های ماهانه و سالانه 107 ایستگاه هواشناسی کشور پرتغال را در دوره 1941-2000 با آزمون مان - کندال مورد مطالعه قرار دادند. بیکر و همکاران (3) روند بارش را در حوزه رودخانه یانگ تسه در چین با آزمون مان - کندال تحلیل کردند. کایا و پارتال (10) روند فصلی بارش‌های ترکیه را با استفاده از آزمون مان - کندال مورد بررسی قرار دادند. پال و اتبء (22) روند بارش‌های حدی فصلی را در فصول زمستان، بهار و پائیز منطقه کرالای در هندوستان را با استفاده از آزمون مان - کندال مورد بررسی قرار دادند. کارمشو (11) روند تغییرات بارش و دمای سالانه شمال غرب ایالات متحده را در دوره آماری 1900 تا 2011 با استفاده از آزمون مان - کندال اصلاح شده در سطح معنی‌داری 5 درصد، بررسی کردند. یانگ و همکاران (28) بر اساس درجه حرارت و بارش میانگین ماهانه 53 ساله در حوضه رودخانه ژانگ‌یونان و 5 ایستگاه هواشناسی اطراف آن با استفاده از آزمون مان - کندال روند این عوامل را مورد بررسی قرار داده و روند کاهشی معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند صعودی دما در در فصول تابستان و بهار گزارش نمودند. جین و همکاران (9) در مطالعه‌ای تغییرات بلندمدت بارش و دمای شمال غرب

هند را مورد بررسی قرار دادند. این محققین از روش مان - کندال در تشخیص روند بهره برده و در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش، در دوره آماری 1871 تا 2008 هیچ‌گونه روند معنی‌داری مشاهده نکردند، اما دما در هر سه مقیاس زمانی، روند افزایشی را تجربه کرده بود. Wang و همکاران (27) روند تغییرات سالانه دما و بارش را در طی پنجاه سال برای منطقه لوئس پلاتیو¹ در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین سالانه درجه حرارت منطقه مورد مطالعه $1/19^{\circ}\text{C}$ در پنجاه سال گذشته افزایش و میزان بارندگی ($29/11 \text{ mm/50year}$) کاهش یافته است. دوهان و پاندی (7) در پژوهشی به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش 102 ساله منطقه مادها پارادش هندوستان پرداختند. آن‌ها از آزمون مان - کندال و تخمین گر شیب سن به‌منظور تعیین روند یکنواخت بارش و از آزمون پتیت برای تشخیص نقاط شکست استفاده کردند. چن و همکاران (5) روند تغییرات بارش، دما و رواناب حوضه آبریز یانگتس چین را در دوره آماری 1955 تا 2011 با استفاده از آزمون مان - کندال مورد بررسی قرار دادند. خلیلی و همکاران (14) روند تغییرات بارش سالانه نیم‌قرن اخیر ایران را با استفاده از آزمون مان - کندال اصلاح شده و هم‌چنین توزیع الگوی بارش را مورد بررسی قرار داده و روند کاهشی بارش سالانه را در بیشتر نقاط ایران نشان دادند. ناظری تهرودی و همکاران (21) نیز با استفاده از آزمون مان - کندال اصلاح شده روند تغییرات بارش و دبی حوضه دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار داده و کاهش بارش‌ها و دبی این حوضه را در سال‌های اخیر نشان دادند. از مرور منابع استنباط می‌شود که تحقیق‌های صورت گرفته در سطح ایران در زمینه بررسی روند تغییرات بارش‌ها از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک استفاده شده است در حالی که پوشش داده‌های ریزمقیاس شده و تصحیح و تکمیل شده آن در سطح هر حوضه و یا هر منطقه‌ای گسترده‌تر می‌باشد و استفاده از این داده‌ها تغییرات بارش‌ها را بهتر نمایش می‌دهد. هم‌چنین فرض اصلی مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون مان - کندال مستقل بودن و عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در داده‌های نمونه است، ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی مانند بارش دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند. در علم آمار، خودهمبستگی یک فرآیند تصادفی همبستگی بین مقدارهای فرآیند در نقاط مختلف، زمان را به عنوان تابع دو زمانه یا تفاضل زمانی توصیف می‌کند. بنابراین برای حذف اثر خودهمبستگی روی آزمون مان - کندال ضروری است قبل از انجام آزمون، اجزای خودهمبستگی از قبیل فرآیند خودهمبستگی مرتبه اول ($AR(1)$) از سری داده‌ها حذف گردد. با توجه به مطالب ارائه شده و هم‌چنین با توجه به تغییرات اقلیم و تغییرات آب و هوایی در سطح در سطح جهان به نظر می‌رسد بررسی تغییرات روند بارش

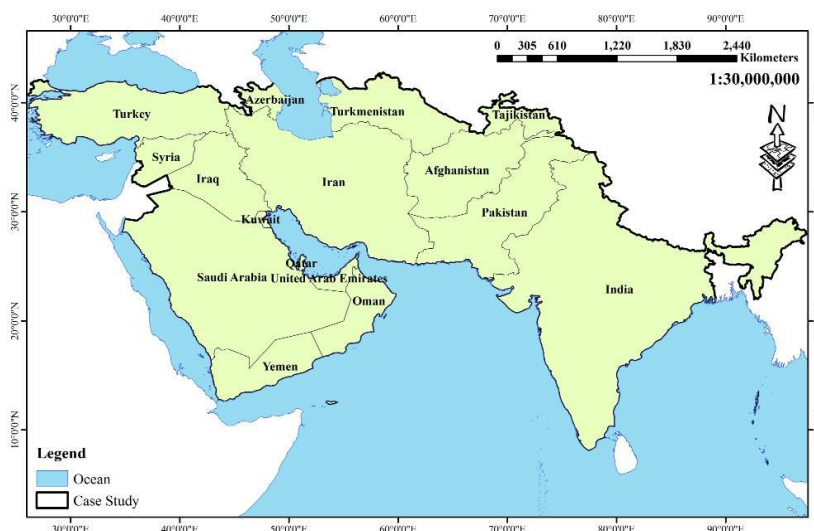
افغانستان را در بر می‌گیرد. در بخش شرقی این برجستگی‌ها، زمین‌های همواری دیده می‌شود که با رسوبات دجله و فرات پدید آمده و خاک حاصلخیزی دارند. در جنوب رودهای دجله و فرات که به خلیج فارس می‌ریزند، غیر از زمین‌های پست بین‌النهرین، شبه جزیره عربستان قرار دارد که از نظر وسعت، بزرگ‌ترین شبه جزیره جهان است و با وجود هم‌مرز بودن با دریا از سه طرف، سرزمین خشک و صحرایی است. با توجه به ورود سامانه هوایی استوایی با منشأ اقیانوس هند، کشور هندوستان نیز در محدوده مطالعاتی اضافه گردید. در این مطالعه از داده‌های بارش ماهانه و سالانه کشورهای افغانستان، جمهوری آذربایجان، هندوستان، عراق، کویت، عمان، پاکستان، عربستان، سوریه، تاجیکستان، ترکیه، ترکمنستان، قطر، امارات، یمن و ایران استفاده گردید. منطقه مورد مطالعه واقع در جنوب شرقی آسیا به شرح شکل 1 ارائه گردید.

هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها مشخص گردد. با توجه به اینکه در روش‌های پارامتری فرضیه‌هایی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود داشته و این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی اعتبار ندارد، از روش ناپارامتری من-کندال که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد، می‌توان استفاده کرد (13). یکی از معروف‌ترین آزمون‌های ناپارامتری روند، آزمون من-کندال می‌باشد (19 و 12).

ماهانه و سالانه کشور ایران و همچنین بررسی روند تغییرات بارش در کشورهای همسایه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. ایران کشوری پهناور و با اقلیم‌های متفاوت می‌باشد که پراکندگی بارش در نقاط مختلف آن متفاوت می‌باشد. همچنین با توجه به این که تحت تأثیر توده هوای ورودی به کشور از سمت کشورهای همسایه می‌باشد، لذا بارش‌های مناطق مختلف ایران به شدت تحت تأثیر وضعیت کشورهای همسایه قرار دارد. از این رو مطالعه روند تغییرات بارش‌های ایران باید به صورت کلی و در سطح وسیع صورت گیرد. هدف از مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات داده‌های ماهانه و سالانه منطقه جنوب غرب آسیا با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده و با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های ماهانه و مجموع بارش سالانه حدود 4152 ایستگاه باران‌سنجی ریزمقیاس شده¹ در ایران و 15 کشور همسایه آن در دوره آماری 1970-2014 جهت بررسی روند تغییرات بارش‌های ماهانه و سالانه مناطق موردنظر استفاده گردید. مناطق انتخاب شده با توجه به اقلیم گرم و خشک در قسمت جنوب غربی آسیا واقع شده و خاورمیانه نیز بخشی از آن را شامل می‌شود. این ناحیه به لحاظ آب و هوایی از تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً کوتاه، برخوردار است. نواحی شمالی این منطقه را رشته کوه‌هایی فرا گرفته که بخش‌های زیادی از ترکیه، ایران و



شکل 1- منطقه مورد مطالعه واقع در جنوب غرب آسیا
Figure 1- The studied area that located in South-West of Asia

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

لازم به ذکر است که α برابر با سطح معنی داری می باشد. در شرایطی که $s=0$ باشد داده ها فاقد روند بوده و هیچ روند معنی دار یا غیر معنی داری در داده ها وجود ندارد که این شرایط ایده آل برای داده های هیدرولوژیکی به ندرت ممکن است اتفاق بیفتد. اما برای داده هایی که روند افزایشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری مثبت دارد و در رابطه ارائه شده توسط من - کندال آماره Z با کسر یک واحد از S مثبت تقسیم بر انحراف معیار S به دست می آید و برای داده هایی که روند کاهشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری منفی دارد و در رابطه ارائه شده توسط من - کندال آماره Z با اضافه کردن یک واحد به S منفی تقسیم بر انحراف معیار S حاصل می گردد (21).

تخمین گر شیب سن

یک شاخص بسیار مفید در آزمون من - کندال شیب خط روند یا به اصطلاح شیب Sen می باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می دهد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط تیل (26) و سن (24) با رابطه زیر برآورد شد:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad (6)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و x_i, x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می باشند. مقادیر مثبت β نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به طور وسیعی استفاده شده است. لازم به ذکر است که برآورد مقدار شیب سن جهت محاسبات آزمون مان - کندال اصلاح شده مورد نیاز می باشد.

آزمون مان کندال با حذف ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (MK2)

این روش توسط کومار و همکاران (17) شرح داده شده است. در این روش اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (r_1) محاسبه و در صورتی که معنی دار باشد، از سری داده ها حذف می گردد. برای این کار مراحل زیر انجام شد:

1- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول، r_1 ، از رابطه زیر محاسبه گردید:

آزمون من - کندال

در این مطالعه روند تغییرات سری های زمانی بارش کشورهای موجود در جنوب غرب آسیا با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال اصلاح شده مورد بررسی قرار می گیرد. این آزمون به طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، کلیما تولوژی و متئورولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی در سری زمانی داده ها می باشد، با این حال ممکن است داده ها دارای خودهمبستگی معنی دار باشند. بنابراین باید ابتدا اثر خودهمبستگی داده ها حذف گردد تا بتوان از آزمون مان - کندال استفاده نمود (21). بدین منظور در مطالعه حاضر به جای آزمون من - کندال مرسوم (MK1) از ویرایش دیگر آن شامل آزمون من - کندال با حذف کامل ساختار خودهمبستگی (MK3) استفاده شد. در ادامه روش های آزمون من - کندال شرح داده می شود.

آزمون مان - کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده ها

در آزمون MK1 هر مقدار در سری زمانی به صورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می گیرد. آماره S به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

که در آن x_j مقادیر داده های متوالی، n طول مجموعه داده ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که به صورت زیر تعریف گردید:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

مان (19) و کندال (12) نشان دادند که وقتی $n \geq 8$ باشد، آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده و میانگین و واریانس آن به صورت زیر می باشد:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن t_i تعداد داده های یکسان در دسته i ام و m برابر با تعداد گروه های جفتی می باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z به صورت زیر محاسبه می شود:

آماره آزمون MK1 استاندارد شده Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس 1 پیروی می کند. فرض صفر به شرطی پذیرفته می شود که $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$ قرار گیرد.

همان‌طوری که در قسمت معنی‌داری ضرایب شرح داده شد (بخش مربوط به آزمون مان - کندال با حذف ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (MK2)) اثر خودهمبستگی ضرایب در تأخیرهای مختلف بررسی شده و ممکن است در مرتبه اول یا مرتبه‌های دیگر داده‌ها مستقل نبوده و نیاز به حذف اثر خودهمبستگی در مرتبه اول یا برای باقی ضرایب صورت گیرد (21). آزمون من - کندال اصلاح شده به‌منظور حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار توسط حامد و رائو (8) ارائه گردید. در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌گردد. ابتدا واریانس اصلاح شده که با $V(S)^*$ نشان داده می‌شود به شرح زیر حساب شد:

$$V(S)^* = V(S) \cdot \frac{n}{n^*} \quad (11)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \cdot r_i \quad (12)$$

که در آن n^* اندازه مؤثر نمونه بوده و از طریق رابطه (12) قابل محاسبه می‌باشد، $V(S)$ از رابطه (4) و r_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i در سطح معنی‌داری 10 درصد از رابطه (7) محاسبه شدند. برای محاسبه Z من - کندال، در رابطه (5) مقدار عبارت $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین گردید. حامد و رائو (8) نشان دادند که در این روش، معنی‌داری روند دقیق‌تر از روش مان - کندال مرسوم بوده و اثری بر توان (قدرت) آزمون ندارد. این روش در تحقیقات زیادی مانند کومار و همکاران (17) و خلیق و همکاران (15) به کار برده شده است.

نتایج و بحث

در این مطالعه روند تغییرات داده‌های بارش ماهانه و سالانه نواحی جنوب غرب آسیا با استفاده از آزمون من - کندال اصلاح شده محاسبه گردید. در ابتدا مقادیر آماره Z آزمون مان - کندال اصلاح شده مربوط به بارش‌های منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمانی سالانه محاسبه و نتایج به شرح شکل 2 ارائه گردید. شکل 3 نیز نمودار جعبه‌ای این مقادیر را در دو مقیاس سالانه و ماهانه نشان می‌دهد. همچنین شیب خط روند موجود در داده‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون شیب خط سن محاسبه و به شرح شکل 4 ارائه گردید. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که روند غالب در سری سالانه این منطقه کاهشی است.

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

2- سری داده‌ها در صورتی (در سطح معنی‌داری 10 درصد) مستقل از هم فرض شد که در شرط $\frac{-1-1.645\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_1 \leq \frac{-1+1.645\sqrt{n-2}}{n-2}$ صدق می‌کرد که در این حالت آزمون MK با روش کلاسیک (یا MK1) انجام می‌شود در غیر این صورت اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول داده‌ها بر روی روند آن‌ها به‌صورت زیر حذف می‌شود. لازم به ذکر است در صورتی که r_k در رابطه صدق کند، داده‌ها مستقل از هم بوده و نیازی به حذف اثر خودهمبستگی نخواهد بود اما در غیر این صورت بایستی برای تک‌تک مرتبه‌های خودهمبستگی (k) این شرط بررسی شود و در صورت عدم برقراری شرط بالا، داده‌ها مستقل نبوده و بایستی اثر خودهمبستگی از داده‌ها حذف گردد (8). 3- شیب خط روند یا β برای سری داده‌ها از رابطه (6) محاسبه و سری جدیدی به شرح زیر به دست آمد.

$$x'_i = x_i - (\beta \times i) \quad (8)$$

4- ضریب r_1 داده‌های سری جدید مجدداً محاسبه شد. 5- مؤلفه ضریب خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ ، از سری جدید به شرح زیر حذف و سری باقیمانده‌ها (y'_i) از رابطه زیر به دست آمد:

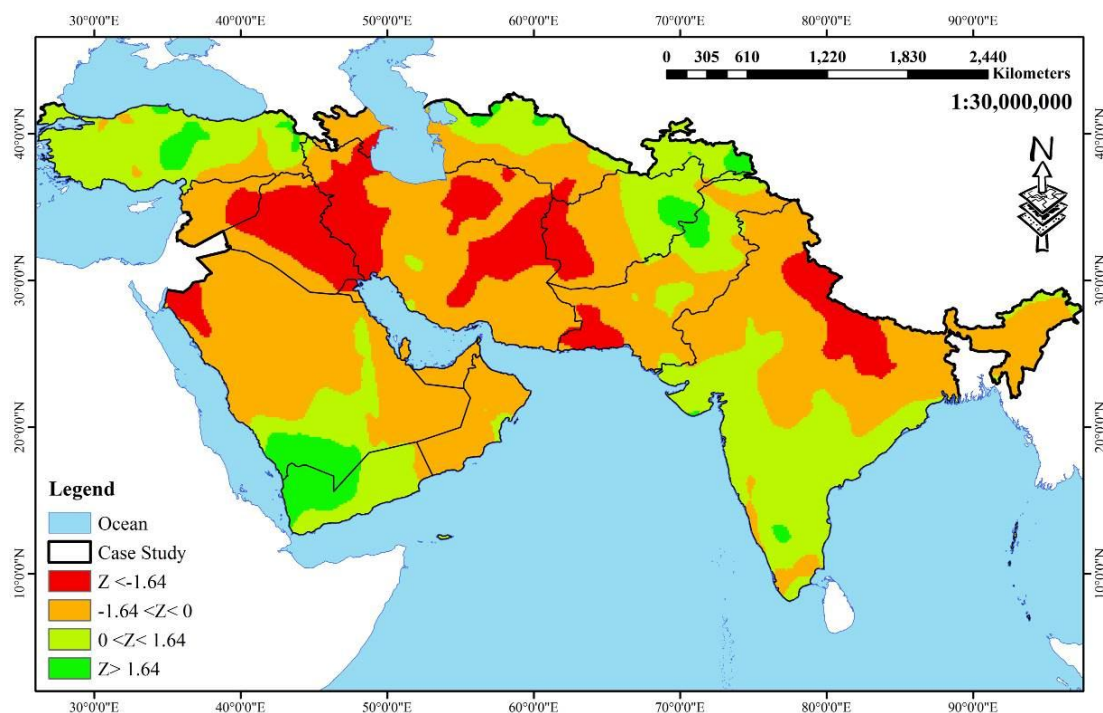
$$y'_i = x'_i - r_1 \times x'_{i-1} \quad (9)$$

6- بار دیگر مقدار روند $(\beta \times i)$ به سری اخیر افزوده شد و سری نهایی (y_i) به شرح زیر به دست آمد:

$$y_i = y'_i + (\beta \times i) \quad (10)$$

اکنون با اعمال آزمون مان - کندال (MK1) به سری داده‌های ترکیبی، وجود روند در آن‌ها بررسی می‌شود. این کار با محاسبه آماره Z من - کندال (رابطه 5) برای سری اخیر انجام گرفت. اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از رقم 1/645 می‌شد روند داده‌ها در سطح 10 درصد معنی‌دار فرض می‌شد و اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از ارقام 1/96 و 2/33 می‌شد روند داده‌ها به ترتیب در سطح 5 درصد و 1 درصد معنی‌دار فرض شد. در غیر این صورت فرض صفر مبنی بر وجود روند در داده‌ها در سطح معنی‌داری مورد نظر رد شد. این روش توسط بورن و همکاران (4)، لو و همکاران (18) و باندیپادایا و همکاران (2) نیز بکار برده شده است.

آزمون من - کندال با حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار (MK3)



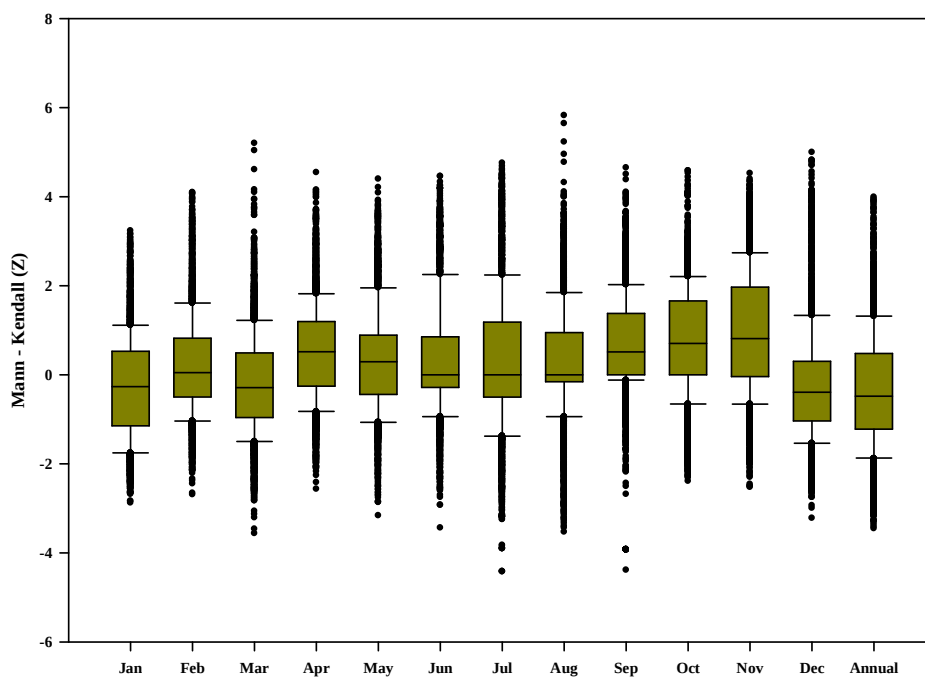
شکل 2- نتایج آزمون مان- کندال اصلاح شده در بررسی روند سالانه بارش منطقه مورد مطالعه

Figure 2- Results of modified Mann-Kendall test in evaluation the trend of annual precipitation of studied area

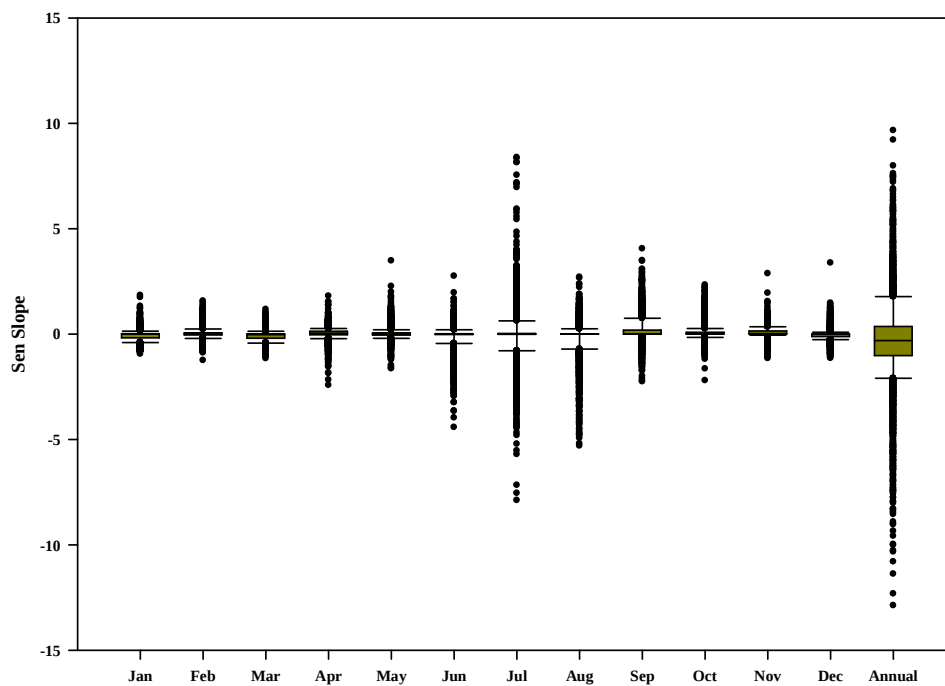
این کشورها تقریباً در تمام نواحی افزایشی بوده است. در بین کشورهای مورد مطالعه کشور عراق بیشترین آسیب‌ها را در طی دوره آماری مورد بررسی از نظر پراکندگی زمانی بارش متحمل شده است به‌طوری‌که در اکثر نقاط این کشور روند تغییرات بارش‌ها کاهش و معنی‌دار می‌باشد. بعد از کشور عراق، رتبه دوم را در کمبود بارش‌های سالانه مربوط به کشور ایران می‌باشد. با توجه به شکل 2 می‌توان مشاهده کرد که دو کشور ایران و عراق بیشترین آسیب‌ها را در این مورد متحمل شده‌اند. این دو کشور از نظر تغییرات زمانی بارندگی در شرایط خوبی قرار ندارند. این تغییرات کاهش در مقایسه با مجموع بارش سالانه پیامدهای ناگواری را در آینده در بر خواهد داشت. با کاهش مقادیر بارش‌های سالانه در سطح کشور منابع آب سطحی و زیرزمینی با کاهش و مشکل روبرو شده و در آینده نیز بحران‌ساز خواهد شد. به‌طور مثال وضعیت دریاچه ارومیه را نیز می‌توان به‌عنوان یکی از این مشکلات نام برد. این دریاچه در شمال غرب ایران واقع شده است. نواحی‌ای که بارش‌های سالانه آن با کاهش معنی‌دار روبرو شده است. این مشکلات خسارات سنگین اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را در منطقه ایجاد می‌کند. خلیلی و همکاران (14) نیز در تحقیقات خود نشان دادند که اکثر مناطق ایران را روندی کاهش در بر گرفته است.

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات سالانه بارش ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره آماری 1970-2014 با استفاده از آزمون مان کندال اصلاح شده با حذف کامل اثر خودهمبستگی نشان داد که در سطح کشور ایران تمام نواحی را روندی کاهش در مقادیر بارش سالانه در بردارد که این خصوص روند تغییرات نواحی غربی ایران و همچنین نواحی غربی دریای خزر، برخی از نواحی مرکزی و شرقی ایران در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. سایر نقاط نیز روندی کاهش را در مقادیر بارش سالانه در سطح کشور ایران شامل تجربه کرده‌اند.

همان‌طور که از شکل 2 قابل مشاهده است، در مقیاس سالانه کشورهایی که از در مرز محدوده مورد مطالعه قرار دارند، با روندی افزایشی در مقادیر بارش سالانه مواجه بوده‌اند به‌طوری‌که از شکل 2 مشاهده می‌شود، کشور ایران در مرکز بحران (مرکز کمبود بارش) قرار گرفته است. نواحی جنوبی کشور هندوستان، جنوب غربی کشور عربستان، نواحی شمالی کشور ترکمنستان و همچنین نواحی شرقی کشورهای افغانستان و پاکستان با روندی افزایشی در مقادیر بارش سالانه در طی دره آماری 1970-2014 روبرو بوده است. کشورهای یمن، ترکیه و تاجیکستان نیز در دوره آماری مورد بررسی وضعیت خوبی نسبت به سایر کشورها داشته و روند تغییرات بارهای سالانه در



شکل 3- نمودار جعبه‌ای آماره Z من - کندال اصلاح شده (MMK) برای بارش‌های منطقه جنوب غرب آسیا
Figure 3- Box plot of Z values of modified Mann-Kendall (MMK) for South-West of Asia precipitations

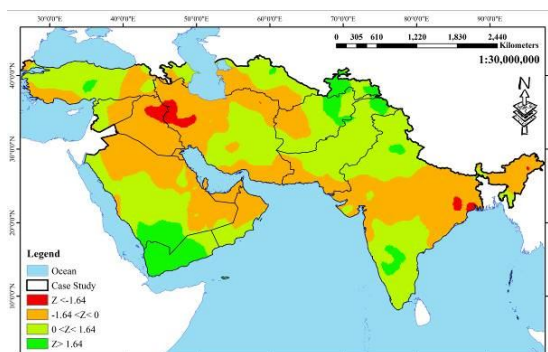


شکل 4- نتایج شیب خط روند سری بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 4- Results of Sen's slope of the trend of annual and monthly precipitation in studied stations

این کشور (تاجیکستان) برابر با $1/25$ می‌باشد که بیانگر افزایش بارش‌ها در طی دوره آماری مورد بررسی در این کشور می‌باشد. مقادیر ماهانه بارش‌های منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون مان - کندال اصلاح شده برآورد و به‌صورت شکل‌های 5 تا 16 ارائه گردید.

روند تغییرات مقادیر بارش ماهانه مربوط به ماه ژانویه (ماه دوم) نشان داد که در این ماه روند تغییرات مقادیر بارش در تمامی نواحی مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه کاهشی می‌باشد و مرکز این کاهش‌ها در شرق ایران و نواحی مرکزی و غربی کشور افغانستان می‌باشد. روند کاهشی مقادیر بارش‌های ماهانه در دو کشور در ماه ژانویه در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. در این ماه کشورهای ترکیه، سوریه، قسمت‌های شمالی و شرقی کشور عراق و کشور یمن و همچنین بیشتر نواحی عربستان افزایشی می‌باشد. در برخی از نواحی کشور یمن نیز روند افزایشی بارش‌ها در ماه ژانویه معنی‌دار می‌باشد. در این ماه که در فصل زمستان قرار دارد، تمامی نواحی ایران با روندی کاهشی در مقادیر بارش روبرو شده که این روند در نواحی شرقی بحرانی می‌باشد.

در ماه فوریه (ماه دوم میلادی) شرایط بارندگی‌ها در منطقه مورد مطالعه و همچنین در کشور ایران از نظر تغییرات زمانی بهتر شده و مناطقی از ایران با افزایش بارش‌ها روبرو شده است. این نواحی در قسمت‌های مرکزی و شرقی ایران می‌باشد. در این ماه (فوریه) کانون کاهش بارش‌ها دو کشور ایران و عراق می‌باشد که روند کاهشی بارش‌ها در این نواحی معنی‌دار می‌باشد. در این ماه (فوریه) کشور یمن نیز روندی افزایشی را در مقادیر بارش ماهانه تجربه کرده است. روند تغییرات اکثر مناطق ترکیه، عربستان، شمال و جنوب هندوستان، تاجیکستان و بیشتر نواحی افغانستان و پاکستان روندی افزایشی را در مقادیر بارش ماهانه تجربه کرده‌اند.

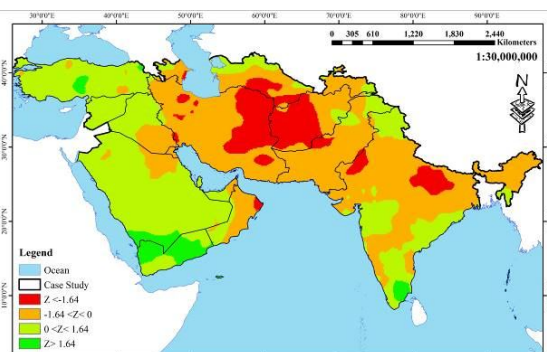


شکل 6- تغییرات روند بارش ماه Feb

Figure 6- The trend of monthly precipitation in Feb

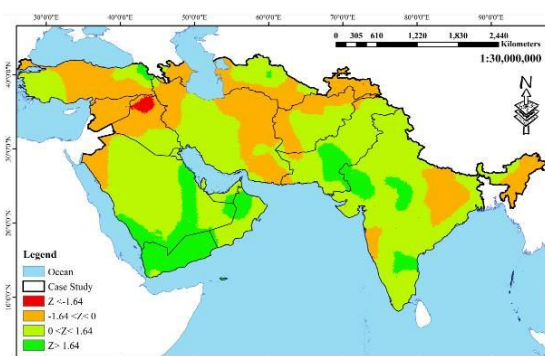
کاهش بارش‌های سالانه در سطح کشور پهناور و گرم و خشکی همچون ایران نگرانی‌هایی را در میزان آب قابل در دسترس در بر خواهد داشت که باید برای آن تمهیداتی در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به وضعیت موجود در کشورهای همسایه احتمال کمبود آب سالم در این کشورها نیز دور از انتظار نیست. لذا استان‌های غربی ایران که وابستگی شدیدی به آب سطحی دارند، مشکلات بیشتری خواهند داشت زیرا در این نواحی هم در مورد آب زیرزمینی و روش‌های کاهش آلودگی آن کمتر کار شده و هم این‌که ورودی آب‌های مرزی با توجه به وضع موجود در کشورهای همسایه کم خواهد شد. در مورد کمبود بارش‌های معنی‌دار در استان‌های شرقی که متوسط بارش کمتری نسبت به سایر مناطق ایران دارند، نگرانی‌های بیشتری وجود دارد. شکل 3 مقادیر آماره Z مان - کندال اصلاح شده را در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه به‌صورت نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، عمده تغییرات این مقادیر در نزدیکی صفر و کمتر از آن می‌باشد که بیانگر کاهشی بودن مقادیر بارش سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. متوسط مقدار آماره مان - کندال اصلاح شده برای کشور ایران حدود $1/4$ - می‌باشد.

شکل 4 نیز تغییرات شیب خط روند را برای مقادیر بارش ماهانه و سالانه مناطق مورد مطالعه (جنوب شرق آسیا) نشان می‌دهد. با توجه به شیب خط روند محاسبه شده به‌طور متوسط در طی دوره آماری مورد بررسی هرساله حدود $1/06$ میلی‌متر از مجموع بارش سالانه از سال 1970 کاسته شده است که با توجه به دوره آماری مورد بررسی (45 ساله) نتایج نشان داد که از سال 1970 تا 2014 حدود 48 میلی‌متر از متوسط بارش سالانه کشور ایران کاسته شده است. این مقدار کمبود بارش در کشور عراق نیز حدود $1/22$ میلی‌متر به ازای هرسال می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که کشور تاجیکستان با افزایش حدود $1/63$ میلی‌متر در هر سال بیشترین افزایش بارش را تجربه کرده است. متوسط آماره Z مان - کندال اصلاح شده نیز در



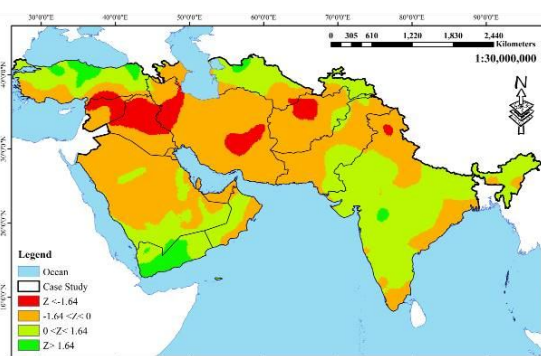
شکل 5- تغییرات روند بارش ماه Jan

Figure 5- The trend of monthly precipitation in Jan



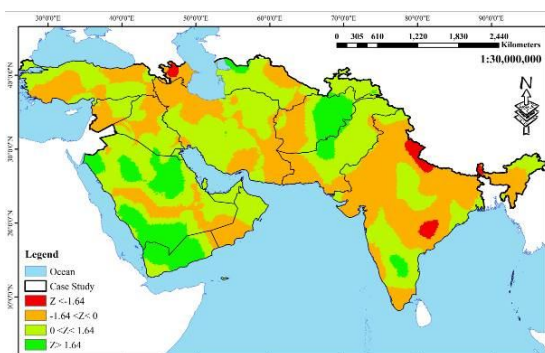
شکل 8- تغییرات روند بارش ماه Apr

Figure 8- The trend of monthly precipitation in Apr



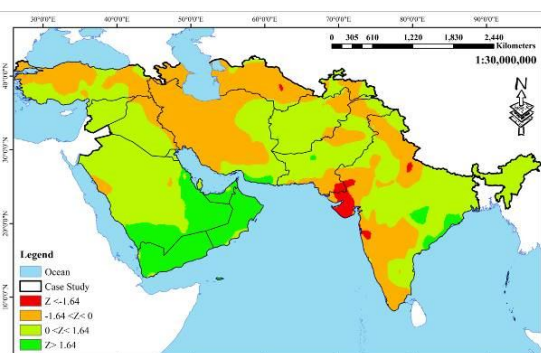
شکل 7- تغییرات روند بارش ماه Mar

Figure 7- The trend of monthly precipitation in Mar



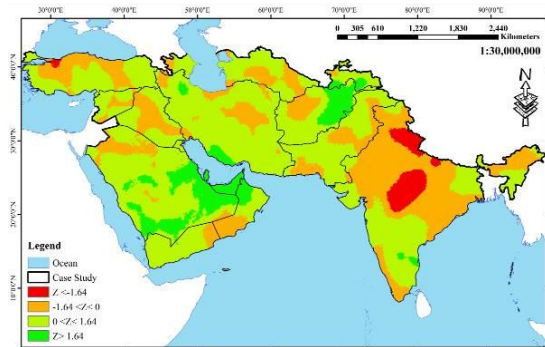
شکل 10- تغییرات روند بارش ماه Jun

Figure 10- The trend of monthly precipitation in Jun



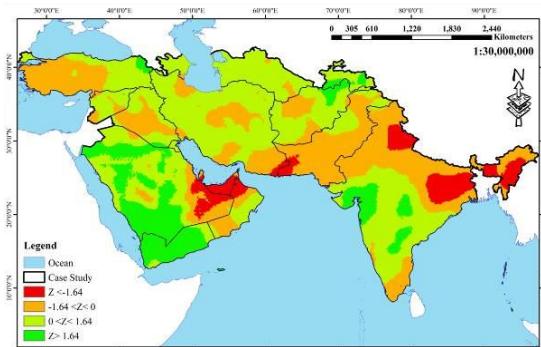
شکل 9- تغییرات روند بارش ماه May

Figure 9- The trend of monthly precipitation in May



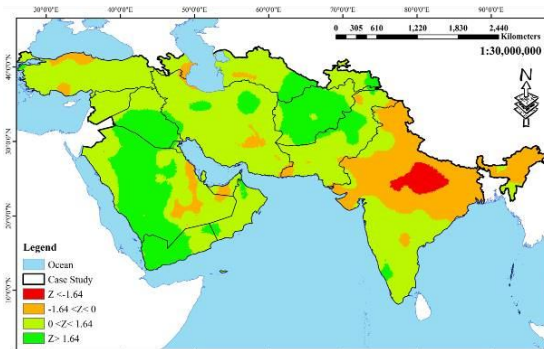
شکل 12- تغییرات روند بارش ماه Aug

Figure 12- The trend of monthly precipitation in Aug



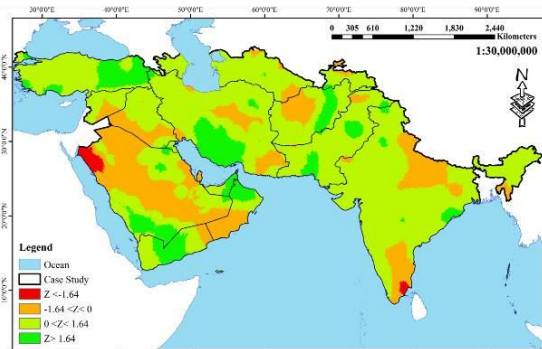
شکل 11- تغییرات روند بارش ماه Jul

Figure 11- The trend of monthly precipitation in Jul



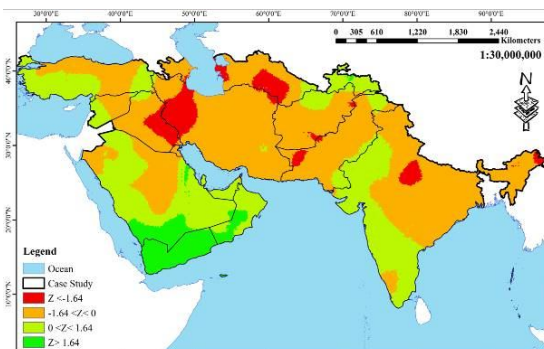
شکل 14- تغییرات روند بارش ماه Oct

Figure 14- The trend of monthly precipitation in Oct



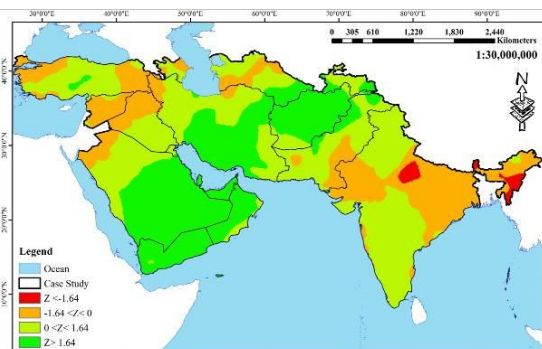
شکل 13- تغییرات روند بارش ماه Sep

Figure 13- The trend of monthly precipitation in Sep



شکل 16- تغییرات روند بارش ماه Dec

Figure 16- The trend of monthly precipitation in Dec



شکل 15- تغییرات روند بارش ماه Nov

Figure 15- The trend of monthly precipitation in Nov

است. وضعیت کشورهای هندوستان، پاکستان، عربستان، امارات، یمن، عمان و کویت نیز نسبت به سایر ماه‌ها بهتر شده و روندی افزایشی در مقادیر بارش‌های را تجربه کرده‌اند.

اما در ماه مه (ماه پنجم میلادی) اکثر نواحی ایران، ترکمنستان، شمال غربی ترکیه و غرب هندوستان با روندی کاهش در مقادیر بارش‌ها روبرو شده است. سایر نواحی منطقه مورد مطالعه افزایش بارش‌ها را نشان می‌دهد. در این ماه نواحی جنوب شرقی کشور ایران روندی افزایشی در مقادیر بارش ماهانه داشته و قسمت‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان این روندی افزایشی معنی‌دار بوده است. کشورهای یمن، عمان و امارات نیز در این ماه روندی افزایشی و معنی‌دار در مقادیر بارش ماهانه دارند. تغییرات پراکنده کاهش و افزایشی در مقادیر بارش ماهانه در ماه ژوئن منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. در این ماه کشور هندوستان بیشترین روند کاهش را تجربه کرده است. این موضوع بیانگر کاهش مقادیر بارش‌های موسمی در این کشور می‌باشد. کشور جمهوری آذربایجان نیز با روندی کاهش و معنی‌دار در مقادیر بارش ماهانه مواجه بوده است. نواحی شمال غرب و جنوب شرق ایران نیز در این ماه (ژوئن) روند

در ماه مارس تغییرات کاهش مقادیر بارش ماهانه به سمت غرب منطقه مورد مطالعه حرکت کرده و کانون روند کاهش معنی‌دار بارش در کشور عراق و سوریه و همچنین مناطق غربی ایران می‌باشد. در این ماه قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه را روندی کاهش در بر گرفته است. در این ماه (مارس) کشور هندوستان، تاجیکستان، یمن و ترکیه روندی افزایشی را در مقادیر بارش‌های ماهانه تجربه کرده‌اند. همچنین در این ماه کشورهای ایران، افغانستان، سوریه و عراق برترین شرایط را در منطقه جنوب غرب آسیا دارند. باگذشت از ماه مارس رفته‌رفته روند کاهش بارش‌ها از سمت غرب منطقه مورد مطالعه خارج شده و روندی افزایشی بر منطقه مورد مطالعه غالب می‌شود. در ماه آوریل وضعیت نواحی مختلف ایران نیز بهتر شده به‌طوری که نواحی مرکزی، جنوب شرق و جنوب غرب با افزایش در مقادیر بارش‌ها مواجه شده است. اما همچنان کشور عراق کانون کاهش بارش‌ها می‌باشد. در این ماه (آوریل) کشور عراق تنها کشوری است که با روند کاهش شدید (معنی‌دار) در بارش‌ها مواجه است. نواحی شمال غربی منطقه مورد مطالعه نیز روندی کاهش دارد. به‌طوری که تمام نواحی کشور سوریه روندی کاهش را تجربه کرده

تغییرات زمانی بارش دارد. در ماه دهم میلادی (اکتبر) همانند ماه سپتامبر کشور هندوستان روندی کاهشی در مقادیر بارش ماهانه داشته و سایر نواحی منطقه مورد مطالعه را روند افزایشی بارش در بر گرفته است و این وضعیت در ماه نوامبر برای کشور ایران و همسایگان غرب و شرق آن مناسب‌تر نیز می‌باشد. به‌طور کلی این نواحی (ایران و همسایگان غرب و شرق آن) روند افزایشی در مقادیر بارش را تجربه کرده‌اند. ماه دسامبر تقریباً اوایل زمستان می‌باشد که اکثر نواحی منطقه مورد مطالعه (جنوب غرب آسیا) را روند کاهشی بارش‌ها در بر گرفته است. در این بین روند تغییرات بارش‌های ماهانه در قسمت‌های غربی و شمال شرقی ایران و نواحی شرقی کشور عراق معنی‌دار می‌باشد. دوهان و پاندی (7) نیز در تحقیقات خود در مورد روند تغییرات بارش‌های هندوستان، روند تغییرات بارش بیشتر نقاط ایالت ماهایا پرادش را کاهشی اعلام کردند. پال و اتباء (22) نیز در تحقیقات خود وجود روند کاهشی بارش ایالت کرالا در هند را در فصل‌های بهار و تابستان و همچنین وجود روند افزایشی بارش‌ها را در فصل‌های پاییز و زمستان تایید کردند. جین و همکاران (9) در بررسی روند تغییرات بارش و دمای مناطق جنوبی هند در دوره آماری 2008-1871، روند معنی‌داری در مقادیر بارش‌ها را گزارش نکردند. اما روند تغییرات مقادیر دما (بیشینه، کمینه و متوسط) در مناطق جنوبی هند را در این دوره آماری افزایشی گزارش کردند. وجود روند کاهشی بارش در پهنه کشور ایران در مطالعات مختلفی نظیر کوثری و همکاران (16) و خلیلی و همکاران (14) نیز تأیید شده است. از طرفی طبری و حسین‌زاده (25)، صبحی و همکاران (23)، کوثری و همکاران (16) و زارع نیستانک و همکاران (29) نشان دادند که روند افزایشی دما در پهنه کشور ایران به‌ویژه در ماه‌های سرد سال وجود دارد و از این رو می‌توان تغییرات دمایی را به‌عنوان یکی از دلایل کاهش بارندگی در ایران دانست، چراکه افزایش درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه ظرفیت جو برای پذیرش و نگهداری رطوبت را افزایش داده و موجب شده است تا هوا به اندازه کافی برای فراهم شدن شرایط بارش، سرد نشود. به عبارت دیگر، وجود روند افزایشی دما باعث ذخیره بیشتر رطوبت در جو شده و مانع گرد هم آمدن شرایط مورد نیاز برای بارش می‌گردد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که ذکر گردید ایران کشوری پهناور و با اقلیم‌های متفاوت می‌باشد که پراکندگی بارش در نقاط مختلف آن متفاوت و تحت تأثیر توده هوای ورودی و وضعیت کشورهای همسایه قرار دارد. لذا بررسی روند تغییرات بارش کشورهای همسایه ایران اطلاعات مفیدی در مورد تغییرات بارش‌های باران را در اختیار می‌گذارد. در این مطالعه روند تغییرات بارش‌های ماهانه و سالانه

کاهشی را در مقادیر بارش‌ها نشان می‌دهد. در این بین بیشتر نواحی کشور افغانستان را روندی افزایشی تشکیل داده است.

در ماه ژوئیه (ماه هفتم میلادی) کشورهای هندوستان (نواحی شمال شرق و شرق)، پاکستان، قطر، امارات و قسمت‌های جنوب شرق عربستان را روندی کاهشی و معنی‌دار در مقادیر بارش‌ها در بر گرفته است. کاهش بارش‌های این ماه بیانگر کاهش شدید مقادیر بارش‌های موسمی در این نواحی بوده که این خود نیز نگرانی‌های جدی در مورد خشک‌سالی و ایجاد بارش‌های حدی در منطقه ایجاد می‌کند. در این بین بارش کشورهای یمن، تاجیکستان، جمهوری آذربایجان در این ماه افزایشی بوده و حتی در بسیاری از نواحی این روند افزایشی معنی‌دار نیز بوده است.

بادهای موسمی در فصل تابستان هوای گرم و مرطوب حاره‌ای را گسترش می‌دهند. هوای گرم و مرطوب حاره‌ای به دو طریق وارد نواحی جنوب ایران می‌شود. اول از طریق نسیم دریا که از دریای عمان و خلیج فارس تا شعاع و ارتفاع محدودی وارد خاک ایران می‌گردد محدوده آن بسیار کوچک است و به دلیل گسترش پر فشار جنب حاره‌ای آژور بر بالای منطقه نقش چندانی در بارندگی ندارد. راه دوم، ورود هوای موسمی از طریق کم فشار حرارتی در فصل تابستان بر روی پاکستان و هندوستان است. به هر حال فراوانی و شدت بارش‌های موسمی تابستانه در سرزمین ایران با توجه به سمت ورود آن‌ها پایین می‌باشد. اثر آب و هوایی سرزمین‌های عربستان نیز عمدتاً در فصل تابستان ظاهر می‌شود. در دوره گرم سال بر اثر استقرار پرفشار جنب حاره‌ای آژور بر بالای ایران، آسمان ایران بدون ابر می‌باشد، که در نتیجه سبب گرمایش سطح زمین می‌گردد. گرمایش زمین مرکز کم فشاری بر روی خلیج فارس را به وجود می‌آورد. این مرکز کم فشار هوای شبه جزیره عربستان را به داخل ایران می‌کشد (می‌مکد). ورود هوای گرم و خشک عربستان به داخل ایران سبب بالا رفتن دمای شهرهای جلگه خوزستان می‌شود و هوای گرم و خشک بر این منطقه حاکم می‌شود. (1).

کانون کاهش بارش‌های ماهانه در ماه (اوت) به سمت کشور هندوستان حرکت کرده و قسمت اعظم این کشور را شامل شده است. اکثر نواحی کشور ایران نیز در این ماه روندی افزایشی در مقادیر بارش‌های این ماه تشکیل شده است که این روند افزایشی در همسایگان غربی و شرقی ایران نیز دیده می‌شود. به‌طور کلی وضعیت ایران و کشورهای همسایه آن در این ماه خوب می‌باشد.

برخلاف سایر ماه‌های مورد بررسی در ماه هشتم میلادی (سپتامبر) روند کاهشی مقادیر بارش‌های ماهانه به سمت نواحی جنوب غربی منطقه مورد مطالعه (منطقه جنوب غرب آسیا) حرکت کرده و کشور عربستان در این ماه کانون رند کاهشی می‌باشد. مناطق جنوب غربی کشور ایران نیز در این ماه بهترین شرایط را از نظر

و ژئوتیه شیب تغییرات مقادیر بارش ماهانه در ایران کاهشی بوده ولی در ماه‌های مشابه وضعیت شیب خط روند بارش‌ها در منطقه جنوب غرب آسیا افزایشی می‌باشد. در سایر ماه‌ها نیز شیب روند تغییرات مقادیر بارش ماهانه افزایشی بوده که در ماه‌های آوریل، سپتامبر و اکتبر متوسط تغییرات افزایشی بارش کشور ایران کمتر از متوسط منطقه جنوب غرب آسیا در دوره آماری مشترک می‌باشد. اما شیب تغییرات مقادیر بارش ماهانه در ماه‌های مارس و نوامبر در ایران نسبت به متوسط منطقه بهتر می‌باشد. با بررسی مقادیر آماره Z مان-کندال اصلاح شده نتایج نشان داد که دو کشور عراق و ایران در منطقه مورد مطالعه وضعیت نامناسب‌تری از نظر تغییرات زمانی بارندگی نسبت به سایر کشورهای مورد بررسی دارند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در مقیاس سالانه و ماهانه و در اکثر ماه‌ها این دو کشور (ایران و عراق) به‌عنوان کانون کاهش بارش‌های منطقه یاد شده و در مرکز تغییرات کاهشی معنی‌دار بارش‌ها قرار دارند. در واقع این دو کشور هستند که متحمل کمبودهای شدید بارش شده و با خشک‌سالی مواجه شده‌اند.

منطقه جنوب غرب آسیا در دوره آماری 1970-2014 با استفاده از آزمون مان-کندال اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی روند تغییرات سالانه در کشور ایران نشان داد که در مقیاس سالانه شمال غرب کشور با روند کاهشی معنی‌دار در بارش مواجه بوده است. همچنین بارش سالانه مناطق شرقی و شمال شرق و بخشی از غرب کشور نیز روند معنی‌دار کاهشی داشته و مناطق مرکزی نیز از روند کاهشی بارش در دوره آماری مورد مطالعه برخوردار بوده‌اند. متوسط کاهش بارش‌های ایران در مقیاس سالانه و ماهانه نشان داد که در مقیاس سالانه به‌طور متوسط در هر سال 1/06 میلی‌متر کاهش می‌یابد که این مقدار به‌طور متوسط در منطقه مورد مطالعه (جنوب شرق آسیا) برابر با کاهش حدود 0/33 میلی‌متر در هر سال می‌باشد که نشان دهنده کاهش بیش از سه برابری بارش‌های ایران نسبت به بارش‌های منطقه جنوب غرب آسیا در مقیاس سالانه می‌باشد. همچنین نتایج بررسی شیب خط روند در ماه‌های مختلف نشان داد که ماه‌های دسامبر، مارس و ژانویه بارش-های ایران نسبت به متوسط تغییرات بارش منطقه مورد بررسی به-ترتیب حدود 5، 3 و 5 برابر کاهشی‌تر می‌باشد. در ماه‌های فوریه، مه

منابع

- 1- Alijani B. 1995. Iran's Weather. Tehran, PNU. 236 Pp. ISBN: 978-964-455-621-0. (In Persian)
- 2- Bandyopadhyay A., Bhadra A., Raghuwanshi N.S., and Singh R. 2009. Temporal Trends in Estimates of Reference Evapotranspiration over India. Journal of Hydrology Engineering. 14(5):508-515.
- 3- Becker S., Gemmer M., and Jiang T. 2006. Spatiotemporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River catchment. Stochastic Environ and Research Risk Assessment. 20:435-444.
- 4- Burn D.H., Cunderlik J.M., and Pietroniro A. 2004. Hydrological trends and variability in the Liard River basin. Hydrological Sciences. 49(1):53-67.
- 5- Chen j., Wub X., Finlayson B., Webber M., Wei T., and Li M. 2014. Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. Journal of Hydrology. 513:403-412.
- 6- De Lima M.I.P., Marques A.C., De Lima J.L.M.P., and Coelho F.E.S. 2005. Precipitation Trends in Mainland Portugal in the period 1941-2000. Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability - Actas do Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources. Guimarães, 11-13 de Julho de 2005, 12 p.
- 7- Duhan D., and Pandey A. 2013. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901-2002 at Madhya Pradesh, India. Atmospheric Research. 122:136-149.
- 8- Hamed K.H., and Rao A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology. 204:182-196.
- 9- Jain SK., Kumar V., and Saharia M. 2013. Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. International Journal of Climatology. 33: 968-978.
- 10- Kahya E., and Partal T. 2007. Is seasonal precipitation decreasing or increasing in Turkey?. Online Journal of Earth Sciences. 1(1): 43-46.
- 11- Karmeshu N. 2012. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test-A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States.
- 12- Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London.
- 13- Khalili K., Nazeri-Tahrudi M., and Khanmohammadi N. 2014. Trend Analysis of Precipitation in Recent two Decades over Iran. Journal of Applied Environment and Biological Science. 4(1s):5-10.
- 14- Khalili K., Tahoudi M.N., Mirabbasi R., and Ahmadi F. 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 30(4):1205-1221.

- 15- Khaliq M.N., Ouarda T.B.M.J., and Gachon P. 2009. Identification of temporal trends in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers: The effect of short- and long-term persistence. *Journal of Hydrology*. 369:183–197.
- 16- Kousari MR., Ahani H., and Hendi-Zadeh R. 2013. Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960-2005. *Global and Planetary Change*. 111:97-110.
- 17- Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374(1-2): 171-183.
- 18- Luo Y., Liu S., Fu S.L., Liu J.S., Wang G.Q., and Zhou G.Y. 2008. Trends of precipitation in Beijiing River Basin, Guangdong Province, China, *Hydrological Processes*. 22: 2377–2386.
- 19- Mann H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259.
- 20- Mirabbasi R. 2010. Evaluation the time's properties of precipitation trend (Case study: North-west of Iran). Research plan report, East Azarbaijan Regional Water Company. (in Peesian).
- 21- Nazeri Tahroudi M., Ahmadi F., and Khalili K. 2017. Evaluation the Trend and Trend Chang Point of Urmia Lake Basin Precipitation. *Journal of Water and Soil*. DOI: 10.22067/jsw.v31i2.55338 (in Persian).
- 22- Pal I., and Al-Tabbaa A. 2009. Trends in seasonal precipitation extremes an indicator of 'climate change' in Kerala, India. *Journal of Hydrology* 367:62–69.
- 23- Saboohi R., Soltani S., and khodaghali M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theatrical Applied Climatology*. 109:529–547.
- 24- Sen P.K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63(324):1379-1389.
- 25- Tabari H., and Hosseinzadeh-Talaei P. 2011. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Atmospheric Research*. 79:1-10.
- 26- Thiel H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial analysis, part 3.
- 27- Wang Q., Fan X., Qin Z and Wang M. 2012. Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. *Global and Planetary Change* 93:138-147.
- 28- Yang X. L., Xu L. R., Li C. H., Hu J., and Xia H.X. 2012. Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan river basin during last 53 years. *Procedia Environmental Sciences*. 13: 1774-1966.
- 29- Zarenistanak M., Dhorde AG., and Kripalani RH. 2014. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. *Theatrical Applied Climatology*. 116:103-117. DOI 10.1007/s00704-013-0913-1.



Evaluation the Trend of South-West of Asia Precipitations

M. Nazeri Tahroudi^{1*} - H. Khozaymeh Nejad²

Received: 13-03-2017

Accepted: 07-08-2017

Introduction: Despite our scientific development and awareness of the consequences of regional and global climate change little attention has been paid to the effects of the changes in the Middle East and Central Asia yet. In the Middle East, climate change is a big challenge, especially if successive droughts and persistent increase as well as growing demand for water and water shortages attention, the challenge take on a large scale. Iran is a vast country with a different climate Rainfall distribution. Also precipitation is influenced by air mass entering the country from the neighboring countries, so rainfall in different regions of Iran is heavily influenced by the situation in neighboring countries. The aim of this study is evaluation of the trend of annual and monthly precipitations of the South-West of Asia with modified Mann-Kendall test by considering the effect of autocorrelation.

Materials and Methods: In this study monthly and annual precipitation data of 4152 rain gauge stations in Iran and its 15 neighboring in a period of 1970-2014 was used and been downscaled to evaluate the trend of monthly and annual precipitations. In this study the monthly and annual precipitations time series of Afghanistan, Azerbaijan, India, Iraq, Kuwait, Oman, Pakistan, Saudi Arabia, Syria, Tajikistan, Turkey, Turkmenistan, Qatar, Yemen and Iran were used. The purpose of the trend test is to specify the presence or absence of ascending or descending order in the data series. Since there are assumptions in the parametric methods such as the normality, stationary and independent variables and this assumption is often not valid for hydrological variables, the nonparametric Mann-Kendall method that is applicable to the hydrological and meteorological studies can be used.

Results and Discussion: The results of evaluating the trend of annual precipitation of study stations in the period of 1971-2014 using the Mann-Kendall modified by omitting the effect of autocorrelation indicated that all of the regions of Iran has decreasing trend in annual precipitations and there are significant decreasing trend in the western regions of Iran and western areas of Caspian sea, some central and eastern regions of Iran in five percentage significantly. The rest of the decreasing trend in annual rainfall amounts included in the country has experienced. In annual terms in countries, that border the study area is faced with an increasing trend in annual rainfall amounts so that the country at the center of the crisis (lack of rain) is located. The southern part of India, southwestern Saudi Arabia, the northern region of Turkmenistan and the eastern regions of Afghanistan and Pakistan with the increasing trend in annual rainfall amounts over the 1970-2014 statistical has faced. The trend of monthly rainfall amounts for the month of January (second month) showed that the amount of rainfall during the month trend of central and eastern regions of the study area is decreasing. In February (second month of the year) rainfall conditions in the study area as well as in the country in terms of changes time has improved and areas of Iran is faced with increasing precipitation. Changes decreasing the amount of monthly precipitation in March moved to the West study area and focus a significant decline in rainfall in the western regions of Iraq and Syria and Iran. However, in May (fifth month) most regions of Iran, Turkmenistan, northwestern Turkey and the West areas of India has been facing a decreasing trend in rainfall amounts. Other areas showed an increase in precipitation. In July (the seventh month), India (regions Northeast and East), Pakistan, Qatar, Saudi Arabia, the South East of United Arab Emirates has significant decreasing trend in rainfall amounts. Focus of decreasing monthly precipitation for the August moved to India and much of the country is included. Unlike other months of the study, in the eighth month (September) process to reduce the amount of monthly precipitation moved to south western parts of the study area (South West Asian countries) and Saudi Arabia in this month is central of decreasing.

Conclusion: The results of the annual trend of precipitation in Iran indicated that in an annual scale the North West of Iran is faced with the significant decrease trend in rainfall. The annual rainfall across eastern and northern part Iran also has significant decreasing trend and Central regions had a decreasing trend of precipitation in the period of studied. Iranian medium-scale review of the annual and monthly precipitation

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Birjand University, Birjand

(*- Corresponding Author Email: m_nazeri2007@yahoo.com)

showed that the annual precipitation is reduced about 1.06 mm per year that the average amount of it's in the study area (South-West of Asia) equal to the reduction of 0.33 mm per year which represents more than three times decreasing precipitation of Iran's regional in a year as South West Asia. Also the results of evaluating the slope of trend line in different months indicated that in December, March, January, the Iran's precipitations is most decreasing as average of annual precipitation in studiing regions about 5, 3 and 5 times respectively.

Keywords: Asia, Meddle East, Modified Mann-Kendall, Trend

Contents

Effect of Mouth Shape on the Energy and Momentum Coefficients and Flow Separation Dimensions	1289
M. Karami Moghadam- T. Sabzevari- M. Nourzadeh Hadad	
Combining FAO Model and Vegetation Indices to Estimate Crop Coefficient Using Principle Component Analysis	1301
L. Parviz	
Evaluation the Effect of Different Land Use and Soil Characteristics on Saturated Hydraulic Conductivity	1312
E. Afzali Moghadam- N. Boroomand- V. R. Jalali- S. Sanjari	
Effects of Dissolved Organic Matter on Sorption of Metribuzin Herbicide by Two Different Soils	1324
M. R. Rigi- M. Farahbakhsh	
Distribution of Zn Fractons and their Relationship with Soil Properties in Some Soils of Khorasan Razavi Province	1339
Z. Sharifi-A. R. Astaraei- A. Fotovat- M. Barani Motlagh- H. Emami	
Influence of Microbial Inoculation on Growth, Fe and Zn Uptake and Biochemical Response of <i>Hyoscyamus niger</i> L. in Lead (Pb) Stress	1354
A. Karimi- H. Khodaverdiloo- M.H. Rasouli-Sadaghiani	
Response of Earthworm <i>Eisenia fetida</i> to the Stresses Induced by Salinity and Lead Pollution in a Soil Amended with Cow Manure	1370
M. Nazarizadeh- F. Raiesi- H. Motaghian	
Investigation of Natural Radioactivity of Agricultural and Virgin Soils in Arak and Saraband Cities in Markazi Province, Iran	1382
R. Pourimani- F. Yousefi	
Evaluation Theerosion and Sediment in Different land Uses of Tamer Watershed, Golestan Province Using SWAT Model	1395
F. Kiani- B. Behtarinejad- A. Najafinejad- R. Kaboli	
Effects of Jasmonic Acid and Humic Acid to Mitigate Drought Stress Effect During Pollination of Forage Maize	1408
E. Madadi- S. Fallah	
Impact of Different Tree Compositions and Soil Properties on Soil Microbial Community	1422
S.Tajik- S. Ayoubi- J. Khajehali- Sh. Shataee	
Application and Fertilization Efficiency of Iron in Some Wheat Genotypes	1431
P. Keshavars- M. Forouhar- M. Dadivar	
Determination of Effective Factors in Gullies Development in Modares Watershed of Shushtar	1446
F. Soleimani - M. Soufi - A. Orsham	
A Simple Physical Method for Purification of Sepiolite	1455
M. Momen- A. Karimi- A. Halajnia- P. Mirhoseini Moosavi	
Firefly Algorithm and Genetic Algorithm Performance in Cation Exchange Capacity Prediction by Artificial Neural Networks	1466
M. Servati- H. Momtaz	
The Effect of Foliar Application of Iron Sources on Growth Parameters, Iron Concentration and Activity of Some Enzymes of Sorghum	1480
S. Golshahi- A. Gholamalizadeh Ahangar- N. Mir- M. Ghorbani	
Investigation of Daily Rainfall Distribution Using the NRC Method (Case Study: Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad)	1496
F. Banan Ferdosi- Y. Dinpashoh	
Snow Water Equivalent Estimation Using AMSR-E and GLDAS Model (Case Study: Basins of Northwestern Iran)	1510
H. Ansari- S. Marofi	
Evaluation the Trend of South-West of Asia Precipitations	1525
M. Nazeri Tahroudi- H. Khozayemeh Nejad	

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 31

No. 5

2017

Published by: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Manager in Charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editor in Chief: Fotovat, A. (Soil Science) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Alizadeh, A.	Irrigation and Drainage	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Astaraei, A. R.	Soil Science	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Fotovat, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghaemi, A.A.	Irrigation and Drainage	Assoc. Prof., Shiraz University
Kamali, Gh.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Islamic Azad University, Tehran
Khormali, F.	Soil Science	Prof., Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan
Kiani, A.R.	Irrigation and Drainage	Prof., Agricultural and Natural Resources Res. Center of Golestan Province
Lakzian, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mahdian, M.H.	Irrigation and Drainage	Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Mosaedi, A.	Irrigation and Civil Eng.	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mousavi Baygi, M	Agricultural Meteorology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Oustan, Sh.	Soil Science	Assoc. Prof., Tabrzi University
Sanaei-Nejad, S.H.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad, Press.

Address: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775- 1163

Fax: +98 511 8787430

E-Mail: jswa3@um.ac.ir

Web Site: <http://jm.um.ac.ir>

Journal of Water and Soil is published bimonthly (six issues per year).