



عنوان مقالات

- مطالعه عددی و آزمایشی رفتار هیدرولیکی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در توزیع های متفاوت جریان ۱۰۴۱
سید سعید اخروی- سید سعید اسلمیان- نادر فتحیان پور
- تعیین سهم منابع رسوب حوزه با استفاده از تکنیک انگشت نگاری عناصر ژئوشیمیایی (مطالعه موردی: حوزه دره انار باغملک) ۱۰۵۵
امین ذرتی پور- محمد معظی- محمدرضا انصاری
- تأثیر مدیریت آبیاری (نوع سیستم و تنش کم آبی) بر عملکرد و شاخص های فیزیولوژیکی انگور (مطالعه موردی منطقه ناغان) ۱۰۶۹
فاطمه فتاحی ناغانی- مهدی قبادی نیا- عبدالرحمن محمدخانی- محمدرضا نوری امامزاده نی
- بررسی تغییرات برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به روش زمین آمار در حوزه آبخیز شهرستان مرند- آذربایجان شرقی ۱۰۸۱
لیلا کاشی زنوزی- محمدرضا یزدانی- محمد خسروشاهی- محمد رحیمی
- برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز با به کارگیری تئوری فرکتال و مدل بارش- رواناب HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه خرم آباد) ۱۰۹۷
حمیدرضا باباعلی- زهره رامک- رضا سپهوند
- بسط منحنی های هاف برای پنج ایستگاه منتخب در شرق دریاچه ارومیه ۱۱۰۹
ساینا وکیلی آذر- یعقوب دین پژوه
- ارتباط شماره منحنی حوضه آبخیز با شاخص سطح برگ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کرهس) ۱۱۲۵
خدایار عبداللهی- سمیرا بیانی
- پهنه بندی کرین آلی خاک با استفاده از روش های زمین آماری و شبکه عصبی مصنوعی (استان کهگیلویه و بویراحمد) ۱۱۳۵
پریسا لاهوتی- سید مصطفی عمادی- محمد علی بهمنیار- مهدی قاجار سپانلو
- رابطه بین اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی با تکامل خاکهای منطقه رامهرمز، استان خوزستان ۱۱۴۹
یونس عبدلی- سیروس جعفری- عباس بشکار
- تأثیر کمپوست بقایای هرس درختان بر برخی شاخص های میکروبیولوژیکی یک خاک آهکی در حضور میکوریز در شرایط رایزوباکسی ۱۱۶۵
رقیه واحدی- میر حسن رسولی صدقیانی- محسن برین
- کاربرد ماشین های بردار پشتیبان برای تهیه نقشه پوشش / کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست ۱۱۷۹
محمد علی محمودی- سهیلا مومینی- مسعود داوری
- اثر اسید هیومیک بر شاخص های فیزیولوژیکی کمبود آهن در گیاه کلزا (رقم هایولا ۳۰۸) ۱۱۹۱
طالب نظری- مجتبی بارانی مطلق- اسماعیل دردی پور- رضا قربانی نصرآبادی- سمیه سفیدگر شاهکلایی
- تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک با استفاده از زمین آمار و سنجش از دور جهت پهنه بندی بافت خاک ۱۲۰۷
فرخ اسدزاده- کمال خسروی اقدم- نفیسه یغمائیان مهابادی- حسن رمضان پور
- کاربرد کیتوسان اتصال عرضی یافته با کاپاکاراگینان در حذف یون های کادمیم از محلول های آبی و خاکی ۱۲۲۳
سارا ملامعلی عباسیان- فرحناز داشبلاغی- غلامرضا مهدوی نیا

Contents

- Numerical and Experimental Study of Internal Hydraulic Behavior of Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland in Different Flow Distributions 1053
S.S. Okhravi- S.S. Eslamian- N. Fathianpour
- Determination of Contribution of the Sediment Resources, using the Geochemical Elements Fingerprinting Technique (Case Study: Dare Anar basin of Baghmalek) 1066
A. Zoratipour- M. Moazami - M. R. Ansari
- Effect of Irrigation Management (System Type and Water Stress) on Yield and Physiological Indices of Grapes (Case Study: Naghang Region) 1079
F. Fattahi- Naghani- M. Ghobadina- A.R. Mohammadkhani- M.R. Nouri-Emamzadeie
- Assessment of Some Parameters of Groundwater Quality Changes in the Marand Country Watershed- East Azarbayejan 1094
L. Kashi Zenouzi- M. R. Yazdani- M. Khosroshahi- M. Rahimi
- Estimation of Design Flood Using Fractal Theory and HEC-HMS Model (Case Study: Khorramabad River Basin) 1106
H.R. Babaali- Z. Ramak- R. Sepahvand
- Development of Huff Curves for the Five Selected Stations in the East of Urmia Lake 1122
S. Vakili Azar- Y. Dinpashoh
- Curve Number Estimation Based on the Leaf Area Index (A Case Study: Kareh-BasBasin) 1134
K. Abdollahi- S. Bayati
- Soil Organic Carbon Mapping By Geostatistics and Artificial Neural Network Methods (Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Province) 1147
P. Lahooti- S. M. Emadi- M. A. Bahmanyar- M. Ghajar Sepanlou
- Correlation between Different Fe Forms and Magnetic Susceptibility with the Development of Some Ramhormoz's Soils, Khuzestan Province, Iran 1163
Y. Abdoli- S. Jafari- A. Beshkar
- Effect of the Compost of Trees Pruning Wastes on Some Microbiological Indices of a Calcareous Soil in the Presence of Mycorrhiza under Rhizobox Conditions 1176
R. Vahedi- M.H. Rasouli-Sadaghiaei - M. Barin
- Application of Support Vector Machines for Land Use and Land Cover Classification from Landsat ETM Imagery 1189
M. A. Mahmoodi- S. Momeni, M. Davari
- Effect of Humic Acid on Physiological Indices of Iron Deficiency in Canola (*Brassica napus*) (cv. Hyola 308) 1204
T. Nazari- M. Baranimotlagh- E. Dordipour- R. Ghorbani Nasrabadi- S. Sefidgar Shahkolaei
- Spatial Variation of Mineral Particles of the Soil using Remote Sensing Data and Geostatistics to the Soil Texture Interpolation 1222
F. Asadzadeh- K. Khosraviqdam- N. Yaghmaei Mahabadi- H. Ramezanpour
- Application of Chitosan Cross-linked with κ -Carrageenan for Removal of Cadmium Ions from Water and Soil Systems 1233
S. Mola Ali Abasiyan- Farahnaz Dashbolaghi. Gh. R. Mahdavinia

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 32 شماره 6 بهمن - اسفند سال 1397

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)

تقواییان، صالح

استادیار - آبیاری (دانشگاه اوکلاهوا، امریکا)

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)

قدیری، حسین

استاد - خاکشناسی (دانشگاه گریفیت، استرالیا)

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: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

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

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.



مندرجات

- ۱۰۴۱ مطالعه عددی و آزمایشی رفتار هیدرولیکی تالاب مصنوعی زیر سطحی افقی در توزیع های متفاوت جریان سید سعید اخروی - سید سعید اسلامیان - نادر فتحیان پور
- ۱۰۵۵ تعیین سهم منابع رسوب حوزه با استفاده از تکنیک انگشت نگاری عناصر ژئوشیمیایی (مطالعه موردی: حوزه دره انار باغملک) امین ذرتی پور - محمد معظمی - محمدرضا انصاری
- ۱۰۶۹ تأثیر مدیریت آبیاری (نوع سیستم و تنش کم آبی) بر عملکرد و شاخص های فیزیولوژیکی انگور (مطالعه موردی منطقه ناغان) ... فاطمه فتاحی ناغانی - مهدی قبادی نیا - عبدالرحمن محمدخانی - محمدرضا نوری امامزاده ئی
- ۱۰۸۱ بررسی تغییرات برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به روش زمین آمار در حوزه آبخیز شهرستان مرند - آذربایجان شرقی لیلا کاشی زنوزی - محمدرضا یزدانی - محمد خسروشاهی - محمد رحیمی
- ۱۰۹۷ برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز با به کارگیری تئوری فرکتال و مدل بارش - رواناب HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه خرم آباد) حمیدرضا باباعلی - زهره رامک - رضا سپهوند
- ۱۱۰۹ بسط منحنی های هاف برای پنج ایستگاه منتخب در شرق دریاچه ارومیه سائنا و کیلی آذر - یعقوب دین پژوه
- ۱۱۲۵ ارتباط شماره منحنی حوضه آبخیز با شاخص سطح برگ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کره بس) خدایار عبدالهی - سمیرا بیاتی
- ۱۱۳۵ پهنه بندی کربن آلی خاک با استفاده از روش های زمین آماری و شبکه عصبی مصنوعی (استان کهگیلویه و بویراحمد) پریسا لاهوتی - سید مصطفی عمادی - محمد علی بهمنیار - مهدی قاجار سپانلو
- ۱۱۴۹ رابطه بین اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی با تکامل خاکهای منطقه رامهرمز، استان خوزستان یونس عبدلی - سیروس جعفری - عباس بشکار
- ۱۱۶۵ تأثیر کمپوست بقایای هرس درختان بر برخی شاخص های میکروبیولوژیکی یک خاک آهکی در حضور میکوریز در شرایط ریزوباکس رقیه واحدی - میر حسن رسولی صدقیانی - محسن برین
- ۱۱۷۹ کاربرد ماشین های بردار پشتیبان برای تهیه نقشه پوشش / کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست محمد علی محمودی - سهیلا مومینی - مسعود داوری
- ۱۱۹۱ اثر اسید هیومیک بر شاخص های فیزیولوژیکی کمبود آهن در گیاه کلزا (رقم هایولا ۳۰۸) طالب نظری - مجتبی بارانی مطلق - اسماعیل دردی پور - رضا قربانی نصرآبادی - سمیه سفیدگر شاهکلایی
- ۱۲۰۷ تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک با استفاده از زمین آمار و سنجش از دور جهت پهنه بندی بافت خاک فرخ اسدزاده - کمال خسروی اقدم - نفیسه یغمائیان مهابادی - حسن رمضان پور
- ۱۲۲۳ کاربرد کیتوسان اتصال عرضی یافته با کاپاکاراگینان در حذف یون های کادمیم از محلول های آبی و خاکی سارا ملاعلی عباسیان - فرحناز داشبلاغی - غلامرضا مهدوی نیا

مطالعه عددی و آزمایشی رفتار هیدرولیکی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در توزیع‌های متفاوت جریان

سید سعید اخروی^{۱*} - سید سعید اسلامیان^۲ - نادر فتحیان پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱

چکیده

بررسی رفتار هیدرولیکی داخلی سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در جهت بهینه‌سازی طراحی امری ضروری است. بدین منظور، این پژوهش اثرات نحوه توزیع جریان ورودی را در سه آرایش متفاوت شامل: (A) حالت ورودی وسط، (B) ورودی گوشه و (C) ورودی یکنواخت به صورت آزمایشی و عددی بررسی نمود. در تمامی حالات، خروجی در وسط سامانه ثابت بوده است. شبیه‌سازی عددی بر پایه معادله جریان زیر سطحی در محیط‌های متخلخل (دارسی) با نرم‌افزار کامسول انجام و سپس توسط داده‌های آزمایشی واسنجی شد. تحلیل منحنی زمان ماند حاصل از مطالعه آزمایشی نشان داد که توزیع یکنواخت جریان با افزایش پخشیدگی جریان و کاهش مسیرهای میان‌بر سبب افزایش زمان ماند میانگین و در نتیجه راندمان هیدرولیکی سامانه می‌شود. شبیه‌سازی جریان داخلی این آرایش نیز حاکی از توزیع همگون فشار و خطوط جریان در طول سامانه می‌باشد. دامنه تغییرات فشار درون سامانه در سه آرایش به ترتیب ۱۴، ۱۲ و ۱۰ سانتی‌متر آب است. اختلاف زیاد فشار در نواحی پرفشار و کم‌فشار در آرایش ورودی گوشه ناشی از توزیع ناهمگون جریان ورودی بوده که با ایجاد مسیرهای میان‌بر متعدد سبب کاهش زمان ماند میانگین و حجم مؤثر در سامانه می‌شود. حجم مؤثر در این آرایش ۶۲/۱ درصد می‌باشد در حالی که در دو آرایش دیگر ۸۷/۵ درصد است. با توجه به تعریف جریان ایده‌آل در تالاب مصنوعی می‌توان نتیجه گرفت که ورودی یکنواخت به جهت پخشیدگی جریان بالاتر، حجم مرده و میزان مسیرهای میان‌بر کمتر به عنوان بهترین آرایش ورودی جریان شناخته می‌شود و سپس آرایش ورودی وسط دارای عملکرد مناسبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آرایش ورودی جریان، تغییرات فشار، زمان ماند هیدرولیکی، شبیه‌سازی، مسیرهای میان‌بر

مقدمه

بستر (محیط متخلخل)، گیاه، عایق آب‌بند و قسمت‌های ورودی و خروجی می‌باشد. فاضلاب ورودی به این سامانه به واسطه حضور عواملی مانند گیاه، میکروارگانیسم و ماده بستر تحت تأثیر فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفته و تصفیه می‌شود. این سامانه بر اساس الگوی جریان به سه دسته جریان آزاد سطحی، زیرسطحی افقی و عمودی تقسیم‌بندی می‌شود (۳). انتخاب نوع طراحی سامانه علاوه بر توجه به توصیف جنبشی واکنش‌های بیولوژیکی تصفیه، به آگاهی از کارکرد الگوی جریان در سامانه نیز وابسته است (۱۲).

تا به امروز، تمرکز تحقیق بر پارامترهای بیولوژیک سامانه‌های تالاب مصنوعی نظیر رابطه بین میکروارگانیسم‌ها، نوع گیاهان و اثربخشی خاص هر کدام در میزان راندمان تصفیه، انواع محیط‌های متخلخل با دانه‌بندی و هدایت هیدرولیکی متفاوت و تغییرات میزان تصفیه مرتبط با آن‌ها بوده است (۹، ۲۲ و ۲۳). در مقایسه، مطالعات بسیار محدودی پیرامون رفتار هیدرولیکی داخلی سامانه‌های تالاب مصنوعی و پارامترهای مؤثر بر آن‌صورت گرفته است. در حالی که

یکی از راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب، استفاده مجدد از پساب می‌باشد که با توجه به طیف وسیع آلاینده‌های زیست‌محیطی موجود در آن، نیازمند تصفیه اضافی و استانداردسازی بر اساس نوع مصرف است. امروزه با توجه به هزینه‌های بالای راهکارهای متداول تصفیه، استفاده از روش‌های زیستی چون تالاب‌های مصنوعی جهت کاهش آلاینده‌های اینگونه پساب‌ها، افزایش چشمگیری یافته است. تالاب مصنوعی^۴ به عنوان سامانه تصفیه طبیعی و سازگار با محیط‌زیست شامل حوضچه‌ای آب‌بندی شده با عناصری از قبیل ماده

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: S.okhravi94@basu.ac.ir)

۲- استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار گروه اکتشاف معدن، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.60864
4- Constructed Wetland

یکی از موارد اثرگذار بر رفتار هیدرولیکی داخلی سامانه، نحوه قرارگیری ورودی‌ها و خروجی‌های جریان می‌باشد (۲۱). به عنوان نمونه سو و همکاران (۱۹) در سال ۲۰۰۹ نشان دادند زمانی که نسبت طول به عرض در تالاب‌های مصنوعی با جریان سطحی بیشتر از ۵ باشد راندمان هیدرولیکی به ۹۰ درصد و حتی بیشتر خواهد رسید. همچنین در پژوهش این محققین، راندمان هیدرولیکی آرایش ورودی یکنواخت-خروجی وسط در تالاب مصنوعی سطحی با نسبت طول به عرض ۱/۸ برابر با ۸۸ درصد بدست آمد. درحالی که، این مقدار در آرایش ورودی گوشه-خروجی گوشه معادل با ۶۵ درصد برآورد شده است که بیانگر وجود مسیرهای میان‌بر متعدد در این آرایش ورودی و خروجی جریان است. در پژوهشی در سال ۲۰۱۲ اثرات پارامترهای طراحی مانند نسبت طول به عرض، اندازه متوسط ذرات در محیط متخلخل و نرخ بار هیدرولیکی بر جریان بدون آشفته‌گی و حجم مرده در تالاب‌های مصنوعی با جریان افقی زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت (۷). نتایج نشان داد که نسبت طول به عرض بالاترین تأثیر را بر رفتار هیدرولیکی سامانه دارد. افزایش این نسبت نشان داد که با نزدیک شدن زمان ماند واقعی به زمان ماند اسمی، جریان به حالت یکنواخت و با حجم مرده کم‌تر نزدیک می‌گردد. افزایش بار هیدرولیکی به دلیل افزایش آشفته‌گی جریان تأثیر منفی بر عملکرد سامانه داشته است. محققین این پژوهش سامانه‌ای با ترکیبی از نسبت طول به عرض و نرخ بار هیدرولیکی بالا و اندازه ذرات ریزتر به منظور دستیابی به بالاترین راندمان هیدرولیکی در این سامانه پیشنهاد نمودند.

به دلیل اهمیت بالای رفتار هیدرولیکی داخلی سامانه تالاب مصنوعی بر عملکرد آن، ساختارهای متفاوتی از جریان ورودی و خروجی در این پژوهش به صورت آزمایشی بررسی و سپس مدل‌سازی شد تا اثرات آرایش ورودی و خروجی بر پخشیدگی جریان و عملکرد هیدرولیکی سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی مشخص شوند.

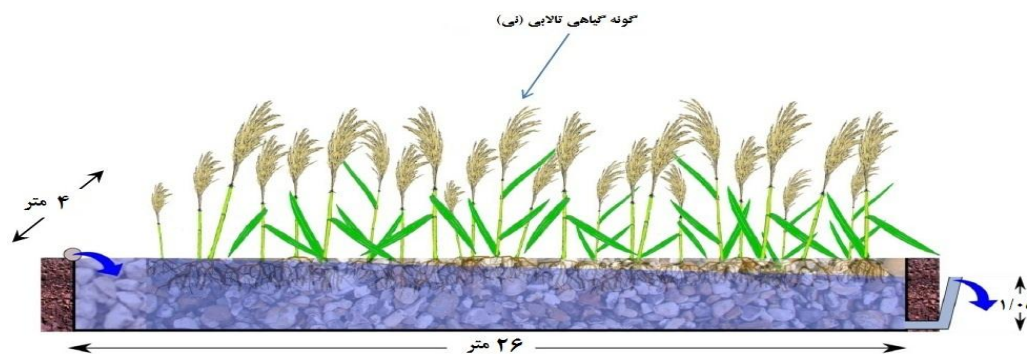
مواد و روش‌ها

در این پروژه، از تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی با نسبت طول به عرض ۶/۵ و شیب یک درصد استفاده شده است (شکل ۱). در این سامانه، برای غیرقابل نفوذسازی بستر، از ورق ۱/۵ میلی‌متری ژئوممبران استفاده شده است. پساب مورد استفاده در این سامانه از تصفیه‌خانه شمال اصفهان به محل پروژه در جاده حبیب‌آباد، ۷ کیلومتری جاده قدیم نائین انتقال یافته است. در حقیقت کارکرد سامانه تالاب مصنوعی، تصفیه پیشرفته پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب و رسیدن به استانداردهای استفاده در عرصه کشاورزی و آبیاری و یا تغذیه به محیط‌زیست می‌باشد.

برای بهینه‌سازی طراحی و افزایش راندمان حذف آلاینده‌ها در سامانه تالاب‌های مصنوعی، توجه به اثرات پارامترهای مؤثر بر رفتار هیدرولیکی سامانه نظیر نرخ بار هیدرولیکی^۱، نسبت طول به عرض، ساختار ورودی و خروجی جریان، عمق آب و اندازه متوسط ذرات امری ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور از ردیاب‌ها برای تحلیل هیدرودینامیکی تالاب‌های مصنوعی و ویژگی‌های مسیرهای جریان زیرسطحی با استفاده از ترسیم منحنی زمان ماند هیدرولیکی استفاده می‌گردد. بررسی اثرات رفتار هیدرولیکی جریان بر راندمان تصفیه ارتباط تنگاتنگی با زمان ماند هیدرولیکی دارد (۲۰). مطالعات نشان داده است که در سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۶ به ۹ روز، راندمان حذف BOD از ۷۲ درصد به ۹۲/۵ درصد و راندمان حذف COD از ۲۸ درصد به ۶۴/۵ درصد افزایش یافته است (۱۱).

محققین متعددی با توسعه مدل‌های عددی، رفتار هیدرولیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در تالاب‌های مصنوعی سطحی و زیرسطحی را شبیه‌سازی نموده‌اند (۴، ۵ و ۱۰). گالوآ در سال ۲۰۱۰ با شبیه‌سازی جریان در تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی، درنظرگیری مشخصات هیدرولیکی بر شرایط جریان را از اهم موضوعات برای طراحی سامانه تالاب مصنوعی عنوان نمود (۴). سمسو و گارسایدر سال ۲۰۱۳ از نرم‌افزار کامسول به هدف مدل‌سازی انتقال مواد بیوشیمیایی و فرایند تجزیه مواد آلی، نیتروژن و سولفور در تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی استفاده نمودند. همچنین آن‌ها میزان زمان لازم برای ثابت شدن جوامع باکتری‌ها برای عملیات بهینه تصفیه و توزیع باکتری‌ها در سامانه تالاب مصنوعی را مشخص نمودند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که جوامع باکتری‌ها پس از ۸۰ روز از بهره‌برداری تالاب مصنوعی در سامانه به پایداری رسیده‌اند (۱۷). همچنین سمسو با ارائه تئوری کارتریج در سال ۲۰۱۴ به بررسی توابع اثرگذار بر الگوهای حرکت باکتری‌ها و فرایند تجزیه در داخل سامانه تالاب مصنوعی پرداخت. تئوری حاصل شده از نتایج شبیه‌سازی به خوبی محدوده مناطق مستعد گرفتگی را نمایش و نحوه حرکت باکتری‌ها در تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی را با استفاده از مدول هیدرولیکی جریان در محیط متخلخل مشخص نمود (۱۸). چنگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی عددی تالاب‌های مصنوعی زیرسطحی افقی عمیق و کم‌عمق در حضور صفحات انحراف جریان به منظور افزایش راندمان هیدرولیکی سامانه پرداختند. نتایج مدل‌سازی آن‌ها نشان داد که برخلاف تصور پیشین، سامانه‌های عمیق به همراه صفحات مذکور به طرز قابل توجهی با ایجاد مسیرهای جریان مارپیچی و کاهش میزان مسیرهای میان‌بر سبب افزایش راندمان هیدرولیکی و یکنواختی جریان و سرانجام افزایش راندمان تصفیه آلاینده‌ها می‌شوند (۲).

1- Hydraulic Loading Rate (HLR)



شکل ۱- ابعاد سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی

Figure 1- Schematic of horizontal sub-surface flow constructed wetland (HSSF CWs)

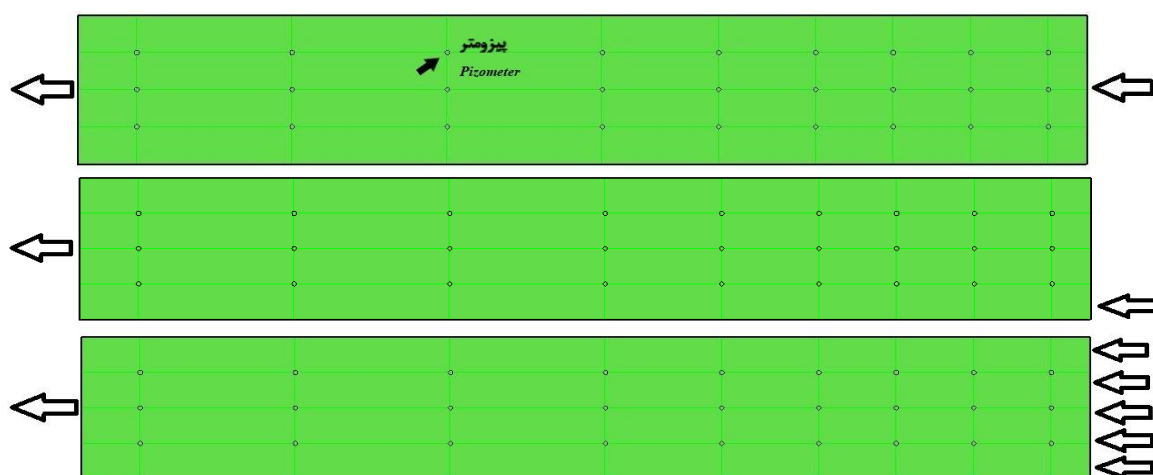
توزیع جریان به حداکثر خود برسد. این سامانه دارای لوله ورودی از جنس pvc در سطح و یک لوله pvc در قسمت انتهایی برای خروج پساب در نظر گرفته شده است. در پایان، لوله خروجی به لوله عمودی با مقطع باز به اتمسفر به هدف مشاهده سطح آب و نمونه برداری وصل شده است.

به عنوان هدف اصلی این پژوهش که شبیه سازی توزیع جریان در سامانه و محاسبه زمان ماند هیدرولیکی میانگین بوده است، سه حالت مختلف قرارگیری ورودی جریان در سامانه مورد آزمایش قرار گرفت که شامل (۱) ورودی وسط (A) (۲) ورودی در گوشه (B) و (۳) ورودی یکنواخت در تمام عرض (C) تنظیم شد. در تمام حالات ورودی، خروجی سامانه از وسط بود (شکل ۲). برای تعیین روند حرکت آب در محیط متخلخل تالاب مصنوعی نیز از ۲۷ عدد پیزومتر به صورت ۹ ردیف ۳ تایی مطابق با شکل ۲ استفاده شد. پیزومترها با هدف نمایش چگونگی حرکت آب در سامانه، واسنجی مدل و بازیابی ردیاب در مسیر جریان مورد استفاده قرار گرفتند.

برای ایجاد محیط متخلخل نیز از ذرات شن استفاده شد که اندازه ذرات در یک متری ابتدا و انتهای سامانه یکسان و در دامنه ۱۲-۲۵ میلی متر است در حالی که اندازه این ذرات در قسمت میانی ۵-۱۲ میلی متر ($d_{50}=7\text{mm}$) می باشد. همچنین، تخلخل محیط ($\emptyset$) حدود ۳۳ درصد بود. در این سامانه از نوع نی (*Phragmites Australis*) محلی اصفهان با تراکم 0.5×0.5 متر استفاده شده است که پس از رشد کامل طول آن ها به حتی ۴ متر نیز خواهد رسید. پساب پس از عبور از محیط متخلخل مذکور در زمان مشخص و تصفیه بوسیله فیلترهای آن و گیاه پالایی توسط گیاهان در داخل حوضچه ای برای استفاده های بعدی اعم از کشاورزی و غیره ذخیره می شود.

آرایش ورودی و خروجی

از آنجا که مکان قرارگیری ورودی و خروجی ها تأثیر بسیار قابل ملاحظه ای بر رفتار هیدرولیکی سامانه دارد (۲۲)، در این مطالعه آن ها در مکان هایی قرار گرفته اند که میزان اثربخشی و بازیابی آن ها بر



شکل ۲- آرایش های ورودی و خروجی سامانه

Figure 2- Inlet and outlet configurations of the system

اندازه‌گیری جریان و آزمایش ردیاب

پساب از طریق پمپاژ و لوله به مکان حوضچه ورودی انتقال یافته و پس از تنظیم دبی در این حوضچه به وسیله سرریزهای واسنجی شده وارد سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی می‌شود. در نتیجه میزان تغییرات دبی روزانه بسیار کم بوده و در حقیقت برای انجام آزمایش‌ها ثابت می‌باشد. به منظور مدل‌سازی جریان و تفسیر داده‌های ردیاب اعم از تعیین میزان بازیابی ردیاب، اندازه‌گیری میزان جریان ورودی و خروجی تالاب ضروری می‌باشد. میزان جریان ورودی در زمان آزمایش و در آرایش‌های ورودی وسط، ورودی گوشه و ورودی یکنواخت به ترتیب ۶/۵۸، ۶/۵۲ و ۶/۴ مترمکعب بر روز می‌باشد (جدول ۱).

در این پژوهش از ردیاب رنگی اورانین (فلئورسین سدیم، ACID YELLOW- CI 45350) با کمترین جذب در محیط‌های قلیایی و خنثی برای ترسیم منحنی توزیع زمان ماند استفاده شده است (۲۴). تزریق ردیاب به صورت لحظه‌ای یا ناگهانی با غلظت ۶g/L در هر سه حالت آرایش ورودی جریان در ساعات اولیه صبح انجام شده است و با نمونه‌برداری روزانه از محل خروجی سامانه تالاب مصنوعی، غلظت روزانه آن مورد محاسبه قرار گرفت. این عمل در آرایش ورودی یکنواخت و آرایش ورودی وسط در هشت روز متوالی و در آرایش ورودی گوشه در شش روز متوالی و با فاصله زمانی ۲۴ ساعت انجام شده است (به طور کلی، آزمایش ردیاب به هدف محاسبه زمان ماند هیدرولیکی تا زمانی ادامه می‌یابد که ۹۰ درصد میزان جرم ردیاب وارد شده بازیابی گردد).

ظرفیت هیدرولیکی

ظرفیت هیدرولیکی تالاب مصنوعی به معنای توانایی سامانه برای پردازش حجم مشخصی از آب در زمان مشخص است. این توانایی تحت تأثیر رفتار هیدرودینامیکی سامانه تالاب مصنوعی قرار دارد. دو فاکتور هیدرولیکی اثرگذار بر عملکرد تصفیه سامانه تالاب مصنوعی با عنوان نرخ بار هیدرولیکی و زمان ماند هیدرولیکی^۱ مورد محاسبه قرار گرفت (۶). زمان ماند هیدرولیکی اسمی (تئوری) با پارامتر t_n از تقسیم حجم کل سامانه (حجم جریان) بر دبی جریان ورودی به دست می‌آید. در حالی که زمان ماند هیدرولیکی واقعی با پارامتر t_m به عنوان زمان ماند میانگین شناخته شده و از ترسیم منحنی توزیع زمان ماند هیدرولیکی و با استفاده از ردیاب برآورد می‌شود. حاصل تقسیم t_m بر t_n بیانگر میزان حجم مؤثر سامانه بوده و ارتباط مستقیم با عملکرد آن خواهد داشت (۱۴). همچنین منحنی توزیع زمان ماند دارای t_{peak} (زمان عبور حداکثر غلظت ردیاب از خروجی) کوچک‌تر

نشانگر پخشیدگی جریان کم‌تر در سامانه می‌باشد که نتیجه آن عدم استفاده از حجم کل سامانه برای عملیات تصفیه است (۱۴).

شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی

هدف اصلی این پژوهش شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی داخلی سامانه تحت تأثیر تغییر ورودی جریان و مقایسه نتایج با منحنی توزیع زمان ماند هیدرولیکی است. بدین خاطر از نرم‌افزار کامسول مولتی‌فیزیک^۲ بر پایه المان محدود برای شبیه‌سازی و تعیین خصوصیات هیدرولیکی جریان در تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی استفاده شده است.

برای مدل‌سازی با استفاده کامسول از مدول جریان زیرسطحی^۳ استفاده شده است. در هر مدول از این نرم‌افزار براساس قوانین و پارامترهای مرتبط با آن شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. مدول جریان زیرسطحی از قانون دارسی استفاده می‌کند که معادله حل آن به صورت رابطه (۱) مشخص می‌شود. همچنین این مدول از روش حل پایدار برای جریان دائمی (مستقل از زمان) استفاده می‌کند. در رابطه (۱) u ، میزان سرعت جریان دارسی بوده که به هدایت هیدرولیکی (k) و لزوجت دینامیکی سیال (μ) وابسته است. همچنین p و ρ ، فشار و جرم مخصوص سیال و Q_m (kg/m³.s) پارامتر جرمی منبع در معادله پیوستگی بوده که در حقیقت جرم اضافه شده به فاز پیوسته طرح از فازهای خارجی است که در این مسئله با حل پایدار صفر می‌باشد.

$$\nabla \cdot (\rho u) = Q_m \quad (1)$$

$$u = -\frac{k}{\mu} (\nabla p)$$

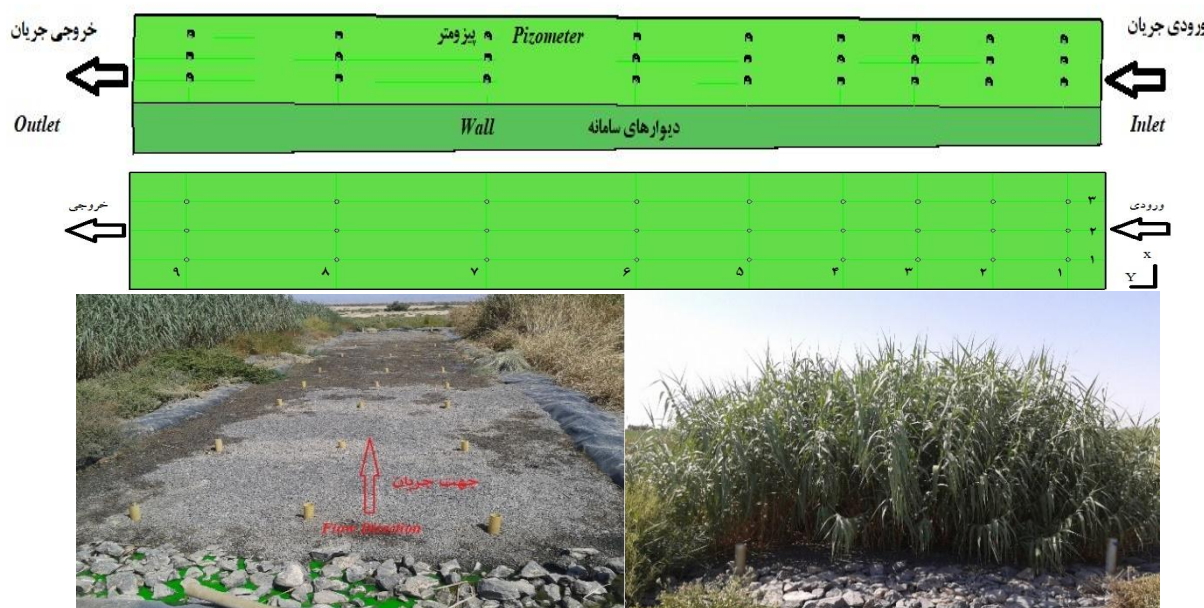
پس از تعریف فیزیک مورد نظر تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی آزمایشی (شکل ۳) در نرم‌افزار و ترسیم هندسه آن، شرایط مرزی دیوار برای محیط عایق شده سامانه و پیرومترها و شرایط مرزی ورودی و خروجی با مقادیر سرعت مشخص در سامانه تعیین شد. سپس محیط متخلخل داخلی سامانه به صورت همگن در محیط نرم‌افزار با وارد کردن مشخصات نظیر میزان نفوذپذیری (هدایت هیدرولیکی) و تخلخل و ویژگی‌های سیال مانند لزوجت دینامیکی و چگالی نیز مشخص شدند. به علت اثرات متقابل پیچیده گیاه و محیط متخلخل برای شبیه‌سازی محیط داخلی سامانه، تأثیر گیاه به صورت غیرمستقیم و با استفاده از اطلاعات بدست آمده از نمونه آزمایشی ساخته شده در قالب هدایت هیدرولیکی محیط و تخلخل به سامانه معرفی شد (۱۶). سطح آب فرضی در پیرومترها و میزان فشار اولیه درون میدان جریان به عنوان شرایط اولیه در نرم‌افزار تعریف شده است. نتایج محاسبات توسط مقادیر اندازه‌گیری شده پیرومترها

2- Comsol Multiphysics
3- Subsurface Flow Module

1- Hydraulic Retention Time

نظر، مدل حل شد و نتایج حاصل اعم از میزان فشار و بار هیدرولیکی در هر نقطه از سامانه قابل محاسبه و همچنین خطوط جریان و هم‌فشار قابل ترسیم هستند که پهنه‌بندی فشار بر حسب پاسکال به هدف تعیین رفتار هیدرولیکی داخلی سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی انجام شده است.

واسنجی شد (مشخص بودن سطح آب در پیزومترها امکان واسنجی پارامترهای دارای عدم قطعیت در مدل را فراهم نمود). محدوده مدل موردنظر براساس دستورالعمل نرم‌افزار کامسول و نوع مش‌بندی پیشنهادی آن و همچنین تجربه محققین پیشین به صورت مش مثلثی با ابعاد نرمال همراه با مش‌بندی چهاروجهی برای کنترل نهایی محدوده استفاده شده است. پس از ساخت مش مورد



شکل ۳- نمایش شرایط مرزی در نرم‌افزار و محیط آزمایشی
Figure 3- Depicting boundary conditions in software and field environment

بالایی در رسیدن به نقطه اوج است. وجود شیب زیاد در ابتدای این نمودار نتیجه سریع رسیدن غلظت بالایی از ردیاب به نقطه خروجی سامانه و وجود مسیرهای میان‌بر متعدد در آن است. مسیرهای میان‌بر سبب کاهش زمان ماند هیدرولیکی و کاهش عملکرد سامانه برای تصفیه می‌شوند.

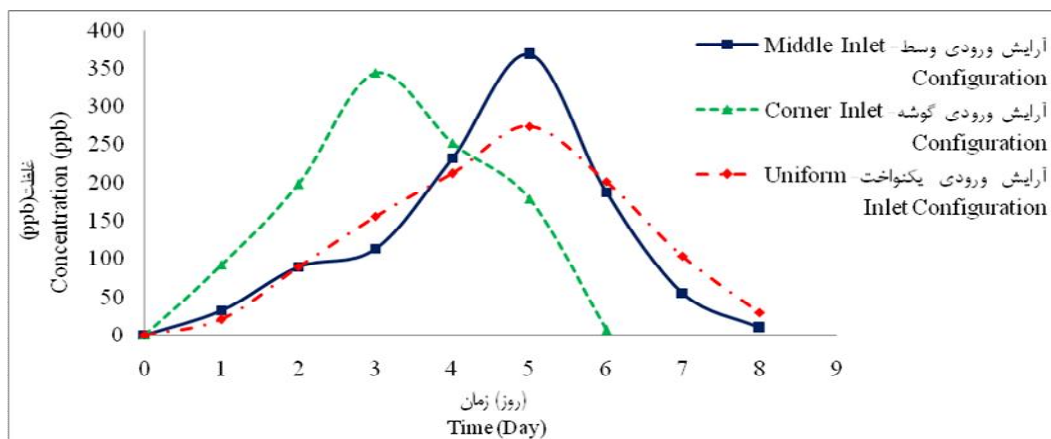
علاوه بر مقدار زمان ماند میانگین، زمان اوج منحنی زمان ماند هیدرولیکی (t_{peak}) ارتباط مستقیم با میزان پخشیدگی جریان و کاهش مسیرهای میان‌بر در طول تالاب مصنوعی و عملکرد سامانه دارد (۱۴). این زمان در حالت ورودی وسط و یکنواخت روز پنجم و در حالت ورودی گوشه روز سوم اتفاق افتاده است. از آنجایی که تابع منحنی توزیع زمان ماند با t_{peak} کوچکتر، دارای کمترین پخشیدگی جریان در سامانه می‌باشد، می‌توان دریافت که میزان پخشیدگی جریان در دو آرایش ورودی یکنواخت و ورودی وسط تفاوت قابل ملاحظه‌ای با ورودی از گوشه دارد و وجود مسیرهای میان‌بر در حالت ورودی گوشه را به وضوح نشان می‌دهد. بدین حالت که جریان به طور مستقیم از گوشه سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی به سرعت به نقطه خروجی رسیده است.

نتایج و بحث

مدل‌سازی آزمایشی

همانطور که گفته شد در ابتدا منحنی توزیع زمان ماند برای محاسبه زمان ماند میانگین در هر آرایش جریان ترسیم می‌شود (شکل ۴). میزان بازیابی ردیاب در آرایش‌های ورودی وسط، گوشه و یکنواخت به ترتیب ۹۹، ۹۶ و ۹۹ درصد بوده است و زمان ماند میانگین آن‌ها نیز ۴/۵۳، ۳/۲۴ و ۴/۶۵ روز می‌باشد. با توجه به منحنی زمان ماند برای آرایش‌های مختلف مشخص می‌شود که آرایش ورودی جریان یکنواخت با زمان ماند بالاتر از بقیه بالاترین راندمان هیدرولیکی و عملکرد بهینه جریان را دارا می‌باشد.

این منحنی نمایانگر آن است که در ابتدا غلظت با شتاب زیادی به نقطه اوج خود می‌رسد و سپس به تدریج به علت رقیق شدن ردیاب، میزان آن کاهش می‌یابد. در این پژوهش، همانطور که در شکل (۴) مشخص است، منحنی زمان ماند در آرایش ورودی یکنواخت با شیب ملایمی رو به افزایش است و این روند در حالت ورودی وسط دارای شیب کمتر و حالت ورودی گوشه دارای شیب



شکل ۴- منحنی‌های توزیع زمان ماند در سه آرایش ورودی مختلف

Figure 4- Retention time distribution (RTD) curves for three different inlet configurations

همواره کمتر بوده است که نتیجه آن ایجاد مسیر میان‌بر در تالاب مصنوعی زیرسطحی است. زمانی که جریان در کل سامانه پخش شود، زمان ماند میانگین به زمان ماند اسمی نزدیک‌تر می‌گردد که به معنای کاهش حجم مرده خواهد بود. حجم مؤثر در آرایش ورودی وسط و ورودی یکنواخت ۸۷/۵ درصد است که حاکی از ۱۲/۵ درصد حجم مرده در سامانه می‌باشد. در حالی که این مقدار در آرایش ورودی گوشه افزایش یافته و حجم مرده آن تقریباً برابر با ۳۸ درصد است. پرسن نیز در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ به بررسی عملکرد هیدرولیکی برکه و تالاب مصنوعی در آرایش‌های متفاوت جریان ورودی پرداخت. نتایج تحلیل‌های حاصل از منحنی زمان ماند نشان داد که توزیع یکنواخت جریان در عرض سامانه دارای بالاترین میزان راندمان هیدرولیکی به دلیل پخشیدگی جریان بالاتر و میزان حجم مؤثر بالای آن است. همچنین منحنی زمان ماند در حالت توزیع جریان ورودی از گوشه سامانه دارای دنباله‌ای طولانی بوده که حاکی از وجود مقادیر باقیمانده بیشتری از ردیاب در داخل سامانه و عملکرد هیدرولیکی نامناسب آن در بازیابی ردیاب می‌باشد؛ در حالی که مقادیر زیادی از ردیاب نیز در زمان‌های ابتدایی به دلیل وجود مسیرهای میان‌بر متعدد از محیط خارج می‌شوند. موردی که در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد و میزان بازیابی ردیاب در آرایش B کمتر از آرایش‌های A و C بود (۱۳ و ۱۵).

زمانی که جریان در طول سامانه پخش شود، میزان حجم مورد استفاده از سامانه در فرایند تصفیه افزایش یافته و عملکرد سامانه افزایش چشمگیری خواهد داشت. اگرچه می‌توان پیش‌بینی نمود که افزایش تعداد ورودی و خروجی سبب کاهش میزان مسیرهای میان‌بر و افزایش زمان ماند میانگین می‌شود ولی بررسی مجزا منحنی‌های زمان ماند هر آرایش با یکدیگر به تحلیل شرایط هیدرولیک داخلی سامانه می‌انجامد (۱۵). لذا با توجه به شکل ۴ می‌توان استنتاج نمود که نقطه اوج منحنی زمان ماند (C_{peak}) در حالت ورودی یکنواخت به دلیل پخشیدگی بالاتر در کل محیط متخلخل و سرعت جریان داخلی کمتر، بسیار پایین‌تر از دو حالت دیگر است که نشان از یکنواختی جریان در طول سامانه و کاهش حجم مرده خواهد بود؛ در حالی که در ورودی از گوشه، اورانین به علت وجود مسیرهای میان‌بر متعدد سریعاً به خروجی رسیده است و غلظت بالاتری را از خود نشان داده است.

ارتباط میان زمان ماند میانگین و زمان ماند اسمی به عنوان حجم مؤثر مطرح می‌شود (جدول ۱). با نزدیک شدن زمان ماند میانگین به زمان ماند اسمی میزان حجم مؤثر سامانه و یکنواختی جریان افزایش می‌یابد و از تمام حجم سامانه برای عملیات تصفیه استفاده شده که نهایتاً سبب افزایش راندمان تصفیه خواهد شد (۱). طبق نتایج جدول ۱، در تمامی آرایش‌ها، زمان ماند میانگین از میزان زمان ماند اسمی

جدول ۱- خلاصه نتایج پارامترهای هیدرولیکی

Table 1- Summary of hydraulic parameters results

حالت Layout	Q (m ³ /d)	HLR (cm/d)	t _n (d)	t _m (d)	e _v
A	6.58	6.33	5.176	4.532	0.875
B	6.52	6.27	5.224	3.242	0.621
C	6.4	6.15	5.322	4.657	0.875

شبیه‌سازی عددی

پس از اتمام حل معادلات توسط نرم‌افزار کامسول، پهنه‌بندی فشار بر حسب پاسکال مشخص شده است. از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط پیزومترها که نشانگر بار فشار در داخل مدل آزمایشی است برای واسنجی نرم‌افزار استفاده شده است. همانطور که در شکل ۳ مشخص شده است، پیزومترها در ۹ ردیف سه تایی با تمرکز بیشتر در ورودی جریان به سمت خروجی جریان قرار گرفتند. به منظور واسنجی نرم‌افزار بار فشاری شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار با مقادیر واقعی آن در پیزومترها مقایسه و پارامترهای دارای عدم قطعیت در نرم‌افزار مانند هدایت هیدرولیکی، دما و تخلخل با سعی و خطا به گونه‌ای تنظیم شد که بار فشاری شبیه‌سازی شده و پیزومترها تقریباً مطابق شوند. نتایج واسنجی مدل عددی در نرم‌افزار کامسول به صورت جدول ۲ ارائه شده است. همچنین مدل عددی به منظور صحت‌سنجی توسط مدل تالاب مصنوعی آزمایشی مذکور در شرایط جریانی متفاوت نیز مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج قابل قبولی داشت. سپس با توجه به میزان فشار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار، امکان برآورد بار فشار در هر سطحی از سامانه موجود می‌باشد.

پهنه‌بندی فشار در مدل عددی واسنجی شده در آرایش A (شکل ۵-الف) نمایانگر آن است که در ابتدای سامانه به دلیل قرارگیری ورودی جریان میزان فشار به مراتب بیشتر است و به سمت خروجی از میزان فشار جریان و سطح آب کاسته می‌شود. گرادیان هیدرولیکی جریان ناشی از اختلاف ارتفاع ورودی و خروجی نیز عامل دیگر کاهش فشار به سمت خروجی است. تفاوت فشار در ورودی و خروجی جریان تقریباً برابر ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ پاسکال یا معادل ۱۲ تا ۱۴ سانتی‌متر آب است. محدوده پرفشار در ابتدای جریان با رنگ قرمز مشخص شده است. اختلاف نمایش ۱۲ تا ۱۴ سانتی‌متری آب در ورودی و خروجی با شرایط واقعی جریان نیز مطابق است. دلیل این امر گرادیان هیدرولیکی جریان است. با توجه به شکل ۵-ب (آرایش B) در نقطه ورودی جریان در گوشه سامانه انتقال جریان بسیار زیاد بوده و میزان فشار را به شدت در آن قسمت بالا برده است. پهنه‌بندی فشار در نقاط مختلف این آرایش به خصوص نقاط ورودی جریان به صورت ناهمگون می‌باشد به نحوی که فشار در سمت نقطه ورودی جریان از سمت دیگر سامانه بالاتر بوده و ناحیه کم‌فشاری را در سمت مخالف ایجاد نموده است. این ناحیه کم‌فشار در حقیقت حجم مرده وسیعی در سامانه تالاب مصنوعی ایجاد کرده و بدین خاطر سبب باقی‌ماندن بخشی از ردیاب در محیط شده و بازیابی آن نسبت به دو حالت دیگر کمتر ارائه شده است. تفاوت فشار در ورودی و خروجی جریان تقریباً برابر ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ پاسکال یا معادل ۱۴ تا ۱۵ سانتی‌متر آب است. در بعضی از نقاط سامانه این مقدار از گرادیان هیدرولیکی جریان نیز بیشتر است. یک از مهمترین نتایج این مقاله

نمایش اختلاف زیاد زمان ماند میانگین و تئوری در این آرایش ورودی جریان بود که در نتایج شبیه‌سازی نیز به وضوح مشخص است. وجود حجم مرده و مسیرهای میان‌بر بیشتر در این حالت گواه این ادعاست. همچنین شکل ۵-ج (آرایش C) نمایانگر توزیع یکنواخت جریان است. نقاط ورودی جریان دارای فشار بالاتری نسبت به نقاط دیگر هستند. توازن فشار از ورودی به سمت خروجی جریان به طور کامل مشاهده می‌شود. در این حالت پخشیدگی جریان به حداکثر خود رسیده است. نواحی ماندابی در گوشه‌های سامانه و در نتیجه مسیرهای میان‌بر نیز به حداقل خود رسیده است. تفاوت فشار در ورودی و خروجی جریان تقریباً برابر ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ پاسکال یا معادل ۱۰ تا ۱۳ سانتی‌متر است که نسبت به دو حالت قبلی کاهش محسوسی دارد.

نتایج پژوهش سو و همکاران (۱۹) در بررسی اثرات سه آرایش‌های ورودی و خروجی جریان در تالاب مصنوعی با جریان آزاد سطحی شامل یکنواخت-وسط، وسط-وسط و گوشه-گوشه حاکی از عملکرد مناسب آرایش ورودی یکنواخت با راندمان هیدرولیکی ۸۸ و حجم مؤثر ۸۹ درصد بود؛ در حالی که راندمان هیدرولیکی و حجم مؤثر در آرایش ورودی گوشه به ترتیب ۶۵ و ۶۶ درصد برآورد شد. خطوط جریان ترسیمی حاصل از مدل عددی توسط این محققین به خوبی نمایانگر ناحیه‌ای گردابی و مرده در گوشه مخالف ورودی جریان بود و منحنی زمان ماند ترسیمی آن‌ها نیز در این آرایش به دلیل وجود چنین ناحیه‌ای دارای دنباله‌ای طولانی می‌باشد که نشانگر طولانی بودن حضور ردیاب در محیط تالاب است. اگرچه به دلیل مسیرهای میان‌بر متعدد بخش اعظمی از ردیاب به سرعت از محیط خارج می‌شود.

ردیگز و همکاران (۷) دلیل افزایش پخشیدگی جریان در ورودی به صورت یکنواخت را کاهش سطح مقاطع عبوری جریان عنوان نمودند که به افزایش سرعت خطی جریان در محل ورودی منجر می‌شود. با این تفسیر افزایش سطح مقاطع عبوری اریب جریان در آرایش ورودی به صورت گوشه سبب کاهش سرعت‌های خطی سیال در محل ورودی می‌شوند که نتیجتاً به کاهش پخشیدگی می‌انجامد. نکته قابل توجه کاهش سرعت جریان داخلی سامانه در آرایش ورودی یکنواخت جریان است که منجر به کاهش قدرت انتقال جریان در طول سامانه و افزایش زمان ماند میانگین می‌شود. کاهش نقطه اوج منحنی زمان ماند در آرایش C را نیز می‌توان در این مورد یافت. توازن فشار و کاهش نقاط پر سرعت سبب یکنواختی غلظت ردیاب دریافتی در نقاط خروجی جریان می‌شود و به همین خاطر شدت غلظت حداکثر ردیاب خروجی در این حالت ورودی جریان کمتر از حالات دیگر است.

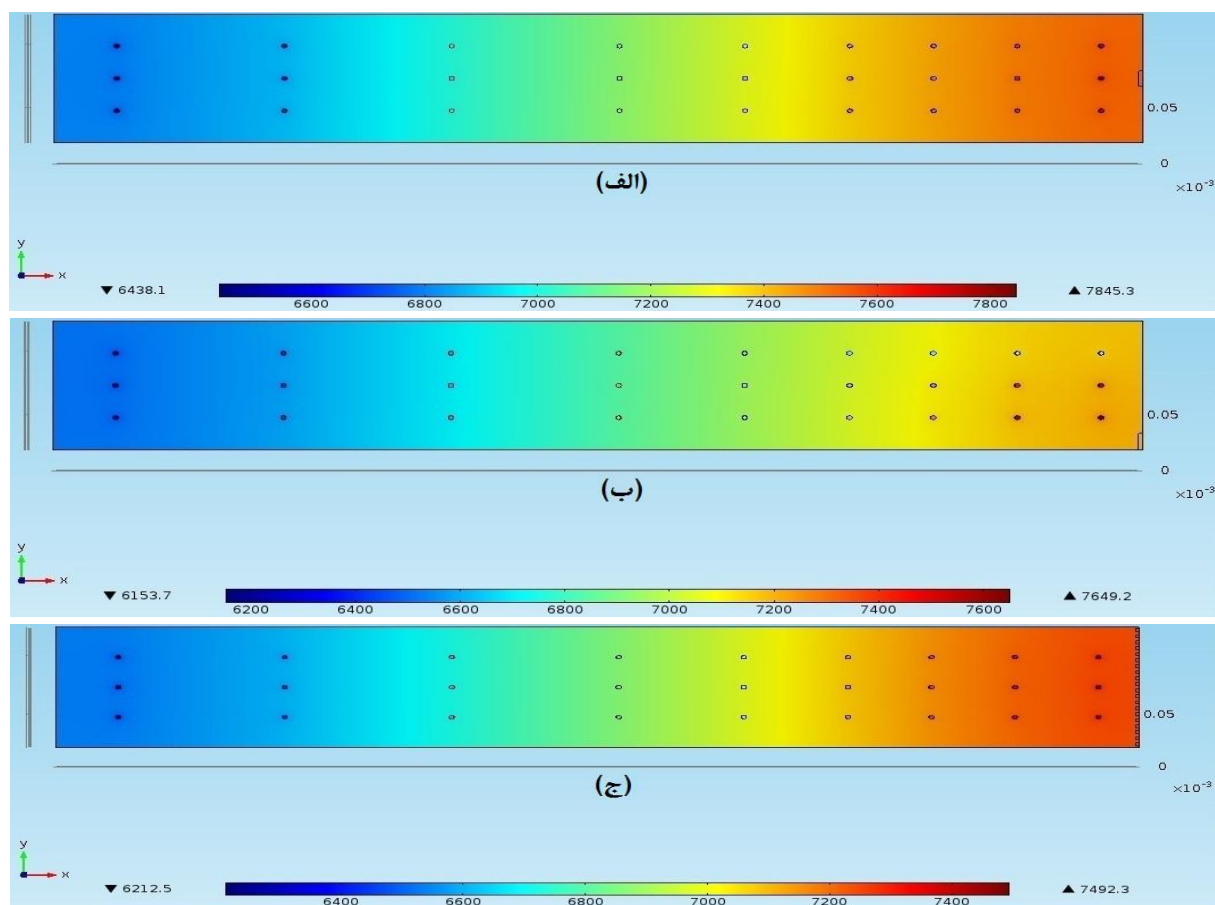
جدول ۲- نتایج مدل عددی واسنجی شده

Table 2- Results of verified numerical model

V _{real} =V/Ø (m/d)		V= Ki (m/d)		K (m/d)		Q (m ³ /d)		Case	
5.5		1.83		316.81		6.58		A	
بار فشاری در ۹ ردیف سه تایی در طول تالاب-Pressure head (m) in 9 triple rows throughout the wetland									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.656	0.678	0.712	0.725	0.742	0.76	0.763	0.777	0.79	1
0.657	0.677	0.708	0.728	0.752	0.764	0.765	0.78	0.8	2
0.659	0.682	0.711	0.733	0.751	0.765	0.765	0.778	0.79	3
V _{real} =V/Ø (m/d)		V= Ki (m/d)		K (m/d)		Q (m ³ /d)		Case	
5.44		1.81		313.88		6.52		B	
بار فشاری در ۹ ردیف سه تایی در طول تالاب-Pressure head (m) in 9 triple rows throughout the wetland									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.627	0.653	0.674	0.694	0.708	0.71	0.71	0.722	0.713	1
0.632	0.654	0.676	0.697	0.716	0.726	0.735	0.758	0.768	2
0.632	0.657	0.677	0.702	0.717	0.73	0.741	0.771	0.78	3
V _{real} =V/Ø (m/d)		V= Ki (m/d)		K (m/d)		Q (m ³ /d)		Case	
5.35		1.78		308.15		6.4		C	
بار فشاری در ۹ ردیف سه تایی در طول تالاب-Pressure head (m) in 9 triple rows throughout the wetland									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.634	0.654	0.676	0.697	0.713	0.727	0.739	0.751	0.763	1
0.633	0.656	0.677	0.698	0.714	0.729	0.74	0.752	0.764	2
0.634	0.655	0.677	0.697	0.713	0.727	0.738	0.751	0.763	3

نمایش خطوط جریان در آرایش ورودی وسط در شکل ۶-الف آمده است. مسیرهای رسم شده در نرم افزار مسیرهای غالبی هستند که جریان تمایل به حرکت در آن ها را دارد و توازن آن ها به سمت خروجی بیشتر می شود. به وضوح می توان دریافت که خطوط جریان پس از تغذیه از ناحیه وسط تالاب مصنوعی با تراکم بیشتری به پایین دست سامانه منتقل می شوند. شکل ۶-ب نمایانگر خطوط جریان در آرایش ورودی گوشه است. عدم توازن خطوط جریان به سمت خروجی و ایجاد مسیرهای میان بر در سامانه از نقطه ورودی جریان سبب تشکیل ناحیه ای کم سرعت در گوشه مخالف ورودی جریان شده و منطقه ای مرده و غیر قابل استفاده در فرایند تصفیه را به وجود می آورد. سرانجام در شکل ۶-ج خطوط جریان کاملاً موازی را از همان ابتدا می توان مشاهده نمود. مسیرهای میان بر در این حالت به حداقل رسیده و از تمامی حجم سامانه به منظور عملیات تصفیه استفاده می شود. خطوط جریان نمایانگر کاهش نواحی کم سرعت جریان و افزایش میزان پخشیدگی جریان در طول سامانه و کاهش حجم مرده در آن می باشد.

جدول (۳) دامنه تغییرات نواحی پرفشار و کم فشار را در سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در آرایش های مختلف جریان نشان می دهد. بررسی فشار شبیه سازی شده در محیط متخلخل تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی حاکی از آن است که اختلاف زیاد فشار ورودی و خروجی جریان در آرایش ورودی گوشه حاکی از توزیع ناهمگون جریان در محیط متخلخل است جایی که نقطه ورودی فشار تقریباً ۷۶۴۹ پاسکال را داشته و فشار نقطه خروجی ۶۱۵۳ پاسکال است. در قالب دیگر، دامنه تغییرات نواحی پرفشار و کم فشار در این آرایش ورودی از ۷۶۰۰ به ۶۲۰۰ تغییر یافته است (۱۴۰۰ پاسکال). این در حالی است که دامنه تغییرات فشار در آرایش ورودی وسط ۱۲۰۰ و در آرایش ورودی یکنواخت ۱۰۰۰ پاسکال است. توزیع فشار مناسب و همگون در آرایش یکنواخت به صورتی است که فشار ورودی آن برابر با ۷۴۹۲ پاسکال بوده و با شیب یکسان و ملایم به فشار ۶۲۱۲ پاسکال در خروجی رسیده است. توزیع فشار همگون در آرایش ورودی یکنواخت در نتیجه کاهش سرعت جریان داخلی و کاهش قدرت انتقال جریان در طول سامانه می باشد که به افزایش راندمان هیدرولیکی، کاهش مسیرهای میان بر جریان، افزایش زمان ماند میانگین و افزایش راندمان تصفیه پساب منجر خواهد شد.



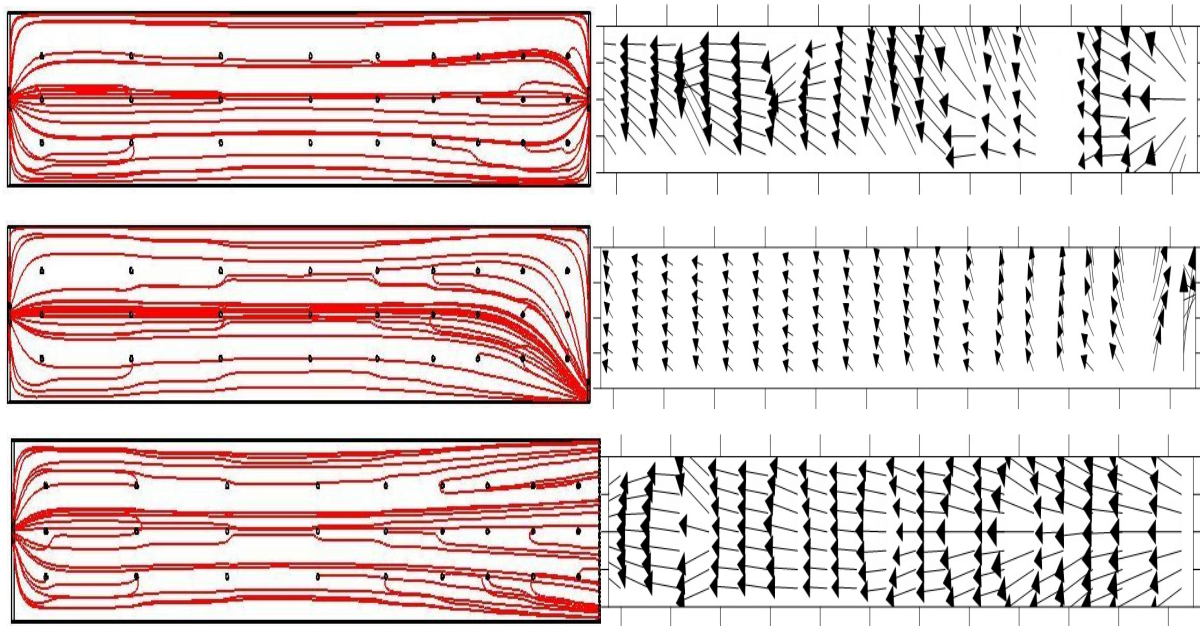
شکل ۵- نمایش توزیع فشار در طول سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی
Figure 5- View of pressure distribution along the HSSF CWs

و تغییر جهت دیده می‌شود در حالی که تغییرات جهت خطوط جریان در آرایش ورودی وسط و به خصوص ورودی گوشه در طول سامانه متوازن نبوده و تحت تأثیر شرایط ورودی و خروجی جریان تغییر کرده است.

جهت خطوط جریان ترسیمی توسط داده‌های برداشتی از پیژومترها نیز به عنوان نمایه جهت بردار سرعت با تفسیر خطوط جریان ترسیمی مدل کامسول همگام است به نحوی که جهت خطوط جریان در آرایش ورودی یکنواخت کاملاً متوازن و با کمترین آشفتگی

جدول ۳- دامنه توزیع فشار در آرایش‌های مختلف ورودی جریان
Table 3- Pressure distribution range for different inlet flow configurations

دامنه تغییرات فشار Pressure alterations range (pa)			آرایش configuration
کم‌فشار Low Pressure	فشار متوسط Medium Pressure	پرفشار High Pressure	
6600-7200	7200-7400	7400-7800	ورودی وسط- خروجی وسط Midpoint inlet-Midpoint outlet
6200-7000	7000-7200	7200-7600	ورودی گوشه- خروجی وسط Corner inlet-Midpoint outlet
6400-7000	7000-7200	7200-7400	ورودی یکنواخت- خروجی وسط Uniform inlet-Midpoint outlet



شکل ۶- نمایش خطوط و جهت جریان در سه آرایش مختلف جریان ورودی (الف- ب- ج به ترتیب از بالا به پایین)
Figure 6- Depicting streamlines and its direction for three different inlet flow configuration
(Midpoint-Corner-Uniform inlet flow configurations from up to down)

مصنوعی اعم از زمان ماند میانگین، خطوط جریان، پهنه‌بندی بار هیدرولیکی و مسیرهای میان‌بر استفاده شده است. نتایج حاصل از منحنی زمان ماند هیدرولیکی نشان داد که آرایش ورودی یکنواخت به دلیل توزیع یکنواخت جریان و کاهش سرعت داخلی جریان دارای بیشترین زمان ماند میانگین می‌باشد که به افزایش راندمان هیدرولیکی در سامانه می‌انجامد. افزایش پخشیدگی جریان در این حالت سبب استفاده از کل حجم سامانه به منظور عملیات تصفیه، کاهش میزان مسیرهای میان‌بر و حجم مرده جریان می‌شود. در حالی که آرایش ورودی گوشه با ایجاد مسیرهای میان‌بر متعدد سبب خروج سریع ردیاب از محیط تالاب و کاهش قابل‌ملاحظه زمان ماند میانگین شده است. اگرچه به دلیل حجم ماندابی زیاد در این آرایش، میزان بازیابی ذرات ردیاب کمتر می‌باشد. نتایج کمی حاکی از وجود ۳۸ درصد حجم مرده در آرایش B و ۱۲/۵ درصد در آرایش C است. نتایج شبیه‌سازی عددی محیط داخلی سامانه نیز نمایشگر عدم توزیع مناسب جریان در آرایش ورودی گوشه می‌باشد. بررسی فشار شبیه‌سازی شده نشان داد که دامنه تغییرات فشار از ورودی به خروجی در آرایش‌های A، B و C به ترتیب ۱۴-۱۲، ۱۵-۱۴ و ۱۳-۱۰ سانتی‌متر آب می‌باشد. اختلاف زیاد فشار ورودی و خروجی جریان در آرایش ورودی گوشه حاکی از توزیع فشار ناهمگون در محیط متخلخل بوده که منجر به افزایش اختلاف زمان ماند میانگین و تئوری و افزایش میزان مسیرهای میان‌بر در سامانه می‌شود. همچنین

کادک و نایت در سال ۲۰۰۶، جریان ایده‌آل^۱ عبوری از داخل سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی به جهت بهینه‌سازی تصفیه را با شرایط ترکیبی (۱) پخشیدگی کمتر (۲) حجم مرده کمتر و (۳) مسیرهای میان‌بر کمتر عنوان نمودند (۸). با این تفسیر، اگرچه توزیع ورودی یکنواخت دارای پخشیدگی بالاتری نسبت به دو حالت دیگر است ولی به دلیل نزدیک بودن زمان ماند میانگین و تئوری دارای حجم مرده کمتر و به علت یکنواختی جریان در ورودی میزان مسیرهای میان‌بر به مراتب کمتری دارد. لذا توزیع یکنواخت ورودی جریان به صورت کلی نزدیک‌ترین حالت به جریان ایده‌آل محسوب می‌شود. در حالی که آرایش ورودی گوشه دارای کمترین میزان پخشیدگی بوده اما میزان حجم مرده و تعدد مسیرهای میان‌بر در آن نسبت به دو حالت دیگر بیشتر است که نتیجتاً جریان ایده‌آل در سامانه در این حالت برقرار نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

تشریح شرایط داخلی سامانه‌های تالاب مصنوعی اعم از زیرسطحی افقی و عمودی و یا هیبریدی از به روزترین مباحث موجود در بین متخصصین این امر می‌باشد. بدین منظور ترکیب روش میدانی ردیابی با مدل‌سازی برای آگاهی و نمایش رفتار داخلی سامانه تالاب

کمتر به جریان ایده‌آل در طراحی بهینه سامانه نسبت به دو آرایش دیگر نزدیک‌تر می‌باشد. قابل ذکر است که با افزایش میزان دبی جریان تغییرات ذکر شده و تفاوت‌های حاصل بین تمامی آرایش‌های ورودی جریان بیشتر خواهد شد و عملکرد آرایش ورودی یکنواخت چشمگیرتر خواهد بود. همان‌طور که در سامانه‌های دیگر تصفیه مانند برکه تثبیت این تفاوت‌ها قابل ملاحظه هستند.

تفسیر خطوط جریان نیز گواه توزیع همگون و یکنواخت جریان در آرایش C و پراکندگی خطوط جریان در آرایش B است. به طور کلی با توجه به تعریف جریان ایده‌آل در تالاب مصنوعی و نتایج حاصل از منحنی زمان ماند و شبیه‌سازی جریان داخلی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در سه آرایش ورودی و خروجی مذکور می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد هیدرولیکی سامانه در آرایش ورودی یکنواخت به دلیل پخشیدگی بالاتر، حجم مرده و مسیرهای میان‌بر

منابع

1. Bruun J., Pugliese L., Hoffmann C.Ch., Kjaergaard Ch. 2016. Solute transport and nitrate removal in full-scale subsurface flow constructed wetlands of various designs treating agricultural drainage water. *Ecological Engineering*, 97: 88-97.
2. Chang T.C., Chang Y.H., Lee W.T., and Shih S.S. 2016. Flow uniformity and hydraulic efficiency improvement of deep-water constructed wetlands, *Ecological Engineering*, 92: 28-36.
3. Eslamian S.S., Davari S., Okhravi S.S., and Tarkesh Isfahani S. 2012. Phytoremediation through the mechanism of trace metals absorption in artificial wetland. p. 53-57. 1th Iranian National Conference on Phytoremediation, 16 Feb. 2012. Kerman, Iran. (in Persian with English abstract)
4. Galvão A.F., Matos J.S., Ferreira F.S., and Correia F.N. 2010. Simulating flows in horizontal subsurface flow constructed wetlands operating in Portugal. *Ecological Engineering*, 36: 596-600.
5. Giraldo D., Vitturi M.D.M., and Iannelli R. 2010. FITOVERT: A dynamic numerical model of subsurface vertical flow constructed wetlands. *Environmental Modelling Software*, 25: 633-640.
6. Guo C.Q., Dong B., Liu J.J., and Liu F.P. 2015. The best indicator of hydraulic short-circuiting and mixing of constructed wetlands. *Water Practice and Technology*, 10(3): 505-516.
7. Jafet Rodríguez D., Giacomán Vallejos G., and Champagne P. 2012. Assessment of the plug flow and dead volume ratios in a sub-surface horizontal-flow packed-bed reactor as a representative model of a sub-surface horizontal constructed wetland. *Ecological Engineering*, 40: 18-26.
8. Kadlec R.H., and Knight, R.L. 2006. *Treatment wetlands*, 1st ed. Lewis Publishers, FL.
9. Kadlec R.H., Pries J., and Lee K. 2012. The Brighton treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 47: 56-70.
10. Liolios K.A., Moutsopoulos K.N., and Tsihrintzis V.A. 2012. Modeling of flow and BOD fate in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, 202: 681-693.
11. Mæhlum T., and Jenssen P.D. 2003. *Design and performance of integrated subsurface flow wetlands in a cold climate*, WIT Press, Southampton, UK.
12. Okhravi S.S., Eslamian S.S., and Mohammadzade Miyab N. 2015. Investigation and comparison between applications of different type of constructed wetland for wastewater treatment. *Water Engineering Conference and Exhibition*, 18 Oct. Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
13. Person J. 2000. The hydraulic performance of ponds of various layouts. *Urban Water Journal*, 2(2000): 243-250.
14. Persson J., and Wittgren H.B. 2004. How hydrological and hydraulic conditions affect performance of ponds. *Ecological Engineering*, 21: 259-269.
15. Persson J., Somes N.L.G., and Wong T.H.F. 1999. Hydraulic efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water Science and Technology*, 40(3): 291-299.
16. Rengers E.E., Da Silva J.B., Paulo P.L., and Janzen J.G. 2016. Hydraulic performance of a modified constructed wetland system through a CFD-based approach. *Journal of Hydro-environment Research*, 12: 91-104.
17. SamsóR., and García J. 2013. Bacteria distribution and dynamics in constructed wetlands based on modelling results. *Science of the Total Environment*, pp: 430-440.
18. SamsóR., and García J. 2014. The Cartridge Theory: A description of the functioning of horizontal subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment, based on modelling results. *Science of the Total Environment*, 473: 653-658.
19. Su T.M., Yang Sh., Shih S., and Lee H. 2009. Optimal design for hydraulic efficiency performance of free-water-surface constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35: 1200-1207.
20. Suliman F., French H., Haugen L.E., Klove B., and Jenssen P. 2005. The effect of the scale of horizontal subsurface flow constructed wetlands on flow and transport parameters. *Water Science and Technology*, 51(9): 259-266.

21. Suliman F., French H.K., Haugen L.E., and Søvik A.K. 2006. Change in flow and transport patterns in horizontal subsurface flow constructed wetlands as a result of biological growth. *Ecological Engineering*, 27: 124-133.
22. VorkasC., and Lloyd B. 2000. The application of a diagnostic methodology for the identification of hydraulic design deficiencies affecting pathogen removal. *Water Science and Technology*, 42(10): 99-109.
23. Vymazal j. 2009. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering*, 35: 1-17.
24. Weidner C., Naurath L., Rude T., and Banning A. 2011. A new approach to quantify Na-Fluorescein (Uranine) in acid mine waters. *Mine Water Environment*, 30: 231-236.



Numerical and Experimental Study of Internal Hydraulic Behavior of Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland in Different Flow Distributions

S.S. Okhravi^{1*} - S.S. Eslamian² - N.Fathianpour³

Received: 08-01-2017

Accepted: 02-09-2018

Introduction: Horizontal subsurface flow constructed wetlands have long been applied to improve water or wastewater quality. Previous studies on wetland systems have focused on trying to comprehend the processes leading to the removal of pollutants. Comparatively, there have been fewer studies dedicated to the assessment of flow distribution on hydraulic behavior through the wetland. Researchers declared the aspect ratio (length to width ratio), inlet-outlet configuration, the size of the porous media and the loading rate of constructed wetland could influence hydraulic retention time (HRT). Su et al. (2009) have stated that in free water surface constructed wetlands, when the aspect ratio is greater than 5, the hydraulic efficiency will reach 0.9, or even higher. If the project site or field area cannot meet the theoretical standard, the recommended aspect ratio is higher than 1.88 to ensure some hydraulic efficiency greater than 0.7. The present study was an attempt to analyse, with the aid of 3D numerical simulation and tracer study, how flow distribution affected hydraulic behavior by using 3 different input flow layouts.

Materials and Methods: The treatment system consisted of a horizontal subsurface flow in a constructed wetland having an aspect ratio of 6.5 and the bed slope of one percent. In this system, with the geometry of 4 m wide $\times$ 26 m long $\times$ 1 m deep, *Phragmites australis* was planted. Inlet configurations were selected as a variable parameter. Three different inlet flow configurations including midpoint-midpoint (A), corner- midpoint (B) and uniform-midpoint (C), with the same fixed outlet configurations, were studied. The average flow discharge in each configuration was 6.58, 6.52 and 6.4 m³/day, respectively. Dye tracer was used to draw retention time distribution curves in each configuration for assessing the internal dispersion, short-circuiting and hydraulic parameters such as effective volume rate which is derived by division of mean retention time per nominal retention time. The 3D model presented, which was built on the Comsol Multiphysics platform, was implemented for fluid flow to show internal hydraulic patterns in the system. Hence, the hydraulic model used the Darcy equation to simulate a stationary water flow through the bed. The simulations were verified by using real data obtained from the existing constructed wetland. It was mostly used to show pressure throughout the system for each configuration of the inlet and the outlet.

Results and Discussion: The mean retention time for each configuration was found to be 4.53, 3.24 and 4.65 days, respectively. A marked reduction of the mean hydraulic retention time signified leaving tracer concentration from the outlet rapidly, high short-circuiting and dead volume and finally defective treatment process influenced by changing the inlet to the corner. According to tracer breakthrough curve, the effective volumes for configurations A and C were 87.5%, as compared to 62.1% for the configuration B. The two-day difference of t_{peak} between configurations 2 and 1, and 3 was probably due to the establishment of preferential streamlines resulting in short-circuiting and areas of dead volume in the system. The value of t_{peak} is related to dispersion, in the sense that a retention time distribution curve with a small peak time generally contains low dispersion. Simulation results showed the pressure difference from the inlet to the outlet ranged from 12-14, 14-15 and 10-13 cm H₂O for A, B and C layouts, respectively. It was shown that the maximum pressure gradient occurred at the outset of the influent wastewater at the inlet, and it was gradually reduced to the lowest values at the outlet ports. Consequence of surface pressure demonstrated uniform pressure from inlet toward outlet at configuration C. Simulated streamlines approved this result, while range of high and low pressure area at configuration B was the most. There was a strong association between tracer experiments and simulation works. One of the major findings of this study was the significant shorter hydraulic mean retention time of the corner inlet setup. There are many reasons that may cause these effects, although short-circuiting may be the primary one. A large low-pressure zone appeared at the opposite corner that was neither inlet nor outlet in this configuration.

Conclusions: This paper investigated the hydraulic performance and short-circuiting effects on water flow due to three different inlet patterns (i.e. midpoint, corner, and uniform) in horizontal subsurface flow wetlands based on dye tracer measurements and numerical modeling. The results showed that the uniform inlet could provide the highest

1- PhD candidate of Water Structure Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University
(*-Corresponding Author Email: S.okhravi94@basu.a.cir)

2- Professor, Water Engineering Department, Isfahan University of Technology

3- Associate Professor, Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology

hydraulic efficiency (i.e. longest hydraulic retention time, HRT), in comparison to other two setups. The performance of the three different layouts was also investigated in terms of hydraulic parameters. Short-circuiting was influenced by lower hydraulic retention time, leading to inadequate treatment. Uniform-midpoint and midpoint-midpoint yielded the best effective volume as compared to the corner-midpoint. It was demonstrated that these two cases increased dispersion and used the whole capacity of the constructed wetland for the treatment process. The most important result of this paper was the evaluation of internal hydraulic pattern thorough the wetland, something not investigated in previous research works. Based on the simulation results, the spatial pressure distribution in wetland cells was depicted. Finally, it can be concluded that the best configuration of inlet-outlet layout based on both numerical simulations and physical experiments is uniform-midpoint. Meanwhile, midpoint-midpoint is preferable to corner-corner by all performance criteria.

Keywords: Hydraulic retention time, Inlet flow configurations, Pressure alteration, Short-circuiting, Simulations

تعیین سهم منابع رسوب حوزه با استفاده از تکنیک انگشت‌نگاری عناصر ژئوشیمیایی (مطالعه موردی: حوزه دره انار باغملک)

امین ذرتی پور^{۱*} - محمد معظمی^۲ - محمدرضا انصاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۱

چکیده

لازمه اجرای صحیح برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب، کسب اطلاعات از اهمیت نسبی منابع رسوب و تعیین سهم آن‌ها در توان رسوب‌زایی و همچنین شناسایی کانون‌های بحرانی در حوزه‌های آبخیز است. امروزه تکنیک‌های انگشت‌نگاری منابع رسوب، روشی مناسب در تهیه سریع و کم هزینه اطلاعات در مورد منابع اصلی رسوب هستند. در تحقیق حاضر از این تکنیک در سهم‌بندی منابع رسوب و شناسایی واحدهای بحرانی در زیرحوزه دره انار باغملک در استان خوزستان استفاده شد. در این روش با به کارگیری آزمون‌های آماری مقایسه میانگین‌ها و تحلیل تشخیص، از میان هفت ردیاب ژئوشیمیایی انتخاب شده که عبارتند از سرب، روی، مس، آهن، منگنز، نیکل و کروم، ترکیب بهینه‌ای از ردیاب‌ها شامل مس، آهن و منگنز انتخاب شد. در نهایت با استفاده از یک مدل ترکیبی چندمتغیره، رابطه‌ای بین مقادیر ردیاب‌های منشاء و رسوبات برقرار شده و سهم منابع رسوب حوزه برآورد شد. سازند گچساران با ۵۳/۳ درصد بیش‌ترین و سازند بختیاری با ۰/۹ درصد کم‌ترین سهم را در رسوب‌زایی حوزه به خود اختصاص دادند. همچنین کاربری مرتع درجه سه و کاربری جنگل نیز به ترتیب با ۷۱/۵ و ۰/۳ درصد، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رسوب‌زایی کاربری اراضی حوزه را بر عهده داشتند. در نهایت برای ارزیابی نتایج از ضریب کارایی مدل استفاده شد و ضریب ۰/۹۸ به دست آمد، که نشان داد تکنیک انگشت‌نگاری رسوبات صحت و دقت بالایی در برآوردها داشته و روش مناسبی در تفکیک و تعیین سهم منابع رسوب حوزه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باغملک، تابع تشخیص، ردیاب، مدل ترکیبی، منشاء‌یابی رسوب

مقدمه

و سهم آن‌ها در تولید رسوب معلق و بارکف حوزه‌ها است. همچنین توجه به نقش ویژه واحدهای سنگ‌شناسی در کاربری‌های اراضی مختلف، در تولید رسوبات خروجی، استفاده از روش‌های جدید و تکمیل و تصحیح روش‌های فعلی برآورد رسوب امری ضروری به نظر می‌رسد. لازمه اجرای این برنامه‌ها، شناسایی و کسب اطلاع از اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آن‌ها در تولید رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در داخل آبخیز است (۶). به‌طور کلی وضعیت فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری در ایران در شرایط بحرانی قرار دارد. در ایران، وجود سالیانه حدود یک‌صد میلیون مترمکعب رسوب در پشت سدهای کشور، دلیل روشن بر بالا بودن تخریب اراضی در حوزه‌های بالادست سدها است.

مطالعات اجمالی تا سال ۱۳۸۵، آمار تلفات خاک کشور را به‌طور متوسط بین ۶/۱ تا ۱۵/۲ تن در هکتار در سال گزارش داده است (۹). طبق گزارشات فائو، میزان فرسایش آبی در کشور از میزان ۱۰ تن در هکتار در سال فراتر است. بر اساس همین گزارش، خطر افزایش فرسایش بیش از ۱۰ تن در هکتار در سال، سطحی بیش از ۷۸

شناخت منابع اصلی رسوب حوزه و عوامل تشدید و توسعه آن‌ها، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های اساسی در مدیریت و حفاظت منابع آب و خاک و طرح‌های مدیریت و توسعه حوزه‌های آبخیز، در جهت نیل به توسعه پایدار منابع طبیعی است. بررسی چگونگی روابط میان ارتباطات شبکه زهکشی و میزان خروج رسوب نیاز به شناسایی منابع اصلی رسوب و تعیین سهم انتقال آن‌ها دارد (۱۴). همچنین لازمه اجرای صحیح برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب در حوزه‌های آبخیز، کسب اطلاعات از اهمیت نسبی منابع اصلی رسوب

۱ و ۲- استادیاران گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Zoratipour@Ramin.ac.ir)

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

انگلستان، بیان می کنند که ذرات رسوبی ریز به واسطه نقل و انتقال انواع ریز مغذی ها، فلزات سنگین و حشره کش ها نقش مهمی را در آلودگی آب های سطحی بازی می کنند. به نظر آن ها مدیریت جامع حوزه های آبخیز در بردارنده محاسبه دقیق بودجه رسوبی آن می باشد. به عقیده آن ها مفهوم بودجه رسوبی چهارچوب ارزشمندی را جهت ارزیابی مدیریت و کنترل منابع آلودگی حوزه فراهم می کند. لذا با شناسایی منابع کلیدی رسوب و تعیین نرخ مهاجرت رسوبات بالادست قادر به کاهش آلودگی و مدیریت بهینه حوزه های آبخیز هستیم. مالهوترا و همکاران (۸)، در مطالعه خود علاوه بر تأیید روش های منشاء یابی و سهم بندی رسوبات بار معلق و بار کف رودخانه ای در حوزه شهری آلبامای آمریکا، به دقت بالای این روش در سهم بندی رسوبات خروجی حوزه پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که تغییرات زمانی و مکانی رسوبات معلق و بار کف جهت پیاده سازی مدیریت کنترل رسوب حوزه مؤثر می باشد. همچنین نمونه برداری جهت منشاء یابی رسوبات معلق و کف رودخانه بایستی به طور همزمان در حوزه اجرا گردد. به رغم توسعه مطلوب روش منشاء یابی رسوب در طول بیش از دو دهه گذشته و پتانسیل های بالای آن در تعیین منابع رسوب، هنوز عدم قطعیت هایی نیز در روش تحقیق آن وجود دارد. از این عدم قطعیت ها می توان به نبود یک دستورالعمل مناسب برای انتخاب مناسب ترین ترکیب از ردیاب ها برای تفکیک منابع رسوب در حوزه ها و مناطق مختلف اشاره کرد (۳ و ۶). مطالعات نشان می دهد عناصر ژئوشیمیایی برای جداسازی منابع مکانی نظیر واحدهای سنگ شناسی برای جداسازی نوع منابع رسوب مانند انواع فرسایش ها و کاربری های اراضی مناسب هستند، ولی با این حال تا به امروز اطلاعات کافی در مورد خصوصیتی منفرد یا ترکیبی از خصوصیات ردیاب که به عنوان منشأ یاب قابلیت کاربری جهانی داشته باشد به دست نیامده است و این مسئله یکی از چالش های اصلی تحقیقات جدید در منشأ یابی رسوب است (۱۲).

با کمبود مطالعات مرتبط با نوع سازندهای زمین شناسی در کاربری های اراضی مختلف و تولید مدل های ترکیبی در ایران، هدف از این مطالعه شناسایی منشاء و منبع اصلی تولید رسوب حوزه با استفاده از ردیاب های ژئوشیمیایی است. با توجه به موقعیت حوزه رودخانه دره انار در بالاست و ورودی شهر باغملک، این رودخانه در تامین آب آبیاری اراضی زراعی و باغات منطقه در فصول سرد سال مؤثر بوده، بنابراین این حوزه جهت منشاء یابی رسوبات آبی و تعیین مقدار سهم کمی عناصر ژئوشیمیایی از هر واحد زمین شناسی و نیز هر واحد کاربری اراضی حوزه با استفاده از ردیاب های ژئوشیمیایی انتخاب شد.

میلیون هکتار از اراضی کشور را تهدید می کند (۲). عرب خدری، فرسایش در ایران را حدود یک میلیارد تن در سال یا ۶ تن در هکتار در سال برآورد نمود. طرح سراسری سیمای حوزه های آبخیز کشور (۱۳۷۷)، فرسایش کل کشور حدود ۶/۱ میلیارد تن در سال تخمین زد. اگر به این میزان بار کف ۲۰ درصدی هم اضافه شود، میزان فرسایش کل کشور (بار معلق و بار کف) حدود ۷/۳ میلیارد تن در سال تخمین زده می شود. فرسایش خاک در ایران به طور متوسط شش برابر مقدار تولید متوسط خاک در کشور می باشد (۲).

از روش های معمول و متداول برآورد رسوب می توان به استفاده از، منحنی های سنجه دبی-رسوب، پین ها و پلات های فرسایشی و تله های رسوب گیر، مدل های برآوردی آماری (هیدرولوژیکی) و پایه فیزیکی در تخمین بار رسوب رودخانه ها و مجاری باز اشاره کرد. به دلیل وجود مشکلات متعدد در کاربرد روش های سنتی، روش انگشت نگاری^۱ یا ردیابی یا به طور ساده تر منشأ یابی که بر استفاده از خصوصیات رسوب متکی است به عنوان روشی جایگزین برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آن ها مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است (۱۲). نتایج تحقیقات کرواس و همکاران (۹)، والینگ و همکاران (۲۲)، به کارایی روش منشأ یابی یا انگشت نگاری به عنوان روشی موفق و مؤثر برای تعیین منابع رسوب به اثبات رسیده است. مهم ترین اصل این روش این است که منابع مختلف رسوب با استفاده از تعدادی از خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و آلی قابل شناسایی و تشخیص است و با مقایسه این خصوصیات با همان خصوصیات در نمونه های رسوب می توان سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب را در تولید رسوب به دست آورد.

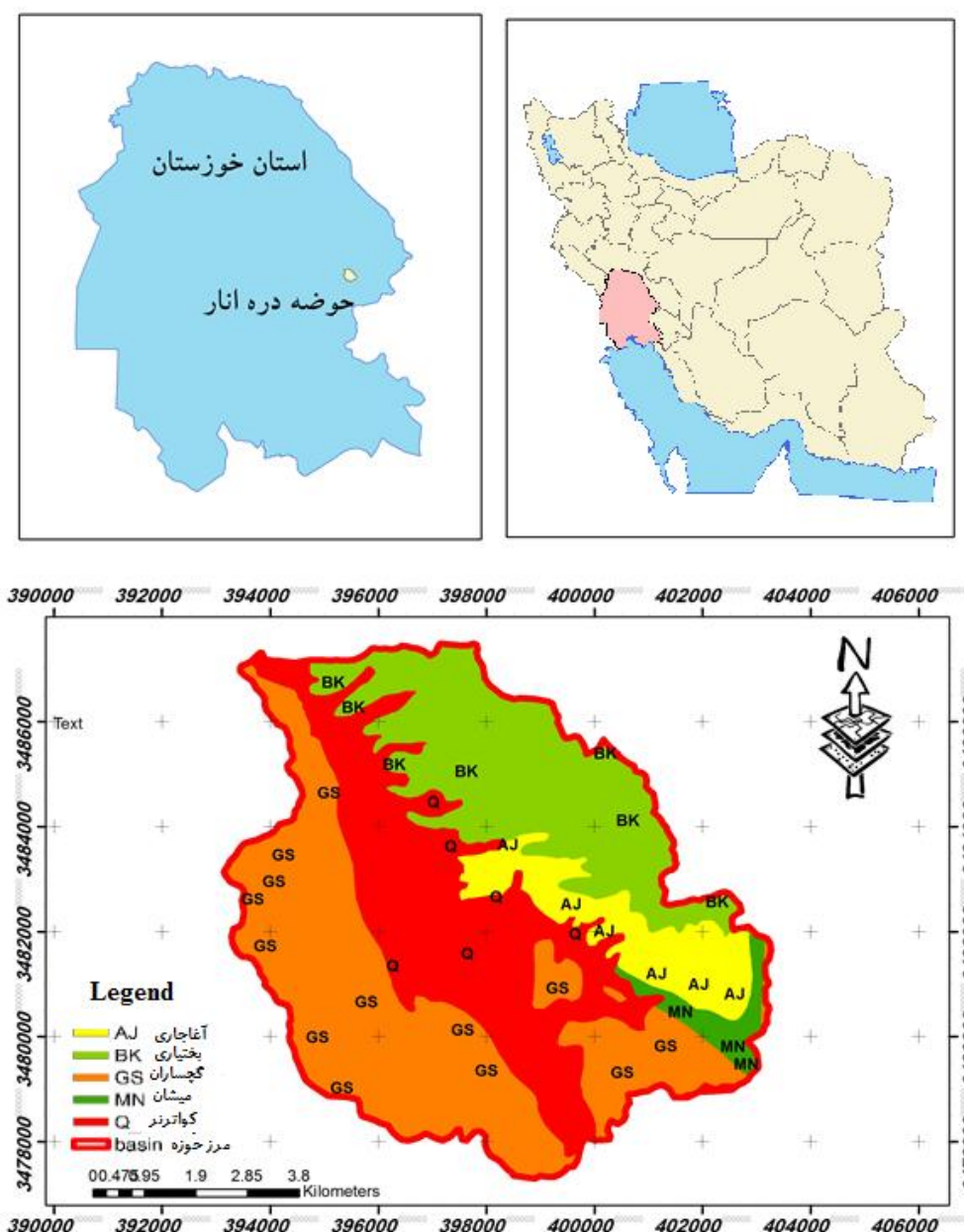
روش انگشت نگاری یا ردیابی که بر استفاده از خصوصیات رسوب متکی است به عنوان روشی جایگزین برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آن ها مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است (۴ و ۱۸). این روش برخلاف روش های سنتی با مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و مخازن، به طور مستقیم سهم منابع رسوب را تعیین می کنند. حکیم خانی (۶) از خصوصیات فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و تعیین اهمیت نسبی آن ها در حوزه پخش سیلاب پلدشت آذربایجان غربی در سال ۲۰۰۷ استفاده کرده است، وی با استفاده از ترکیبی مناسب از خصوصیات جدا کننده منابع رسوب و مدل های چند متغیره ترکیبی، سهم منابع رسوب را در تولید رسوب تعیین کرده است. از جمله نتایج او به دست آوردن سهم واحدهای سنگ شناسی کنگلومرا، آهک و دولومیت، مارن و رسوبات کواترنری، شیل و اسلیت به ترتیب برابر ۳۰/۸، ۳/۹، ۳۳/۵۲ و ۵۱/۷ درصد در تولید رسوب برآورد شده است. والینگ و همکاران (۲۲)، با مطالعه دو حوزه آبخیز زوجی در

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر منطقه مورد مطالعه حوزه دره انار باغملک، یکی از زیرحوزه‌های بخش سراب حوزه آبخیز رودزرد که خروجی آن بر ایستگاه منجنیق شهرستان باغملک در استان خوزستان می‌باشد. مساحت و محیط حوزه به ترتیب ۶۷۴۷ هکتار و ۳۹/۶۵ کیلومتر است. ارتفاع متوسط منطقه ۶۷۵ متر از سطح دریا و کاربری غالب حوزه اراضی مرتعی درجه سه و کشت دیم می‌باشد. با بررسی آمار ۵۰ ساله

داده‌های سازمان هواشناسی کشور طی سال‌های (۱۳۹۰-۱۳۴۱)، اقلیم حوزه نیمه‌خشک به‌طوری که متوسط دمای ماهانه ۳۰ درجه سانتیگراد و مقدار بارندگی متوسط سالانه ۵۶۹ میلی‌متر، متوسط دبی خروجی از حوزه ۲/۷ مترمکعب بر ثانیه و متوسط رسوب خروجی از حوزه ۱/۶۵ کیلوگرم در ثانیه، متوسط حداکثر بارش ۲۴ ساعته، ۳۶/۵ میلی‌متر و شیب متوسط این زیر حوزه ۳۴/۵ درصد برآورد شد (۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی حوزه دره انار باغملک

Figure 1- Geographical location of the study area Dare Anar Basin of Baghmalek

مراحل انجام تحقیق

در این مطالعه نمونه‌برداری به صورت مجزا از منابع و رسوبات خروجی حوزه انجام شده است. نمونه‌های منابع از واحدهای کاری همگن برداشت شد؛ نقشه‌ی این واحدهای همگن از تلفیق لایه‌ی زمین شناسی رقومی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کل کشور و نقشه‌ی کاربری اراضی ۱:۱۰۰۰۰۰ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان تهیه شد. نمونه تا عمق ۳-۵ سانتی‌متری با روش سیستماتیک تصادفی در طول یک ترانسکت ۲۰ متری و در سه تکرار برداشت شدند. نمونه‌برداری از رسوبات در آبراهه‌ها و چاله‌های رسوب‌گیر خروجی در جهت شیب و از بالا به پایین و به فواصل یکسان اجرا شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا هوادهی شده، خشک شده و سپس از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. به منظور دانه بندی رسوبات، به دلیل کلوخه‌ای بودن، الک بندی ذرات زیر ۶۳ میکرون به روش تر انجام شد. در این روش آب رسوب‌دار خارج شده از الک ۶۳ میکرون جمع‌آوری و سانتریفیوژ شد. سپس، رسوبات سانتریفیوژ شده در آون و در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک و برای آنالیز دانه‌بندی آماده شدند (۵). لیکن به منظور تعیین غلظت کل عناصر و فلزات در نمونه‌های مورد مطالعه از روش استاندارد تسیر و همکاران (۱۷) استفاده شد. به این ترتیب که ۱ گرم از هر نمونه را در بشر ۲۵ سی سی قرار داده و به نسبت ۱:۳ مخلوط پرکلریک اسید، نیتریک اسید به نمونه‌ها افزوده شد. نمونه‌ها بر روی هیتر قرار داده شدند تا زمانی که تغییر رنگ صورت بگیرد و محلول موجود در بشر تبخیر گردد به گونه‌ای که ۲ تا ۳ سی سی از محلول در بشر باقی بماند، بعد از عبور محلول باقی‌مانده از کاغذ صافی، حجم عصاره صاف شده، با آب مقطر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس توسط دستگاه جذب اتمی^۱، تعیین غلظت عناصر انتخابی انجام شد.

معیارهای انتخاب عناصر ردیاب

مسئله اساسی در انتخاب عناصر ژئوشیمیایی برای تعیین منشأ رسوب این است که کدام عناصر نامحلول هستند. عناصر شیمیایی نامحلول با جذب به رسوبات دانه ریز و معلق (شامل سیلت و رس، اکسیدها و اکسی هیدروکسیدها و مواد آلی جامد) و ترکیب در ساختمان سیلیکاتها و سایر کانی‌ها حمل می شوند (۱۳). درحالی‌که عناصر شیمیایی در حالت محلول به صورت کاتیون‌ها، آنیون‌ها و کمپلکس‌های یونی حمل شده و از دسترس خارج می شود. بر اساس نظریه Goldschmidt انحلال پذیری عناصر به پتانسیل یونی (نسبت بار یونی به شعاع یونی) آنها بستگی دارد (۱۳) (شکل ۲). همچنین اثبات شده است که روند یاد شده ممکن است تحت تاثیر عوامل محیطی مختلفی نظیر دما، PH، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء، میزان

رسوب معلق، ترکیب کانی شناسی و فعالیت ارگانسیم‌ها تغییر کند. به عقیده محققان مختلف (۱۳ و ۱۹)، از بین عوامل ذکر شده دو عامل PH و پتانسیل اکسیداسیون و احیا عوامل اصلی در انحلال و عدم انحلال عناصر هستند. همچنین غلظت رسوب نیز بر وضعیت عناصر شیمیایی تاثیر زیادی دارد و باعث جذب عناصر یاد شده به سطح ذرات رسوب به خصوص اجزا اکسیدهای آهن، منگنز، آلومینیوم، کانی‌های رسی و مواد آلی می شود.

با توجه به مطالب یاد شده و بخصوص بدلیل نسبتاً خنثی بودن و قلیائیت ضعیف آب رودخانه‌ها که بسیاری از عناصر انحلال پذیری کمی در آن دارند، اکسید کننده بودن آب رودخانه‌ها و وجود سطوح بار دار در ذرات رسوب (کانی‌های رسی، مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز، آهن و آلومینیوم) و زیاد بودن غلظت رسوب در مواقع سیلابی، قسمت زیادی از عناصر محلول به غیر از بیشتر عناصر قلیایی خاکی جذب سطوح بار دار رسوب می شوند (۱۳). بنابراین استفاده از عامل پتانسیل یونی می تواند معیار خوبی برای انتخاب ردیابهای مناسب برای منشأ یابی باشد و بر همین اساس ردیابهای مورد استفاده انتخاب شدند. بر همین اساس و با توجه به مطالعات صورت گرفته (۵) عناصر ردیاب مورد استفاده شامل سرب، روی، مس، آهن، منگنز، نیکل، کروم، آلومینیوم و سیلیسیوم بودند.

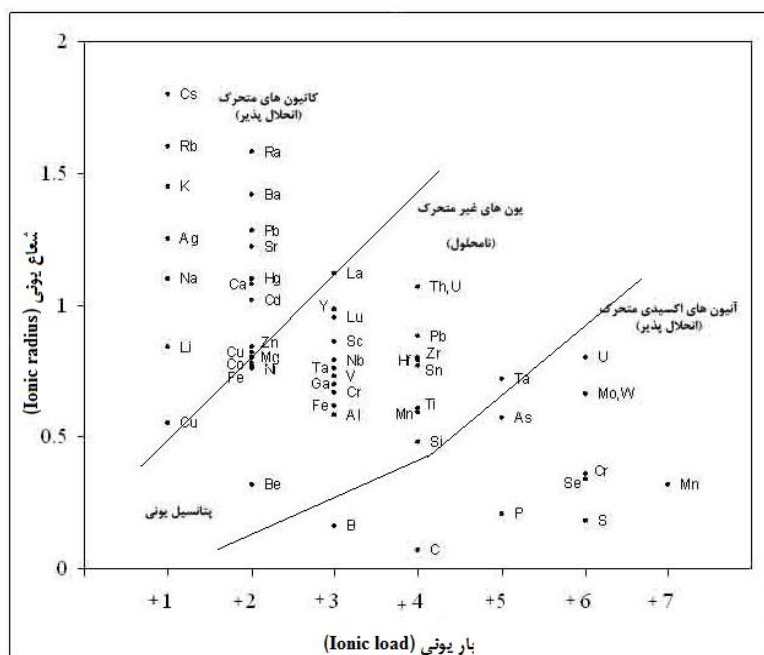
روش‌های آماری جهت انتخاب ترکیب بهینه ردیاب

در این مطالعه از آزمون مقایسه میانگین‌ها جهت تعیین توان هر یک از ردیاب‌ها به صورت جداگانه در تفکیک منابع رسوب (به‌منظور تفکیک منابع رسوب حوزه با استفاده از خصوصیات ردیاب‌های انتخابی) استفاده شد، که در صورت نرمال بودن خصوصیات ردیاب‌ها، از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و در صورت عدم تبعیت از توزیع نرمال از آزمون کروسکال والیس (H) استفاده شد. سپس به منظور کاهش تعداد ردیاب‌های انتخابی اولیه (تعیین ردیاب‌هایی با حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک) از آزمون آماری تابع تشخیص استفاده شد (۳ و ۲۱).

تابع تحلیل تشخیص

تابع تحلیل تشخیص عبارتست از بدست آوردن ترکیبی خطی از متغیرهای مستقل، که بتواند تعدادی از گروه‌های از پیش تعیین شده را از هم تفکیک کند. تفکیک گروه‌ها با دادن وزن‌های مناسب به هر یک از متغیرها براساس حداکثر کردن واریانس بین گروهی نسبت به واریانس درون گروهی انجام می شود.

تحلیل تشخیص روش آماری مناسب برای حالتی است که متغیر وابسته غیر متریک (اسمی یا طبقه‌ای) و متغیرهای مستقل متریک باشند.



شکل ۲ - انحلال پذیری عناصر مختلف بر اساس شعاع یونی (منبع ۱۳)

Figure 2 - Solubility of various elements based on ionic radius (Referenced 13)

در این مطالعه متغیرهای مستقل، مقادیر ردیاب‌های مورد استفاده (متریکی) و متغیرهای وابسته یا گروه‌ها انواع سازندهای زمین‌شناسی و یا کاربری‌های اراضی (غیرمتریکی) می‌باشند. ترکیب خطی در تحلیل تشخیص که به تابع تشخیص نیز معروف است دارای معادله‌ای به شکل معادله (۱) می‌باشد. در این رابطه Z_{jk} ، نمره Z تابع تشخیص j ام برای نمونه (شی، فرد، مشاهده...)، K ام، a ، عرض از مبدا، W_i ، وزن متغیر مستقل i ام و X_{ik} متغیر مستقل i ام برای نمونه K ام است (۱۱). در تحقیق حاضر مقادیر وزن‌دهی و عرض از مبدا با از الگوریتم Solver، در نرم افزار اکسل استفاده شد.

۱- مقادیر ضریب سهم هر یک از منابع رسوب باید بین صفر و یک باشد (معادله ۳).

۲- مجموع ضرایب سهم هر یک از منابع رسوب باید برابر با یک باشد (معادله ۴).

برای بدست آوردن سهم بهینه منابع رسوب برآورد شده توسط مدل‌های چند متغیره ترکیبی استفاده شده است. مجموع مربعات باقیمانده را می‌توان به صورت رابطه ۵ نوشت. به طوریکه در این معادله R ، مجموع مربعات باقی‌مانده و X_i مقدار اندازه‌گیری شده خصوصیت i ام در نمونه رسوب است. معادله (۵) با حذف تاثیر واحدهای مختلف اندازه‌گیری می‌توان به صورت رابطه ۶ نوشت. در این معادله، SSR مجموع خطاهای نسبی است. به این معادلات توابع هدف نیز می‌گویند. جواب‌های بهینه برای سهم منابع رسوب با حداقل کردن معادله (۶) با استفاده از عملیات تکرار و سعی و خطا بدست می‌آید. بدین نحو که مقادیر مختلف برای سهم منابع رسوب

تعیین سهم و اهمیت نسبی واحدهای رسوبی

به منظور تعیین سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب از مدل‌های ترکیبی چند متغیره آماری استفاده شد. برای به دست آوردن نتایج بهینه در تعیین سهم منابع رسوب و به جای حل مستقیم، از روش‌های بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی به منظور حداقل نمودن تابع هدف (معادله ۱) استفاده شد (۴ و ۲۲). در این مدل‌ها فرض بر این است که ترکیب و مخلوط شدن خصوصیات منشأیاب از منابع مختلف به صورت خطی است (۴ و ۲۲). از این رو می‌توان مدل یا معادله ترکیبی را برای هر یک از خصوصیات منشأیاب به صورت معادله (۲) نوشت. در این معادله $\hat{X}_i$ برابر با مقدار برآوردی خصوصیت i ام (m) و ... و $i=1, 2, \dots, j$ ، مقدار میانگین خصوصیت i ام در منبع رسوب j ام

شامل سازند گچساران، آغاچاری و کنگلومرای بختیاری و واحدهای دوران چهارم رسوبات کواترن شامل رسوبات پادگانه‌های آبرفتی و رودخانه‌ای است. مساحت واحدهای سنگ‌شناسی و کاربری اراضی حوزه در جدول (۲) ارائه شده است (۱).

با توجه به نتایج جدول (۲)، سازند گچساران با ۳۸/۷ درصد بیش‌ترین و سازند آغاچاری با ۹/۳ درصد کم‌ترین مساحت را در حوزه به خود اختصاص می‌دهند. همچنین با توجه به سطوح پوشش کاربری اراضی حوزه (جدول ۲)، کاربری مرتع درجه سه با ۵۶/۲ درصد بیش‌ترین و کاربری جنگل با ۷/۹ درصد کم‌ترین مساحت را در حوزه به خود اختصاص داشتند. نقشه سازندهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی در شکل (۳) ارائه شده است. نقشه واحدهای کاری نیز از تلفیق کاربری اراضی و سازند زمین‌شناسی در شکل (۴)، ارائه شده است. با توجه به شکل (۴)، تعداد واحدهای کاری همگن در منطقه مطالعاتی به نه عدد رسید.

(b_j) انتخاب شده و مقدار تابع هدف (R) محاسبه می‌شوند و این عملیات تا جایی ادامه می‌یابد که R به کم‌ترین مقدار خود برسند. معیار خطای نسبی (NS) را می‌توان برای هر خصوصیت منشأیاب، ترکیب خصوصیات برای هر یک از نمونه‌های رسوب و کل نمونه‌ها با استفاده از مقادیر برآوردی خصوصیت یاد شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده آنها در نمونه‌های رسوب محاسبه کرد (۹). NS ، ضریب کارایی مدل، $\bar{X}_i$ مقدار برآوردی و $\bar{X}_i$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده خصوصیت i ام برای تمام نمونه‌های رسوب و m تعداد ردیاب‌ها است. مقادیر نزدیک به یک بیانگر کارایی خوب مدل خواهد بود و عدد صفر به این معنی است که مدل به دست آمده، برآوردی بهتر از میانگین مشاهدات (ردیاب‌ها) ندارد.

نتایج و بحث

حوزه آبخیز دره انار باغملک خوزستان از لحاظ موقعیت در زیرزون زاگرس چین خورده واقع شده است. واحدهای دوران سوم

جدول ۱- معادلات به کار رفته در آنالیزهای آماری
Table 1. Equations used in statistical analyzes

شماره معادله No.	معادله و تابع Function	عنوان معادله Equation Title
1	$Z_{jk} = a + W_1 X_{1k} + W_2 X_{2k} + \dots + W_n X_{nk}$	تابع تشخیص Discriminant Function Analysis
2	$X_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j$	معادله ترکیبی برای هر منشأیاب Combined equation
3	$0 \leq b_j \leq 1$	شرط یک تابع هدف The first condition of the target function
4	$\sum_{j=1}^n b_j = 1$	شرط دو تابع هدف The second condition of the target function
5	$R = \sum_{i=1}^m (X_i - \hat{X})^2 = \sum_{i=1}^m \left[X_i - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j \right) \right]^2$	تابع هدف the target function
6	$SSR = \sum_{i=1}^m \left[\frac{X_i - (\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j)}{X_i} \right]^2$	مجموع خطاهای نسبی Total relative residual errors
7	$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \hat{X}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X}_i)^2}$	ضریب ناش - ساتکلایف Nash and Sutcliffe coefficient

جدول ۲- خصوصیات واحدهای سنگ‌شناسی حوزه و سطح پوششی واحدها

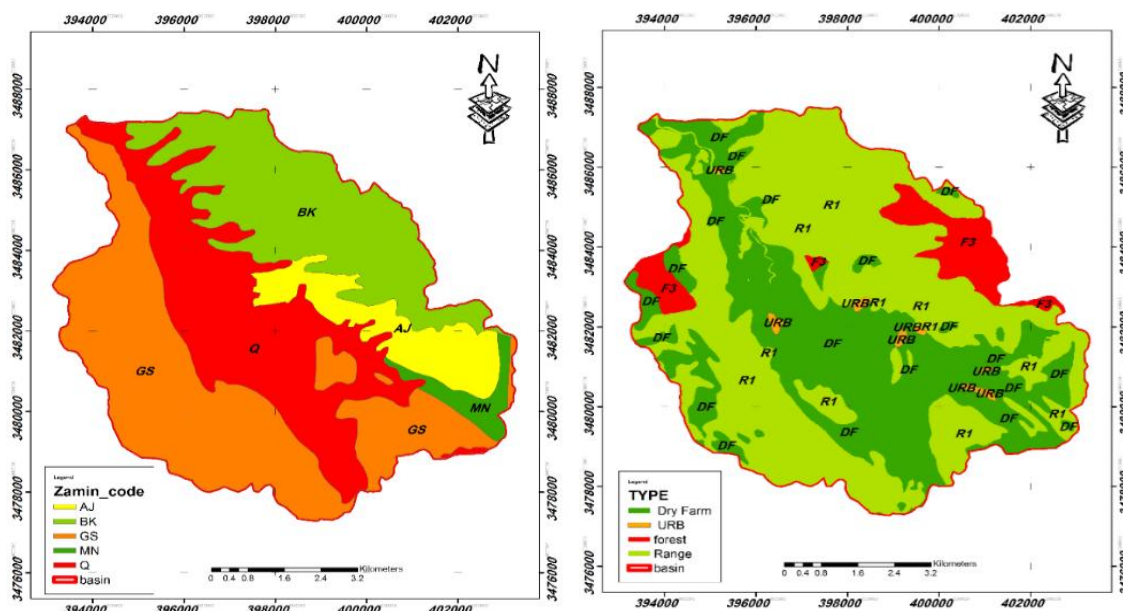
Table 2- Geological Units' Characteristics and the cover area of units

دوره Era	سازند Formation	سنگ‌شناسی Geology	مساحت (هکتار) Area	درصد نسبت به سطح حوزه Relative Area (Percent)
کواترنری Quaternary	کواترنری Qt	رسوبات رودخانه‌ای Alluvial sediments	1864	28.4
	بختیاری Bk	بیرون زدگی سنگی و ماسه سنگ Stone Expulsion	1554	23.6
ترسیر Tertiary	آغاچاری Aj	تناوب مارن و ماسه سنگ Sequence Marl & sand stone	610	9.3
	گچساران Gs	تناوب مارن ولایه‌های گچی Sequence Marl & Gyps	2540	38.7

جدول ۳- مشخصات کاربری اراضی حوزه و درصد سطح پوشش واحدها

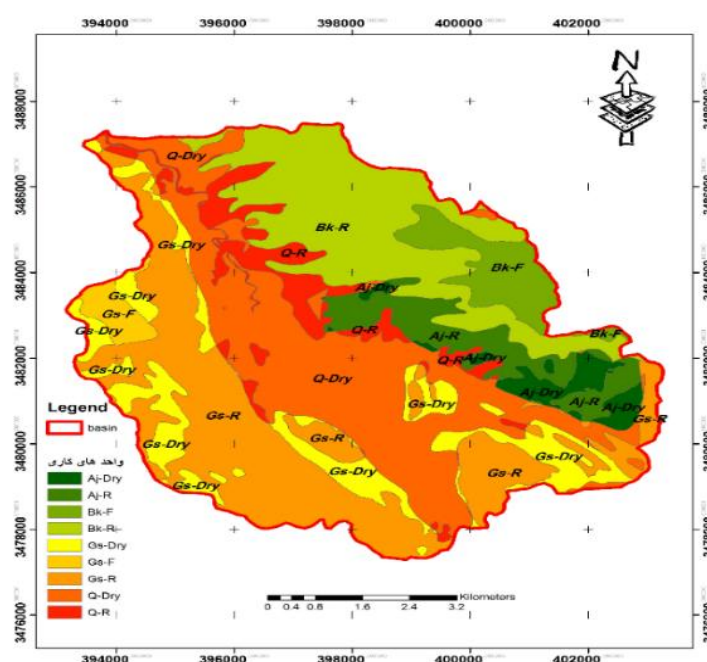
Table 3- Land Use Characteristics of basin and relative area units

نوع کاربری Land use	مساحت (هکتار) Area (Ha)	درصد نسبت به سطح حوزه Relative area (percent)
مرتفع فقیر (درجه سه) Poor Range	3684.5	56.2
اراضی دیم و آبی Farm and Rain fed land	2358.1	35.9
جنگل Forest	441.6	7.9



شکل ۳- نقشه سازندهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی حوزه دره انار

Figure 2- Map of the Geological formations and land uses of basin



شکل ۴- نقشه واحدهای همگن (واحدکاری) حوزه دره انار

Figure 3- Map of work units (uniform units) of basin

جدول ۴ - نتایج آزمون تعیین نرمال بودن ردیابها

Table 4- Results of normal test of tracers

آزمون نرمالیت کولموگراف- اسمیرونوف Kolmogorov-smironov test		
ردیاب Tracer	مقدار آماره F	سطح معنی داری Sig.
Mn	0.83	.018
Cr	1.05	.017
Cu	1.49	.023
Ni	2.68	.015
Pb	0.77	.027
Fe	0.67	.029
Zn	0.78	.015

واحدهای کاری حوزه می‌باشند. به بیانی دیگر، میانگین غلظت هر یک از عناصر حداقل در یک منبع از منابع دیگر متفاوت است. در این جدول مقدار آماره H نیز در نظر گرفته شده است هر چه مقدار H بالاتر باشد قدرت تفکیک عنصر هم بیشتر می‌شود همان‌طور که در اینجا مشخص شده است با افزایش مقدار آماره H سطح معنی‌داری نیز بهتر شده است. در ضمن چهار ردیاب Pb, Cr, Ni و Zn با عدم داشتن معنی داری بالا برای ورود (معنی داری کمتر از ۵ درصد) و آماره H پایین، توان جداسازی کافی نداشته و حذف شده‌اند.

با توجه به نتایج آزمون کولموگراف- اسمیرونوف (جدول ۴) جهت تعیین نرمال بودن مقادیر ردیابها، مشخص شد که کلیه ردیابها (در سطح ۵ درصد) از توزیع نرمال تبعیت نکرده و باید از آزمون غیرپارامتری کروسکال- والیس (H) جهت انتخاب ترکیب بهینه ردیابها استفاده شد. جدول (۵)، نتایج آزمون آماری کروسکال- والیس را در واحدهای کاری مختلف را نشان می‌دهد، باتوجه به این جدول از هفت عنصر به کار رفته در مدل انتخابی، سه عنصر منگنز (Mn)، مس (Cu) و آهن (Fe) با سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ (که با ستاره مشخص شده‌اند)، قادر به تفکیک و جداسازی

جدول ۵- نتایج آزمون آماری کروسکال - والیس در واحدهای کاری حوزه

Table 5- Results of Kruskal-Wallis H of the work units

ردیاب Tracer	H مقدار	سطح معنی داری Sig.	ردیاب Tracer	H مقدار	سطح معنی داری Sig.
Mn*	19.6	0.005	Pb	1.03	0.4
Cr	1.2	0.23	Fe*	12.6	0.01
Cu*	43.3	0.001	Zn	4.56	0.15
Ni	5.1	0.12	* سطح معنی داری کمتر از 0.05		

جدول (۶)، مراحل اضافه شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش گام به گام^۱ و تاثیر آن‌ها بر توان جداسازی منابع رسوب برای واحدهای کاری مختلف را نشان می‌دهد. ویلکس لامبدا^۲ معیاری مناسب از نسبت اختلاف‌های درون گروهی به اختلاف‌های بین گروهی است. در هر مرحله متغیری وارد تابع شده که در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معنی‌دار بوده است. همان طور که در جدول مشخص شده است با اضافه شدن هر ردیاب مقدار ویلکس لامبدا کاهش یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است.

با توجه به نتایج جدول (۶)، با اضافه شدن هر ردیاب مقدار مربع فاصله ماها لانوبیس افزایش، معیار ویلکس لامبدا کاهش و درصد تجمعی طبقه‌بندی درست نمونه‌ها افزایش یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها نیز افزایش یافته است.

در نهایت به منظور تعیین سهم و اهمیت نسبی هر یک از واحدهای سازند زمین شناسی و کاربری اراضی در تولید رسوب خروجی حوزه با توجه به تحلیل تابع تشخیص برآوردها صورت گرفت (جدول ۷ و ۸). برای بررسی اهمیت نسبی کاربری‌ها و فراهم آوردن امکان مقایسه آن‌ها در جدول یاد شده سهم کل بر درصد مساحت تحت پوشش تقسیم شده است. با توجه به جدول (۷)، برآوردها نشان داد که سهم سازند کواترنری که ۲۸/۴ درصد از سطح حوزه را پوشانده، مقدار ۳۹/۹ درصد از سهم رسوب خروجی حوزه را ایجاد کرده است، به طوری که با ضریب اهمیت نسبی ۱/۴ بیش‌ترین توان رسوب‌زایی حوزه را داشته است. سازند گچساران نیز با ضریب اهمیت نسبی ۱/۳۸ در درجه اهمیت بالایی (به لحاظ رسوب‌زایی) بعد از سازند کواترنر قرار دارد. ولیکن سازند کنگلومرای بختیاری که ۳۳/۶ درصد از سطح حوزه را دربر داشته، تنها سهمی کمتر از ۰/۹ درصد از رسوب خروجی را تولید می‌نماید، لذا با ضریب اهمیت نسبی ۰/۰۴، مقاوم‌ترین سازند حوزه به فرسایش بوده و تاثیری در تولید رسوب حوزه ندارد.

همچنین با توجه به نتایج جدول (۸)، کاربری مرتع درجه سه

نتیجه‌گیری

اصل روش منشاء‌یابی، استفاده از تعدادی خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و آلی قابل شناسایی و تشخیص در منابع رسوب است، که با مقایسه این خصوصیات با همان خصوصیات در نمونه‌های رسوب می‌توان سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب را در توان رسوب‌زایی حوزه به‌دست آورد. با توجه به نتایج بدست آمده از بین نه ردیاب انتخاب شده، عنصر Cu (مس) با داشتن ۵۴/۷ درصد بیش‌ترین درصد طبقه‌بندی صحیح را به خود اختصاص داده و ردیاب‌های Fe و Mn با اینکه به ترتیب سهم کم‌تری در افزایش درصد طبقه‌بندی صحیح مقادیر رسوب داشتند ولی با توجه به زیاد کردن فاصله ماها لانوبیس و کاهش آماره ویلکس-لامبدا موجب افزایش اختلاف گروه‌ها شده‌اند و می‌توانند منابع رسوب حوزه را با دقت شناسایی و تشخیص دهند. این نتایج با نتایج والینگ و همکاران (۲۰۰۸) و معظمی (۲۰۰۶) همخوانی دارد. از بین سازندهای موجود حوزه دره انار، سازند کواترنر و سازند گچساران با داشتن بیش‌ترین سهم در رسوب خروجی حوزه به ترتیب ۳۹/۹ و ۵۳/۳ درصد (ضریب نسبی ۱/۴ و ۱/۳۸) بیش‌ترین تاثیر را در توان رسوب‌زایی حوزه به خود اختصاص دادند. این نتایج با توجه به نزدیک بودن سازند کواترنر به آبراهه اصلی و نیز گستردگی سازند گچساران در کنار خروجی‌های اصلی زیرحوزه قابل قبول می‌باشد. همچنین در کاربری‌های مختلف حوزه، مراتع فقیر و رها شده و کاربری جنگل، به ترتیب با ۷۱/۵ و ۰/۳ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رسوب‌زایی حوزه را بر عهده داشتند.

1- Stepwise
2- Wilk's Lambda

جدول ۶- نتایج تحلیل تابع تشخیص به روش گام به گام

Table 6- Results of Discriminant analysis by stepwise method

گام step	وارد شدن متغیر Entrance Variable	سطح معنی F داری Sig.	حداقل مربع فاصله ماها لانویس	آماره ویلکس-لامبدا Wilks' Lambda	درصد طبقه بندی درست نمونه‌ها	درصد تجمعی طبقه بندی درست نمونه‌ها	عامل تورم واریانس VIP
1	Cu	0.01	0.16	0.501	54.7	54.7	1.25
2	Fe	0.01	0.53	0.292	31	85.7	2.46
3	Mn	0.012	0.83	0.185	14.3	100	4.53

جدول ۷- سهم و اهمیت نسبی هر یک از سازندهای زمین شناسی در تولید رسوب حوزه

Table 7- Contribution and Relative efficiency of the Geological formation in basin

سازند Formation	درصد مساحت Relative area (percent)	سهم (درصد) Contribution (percent)	اهمیت نسبی Relative efficiency
کواترنری Qt	28.4	39.9	1.4
بختیاری Bk	23.6	0.9	0.04
آغاچاری Aj	9.3	5.9	0.43
گچساران Gs	38.7	53.3	1.38

جدول ۸- سهم و اهمیت نسبی هر یک از کاربری‌های اراضی در تولید رسوب حوزه

Table 8- Contribution and Relative efficiency of the Land uses in basin

کاربری اراضی Land Use	درصد مساحت Area (%)	سهم کل (درصد) Contribution (%)	اهمیت نسبی Relative efficiency
مرتع فقیر (درجه سه) Poor Range	56.2	71.5	1.27
اراضی زراعی (دیم و آبی) Farm and Dry land	35.9	28.2	0.78
جنگل Forest	7.9	0.3	0.038

استفاده شود که اولاً به صورت عناصر منفرد باشند و ثانیاً رفتار ثابت داشته باشند و تحت شرایط مختلف بدون تغییر بمانند در نتیجه می توان گفت باید از ردیاب هایی استفاده شود که انحلال پذیری کمتری داشته باشند. همچنین ماهیت انتخابی فرایندهای فرسایش و انتقال رسوب است، که منجر به غنی شدگی رسوبات از نظر ذرات ریز و مواد آلی شده و مقایسه منابع رسوب و نمونه های رسوب را با مشکل مواجه می کند. در نهایت مشخص کردن ترکیب مناسبی از ردیاب ها به تجزیه های آزمایشگاهی زیاد و آزمون های آماری نیاز دارد. با وجود مشکلات مذکور، روش منشأیابی ابزاری با ارزش و مؤثر برای بررسی منابع رسوب حوزه به لحاظ عوامل کنترل کننده محلی و غیرمحلی فرسایش و حمل رسوب می باشد.

در نهایت تکنیک منشأیابی با ضریب کارایی مدل به میزان ۹۸/۲ درصد، نشان داد مدل صحت و دقت بالایی در برآوردها داشته و روش مناسبی جهت تعیین و تفکیک منابع رسوب حوزه در واحدهای کاری است. این نتایج با نتایج اوارد (۲۰۱۲) و مالهورتا (۸) مطابقت دارد. از مهم ترین مزایای آن می توان به سرعت زیاد و اقتصادی بودن آن اشاره کرد، یعنی این روش تنها به جمع آوری و تجزیه و تحلیل نمونه های رسوب و خاک منابع مختلف به جای پایش درازمدت و گران قیمت فرسایش و حمل رسوب نیاز دارد.

شایان ذکر است از معایب این روش می توان به تغییرات شیمیایی ردیاب ها در حین فرایندهای فرسایش، حمل و رسوب گذاری اشاره کرد، که مقایسه مستقیم بین رسوب و منابع رسوب را با مشکل مواجه می سازد. برای حل این مسئله توصیه می شود از ردیابی با خصوصیتی

منابع

1. Ansari, M. R. 2016. Investigating the Effects of Soil Management on Runoff and Sediment Using SWAT Model and Comparison of MCE with SWAT Model in Roudezard Regis, thesis for doctoral degree (PhD), campus of agriculture and natural resources of Tehran University, P. 213.
2. Arabkhedri, M. 2008. Study on Rain Characteristics and Calibration of Rainfall Simulator of Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Final Report on 83013-0000-01-040000-003-2 Project. Institute of Soil Conservation and Watershed Management Research, Tehran. (In Persian with English abstract).
3. Collins, A.L. Walling, D.E. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography*, 28, 159-196.
4. Collins, A.L. Walling, D.E. 2006. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. *Geomorphology*, 88, 120138.
5. Feiznia, S. 1995. Straight Rocks to erosion in different climate of Iran. *Journal of Iran, Natural. Resources*, 47, 107-131. (In Persian with English abstract).
6. Hakim Khani, S. H. Ahmadi, H. Ghayoumian, J. Feiznia, S. and Bihamta, M. R. 2007. Determining a suitable subset of geochemical elements for separation of lithological types of Poldasht water spreading station basin, *Journal of Iran. Natural. Resources*, 60, 693-711. (In Persian with English abstract).
7. Krause, A. K. Franks, S. W. Kalma, J. D. Rowan, J. S. and Loughran, R. J. 2003. Multi parameter fingerprinting of sediment deposition in a small gullied catchment in SE Australia, *Catena*, 53, 327-348.
8. Malhotra, K. Lamba, J. Srivastava, P. Shepherd, S. 2018. Fingerprinting Suspended Sediment Sources in an Urbanized Watershed, *Water Journal*, 10, 1573.
9. Moazzami, M. 2006. Source studies of fine alluvial sediments using sediment fingerprinting method, M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 158 p. (In Persian with English abstract).
10. Nash, J. E. and Sutcliffe, J. E. 1970. River flow forecasting through conceptual models, *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
11. Nichols, D. J. 2001. The source and behavior of fine sediment deposits in the River Torridge Devon and their implications for salmon spawning. PhD thesis, University of Exeter.
12. Poulenard, J. Legout. C. Némery. J. Bramorski, J. Navratil. O. Douchin. A. Fanget. B. Perrette. Y. Evrard. O. 2012. Tracing sediment sources during floods using Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectrometry (DRIFTS): A case study in a highly erosive mountainous catchment (Southern French Alps). *Journal of Hydrology* 414-415. 452-462.
13. Russell, M.A. Walling, D. E. Hodgkinson, R.A. 2001. Suspended sediment sources in two small lowland agriculture catchments in the UK, *Journal of Hydrology*, 252, 1-24.
14. Soster, F.M. Matisoff, G. Whiting, P.J. Fornes, W. Ketterer, M. Szechenyi, S. 2007. Floodplain sedimentation rates in an alpine watershed determined by radionuclide techniques. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 910-928.
15. Siegel, F. R. 2002. Environmental geochemistry of potentially toxic metals, Springer, 218p.
16. Tabachnick, B.G. Fidel, L.S. 2012. Using Multivariate Statistics. Harper Collins College Publishers, New York, 1024 p.
17. Tessier, A. Campbell, P.G.C. and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals, *Anal. Chem.* 51: 844-851.
18. Thompson, J. Cassidy. R. Doody, D. G. Flynn. R. 2013. Predicting critical source areas of sediment in headwater catchments, *Agriculture, Ecosystems and Environment* .179. 41- 52.
19. Voli, M.T. Wegmann, K.W. Bohnenstiehl, D.W. Leithold, E. Osburn C.L. and Polyakov, V. 2013. Fingerprinting the sources of suspended sediment delivery to a large municipal drinking water reservoir: Falls Lake, Neuse River, North Carolina, USA, *J Soils Sediments*. 13:1692-1707.
20. Walling, D.E. Russell, M.A. Hodgkinson, R.A. Zhang, X. 2002. Fine grained sediment budgets for two small lowland agricultural catchments in the UK. *Catena* 47, 323-353.
21. Walling, D.E., Collins, A.L. 2008. the catchment sediment budget as a management tool, *Environmental Science and Policy*, 11, 136-143.
22. Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment*, 344 (1-3), 159-184.



Determination of Contribution of the Sediment Resources, using the Geochemical Elements Fingerprinting Technique (Case Study: Dare Anar basin of Baghmalek)

A. Zoratipour^{1*}- M. Moazami²- M. R. Ansari³

Received: 02-10-2017

Accepted: 12-11-2018

Introduction: During the last decades, important research efforts were conducted to identify and quantify the contribution of different sources delivering suspended sediment to the rivers. This knowledge also proved to be essential to provide estimations of catchment sediment budgets. The type of sources (i.e. soil types, rock types, and land uses) to discriminate depends on the local catchment context. Generally, the targeting of sediment management strategies is a key requirement in developing countries because of the limited resources available. Proper implementation of the soil conservation plans and sediment control programs should be done to inform of the relative importance of contribution the sediment resources as well as identification of crisis centers in the watersheds. During the last decades, this approach has been increasingly applied to identify and 'trace' several distinctive characteristics of the source material that can be compared to the same characteristics measured on river suspended sediment samples. Today, fingerprinting techniques, provide an appropriate method for rapid and low cost information on main sources of sediment.

Materials and Methods: in this study, the mentioned technique in the contribution of sediment resources, identify the critical units using the seven geochemical tracers' properties in the Dare Anar basin of Baghmalek in the Khuzestan province. The focus of this paper is upon quantifying the sources of suspended sediment transported on the Bakhmalek River in order to help guide future surface water sediment reduction efforts for turbidity-impaired streams. The statistical methods were used by the comparison of means and discriminant analysis, to select the optimal combination of tracers and contribution sediment sources. The geochemical tracers tested for their ability to distinguish between sediment sources with the Kruskal-Wallis one-way analysis of variance H test, which is able to test for the independence of more than two variables without presuming either normal or non-normal distributions. Tracers proving significance ($p < 0.05$) between sources were retained. Tracers passing the Kruskal-Wallis H test that were non-conservative (suspended sediment tracer values that were not bracketed by sediment source tracer values) and removed before the performance of the mixing analysis. Tracers passing the first stage of statistical analysis were entered into a stepwise Discriminant Function Analysis (DFA) intended to optimize the number used in the mixing model. This analysis results in the smallest combination of tracers that are capable of correctly distinguishing 100% of the sources through the minimization of Wilks' Lambda (Collins et al.1998). The analysis was run separately for each drainage basin using IBM SPSS Statistics v. 20.0. From the seven measurement fingerprinting properties, three of them were selected for geology formations and land use by statistics method such as discriminate analysis and compare means tests. Then, a portion of each source determinate by mixed models.

Results: Outputs from the discriminant function analysis show the discriminatory power of the final composite of tracers to be 100% successful in the sources classification for Catchment. Finally, among the seven selected tracer included the Lead, Zinc, Copper, Iron, Manganese, Nickel, and Chromium, have identified sediment sources by three elements included the Copper, Manganese, and Iron the amount 54.7, 31 and 14.3 percent respectively. Quaternary and Gachsaran formations, having the highest share in the sedimentary; the aspect ratio was 1.4 and 1.38 respectively. The poor pasture and forest land uses were responsible the highest and the lowest values of the basin sediment with 71.5 and 0.3 percent, respectively.

Conclusion: The mitigation of nonpoint-source pollutants, such as sediment, in larger basins is rarely a straightforward procedure due to the number of sources and erosional processes contributing to their concentration in

1 and 2- Assistant Professors, Nature Engineering Department, Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan
(*- Corresponding Author Email: Zoratipour@Ramin.ac.ir)

3- Assistant Professor, Soil Science Department, Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan

waterways. Therefore, the fingerprinting techniques with the relative efficiency 98.2 percent, having the high accuracy and precision in determinate appropriate method to sediment sources basin and separated of the sediment active units. Low relative error and high model efficiency coefficient confirm the results. Also the field observation is the same as model results. The results were indicating the environmental management strategies must be comprehensive for the study area, that need to reduce surface erosion and hill-slope/channel connectivity and the control gullies development by the commercial cultivation and the range reclamation. Sediment fingerprinting revealed that stream bank erosion in general, and of legacy sediments in particular, from Quaternary and Gachsaran formations to Baghmalek River is at the root of the regional sediment loading problem.

Keywords: Baghmalek, Contribution, Discriminant Analysis, Fingerprinting, Sediment, Tracer

تأثیر مدیریت آبیاری (نوع سیستم و تنش کم آبی) بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی انگور (مطالعه موردی منطقه ناغان)

فاطمه فتاحی ناغانی^۱ - مهدی قبادی نیا^{۲*} - عبدالرحمن محمدخانی^۳ - محمدرضا نوری امامزاده‌ئی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

به منظور بررسی اثر نوع سیستم آبیاری و تنش کم آبی بر میزان آب مصرفی، عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی انگور رقم عسگری، پژوهشی در تابستان ۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۵ تیمار در یکی از باغ‌های انگور در منطقه ناغان انجام گرفت. تیمارها شامل آبیاری رایج در منطقه (شاهد)، آبیاری سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، آبیاری سطحی با ۶۰ درصد نیاز آبی، آبیاری قطره‌ای با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و آبیاری قطره‌ای با ۶۰ درصد نیاز آبی در ۴ تکرار بود. سن گیاهان در حدود ۶۰ سال و بافت خاک رس لومی تعیین شد. در انتهای آزمایش کارایی مصرف آب، عملکرد محصول، RWC، تعداد حبه و وزن ۱۰۰ حبه در خوشه و همچنین صفات کیفی مانند مواد جامد محلول، اسید کل و pH آب انگور اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، در هردو سیستم، تنش کم آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد محصول، وزن ۱۰۰ حبه و تعداد حبه در خوشه و همچنین اسید کل شده است. تیمار شاهد کمترین مقدار کارایی مصرف آب را داشته است. تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد در بیشتر پارامترها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد ندارد و به مراتب ویژگی‌های کیفی و کارایی مصرف آب آن از تیمار شاهد بهتر بوده است. سیستم آبیاری قطره‌ای با جلوگیری از هدررفت آب به میزان حدود ۴۰ درصد، موجب تولید محصولی با کیفیت‌تر و بازار پسند نسبت به آبیاری سنتی شده است. بنابراین می‌تواند جایگزین مناسبی برای آبیاری باغ‌های انگور در منطقه باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید کل، عملکرد کل، کارایی مصرف آب، pH و RWC

مقدمه

ثابت (نسبت به روش آبیاری سطحی و ثقلی) سطح زیر کشت آبی را به دلیل بالا بودن راندمان سیستم گاهی تا سه برابر افزایش داد و حتی با مصرف مقدار آب کمتر نسبت به آبیاری متداول (آبیاری سطحی) محصول بیشتری تولید نمود. لذا با توجه به محدودیت منابع آب و خاک و نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر استفاده از روش‌های آبیاری با راندمان بالا (علی رغم هزینه سرمایه‌گذاری اولیه زیاد) به ویژه برای محصولاتی که نیاز آبی بالایی دارند توجیه‌پذیر می‌باشد (۲۹). یکی از شیوه‌های آبیاری که با صرف کمترین مقدار آب و بیشترین کنترل، موجب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب می‌شود، روش آبیاری قطره‌ای است. محاسن و مشکلات آبیاری قطره‌ای توسط پژوهش‌گران مختلفی گزارش شده است (۱۵، ۱۸ و ۲۲). مدیریت آبیاری به عنوان ابزار مهم برای تولید بهینه انگور در نقاط مختلف دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در استرالیا برای کاهش میزان رشد روشی، افزایش عملکرد انگور و بهتر کردن ویژگی‌های کیفی میوه استفاده از کم‌آبیاری تنظیم شده در حال گسترش است (۱۶). با اعمال کم‌آبیاری در انگور و تحت سیستم آبیاری قطره‌ای می‌توان بدون کاهش معنی‌دار عملکرد، ضمن بهبود صفات کیفی میوه با کاهش ۵۰

با توجه به اهمیت آب برای کشاورزی، کوشش‌های بخش‌های متولی صنعت آب کشور بر آن بوده است تا از بهترین روش‌های آبیاری که بتوان به وسیله آن با کمترین مقدار آب مساحت بیشتری از زمین‌های کشاورزی را آبیاری کرده و بیشترین محصول را به‌دست آورد، استفاده نمایند (۲۴). در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل محدودیت بیشتر منابع آب، ضروری است برای آبیاری گیاهان از سیستم‌های آبیاری جدید با راندمان بالا استفاده گردد تا ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب از مزایای دیگر این سیستم‌ها شامل یکنواختی توزیع آب و امکان آبیاری اراضی دارای توپوگرافی نامنظم بهره‌مند شد. با استفاده از این روش‌های آبیاری می‌توان با مقدار آب

۱ و ۲ - به ترتیب، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

۳ - دانشیار گروه باغبانی، دانشگاه شهرکرد

(Email: mahdi.ghobadi@gmail.com)

(*) - نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.67733

۱۰۰ درصد تامین کمبود رطوبت خاک (DI100) و آبیاری قطره‌ای با ۶۰ درصد تامین نیاز آبی آبیاری کامل (DI60) مورد بررسی قرار گرفتند. آب مورد نیاز تاکستان از طریق سد سولگان (سولقان یا سولجان) واقع در شمال و به فاصله ۶ کیلومتری از شهر، تامین می‌شود. زمان آبیاری سنتی مطابق با عرف محل و طبق برنامه‌ریزی کشاورزان شهر در ابتدای فصل، انجام شده است. با توجه به زمان‌بندی تخصیص آب و در دسترس نبودن آب در تمام طول آزمایش، جهت آبیاری تیمارهای آزمایشی (آبیاری سطحی و قطره‌ای) مخزنی در بالادست محل آزمایش قرار داده و در زمان‌های آبیاری تیمار شاهد پر می‌گردید. برای تیمار آبیاری سطحی، جوچه‌های هدایت آب ایجاد شد و برای آبیاری قطره‌ای، لوله‌کشی انجام شد. برای هر تکرار آبیاری قطره‌ای دو قطره‌چکان یورودریپ ۸ لیتر بر ساعت کار گذاشته شد. برای اندازه‌گیری دقیق حجم آب مورد استفاده در آبیاری‌های سطحی و قطره‌ای از کنتور اندازه یک اینچ که بعد از خروجی مخزن قرار گرفته بود و در آبیاری شاهد از فلوم WSC تیپ ۲ استفاده شد.

زمان آبیاری برای تیمار شاهد مطابق عرف محل و برای آبیاری تیمارهای سطحی و قطره‌ای بر اساس کمبود رطوبت سهل‌الوصول خاک انجام شد. روش کار بدین صورت بود که رطوبت خاک در فاصله بین دو آبیاری با استفاده از دستگاه سنجش رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و زمانی که رطوبت خاک به نزدیکی حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول (رابطه ۱) می‌رسید، عمق آب مورد نیاز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه و اعمال شد (۱۲).

$$\theta_{MAD} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{MAD}) * MAD \quad (1)$$

$$d = (\theta_{FC} - \theta_{soil}) * D \quad (2)$$

در روابط فوق θ_{MAD} حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول، θ_{FC} رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی، θ_{PWP} رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم و MAD درصد تخلیه مجاز، d عمق آب مورد نیاز (متر) و D عمق موثر ریشه گیاه (متر) می‌باشد.

به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع آزمایش از عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد که خلاصه نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول شماره (۱) ارائه شده است. در پایان فصل رشد، همزمان با برداشت انگور از باغ‌های منطقه برابر عرف محل در اواخر شهریور ماه، انگورهای کرت‌های آزمایش برداشت شدند و RWC ، صفات کیفی مانند میزان قند با استفاده از دستگاه رفراکتومتر، کل اسید قابل تیترا (بر حسب اسید تارتاریک) با روش تیتراسیون و میزان pH عصاره میوه توسط pH متر (۲۰)، کارایی مصرف آب، عملکرد، وزن ۱۰۰ حبه و تعداد حبه در خوشه مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری RWC قطعاتی از برگ گیاهان انگور انتخاب و وزن تر آن‌ها محاسبه

درصدی مصرف آب، کارایی مصرف آب را دو برابر افزایش داد (۳). تنش کم‌آبی یکی از عوامل محدود کننده رشد در گیاهان است (۲۱). که بیشتر فرآیندهای رشد و فیزیولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۹). تنش ناشی از آب هنگامی ایجاد می‌شود که رطوبت موجود در اطراف ریشه به نقطه پژمردگی دائم یا کمتر از آن کاهش یابد و در نتیجه گیاه قادر به جذب آب کافی نبوده و هر چه تنش کم‌آبی کمتر شود عملکرد بیولوژیک افزایش می‌یابد (۱۴ و ۲۳). برتامینی و همکاران (۱) گزارش کردند که کمبود آب در گیاه انگور منجر به کاهش معنی‌دار مقدار نسبی آب برگ، وزن خشک برگ و مقدار کلروفیل می‌شود. تنش شدید خشکی باعث کندی رشد، تاخیر در رسیدگی میوه، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (۹). اثر سه رژیم آبیاری شامل ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی روی صفات رویشی و زایشی انگور کابرنت ساویون مطالعه گردید و مشخص شد که علاوه بر کاهش رشد رویشی، تنش آب باعث کاهش عملکرد شد (۷).

TSS معیاری برای رسیدگی میوه‌ها است (۱۷). بر اساس گزارش‌های دی وایو (۷) بیشترین میزان قند در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری مشاهده شد. اثر مقدار آب آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر مواد جامد محلول (TSS) و عملکرد و در سطح ۵ درصد بر صفت pH و همچنین تنش کم‌آبی بر مواد جامد محلول و اسید تارتاریک میوه اثر معنی‌داری داشت (۵، ۸ و ۹).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر تغییر روش و مدیریت آبیاری از آبیاری غرقابی به آبیاری سطحی مدرن و قطره‌ای بر کیفیت و کمیت محصول انگور و کارایی مصرف آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تغییر شیوه آبیاری و تاثیر آن بر کمیت و کیفیت محصول یکی از نگرانی‌های مهم کشاورزان مناطق مختلف است که سال‌های متمادی به شیوه سنتی، آبیاری باغ‌های خود را انجام می‌دادند. در این راستا پژوهشی در تابستان سال ۱۳۹۵ برای سنجش اثر نوع سامانه آبیاری، در یکی از تاکستان‌های (رقم عسگری) شهر ناغان از توابع شهرستان شهرکرد که به شیوه سنتی آبیاری می‌گردید، در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. برای انجام آزمایش ۲۰ عدد تاک از بین تاک‌هایی با سنی در حدود ۶۰ سال که در سیستم هدایت متداول منطقه (هدایت جوی و پشته‌ای) با ترانس‌بندی با اختلاف ارتفاع ۲ متر کشت شده بودند، انتخاب شد. به منظور بررسی اثر نوع سیستم و میزان آب آبیاری بر عملکردهای تاک‌های چندساله، تیمارهای آبیاری متداول منطقه (CTRL)، آبیاری سطحی با ۱۰۰ درصد تامین کمبود رطوبت خاک (آبیاری کامل) (SI100)، آبیاری سطحی با ۶۰ درصد نیاز آبی آبیاری کامل (SI60)، آبیاری قطره‌ای با

برای اندازه‌گیری صفات کیفی ابتدا نمونه ترکیبی از چند خوشه آب‌گیری و صاف شدند، سپس میزان قند، pH و مقدار اسید کل میوه اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ حبه و تعداد حبه، تعدادی خوشه به طور تصادفی از هر تکرار انتخاب و پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده توسط نرم‌افزار SAS تجزیه تحلیل و نمودارها بوسیله نرم‌افزار Excel رسم شدند.

گردید. به منظور تعیین وزن تورژسانس برگ، به مدت ۲۴ ساعت قطعات برگ‌ها در شدت نور کم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر قرار گرفتند. پس از گرفتن رطوبت سطح برگ با احتیاط کامل دوباره وزن شدند. سپس در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت برگ‌ها خشک شده و وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد و میزان RWC از رابطه شماره (۳) بدست آمد:

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}} \times 100 \quad (3)$$

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of experimental field soil

عمق خاک (cm) Soil depth (cm)	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	بافت خاک Soil texture	Pb (gr.cm ⁻³)	F.C (%)	P.W.P (%)	pH	Ca ⁺² +Mg ⁺² (meq.l ⁻¹)	Na ⁺ (meq.l ⁻¹)	SAR (meq.l ⁻¹) ^{0.5}
0-30	39.5	30.5	30	Clay loam	1.12	29.4	10.9	7.40	3.85	0.7	0.50
30-60	36.5	32	31.5	Clay loam	1.15	30.1	11.4	7.54	9.20	0.9	0.42

درصد کاهش داشته که بیشترین کاهش متعلق به تیمار آبیاری سطحی ۶۰ درصد و کمترین کاهش متعلق به تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد بوده است.

نتایج تجزیه واریانس pH نشان می‌دهد که تیمارها در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج دولتی بانه و نورو (۸) نیز نشان داد که مقدار آب آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر صفت pH اثر معنی‌دار داشت. pH نشان دهنده میزان اسیدی بودن عصاره انگور می‌باشد هرچه مقدار آن از لحاظ عددی کمتر باشد خاصیت اسیدی میوه بیشتر است، از مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین میزان اسیدیته متعلق به تیمار شاهد و کمترین آن متعلق به تیمار آبیاری سطحی ۶۰ درصد بوده است. این نتایج با نتایج دولتی بانه و همکاران (۸) مطابقت دارد.

تیمارهای آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد، آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد و آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد به ترتیب با مقادیر ۳/۶۳، ۳/۶ و ۳/۷۱ در رده‌های دوم، سوم و چهارم از لحاظ اسیدیته قرار دارند (جدول ۳).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارها در میزان مواد جامد محلول (TSS) اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد دارند (جدول ۲). این نتایج با نتایج دولتی بانه و نورو (۸)، کلایپترا (۵) و دو و همکاران (۹) مطابقت دارد. آن‌ها نیز گزارش کردند که کم‌آبیاری باعث افزایش قند شده است. در شرایط تنش خشکی ملایم تولید هورمون اسید آبسزیک زیاد شد. این هورمون از طرق مختلف

نتایج و بحث

اسید میوه (TA)، مواد جامد محلول (TSS) و pH

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اسید کل عصاره انگور در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که اسید کل تیمار شاهد بیشترین مقدار (۵/۹۸) گرم بر لیتر و تیمار آبیاری سطحی ۶۰ درصد کمترین مقدار (۴/۳۵) گرم بر لیتر را به خود اختصاص دادند. همچنین اختلاف بین این دو تیمار ۱/۶۳ گرم بر لیتر بدست آمد. تیمارهای آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد، آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد و آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد به ترتیب با مقادیر ۵/۱۸، ۵/۰۶ و ۴/۷۶ گرم بر لیتر به ترتیب در رده‌های دوم، سوم و چهارم قرار دارند. این نشان می‌دهد که میوه بوته‌هایی که به روش متداول در منطقه آبیاری شدند ترش‌تر بوده و مقدار اسید کل بالایی دارند. این نتایج با پژوهش‌های استبان و همکاران (۱۰ و ۱۱)، ربیعی و همکاران (۲۷) مطابقت دارد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها تیمارهای آبیاری سطحی ۶۰ درصد با آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد و همچنین تیمار آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد با آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول ۳).

مقدار اسید کل تیمارهای آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد، آبیاری سطحی ۶۰ درصد، آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد و آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۵/۲۷، ۲۷/۲، ۱۳/۴ و ۲۰/۳۵

دادند به این نتیجه رسیدند که سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت به سیستم‌های آبیاری سطحی و بابلر میزان مواد جامد محلول بیشتر و اسیدیته کمتری داشته است. مقدار آب آبیاری تیمار آبیاری سطحی در مدت زمان کمتری نسبت به تیمار آبیاری قطره‌ای در اختیار گیاه قرار می‌گرفت اما تیمار قطره‌ای همان میزان آب را در طول چند ساعت دریافت کرده است. طولانی و تدریجی بودن مدت زمان آبیاری در تیمار قطره‌ای و همچنین نفوذ آب به صورت عمقی باعث شده است که گیاه فرصت بیشتری برای دریافت آب داشته باشد. بنابراین تیمار آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد اسید کل کمتر و قند بیشتری نسبت به تیمار آبیاری قطره‌ای داشته باشد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد با تغییر سامانه فعلی به سامانه قطره‌ای مطلوبیت میوه انگور از لحاظ کیفیت طعم میوه افزایش می‌یابد.

باعث افزایش مقدار قند میوه‌ها می‌شود (۲۵). از طرف دیگر تعدادی از پژوهش‌گران گزارش داده‌اند که در شرایط تنش آبی میزان فتوسنتز و تولید مواد قندی کاهش یافته و با تداوم تنش شدید احتمال نرسیدن میوه انگور نیز وجود دارد. چیلتی و ایچیلان و همکاران (۴) نشان دادند تیمارهای آبیاری تأثیری بر مواد جامد محلول نداشتند. با توجه به میانگین داده‌ها بیشترین مقدار TSS متعلق به تیمار آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد با مقدار ۲۰/۰۷ و کمترین مقدار آن متعلق به تیمار شاهد با مقدار ۱۸/۶ گرم بر لیتر می‌باشد (جدول ۳). در مطالعات دولتی بانه و نورجو (۸) نیز بیشترین مقدار قند در تیمار تحت تنش ۵۰ درصد آبیاری مشاهده شد.

تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد اسید کل و اسیدیته کمتر و مقدار مواد جامد محلول بیشتری نسبت به تیمار شاهد به خود اختصاص داده است. در پژوهشی که نیکان‌فر و رضایی (۲۶) انجام

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اسید کل، مواد جامد محلول و pH
Table 2- Result of variance analysis of total acid, total soluble solids and pH

منبع تغییر Source of variance	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Sum of Squares		
		TA	pH	TSS
تیمار Treatments	4	1.45**	0.029**	1.43**
خطا Error	12	0.031	0.004	0.02
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		3.47	1.72	0.73

ns, *, and **, respectively, are meaningless, significant at levels of probability of 5 and 1 percent

جدول ۳- تأثیر سیستم آبیاری و کم‌آبیاری بر میانگین ویژگی‌های کیفی عصاره انگور
Table 3- Effect of irrigation system and deficit irrigation on mean quality characteristics of grape extract

تیمارها Treatments	CTRL	SI100	SI60	DI100	DI60
TA	5.98 ^a	5.06 ^b	4.35 ^d	5.18 ^b	4.76 ^c
TSS	18.6 ^c	19.45 ^b	20 ^a	19.28 ^b	20.07 ^a
pH	3.54 ^c	3.63 ^{bc}	3.76 ^a	3.6 ^c	3.71 ^{ab}

تعداد حبه در خوشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تعداد حبه تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (جدول ۴). همچنین با توجه به شکل ۱ میانگین تعداد حبه در تیمار آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد بیشترین (۱۷۲/۳۲) و در آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد کمترین (۱۰۱) بود. تیمارهای شاهد، آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد و

آبیاری سطحی ۶۰ درصد به ترتیب دارای مقادیر ۱۵۵/۱۲۵، ۱۲۲/۶۹، ۱۰۳/۸۲ می‌باشند. نتایج این پژوهش مطابق با نتایج پژوهشی که نیکان‌فر و رضایی (۲۶) انجام دادند تعداد حبه در خوشه در تیمارهای آبیاری سطحی (آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد و شاهد) بیشترین مقدار را داشت. تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد تعداد حبه‌های کمتری نسبت به تیمار شاهد و آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد دارد اما با توجه به نتایج

مربوط به ویژگی‌های کیفی (جدول ۳)، تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد علی‌رغم کمتر بودن تعداد جبهه‌ها، میزان قند بیشتر و اسید کمتری نسبت به تیمار شاهد داشته و تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری سطحی ندارد.

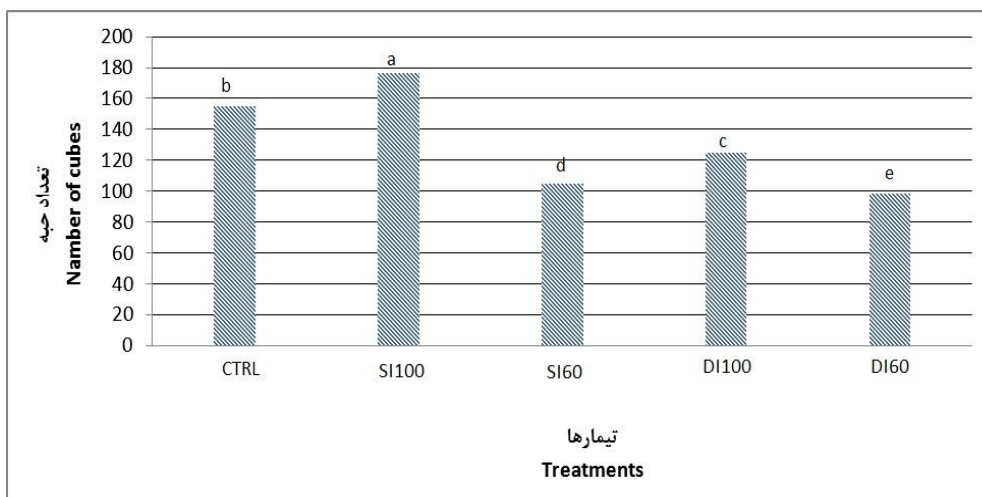
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تعداد جبهه و وزن ۱۰۰ جبهه در خوشه

Table 4- Result of variance analysis of cubes and 100 cubes weight per cluster

منبع تغییر Source of variance	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Sum of Squares	وزن ۱۰۰ جبهه Weigh 100 cubes
		تعداد جبهه Number of cubes	
تیمار Treatments	4	3997.35**	796.73**
خطا Error	12	48.21	10.7
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		5.3	1.7

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, and **, respectively, are meaningless, significant at levels of probability of 5 and 1 percent



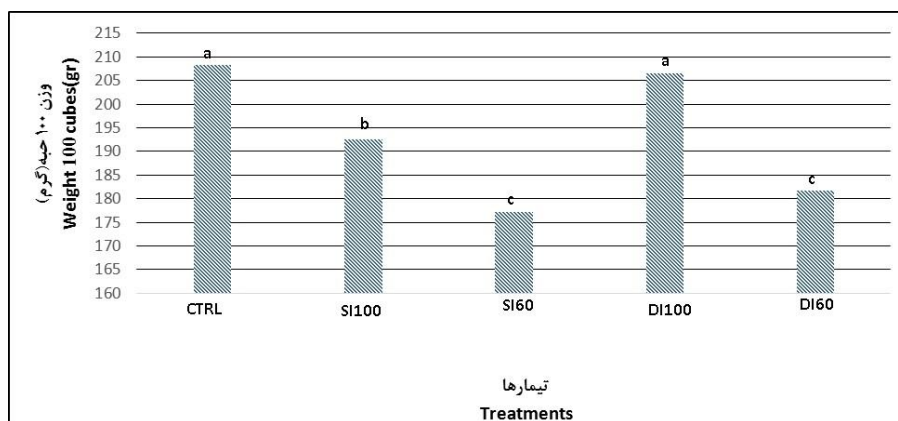
شکل ۱- تأثیر سیستم آبیاری و مقدار آبیاری بر تعداد جبهه

Figure 1- Effect of irrigation system and deficit irrigation on number of cubes

وزن ۱۰۰ جبهه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها وزن ۱۰۰ جبهه در تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد (جدول ۴). با توجه به شکل ۲ بیشترین مقدار وزن ۱۰۰ جبهه در تیمار شاهد (۲۰۸/۲۷ گرم) و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری سطحی ۶۰٪ (۱۷۷/۱ گرم) مشاهده شد. تنش کم آبی باعث کاهش میزان وزن ۱۰۰ جبهه شده است. تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد ندارد. وزن ۱۰۰ جبهه و وزن جبهه تا حدودی بیانگر اندازه جبهه‌ها است. تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد با داشتن تعداد جبهه‌های کمتر (شکل ۱) اما وزن ۱۰۰ جبهه آن بیشتر از تیمار آبیاری سطحی

۱۰۰ درصد و بدون تفاوت با تیمار شاهد است. وزن ۱۰۰ جبهه تا حدودی بیانگر اندازه جبهه است، بر این اساس جبهه‌های تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد درشت‌تر از سایر تیمارها بوده است. همچنین از نظر کیفی نیز تیمار آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد به مراتب بهتر از تیمار شاهد بوده است (جدول ۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در صورت تامین کامل نیاز آبی تاک، با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای می‌توان محصولی با کیفیت همسان و حتی بهتر از آبیاری سنتی تولید کرد و سامانه قطره‌ای می‌تواند به خوبی روش فعلی بازارپسندی میوه انگور را تامین کند.



شکل ۲- تاثیر سیستم و مقدار آبیاری بر وزن ۱۰۰ حبه

Figure 2- The effect of the system and the amount of irrigation on the weight of 100 cubes

عملکرد انگور

طبق نتایج تجزیه واریانس جدول ۵ عملکرد تر و خشک محصول در سطح احتمال یک درصد معنی دار هستند که با نتایج جلینی (۲۲) مطابقت دارد. همچنین با توجه به جدول ۶ تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد تر و خشک در تیمارها شده است. بیشترین عملکرد تر و خشک متعلق به تیمار شاهد (به ترتیب ۱۰۶/۱۵ و ۳۲/۱۵ تن در هکتار) بوده است و کمترین مقدار عملکرد تر در تیمار آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد (۸۵/۸ تن در هکتار) با ۱۹ درصد کاهش، و کمترین مقدار عملکرد خشک در تیمار آبیاری سطحی ۶۰ درصد (۲۱/۷۵ تن در

هکتار) با ۳۴ درصد کاهش، مشاهده شده است. تیمارهای آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد و آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد با کاهش ۳۷ درصد آب مصرفی، در عملکرد تر با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آبیاری سطحی ۶۰ درصد با آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد و نیز تیمار آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد با آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد در عملکرد خشک تفاوت معنی‌داری باهم ندارند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش جلینی (۲۲) و ذیحی و آذرپژوه (۳۰) مطابقت دارد. این نتایج مبین آن است که سامانه آبیاری قطره‌ای باعث کاهش محصول نشده و به خوبی روش فعلی می‌تواند عملکرد قابل قبولی ارائه دهد.

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد تر و خشک محصول

Table 5- Result of variance analysis of fresh and dry product yield

منبع تغییر Source of variance	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Sum of Squares	
		عملکرد محصول تر Fresh yield	عملکرد محصول خشک Dry yield
تیمار Treatments	4	282.9**	77.975**
خطا Error	12	7.08	3.32
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		2.68	6.83

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, and **, respectively, are meaningless, significant at levels of probability of 5 and 1 percent

محتوای نسبی آب برگ (RWC) و کمبود آب نسبت به اشیاع

محتوای نسبی آب برگ در پایان پژوهش و موقعی که تاک‌ها دیگر آبیاری نمی‌شدند مورد بررسی قرار گرفت و نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهند که تیمارها در RWC و کمبود آب نسبت به

اشیاع دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند (جدول ۷). همچنین میانگین داده‌ها نشان داد که RWC تیمار شاهد با ۷۷/۰۲ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و کمترین مقدار در تیمار آبیاری قطره‌ای با تامین ۶۰ درصد نیاز آبی،

۵۱/۲۵ درصد مشاهده شد. نتایج نشان داد که تیمارهای آبیاری قطره‌ای با تامین نیاز آبی ۱۰۰ درصد و آبیاری سطحی با تامین نیاز آبی ۱۰۰ درصد به ترتیب با مقدار RWC، ۶۶/۸۵ و ۵۹/۶۴ درصد، در رده‌های دوم و سوم قرار دارند (جدول ۸).
 قادری و همکاران (۱۲)، برتامینی و همکاران (۱) و رضایی و همکاران (۲۸) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که تحت تنش کم‌آبی در انگور، RWC تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری بودند و همچنین تیمارهای تحت تنش دچار کاهش در محتوای نسبی آب برگ شدند.

برگ شدند.
 کمبود آب نسبت به اشباع در تیمار شاهد و تیمار آبیاری سطحی ۶۰ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار یعنی ۷۷/۰۲ و ۴۹/۲۵ درصد را دارد، تیمارهای آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد، آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد، آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد و به ترتیب با مقادیر ۶۶/۸۶، ۶۰/۹ و ۵۰/۱۲ درصد در رده‌های دوم، سوم و چهارم قرار دارند (جدول ۸). نتایج مشابهی برای محتوای نسبی آب برگ در انجیر توسط داوری‌نژاد و همکاران (۶) بدست آمد.

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد تر و خشک محصول
 Table 6- Comparison of average fresh and dry yield

تیمارها Treatments	CTRL	SI100	SI60	DI100	DI60
عملکرد محصول تر (تن بر هکتار) Fresh yield (t.ha ⁻¹)	106.15 ^a	102.5 ^a	96 ^b	105 ^a	85.8 ^c
عملکرد محصول خشک (تن بر هکتار) Dry yield (t.ha ⁻¹)	32.15 ^a	27.26 ^a	21.75 ^c	28.86 ^b	22.87 ^c

جدول ۷- تجزیه واریانس داده‌های محتوای نسبی آب برگ (RWC)
 Table 7- Result of variance analysis of Relative water content (RWC)

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
Source of variance	dF	Sum of Squares
		محتوای نسبی آب برگ
		Relative water content
تیمار	4	546.98**
Treatments		
خطا	12	18.15
Error		
ضریب تغییرات درصد(درصد)		10.87
Coefficient of variation (%)		

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, and **, respectively, are meaningless, significant at levels of probability of 5 and 1 percent

جدول ۸- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ (RWC) و کمبود آب نسبت به اشباع
 Table 8- Comparison of the average leaf relative water content (RWC) and water saturation deficit (WSD)

تیمارها Treatments	CTRL	SI100	SI60	DI100	DI60
محتوای نسبی آب برگ (%) Relative Water Content (%)	77.02 ^a	60.9 ^b	49.25 ^c	66.86 ^b	50.12 ^c
کمبود آب نسبت به اشباع % Water saturation deficit (%)	22.98 ^c	39.11 ^b	50.75 ^a	33.14 ^b	49.87 ^a

معنی‌دار هستند که با نتایج جلینی (۱۳۸۵) مطابقت دارد. همچنین کارایی مصرف آب با اعمال تنش کم‌آبی افزایش داشته است که با نتایج قادری و همکاران (۱۳) مطابقت دارد.

کارایی مصرف آب

بر اساس نتایج موجود در جدول ۹ تجزیه واریانس، کارایی مصرف آب محصول تر و خشک تیمارها در سطح احتمال یک درصد

محصول تر شدند. مقادیر کارایی مصرف آب محصول خشک، آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد، آبیاری سطحی ۶۰ درصد، آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد و آبیاری سطحی ۱۰۰ ر به ترتیب ۲/۵۶، ۲/۳۲ و ۱/۹۲ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شده است. نتایج پژوهش جلینی (۲۲) نیز نشان داد کارایی مصرف آب در سطوح تنش آبی ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب حدود ۱۷ و ۹ درصد افزایش داشته است. برادو و هپنر (۲) در پژوهشی نتیجه گرفته‌اند که روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش‌های سطحی و بارانی، کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد.

طبق جدول ۱۰ کارایی مصرف آب محصول تر و خشک تیمار شاهد کمترین مقدار (به ترتیب ۴/۷۲ و ۱/۴۴ کیلوگرم بر متر مکعب) و تیمار آبیاری سطحی ۶۰٪ بیشترین مقدار کارایی تر (۱۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و تیمار آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد بیشترین مقدار کارایی خشک (۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بودند. تیمار آبیاری سطحی ۶۰ درصد، ۵۸ درصد و آبیاری قطره‌ای ۶۰ درصد، حدود ۵۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. آبیاری قطره‌ای ۱۰۰ درصد و آبیاری سطحی ۱۰۰ درصد به ترتیب با مقادیر ۷/۴ و ۷/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب، ۳۶ و ۳۴ درصد موجب افزایش کارایی مصرف آب

جدول ۹- تجزیه واریانس کارایی مصرف آب محصول تر و خشک

Table 9- Result of variance analysis of water use efficiency of fresh and dry yield

منبع تغییر Source of variance	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Sum of squares	
		کارایی مصرف آب محصول تر Water use efficiency of fresh yield	کارایی مصرف آب محصول خشک Water use efficiency of dry yield
تیمار Treatments	4	26.9**	1.022**
خطا Error	12	0.07	0.027
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation(%)		3.25	7.77

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, and **, respectively, are meaningless, significant at levels of probability of 5 and 1 percent

جدول ۱۰- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب محصول تر و خشک

Table 10- Comparison of the average water use efficiency of fresh and dry yield

تیمارها Treatments	CTRL	SI100	SI60	DI100	DI60
کارایی مصرف آب محصول تر (کیلوگرم بر مترمکعب) Water use efficiency of fresh yield (kg . m ⁻³)	4.72 ^d	7.21 ^c	11.3 ^a	7.4 ^c	10.09 ^b
کارایی مصرف آب محصول خشک (کیلوگرم بر مترمکعب) Water use efficiency of dry yield (kg . m ⁻³)	1.44 ^c	1.92 ^b	2.55 ^a	2.03 ^b	2.7 ^a

نتیجه‌گیری

سهم منابع آب موجود برای کشاورزی، ادامه روند فعلی ممکن نمی‌باشد و یک برنامه‌ریزی دقیق در خصوص آبیاری مزارع و باغات نیاز است. در صورت ادامه شیوه فعلی، آب کمتری در نتیجه افزایش دور یا مقدار آبیاری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد اما نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که عملکرد محصول در سیستم آبیاری قطره‌ای با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی انگور تفاوت چشمگیری با روش آبیاری متداول در منطقه ندارند در صورتی که مصرف آب در روش قطره‌ای حدود ۴۰ درصد کمتر از شیوه موجود می‌باشد و این نتایج نشان می‌دهد می‌توان با وجود شرایط کم‌آبی فعلی، سیستم آبیاری قطره‌ای را جایگزین سیستم سنتی کرد.

تغییر شیوه‌های سنتی آبیاری به شیوه‌های مدرن آبیاری همواره مورد بحث کارشناسان و کشاورزان بوده است. این پژوهش به منظور ارزیابی جایگزینی سامانه آبیاری قطره‌ای با شیوه آبیاری موجود انجام شد. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری قطره‌ای با تامین نیاز آبی کامل می‌تواند وزن ۱۰۰ حبه بدون تفاوت معنی‌دار، اسید کل کمتر و قند بیشتری نسبت به تیمار شاهد تولید نماید هرچند عملکرد خشک و تعداد حبه کمتری داشته است. به طور کلی تحت سامانه آبیاری قطره‌ای محصولی با طعم مناسب‌تر، کیفیت و بازار پسندی بیشتری نسبت به آبیاری شاهد تولید گردید. با توجه شرایط منطقه و کاهش

منابع

1. Bertamini M., Zulini L., Muthuchelian K., and Nedunchezian n. 2006. Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *photosynthetical*, 44: 151-154.
2. Bravdo B. A., and Hepner Y. 1987. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. *acta Hort*, 206:49-67.
3. Chaves M. M., Santos T. P., Souza C. R., Ortun M. F., Rodrigues M. L., Lopes C. M., Maroco J. P., and Pereira J. S. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annual Applied Biology*, 150: 237–252.
4. Chiltivaichelan R., Shikhamang S. D., and Chudhu K. L. 1987. Effects of preharvest irrigation cut off on bunch size, ripening and quality of Anab Shahi grape. *Indian Journal of Horticulture*, 44 (2): 9-13.
5. Colapietra M. 1989. productivity response of grapes to different seasonal irrigation rates, *irrigazine-e-drenaggio*, 36: 179-182.
6. Davarinejad G.H., Shirbani S., and Zarei M. 2015. Effects of deficient irrigation on some of the morpho-physiological characteristics of four fig cultivars. *Journal of Horticulture Science*, 29(4):501-517. . (in Persian with English abstract)
7. Di Vaio C., Cirillo C., Boselli M., and Masi E. 2001. Dry matter accumulation and partitioning of Cabernet Sauvignon pot-grown vines under different water regimes. *Advanced in Horticulture Science*, 15:25-30.
8. Dolatibaneh H., and Norjoo A. 2011. Effect of deficit irrigation on quantitative and quality traits of fruit and water productivity of three grapevine cultivars. *Journal of Seed and Plant Production* , 27(4). (in Persian with English abstract).
9. Du T. S., Kang S. Z., Zhang J. H., Li F. S., and Yan B. U. 2008. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 95:659– 668.
10. Esteban M. A., Villanueva M. J., and J. R. Lissarrague. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation, sugars, organic acids, and mineral elements. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50:418-434.
11. Esteban M. A., Villanueva M. J., and J. R. Lissarrague. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:409-420.
12. Farshi A. A., Kheyrabi g., Siadat H., Mirlatifi M., Darbandi S., Salamat A., Entesari M. R., and Sadatmirei M. H. 2003. Irrigation Water Management in Field. *Iranian National Committee of Irrigation and Drainage*, Tehran, Issue Number 76.
13. Ghaderi N., Talaei A., Ebadi A., and Lesani. H. 2010. Effect of drought stress and irrigation on some physiological characteristics of three grape Sahani, Farkhi and Bidaneh White Blades. *Iranian Journal of Horticulture*, 41(2). 179-188. (in Persian with English abstract).
14. Ghanbari Z. S., and Moosavi S. G. 2016. Grain Yield of Maize Influenced by Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Zinc under Water Deficit Stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3):21-41.
15. Golberg D., Gornat B., and Rimón D. 1976. *Drip Irrigation Principles, Design and Agricultural Practices*. Drip Irrig. Scientific Pub., Kfar Shmaryahu, Israel.
16. Goodwin I., and Jerie P. 1992. Regulated deficit irrigation: from concept to practice. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal*, 7(4):258-261.
17. Godarzi K. 2007. Relationship of nutritional balance index(NBI) with yield and quality indices of grapes. *Journal of Seeds and Plant* , 23(1):75-85. (in Persian with English abstract).
18. Haman D. Z. 1985. Principles of Trickle Irrigation, *Agric. Eng. Ext. Rep.* 85-15. Univ. of Florida, Gainesville. Fla.

19. Javadi T., and arzani K. 2003. Study of proline accumulation and leaf water relations in 9 Asian pear genotype (*Pyrus serotina* Rehd) under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 10(3): 87-97. (in Persian with English abstract).
20. Jindal P. C., Dhawan S. S., and Chauhan K. S. 1982. Effect of girdling alone and in combination with boric acid on berry set, drop, yield and quality of grapes (*Vitis vinifera* L.) cultivar Gold. *Journal of Haryana Agricultural University Research*, 4:663-666.
21. Jones H. G., and Cortlett J. E. 1992. Current topics in drought physiology. *The Journal of Agricultural Science*, 119: 291-296.
22. Joleini M. 2006. Investigation on the effect of drip irrigation methods and different levels of water on yield and water use efficiency of grape. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7 (28): 69-78. (in Persian with English abstract).
23. Kochaki A., and Nasiri-Mahallati M. 1992. *Crops Ecology*. ACECR Publication, 389 pages.
24. Mohebi M. 2010. Necessity of evaluation of agricultural utilization systems in accordance with the designs of the development of pressure-sensitive irrigation networks in the country, Third Conference on Sustainable Development of Pressure Irrigation Methods, Engineering and Engineering Research Institute, Feb. 27, Karaj, 10 pages. (in Persian).
25. Nadal M., and Arola L. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of cabernet sauvignon under semi-arid conditions. *Vitis*, 34: 151-154.
26. Nikanfar R., and Rezaei R. 2015. Responses of old grapevines to switch irrigation system from surface to drip or babbler , *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 16 (2): 161-170. (in Persian with English abstract).
27. Rabiei V., Talaei A. R., Peterlonger A., Ebadi A., and Ahmadi A. 2003. Effect of late season deficit irrigation on fruit composition in grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Merlot. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34(4): 961-968. (in Persian with English abstract).
28. Rezaei T., Gholami M., Ershadi A., and Mossadeghi M. R. 2007. Effect of water stress on growth and physiological characteristics of five grapevine cultivars (*vitis venifera* L.). *Journal of Agricultural Research*, 7(4):199-210.(in Persian with English abstract).
29. Torknejad A., Aghaeisarfarze M., Jafari H., Shirvani A. R., Roeintan R., and Shahbazi Kh. 2008. Technical and economic evaluation of drip (tape) irrigation method on wheat compared to surface irrigation in water limited areas. *Journal of Research and Development in Agriculture and Horticulture*. 72. 36-44. (in Persian with English abstract).
30. Zabihi H. R., and Azarpajouh E., 2004. Grape response to different soil moisture regimes. *Journal of Soil and Water Science*, 18 (1):71-79. (in Persian with English abstract).



Effect of Irrigation Management (System Type and Water Stress) on Yield and Physiological Indices of Grapes (Case Study: Naghang Region)

F. Fattahi- Naghani¹- M. Ghobadnia^{2*} - A.R. Mohammadkhani³- M.R. Nouri-Emamzadeie⁴

Received: 09-10-2017

Accepted: 07-10-2018

Introduction: Change and decrease in atmospheric precipitation in recent years as well as increase in population and further demand for agriculture in the arid and semi-arid regions (such as Naghan) has led to a significant decrease in surface and groundwater resources. Therefore, achieving optimal utilization of water in agriculture, new irrigation systems has been considered to gain the most crop yield with less amount of water consumption. Also cultivated area can be expanded by these systems, containing lands with irregular topography, due to the high water distribution uniformity. Besides developing irrigation system, irrigation management is an important tool for increasing crop productivity. Researchers have shown that applying deficit irrigation (DI) under drip system, has led to improve the quality of grape yield, decrease water consumption and increase water efficiency. The aim of this study is to investigate the effect of irrigation system and water stress on water consumption, yield and physiological indices of grapes.

Materials and Methods: The study field was located in Naghan, Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran. Experiments were done during summer 2016, in a completely randomized block design, with four replications in a grapevine garden. The treatments included: CTRL, Furrow irrigation as common method in the area (control), surface irrigation with 100% water requirement (SI100), surface irrigation with 60% water requirement (SI60), drip irrigation with 100% water requirement (DI100) and drip irrigation with 60% water requirement (DI60). At the beginning of the experiences, 20 vine trees were selected with average of 60 years old. The field was divided into blocks, and the treatments were applied, randomly. Then the blocks were set up for the surface and drip irrigation. As the next step, required water was collected in a reservoir to obtain constant and reliable amount of water. In the control treatment, irrigation schedule of the gardeners (custom of the region) were considered in which irrigation event was at the beginning of the season. Also, drip and surface irrigation treatments were according to the soil water deficit. At the end of the experiment, water use efficiency, product performance, RWC, number of cubes per cluster, the weight of the cube in the cluster, cluster length, the number of main branches of the cluster and also qualitative properties such as soluble solids (Brix), total acid and pH of grape juice were measured.

Results and Discussion: According to the results of qualitative traits, the amount of applied water significantly affected the grapes pH in the level of 5%. The lowest grapes pH was due to the control treatment and the highest to the surface irrigation 60%. Also, measuring total soluble solids (TSS) in grape indicated significant difference in 1% level which revealed that deficit and drip irrigation increased sugar in grapes and therefore quality of the crop. The results of quantitative traits showed the number of cubes in treatments had a significant difference at a probability level of 1%. Number of cubes in surface irrigation treatment 100% (SI100) had the highest value, while the quality of the crop was lower. The treatments differed significantly in weight of 100 cubes and the drip irrigation treatment 100% (DI100) did not have a significant difference with control treatment, while deficit irrigation resulted in reducing the crop weight. Relative water content of leaves (RWC) had the highest amount in the control treatment, while low water stress reduced this index. Wet and dry yields were highest in the control treatments (CTRL); while, the lowest amount was due to the low irrigation treatments of DI60 and SI60 with 19% and 34% reduction, respectively for the wet and dry yield. Drip

1, 2 and 4 Former M.Sc. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrood University, Respectively

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

3- Associate Professors, Department of Horticulture, Shahrood University

irrigation with 100% water requirement (DI00) was not significantly different from the control treatment in most of the quality parameters, cluster and yield characteristics but had less water consumption and higher water use efficiency.

Conclusions: Regarding the conditions of the region and the reduction of water resources, an accurate and efficient plan for irrigation is needed. So, the common method of irrigating in the region was assessed, as well as new methods of applying drip system and deficit irrigation. The results of this study indicate that drip irrigation system with 100% water requirement has no significant difference with the conventional irrigation method in the region, on quality and quantity of the gape yield. However, applying the drip system reduced the water consumption by 40%, and increased efficiency. Hence, drip irrigation system is suggested to be replaced by the traditional system.

Keywords: pH, RWC, Total acid, Water use efficiency and Yield

بررسی تغییرات برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به روش زمین آمار در حوزه آبخیز شهرستان مرنده - آذربایجان شرقی

لیلا کاشی زنوزی^۱ - محمدرضا یزدانی^{۲*} - محمد خسروشاهی^۳ - محمد رحیمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

آب‌های زیرزمینی تنها منبع اصلی آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی در شهرستان مرنده می‌باشد و اهمیت حیاتی آن موجب می‌شود تضمین کیفیت آن به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه به منظور ارزیابی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شامل EC, TDS, SAR, Cl^- و SO_4^{2-} ، اطلاعات مربوط به چاه‌های پی‌زومتری طی سال‌های آماری ۸۴، ۸۸ و ۹۱ استفاده شدند و با روش‌های زمین آمار شامل روش کریجینگ معمولی در حالت‌های کروی، گوسی و نمایی و روش فاصله معکوس وزن‌دار (IDW) با توان‌های ۱ تا ۳ مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس روش ارزیابی مقاطع، روش کریجینگ در مقایسه با روش فاصله معکوس وزن‌دار دارای RMSE و ME کمتری بود. نقشه پهنه‌بندی آنیون SO_4^{2-} در سال ۹۱ با مقادیر آماره G و شاخص موران به ترتیب برابر ۲۱/۴۱ و ۰/۵۹ درصد دارای بیشترین تعامل در ساختار فضایی و نقشه پهنه‌بندی EC در سال ۸۴ با شاخص موران و آماره G به ترتیب ۰/۱۶ و ۳/۴۵ درصد از کمترین تعامل ساختار فضایی برخوردار می‌باشد. با ترسیم نمودارهای روند تغییرات پارامترهای کیفی در طول و عرض جغرافیایی معلوم شد مقادیر آنیون Cl^- , SAR, EC, TDS و SO_4^{2-} بین سالهای ۸۴ تا ۸۸ در جهت غربی - شرقی روند افزایشی نامحسوسی داشتند و در سال ۹۱ با شیب بیشتری افزایش یافتند. این عوامل در جهت شمالی - جنوبی از سال ۸۴ تا ۹۱ در قسمت شمال حوزه افزایش، در میانه حوزه آبخیز روند کاهشی و در جنوب حوزه آبخیز دوباره افزایش یافته‌اند. در نهایت با قطع دادن نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی حوزه آبخیز با نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک از این پارامترها چنین استنباط می‌شود که با توجه به پراکنش روستاها، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی اطراف آن‌ها در مرکز و شرق حوزه آبخیز، روند تغییرات این پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی حوزه آبخیز شهرستان مرنده تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند. همچنین برخی سازندهای زمین‌شناسی و کانی‌های ژئیس‌دار و دولومیتی حوزه در کیفیت آب زیرزمینی سبب بالا رفتن مقادیر TDS و سولفات‌ها شدن منابع آب در بخش‌های شرقی حوزه شده است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آماره G، شاخص موران، کریجینگ

مقدمه

اهمیت بسزایی است. آمار و اطلاعات موجود در طول نیم قرن اخیر نشان می‌دهد که باتوسعه صنعت و تکنولوژی مرتبط با حفاری و پمپاژ چاه‌ها، بدلیل افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به آب، بهره برداری از این منبع آبی گسترش یافته به‌طوری که تعداد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در کشور از ۴۷۱۳۷ حلقه در سال ۵۱ به ۷۸۹۱۷۴ حلقه در سال ۹۴ فزونی یافته است و نیمی از آنها در مناطق ممنوعه حفر شده است (۲۵). از این رو طی سال‌های متمادی برداشت‌های بی‌رویه و بعضاً کنترل نشده نسبت به تغذیه بیشتر شده و این روند به تدریج سبب افت سطح ایستابی آب زیرزمینی، کاهش حجم مخزن و بهم خوردن تعادل در بیلان منابع آب آبخوان‌های کشور شده است. این مساله پیامدهای تخریبی جبران‌ناپذیری به همراه داشته است بطوری که یکی از چالش‌های اساسی کشور در رابطه با بیابان‌زایی محسوب می‌شود. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی علاوه بر افت

آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع مهم و حیاتی برای تأمین مصارف شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت همواره مورد توجه بوده و از دیرباز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این منبع در مقابل تغییرات اقلیمی پایدار بوده و باتوجه به حجم ذخیره قابل توجه خود می‌تواند در درازمدت پاسخگوی نیازها باشد و از این نظر نیز دارای

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشیاران گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: m_yazdani@semnan.ac.ir)

۳ - دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.72066

شدید سطح سفره‌های زیرزمینی و فرونشست بسیاری از دشت‌های کشور، بحران دیگری را به صورت شورشدن ذخائر آبی بوجود آورده است. افزایش تدریجی درجه شوری آب زیرزمینی آغازی جدی برای نمک‌زایی و در نهایت تخریب منابع اراضی و تشدید پدیده بیابان می‌باشد. مشکلی که هم اکنون در بسیاری از دشت‌های کشور بروز کرده است و نگرانی از نابودی کشاورزی در برخی مناطق کشور را در پی داشته است. در استان فارس سفره‌های آب زیرزمینی، طی روندی افزایشی در حال شورشدن است، بر اساس نتایج تحقیقاتی که روی ۵۰۰ حلقه چاه در نقاط مختلف استان فارس در سال‌های ۸۸ - ۷۸ انجام گرفته است، در بیشتر شهرستان‌ها از جمله خرم بید، ارسنجان، استهبان، مهر و لار از سال ۸۶ به بعد، روند افزایش شوری آب‌های زیرزمینی شدت یافته است. این در حالی است که به دلیل تغییر ترکیبات شیمیایی آب، غیر از شوری، مشکلات دیگری نیز سلامت مصرف کنندگان را تهدید می‌کند. موضوع شورشدن آب‌های زیرزمینی به استان فارس محدود نمی‌شود، بلکه شور شدن آب‌های زیرزمینی در بسیاری از استان‌های دیگر از جمله کرمان، خراسان، اصفهان و سمنان نیز اتفاق افتاده است (۲۴). خشکی دریاچه ارومیه نیز تأثیر زیادی بر پیشروی شوره‌زار و شوری آب‌های حوضه این دریاچه در آذربایجان شرقی و غربی داشته است. در استان تهران، چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی رتبه نخست را در بیابان‌زایی این استان داشت. مطالعات انجام شده در اطراف دریاچه نمک و حوض سلطان قم نشان می‌دهد که در یک دوره سی ساله (۱۳۸۲-۱۳۵۲) جبهه آب شور حدود ۵ کیلومتر بسمت آبخانه‌های آب شیرین پیشروی داشته که این عامل موجب شوری آب زیرزمینی و در نتیجه تشدید بیابان‌زایی در منطقه مذکور شده است (۲۵). بنابراین به منظور حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی اطلاع از پراکنش زمانی و مکانی فاکتورهای کیفی آنها حائز اهمیت است. در این راستا روش‌های زمین‌آمار یکی از روش‌های پیشرفته برای پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی است (۲۳). با پهنه‌بندی کیفی، روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی در هر زمان و مکان و شرایط خاص مشخص می‌گردد. می‌توان با حذف ایستگاه‌های دارای وضعیت کیفی مشابه در وقت و هزینه صرفه‌جویی نمود و در مقاطعی که شرایط متنوع و یا بحرانی است ایستگاه‌های جدید احداث نمود (۲۹). بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم برای طرح‌های محیط زیستی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی بوده و می‌تواند کاربری اراضی را متناسب با توان و خطر آلوده شده آبخوان‌ها تعریف کند. روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده‌اند که عبارتند از: روش‌های پردازش داده‌ها، روش‌های شاخص همپوشانی و آماری (۲۸). در روش پردازش اطلاعات از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین آلاینده در آینده بهره می‌برند. روش‌های شاخص - همپوشانی فراسنج‌های مهارکننده حرکت آلاینده از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و

شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می‌کند. در روش‌های شاخص-همپوشانی، انتخاب ارزش عددی فراسنج‌ها تا حدودی کارشناسی بوده و این روش‌ها نمی‌توانند به عنوان روشی دقیق در پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرند. با وجود این سادگی و سهولت تهیه اطلاعات مورد نیاز آن در مقیاس ناحیه‌ای از مزایای عمده این روش‌هاست (۱۴). روش‌های آماری از همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. در روش‌های زمین‌آماري تخمین براساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد. زمین‌آمار بعنوان شاخه‌ای از آمار کاربردی شامل مجموعه مطالعاتی است که به بررسی تغییرات یک پدیده در زمان و مکان می‌پردازد و قادر به مدل‌سازی آن به صورت قطعی یا غیرقطعی زمانی و مکانی می‌باشد. از ویژگی‌های این علم استفاده از متغیرهای مکانی اعم از تصادفی یا قطعی می‌باشد. متغیرهای منطقه‌ای متغیرهایی هستند که دارای پیوستگی مکانی بوده و نشان‌دهنده پدیده‌هایی دارای توزیع جغرافیایی می‌باشند، لیکن امکان نمونه‌برداری از همه نقاط در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد و مقادیر مجهول با استفاده از اطلاعات مناطق نمونه‌برداری شده تخمین زده می‌شوند (۱۰). روش‌های زمین‌آمار کارایی قابل ملاحظه‌ای برای تخمین نقاط نامشخص دارند. استفاده از ابزار تخمین گر می‌تواند به منزله سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری و بعنوان حلقه‌ای از چرخه ارزیابی محیط زیستی باشد و کمک مؤثری به مدیران برای تصمیم‌گیری نماید. استفاده از نقشه‌های همتراز آلودگی در مباحث مدیریتی حوضه، مدیران و تصمیم‌گیران در بخش‌های مختلف می‌تواند شناخت بهتری نسبت به وقوع اثرات استفاده گسترده از نهاده‌های کشاورزی داشته باشند (۱۷). در این راستا تحقیقات متعددی در ایران و جهان صورت گرفته است. که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. خزاعی و همکاران (۲۳)، پهنه‌بندی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی استان فارس با استفاده از روش زمین‌آمار را در منطقه سیاه دارنگون با استفاده از سه روش کریجینگ، معکوس فاصله و کوکریجینگ انجام داده و از کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه احتمال آلودگی نیترات استفاده نمودند. ارسلان (۱) در مطالعه‌ای در آبخوان دشت بافرا در کشور ترکیه با استفاده از داده‌های ۹۷ حلقه چاه در طی دوره‌ی آماری هفت ساله از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ میزان شوری را بررسی کرد. واریوگرام‌های مناسب برازش داده شده به داده‌ها شامل مدل‌های نمایی و کروی در روش کریجینگ معمولی ۶ و کریجینگ شاخص ۷ بودند میزان روند شوری در ۳۱ درصد از دشت دارای شوری پنج دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۲۰۰۴ بوده که در مقایسه با سال ۲۰۱۰ این مقدار به اندازه ۹ درصد کاهش پیدا کرده است. در مطالعه‌ای ژایمینگ و همکاران (۳۰) به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ حلقه چاه واقع در دشت بهای ۸ در شمال

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهرستان مرند با مساحت ۷۶۰ کیلومتر مربع، بخشی از زیرحوضه آبریز زیلرچای را تشکیل می‌دهد که این زیرحوضه نیز در حوزه آبخیز ارس واقع شده است. این محدوده در گستره جغرافیایی "۳۸° ۵۶' ۴۵" الی "۴۵° ۵۰' ۱۷" طول شرقی و "۳۸° ۷۰' ۰۶" الی "۳۸° ۵۶' ۴۵" عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط این زیرحوضه ۱۲۱۷/۶ متر از سطح دریا می‌باشد. مطابق بررسی‌های به عمل آمده میزان متوسط سالانه بارندگی برای کل محدوده مطالعاتی ۳۱۱/۸ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر مطلق درجه حرارت ۴۲ و حداقل دما ۱۰- درجه سانتیگراد می‌باشد و بر اساس اقلیم‌بندی آمبرژه منطقه مورد مطالعه در محدوده مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. دشت مرند آبخوان اصلی منطقه بوده و عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی جوان، مخروط افکنه و پادگانه‌های قدیمی است که در بخش جنوبی به ارتفاعات میشوداغ منتهی می‌شود. آبخوان از نوع آبرفتی بوده و بطور عمده شامل گراول و ماسه (دانه درشت و دانه ریز) می‌باشد. جهت جریان کلی آب زیرزمینی از جنوب دشت مرند به شمال و شمال شرقی بوده و به رودخانه زیلرچای تخلیه می‌شوند (۱۴).

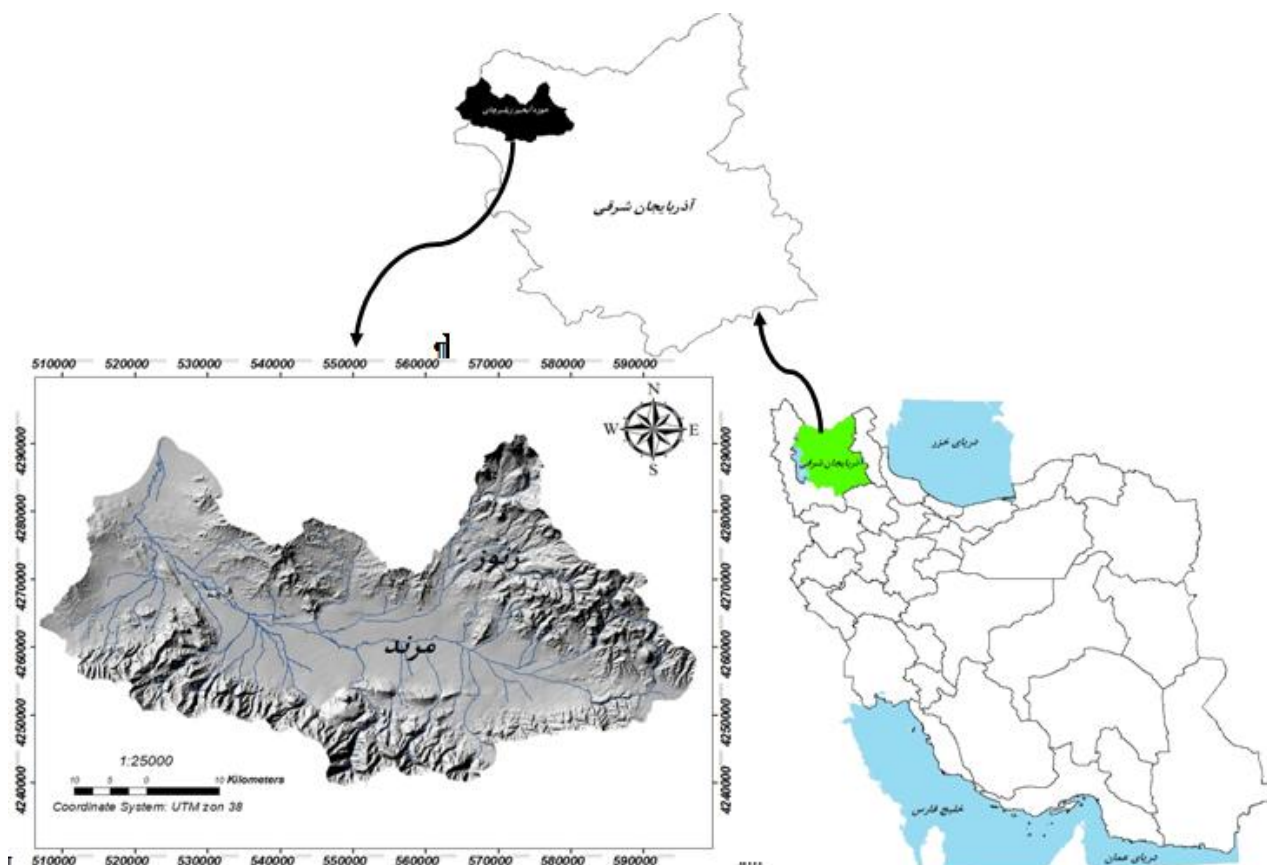
روش تحقیق

در این پژوهش جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی کیفیت آب زیرزمینی ابتدا داده‌های مربوط به تعداد ۴۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، چشمه، و قنات از شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران (وابسته به وزارت نیرو) اخذ شد. سپس روند تغییرات مکانی پنج پارامتر کیفی آب شامل: هدایت الکتریکی (EC: Electrical Conductivity)، آنیون‌های کلر (Cl) و سولفات (SO_4^{2-}) و نسبت جذب سدیم (SAR: Sodium Rate Absorption) و مواد جامد محلول (TDS: Total Dissolved Salts) مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از بازبینی تعدادی از آنها به دلیل نقص آماری حذف شدند. پایه زمانی مشترک جهت مطالعه سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و ۱۳۸۸-۱۳۸۷ و ۱۳۹۱-۱۳۹۰ انتخاب شدند. همگنی داده‌ها برای دوره آماری بین سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۱ به روش آزمون توالی مورد ارزیابی قرار گرفتند که مطابق روش مذکور هیچ‌گونه ناهمگنی در داده‌ها مشاهده نگردید. نواقص آماری با توجه به ضریب همبستگی یک متغیره تعیین گردید. نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18.0 به روش تبدیل لگاریتمی انجام شد و مقادیر مربوط به کشیدگی و چولگی آنها در محدوده ۲ و ۲- بدست آمد.

کشور چین پرداخت. نتایج آنها نشان داد که بهترین مدل‌های برازش داده شده به مدل TDS لگاریتم داده‌ها شامل تراز آب زیرزمینی و مدل گوسین EC مدل نمایی و برای TH کروی، بودند. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و مقادیر EC و TDS افزایش یافته‌اند در حالیکه روند تغییرات TH مربوط به قسمت میانی حوزه می‌باشد. گنگ و همکاران (۸) از روش‌های رایج کریجینگ و کوگریجینگ برای درون‌یابی مقادیر آرسنیک در آبخوان‌های تگزاس استفاده کردند. آنها براساس مقادیر آرسنیک مشاهده شده در بیش از ۸۰۰۰ نمونه از چاه‌های تگزاس بیان کردند که روش IDW در درون‌یابی تغییرات مکانی آرسنیک آب زیرزمینی بهترین نتایج را ارائه داده و دقت روش کریجینگ بیش از کوگریجینگ است. مرآت‌ی و همکاران (۱۵) منابع آب زیرزمینی در حوضه آبخیز سلیمان‌شاه را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی کردند. آنها به‌منظور پیش‌بینی پراکنش مکانی پارامترهای شیمیایی شامل: کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کلر و نیترات آب‌های زیرزمینی، از ۶۰ حلقه چاه موجود در محدوده نمونه‌برداری کرده و جهت درون‌یابی روش‌های کریجینگ و IDW را به کار گرفتند و در نهایت به منظور انتخاب مدل مناسب از شاخص RSS استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که برای پهنه‌بندی پارامترهای مذکور روش کریجینگ معمولی-نمایی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

برخی محققان روش‌های دیگری برای ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی بکار گرفته‌اند. از جمله سامانی و اصغری مقدم (۲۶) توان آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از روش اکیوپرو، در آبخوان دشت عجب‌شیر بررسی نمودند نتایج آنها نشان داد که با افزایش امتیاز نسبی اکیوپرو میانگین غلظت نیترات نیز افزایش می‌یابد. بنابراین مقایسه امتیاز آسیب‌پذیری اکیوپرو با توزیع غلظت‌های اندازه‌گیری شده نیترات و مقایسه بین غلظت متوسط نیترات در هر طبقه‌بندی و امتیاز نسبی توان آلودگی اکیوپرو صحت و اعتبار روش اکیوپرو در منطقه مورد تأیید است.

دشت مرند یکی از دشت‌های حاصل‌خیز استان آذربایجان شرقی است که بعنوان یکی از قطب‌های کشاورزی این استان محسوب می‌شود. استفاده از آب زیرزمینی بعنوان مهمترین منبع آبیاری زمین‌های کشاورزی و مزارع منطقه سبب شده است که حفاظت از این آب‌ها در مقابل آلودگی‌ها امری مهم تلقی گردد. بنابراین در مقاله حاضر با استفاده از آمار مشاهداتی چاه‌های حوزه آبخیز شهرستان مرند پراکنش مکانی برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه
Figure 1- The studied area

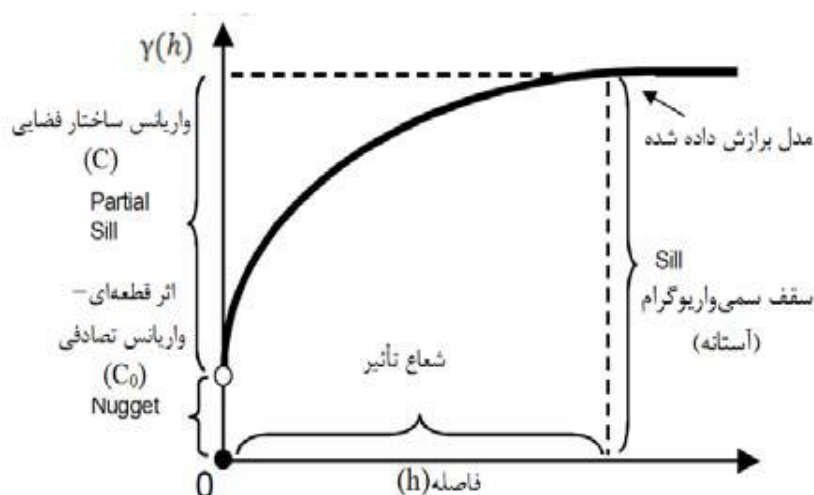
توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقادیر مربوط به مکان‌های نمونه‌برداری نشده استفاده می‌کنند (۲۰). نقاط این نمودار براساس زوج نقاطی صورت می‌گیرد که به فاصله معینی از یکدیگر قراردارند و از طریق معادله ۱ قابل محاسبه می‌باشد:

معادله ۱

$$r(h) = \frac{1}{2n(h)} + \sum_{i=1}^{n(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

که در آن $r(h)$ مقدار واریوگرام در فاصله h یا واریانس جفت نقاطی که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند. h فاصله بین نقاط نمونه‌برداری شده، n تعداد جفت نقاطی که در یک راستا به فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقطه x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر در نقطه x_i+h می‌باشد. نصف واریوگرام سمی واریوگرام یا شبه واریوگرام خوانده می‌شود. سمی واریوگرام رابطه بین فاصله و واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد و با سه پارامتر استخراج شده از آن می‌توان تغییرات مکانی متغیر را مورد بررسی قرار داد که عبارتند از: شعاع تاثیر، سقف واریوگرام و اثر قطعه‌ای (شکل ۲).

از آنجا که اندازه‌گیری‌های انجام شده در چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها انجام گرفته است، قابلیت ثبت آنها در تمامی مکان‌ها به شکل پیوسته نیست. بر این اساس جهت تخمین متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در مکان‌های نمونه‌برداری نشده و تهیه نقشه‌های پیوسته از روش‌های درون‌یابی فضایی استفاده شد. انجام روش‌های درون‌یابی فضایی به نوع، آرایش فضایی، پراکندگی متغیر و ویژگی منطقه‌ای بستگی دارد و به همین دلیل دقت محاسبات در هر روش به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند. روش‌های درون‌یابی به دو شیوه قطعی و زمین آمار انجام می‌شود (۵). بعضی از روش‌های درون‌یابی قطعی شامل: درون‌یابی فاصله معکوس وزن‌دار (IDW: Inverse Distance Weighted)، روش تابع شعاعی (RBF: Radial Basis Function)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI: Local Polynomial Interpolation) و درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI: Global Polynomial Interpolation) می‌باشند که در آنها برای درون‌یابی فقط از توابع ریاضی استفاده می‌شود. درون‌یابی‌های زمین آمار بر مبنای تئوری متغیرهای ناحیه‌ای پایه‌گذاری شده و به توابع ریاضی و زمین آمار متکی است و از مدل واریوگرام برای



شکل ۲- مشخصات و اجزای واریوگرام

Figure 2- Characteristics and components of the variogram

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right] \quad h \geq a$$

معادله ۲

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h \leq a$$

مدل نمایی: مانند مدل کروی از نقطه شروع شبیه خط راست می‌باشد. اما بتدریج تا رسیدن به حد آستانه فاصله تأثیر آن بیشتر از فاصله مرز حقیقی می‌باشد. معادله آن به صورت زیر است:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right]$$

معادله ۳

مدل گوسی: در مدل گوسی واریوگرام‌ها به آرامی و طبق معادله درجه ۲ افزایش می‌یابد. معادله ریاضی آن به شرح ذیل است:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right]$$

معادله ۴

در این پژوهش برای تشریح پیوستگی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، روش‌های درون‌یابی شامل فاصله معکوس وزن‌دار، کریجینگ و کوکریجینگ با یکدیگر مقایسه شدند و سمی‌واریوگرام‌های آنها با نرم‌افزار Arc\GIS10.3 محاسبه و ترسیم شدند.

معیارهای ارزیابی مدل‌های درون‌یابی

به منظور انتخاب بهترین و مناسب‌ترین روش درون‌یابی از روش اعتبار سنجی متقاطع (Cross Validation)، آماره G (Getis Ord) و شاخص موران (Morans Index) استفاده شد. مقادیر هر سه روش ارزیابی با استفاده از نرم‌افزار Arc\GIS 10.3 محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

فاصله‌ای که طی آن مقدار سمی‌واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، شعاع تأثیر یا دامنه واریوگرامی خوانده می‌شود. این امر به معنی آن است که خارج از شعاع تأثیر، نمونه‌ها دیگر به هم وابسته نیستند و مستقل از همدیگر هستند. مقدار سمی‌واریوگرام پس از آنکه به حد ثابتی رسید به نام آستانه خوانده می‌شود. مقدار آستانه در عین حال برابر واریانس کلی تمامی نمونه‌هایی است که در محاسبه تغییرنا به کار بسته‌اند. مقدار تغییرنا در مبدا مختصات یعنی به ازاء $h=0$ به نام اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود در حالت کلی، اگر مشکلات مربوط به نمونه‌گیری و تجزیه نمونه‌ها وجود نداشته باشد، اثر قطعه‌ای باید کوچک باشد. این روش محاسبات در مدل‌سازی مجموعه‌ای از مدل‌ها مانند TPSS3 (Thin Plane Smoothing Splines)، کریجینگ و کوکریجینگ و غیره را شامل می‌شود و همان‌طور که بیان شد مقادیر پارامترهای مدل (اثر قطعه‌ای، آستانه، نیم‌تغییرنا و ...) به نوع مدل‌های به کار رفته و یا به عبارت دیگر به کوواریانس و توابع سمی‌واریوگرام بستگی دارند و به تناسب همان مدل‌ها، از همبستگی فضایی برخوردارند. در واقع زمین‌آمار با در نظر گرفتن جهت، مکان و فاصله نمونه‌ها، همبستگی و وابستگی فضایی الگوهای فضایی را محاسبه و همچنین توزیع فضایی و قوانین پراکندگی متغیرات سازمان یافته را اندازه‌گیری می‌کند.

مدل‌های متداول مورد استفاده در برازش واریوگرام

مدل کروی: در نقطه شروع به شکل خط راست ظاهر می‌شود و معرف یک پیوستگی مناسب می‌باشد و در محل رسیدن به حد آستانه به شکل منحنی ظاهر می‌گردد. رابطه ریاضی مدل کروی به صورت زیر است:

روش اعتبارسنجی متقاطع

در این روش مقایسه‌ها، میان نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی براساس روش‌های به کار گرفته شده صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه‌ی بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد، به‌طوری که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که می‌توان خطا و انحراف معیار روش را برآورد کرد. معادلات این روش‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|Z(x_i) - \bar{Z}(x_i)|) \quad \text{معادله ۵}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))^2} \quad \text{معادله ۶}$$

شاخص موران (Moran's I)

شاخص موران از طریق معادله ۷ محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{معادله ۷}$$

X_i ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحد ناحیه‌ای i ، n تعداد واحدهای ناحیه‌ای، وزن W_{ij} که در اینجا شامل ارزش نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد. ضریب موران بین -1 تا 1 متغیر است. -1 برابر تعامل فضایی منفی و 1 برابر تعامل فضایی مثبت می‌باشد. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد، ضریب مورد انتظار موران برابر صفر است. ضرایب مورد انتظار موران برابر است با: (معادله ۸).

$$E_I = -\frac{1}{(n-1)} \quad \text{معادله ۸}$$

n تعداد واحدهای ناحیه‌ای، E_I ضریب مورد انتظار. وقتی که شاخص موران مورد محاسبه بزرگ‌تر از مقدار ضریب مورد انتظار باشد الگوی پراکنش فضایی تأیید می‌شود و برعکس (۱۵).

آماره عمومی G

شاخص موران برای خواص آماری ساخته شده است و برای توصیف همبستگی فضایی جهانی می‌باشد و در شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی کارآمد نیست. اگر ارزش‌های بالا نزدیک یکدیگر باشند، شاخص موران دلالت بر خود همبستگی فضایی مثبت نسبتاً بالا دارند، این طبقه (خوشه) از ارزش‌های بالا ممکن است به عنوان نقطه تمرکز (داغ) نامیده شود. اما خود همبستگی فضایی مثبت بالا نشان داده شده به وسیله شاخص موران ممکن است به وسیله ارزش‌های پایین مجاور با یکدیگر به وجود آمده

باشند. این نوع از خوشه می‌تواند به عنوان نقطه سرد نامیده شود. شاخص موران نمی‌تواند این دو نوع از خود همبستگی فضایی را متمایز کند. آماره عمومی G (۵) بهتر از شاخص موران، نقاط تمرکز (داغ) و نقاط سرد در سطح ناحیه مورد مطالعه را مشخص و متمایز می‌کند. این نقاط داغ و سرد می‌توانند به عنوان تمرکزهای فضایی در نظر گرفته شوند. همانند شاخص موران، آماره عمومی G همچنین متکی بر آمارهای حاصل ضرب ضربدری است و به عنوان یک معیار پیوستگی فضایی معرفی و به شکل معادله ۹ تعریف شده است:

$$G(d) = \frac{\sum \sum w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum \sum x_i x_j} \quad \text{معادله ۹}$$

در این رابطه $i \neq j$ آماره عمومی G به وسیله معیار فاصله (D) تعریف شده است. در درون آن فاصله واحدهای ناحیه‌ای می‌توانند به عنوان همسایه‌ای i مد نظر قرار گیرند. وزن $w_{ij}(d)$ برابر 1 ست اگر در داخل فاصله d است و در صورت عکس برابر صفر است. بنابراین، وزن‌های ماتریس اساساً یک ماتریس متقارن دوتایی است، اما ارتباطات همسایگی به وسیله فاصله d تعریف شده است. مجموع وزن‌های ماتریس برابر است با (معادله ۱۰):

$$W = \sum_i \sum_j w_{ij}(d) \quad \text{معادله ۱۰}$$

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های درون‌یابی کریجینگ و معکوس فاصله وزن‌دار

نتایج حاصل از اجرای هر دو مدل درون‌یابی در جدول ۱ آمده است. ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) نسبت به داده‌های پرت حساس است. کوچک‌تر بودن این شاخص دلیلی بر دقت بالاتر تخمین‌ها و یا اختلاف کم بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده است. در صورتی که $RMSE$ مدل به کار رفته بالاتر از 71 درصد باشد به معنی عدم دقت مورد قبول برای آن مدل می‌باشد. اطلاعات مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر ME و $RMSE$ روش فاصله معکوس وزن‌دار در مقایسه با روش کریجینگ از دقت کمتری برخوردار است و از بین حالت‌های مختلف مدل کریجینگ نیز بسته به مقادیر این دو شاخص بهترین حالت آن انتخاب شد. برای تهیه نقشه‌های TDS ، SAR ، EC سال ۸۴ از حالت کروی با توان SO_4^{2-} سال ۸۴، SO_4^{2-} و CI ۹۱ از حالت گوسی و برای سایر پارامترها از مدل کریجینگ به حالت نمایی و با توان 1 تا 3 استفاده شد. با افزایش توان کاهش جزئی در مقادیر $RMSE$ مشاهده گردید. شایان ذکر است که انتخاب روش مناسب درون‌یابی و داشتن نمونه کافی و با پراکنش مناسب در آبخوان مورد بررسی در میزان دقت نقشه پهنه‌بندی تأثیر بسزائی دارد (۸). دیگوستینو و همکاران (۳) نیز

کریجینگ را بهترین روش در برآورد غلظت نیترات معرفی کردند. یافته‌های ایشان روش کریجینگ در درون‌یابی مقادیر پارامترهای اوسطی و نحوی نیا (۱۹) تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند را بر اساس روش‌های زمین‌آمار بررسی کردند. طبق کیفی آب زیرزمینی برآورد بهتری نسبت به روش فاصله معکوس وزن‌دار (IDW) دارد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

جدول ۱- آماره‌های RMSE و ME در روش درون‌یابی کریجینگ و فاصله معکوس وزن‌دار (IDW) با توان‌های ۱ تا ۳

Table 1- RMSE and ME statistics in Kriging interpolation method and Weighted Inverted Distance (IDW) with potencies 1 to 3												
			TDS ¹		EC ²		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		SAR ³	
روش زمین آمار Geostatistical Method	سال Year	مدل واریوگرام ^۴	RMSE	ME ⁵	RMSE ⁶	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME
میانگین محرک وزن دار (IDW) Inverse Distance Weigthed	84		0.72	0.3	0.85	0.3	0.99	0.0	1.4	0.8	0.87	-0.03
	88		0.79	0.05	0.69	0.05	0.66	0.0	1.2	0.0	0.69	0.01
	91		0.73	-0.02	0.5	-0.04	1.02	-0.03	0.87	-0.01	0.81	-0.03
کریجینگ معمولی Ordinary Kiriijing	84	گوسی Gaussian	0.64	0.02	0.8	-0.01	0.47	0.03	0.87	0.02	0.74	0.0
		دایره‌ای circular	0.63	0.01	0.69	-0.01	0.97	0.03	0.81	0.03	0.63	0.0
		نمایی Exponential	0.65	0.01	0.81	-0.01	0.98	0.01	0.68	0.01	0.84	0.01
	88	گوسی Gaussian	0.65	0.0	0.65	0.0	0.64	0.0	0.88	0.0	0.68	0.0
		دایره‌ای Circular	0.65	0.0	0.65	0.01	0.64	0.0	0.82	0.0	0.68	-0.01
		نمایی Exponential	0.65	0.0	0.65	0.0	0.64	0.0	0.67	0.0	0.67	0.0
	91	گوسی Gaussian	0.6	0.03	0.46	0.0	0.73	0.02	0.71	-0.01	0.66	0.03
		دایره‌ای Circular	0.6	0.03	0.46	0.0	0.73	0.02	0.71	-0.02	0.66	0.03
		نمایی Exponential	0.59	0.02	0.46	0.0	0.66	0.04	0.62	-0.02	0.64	0.02

1- Total Dissolved Solis (کل مواد جامد نامحلول)

2- Electrical Conductivity (قابلیت هدایت الکتریکی)

3- Sodium Absorption Rate (نسبت جذب سدیم)

4- Variogram model

5- Mean error (میانگین خطا)

6- Root mean square error (جزر میانگین مربعات خطا)

روند تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

درون‌یابی در مدل کریجینگ پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و ترسیم سمی‌واریوگرام، نیاز به روندیابی دارد. ترسیم نمودار روند مکانی تغییرات شدت پارامترهای کیفی در طول و عرض جغرافیایی اطلاعات مناسبی در رابطه با نقشه به دست آمده فراهم می‌کند. با توجه به شکل ۳ در حوضه آبخیز شهرستان مرند در سال‌های ۸۴، مقادیر TDS از شمال به جنوب (خط عمودی و آبی رنگ) با شیب نسبتاً کمی ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی نشان داده است و در سال ۸۸ همچنان افزایش داشته و سپس اندکی کاهش یافته است در حالیکه به مرور زمان و در سال ۹۱ کامل‌رود افزایش را در پیش گرفته است. همچنین از غرب به شرق (خط افقی و سبز رنگ) بین سال‌های ۸۴ تا ۹۱ شاهد روند افزایشی در پارامتر TDS هستیم. پارامتر SO_4 در سال‌های ۸۴ و ۸۸ از شمال به جنوب (خط عمودی و آبی رنگ) روند افزایشی داشته است لیکن در سال ۹۱ کاهش محسوسی در مقادیر آن مشاهده گردید. در حالیکه در جهت غربی-شرقی (خط افقی و سبز رنگ) طی سال‌های ۸۴ تا ۹۱ همچنان روند افزایشی داشته است. مقادیر Cl و میزان هدایت الکتریکی (EC) و SAR (نسبت جذب سدیم) بین سال‌های ۸۴ تا ۸۸ در جهت غربی-شرقی روند افزایشی نامحسوسی داشته‌اند و در سال ۹۱ با شیب تندی بالا رفته‌اند. لیکن در جهت شمالی-جنوبی از سال ۸۴ تا ۹۱ ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهش نشان داده‌اند.

به منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی و تحلیل تغییرات مکانی پارامترهای مورد بررسی نقشه‌های هریک از پارامترها، با نقشه کاربری اراضی و زمین شناسی منطقه قطع داده شد. با توجه به اینکه حوزه آبخیز مورد مطالعه یک حوزه آبخیز شهری بوده و پراکنش مناطق مسکونی و روستایی و حتی اراضی کشاورزی و سایر فعالیت‌های صنعتی اطراف آنها در جهت غربی-شرقی می‌باشد نتایج حاصله دور از انتظار هم نیستند. تراکم مناطق مسکونی و روستاها بیشتر از جهت جنوب به شمال، در وسط حوضه بیشتر است. مهمترین دلایل افزایش EC ، کلر، سولفات و SAR در جهت شمالی-جنوبی و در وسط حوزه آبخیز مربوط به نوع کاربری اراضی و تراکم مناطق مسکونی می‌باشد. با افزایش روند شهرنشینی و توسعه شهرستان مرند بین سال‌های ۸۴-۹۱ و همچنین گسترش اراضی کشاورزی در اطراف آن که بالطبع منجر به افزایش کاربرد مواد گندزدا برای تصفیه آب آشامیدنی و افزایش حجم فاضلاب‌های شهری و روستایی و همچنین فاضلاب‌های کشاورزی و جند واحد صنعتی شده است، نهایتاً باعث افزایش مقادیر EC ، یون‌های کلر، سولفات و SAR شده است. واضح است که یون کلر یونی است که به خاطر تأثیرپذیری کم از عوامل شیمیایی و بیولوژیکی در یک محیط طبیعی عامل قابل اعتمادی برای بررسی واکنش بین سنگ و آب می‌باشد. به

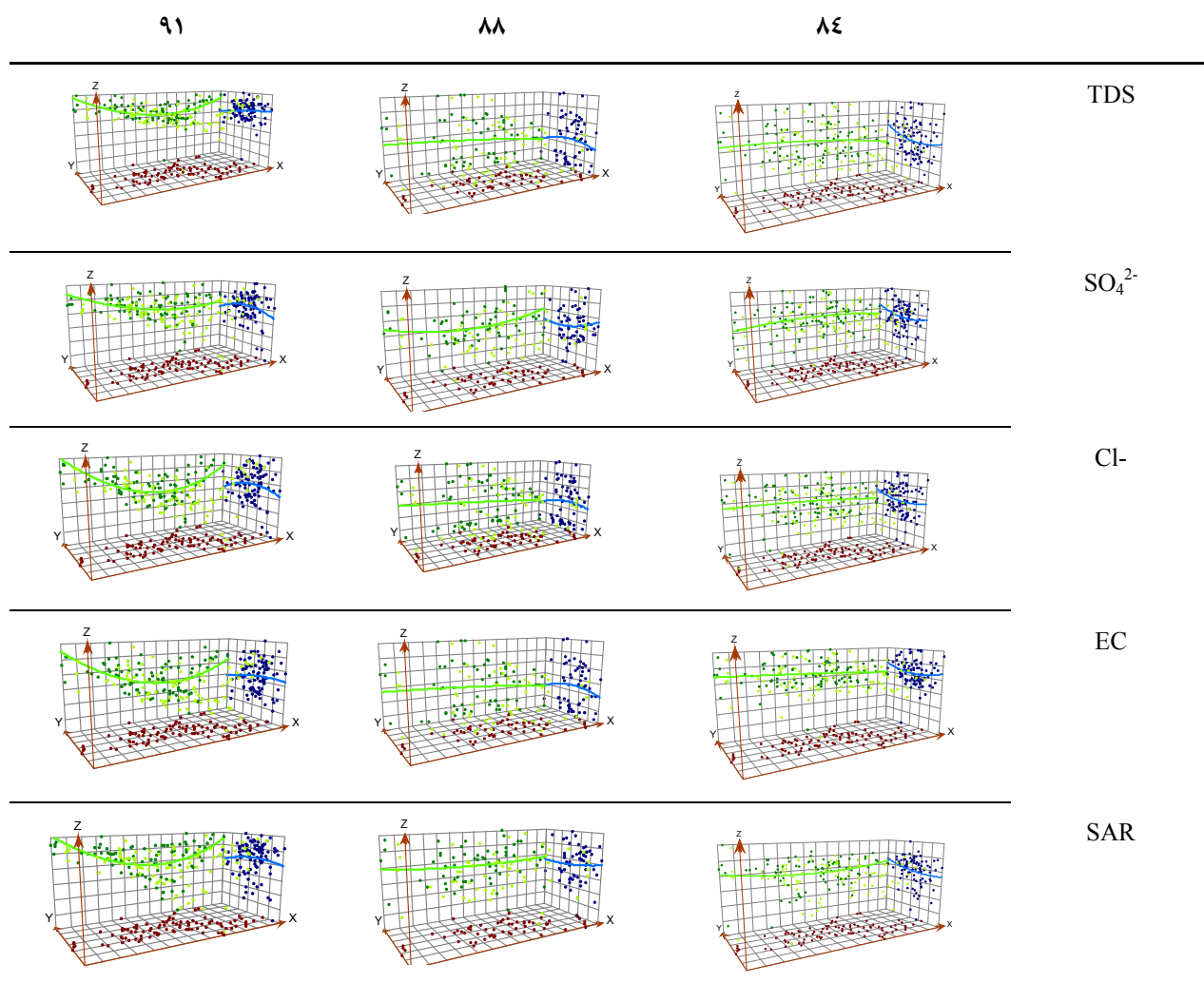
طور معمول یون کلراید از نهشته‌ها و واحدهای تبخیری منشأ می‌گیرد. همسو بودن روند تغییرات کلر و SAR با TDS نشان می‌دهد که منشأ این یون‌ها از انحلال کانی‌ها است در حالی که نتایج تحقیق کاملاً برعکس بود. بنابراین روند تغییرات یون‌های مزبور صرفاً کاملاً تابع عوامل انسانی و تغییر کاربری اراضی بوده است. از طرفی نکته قابل توجه دیگر اینکه روند تغییرات پارامترهای مورد بررسی تقریباً دارای شیب کمی است و بطور ناگهانی و باشیب تند افزایش نمی‌یابد. در عین حال روند افزایشی آنها یا به عبارتی دیگر شیب خط گسترش آنها در سال ۹۱ نسبت به سال‌های ۸۴ و ۸۸ کمی تندتر به نظر می‌رسد. افزایش پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در فاصله کم با شیب آهسته نشان دهنده آن است که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر سازندهای منطقه نیز می‌باشد. افزایش غلظت TDS از منشأ‌های غیر از انحلال کلسیت و دولومیت مانند انحلال سریع ژپس و انیدریت، باعث اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت شده است. بالا بودن اندیس اشباع دولومیت نسبت به کلسیت نشان از انحلال بیشتر کانی‌های دولومیتی نسبت به کلسیتی در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی دارد. در نتیجه، فرایند مذکور را می‌توان به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه ذکر نمود. از آنجایی که آبرفت موجود در منطقه حاصل آوردهای رودخانه‌های زیلبرچای و زونچای است و این نهشته‌ها از سازندهای مختلف از جمله سازندهای آهکی منشأ می‌گیرند می‌توان استنباط نمود که بالا بودن نمایه‌های اشباع دولومیت نسبت به نمایه‌های اشباع کلسیت به علت کانی‌های دولومیت و کلسیت منیزیم‌دار، رخداد فرایند دولومیتی‌زاسیون ($Dedolomitization$) و رسوبگذاری کلسیت باشد. البته ما و همکاران (۱۶) تغییرات پایداری کلسیت به واسطه مشارکت یون سولفات در ساختمان کانی و یا احتمالاً عدم صحت سنجش‌های آزمایشگاهی pH در آزمایشگاه را به واسطه خروج گاز CO_2 در طی مراحل نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌های آب به آزمایشگاه نسبت دادند. مقادیر نمایه اشباع دولومیت نمونه‌ها با افزایش سولفات، افزایش می‌یابد. این امر احتمالاً به واسطه آزاد شدن کلسیم ناشی از انحلال ژپس، رسوب کلسیت، انحلال بیشتر دولومیت و افزایش غلظت منیزیم آب‌های زیرزمینی بود. وقتی که آب‌های زیرزمینی نسبت به ژپس به حالت اشباع برسند، در آن صورت حاوی مقادیر منیزیم بیش از کلسیم می‌گردند. این می‌تواند باعث حالت اشباع بیشتر دولومیت نسبت به کلسیت در آبخوان دشت مرند شده باشد. بهرحال وجود کانی‌های دولومیتی در آبرفت نیز در برتری مقادیر نمایه اشباع دولومیت نسبت به مقادیر اشباع کلسیت نیز نقش داشته است. تنها نمونه‌ای که مقدار نمایه اشباع دولومیت آن نسبت به نمایه اشباع کلسیت کمتر است مربوط به روستای یامچی می‌باشد. دلیل این

نقشه نیترات با نقشه کاربری اراضی نیز مؤید پتانسیل آلودگی بیشتر در این قسمت از دشت بود. همچنین کاشی‌زنوزی و همکاران (۲۲) با بررسی پوشش گیاهی و مقادیر هدایت الکتریکی در حوزه آبخیز شهرستان مرند دریافتند که در اطراف مناطق مسکونی با افزایش EC خاک درصد تراکم پوشش گیاهی کاهش یافته است. همچنین در تحقیق دیگری، فخری و همکاران (۱۱) منشأ برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان مرند با روش تحلیل عاملی بررسی نمودند. نتایج نشان داد تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت مرند تحت تأثیر سه عامل اصلی به ترتیب شامل: ۱- تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی، هوازگی طبیعی کانی‌ها و فرایندهای تعویض یونی ۲- نشت از پساب‌های شهری و چاه‌های جذب خانگی و آبشویی کودهای کشاورزی و ۳- هوازگی سیلیکات‌های پتاسیم‌دار و کاربرد کودهای شیمیایی کشاورزی می‌باشد.

تحلیل ساختار فضایی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

نتایج حاصل از ترسیم سمی‌واریوگرام تجربی، یک ساختار فضایی مشخصی را نمایش می‌دهد. مدل‌های نظری متفاوتی (نمایی، دایره‌ای و گوسی) برای ترسیم سمی‌واریوگرام تجربی منطقه انتخاب شدند و در پایان بهترین مدل‌ها بر اساس روش ارزیابی متقاطع (Cross Validation) انتخاب شدند (جدول ۱). مشخصات سمی‌واریوگرام‌ها در جدول ۲ به تفصیل آمده است. واضح است که اگر پیوستگی مکانی در همه جهات یکسان باشد همسانگردی وجود خواهد داشت اما چنانچه خود همبستگی فضایی در بعضی جهات نسبت به جهات دیگر گسترده‌تر باشد ناهمسان‌گردی وجود دارد. با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که برای پارامترهای CI، TDS و EC که مربوط به سال ۸۸ هستند، مدل سمی‌واریوگرام ناهمسان‌گردی دارد و واریانس تصادفی (بدون ساختار) در آنها به ترتیب ۱/۰۹، ۰/۳۲، ۰/۳۶ و واریانس ساختار فضایی به ترتیب ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۱ می‌باشد. برای سنجش وضعیت ساختار مکانی پارامترهای مورد بررسی از معیار نسبت واریانس ساختار فضایی (C) بر سقف سمی‌واریوگرام (C0+C) بهره‌گیری شد. در واقع بالا بودن نسبت C/C0+C نشان‌دهنده بالا بودن ساختار مکانی به ساختار تصادفی است. در سمی‌واریوگرامی که مقدار واریانس تصادفی صفر باشد مقدار این نسبت یک خواهد بود. بنابراین هرگاه که این نسبت صفر باشد مؤید این مطلب است که هیچ وابستگی فضایی بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی وجود ندارد و اگر این نسبت کمتر از ۰/۵ باشد نقش مؤلفه ساختاردار کمتر از مؤلفه بدون ساختار است و ساختار مکانی ضعیف بوده و و کاربرد زمین‌آمار مفید واقع نمی‌شود.

کاهش می‌تواند ناشی از عدم دسترسی و کم بودن کانی‌های دولومیتی در این منطقه از دشت باشد. بنابراین می‌توان گفت افزایش این پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی حوزه آبخیز شهرستان مرند تحت تأثیر عوامل زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی هستند. این نتایج با یافته سایر محققان در منطقه مورد مطالعه نیز مطابقت داشت و نشان از صحت و کیفیت بالای مدل کریجینگ در پراکنش مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بود. از جمله خالقی و شهین‌فر (۲۱) عوامل مؤثر در هیدروژئوشیمی منابع آبی شهر مرند را با هدف حساسیت سنجی و ارزیابی کیفی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. آنها با مقایسه نقشه‌های هم‌قابلیت هدایت الکتریکی، هم TDS، هم CI و هیدروژئوشیمی دریافتند که عوامل یاد شده در بخش شمال شرقی منطقه افزایش یافت. تحلیل مکانی پارامترهای آب زیرزمینی حاکی از آن است که کیفیت و ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌ها عمدتاً با توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروگرافی دشت مرند همخوانی دارد. می‌توان گفت از آنجا که توپوگرافی حوضه مطالعاتی مرتبط با پراکنش مناطق مسکونی بوده است و نقاط کم شیب در وسط حوضه که محل تراکم اراضی مسکونی و کشاورزی هستند دارای غلظت بالاتر از آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌باشند بنابراین یافته‌های ایشان با نتایج تحقیق مطابقت دارد. نمونه‌های متعلق به بخش جنوبی منطقه (یعنی نزدیک به محل تغذیه آبخوان) از کیفیت مناسبی برخوردارند ولی در بخش شمال شرقی به دلیل افزایش غلظت املاح و وجود رسوبات ریزدانه، کیفیت آب زیرزمینی متفاوت می‌باشد. به طور کلی عواملی همچون جهت جریان، بالابودن سطح آب زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی سبب آسیب‌پذیر شدن این بخش در مقابل منابع آلاینده غیرطبیعی شده است. فخری و همکاران نیز (۱۳) طی تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند را با خوشه‌بندی اندیس‌های اشیاع به روش تحلیل عاملی مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج تحقیق ایشان ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی تحت تأثیر تغذیه از رودخانه، رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان و تبخیر از سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در تحقیق دیگری از فخری و همکاران (۱۲) غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت مرند و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روش‌های AVI و GODS مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه نتایج آنالیز هیدروژئوشیمیایی نمونه‌ها با استانداردهای آب شرب مشخص شد که غلظت نیترات در بخشی از دشت مورد مطالعه بالاتر از حد استاندارد است. درصد بالایی از این آلودگی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی به ویژه استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و آبشویی آنها در زمین‌های کشاورزی و باغات منطقه بود. از نظر توزیع مکانی در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی به علت وفور زمین‌های زراعی و فاضلاب‌های روستایی بیشترین غلظت نیترات مشاهده شد. انطباق



شکل ۳- روند تغییرات شدت پارامترهای مورد بررسی در حوضه آبخیز شهرستان مرند

Figure 3- The trend of changes in the intensity of the parameters studied in the Marand watershed 3

غرب به شرق می‌باشد. بنابراین نشان می‌دهد که آنیون سولفات از جهت غرب به شرق حوضه رو به افزایش است. بنا به مشخصات واریوگرام مدل، به‌طور کلی قویترین ساختار فضایی پراکنش پارامترهای کیفی مورد بررسی، مربوط به آنیون سولفات و ضعیف‌ترین ساختار فضایی مربوط به آنیون کلر و هدایت الکتریکی (EC) می‌باشد.

ارزیابی دقت مدل کریجینگ در پیش‌بینی پراکنش پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

با توجه به روش ارزیابی متقاطع و مقادیر RMSE و ME مدل کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به روش IDW برخوردار بود. همچنین هر کدام از حالت‌های کریجینگ که مقادیر خطای کمتری داشتند برای مدل پهنه‌بندی انتخاب شدند. سپس دقت پهنه‌بندی پارامترهای مورد بررسی با استفاده از آماره G و شاخص موران مورد

طبق داده‌های جدول ۲ در مقایسه با سایر پارامترها به‌طور متوسط پراکنش آنیون سولفات (SO₄²⁻) در سالهای ۸۴، ۸۸ و ۹۱ دارای تغییرات مکانی خوبی بوده است. مشخصات سمی واریوگرام آنیون سولفات (SO₄²⁻) نشان می‌دهد که در سال ۸۴ پیوستگی فضایی در جهت ۱۲۵/۳ درجه قوی‌تر از دیگر جهت‌هاست. دامنه تأثیر واریوگرام برای جهت شمال غربی به جنوب شرق در حدود ۳۴ کیلومتر و برای جهت عمود بر آن ۱۹ کیلومتر است. تفاوت زیاد بین دامنه تأثیر بزرگ و دامنه تأثیر کوچک سبب تشکیل شعاع همسان‌گردی بیضوی شکل شده است. در حالیکه در سال ۸۸ پیوستگی فضایی در جهت شرقی ۱۸/۱ درجه بوده و دامنه تأثیر بزرگ ۳۲ کیلومتر و دامنه تأثیر کوچک ۲۴ کیلومتر است. به عبارتی شعاع همسان‌گردی دارای شکل بیضوی و در جهت غربی-شرقی است و در سال ۹۱ پیوستگی فضایی در جهت غربی ۱۷۲/۸ بوده و با شعاع همسان‌گردی بیضوی در جهت

استفاده از شاخص موران (۲۷) و آماره G (۹) برای سنجش همبستگی فضایی در نقشه‌های پهنه‌بندی تحلیل محققان را برای ارزیابی دقت نقشه‌های مورد نظر آسان‌تر نموده است. همان‌طور که از یافته‌های تحقیق بر می‌آید هر چند که بر اساس روش ارزیابی متقاطع مدل کریجینگ و بهترین حالت آن برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی انتخاب شدند، لیکن بر اساس شاخص موران و آماره G پراکنش یون سولفات از بیشترین تعامل فضایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت آب یکی از مهمترین موضوعات محیط زیستی در سطح جهان به شمار می‌رود. به سبب عدم قطعیت ذاتی، همیشه مشکلاتی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد و عدم قطعیت قابل توجهی در فرآیند تعیین کیفیت آب برای مصارف مختلف وجود دارد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که روش‌های زمین‌آمار از دقت مناسبی برای پیش‌بینی پراکنش مکانی داده‌های کمی هستند و در مقایسه با سایر روش‌ها از قبیل روش استنتاج فازی، GOI و آکوپرو و روش‌های میدانی و غیره آسان‌تر بوده و نیاز به هزینه و زمان کمتری دارد. از طرفی کیفیت آب زیرزمینی همواره تحت تأثیر عوامل مختلف از قبیل جهت جریان، سطح آب زیرزمینی، عوامل اقلیمی (بارش، تبخیر و تعرق و...)، نوع و ترکیب سازندهای زمین‌شناسی منطقه و عوامل انسانی (کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، ورود پساب‌های خانگی و کشاورزی به منابع آب زیرزمینی و ...) قرار دارد. بنابراین به لحاظ اهمیت انواع کاربری منابع آب زیرزمینی و محدودیت موجود در استفاده از آن، پیشنهاد می‌شود پایش تغییرات کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش زمین‌آمار به طور مستمر انجام گیرد و به منظور ارزیابی عوامل تأثیرگذار نقشه‌های آن-ها تهیه و با نقشه‌های پراکنش مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمین قطع داده و تجزیه و تحلیل شود. در تحقیق حاضر براساس مطالعات پیشین دو عامل زمین‌شناسی و کاربری اراضی انتخاب شده و با نقشه پارامترهای کیفی قطع داده شدند و معلوم شد که هر دو عامل یاد شده از مهمترین عوامل تأثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی حوزه آبخیز شهرستان مرند هستند.

تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار آماره G برای پهنه‌بندی همه پارامترها مثبت بوده و نشانگر انحراف کمتر ساختار فضایی مدل کریجینگ می‌باشد. از این میان بیشترین مقدار مربوط به یون سولفات در سال ۹۱ است که مقدار متوسط آماره G برابر ۲۱/۴۱ درصد محاسبه شد و کمترین مقدار متوسط محاسباتی آماره G برای پارامتر EC سال ۸۴ به مقدار ۳/۴۵ می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر محاسباتی شاخص موران نخست مربوط به پهنه‌بندی یون سولفات در سال ۸۴ با مقدار ۰/۶۴۵ و سپس یون سولفات در سال ۹۱ با مقدار ۰/۵۹ است. از طرفی کمترین مقادیر محاسباتی شاخص موران بترتیب مربوط به پراکنش EC سال ۸۸ و یون کلر سال ۹۱، TDS سال ۸۸ و EC سال ۸۴ بود که مقادیر آنها به ترتیب عبارتند از: ۰/۰۸۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۶. بنابراین نقشه پهنه‌بندی پراکنش یون سولفات به روش کریجینگ دارای بیشترین تعامل و نقشه پهنه‌بندی EC دارای کمترین تعامل در ساختار فضایی می‌باشند. به‌طور کلی در مدل کریجینگ برای همه پارامترها هم آماره G و هم شاخص موران دارای مقادیر مثبت بودند. بنابراین مدل کریجینگ بکار گرفته شده دارای دقت مکانی مناسب برای پیش‌بینی پراکنش مکانی پارامترهای مورد بررسی می‌باشد. سایر محققان نیز در تحقیقات خود دقت روش کریجینگ را در پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بر اساس روش ارزیابی متقاطع مورد تأیید قرار داده‌اند که در ذیل به برخی موارد از آن اشاره شده است.

مؤمنی دمنه و همکاران (۱۸) پس از ارزیابی روش‌های درونیابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت گناباد اعلام کردند بر اساس روش ارزیابی متقاطع، روش کریجینگ بر سایر روش‌های زمین‌آمار ارجحیت دارد. قاسمی و همکاران (۵) تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی را در دشت خورموج - استان بوشهر با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بررسی کردند و پس از ارزیابی مدل به روش ارزیابی متقاطع مدل کریجینگ را در مقایسه با سایر روش‌ها مناسب‌تر تشخیص دادند. بهرامی جوین و حسینی (۲) برای برآورد میزان شوری مناطق کویری در دشت فیض‌آباد - م‌ولایت شش روش زمین‌آمار شامل کریجینگ معمولی و عمومی با حذف روند توسط تابع خطی و تابع درجه دوم و روش کریجینگ بیزی تجربی موسوم به EBK مورد مقایسه قرار دادند نتایج آن‌ها نشان‌دهنده کارایی و دقت روش EBK نسبت به سایر روش‌ها بود.

جدول ۲- مشخصات سمی واریوگرام شدت روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز شهرستان مرند به روش کریجینگ

Table 2- Semiarigram characteristics the intensity of changes in ground water quality parameters in the Marand watershed by Kriging method

L	مدل Model	اثر قطعاتی Nugget(C0)	حد آستانه Sill(C0+C)	پویستگی فضایی Partialism	C/C0+C	دامنه Range		مرتبه Order	درجه Degree	اندازه گام تاخیر Lag Size	تعداد گام‌های تاثیر N. lag	شاخص موران Morans Index	آماره عمومی Ord General G%
						جزئی Minor	اصلی Major						
84	TDS	Circular دایره ای	0.18	0.44	0.26	0.59	2407.1	4774.7	1	137.1	397.9	0.46	13.45
	SAR	Circular دایره ای	0.37	0.83	0.46	0.55	1911.2	2581.1	1	118.1	215.1	0.35	12.21
	C ¹⁻	Exponential نمایی	0.0	1.6	1.6	1	1911.2	2648.8	3	123.6	220.7	0.46	7.03
	SO ₄ ²⁻	Gaussian گوسی	0.59	0.86	0.27	0.31	1911.2	3499.2	3	125.3	291.6	0.645	9.4
	EC	Circular دایره ای	0.19	0.63	0.44	0.7	1911.2	3733	3	2.4	311.1	0.16	3.45
88	TDS	Exponential نمایی	0.32	0.33	0.1	0.3	52291.6	52291.6	3	-	4357.7	0.08	4.21
	SAR	Exponential نمایی	0.1	0.34	0.33	0.97	2425.4	3258.3	3	72.2	271.7	0.47	5.58
	C ¹⁻	Exponential نمایی	1.09	2.1	0.2	0.1	52291.6	52291.6	1	-	4357.6	0.32	3.75 4.7
	SO ₄ ²⁻	Exponential نمایی	0.0	0.54	0.54	1	2425.4	3272.8	1	18.1	272.3	0.54	
	EC	Exponential نمایی	0.36	0.47	0.1	0.2	-	52291.6	1	-	4357.6	0.08	4.7
91	TDS	Exponential نمایی	0.0	0.43	0.43	1	2347.6	2634.7	1	101.4	219.6	0.32	17.1
	SAR	Exponential نمایی	0.18	0.57	0.39	0.68	1911.2	3462.6	1	4.92	288.5	0.57	16.8
	C ¹⁻	Gaussian گوسی	0.4	0.6	0.2	0.33	2004.7	3373.6	3	171.56	281.3	-0.084	4.31
	SO ₄ ²⁻	Gaussian گوسی	0.5	0.43	0.38	0.88	1911.2	3507.9	3	172.8	292.3	0.59	21.41
	EC	Exponential	0.14	0.32	0.18	0.56	2696.3	42656.7	1	41.13	3554.7	0.31	6.92

منابع

- Arsalan H. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. *Agricultural Water Management*, 113: 57-63.
- Bahrami Jovein E., and Hosseini S. M. 2015. A systematic comparison of geostatistical methods for estimation of groundwater salinity in desert areas. *Iran-Water Resources*, 11(2): 1-15. (In Persian).
- Dagostino V. Greene E. A. Passarella B., and Vurro G. 1998. Spatial and Temporal study of nitrate concentration in ground water by means of co regionalization. *Environmental Geology*, 36: 285-295.
- Foster S. D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk. H. G. W.V. Van (Eds), Waegeningh, The Hague. *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution*, 38: 69-86.
- Ghasemi R. Ziatabar Ahmadi M. Kh. Karimi V., and Abbasi E. 2016. Estimation of quantitative and qualitative changes of groundwater using ground statistics (Case study: Khormoj plain-Booshehr Province). 2nd National Conference of Water Crisis in Iran and the Middle East, Shiraz, 7p. (In Persian).
- Getis A., and Ord J. K. 1992. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27: 286 – 306.

7. Gohroudi Tali M. 2005. Geographic Information System in 3D. Jihad-e- Daneshghahi Tarbiat Moallem Press, No 49.
8. Gong G., Mattevada S., and O'Bryant S. E. 2014. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environmental Researches*, 130: 59– 69.
9. Hamidian M., Salighe M., and Fallh Ghalhari Gh. 2013. Application of various interpolation methods for drought spatial monitoring and analysis (Case study: Khorasan Razavi province). *Goegraphy and Development Iranian Journal*, 30(1): 57-70.
10. Hasani Pak A. 2007. Geostatistics. Tehran University Press, Iran, 268p. (In Persian).
11. Fakhri M. S., Asghari Moghaddam A., and Najib M. 2016. Application of statistical methods and saturation indices in groundwater quality assessment of the Marand plain. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(6): 117-133. (In Persian).
12. Fakhri M. S., Asghari Moghaddam A., Najib M., and Barzgar R. 2016. Investigation of Nitrate Concentration in Groundwater Resources of Marand Plain and Evaluation of Groundwater Vulnerability by Methods of AVI and GODS. *Ecology*, 41(1): 49-66. (In Persian).
13. Fakhri M. S., Asghari Moghaddam A. Barzgar R. Kazemian N., and Najib M. 2017. Investigating the Origin of Some Heavy Metals in Groundwater of Marand Plain Using Multivariate Statistical Methods. *Soil & Water Science*, 26(2/2): 237-253.
14. Forests, Rangeland and Watershed Management Organization of Iran. 2010. Detailed planning of the Zilberchay watershed, 8:146p. (In Persian).
15. Lee Jay W., and David W. S. 2001. Statistical analysis with ArcView GIS, John Wiley and sons, New York, 135-137.
16. Ma R., Wang Y., Sun Z., Zheng C., Ma T., and Prommer H. 2011. Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China. *Applied Geochemistry*, 26: 884-897.
17. Merati A., Tizro A., and Parsafar N. 2017. Qualitative zoning of groundwater resources using land statistics and GIS methods (case study: Solymanshah watershed). *Soil and Water Science*, 27(2): 237-248. (In Persian).
18. Momeni Damaneh J., Joulaie F., Alidadi H., and Peirovi R. 2015. Evaluation of interpolation methods to determine spatial variations of groundwater qualitative parameters (Case study: Gonabad plain). *Journal of Research in Environmental Health*, 165-176. (In Persian).
19. Osati Kh., and Nahvinia M. J. 2016. Spatial Variations of Ground Water Quality in Birjand Plain for Agriculture. *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(1): 25-36. (In Persian).
20. Ozelkan E., Bagis S., Ozelkan O. C., Ustandag B., Yucel M., and Ormeci C. 2015. Spatial interpolation of climatic variables using land surface temperature and modified inverse distance weighting. *International Journal of Remote Sensing*, 36(4): 697-113.
21. Khaleghi F., and Shahinfar H. 2008. Investigating the effective factors in water hydrogeology of Marand city with the aim of sensitization and groundwater quality assessment. *Journal of Environmental Geology*, 2(1): 82-94.
22. Kashi Zenouzi L., Saadat H., and Namdar M. 2011. Investigation of the relationship between vegetation density and soil ecosystems in arid and semiarid regions (case study: Marand watershed). 7th Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, 27-28 April, 10p.
23. Khazaei S., Abbasi Tabar H., and Taghizadeh Mehrjardi R. 2011. Spatial Distribution of Nitrate Contamination in Groundwater Using Geostatistic in Fars Province (Case study: Siakh Darengoun area). *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 64(3): 267-279.
24. Khosroshahi M. 2017. Threat and escalation of desertification risk in Iran from the perspective of water. *Iranian Journal of Nature, Research Institute of Forests and Rangelands of Iran*, 2(2): 6-13 (In Persian).
25. Khosroshahi M. 2014. The lack of water crisis and desertification. *Forest and Rangeland Journal*, 100:38-43 (In Persian).
26. Samani S., and Asghari Moghaddam A. 2017. Evaluation of the groundwater pollution potential using the Akipro method, and validation and validation of the method by examining the distribution of nitrate concentration. *Journal of Water Engineering System*, 10: 13-23. (In Persian).
27. Shen Ch., Li Ch., and Si Y. 2016. Spatio-temporal autocorrelation measures for nonstationary series: A new temporally detrended spatio-temporal Moran's index. *Physics Letters A*, 380(1-2): 106-116.
28. Tesoriero A. J. E., Inkpen L., and Voss F. D. 1998. Assessing ground-water vulnerability using logistic regression. *Proceeding Source, Water Assessment and Protect*, 98 Conference, Dallas, TX; 157–65.
29. Torabi Potkale S. 2009. Drought management: Drought analysis and forecasting and its impact on water resources management. Ph.D. Thesis, Faculty of Civil and Environment, Amir Kabir University, 148p. (In Persian).
30. Zaiming Z., Guanghui Z., Mingjiang Y., and Jinzhe W. 2012. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6): 3697-3710.



Assessment of Some Parameters of Groundwater Quality Changes in the Marand Country Watershed- East Azarbayejan

L. Kashi Zenouzi¹- M. R. Yazdani^{2*}- M. Khosroshahi³- M. Rahimi⁴

Received: 23-04-2018

Accepted: 07-10-2018

Introduction: Groundwater is the only major source of water for drinking, agricultural and industrial purposes in the Marand city, and its vital importance makes sure that its quality is seriously considered. With qualitative zoning, the process of underground water quality changes is determined at any time, place, and condition. It is possible to save time and cost by removing the stations with similar quality status and install new stations at times that are different or critical. In this paper, using the observational data of wells in Marand watershed, the spatial distribution of some groundwater quality parameters has been studied and analyzed using land-based methods. Geostatistical methods for estimating the unknown are remarkably effective.

Materials and Methods: In order to predict the spatial distribution of groundwater quality, data was collected from 48 water wells, semi-deep wells, springs, and others from the Water Resources Management Company. In this research, the spatial variation process of five qualitative parameters of water include EC, electrical conductivity, chlorine and sulfate (SO₄²⁻) anions, and Sodium Rate Absorption (SAR) and soluble solids (TDS): Total Dissolved Salts) were studied. After reviewing, some of them were omitted due to statistical deficiencies. Common time base was selected for studying the Blue Years 2003-2005, and the years 1388-88 and 1391-1391. Data homogeneity was evaluated for the statistical period between 1384-1384 by the sequencing test method. According to the mentioned method, there was no heterogeneity in the data. Statistical deficits were determined according to the correlation coefficient of a variable. Data were normalized using SPSS 18.0 software using logarithmic transformation method and their elongation and bending values were obtained in the range -2 and 2. In this study, for estimation of groundwater quality parameters including EC, TDS, Cl⁻, SAR and SO₄²⁻, piezometric wells data were used during the years 84, 88 and 91. Statistical analysis methods consisted of conventional Kriging method in Spherical, Gaussian and exponential modes and Weighted Inverse Distance (IDW) methods with power from 1 to 3 were studied. Cross-validation, G statistics (GetisOrd General G) and Morans Index were used to select the best and most suitable interpolation method. The values of all three evaluation methods were calculated and analyzed using Arc / GIS 10.3 software.

Results and Discussion: Based on the cross-evaluation method, the Kriging method is less effective than RMSE and ME in comparison with the Inverse Distance Weighting method. The zonation map of anion SO₄²⁻ in year 2012 with G statistics and Moran index was 21.41 and 0.99 %, had the highest interaction in spatial structure and EC zonation map in year 2005 with Moran index and G statistic was 0.16 and 45 respectively has the least interaction of spatial structure. Charts of Changes in Quality Parameters showed that, water quality in latitude and longitude, values which were Cl⁻, EC, SAR, and TDS and SO₄²⁻ anions between the years 2005-2009 in the western-eastern part have been intangible and have been steeply sloping in the year 91. But in the North-South direction of 84 to 91 increased and then decreased in the middle of basin. Finally, by disconnecting the map of land use and geology of the watershed with the zoning maps of each of the parameters, it is concluded that due to the distribution of villages, residential areas and agricultural lands around them in the center and east of the watershed, the trend of groundwater quality parameters had been changed. The underground waters of Marand country watershed were influenced by human activities. Also, some geological formations and gypsum and dolomite minerals in the area in groundwater quality have led to an increase in TDS values and sulfidation of water resources in the eastern parts of the basin.

Conclusion: Groundwater quality is always influenced by various factors such as flow direction, groundwater level, climatic factors (precipitation, evapotranspiration, etc.), type and composition of geological formations of the region and human factors (land use, extraction of groundwater resources, Entry of household wastewater and agriculture into

1, 2 and 4-Ph.D. Student of Combat Desertification and Associate Professors, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran
(*-Corresponding Author Email: m_yazdani@semnan.ac.ir)

3- Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

groundwater resources, etc.). Therefore, due to the importance of the use of groundwater resources and the limitations of its use, it is suggested that continuous monitoring of groundwater quality changes should be carried out using ground-based methods and in order to evaluate the effective factors of water quality parameters spatial distribution maps was prepared and analyzed. In the present study, based on the previous studies, two geology formation and land use types were selected to prepare map of water quality parameters and it turned out that both of these factors are the most important factors affecting the groundwater quality in the Marand country watershed.

Keywords: General G-Statistic, Ground water, Kriging, Moran's Index

برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز با به کارگیری تئوری فرکتال و مدل بارش - رواناب HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه خرم آباد)

حمیدرضا باباعلی^۱ - زهره رامک^{۲*} - رضا سپهوند^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰

چکیده

برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز جهت طراحی سازه‌های هیدرولیکی، تثبیت سواحل رودخانه، پروژه‌های آبخیزداری و پهنه‌بندی سیل یکی از مهم‌ترین مسائل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به‌شمار می‌آید. منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی (IDF) بارش یکی از ابزارهای هیدرولوژیکی جهت محاسبه سیلاب طرح و طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشند. حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد یکی از زیرحوضه‌های حوضه کرخه همواره در معرض وقوع سیلاب‌های مخرب و خسارت‌های ناشی از آن بوده است. در این تحقیق، ابتدا منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی حوضه آبخیز به کمک تئوری فرکتال برآورد گردید و پس از آن، بارش طرح حوضه در دوره‌های بازگشت مختلف به‌دست آمد. در مرحله بعد مدل بارش - رواناب HEC-HMS برای حوضه مورد نظر واسنجی و در نهایت سیلاب طرح حوضه در دوره‌های بازگشت مختلف تخمین زده شد. نتایج تحقیق، کارایی بالای مدل فرکتال و نیز مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را در این حوضه نشان داد. همچنین نتیجه تحقیق توزیع احتمالاتی گامیل را با آزمون کای‌اسکور، اندرسون دارلینگ و نیز کولموگروف-اسمیرنوف با سطح معنا داری ۵ درصد برای داده‌های حداکثر بارش سالانه با تداوم روزانه این حوضه مناسب دانست.

واژه‌های کلیدی: بارش طرح، منحنی‌های IDF، مدل هیدرولوژیکی، کمبود داده

مقدمه

پیش‌بینی دبی رودخانه‌ها و تخمین صحیح رواناب، به منظور استفاده بهینه از مخازن سدها، ساماندهی رودخانه و هشدار سیل از اهمیت زیادی برخوردار است و نیاز مهم در این برنامه می‌باشد، زیرا تخمین اضافی رواناب هزینه‌های غیرضروری و زیادی را به طرح تحمیل می‌کند و تخمین کم رواناب باعث تخریب ناگهانی سازه‌های کنترل موجود در حوضه و وارد آمدن تلفات جانی و مالی فراوان می‌گردد (۸ و ۱۸). در یک حوضه، بعنوان یک هیدروسیستم، خطر سیل همواره حین بارش و پس از آن محتمل است. بنابراین استخراج روابط بین بارش در سطح حوضه و جریان ناشی از آن که به صورت رواناب و سیلاب آشکار می‌گردد، از دیرباز جزو مهم‌ترین مسائلی بوده که مورد توجه کارشناسان مرتبط با مسائل آب بویژه هیدرولوژیست‌ها بوده است (۶). مطالعات مختلف دلالت بر این

موضوع دارد که عدم توجه به حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها باعث ایجاد یک رشد نمایی در فراوانی وقوع سیلاب و میزان خسارات وارده خواهد گردید و در این میان مناطق شهری و نیمه شهری بیشترین پتانسیل خطرپذیری از سیل را دارا می‌باشند. با توجه به اینکه حفاظت کامل از خطر سیلاب امکان‌پذیر نمی‌باشد، زیستن در کنار سیلاب و اعمال سیاست‌های جدید در خصوص مدیریت کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی حریم رودخانه به منظور کاهش اثرات تخریب آن امری ضروری است (۱). علی‌رغم تمامی پیشرفت‌های علمی صورت گرفته در زمینه پیش‌بینی و مقابله با پدیده سیلاب، این مسئله همچنان گریبان‌گیر تمامی کشورهای دنیا، اعم از فقیر یا ثروتمند می‌باشد. در کشور ما ایران نیز همواره سیل به عنوان یکی از حوادث غیر مترقبه طبیعی، مخرب و ویرانگر بوده و هنوز هم می‌باشد. در راستای کنترل این موضوع و موضوعات مرتبط، مرحله برآورد رواناب حاصل از بارش مهم‌ترین نقش را دارا می‌باشد (۳). کمیت سیلی که برای طراحی سازه‌های تحت تاثیر وقایع هیدرولوژیکی باتوجه به عواملی چون ایمنی سازه، هزینه، طول عمر و خسارت محتمل به‌کار می‌رود، سیل طراحی نام دارد. منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی (IDF) بارش یکی از ابزارهای هیدرولوژیکی جهت محاسبه سیل طرح و طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی جهت محاسبه سیلاب طرح و

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران

۲- دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

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

۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، منابع آب، دانش‌آموخته دانشگاه صنعتی اصفهان
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.71723

منطقه با داشتن کاربری اراضی نامناسب اولویت اول را در کنترل سیل دارند. تیزرو و همکاران (۱۹) برای تخمین رواناب منطقه پلرود استان گیلان از تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS استفاده کردند. در این تحقیق از دو روش SMA و SCS برای محاسبه تلفات استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد مدل تلفیقی از طریق هر دو روش SMS و SCS قابل قبول بوده و این مدل در تخمین سیلاب‌های لحظه‌ای و مقادیر اوج آن‌ها، بهتر از جریان‌های غیرسیلابی عمل می‌کند. اگرچه در هر دو مورد، مدل نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند.

حوضه آبریز رودخانه خرم‌آباد یکی از زیرحوضه‌های مهم و استراتژیک حوضه آبریز کرخه در استان لرستان است. در داخل این حوضه، شهر خرم‌آباد، بعنوان حوضه آبریز شهری اهمیت دارد. رودخانه اصلی این حوضه بعنوان منبع ارزشمند اقتصادی و تامین‌کننده آب مصرفی برای شهر خرم‌آباد می‌باشد. با وجود منافع زیاد این رودخانه، همه ساله در این رودخانه طغیان صورت می‌گیرد که در مواردی خسارات جانی و مالی برای این حوضه به همراه دارد. از آنجاییکه یکی از مشکلات موجود در این منطقه نبود آمار داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد، لذا برآورد بارش طراحی حوضه آبریز با استفاده از منحنی‌های IDF غیر عملی می‌باشد. به همین منظور با توجه به عدم وجود مطالعات کافی جهت رفع این مشکل در این حوضه، در تحقیق حاضر تلاش گردیده با بکاربردن تئوری فرکتال این مشکل مرتفع گردد. لذا مطالعه حاضر می‌تواند بعنوان یک ابزار موثر در جهت برنامه‌ریزی برای مدیریت صحیح و بهینه منابع آبی در راستای کاهش خسارات وارده از سیلاب‌های منطقه در این حوضه مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق ابتدا به منظور برآورد بارش طرح، با استفاده از تئوری فرکتال، منحنی‌های IDF تهیه گردید. سپس به منظور برآورد سیلاب طرح، از مدل بارش-رواناب HEC-HMS استفاده شد و پس از واسنجی این مدل، از آن جهت برآورد سیلاب طرح در دوره‌های بازگشت مختلف استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

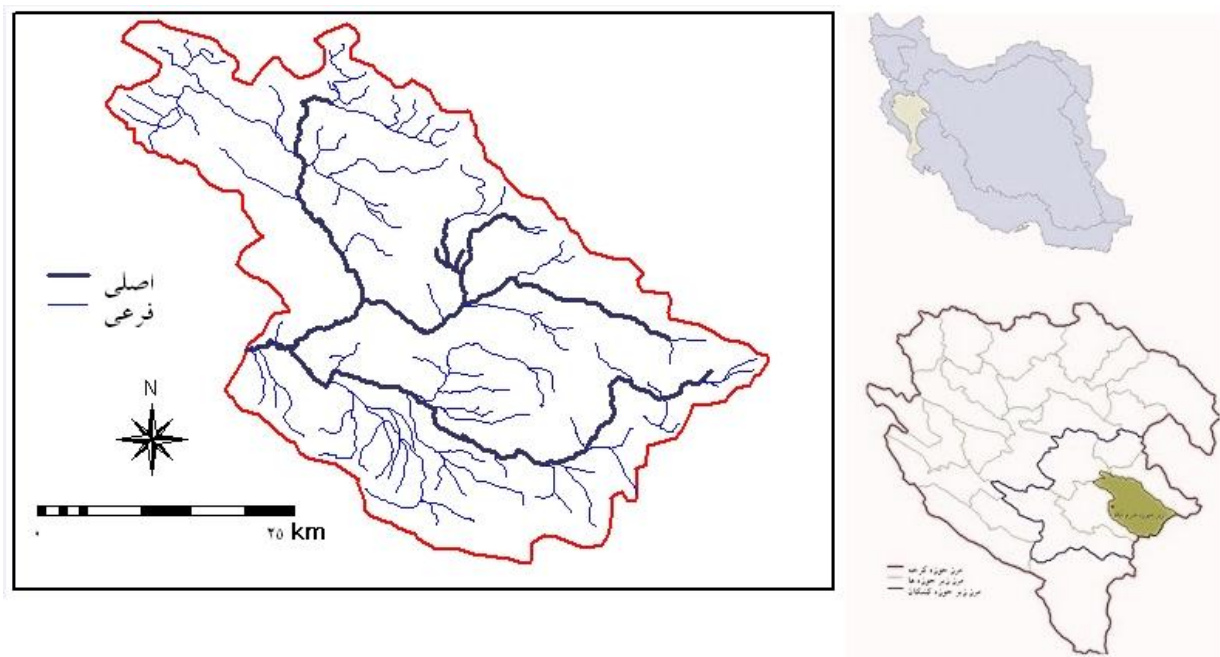
حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد با مساحت ۱۶۴۰ کیلومتر مربع در استان لرستان واقع در جنوب غربی ایران می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی بین $33^{\circ}37'48''$ تا $33^{\circ}46'48''$ طول شرقی و $33^{\circ}15'16''$ تا $33^{\circ}43'52''$ عرض شمالی واقع شده است. این حوضه حدود ۱۶ درصد وسعت حوضه کشکان را دربرگرفته و دارای شیب متوسط $24/36$ درصد است که نسبت به شیب متوسط کشکان کمتر است. حداکثر ارتفاع حوضه مورد مطالعه ۲۸۷۶ متر و حداقل ارتفاع حوضه ۱۱۱۲ متر است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد (۱۰).

طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد. این منحنی‌ها برای یک منطقه از روی داده‌های بارش، که در تداوم مختلف ثبت شده است، ساخته می‌شود. معمولاً در کشورهای درحال پیشرفت مانند ایران که از وسعت زیادی برخوردار است، در منطقه مورد مطالعه ایستگاه باران‌سنج وجود ندارد و یا طول دوره آماری آن کم می‌باشد که امکان محاسبه منحنی‌های IDF را غیرممکن می‌سازد. علاوه بر طولانی بودن روند استخراج منحنی‌های IDF به روش متداول و بالا بودن عدم قطعیت آن‌ها به جهت زیاد بودن پارامترهای آن، یکی دیگر از موانع استخراج این منحنی‌ها، عدم وجود داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد. در کشور پهنای ما در بسیاری از مواقع در منطقه مورد نیاز، یا ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد و یا طول دوره آماری آن بسیار کوتاه است که استخراج منحنی‌های IDF را با مشکل مواجه می‌کند. اما از آنجاییکه معمولاً امکان دسترسی به داده‌های روزانه بارش وجود دارد می‌توان با استفاده از تئوری فرکتال، داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف را با دقت بسیار خوبی برآورد و منحنی IDF را ساخت (۱۷).

مولنار و برلاندو (۱۲) قابلیت بکارگیری مدل فرکتال جهت ساخت منحنی‌های IDF در مناطق کوهستانی را تایید کردند. ناهات و همکاران (۱۶) با استفاده از مدل فرکتال، روابطی جهت استخراج منحنی‌های IDF در ایستگاه‌های فاقد آمار برای کشور ژاپن ارائه کردند. بار (۲ و ۳) خصوصیات فرکتالی مقادیر حدی بارش را بررسی و وجود خاصیت عدم تغییرپذیری در داده‌های حدی را تایید کرد. همچنین در این زمینه می‌توان به مطالعات دیدا و همکاران (۷) و چنگ و همکاران (۵) اشاره نمود. در زمینه تبدیل بارش به رواناب نصری و همکاران (۱۵) در حوضه آبخیز سد شیخ بهایی شهرستان کاشان به منظور اولویت‌بندی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب از مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد مناطق نزدیک به نقطه خروجی حوضه، بیشترین نقش را در تولید سیل دارند و باید در اولویت فعالیت‌های آبخیزداری قرار گیرند. مالمود و ترکات (۱۲) دریافتند که بین بزرگی سیلاب و دوره بازگشت آن رابطه توانی برقرار است. آنها همچنین دریافتند از بین توزیع‌های احتمالاتی متداول، توزیع‌های پارتوی تعمیم یافته^۱ و مقادیر حدی تعمیم یافته نتایج نسبتاً قابل قبولی داشتند که این به رابطه توانی (که در سیلاب های بزرگ در دنباله انتهایی آنها وجود دارد بر می‌گردد).

کمالي و همکاران (۱۱) از مدل HEC-HMS برای اولویت‌بندی مناطق مولد سیل در حوضه آبخیز باراجین شهر قزوین استفاده کردند و نشان دادند که نوع کاربری اراضی، نوع واحدهای هیدرولوژیکی خاک و بالابودن میانگین وزنی CN حاکی از خطر بالای تولید سیل در حوضه است. همچنین، بیان کردند زیرحوضه‌های شیب‌دارتر در این

1- Generalized Pareto Distribution



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه
Figure 1- Geographical position of studied watershed

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده
Table 1- Specifications of used meteorological and hydrometric stations

نام ایستگاه (The name of station)	طول جغرافیایی (Longitude)	عرض جغرافیایی (Latitude)	نوع ایستگاه (Type of station)	ارتفاع (Altitude)
چمانجیر (Chamanjir)	48 14	33 26	هیدرومتری (Hydrometric)	1140
چمانجیر (Chamanjir)	48 13	33 25	بارانسنجی (Rain gage)	1166

در رابطه فوق $x(\varepsilon)$ تابع پیوسته شدت بارش و d دوام بارش می‌باشد. متغیر تصادفی I_d بعنوان ماکزیمم مقدار متوسط $x(\varepsilon)$ در عرض d تعریف می‌شود که همان حداکثر شدت سالانه بارش در تداوم d می‌باشد. برنالدو و روسو (۴) و یو و همکاران (۲۱)، بر اساس آنالیز اشکال خودمتمشابه (فرکتال‌ها) دریافتند متغیرهای تصادفی I_d و I_D که به ترتیب حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های مختلف d و D می‌باشد، دارای خصوصیات مقیاسی زیر می‌باشند:

$$I_d = \left(\frac{d}{D}\right)^n I_D \quad (2)$$

در رابطه فوق n توان مقیاس می‌باشد. رابطه فوق نشان می‌دهد که توزیع فراوانی بارش در تداوم‌های مختلف دارای توزیع فراوانی یکسانی می‌باشد. بر اساس خصوصیات مونوفرکتالی یا عدم تغییرپذیری مقیاس داده‌ها اگر از طرفین رابطه فوق گشتاور مرتبه q گرفته شود، خواهیم داشت (۲۱):

داده‌های مورد نیاز برای انجام این تحقیق شامل داده‌های بارانسنجی، هیدرومتری، داده‌های مربوط به فیزیوگرافی حوضه و نیز داده‌های مربوط به مقدار CN یا شماره منحنی می‌باشد. ایستگاه بارانسنجی و ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده در این تحقیق ایستگاه چمانجیر بوده است. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها می‌باشد. جدول زیر مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

استخراج منحنی‌های IDF به روش فرکتال

متغیر تصادفی I_d که نشان دهنده ماکزیمم شدت سالانه بارش با دوام d است، بصورت زیر تعریف می‌شود (۴):

$$I_d = \max_{\text{over one year}} \left[\frac{1}{a} \int_{1-\frac{d}{2}}^{1+\frac{d}{2}} x(\varepsilon) d\varepsilon \right] \quad (1)$$

۲۴ ساعته، d تداوم بارش بر حسب ساعت $I_{d,T}$ ، (hr) شدت بارش در تداوم d و دوره بازگشت T (برحسب mm/hr)، $E(I_{24})$ میانگین شدت حداکثر بارش روزانه (برحسب mm/hr) می‌باشد. بنابراین می‌توان با استفاده از رابطه فوق، که نتیجه تئوری عدم تغییرپذیری مقیاس زمانی بارش است، از روی داده‌های روزانه بارش، منحنی‌های IDF را ساخت. اگر داده‌ها از توزیع گامبل تبعیت کنند در این صورت با جایگزینی K_T مربوط به توزیع گامبل ($EN1$) در رابطه بالا، رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

مشابه رابطه فوق را می‌توان برای دیگر توزیع‌های احتمالاتی نیز استخراج کرد.

قبل از بکارگیری روش فرکتال برای استخراج منحنی‌های IDF باید از وجود رفتار فرکتالی در داده‌های بارش اطمینان حاصل کرد. برای این منظور از روش گشتاور مقیاسی استفاده می‌شود که در این روش، گشتاور آماری مرتبه q برای تداوم مختلف $E(I_d^q)$ محاسبه می‌گردد. سپس گشتاور آماری $E(I_d^q)$ در مقابل تداوم بارش d برای هر مرتبه گشتاور q ترسیم می‌شود. از آنجا که در مطالعه رفتار فرکتالی داده‌ها، هدف بررسی وجود رابطه توانی می‌باشد، در این تحقیق تداوم‌های مورد بررسی نیز یک سری توانی یعنی (day) $d=1,2,4,8$ می‌باشد. همچنین مرتبه گشتاورهای آماری (q) نیز بین ۱ تا ۸ در نظر گرفته شده است (۱۷).

مدل بارش- رواناب HEC-HMS

مدل HEC-HMS نسخه توسعه یافته و تحت ویندوز مدل HEC-1 با کلیه قابلیت‌های موجود در آن است. هیدروگراف‌های محاسبه شده توسط این مدل به طور مستقیم یا در تلفیق با نرم افزارهای دیگر برای اهداف مختلف مطالعات نظیر آب‌رسانی، زهکشی شهری، پیش‌بینی سیل و دبی جریان، تاثیر تغییر کاربری اراضی، طراحی سرریز سدها، مطالعات کنترل سیلاب و بهره‌برداری از سیستم مخازن به کار می‌رود. در واقع این مدل سیستم یا مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی تلفات، تبدیل بارش - رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در رودخانه و مخازن و نیز سازه‌های آبی است. این بسته نرم افزاری مشتمل بر یک برنامه اصلی و پنج زیربرنامه (Subroutine) می‌باشد. دو زیربرنامه وظیفه بهینه‌سازی هیدروگراف واحد، مقدار تلفات آب یا پارامترهای روندیابی جریان سطحی را در مرحله واسنجی اتوماتیک به عهده دارند. سایر زیربرنامه‌ها محاسبه هیدروگراف واحد، روندیابی و ترکیب هیدروگراف‌ها را انجام می‌دهند.

$$E(I_d^q) = \left(\frac{d}{D}\right)^{K(q)} E(I_D^q) = \frac{E(I_D^q)}{D^{K(q)}} d^{K(q)} \quad (۳)$$

در حالت عدم تغییرپذیری مقیاس یا مونوفرکتالی توان مقیاس $K(q)$ برای گشتاور مرتبه q برابر $q \times n$ می‌باشد یعنی $K(q)$ تابعی خطی از q می‌باشد. اگر از رابطه فوق لگاریتم گرفته شود، مشخص می‌گردد که $K(q)$ شیب خط رگرسیونی $\log E(I_d^q)$ در برابر لگاریتم دوام بارش $(\log d)$ است. منابیل و همکاران (۱۴)، با بررسی تئوری اشکال خودمتشابه (یا خودتکرار) در حالت عدم تغییرپذیری مقیاس از روابط فوق، رابطه میانگین و واریانس بارش را در دو تداوم مختلف بصورت زیر ارائه کردند:

$$E(I_d) = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n \quad (۴)$$

$$E(I_d^2) = \frac{E(I_D^2)}{D^{2n}} d^{2n} \quad (۵)$$

$$Var(I_d) = E(I_d^2) - E^2(I_d) \Rightarrow Var(I_d) = \frac{Var(I_D)}{D^{2n}} d^{2n} \quad (۶)$$

در روابط فوق، $E(I_d)$ و $Var(I_d)$ به ترتیب مقدار میانگین و واریانس شدت بارش با دوام d می‌باشد.

اگر داده‌های شدت بارش دارای توزیع فراوانی تجمع‌ی F باشد، آنگاه شدت بارش با دوام d و دوره بازگشت T ، $I_{d,T}$ بر اساس رابطه چو، بصورت زیر قابل تعریف است:

$$I_{d,T} = E(I_d) + K_T \sqrt{Var(I_d)} \quad (۷)$$

در رابطه فوق K_T عامل فراوانی می‌باشد که تابع دوره بازگشت (T) و نوع توزیع احتمالاتی می‌باشد. با جایگزینی روابط ۴ و ۶ در رابطه ۷ خواهیم داشت:

(۸)

$$\begin{aligned} I_{d,T} &= \frac{E(I_D)}{D^n} d^n + \sqrt{\frac{Var(I_D)}{D^{2n}}} d^{2n} \Rightarrow I_{d,T} \\ &= \frac{E(I_D)}{D^n} (1 + C_V K_T) d^n \\ I_{d,T} &= \frac{E(I_D)}{D^n} d^n + \sqrt{\frac{Var(I_D)}{D^{2n}}} d^{2n} \Rightarrow I_{d,T} \\ &= \frac{E(I_D)}{D^n} (1 + C_V K_T) d^n \end{aligned}$$

در رابطه فوق C_V ضریب تغییرات بارش حداکثر سالانه در تداوم D است. از آنجا که معمولاً داده‌های بارش روزانه با دقت خوبی ثبت می‌گردد و به راحتی قابل دسترس می‌باشد بهتر است D برابر ۲۴ فرض شود آنگاه رابطه بالا بصورت زیر ساده می‌شود:

$$I_{d,T} = \frac{E(I_{24})}{24^n} (1 + C_V K_T) d^n \quad (۹)$$

در رابطه فوق، C_V ضریب تغییرات بارش حداکثر سالانه با تداوم

$$I_{d,T} = \frac{E(I_{24})}{24^n} \left[1 - C_v(I_D) \frac{\sqrt{6}}{\pi} (0.5772 + \ln(\ln \frac{T}{T-1})) \right] \quad (۱۰)$$

کریچ ۱۰ ساعت بود که پس از کالیبراسیون مدل این پارامتر برابر ۱۲ ساعت به دست آمد.

نتایج

منحنی‌های IDF استخراج شده با تئوری فرکتال

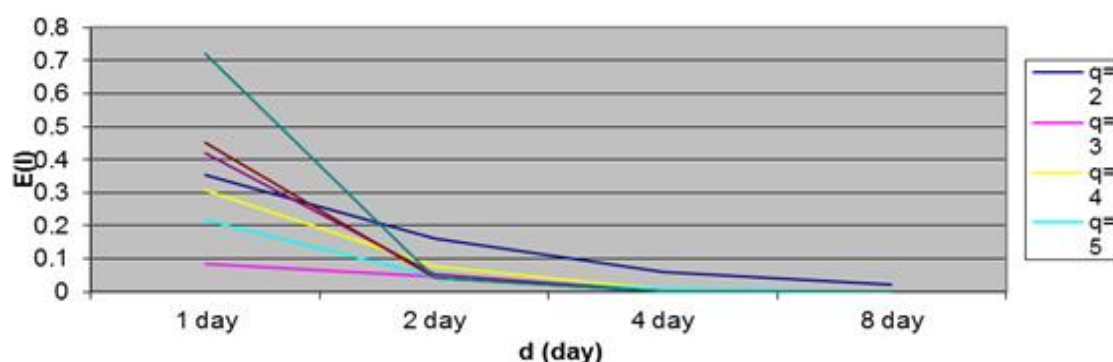
همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود، گشتاورهای آماری در همه مرتبه‌ها در تداوم ۱ تا ۸ روزه از رابطه توانی تبعیت می‌کنند یعنی در مختصات لگاریتمی روی یک خط قرار دارند. این نشان می‌دهد که داده‌های بارش روزانه در بازه ۱ تا ۸ روز از خصوصیت فرکتالی برخوردار هستند و می‌توان در این بازه زمانی، داده‌های بارش را از یک تداوم به تداوم دیگر تبدیل کرد. شیب خطی که مربوط به گشتاور مرتبه q می‌باشد بعنوان مقدار تابع مقیاس $K(q)$ در رابطه $E(I_d^q) = \left(\frac{d}{D}\right)^{K(q)} E(I_D^q)$ مرتبه q تلقی می‌گردد. در شکل ۳ تابع مقیاس $k(q)$ (یا شیب خط) در مقابل مرتبه گشتاور q ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد تغییرات تابع مقیاس $k(q)$ نسبت به مرتبه گشتاور خطی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که نوع فرکتال حاکم بر داده‌های بارش در ایستگاه چمن انجیر مونوفرکتال بوده و از خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس برخوردار است. در رابطه رگرسیونی $k(q)$ و q که دارای ضریب همبستگی رگرسیونی نزدیک به یک می‌باشد، شیب خط بعنوان توان مقیاس (که همان پارامتر n در رابطه $E(I_d) = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n$ است) برابر $0/68$ می‌باشد. در حالت مونوفرکتال، تبدیل تداوم بارش‌ها تنها با یک پارامتر که همان n می‌باشد صورت می‌گیرد که به همین علت داده‌ها از خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس برخوردار هستند.

در مدل حوضه پس از معرفی المان‌های هیدرولوژیکی، در هر زیرحوضه سه بخش تلفات، رواناب مستقیم و آب پایه تعیین می‌گردد. در این تحقیق جهت محاسبه میزان تلفات و جریان پایه رودخانه از روش شماره منحنی و روش فروکش جریان و جهت برآورد رواناب نیز از سه روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، اشنایدر و کلارک استفاده شده است و پس از مقایسه نتایج سه روش در مرحله واسنجی مدل با استفاده از داده‌های بارانسنجی، هیدرومتری، داده‌های مربوط به فیزیوگرافی حوضه و CN یا شماره منحنی، روش هیدروگراف واحد کلارک بعنوان بهترین روش برآورد رواناب حوضه تشخیص داده شد و از این روش در مرحله ارزیابی مدل استفاده گردید. همچنین جهت روندیابی سیلاب از روش ماسکینگهام استفاده شده است. بکارگیری مدل کلارک نیازمند خواص هیستوگرام زمان - مساحت و ضریب ذخیره (R) است. معادله بین زمان - مساحت که در HEC-HMS درج شده است، به صورت زیر است:

$$\frac{A_t}{A} = \left\{ 1.414 \left(\frac{t}{t_c} \right)^{1.5} \quad t \leq \frac{t_c}{2} \right\} \quad (11)$$

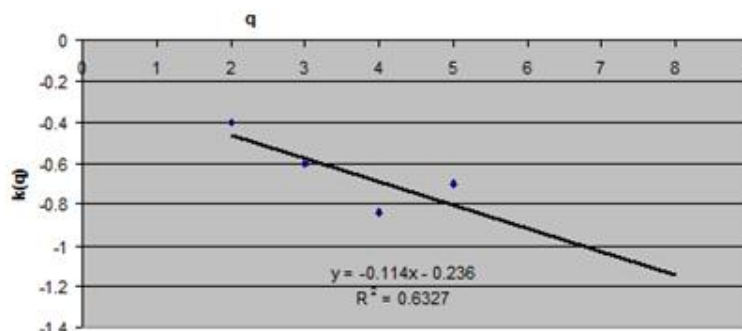
$$\frac{A_t}{A} = \left\{ 1 - 1.414 \left(1 - \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} \quad t > \frac{t_c}{2} \right\} \quad (12)$$

که در آن A_t مساحت تجمعی در زمان t ، مساحت کل حوضه آبخیز و C_t زمان تمرکز حوضه آبخیز می‌باشد. در استفاده از این روش در مدل HEC-HMS معرفی پارامتر t_c ضرورت دارد که مقدار آن با استفاده از روش‌های برآورد زمان تمرکز به دست می‌آید. ضریب ذخیره حوضه (R) شاخص ذخیره زمانی بارش مازاد است که در حوضه آبخیز زهکشی می‌شود. همچنین با توجه به داده‌های بارش رواناب، می‌تواند از طریق واسنجی نیز برآورد شود (۲۰). در این تحقیق برآورد اولیه زمان تمرکز حوضه با استفاده از فرمول تجربی



شکل ۲- گشتاور آماری $E(I_d^q)$ مرتبه q داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف برای ایستگاه باران‌سنجی چمن انجیر

Figure 2- Statistical torque $E(I_d^q)$ in degree q for precipitation data in deferent duration at Chamanjir precipitation station

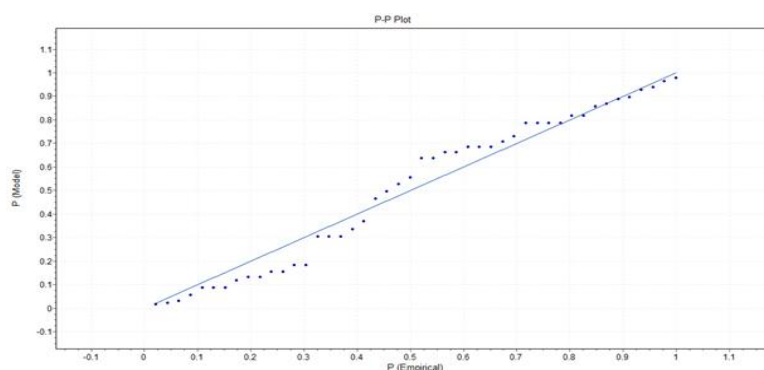


شکل ۳- منحنی تغییرات تابع مقیاس $K(q)$ در برابر q برای داده‌های بارش در ایستگاه باران‌سنجی چمن‌انجیر

Figure 3 – The curve of Changes to the scale function $K(q)$ against q for precipitation data at chamanjir precipitation station

با استفاده از رابطه (۱۰) که برای داده‌های مونوفرکتال با توزیع احتمالاتی گامبل می‌باشد، می‌توان منحنی‌های IDF را استخراج کرد. در این رابطه میانگین و ضریب تغییرات حداکثر شدت بارش سالانه با تداوم روزانه به ترتیب $1/98$ و $0/3$ mm/hr می‌باشد. شکل ۵ منحنی‌های IDF ایجاد شده به روش فرکتال را نشان می‌دهند.

برای استخراج منحنی‌های IDF باید نوع توزیع احتمالاتی مناسب برای داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه تعیین گردد. با آزمون کای اسکور، اندرسون دارلینگ و نیز کولموگروف اسمورنوف در سطح معنی داری ۵ درصد مشخص گردید توزیع احتمالاتی گامبل برای داده‌های حداکثر بارش سالانه مناسب می‌باشد شکل (۴).

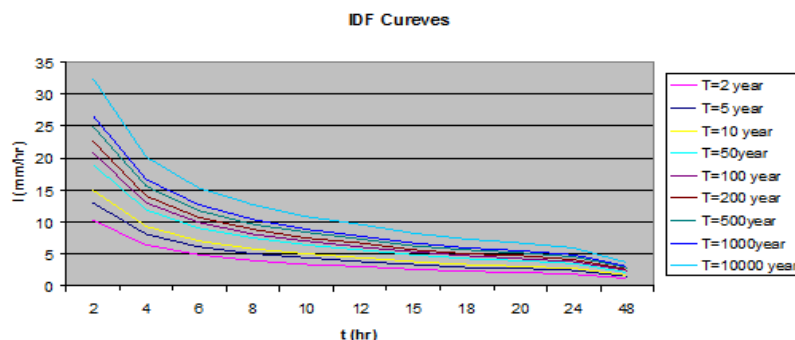


شکل ۴- مقایسه داده‌های حداکثر سالانه بارش روزانه مشاهداتی و برآورد شده با توزیع گامبل برای ایستگاه باران‌سنجی چمن‌انجیر

Figure 4- Comparison of the maximum annual daily precipitation data of observational and estimated with Gumbel distribution for Chamanjir precipitation station

استخراج گردید که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

پس از استخراج منحنی‌های IDF به روش فرکتال، شدت بارش $T_C = 12hr$ برای دوره بازگشت‌های مختلف برای زمان تمرکز $T_C = 12hr$



شکل ۵- منحنی‌های IDF استخراج شده به روش فرکتال برای ایستگاه باران‌سنجی چمن‌انجیر

Figure 5- Extracted IDF Curves using Fractal theory for Chamanjir precipitation station

جدول ۲- شدت بارش طرح در دوره بازگشت‌های مختلف در زمان تمرکز حوضه

Table 2 – Intensity of design precipitation in deferent return period (for concentration time of watershed)

T (year) دوره بازگشت (سال)	I(mm/s) شدت بارش (میلی‌متر بر ثانیه)
2	3.00
5	3.85
10	4.40
50	5.64
100	6.15
200	6.67
500	7.35
1000	7.87
10000	9.58

۱۳۶۴ که از نظر کمیت و کیفیت اطلاعات داده‌های پایه نسبتاً کامل بودند، انتخاب شدند.

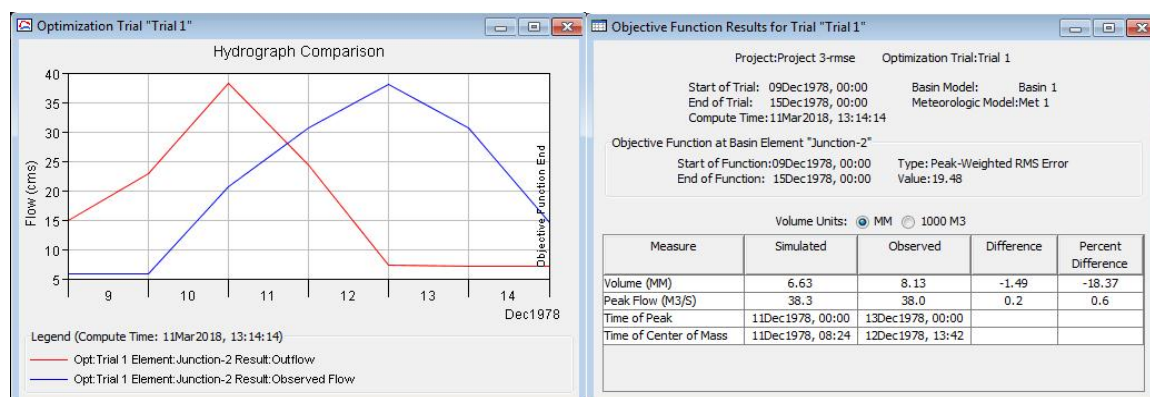
در شکل‌های ۶ و ۷ هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی در ایستگاه هیدرومتری چمانجیر برای بارندگی‌های ذکر شده مقایسه شده‌اند. در این تحقیق با توجه به اینکه جهت تعیین سیلاب طراحی سازه‌های هیدرولیکی، دبی پیک از اهمیت زیادی برخوردار است، بهینه‌سازی پارامترها (شامل نرخ تلفات اولیه، شماره منحنی زیرحوضه‌ها، زمان تمرکز، ضریب ذخیره و ضرایب X و K و ماسکینگهام) با استفاده از معیار $\text{peak} - \text{weighted RMS Error}$ و روش جستجوی شیب یک متغیره انجام شده است. همانطور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، مقایسه بین هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهده‌ای وجود دارد، بگونه‌ای که اختلاف دبی پیک شبیه‌سازی شده و واقعی $0/6$ و $0/2$ درصد برای سیلاب‌های منتخب می‌باشد. دلیل اختلاف زمانی بین نمودار واقعی و نمودار شبیه‌سازی می‌تواند این عامل باشد که در این تحقیق جهت بهینه‌سازی پارامترها از تابع $\text{peak} - \text{weighted RMS Error}$ استفاده شده است.

الگوی توزیع زمانی بارش

در روند تبدیل بارش به رواناب، تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در منطقه تحت مطالعه ضروری است برای اینکار، ابتدا داده‌های بارش چند رگبار رخ داده در منطقه که توسط ایستگاه بارانسنجی چمانجیر ثبت شده بودند با تداوم‌های زمانی متفاوت به صورت بی بعد ترسیم شدند. برای بی بعد کردن داده‌های هر طوفان، مقدار عمق تجمعی بارش تا گام زمانی موردنظر به کل عمق بارش طوفان تقسیم شد. همین روش برای بی بعد کردن محور زمان انجام گرفت. با بررسی داده‌های بارندگی رگبارهای مختلف که توسط ایستگاه چمانجیر ثبت شده است مشخص شد در اکثر بارش‌ها، ۲۰ درصد بارندگی در ربع زمانی اول، ۲۰ درصد بارندگی در ربع زمانی دوم، ۴۰ درصد بارندگی در ربع زمانی سوم و ۲۰ درصد بارندگی در ربع زمانی چهارم به وقوع پیوسته است.

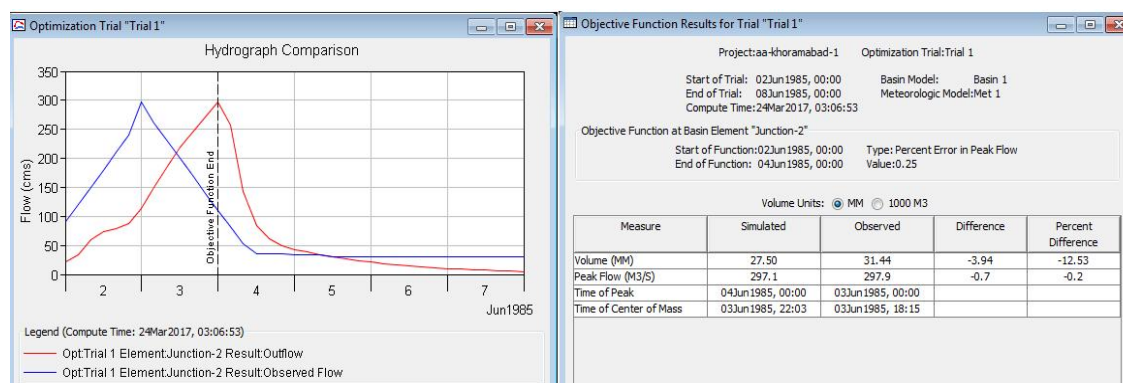
واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

برای واسنجی و صحت سنجی مدل HEC-HMS از بین بارش‌های بحرانی، بارندگی آذر ماه ۱۳۵۷ و بارندگی فروردین ماه



شکل ۶- کالیبراسیون مدل HEC-HMS برای سیلاب آذر ۱۳۵۷

Figure 6- Calibration of HEC-HMS model for flood December 1978



شکل ۷- کالیبراسیون مدل HEC-HMS برای سیلاب فروردین ۱۳۶۴
Figure 7 – Calibration of HEC-HMS model for flood March 2008

طرح محاسبه شده در بخش قبل مورد استفاده قرار گرفت. جدول زیر مقادیر سیلاب طرح را در دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد.

پس از واسنجی مدل بارش - رواناب HEC-HMS برای منطقه مورد مطالعه از این مدل جهت برآورد سیلاب طرح با استفاده از بارش

جدول ۳- دبی پیک سیلاب طرح حوضه آبریز در دوره بازگشت‌های مختلف
Table 3 – The peak discharge of design flood of watershed in deferent return period

دوره بازگشت (سال) T (year)	دبی (مترمکعب بر ثانیه) Q(m ³ /s)
2	144
5	243
10	327
50	557
100	671
200	789
500	946
1000	1100
10000	1682

بازگشت‌های مختلف (از ۲ سال تا ۱۰۰۰۰ سال) تخمین زده شد که دبی اوج سیلاب شبیه‌سازی شده در جدول شماره ۳ آرایه شده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش هیدروگراف واحد کلارک نسبت به سایر روش‌ها در این حوضه مناسب‌تر می‌باشد. نتیجه تحقیق حاضر با نتیجه تحقیق نوری قیداری که از روش تئوری فرکتال برای داده‌های ایستگاه باران سنجی تنگه‌پنچ واقع در استان خوزستان استفاده کردند و نتایج ایشان حاکی از قابل استفاده بودن از این تئوری در حوضه مورد مطالعه بود در یک راستا قرار دارد. همچنین با آزمون کای اسکور، اندرسون دارلینگ و نیز کولموگروف اسمورنوف در سطح معنی داری ۵ درصد مشخص گردید توزیع احتمالاتی گامبل برای داده‌های حداکثر بارش سالانه مناسب می‌باشد. در نهایت بعنوان پیشنهاد جهت مطالعات آینده، توصیه می‌شود که در مطالعات آبی در این حوضه، سیلاب طرح با استفاده از سایر مدل‌های بارش برآورد و نتیجه حاصل با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق منحنی‌های IDF حوضه آبخیز با استفاده از تئوری فرکتال ترسیم گردید. نتیجه این تحقیق نشان داد که با توجه به عدم ثبت آمار ساعتی بارش در تداوم‌های مختلف، استفاده از روش فرکتال می‌تواند راه مفیدی در تهیه منحنی‌های IDF در این حوضه باشد و از روی داده‌های روزانه بارش که در دسترس است این منحنی‌ها بدست آید. همچنین استفاده از مدل بارش رواناب HEC-HMS نشان داد که تطابق خوبی بین هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد و می‌توان از این مدل جهت برآورد میزان رواناب حوضه استفاده کرد و علت آن در نظر گرفتن متغیرهای مختلف هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه می‌باشد. در این تحقیق جهت بهینه‌سازی پارامترها از تابع $\text{peak} - \text{weighted RMS Error}$ استفاده شد و درصد تفاوت دبی پیک بین دبی شبیه‌سازی و دبی مشاهده شده در مرحله واسنجی برای دو سیلاب منتخب ۰/۶ درصد و ۰/۲ درصد بوده است. علاوه بر این پس از واسنجی مدل بارش - رواناب، هیدروگراف سیل در دوره ی

منابع

1. Azari M., Sadeghi H.M., Talvari A. 2008. Determine the participation of sub-basins of Jaghrgh in peak discharge and runoff volume to prioritize flood control. *Geography and Development*, 12: 199-212. (in Persian with English abstract)
2. Bara M. 2008. Analysis of short-term rainfall intensities the simple scaling approaches. *Proceedings of the 20th Conference of young hydrologists, SHMI, Bratislava, CD, 10 p.*
3. Bara M. 2009. Scaling properties of extreme rainfall in Slovakia. *Proceedings of the 11th international science conference of PhD Students, Juniorstav, VUT Brno, CD, 6 p.*
4. Burlando P., and Rosso R. 1996. Scaling and multiscaling models of depth – duration – frequency curves for storm precipitation. *Journal of Hydrology*, 187: 45-65.
5. Cheng K.S., Hueter I., Hsu E.C., and Yeh H.C. 2001. A Scaling Gauss-Markov for Design Storm Hyetographs. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(3): 723-736.
6. Danandehmehr A., Majdzadeh Tabatabai M.R. 2010. Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programmin. *Journal of Water and Soil*, 24: 325-333. (In Persian with English abstract)
7. Deidda R. 2000. Rainfall downscaling in Space – time multifractal framework. *Water Resource Research*, 36: 1779-1794.
8. Fazaeei H. 2010. Using Genetic Planning Method in Rainfall Modeling. M.S thesis, Water Engineering Department, Tabriz University.
9. Hajizadeh M., Noorani V. 2011. Presenting a Geomorphological Runoff-Runoff Model Based on the Concept of Nonlinear Cascading Tanks. 6th National Congress of Civil Engineering, Semnan University, p. 1-8. (in Persian)
10. Haghizadeh A., Mohammadloo M., Noori F. 2015. Simulation of Runoff Rainfall Process Using Artificial Neural Network and Fuzzy Neuro-Comparative System and Multivariate Regression (Case Study : Khorramabad Watershed). *Journal of ecohydrology*, 2: 233-243. (in Persian)
11. Kamali M., Solaimani K., Shahedi K., Gord- Noshahri A., Gomrokchi A. 2015. Determining the Flooding Points and Prioritizing Subcatchments of Barajin Catchment of Qazvin Using Hec-HMS and GIS. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 9(27-34): 27-34. (in Persian with English abstract)
12. Malamud B. D., and Turcotte D.L. 2006. The applicability of power law frequency statistics of floods. *Journal of hydrology*, 322:168-180.
13. Molnar P., and Burlando P. 2005. Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model. *Atmospheric Research*, 77:137-151.
14. Menable M., Seed A., and Pegram G. 1999. A simple scaling model for extreme rainfall. *Water Resources* , 35: 335-339.
15. Nasri M., Soleimani, F., and Katani, M. 2011. Simulation of the Rainfall-Runoff Process Using of HEC-HMS Hydrological Model (A Case Study of Sheikh Bahaei Dam Basin). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 54: 548-562.
16. Nhat L.M, Tachikawa Y., Sayama T., and Takara K. 2007. Regional rainfall intensity – duration – frequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. *Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, 50: 33-43.
17. Noori Gheidari M.H. 2012, Extracting the Intensity - Duration – Frequency Curves with Daily Precipitation Data Using Fractal Theory. *Journal of Water and Soil*, 26(3): 718-726. (in Persian with English abstract)
18. Soltani A., Gorbani M.A., Fakheri Fard A., Darbandi S., and Farsadizadeh D. 2009. Genetic Programming and Its Application in Rainfall-Runoff Modeling. *Journal of Water and Soil*, 20.1(4): 63-73. (in Persian with English abstract)
19. Taheri Tizro A., Pakdel Khasmakhi H., Marofi S., and Vazifedoust M. 2016. Integrated HEC-HMS and GLDAS models to runoff estimate of ungauged area. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4):. 101-118. (in Persian with English abstract)
20. US Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic Modeling System HEC_HMS: Technical Reference Manual, USA.
21. Yu P.S., Yang T.C., and Lin C.S. 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *Journal of Hydrology*, 295:108-123.



Estimation of Design Flood Using Fractal Theory and HEC-HMS Model (Case Study: Khorramabad River Basin)

H.R. Babaali¹- Z. Ramak^{2*} - R. Sepahvand³

Received: 23-04-2018

Accepted: 22-10-2018

Introduction: Estimating the design flood of the basin for the design of hydraulic structures, stabilization of river banks, watersheds and flood zoning projects are the most important in hydraulic and hydrological issues and projects. The flood used to design structures and influenced by hydrological events is called design flood which depends on structure safety, cost, life expectancy, and possible damage. Intensity- duration- frequency (IDF) curves of rainfall is a hydrological tool for the estimation of the design flood and design of hydraulic structures. These curves are constructed for a region from rainfall data which are recorded at various continuations. Usually, in some countries such as Iran which has a large extent, there is not enough rain-gage station; or the length of the statistical period is low, so it is impossible to calculate the IDF curves. But since it is not usually possible to access daily rainfall data, the fractal theory can be used to estimate the precipitation data in different consistency and the IDF curve with a very good accuracy.

Materials and Methods: Korramabad river basin, one of sub-basin of Karkhe basin, often has been exposed to destructive floods and damages caused by it. In this research, the intensity-duration-frequency curves of the catchment area are estimated using fractal theory at first, and then the design precipitations are obtained in different return periods. In the next step we calibrated HEC-HMS rainfall- runoff model and finally the design floods are estimated in different return periods. The HEC-HMS model is an extension of the HEC-1 model under Windows, with all its capabilities. Hydrographs calculated by this model are used directly or in combination with other software for various purposes such as water supply, urban drainage, flood and flow forecasting, land use change, flood control studies and exploitation of reservoir systems.

In this research, SCS curve number method and recession method are used to calculate the losses and base flow. Also for estimation of runoff, SCS curve number, Snyder unit hydrograph and Clark unit hydrograph are used in three methods and after comparing the results of the three methods in the calibration stage of the model, the Clarke unit hydrograph method is identified as the best method for estimating runoff. Also the Maskingham method has also been used for flood routing. The data needed for this study include rain gage data, hydrometric data, physiographic data of the basin, and also amounts of CN or curve number of the basin. Rain gage and hydrometric station used in this research are Chamanjir station.

In this research, due to the importance of peak discharge for designing hydraulic structures, the optimization of the parameters has been done using the peak-weighted RMS Error criterion. In the calibration step, Comparison between hydrographs shows that there is a good agreement between computational and observational hydrographs, in such a way that the difference between the simulated and the actual peak discharge are 0.6, 0.2 percent for the selected floods. After calibration of the HEC-HMS rainfall runoff model for the studied area, this model is used to estimate the design flood. In the process of conversion precipitation to runoff, it is necessary to determine the pattern for temporal distribution of rainfall at the stations and in the area. To do so, the non-dimensional rainfall data are plotted for some storms with different time durations. For making data for each storm non-dimensional, the accumulated depth of precipitation to the desired time step was divided by the total depth of storm's rainfall. The same procedure was carried out to make the time axis non-dimensional. By analyzing the precipitation data of the recorder station at the basin, it was found that in the majority of the precipitations, 20% of rainfall occurs in the first quarter, 20% in the second quarter, 40% in the third quarter and 20% in the fourth quarter.

Results and Discussion: The results of this research show that:

1- Assistant Professor of Civil Department, Islamic Azad University branch of Khorramabad, Khorramabad, Iran

2- PhD of Water Resource Engineering, Islamic Azad University branch of science and research, Tehran, Iran

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

3- Ms in field of Civil Engineering- Graduated from Isfahan University of Technology

- Daily precipitation data have a fractal characteristic in the ranging from 1 to 8 days, and during this time interval, rainfall data can be converted from a continuity to another continuity.
- Due to the lack of recorded rainfall statistics in different continuations, using fractal method can be a useful way to prepare IDF curves in this basin and these curves are obtained based on the daily rainfall data available.
- There is high efficiency of fractal model and HEC-HMS model in this catchment and the Gambel probabilistic distribution is appropriated for the maximum daily rainfall data of this basin.

Keywords: Design precipitation, IDF curves, Hydrological model, Lack of data

بسط منحنی‌های هاف برای پنج ایستگاه منتخب در شرق دریاچه ارومیه

ساینا وکیلی آذر^{۱*} - یعقوب دین پژوه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸

چکیده

در این مطالعه، با استفاده از آمار رگبارهای به‌ثبت رسیده (۵۱۷ رویداد) در ۵ ایستگاه عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و لبقوان (واقع در شرق دریاچه ارومیه)، منحنی‌های هاف بسط داده شد. کل رویدادهای منتخب براساس مدت دوام رگبار در چهار کلاس متمایز به‌شرح ۱- صفر تا دو، ۲- دو تا شش، ۳- شش تا دوازده و ۴- بیش از دوازده ساعت دسته‌بندی شدند. در ادامه به‌ازای درصد احتمالات ۱۰٪، ۲۰٪، ... و ۹۰٪ منحنی‌های هاف برای هر دسته رسم گردید. همچنین منحنی‌های هاف برای کل رویدادها (بدون دسته‌بندی) در هر پنج ایستگاه نیز تهیه شد. علاوه بر این، سه شاخص جدید که نشان‌دهنده نسبت درصد عمق بارش از آغاز بارندگی تا پایان ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ زمان بارندگی منحنی هاف ۵۰ درصد به منحنی هاف ۹۰ درصد می‌باشند، به‌صورت I_S و Q تعریف شد. هیتوگراف رگبار طرح در هر ایستگاه برای کل رویدادها (بدون کلاس‌بندی) بازای منحنی هاف ۵۰ درصد به‌دست آمد. همچنین، مدل ریاضی منحنی‌های هاف به فرم مدل لاجستیک بسط و پارامترهای آن تخمین زده شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، برای کلاس‌های با مدت دوام کمتر از ۶ ساعت بخش قابل توجهی از بارش در چارک‌های اول یا دوم زمانی رخ می‌دهد. این درحالیست که برای بارش‌های با مدت دوام بیش از ۶ ساعت، بارش‌ها با شدت کم آغاز شده و به‌تدریج تا آخر بارندگی بر شدت آن‌ها افزوده می‌شود. با توجه به نتایج حاصله، روند تغییرات مقادیر شاخص‌های I_S و Q به‌صورت $S > I > Q$ می‌باشد. نتایج نشان داد که مدل لاجستیک قادر است رگبارها را در ایستگاه‌های منتخب به‌خوبی برازش کند، طوریکه ضریب همبستگی بین مشاهدات و مدل به‌دست آمده در محدوده (۰/۹۷۸-۰/۹۹۸) بود که از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

واژه‌های کلیدی: بارش طرح، توزیع زمانی بارش، دریاچه ارومیه، منحنی‌های هاف

مقدمه

پهنه‌بندی کردند. آن‌ها به منظور انتخاب الگوی رگبار در برنامه‌های کاربردی، عوامل موثر بر بارش را با جداول توافقی مورد بررسی قرار دادند. عزلی و راثو (۲) منحنی‌های هاف را برای سیزده ایستگاه واقع در شبه جزیره مالزی با استفاده از داده‌های ساعتی بارش رسم کردند. بنابه نظر ایشان این منحنی‌ها برای ایستگاه‌های مذکور دارای الگوی مشابهی بودند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که منحنی‌های هاف شبه جزیره مالزی، بسیار شبیه به منحنی‌های نظیر ایالات متحده است. اوادا... و یانان (۱) با استفاده از داده‌های رگبارهای ثبت شده در عربستان سعودی توزیع رگبارها را مطالعه نمودند. ایشان تحلیل بارش-رواناب را به‌منظور تعیین دبی اوج سیلاب‌ها انجام دادند. بوستامی و همکاران (۳) الگوی توزیع زمانی بارش را برای بخش جنوبی شهر سراواک واقع در کشور مالزی توسعه دادند. نتایج حاکی از آن بود که توزیع زمانی بارش‌های منطقه مورد مطالعه متفاوت با الگویی بود که قبلاً توسط سازمان آب مالزی بسط داده شده بود. اوی و همکاران (۴) با استفاده از داده‌های بارش، ایستگاه‌های باران‌سنجی مکه در یک دوره بیست ساله، الگوی توزیع بارندگی را مشخص

فهم دقیق الگوی توزیع زمانی عمق رگبار در زمان وقوع آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. مثلاً برای جمع‌آوری و انتقال آب ناشی از بارش‌های شدید لازم است ابعاد زهکش‌های شهری براساس تجزیه و تحلیل توزیع بارش در مدت دوام آن تخمین زده شود. منحنی‌های هاف، نمودار عمق بارش رسیده به زمین را در طول مدت دوام آن (بصورت بی‌بعد) بازای احتمالات مختلف نشان می‌دهد. به همین دلیل، مطالعه الگوی توزیع بارش با روش رسم منحنی‌های هاف مورد توجه بسیاری از هیدرولوژیست‌ها قرار گرفته است. وو و همکاران (۱۵) تعیین الگوی زمانی بارندگی را در تحلیل هیدروسیتسم‌ها ضروری دانسته‌اند. ایشان با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای الگوی بارندگی بی‌بعد را در روی نقشه هنگ کنگ

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: Sainavazar@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.72443

ضرورت دارد. به نظر می‌رسد، انجام چنین مطالعه‌ای ضروری باشد. تا کنون در این حوضه، منحنی‌های هاف (با داده‌های به‌روز شده) ترسیم نشده است. هدف این مطالعه، رسم منحنی‌های هاف در ایستگاه‌های عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و ليقوان (واقع در منطقه شرق دریاچه ارومیه) با داده‌های به‌روز شده و تهیه هیتوگراف بارش طرح باتوجه به منحنی هاف ۵۰ درصد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شرق حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. ۵ ایستگاه در این حوضه برای تحلیل انتخاب شد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و خلاصه آماری بارش‌های این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۱ نیز موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این مطالعه، برای تمییز دادن رگبارها از هم فرض شد که فاصله‌ی زمانی بین پایان رگبار و آغاز رگبار بعدی حداقل برابر با یک ساعت است. در صورتیکه این فاصله کمتر از شصت دقیقه باشد، این دو در هم ادغام شده و به‌عنوان یک رخداد مستقل در نظر گرفته شد. لازم به اشاره است که برای تمییز دادن رگبارها از همدیگر یک فاصله زمانی ثابت که برای همه اقلیم‌های مختلف قابل استفاده باشد، وجود ندارد و در مطالعات مختلف این فاصله زمانی با عده‌های مختلفی اشاره شده است مثلاً هاف (۸) در سال ۱۹۶۷ برای منطقه ایالت ایلینویز آمریکا مدت زمان ۶ ساعت را برای همه فصول سال به‌طور ثابت در نظر گرفته است. در مطالعه فعلی، برای ناحیه شرق دریاچه ارومیه این بازه زمانی یک ساعته، به صورت سلیقه‌ای و با توجه به خصوصیات اقلیمی منطقه‌بکار گرفته شده است.

داده‌ها و روش‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده، شامل مقادیر بارش‌های ساعتی و دقیقه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌نگار ثبات عجب‌شیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و ليقوان در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۸۰ می‌باشد. رویدادهایی که حداقل عمق بارش آن‌ها ۳ میلی‌متر و مدت دوام بارندگی آن‌ها حداقل ۲۰ دقیقه باشد (به‌طور سلیقه‌ای)، برای تجزیه و تحلیل انتخاب شد. بطوریکه اشاره شد اگر فاصله زمانی بین دو بارش متوالی بیش از یک ساعت بود، این دو بارش به‌طور جداگانه بصورت یک رگبار مستقل در نظر گرفته می‌شد. داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید.

نمودند. نتایج حاکی از آن بود که قسمت اعظم بارش‌های این منطقه در چارک‌های اول و دوم نازل می‌شود. تودیسکو (۱۳) با استفاده از اطلاعات ۲۲۸ رگبار در ایستگاه ماس (واقع در مرکز ایتالیا) رگبارهای یک دوره آماری پنج ساله (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵) را تحلیل کرد. جیانگ و همکاران (۹) خصوصیات رگبارها شامل مدت دوام، شدت و الگوی بارندگی را در هشت ایستگاه ایالات متحده بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های مذکور قادر به شناسایی تغییرات فصلی رگبارها از نظر مدت دوام آن‌ها هستند. ولی از نظر شبیه‌سازی عمق بارندگی عملکرد خوبی ندارند. قصابی و همکاران (۶) برای محاسبه توزیع زمانی بارندگی در طول مدت دوام آن از تابع سه پارامتری لاجستیک استفاده کردند. برای اینکار از ۳۵ رگبار سنگین استفاده شد. وانگ و همکاران (۱۴) با بررسی الگوی بارندگی مربوط به ۸۴ رگبار در فاصله زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ در پکن چین نشان دادند که حدود ۴۰ درصد عمق بارش در یک سوم اول زمان بارندگی نازل می‌شوند. نیوگی و همکاران (۱۲) ارتباط بین بارش و توسعه شهرسازی را در شرق ایالات متحده مطالعه نمودند. نام‌برندگان از بارش‌های روزانه ۴۵۹۳ ایستگاه در ۵۰ سال گذشته استفاده کردند. در ایران نیز در رابطه با توزیع زمانی بارش در طول مدت دوام آن، مطالعات محدودی انجام شده است. مثلاً قهرمان (۵) با توجه به اطلاعات هشت سال دوره آماری، رگبارهای کوتاه مدت خراسان را تحلیل نمود. حاتمی‌یزد و همکاران (۷) با استفاده از گراف‌های باران‌نگار، عمق بارش را در فواصل زمانی مشخص بدست آورده و در چهار چارک متمایز دسته‌بندی کردند. نتایج حاکی از آن بود که در ۳۵ درصد موارد، بیشترین مقدار بارش در چارک دوم رخ می‌دهد. خاک‌سفیدی و همکاران (۱۱) برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان از گراف‌های ۹ ایستگاه باران‌سنج ثبات استفاده کردند. برای این‌کار، از اطلاعات رگبارهای شدید هر ایستگاه در تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته بهره گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که حدود ۸۰ درصد از عمق بارش در تداوم‌های کوتاه مدت (۱، ۲، ۳ و ۶ ساعته) در ۲۵ درصد اول و دوم زمان بارندگی نازل می‌شود. به همین ترتیب، در تداوم‌های بلند مدت (۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته) درصد زیادی از عمق بارش در چارک سوم زمانی اتفاق می‌افتد. کریمی و همکاران (۱۰) از روش‌های ین و چاو، شیکاگو و بلوک‌های ساختگی برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در بابلسر استفاده نمودند. در سال‌های اخیر وضعیت بسیار نامناسبی برای منابع آب حوضه دریاچه ارومیه حاکم بوده است. به همین خاطر لازم است، مدیریت منابع آب این حوضه با دقت و روش‌های علمی انجام شود. برای این کار، شناخت توزیع زمانی بارش‌ها با توجه به آمار به‌هنگام



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Figure 1- The geographical location of the selected stations in Urmia lake basin

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب و خلاصه آماری بارش‌های آن در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Table 1 - The geographical location of the selected stations and their rainfall statistics in Urmia lake basin

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش سالانه Annual precipitation (mm)	تعداد کل رگبارها Total no of storms	انحراف معیار (mm) Standard deviation	ضریب چولگی Skewness
Station	Latitude	Longitude	Altitude				
عجبشیر Ajabshir	37°28' 07"	45°53' 41"	1326	245.5	37	93.14	1.07
آذرشهر Azarshahr	37°45'04"	45°58'39"	1416	241.12	100	76.45	-0.64
بناب Bonab	37°24'16"	46°01'31"	1292	259.88	52	101.59	0.72
بستان آباد BostanAbad	37°50'57"	46°49'60"	1733	258.98	126	95.46	0.04
لیقوان Ligvan	37°49'57"	46°25'56"	2274	352.68	202	88.17	0.16

توجه: آماره‌های مندرج در چهار ستون آخر با توجه به داده‌های مشاهده شده در دوره آماری ثبت شده برای هر ایستگاه می‌باشد.

Note: The statistics in the last four columns obtained from the time period of each station.

است. برای هر کدام از کلاس‌های مذکور و ایستگاه‌ها منحنی‌های هاف به‌طور جداگانه ترسیم شد.

با توجه به این که فاصله قائم منحنی‌های هاف ۵۰ درصد و ۹۰ درصد در چارک‌های اول، دوم و سوم زمان رگبار می‌تواند به عنوان شاخص‌هایی برای تفکیک الگوی بارندگی ایستگاه‌ها با هم باشد بنابراین، در این مطالعه سه شاخص جدید با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد و ۹۰ درصد به شرح زیر معرفی شد:

شاخص اول که با نماد S بیان می‌شود، با توجه به اطلاعات چارک اول به شرح زیر تعریف گردید:

$$S = \frac{P_{50-25\%t}}{P_{90-25\%t}} \quad (1)$$

جدول ۲ تعداد رگبارهای ایستگاه‌های مورد مطالعه (عجبشیر، آذرشهر، بناب، بستان‌آباد و لیقوان) را در دوره‌ی آماری ۱۳۸۰-۱۳۹۴ به تفکیک مدت دوام‌های مختلف بارش نشان می‌دهد. در این مطالعه کل رگبارها (۵۱۷ مورد ثبت شده) بر اساس مدت دوام آن‌ها به چهار کلاس بارشی به شرح ۰-۲ ساعت، ۲-۶ ساعت، ۶-۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت تفکیک و مطابق جدول ۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. علاوه بر مراحل فوق، کلیه‌ی رویدادهای بارشی در هر ایستگاه در یک دسته منفرد تجمیع و منحنی هاف کلی برای هر ایستگاه رسم شد. بطوریکه از جدول ۲ می‌توان استنباط کرد، بیشترین تعداد رگبارهای ثبت شده متعلق به کلاس بارشی با مدت دوام دو تا شش ساعت و پس از آن مربوط به کلاس بارشی کمتر از ۲ ساعت

جدول ۲- تعداد رگبارهای مورد استفاده در ایستگاه‌های منتخب.

Table 2- Number of used storms in the selected stations.

نام ایستگاه Station name	مدت دوام رگبار (ساعت) Storm duration (hr)				جمع کل Total sum
	کمتر از ۲ <2	۲ تا ۶ 2-6	۶ تا ۱۲ 6-12	بیش از ۱۲ 12>	
عجبشیر Ajabshir	13	10	11	3	37
آذرشهر Azarshahr	30	39	20	11	100
بناب Bonab	15	19	13	5	52
بستان آباد Bostan Abad	58	34	25	9	126
لیقوان Ligvan	49	89	40	24	202

رگبارها، منحنی‌های مربوط به احتمال ۵۰ درصد در نظر گرفته شدند. به‌منظور تهیه هیتوگراف رگبار طرح، مقادیر تراکمی درصد عمق بارش به مقادیر جزئی درصد عمق بارش (به‌صورت غیر تراکمی) تبدیل شدند.

بسط مدل لاجستیک

بنابه توصیه قصابی و همکاران (۶) برای هر دسته از رگبارها مدل ریاضی منحنی هاف ۵۰ درصد برای یکایک ایستگاه‌ها به صورت لاجستیک به‌شرح زیر بسط داده شد.

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}} \quad (۴)$$

که در آن a ، b و c ثابت‌های مدل و y درصد تجمعی عمق ریزش باران و x درصد تجمعی زمان از ابتدای بارندگی می‌باشد. مقادیر a ، b و c با روش بهینه‌سازی برای هر منحنی هاف بدست آمد.

نتایج و بحث

برای سهولت بررسی نتایج، ابتدا نتایج مربوط به کلاس‌های بارندگی با مدت دوام‌های مختلف ۴ گانه و سپس نتایج مربوط به کلیه رویدادها (بدون دسته‌بندی رگبارها) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه می‌شود. جدول ۳ مقادیر درصد ریزش بارش را در کلاس‌های مختلف مدت دوام بارش و هر یک از چارک‌های زمانی در ایستگاه‌های منتخب با توجه به منحنی‌های هاف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای ایستگاه عجبشیر، تعداد رویدادهای بارندگی با مدت دوام بیشتر از ۱۲ ساعت کم (فقط ۳ رگبار ثبت شده) موجود بود و لذا تحلیل آن‌ها انجام نشد.

که در آن $P_{50-25\%t}$ عبارت است از مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۵۰ درصد تا آخر چارک اول (صدک ۲۵) زمان رگبار نازل می‌شود. افزون بر این، $P_{90-25\%t}$ به‌صورت مقدار درصد تراکم عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۹۰ درصد تا آخر چارک اول نازل می‌شود. این دو از محور قائم دیاگرام هاف (به‌عنوان نمونه شکل ۲ برای دسته رگبارهای با دوام ۲-۰ ساعت) در ۲۵ درصد اول زمان بارش قرائت شده و شاخص S محاسبه گردید. به‌طور مشابه شاخص‌های دوم و سوم که به‌ترتیب با نمادهای I و Q بیان می‌شوند، با توجه به اطلاعات چارک دوم و سوم (به‌ترتیب) به‌شرح زیر تعریف شد:

$$I = \frac{P_{50-50\%t}}{P_{90-50\%t}} \quad (۲)$$

$$Q = \frac{P_{50-75\%t}}{P_{90-75\%t}} \quad (۳)$$

که در رابطه ۲، $P_{50-50\%t}$ مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۵۰ درصد تا آخر چارک دوم زمان رگبار نازل می‌شود. کمیت $P_{90-50\%t}$ نیز مقدار درصد تراکمی عمق بارش است که از روی منحنی با احتمال ۹۰ درصد تا آخر چارک دوم نازل می‌شود. در رابطه ۳ نیز، $P_{50-75\%t}$ مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۵۰ درصد تا آخر چارک سوم زمان رگبار نازل می‌شود. ضمناً $P_{90-75\%t}$ نیز مقدار درصد تراکمی عمق بارش که از روی منحنی با احتمال ۹۰ درصد تا آخر چارک سوم نازل می‌شود.

هیتوگراف رگبار طرح

در این مطالعه، از روی منحنی‌های هاف رسم شده، هیتوگراف بارش طرح به‌ازای منحنی هاف ۵۰ درصد برای ایستگاه‌های مذکور به‌دست آمد. برای این کار، با توجه به منحنی‌های هاف نظیر همه‌ی

جدول ۳- مقادیر درصد ریزش بارش در ایستگاه‌های منتخب به تفکیک کلاس‌های بارشی

Table 3- The values of the percentage of precipitation received in the selected stations in the distinct precipitation classes

نام ایستگاه Station name	کلاس ۰-۲ ساعت Class 0-2 hours			
	چارک اول First Quartile	چارک دوم Second Quartile	چارک سوم Third Quartile	چارک چهارم Fourth Quartile
عجشیر Ajabshir	36(14)	35(30)	22(27)	7(29)
آذرشهر Azarshahr	36(7)	33(23)	21(37)	10(33)
بناب Bonab	44(17)	39(50)	14(23)	3(10)
بستانآباد Bostan Abad	28(8)	42(20)	22(41)	8(31)
لیقوان Ligvan	33(9)	24(17)	30(37)	13(37)
	کلاس ۲-۶ ساعت Class 2-6 hours			
عجشیر Ajabshir	34(10)	23(12)	21(40)	22(38)
آذرشهر Azarshahr	39(4)	27(19)	19(35)	15(42)
بناب Bonab	27(7)	34(20)	19(28)	20(45)
بستانآباد Bostan Abad	23(6)	31(12)	28(36)	18(46)
لیقوان Ligvan	25(7)	27(16)	28(34)	20(43)
	کلاس ۶-۱۲ ساعت Class 6-12 hours			
عجشیر Ajabshir	23(10)	31(19)	18(24)	28(47)
آذرشهر Azarshahr	22(5)	31(12)	27(42)	20(41)
بناب Bonab	19(7)	22(16)	33(28)	26(49)
بستانآباد Bostan Abad	28(7)	30(20)	18(16)	24(57)
لیقوان Ligvan	25(5)	27(19)	29(28)	19(48)
	کلاس بیش از ۱۲ ساعت Class more than 12 hours			
آذرشهر Azarshahr	35(17)	23(18)	18(17)	24(48)
بناب Bonab	26(11)	30(14)	25(12)	19(63)
بستانآباد Bostan Abad	28(20)	30(23)	29(28)	13(29)
لیقوان Ligvan	17(8)	24(12)	32(29)	27(51)
	تجمع رگبارها All storms			
عجشیر Ajabshir	28(11)	28(19)	25(29)	19(41)
آذرشهر Azarshahr	31(8)	31(14)	23(35)	15(43)
بناب Bonab	29(7)	34(19)	22(34)	15(40)
بستانآباد Bostan Abad	26(7)	37(16)	25(36)	12(41)
لیقوان Ligvan	25(7)	28(15)	29(34)	18(44)

توجه: اعداد داخل جدول شامل درصد ریزش بارش مربوط به منحنی هاف ۵۰ درصد و ارقام داخل پاراتنز مربوط به منحنی هاف ۹۰ درصد می‌باشند.

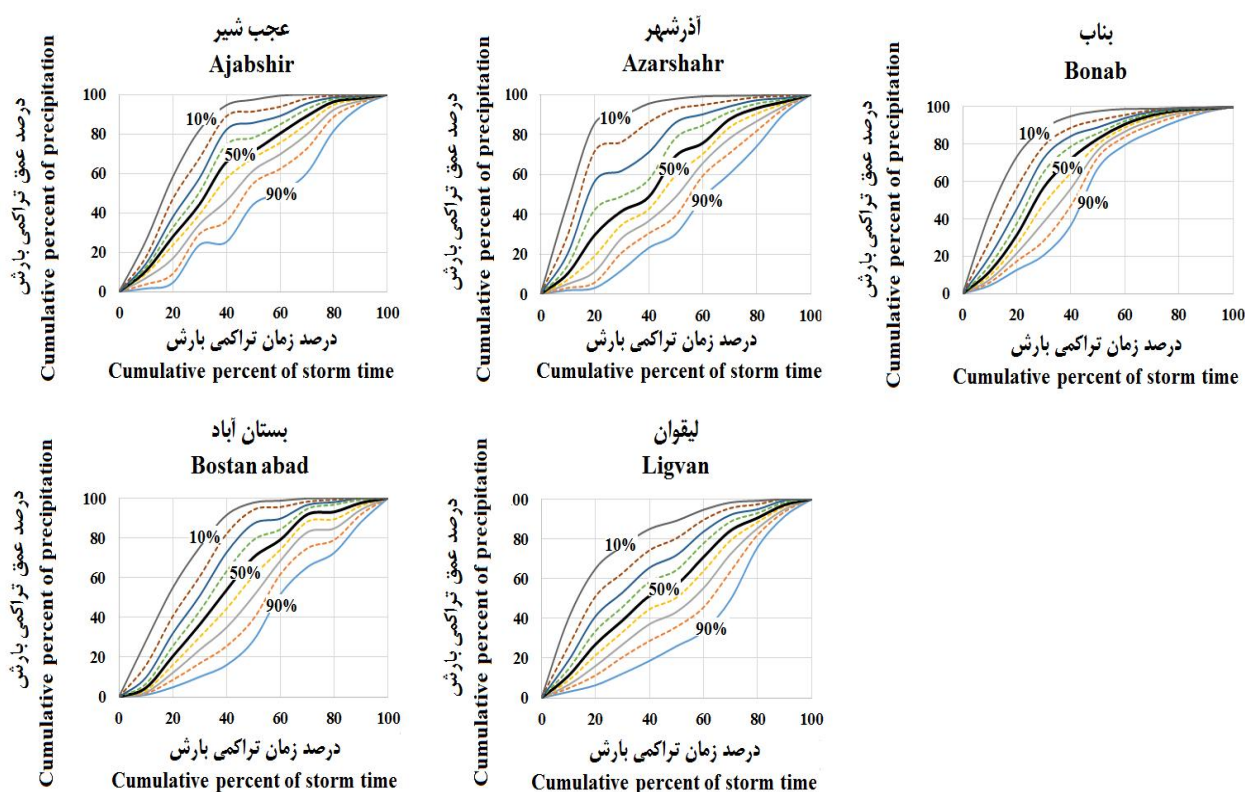
Note: Digits in the table are the percent of precipitation received with respect of 50 percent Huff curve and the digits in parentheses are relevant to 90 percent Huff curve.

جدول ۴ نیز مقادیر پارامترهای مدل لاجستیک و ضریب همبستگی بین مشاهدات و مقادیر محاسباتی از مدل و آماره t را برای ایستگاه‌های منتخب و به تفکیک کلاس‌های مختلف بارشی نشان می‌دهد.

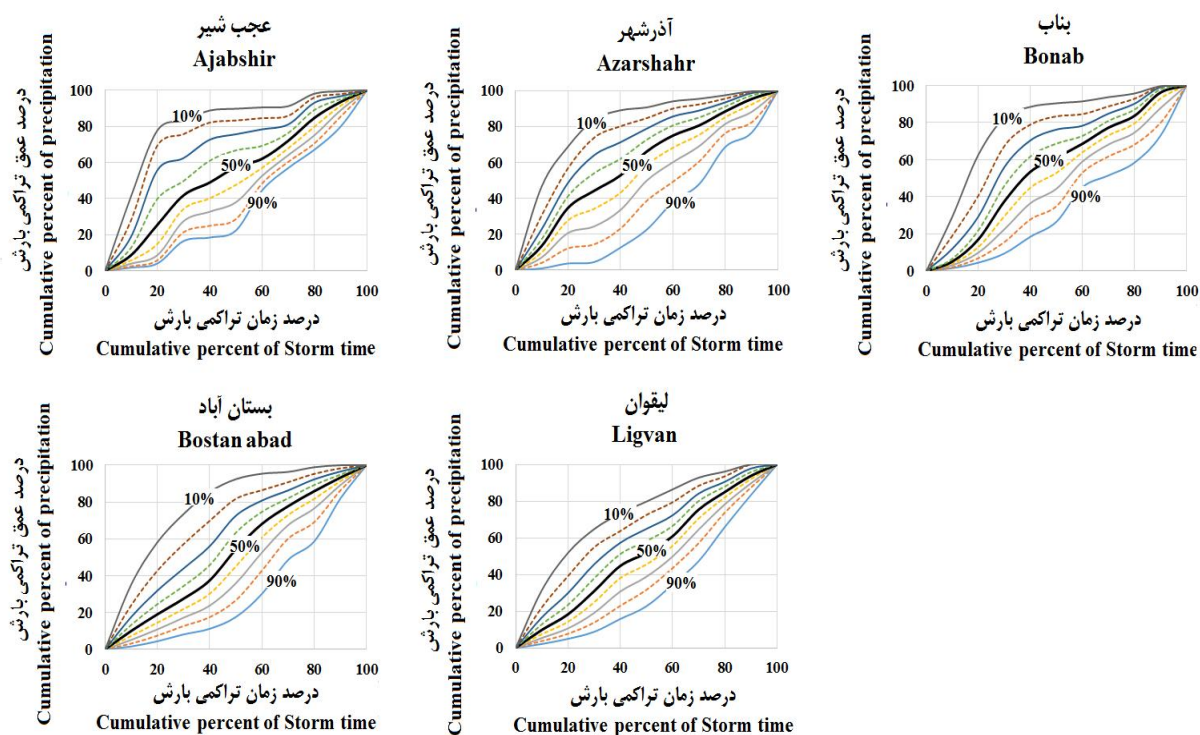
جدول ۴- مقادیر پارامترهای مدل لاجستیک و ضریب همبستگی و آماره t برای ایستگاه‌های منتخب و کلاس‌های بارشی مختلف
Table 4- The values of Logistic model parameters and the coefficient of correlation and t statistics for the selected stations and different precipitation classes

نام ایستگاه Station name	کلاس ۰-۲ ساعت Class 0-2 hours			r	t
a	b	c			
عجبشیر Ajabshir	97.65	12.58	97.65	0.994	27.18*
آذرشهر Azarshahr	100.40	11.10	0.06	0.993	24.87*
بناب Bonab	97.67	15.48	0.10	0.997	38.79*
بستانآباد Bostan Abad	98.34	20.48	0.08	0.997	41.86*
لیقوان Ligvan	103.39	10.40	0.05	0.993	25.23*
کلاس ۲-۶ ساعت Class 2-6 hours					
عجبشیر Ajabshir	104.44	8.89	0.05	0.984	16.72*
آذرشهر Azarshahr	98.58	8.10	0.06	0.999	19.87*
بناب Bonab	95.82	15.10	0.07	0.986	17.52*
بستانآباد Bostan Abad	103.09	16.03	0.06	0.998	44.77*
لیقوان Ligvan	106.92	12.77	0.05	0.995	29.19*
کلاس ۶-۱۲ ساعت Class 6-12 hours					
عجبشیر Ajabshir	110.68	12.01	0.04	0.991	22.03*
آذرشهر Azarshahr	103.20	18.11	0.06	0.996	35.14*
بناب Bonab	110.13	17.56	0.05	0.995	29.35*
بستانآباد Bostan Abad	108.99	9.81	0.04	0.991	22.37*
لیقوان Ligvan	104.89	13.45	0.05	0.996	35.61*
کلاس بیش از ۱۲ ساعت Class more than 12 hours					
آذرشهر Azarshahr	109.07	6.71	0.04	0.978	14.17*
بناب Bonab	97.68	12.26	0.06	0.989	20.71*
بستانآباد Bostan Abad	103.19	13.67	0.06	0.997	39.83*
لیقوان Ligvan	112.67	22.04	0.05	0.998	47.49*
تجمع رگبارها All storms					
عجبشیر Ajabshir	103.87	10.78	0.05	0.992	22.89*
آذرشهر Azarshahr	99.52	10.81	0.06	0.995	29.31*
بناب Bonab	98.54	13.05	0.06	0.996	31.90*
بستانآباد Bostan Abad	101.44	15.23	0.06	0.998	42.57*
لیقوان Ligvan	106.96	13.70	0.05	0.997	38.56*

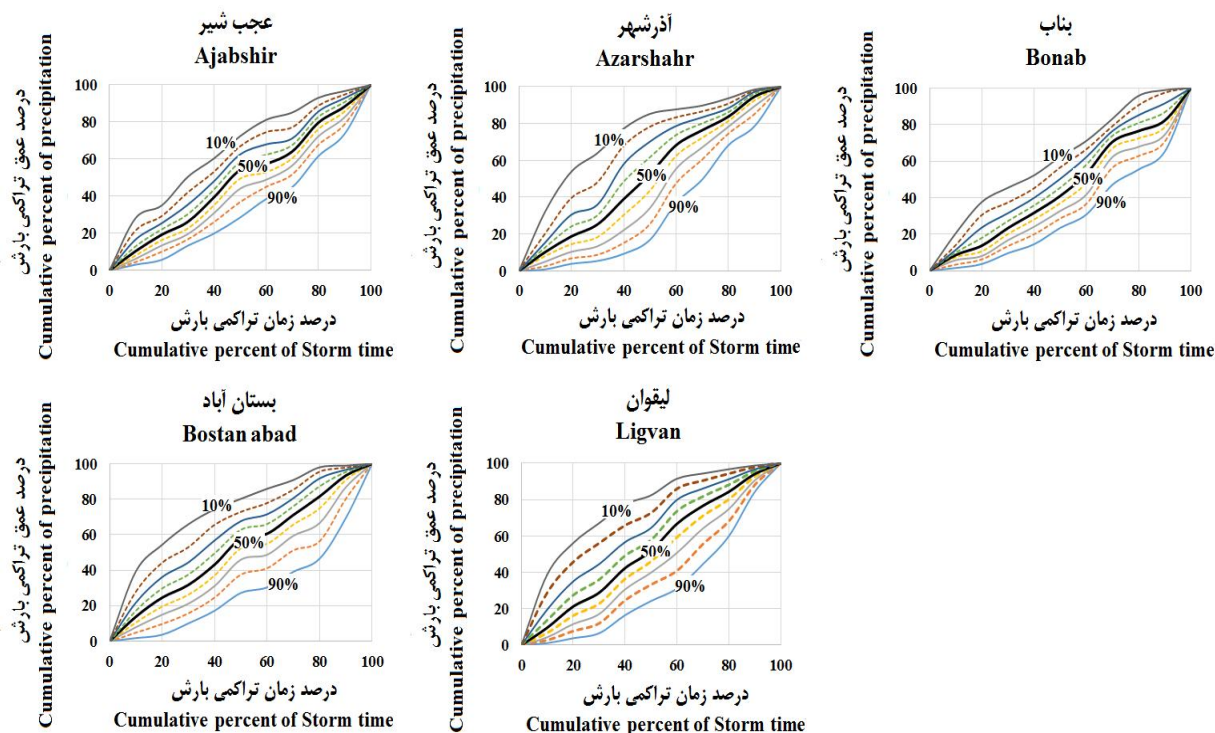
توجه: علامت ستاره نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.
Note: Asterisks are denoted to be significant in 5 percent level.



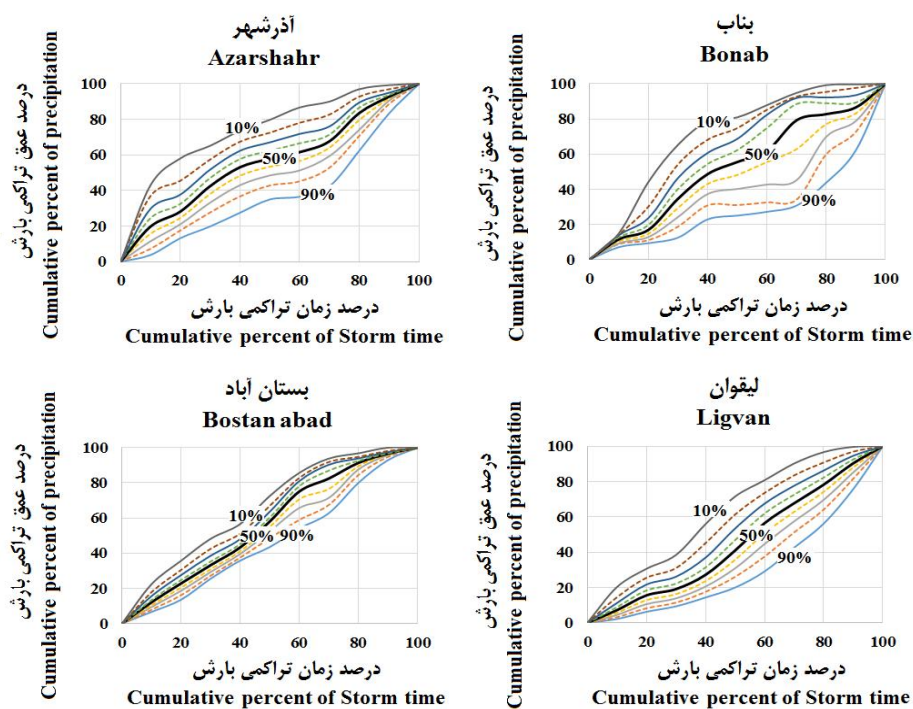
شکل ۲- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای ۰-۲ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 2- The Huff curves for the 0-2 hours storm duration for the selected stations



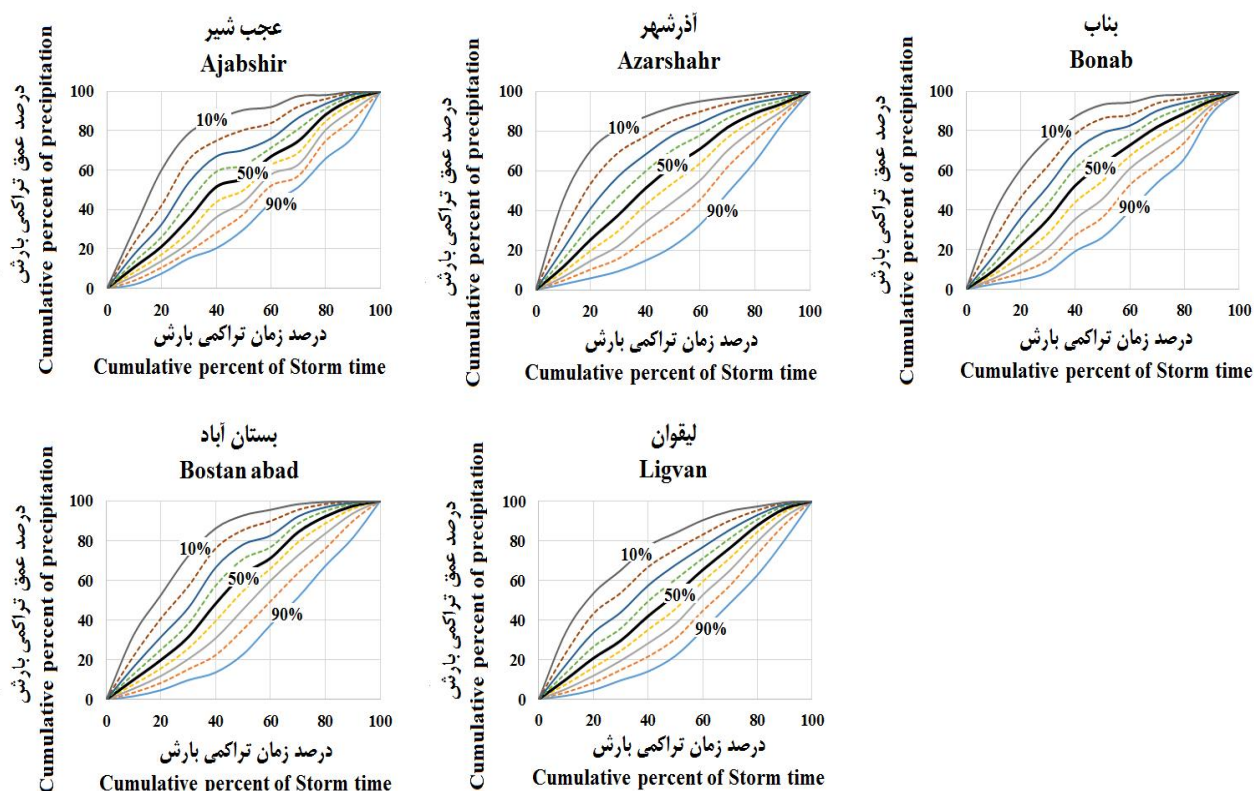
شکل ۳- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای ۲-۶ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 3- The Huff curves for the 2-6 hours storm duration for the selected stations



شکل ۴- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای ۶-۱۲ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 4- The Huff curves for the 6-12 hours storm duration for the selected stations



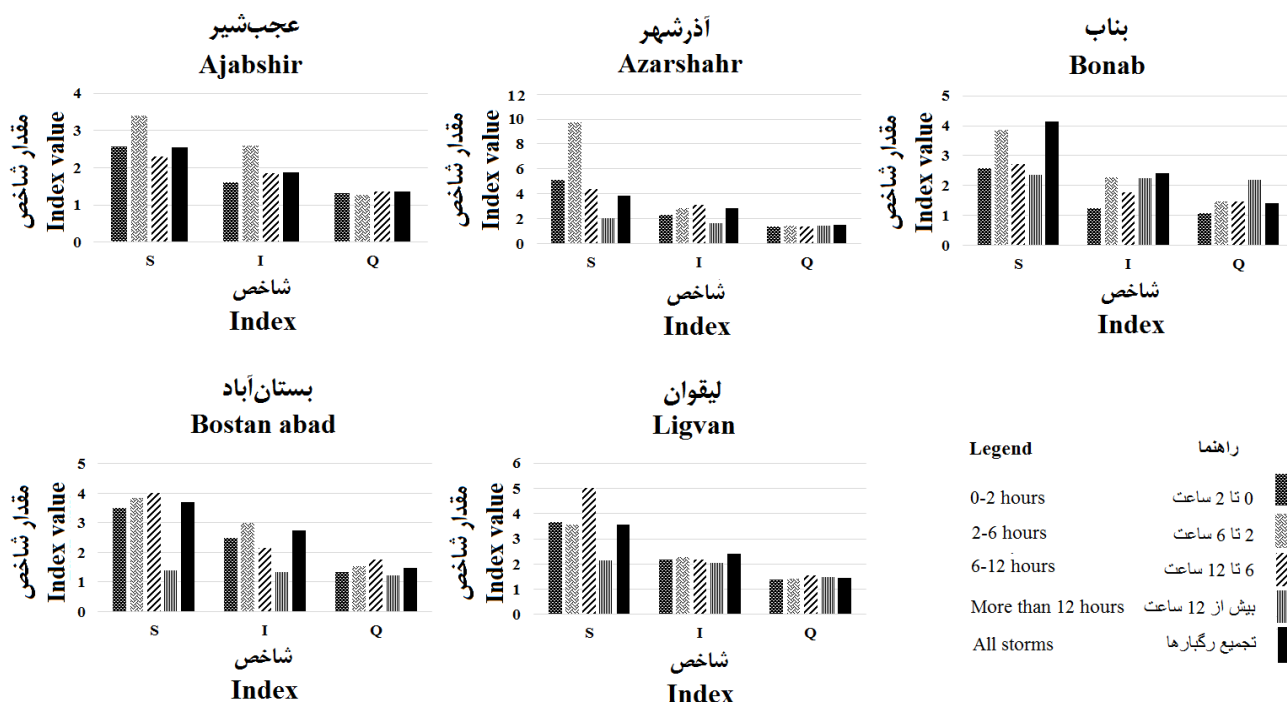
شکل ۵- منحنی‌های هاف در دسته‌ی رگبارهای بیش از ۱۲ ساعت برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 5- The Huff curves for the more than 12 hours storm duration for the selected stations



شکل ۶- منحنی‌های هاف در حالت کلی برای ایستگاه‌های منتخب
Figure 6- The Huff curves in general for the selected stations

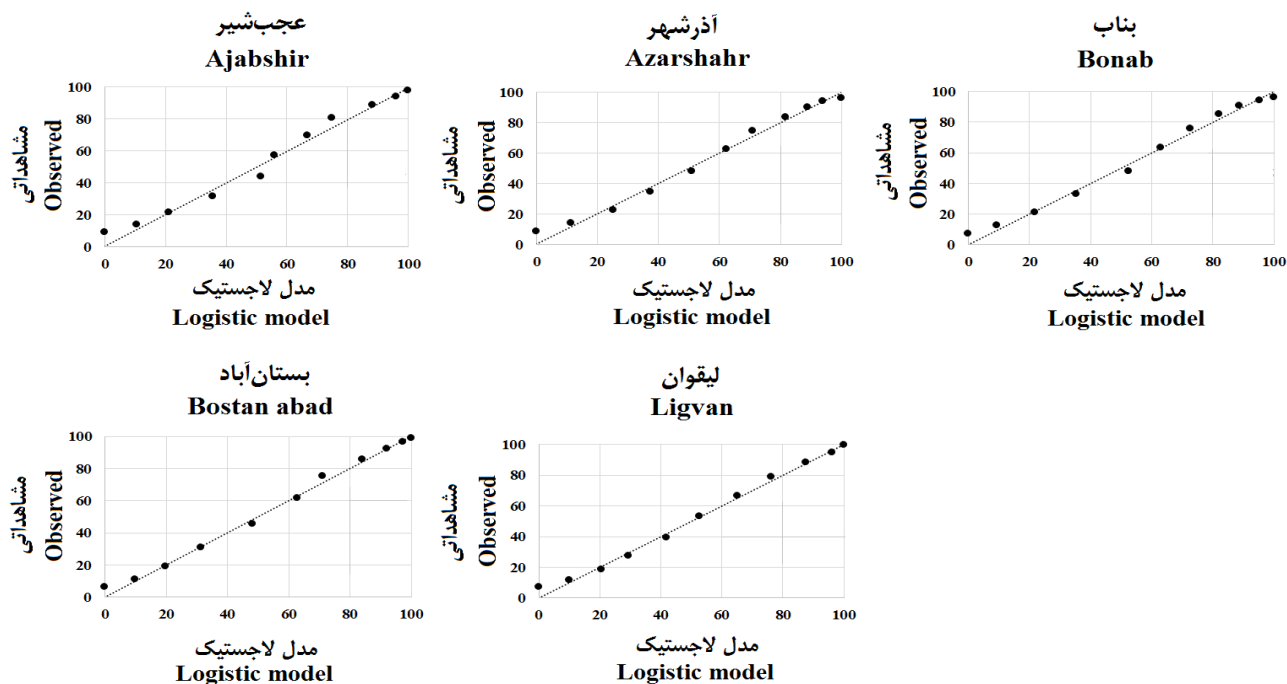
پراکنش نقاط مشاهداتی و محاسباتی (از مدل لاجستیک) را در حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) برای ایستگاه‌های منتخبشان می‌دهد. همچنین برای همه کلاس‌ها و ایستگاه‌ها نمودار نقاط درصد تراکمی عمق بارش مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل برازش شده (لاجستیک) تهیه شد. به‌عنوان نمونه شکل ۹ نمونه‌ای از آن را برای حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. همانگونه که قبلاً اشاره شد هیستوگرام بارش طرح برای هر یک از کلاس‌ها و ایستگاه‌ها رسم شد. به‌عنوان نمونه، شکل ۱۰ هیستوگرام بارش طرح را در حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) برای ایستگاه‌های منتخب با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد نشان می‌دهد.

شکل‌های ۲ تا ۵ منحنی‌های هاف را به‌ترتیب برای رگبارهای با مدت دوام ۰-۲، ۲-۶، ۶-۱۲ و بیش از ۱۲ ساعت در ایستگاه‌های منتخبشان می‌دهند. ضمناً شکل ۶ این منحنی‌ها را برای حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) نشان می‌دهد. شکل ۷ نیز هیستوگرام مقادیر شاخص‌های ۳ گانه (S, I, Q) را برای ۴ دسته متمایز بارش با مدت دوام‌های مختلف (۰-۲، ۲-۶، ۶-۱۲ و بیش از ۱۲ ساعته) و نیز در حالت کلی (تجمیع رگبارها در یک کلاس) برای یکایک ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. بطوریکه قبلاً اشاره شد پارامترهای مدل لاجستیک برای هر یک از کلاس‌های بارشی و ایستگاه‌ها محاسبه شدند. براین اساس دیاگرام پراکنش نقاط مشاهداتی و محاسباتی (از مدل لاجستیک) برای هر کدام تهیه شد. به‌عنوان نمونه شکل ۸ دیاگرام



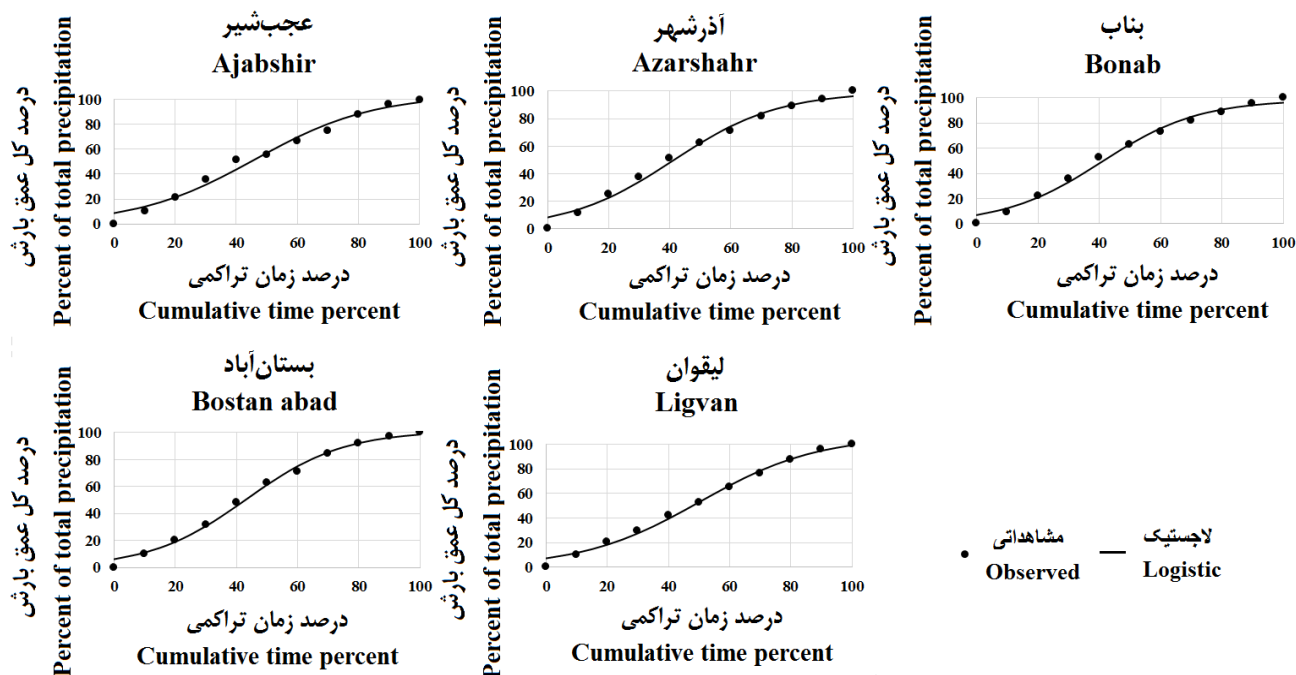
شکل ۷- هیستوگرام مقادیر شاخص‌های ۳ گانه برای ۴ دسته متمایز مدت دوام بارش (۲-، ۲-۶، ۶-۱۲ و بیش از ۱۲ ساعته) و نیز در حالت کلی برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 7- Histogram of the values of three indices for the four separated classes with different durations (0-2, 2-6, 6-12 and more than 12 hours) and in general for the selected stations



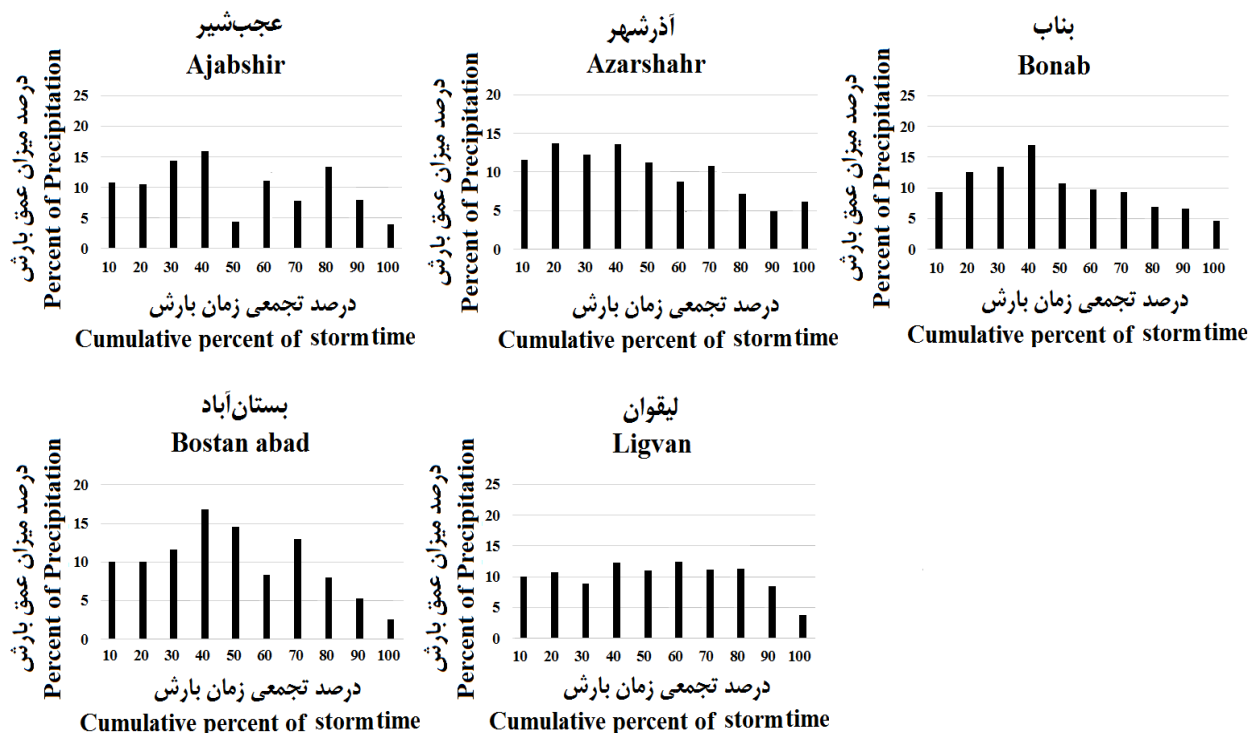
شکل ۸- دیاگرام پراکنش نقاط مشاهداتی و محاسباتی (از مدل لاجستیک) در حالت کلی (تجمع رگبارها در یک کلاس) برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 8- Scatter plot of observed and calculated values (from the Lagistic model) for general class (all storms included) for the selected stations



شکل ۹- نمودار نقاط مشاهداتی برای درصد تراکمی عمق بارش و نمودار مربوط به مدل برازش شده (لاجستیک) در حالت کلی برای ایستگاه‌های منتخب

Figure 9- The diagram of observed points for the cumulative percent of precipitation and corresponding fitted model (Logistic) in a general class of selected stations



شکل ۱۰- هیستوگرام بارش طرح در حالت کلی با لحاظ کردن کل رگبارهای ثبت شده در ایستگاه‌های منتخب با در نظر گرفتن منحنی هاف ۵۰ درصد

Figure 10- Design precipitation histogram in general class taking into account the total recorded storms in the selected stations for 50 percent Huff curves

نتیجه گیری

در این مطالعه، منحنی‌های هاف با توجه به مقادیر رگبارهای ثبت شده (۵۱۷ رگبار) برای ۵ ایستگاه (۱۳۹۴-۱۳۸۰) در شرق حوضه دریاچه ارومیه رسم شد. برای دقت عمل، رگبارها در ۴ دسته با مدت دوام ۲-۰، ۶-۲، ۱۲-۶ و بیش از ۱۲ ساعت تفکیک گردید. افزون بر این، کلیه رگبارها نیز به صورت یکجا در یک کلاس منفرد برای هر ایستگاه تحلیل شد و برای آن‌ها هیئتوگراف بارش طرح با توجه به منحنی هاف ۵۰ درصد رسم گردید. برای رگبارهای کوتاه مدت (۲-۰ ساعت) بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک‌های اول (بین ۲۸ تا ۴۴ درصد کل بارش) و در چارک دوم (۲۴ تا ۴۲ درصد کل بارش) نازل می‌شود. به عبارت بهتر، رگبارهایی که مدت دوام آن‌ها کمتر از ۲ ساعت است با شدت زیاد آغاز می‌شوند و به تدریج از شدت آن‌ها کاسته می‌شود. برای رگبارهای با مدت دوام ۶-۲ ساعت در دو ایستگاه بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک اول (بین ۳۴ تا ۳۹ درصد کل بارش) و در دو ایستگاه دیگر در چارک دوم (۳۱ تا ۳۴ درصد کل بارش) فرو می‌ریزد و در ایستگاه (لیقوان) بخش نسبتاً مهمی از بارش (۲۸ درصد کل بارش) در چارک سوم نازل می‌شود. علاوه بر این، می‌توان نتیجه گرفت که برای رگبارهای با مدت دوام ۱۲-۶ ساعت در سه ایستگاه بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک دوم (حدود ۳۱ درصد کل بارش) و در دو ایستگاه دیگر در چارک سوم (۲۹ تا ۳۳ درصد کل بارش) می‌بارد. افزون بر این، می‌توان نتیجه گرفت که برای رگبارهای با مدت دوام بیش از ۱۲ ساعت در ایستگاه (آذرشهر)

منابع

- Awadallah A.G., and Younan N.S. 2012. Conservative design rainfall distribution for application in arid regions with sparse data. *Journal of Arid Environments*, 79: 66-75.
- Azli M., and Rao R. 2010. Development of Huff curves for Peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology*, 388:77-84.
- Bustami R.A., Rosli N.A., Adam J.H., and Li K.P. 2012. Development of temporal rainfall pattern for Southern Region of Sarawak. *UNIMA E. Journal of Civil Engineering*, 3:17-23.
- Ewea A., Elfeki A., Bahrawi J., and AL-Amri N. 2016. Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukramah region, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 9:424-435.
- Ghahraman B. 2009. Short-term rain analysis in Khorasan. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 2(4): 66-73 (In Persian with English abstract).
- Ghassabi Z., Kamali G.A., Meshkati A., Hajam S., and Javaheri N. 2016. Time distribution of heavy rainfall events in south west of Iran. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 145: 53-60.
- Hatami Yazd A., Ghahraman B., and Khodashenas S.R. 2009. Regionalization of Rainfall Temporal Pattern in Iran. *Iran-Watershed Management Science and engineering*, 3(6):66-70 (In Persian with English abstract).
- Huff F.A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, 3:1007-1019.
- Jiang P., Yu Z., Gautam M.R., Yuan F., and Acharya K. 2016. Changes of storm properties in the United States: Observations and multi model ensemble projections. *Global and Planetary Change*, 142:41-52.
- Karimi V., Solaimani K., Habibnejad Roshan M., and Shahed K. 2014. Comparison of Some Rainfall Temporal Pattern Determination for Urban Flood Estimation (Case Study: Babolsar). *Irrigation Engineering and Water*, 13:102-112. (In Persian with English abstract).
- Khaksafidi A., Noura N., Biroudian N., and Najafi Nejad A. 2011. Rainfall Temporal Distribution Patterns in Sistan & Balouchestan Province (Iran). *Journal of Soil and Water Protection Research*, 17(1):45-61. (In Persian with English abstract).

بخش اعظمی از بارش‌ها در چارک اول (حدود ۳۵ درصد کل بارش) و در دو ایستگاه در چارک دوم (۳۰ درصد کل بارش) و در ایستگاه لیقوان (۳۲ درصد کل بارش) در چارک سوم نازل می‌شوند. بر اساس منحنی هاف ۹۰ درصد، معلوم شد که در کلاس بارشی کوتاه مدت در بیشتر ایستگاه‌ها بارندگی به‌طور ملایم آغاز شده و پس از آن شدت بارندگی به اوج می‌رسد و در ۲۵ درصد زمان باقیمانده (چارک آخر) مجدداً از شدت آن‌ها کاسته می‌شود و برای کلاس‌های بارشی با مدت دوام بیش از دو ساعت، بارندگی‌ها در چارک آخر به اوج می‌رسند. در این مطالعه، سه شاخص جدید که نشان‌دهنده نسبت درصد عمق بارش از آغاز بارندگی تا پایان ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد زمان بارندگی منحنی هاف ۵۰ درصد به منحنی هاف ۹۰ درصد می‌باشد، به صورت S ، I و Q تعریف شد و مقادیر این شاخص‌ها برای ایستگاه‌های منتخب به دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که در همه ایستگاه‌ها و برای هر کلاس زمانی روند تغییر مقادیر شاخص‌های S ، I و Q به صورت $S > I > Q$ می‌باشد. مدل‌بندی درصد تراکمی ریزش رگبار تابعی از درصد تراکمی زمان بارش به فرم مدل لاجستیک نیز برای هر کلاس زمانی انجام و پارامترهای آن‌ها در جدول ۴ ارائه گردید. بر اساس نتایج حاصله، مدل لاجستیک قادر به برازش خیلی خوب رگبارها در ایستگاه‌های منتخب می‌باشد، طوریکه ضریب همبستگی بین مشاهدات و مدل بین ۰/۹۷۸ و ۰/۹۹۸ بودند. نتایج این مطالعه در طراحی سازه‌های زهکش شهری و مدل‌بندی بارش - رواناب کاربرد دارد.

12. NiyogiD., Lei M., Kishtawal C.H., and Schmid P. 2017. Urbanization impacts on the summer heavy rainfall Climatology over the Eastern United States. *Earth Interactions*, 21(5):1-17.
13. Todisco F. 2016. The internal structure of erosive and non-erosive storm events for interpretation rainfall simulation. *Journal of Hydrology*, 519:3651-3663.
14. Wang W., Yin S., Xie Y., Liu B., and Liu Y. 2016. Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. *Catena*, 141:56-65.
15. Wu S.J., Yang J.C., and Tung Y.K. 2006. Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 20:171–183.



Development of Huff Curves for the Five Selected Stations in the East of Urmia Lake

S. Vakili Azar^{1*}- Y. Dinpashoh²

Received: 06-09-2018

Accepted: 22-10-2018

Introduction: Water is an important element of all living things. Availability of fresh water in any region is very important. Therefore, understanding the rainfall characteristics is so crucial in water resources management. One of the main tools in analyzing storms is Huff curve. Many investigators used this method for rainfall analysis with different duration. The main aim of this study is plotting and analyzing storms characteristics in the five stations namely Ajabshir, Azarshahr, Bonab, Bostan-Abad and Ligvan.

Materials and Methods: In this study, using the 517 storms in the selected stations (located in the East of Urmia Lake), the Huff curves were extracted. The time period used is from 2001 to 2015. Quality of data was checked carefully prior to analysis. In the first step, the total selected storms were classified into the four distinct classes according to their rainfall duration including i) 0-2, ii) 2-6, iii) 6-12 and more than 12 hours. Then the Huff curves of each category were plotted for different probabilities of 10 percent, 20 percent, ... and 90 percent. Analysis conducted for each of the classes, separately. Moreover, the Huff curves were plotted using the information of all events (i.e. without classification). In this study, some commonly used statistical distributions in hydrology were utilized. The three newly defined indices namely S, I, and Q were defined and used in the present study. The design storm hyetographs for the selected stations and all the events (without classification) prepared for 50 percent Huff curves. The mathematical model of Huff curves were extracted as the Logistic model. The model parameters were estimated using the Curve Expert software.

Results and Discussion: According to the 50 percent probability for Huff curves, the following results were obtained. For the short- time (0-2 hours) storms, the most proportion of rain received in the first and second quartiles. In the first quartile, between 28 to 44 percent of the total rainfall depth received in the selected stations. In the other words, short storms initiated with high intensity and followed by mild intensity. In the case of 2-6 hours storms class, in the two stations, a large portion of the rain (about 34 up to 39 percent) received in the first quartile. However, in the other two stations about 31 up to 34 percent of total rain received in the second quartile. In the station namely Ligvan (about 28 percent of total precipitation depth) received in the third quartile. In some of the stations, and in the case of rainfall duration class of 2-6 hours storms starts with high intensity. However, in some of the other sites rain begin with mild intensity. In addition, for the storms with 6-12 hours duration, three stations can be included in the second quartile, because about 31 percent of total precipitation received in this time quartile. However, in the two stations, (about 29 up to 33 percent of the precipitation depth) received in the third quartile. In the class of duration 6 to 12 hours, storms begins with mild intensity and the intensity of rain increases as time advances then, finally the intensity of rain decreases till rain ceases. In addition, it can be concluded that for the storms with duration of more than 12 hours, for the station namely Azarshahr a large portion of precipitation (about 35 percent of precipitation depth) received in the first quartile. Furthermore, in the two stations about 30 percent of total precipitation received in the second quartile. However, in a station namely Ligvan about 32 percent of total precipitation depth received in the third quartile. In other words, storms with duration of more than 12 hours, different stations had different temporal patterns. Based on 90 percent probability Huff curve, it was found that in the case of short- time storm class, almost in all of the stations, rainfall begins with mild intensity. Then the intensity increases gradually to reach peak in the end of the third quartile. In the 25 percent of remaining time (i.e. the last quartile) the intensity decreased again until the rain terminated. For the rainfall classes of duration more than 2 hours, precipitation reaches to the peak in the last quartile. In the other words, the precipitation begins with low intensity and gradually increases its intensity till the end of rain. In this study, three

1 and 2- MSc Student of Water Resources Engineering and Associate Professor Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

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

new indices that represent the ratio of precipitation at 50 to 90 percent probabilities were introduced and the values of these indices were calculated for the selected stations.

Conclusions: It can be concluded that the most portion of rainfall received in first quartile and or second quartile for storms having duration less than 6 hours. Whereas for storms with duration more than 6 hours, rainfall started with low intensity and then the intensity increased through the rainfall duration. The results indicated that at all of the stations and for each of the duration time classes, the order of changing the values of S, I and Q indices was as $S > I > Q$. The modeling of the cumulative percent of precipitation as a function of cumulative percent of rainfall duration time performed using the Logistic model for each of the time classes and then its parameters were calculated which are presented in the Table 4. Based on the results, it was found that the Logistic model is able to fit the mentioned curve very well for all of the selected stations. The correlation coefficients estimated between the observed and modeled values were found to be between 0.978 and 0.998 for the sites. The results of this study anticipated to be useful in design of urban drainage structures and rainfall- runoff modeling.

Keywords: Design storm, Huff Curves, Rainfall Temporal Distribution, Urmia Lake

ارتباط شماره منحنی حوضه آبخیز با شاخص سطح برگ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کره‌بس)

خدایار عبدالهی^{۱*} - سمیرا بیاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۳۰

چکیده

شماره منحنی (CN) یک پارامتر هیدرولوژیکی با مبنای تجربی است که جهت پیش‌بینی مقدار رواناب مستقیم و یا مقدار بارش مازاد نفوذ یافته در خاک استفاده می‌شود. از بین ویژگی‌های سطح زمین، پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر بر مقدار دبی اوج و حجم سیلاب می‌باشد. یکی از شاخص‌های معرف وضعیت پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ است که از طریق اطلاعات سنجش از دور در دسترس است. در این مطالعه با هدف بررسی رابطه شاخص سطح برگ و شماره منحنی در مقیاس حوضه آبخیز، هیدروگراف سیلاب حوضه آبخیز کره‌بس با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی و مقادیر شماره منحنی سالانه حوضه برآورد شد. فایل‌های رستری شاخص سطح برگ نیز از پایگاه اینترنتی مودیس تهیه و برای برقراری رابطه‌ای بین شماره منحنی حوضه و شاخص سطح برگ استفاده شد. دقت شبیه‌سازی هیدروگراف با استفاده از ضریب کارایی نش - ساتکلیف ۰/۷۲ نشان داد که رابطه به‌دست آمده با تابع انتقال، شماره منحنی حوضه مورد مطالعه را به خوبی برآورد می‌کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار شماره منحنی کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که افزایش پوشش گیاهی در منطقه موجب کاهش دبی اوج و حجم سیلاب می‌شود. مقایسه کلاس‌های شیب نیز مبین آن است که این عامل توپوگرافی نیز بر دبی اوج و حجم سیلاب اثر مستقیم دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، سیلاب، شبیه‌سازی، HEC-HMS

مقدمه

در هیدرولوژی، شماره منحنی یکی از روش‌های متداول تجربی برآورد عمق رواناب و سیل است. رواناب زمانی رخ می‌دهد که سیستم حوضه، شدت بارش بالا و غیر عادی دریافت کند و یا مدت زمان بارش طولانی باشد، به طوری که نرخ جریان بیش از ظرفیت نفوذ باشد (۲۳). بافت خاک، شیب زمین، پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف اراضی از جمله عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب‌ها می‌باشند که به طور مستقیم بر میزان نفوذ آب به زمین اثر می‌گذارند (۱۰). تخریب زمین منعکس‌کننده خوبی از تأثیرپذیری خاک از رواناب سطحی است (۱۴ و ۳۱). از بین بردن پوشش گیاهی با افزایش شهرنشینی، منجر به افزایش جریان روی زمینی و رواناب سطحی می‌شود. به دلیل پاسخ‌های مثبت تحقیقات مرتبط با روش تجربی تخمین رواناب سطحی با استفاده از مدل شماره منحنی سرویس حفاظت خاک

آمریکا، این روش با استقبال گسترده‌ای روبرو شده است (۱۲). مدل شماره منحنی (CN)، روشی با سهولت زیاد محسوب می‌شود که توسط هیدرولوژیست‌های سرویس حفاظت از خاک ایالات متحده (SCS) برای شناسایی رواناب سطحی مستقیم در حوضه‌های کشاورزی و غیر کشاورزی فاقد ایستگاه اندازه‌گیری ارائه شده است (۲۱ و ۲۶). در روش SCS شماره منحنی یک پارامتر بدون بعد تحت تأثیر نوع کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی و رطوبت پیشین خاک است که به منظور تعیین تلفات استفاده می‌شود (۳۴). به‌طور کلی CN شاخصی از پتانسیل نگهداری آب خاک (S) است. در مدل شماره منحنی عواملی مانند کاربری اراضی، نوع خاک، مدیریت زمین، رفتار، شرایط رطوبت پیشین خاک و شرایط سطحی را در نظر می‌گیرد (۱۱ و ۲۰). بنابراین، علاوه بر آن که در این روش مستندسازی ویژگی‌های زیست‌محیطی به خوبی درک و شناخته شده است (۱۳، ۴ و ۲۸) تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین نیز می‌تواند توسط این پارامتر نشان داده شود (۳۳). از جمله مهم‌ترین مشخصات پوشش زمین پوشش گیاهی است لذا ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی مانند

۱ و ۲- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(Email: kabdolla@sku.ac.ir)
*- نویسنده مسئول:
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.72907

شاخص سطح برگ (LAI) به طور گسترده‌ای به منظور استخراج مدل‌های رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق، فرسایش، برگاب و فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شاخص سطح برگ طبق تعریف جهانی FAO حاصل تقسیم سطح برگ‌های سبز به سطح سایه‌انداز است (۳۰). این شاخص، یک ویژگی مهم برای اندازه‌گیری تراکم برگ و پایش تغییرات پوشش گیاهی است (۵ و ۱۶). اتصال اطلاعات مکانی و زمانی به قسمت‌های مختلف مدیریت آبخیزداری، یک رویکرد اساسی برای بررسی داده‌های جریان رودخانه‌ها و شکل‌گیری مدل اساسی سیلاب در حوضه‌های آبخیز است (۶). رابطه بین شاخص سطح برگ و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی در شرایط مختلف زمانی و مکانی متفاوت است (۷). در حوضه‌های آبخیز بزرگ، گستردگی سطح از یک طرف و تغییرات زمانی از طرف دیگر اندازه‌گیری این شاخص در مقیاس حوضه‌ای را دشوار می‌کند لذا روش‌های سنجش از دور به دلیل امکان فراهم‌سازی دید وسیع از مناطق مورد مطالعه، دقت بالایی داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و صرفه‌جویی در زمان بر سایر روش‌های مطالعاتی ارجحیت داده می‌شود (۷). همچنین با توجه به تغییرات مکانی ویژگی‌های هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در دوره‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است، در نتیجه تجزیه و تحلیل‌ها در مقیاس‌های مختلف باید امکان‌پذیر باشد و همه تغییرات در نظر گرفته شود (۱۹). این اطلاعات می‌تواند در تهیه نقشه شماره منحنی حوضه آبخیز با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات رقمی پوشش گیاهی، کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک استفاده شود. در ارتباط با لحاظ نمودن نقش پوشش در رفتار هیدرولوژیکی، مطالعات کمی متعددی صورت گرفته است. پاندى و همکاران (۲۵) ابتدا نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رمی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-1B تهیه نمودند سپس گروه‌های هیدرولوژیک خاک را با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش زمین و نقشه خاک نقشه شماره منحنی برای هند، شماره منحنی وزنی حوضه‌های مورد مطالعه را با توجه به مساحت آن تعیین نمودند. ثقفیان و همکاران (۲۹) با کاربرد تلفیقی GIS و مدل HEC-HMS و با استفاده از روش شماره منحنی اثر پوشش گیاهی را بر دبی اوج و حجم سیل حوضه آبریز سد گلستان بررسی نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تغییرات کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه، منجر به افزایش اوج سیل در دوره بازگشت ۵ و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب به میزان ۳۱/۷ و ۱۷/۸ درصد شد. غلامی و همکاران (۸) به بررسی کمی اثر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب در حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های کاربری اراضی و تصاویر ماهواره‌ای

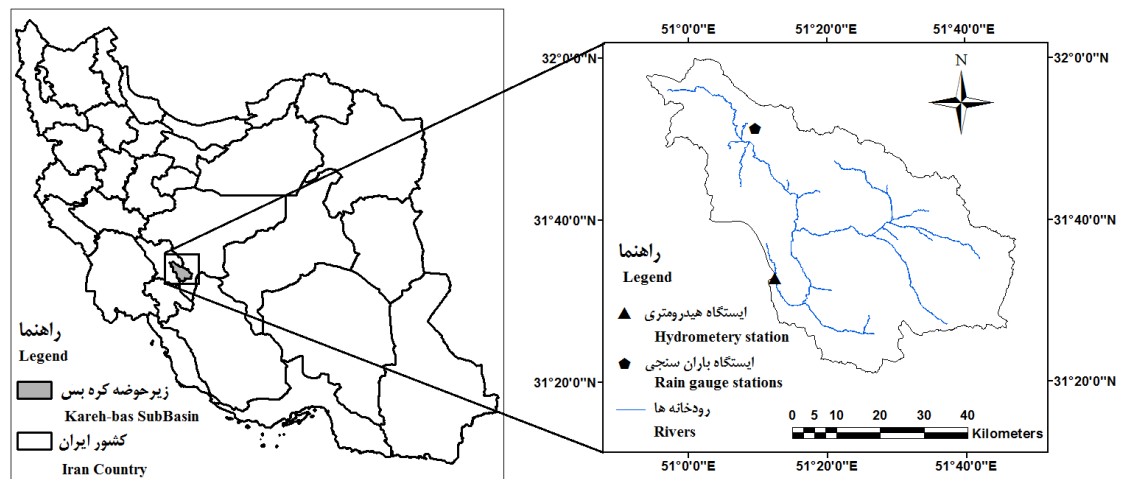
پرداختند. در این مطالعه با استفاده از مدل HEC-HMS و روش SCS و شماره منحنی هیدروگراف سیلاب حوضه شبیه‌سازی و مدل بهینه‌سازی شده با چهار واقعه دیگر سیلاب اعتبارسنجی شد. آن‌ها با وارد نمودن تغییرات کاربری اراضی در مدل اعتبارسنجی شده، اثر آن‌ها در تشدید ایجاد رواناب و خطر سیلاب به صورت کمی بررسی کردند که نتایج نشان‌دهنده افزایش پتانسیل ایجاد رواناب و خطر سیلاب تحت تأثیر کاربری اراضی بود. سومارو و اوگوشی (۳۳) به بررسی نحوه برآورد CN باتوجه به تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از ابزارهای HEC-GeoHMS برای تخمین CN و مدل MIKE 11-RR برای شبیه‌سازی بارش-رواناب پرداختند. نتایج این مطالعه امکان بررسی تغییرات زمانی رواناب را فراهم کرد، به نحوی که از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵، CN حوضه رودخانه جوبارو و زیرحوضه کوهستانی کاهش ولی CN زیرحوضه‌های مسطح افزایش یافته است. ابوحشیم و همکاران (۱) براساس مدل شماره منحنی سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS-CN)، از روش CN برای بررسی اثر تغییرات مکانی و زمانی کاربری‌های اراضی مختلف در نگهداری آب خاک استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که پتانسیل نگهداری آب خاک طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ با کاهش زمین‌های زراعی، ۱۱۸/۱ مترمکعب در هکتار کاهش یافت.

با وجود این که شماره منحنی عوامل زیادی مانند کاربری اراضی، نوع خاک و شرایط پیشین رطوبت خاک را در نظر می‌گیرد ولی ایراد اصلی روش شماره منحنی در این است که تغییرات زمانی پوشش گیاهی را در نظر نمی‌گیرد. امروزه ماهواره‌هایی نظیر مودیس (MODIS) تولیدات مهمی را به‌طور گسترده با فواصل زمانی مشخص عرضه می‌کنند که می‌توانند تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی باشند. بنابراین، در این مطالعه پیشنهاد شده است که از شاخص سطح برگ به‌عنوان یک عامل کمکی استفاده شود. به‌این ترتیب این ایده تغییرات دوره‌ای پوشش را در محاسبات هیدرولوژیکی دخیل خواهد کرد.

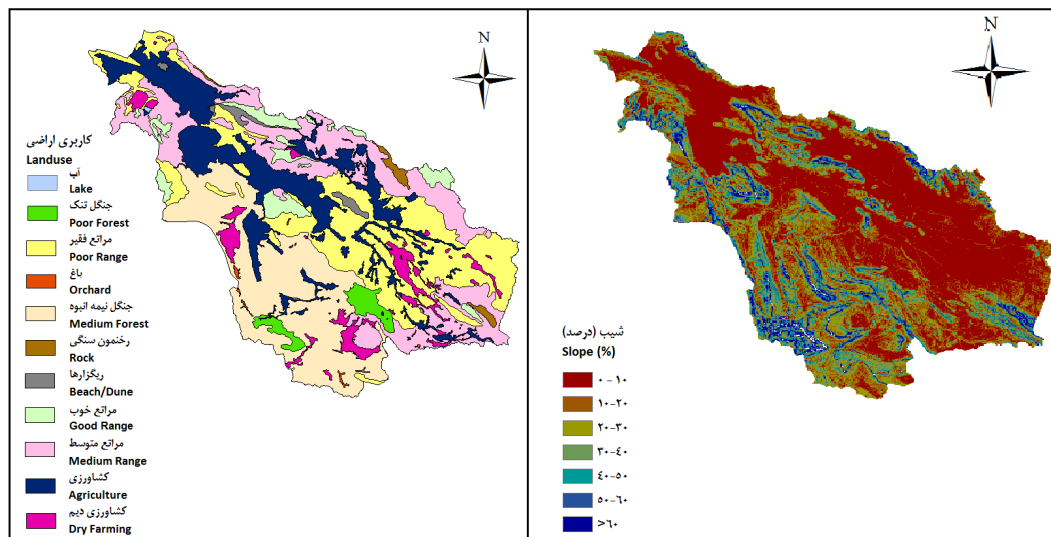
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کره‌بس بخشی از حوضه آبخیز کارون بزرگ است که در محدوده بین ۵۰° ۵۰' تا ۵۱° ۴۷' طول شرقی و ۳۱° ۲۱' تا ۳۲° ۰۱' عرض شمالی قرار دارد. این حوضه با مساحت ۲۸۲۵ کیلومترمربع در استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل کره‌بس می‌باشد (شکل ۱). محدوده ارتفاعی این منطقه بین ۱۷۶۰ تا ۳۷۹۴ متر به ترتیب در خروجی حوضه و ارتفاعات حوضه می‌باشد. نقشه شیب و کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه نیز در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- نقشه موقعیت زیر حوزه آبخیز کره‌بس
Figure 1- The location map of Kareh-bas sub Basin



شکل ۲- نقشه‌های شیب و کاربری اراضی حوزه آبخیز کره‌بس
Figure 2- Slope and Landuse maps of Kareh-bas basin

سپس مساحت حوزه و زیرحوضه‌ها محاسبه شد (جدول ۱). داده‌های مورد استفاده برای مدل HEC-HMS در حوزه مورد مطالعه شامل داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری پل کره‌بس و داده‌های تبخیر و تعرق، دما و بارش ایستگاه گندمان در مقیاس زمانی روزانه بود که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری تهیه شد. از دیگر اطلاعات مورد نیاز این تحقیق تصاویر شاخص سطح برگ بود که با فرمت hdf از پایگاه اینترنتی مودیس^۱ دانلود شد.

اکثر قسمت شرقی حوزه را شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد پوشش داده است و تغییرات شیب در قسمت غربی حوزه به دلیل کوهستانی بودن، بیشتر است. عمده‌ترین کاربری اراضی حوزه نیز جنگل نیمه انبوه است که بیشتر در همین قسمت غربی حوزه مشاهده می‌شود.

آمار و اطلاعات مورد استفاده

برای پردازش و استخراج داده‌های مکانی از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جامع آب و زمین ILWIS استفاده شد و محدوده حوزه مورد مطالعه، زیرحوضه‌ها، شبکه آبراهه‌ای، موقعیت ایستگاه‌ها تعیین و

1- www.modis.gsfc.nasa.gov

جدول ۱- مساحت حوضه مورد مطالعه و زیرحوضه‌ها

Table 1- Area of basin and sub-basins

زیرحوضه Sub-basin	1	2	3	4	کل حوضه Total basin
مساحت (کیلومتر مربع) Area (Km ²)	1395	820	330	280	2825

بهترین عملکرد مدل است (۱۸).

مدل برای هر سال به صورت مستقل بدون تغییر پارامترهای بهینه‌یابی شده اجرا شد سپس از بین پارامترهای بهینه‌یابی شده تنها با تغییر مقدار CN مدل برای هر سال واسنجی گردید. آنگاه درصد بهبود ضریب نش- ساتکلیف مرحله سوم نسبت به مرحله دوم برای هر سال محاسبه شد. برای حصول مقدار CN متوسط حوضه در هر سال با استفاده از روش میانگین وزنی به صورت رابطه زیر به‌دست آمد (۱۷).

$$CN = \frac{\sum CN_i A_i}{A} \quad (2)$$

که در آن CN میانگین وزنی شماره منحنی حوضه، CN_i شماره منحنی هر زیرحوضه، A_i مساحت هر زیرحوضه و A مساحت کل حوضه می‌باشند.

به‌طور جداگانه شاخص برگ سالانه حوضه نیز محاسبه شد. به‌این منظور پس از دانلود تصاویر LAI از پایگاه اینترنتی مودیس با فرمت hdf، در نرم‌افزار Arc Gis برای هر ماه، از تصاویر موجود در آن ماه میانگین‌گیری وزنی- مکانی شد. نقشه‌های شاخص سطح برگ با فرمت ASCII تهیه و با استفاده از ابزار MeanCalc در مدل Wetspass میانگین وزنی مکانی رسترهای ماهانه LAI به صورت عدد محاسبه شد. سپس مقدار میانگین سالانه این اعداد در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. در مرحله بعد همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر شماره منحنی بر اساس رابطه جدید که تابعی از پوشش گیاهی بود برای هر سال محاسبه شد. در نهایت دقت رابطه جدید بر حسب مقادیر شماره منحنی حاصل از مدل HEC-HMS و مقادیر به‌دست آمده از رابطه جدید با استفاده از ضریب کارایی نش- ساتکلیف بررسی شد. در نهایت رابطه‌ای بین شماره منحنی و مقادیر شاخص برگ حوضه برآزش داده شد که امکان بررسی تغییرات ماهانه این شاخص را در قالب تغییرات شماره منحنی فراهم می‌آورد.

نتایج و بحث

در مرحله اول کار، مدل توسعه داده شده واسنجی شد. در این مرحله هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده باهم مقایسه شدند تا از این طریق پارامترهایی که در حوضه به صورت مستقیم

مدل HEC-HMS

HEC-HMS یکی از مدل‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی بارش- رواناب بر پایه فرآیندهای هیدرولوژیکی سلسله‌ای (Dendritic) است (۲). سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی برای شبیه‌سازی فرآیندهای بارش- رواناب حوضه آبخیز توسعه داده شده است (۲۷). اجرای این مدل، با ترکیب مدل‌های حوضه، هواشناسی، مشخصات کنترلی و گزینه‌های اجرای مدل برای رسیدن به نتایج، صورت می‌گیرد (۳). در HEC-HMS، مدل حوضه شامل سه فرآیند اساسی تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه است. مؤلفه‌ها و پارامترهای هیدرولوژیکی مدل حوضه شامل زیرحوضه‌ها، بازه‌های روندیابی، محل اتصال آبراهه‌ها، مخازن، چشمه، منبع و بخش تلفات می‌باشد (۳۲). در این مدل، هر مؤلفه نقش متفاوتی از فرآیندهای بارش- رواناب را در بخشی از حوضه آبخیز و یا زیرحوضه ایفا می‌کند. یک مؤلفه ممکن است، رواناب سطحی، کانال جریان و یا یک مخزن را نشان دهد (۲۴). در این مطالعه مدل، با استفاده از روش‌های شماره منحنی SCS، هیدروگراف واحد SCS و مخزن خطی به ترتیب برای محاسبه میزان تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه اجرا شد. همچنین با توجه به کوهستانی بودن منطقه و اثر ذوب برف، از روش شاخص دما برای مدل‌سازی ذوب برف استفاده شد.

روش تحقیق

در مرحله نخست مطالعه، مدل HEC-HMS برای کل دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰) اجرا و واسنجی شد و به منظور بررسی عملکرد مدل، ضریب کارایی نش- ساتکلیف به عنوان تابع هدف انتخاب شد. این ضریب به صورت زیر محاسبه می‌شود (۲۲).

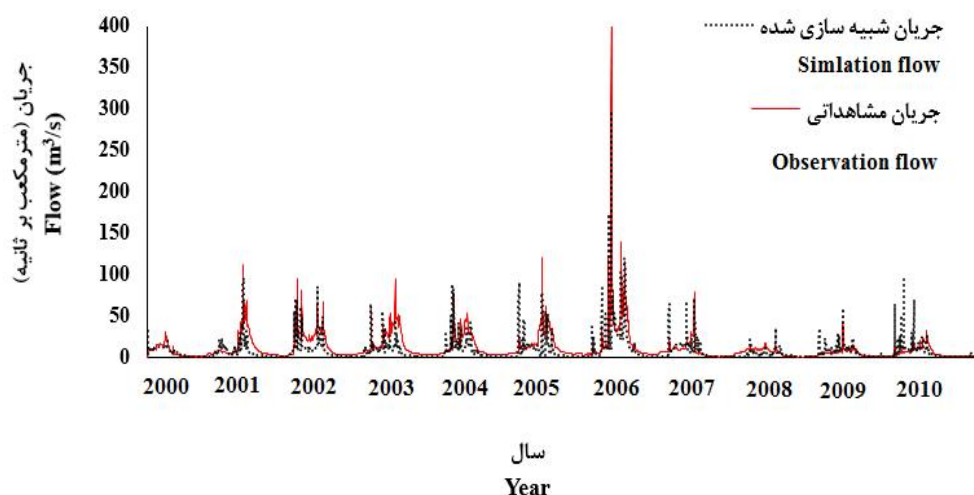
$$E = 1 - \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \times 100 \quad (1)$$

که E ضریب کارایی نش- ساتکلیف، O_i دبی مشاهداتی، P_i دبی شبیه‌سازی شده و $\bar{O}$ میانگین دبی مشاهداتی می‌باشند. ضریب نش- ساتکلیف بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. مقدار زیر یک نشان می‌دهد که مقدار میانگین سری زمانی پیش‌بینی کننده ققدر به مقادیر مشاهداتی نزدیک بوده است (۱۵) و مقدار یک نشان‌دهنده

زیرحوضه‌های ۱ و ۲ است این نشان می‌دهد که نگهداشت سطحی آب در این زیرحوضه‌ها نسبت به دو زیرحوضه دیگر کمتر است که امکان وقوع جریان‌های سیلابی در این مناطق را فراهم می‌آورد. با توجه به این که اکثر سطح این زیرحوضه‌ها کم شیب می‌باشد رفتار هیدرولوژیکی تحت تاثیر عوامل دیگر مانند بافت خاک و کاربری اراضی باشد. در زیرحوضه‌های ۳ و ۴ که تراکم پوشش گیاهی بیشتر است و کاربری اراضی غالب در این زیرحوضه‌ها جنگل نیمه انبوه است شماره منحنی مربوط به این زیرحوضه‌ها کمتر است. کمترین تغییرات زمانی شماره منحنی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ نیز مربوط به زیرحوضه‌های بزرگتر ۱ و ۲ می‌باشد و بیشترین تغییرات مربوط به زیرحوضه‌های ۳ و ۴ است که مساحت کمتری دارند. ستون ۶ جدول میانگین وزنی شماره منحنی حوضه و ستون ۷ میانگین وزنی مکانی نقشه‌های شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۰ که مقدار شاخص سطح برگ با مقدار ۱/۴ افزایش محسوسی داشته است، با افزایش پوشش گیاهی مقدار شماره منحنی کاهش یافته و به مقدار ۴۷ رسیده است. در سال ۲۰۰۶ که مقدار جریان در حوضه افزایش یافته است (شکل ۳)، به‌طور کلی ملاحظه می‌شود که عدد مربوط به شماره منحنی نیز در همه زیرحوضه‌ها مقدار زیادی دارد و متوسط شماره منحنی در این سال برابر ۷۴ می‌باشد. بررسی سری زمانی نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ نیز در این سال حداقل مقدار را در کل دوره آماری ۱۱ ساله دارد. به نظر می‌رسد با کاهش پوشش گیاهی و افزایش مقدار شماره منحنی در حوضه، دبی اوج و حجم سیل روند افزایشی داشته است. همچنین از سال ۲۰۰۸ به بعد که مقدار جریان حوضه کاهش چشمگیری داشته و مطابق با اعداد مربوط به شاخص سطح برگ، پوشش گیاهی در منطقه افزایش یافته است،

قابل اندازه‌گیری نبودند، با استفاده از سعی و خطا، تخمین زده شوند. در این روش ابتدا برای هر پارامتر یک مقدار اولیه بین محدوده قابل قبول برای هر پارامتر در نظر گرفته و مدل با این مقادیر اجرا شد. در صورت مناسب نبودن نتایج، تغییر مقادیر این پارامترها تا جایی ادامه می‌یابد که به مقادیر بهینه خود نزدیک‌تر شوند و نتایج شبیه‌سازی جریان توسط مدل بهبود یابد. شکل ۳ هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. اگر چه مقدار جریان اوج توسط مدل کمتر از مقدار مشاهداتی تخمین زده شده ولی زمان رسیدن به اوج در تاریخ ۱۰ فوریه ۲۰۰۶ به خوبی شبیه‌سازی شده است. به نظر می‌رسد بیشترین مقدار اختلاف بین جریان مشاهداتی و جریان شبیه‌سازی شده در قسمت بازوی پایین رونده هیدروگراف‌های مربوط به هر رویداد است. این امر نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی تخلیه آب ذخیره شده در حوضه انحراف داشته است. تا حدی حجم سیل فروکش کرده نیز توسط مدل کمتر از مقدار مشاهداتی آن برآورد شده است. همچنین با وجود این که در برآورد دبی‌های اوج هر رویداد توسط مدل اختلافاتی دیده می‌شود ولی در برخی قسمت‌های هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هر رویداد تطبیق خوبی مشاهده می‌گردد. ضریب نش-ساتکلیف ۰/۵۸ نیز نشان داد که مدل هیدروگراف سیلاب را بر اساس ضریب کارایی مدل (۹) با دقت نسبتاً قابل پذیرشی شبیه‌سازی کرده است. همچنین نتایج مدل با ضریب همبستگی ۰/۶۳ در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

مقادیر متوسط وزنی CN و شماره منحنی مربوط به هر ۴ زیرحوضه و مقادیر متوسط LAI برای هر سال در جدول ۲ مشاهده می‌شود. طبق این جدول بیشترین مقدار شماره منحنی مربوط به



شکل ۳- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

Figure 3- The observation and simulation of flow hydrograph

زیرحوضه‌ها متفاوت بوده است. باید در نظر داشت که رطوبت پیشین نیز اثر محسوسی بر شماره منحنی دارد، ولی در میانگین‌گیری سالانه این اثر کم‌رنگ می‌شود.

مقدار شماره منحنی، دبی اوج و حجم سیل در حوضه کاهش یافته است. البته به دلیل تغییرات مکانی پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بافت خاک و شیب منطقه، تغییرات شماره منحنی در

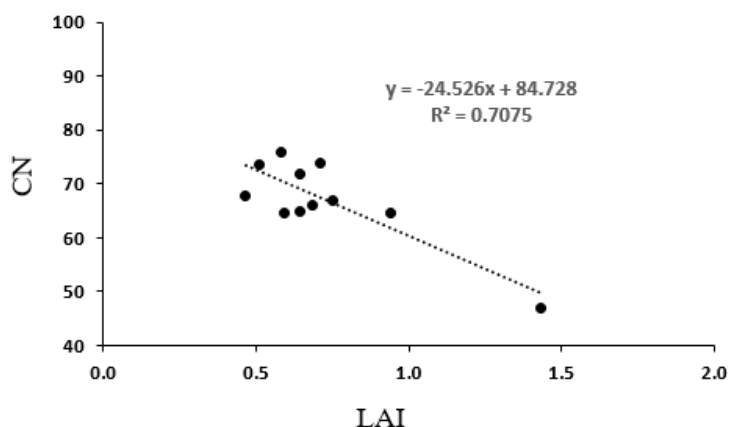
جدول ۲- مقدار شماره منحنی و شاخص سطح برگ سالانه حوضه مورد مطالعه و زیرحوضه‌ها

Table 2 - Value of annual curve number and leaf area index of studied basin and sub-basins

سال Year	CN				CN	LAI
	زیرحوضه ۱ Sub-basin 1	زیرحوضه ۲ Sub-basin 2	زیرحوضه ۳ Sub-basin 3	زیرحوضه ۴ Sub-basin 4		
2000	68	68	57	50	65	0.6
2001	80	80	75	45	76	0.6
2002	80	60	60	99	74	0.7
2003	80	50	80	45	68	0.5
2004	80	60	35	35	64	0.6
2005	80	60	40	45	66	0.7
2006	80	60	80	75	74	0.5
2007	80	60	55	85	72	0.6
2008	80	60	35	60	67	0.8
2009	80	60	35	35	64	0.9
2010	35	60	55	60	47	1.4
کل Total	80	60	50	60	69	0.7

مقدار t محاسبه شده $4/67$ و مقدار t جدول $3/25$ در سطح احتمالاتی 99% درصد، فرض H_0 رد شد. به این ترتیب نتایج به دست آمده در سطح احتمالاتی 99% درصد معنی‌دار بوده‌اند. طبق نمودار با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار شماره منحنی کاهش می‌یابد. زمانی که پوشش گیاهی در منطقه افزایش یابد، جریان روی زمینی، رواناب سطحی و مقدار شماره منحنی کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند مقدار دبی اوج سیل را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

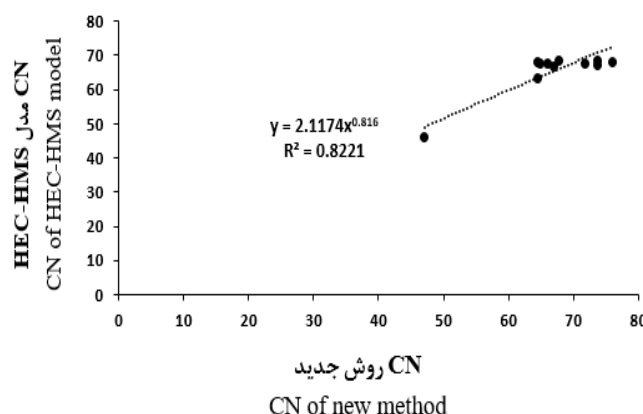
شکل ۴ نمودار همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد. شاخص سطح برگ و شماره منحنی با ضریب همبستگی $0/7$ رابطه خطی معکوس دارند و این نشان می‌دهد که تغییرات شماره منحنی تابعی از شاخص سطح برگ است. به منظور بررسی اعتبار آماری نتایج به دست آمده، آزمون آماری t دو طرفه انجام شد. فرض آماری H_0 مبنی بر عدم وجود همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ و فرض مقابل آن H_1 مبنی بر وجود همبستگی در متغیرهای مذکور تعریف شد. با مقایسه



شکل ۴- نمودار همبستگی بین شماره منحنی و شاخص سطح برگ سالانه

Figure 4- Correlation chart between annual curve number and leaf area index

نش- ساتکلیف ۰/۷۲ نشان داد که این رابطه جهت محاسبه شماره منحنی با استفاده از عامل کمکی شاخص سطح برگ از دقت خوبی برخوردار است. این نتایج با ضریب همبستگی ۰/۷۶ در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. از طرفی این موضوع از نزدیکی نقاط مربوط به مقدار شماره منحنی به خط برازش در شکل ۵ نیز قابل تشخیص است. از طرفی طبق این نمودار رابطه به‌دست آمده مقدار شماره منحنی را در محدوده بین ۶۰ تا ۷۰ بیشتر و مقادیر بالای ۷۰ را کمتر از مقدار شماره منحنی مدل برآورد نموده است. به طور کلی ضریب همبستگی ۰/۸۲ نشان می‌دهد که رابطه بدست آمده در این مطالعه مقدار شماره منحنی حوضه مورد مطالعه را با استفاده از عامل کمکی شاخص سطح برگ با دقت خیلی خوبی برآورد می‌کند.



شکل ۵- نمودار همبستگی بین مقادیر شماره منحنی مدل HEC-HMS و شماره منحنی محاسباتی با استفاده از شاخص سطح برگ
Figure 5- Correlation chart between the values of curve number of HEC-HMS model and computational curve number using the leaf area index

نتیجه‌گیری

در این مطالعه رابطه بین شماره منحنی حوضه آبخیز با شاخص سطح برگ بررسی شد. به‌این منظور ابتدا هیدروگراف جریان ایستگاه هیدرومتری پل کره‌بس، با استفاده از مدل HEC-HMS و تابع انتقال به روش شماره منحنی شبیه‌سازی شد. ضعف مدل در قسمت شبیه‌سازی بازوی پایین رونده هیدروگراف‌های هر رویداد است که نشان می‌دهد زهکشی آب نگهداشته شده در سطح حوضه توسط مدل به خوبی شبیه‌سازی نشده است که بیشتر به آب پایه هیدروگراف مرتبط می‌شود، درحالی‌که در بخش رواناب سطحی عملکرد بهتر بوده، اما در حالت کلی می‌توان گفت دبی اوج و حجم سیلاب کمتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. با این حال مدل برخی قسمت‌های مربوط

از آنجا که روش شماره منحنی، تغییرات فصلی و ماهانه پوشش گیاهی را در نظر نمی‌گیرد، پس از بررسی رابطه همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ، رابطه زیر جهت محاسبه شماره منحنی در حوضه مورد مطالعه پیشنهاد شد. این رابطه از شاخص سطح برگ به عنوان یک عامل کمکی به منظور اعمال تغییرات زمانی پوشش گیاهی استفاده می‌کند.

$$\frac{\overline{CN}}{CN_i} = 1 + \left(\frac{LAI_i}{1.6}\right)^{4.1} \quad (3)$$

که در رابطه فوق، $\overline{CN}$ میانگین وزنی شماره منحنی حوضه برای کل دوره آماری، CN_i شماره منحنی در زمان i و LAI_i شاخص سطح برگ در زمان i می‌باشد. دقت رابطه به‌دست آمده بر حسب مقادیر شماره منحنی حاصل از مدل و مقادیر حاصل از رابطه به‌دست آمده با استفاده از ضریب کارایی نش- ساتکلیف بررسی شد. مقدار ضریب

از این ارتباط می‌توان برای تبدیل محصولات سنجش از دور شاخص برگ به شماره منحنی استفاده کرد، لذا با فرض یک شماره منحنی حداقل (عموماً عدد ۴۰ به‌این منظور انتخاب می‌شود)، می‌توان معادله زیر را برای برقراری رابطه بین شماره منحنی و شاخص سطح برگ در این حوضه توسعه داد:

$$CN_i = CN_{min} + (100 - CN_{min}) \times \exp(a \times LAI_i) \quad (4)$$

که در رابطه فوق، CN_i ، CN_{min} و LAI_i به ترتیب شماره منحنی در زمان i ، حداقل شماره منحنی و شاخص سطح برگ در زمان i می‌باشند. ضریب a نیز عددی تجربی است که در این حوضه معادل ۱/۲- می‌باشد و برای سایر حوضه‌ها مقدار آن باید از خصوصیات محلی ارتباط بارش-رواناب با شاخص سطح برگ تعیین شود.

بافت خاک، شیب، رطوبت اولیه خاک و عوامل دیگر بر مقدار رواناب تأثیر می‌گذارند. تغییرات زمانی و مکانی عواملی مانند شماره منحنی و شاخص سطح برگ در حوضه به شناخت بهتری از رابطه بارش و رواناب می‌انجامد. زیرحوضه‌هایی که مقدار شماره منحنی در آن‌ها نسبتاً بالاتر است، بیش از سایر زیرحوضه‌ها مستعد جریان‌های سیل‌آسا و دبی‌های اوج تند هستند. نوع کاربری اراضی و بافت خاک در مقدار شماره منحنی تأثیر محسوسی دارند. این در حالی است که در بازه‌های زمانی مورد نظر در هیدرولوژی، نقشه خاک حالت نسبتاً ایستایی دارد، ولی نقشه کاربری پویایی زیادی نشان می‌دهد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که این مطالعه بر استفاده از محصولات سنجش از دور در درک این پویایی تکیه دارد و بدین منظور دو رابطه برای ارتباط بین شاخص برگ مستخرج از داده‌های سنجش از دور و شماره منحنی توسعه داده شده که امکان ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر شماره منحنی در بازه‌های زمانی مختلف را فراهم می‌آورند. با توجه اهمیت شرایط منطقه‌ای در مطالعات هیدرولوژی این معادلات به صورت اولیه می‌باشند و پیشنهاد می‌شود در مورد حوضه‌های دیگر مورد بررسی و واسنجی و اعتبارسنجی قرار گیرند.

به هیدروگراف هر رویداد را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. شماره منحنی حوضه از عوامل مؤثر بر دبی اوج حوضه است به طوری که با افزایش مقدار شماره منحنی متوسط‌گیری شده سالانه، افزایش دبی اوج در هیدروگراف شبیه‌سازی شده، مشاهده می‌شود. این اثر در سال ۲۰۰۶ که مقدار جریان افزایش چشمگیری داشته، بیشتر نمایان شده است. همچنین بررسی مقدار متوسط شماره منحنی و شاخص سطح برگ سالانه طی دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار شماره منحنی و در نتیجه دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه کاهش یافته است. مقدار شماره منحنی زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که امکان وقوع سیلاب در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ که دارای مقدار شماره منحنی بیشتری هستند به دلیل داشتن شیب کم، بیشتر است. لذا از این ارتباط فرآیندی می‌توان جهت کنترل سیل و پیشگیری از خسارات، اقدامات لازم کنترلی را از طریق افزایش پوشش گیاهی در این مناطق انجام داد. زیرحوضه‌های ۳ و ۴ دارای تنوع شیب بیشتری هستند و به دلیل پوشش گیاهی جنگل نیمه انبوه، شماره منحنی این زیرحوضه‌ها کمتر می‌باشد. رابطه بین بارش و رواناب در حوضه به صورت غیر خطی و پیچیده است و عوامل بسیاری از جمله شماره منحنی، پوشش گیاهی،

منابع

1. Abu-hashim M., Mohamed E., and Belal A.E. 2015. Identification of potential soil water retention using hydric numerical model at arid regions by land-use changes. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4):305-315.
2. Arekhi S. 2012. Runoff modeling using HEC-HMS model (Case study: Khan Watershed, Iran). *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 4(23):1807-1811.
3. Choudhari K., Panigrahi B., and Chandra P. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5(2):253-265.
4. Chow V.T., Maidment D.R., and Mays L.W. 1988. *Applied hydrology*, New York: McGraw-Hill.
5. Coyea M.R., and Margolis H.A. 1994. The historical reconstruction of growth efficiency and its relationship to tree mortality in balsam fir ecosystems affected by spruce bud worm. *Canadian Journal of Forest Research*, 24:2208-2221.
6. Dai X., and Khorram S. 1999. A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2351-2362.
7. Faridhosseini A., Astaraei A.R., Sanaeinejad S.H., and Mirhoseini Moosavi P. 2012. Estimation of Leaf Area Index Using IRS Satellite Images. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(3):577-582. (In Persian)
8. Gholami V., Bashirgonbad M., Azodi M., and Jokar Sarhangi E. 2010. The influence of land use changes on intensifying runoff generation and flood hazard in Kasilian Watershed. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 3(9):55-58. (In Persian with English abstract)
9. Gitau M.W., and Chaubey I. 2010. Regionalization of SWAT Model Parameters for Use in Ungauged Watersheds. *Water*, 2: 849-871.
10. Hamdami Gh., Sheidai Karkaj E., and Akbari Majdar H. 2012. Constructing curve number map (CN) for Maraveh-Tappeh Watershed using GIS. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1(3):1-8. (In Persian with English abstract)
11. Hawkins R.H. 1993. A symptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(2):334-345.

12. Hawkins R.H., Ward T. J., Woodward D. E., and Van Mullem J. A. 2008. Curve number hydrology: State of the practice. American Society of Civil Engineering, Washington.
13. King K.W., and Balogh J.C. 2008. Curve numbers for golf course watersheds. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 51(3):987-996.
14. Kosmas C., Danalatos N.G., and Gerontidis St. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. Catena, 40(1):3-17.
15. Krause P, Boyle D.P., and Base F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, 5:89-97.
16. Liu R., Chen J.M., Liua F., Deng R., and Sunk D. 2007. Application of a new leaf area index algorithm to China's land mass using MODIS data for carbon cycle research. Journal of Environmental Management, 85:649-658.
17. Mahdavi M. 2002. Applied hydrology, Tehran University press. (In Persian)
18. Mathevet T., Michel C., Andreassian V., and Perrin C. 2006. A bounded version of the Nash-Sutcliffe criterion for better model assessment on large sets of basins. International Association of Hydrological Sciences Publication, 307:211-219.
19. Melesse A.M., and Shih S.F. 2002. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. Computers Electronics in Agriculture, 37(1):173-183.
20. Michel C., Andreassian V., and Perrin C. 2005. Soil conservation service curve number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure?. Water Resource Research, 41(2):1-6.
21. Mishra S.K., and Singh V.P. 2006. A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria. Hydrological Processes, 20(13):2755-2768.
22. Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1979. River flow forecasting through conceptual models 1: a discussion of principles. Journal of Hydrology, 10:282-290.
23. Nastiti K.D., Kim Y., Jung K., and An H. 2015. The application of Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum Watershed, West Java-Indonesia. Procedia Engineering, 125:166-172.
24. Oleyiblo J.O., and Li Z.J. 2010. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. Water Science and Engineering, 3(1):14-22.
25. Pandey A., and Sahu A.K. 1999. Generation of curve number using remote sensing and Geographic Information system, north eastern regional institute of science and technology, Department of agricultural engineering, India. Letter 2. 15p.
26. Ponce V.M., and Hawkins R.H. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering, 1(1):11-18.
27. Reshma T., Venkata Reddy K., and Deva P. 2013. Simulation of Event Based Runoff Using HEC-HMS model for an Experimental Watershed. International Journal of Hydraulic Engineering, 2(2):28-33.
28. Romero P., Castro G., Gomez J.A., and Fereres J.A. 2007. Curve number values for olive orchards under different soil moisture management. Soil Science Society of America Journal, 71(6):1758-1769.
29. Saghaian B., Farazjoo H., Sepehr A., and Najafinejad A. 2006. Evaluation of landuse effect on watershed flooding of Golestan Dam. Water Resource Researches of Iran, 3(1):18-28. (In Persian with English abstract)
30. Sellers P.J., Randall D.A., Collatz G.J., Berry J.A., Field C.B., Dazlich D.A., Zhang C., Collelo G.D, and Bounoua L. 1996. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs, Part I: Model Formulation. Journal of Climate, 9:676-705.
31. Sharma K.D. 1998. The hydrological indicators of desertification. Journal of Arid Environments, 39:121-132.
32. Shokri S., Behnia A.A., Radmanesh F., and Akhond Ali A.M. 2012. Watershed flood hydrograph estimation using HEC-HMS and Geographic Information System (case Study: Idanak watershed). Journal of Watershed Management Research, 3(5):63-80. (In Persian with English abstract)
33. Sumaraw J.S.F., and Ohgushi K. 2012. Analysis on curve number, land use and land cover changes and the impact to the peak flow in the Jobaru River Basin, Japan. International Journal of Civil and Environmental Engineering, 12(02):17-23.
34. Wanielista M.P. 1990. Hydrology and Water Quantity Control. Wiley, New York.



Curve Number Estimation Based on the Leaf Area Index (A Case Study: Kareh-BasBasin)

K. Abdollahi^{1*} - S. Bayati²

Received: 06-09-2018

Accepted: 22-10-2018

Introduction: Curve number (CN) is a hydrologic parameter used to predict the direct runoff depth or the excessive rainfall that infiltrates into the soil. This parameter, which indicates surface water retention, is very important in the processes relating to flooding. Vegetation of the region is a major factor affecting peak flow and flood volume. The peak flow is highly influenced by the land surface characteristics, for example at the time that vegetation coverage is naturally low or while vegetated areas are decreasing, the peak discharges increase as well. In this study, the flood hydrograph of Kareh-Bas Basin was simulated using the HEC-HMS model. The simulation was used to estimate the values of the annual curve number in the basin of interest.

Materials and Methods: Model data requirements for this study were temperature, precipitation, and evapotranspiration and discharge time series. The model was calibrated for the period 2000-2010. Then, the model was implemented independently for simulating of rainfall-runoff for each year without any change in the optimized parameters. The model was calibrated only by changing curve number. The average curve number of the basin for each year was computed using the weighted mean method. The MODIS leaf area index raster maps were downloaded from the Modis site. The maps were converted into ASCII format for spatial statistics and calculating the monthly spatial average. The correlation between the curve number and leaf area index was investigated by a nonlinear curve fitting. This lead to the development of a curve number as a function of the vegetation cover for each year. Finally, the accuracy of the developed relationship was investigated using the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient by comparing the curve number obtained from the HEC-HMS model and the simulated values from the new relationship.

Results and Discussion: The obtained Nash-Sutcliffe coefficient of 0.58 showed that the HEC-HMS model was capable to simulate the flood hydrograph with relatively good accuracy. The sub-basin spatial mean showed that the sub-basins 1 and 2 take the highest curve number values. This indicates that surface water retention in these sub-basins is less than the other sub-basins, which may lead to a sharper hydrological response or flood. In sub-basins 3 and 4, where vegetation density is higher thus land use acts as a predominant factor in hydrological behavior of these sub-basins, the curve number was lower. The study shows the hydrological response depends on the temporal variation of the land cover, for instance in 2010, when the leaf area index increased by a factor of 1.4, the curve number has decreased to 47. As it is predictable with decreasing vegetation the peak discharge and flood volume was increasing. We found a direct nonlinear relationship between basin scale Leaf Area Index and Curve Number with a correlation coefficient of 0.7, indicating that the variation of the curve number is a function of the leaf area index. The developed model allows calculating curve number values based on the remotely sensed leaf area index. This relationship can be used as an auxiliary function for capturing the vegetation changes and dynamics. The accuracy of the derived equation was evaluated in terms of Nash-Sutcliffe's efficiency coefficient. A value of Nash-Sutcliffe coefficient of 0.72 showed that this relationship is good enough for calculating basin or sub-basin curve number values capturing the dynamics of leaf area index.

Conclusions: The obtained Nash-Sutcliffe efficiency coefficient from HEC-HMS showed that the model was able to simulate the flood hydrograph of Kareh-bas basin with relatively good accuracy. However, the visual interpretation shows there is a weakness in the simulation of the falling limb of the simulated hydrographs. This may be an indication that the drainage of stored water at the basin was not well-simulated by the model. In general, it can be said that peak discharge and flood volume were under-estimated. By increasing the curve number, the peak discharge values also were increasing. The pair data for spatially weighted values for curve number and averaged annual leaf area index showed that an increase in leaf area index leads to a lower value in obtained curve number. This may result in lower peak discharge and volume of the flood. Such relationships may be taken as a measure for flood control. Meanwhile remotely sensed leaf area index products may be considered as an opportunity to capture the dynamics of the land cover.

Keywords: Flood, HEC-HMS, Simulation, Vegetation cover

1 and 2- Assistant Professor of Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Geosciences, and Former Graduate Student of Water Resources, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord

(*- Corresponding Author Email: kabdolla@sku.ac.ir)

پهنه‌بندی کربن آلی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و شبکه عصبی مصنوعی (استان کهگیلویه و بویراحمد)

پریسا لاهوتی^۱ - سید مصطفی عمادی^{۲*} - محمد علی بهمنیار^۳ - مهدی قاجار سپانلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰

چکیده

برای درک بهتر از ترسیب یا آزادسازی کربن به اتمسفر، پهنه‌بندی کربن آلی خاک برای داشتن خط مبنایی از مقدار و ذخیره آن در خاک و همچنین امکان پایش تغییرات آن در طول زمان، بسیار حائز اهمیت است. هدف اصلی این تحقیق، شناخت تغییرپذیری مقدار و ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و زمین‌آمار در شرق و جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد بود. نمونه‌های خاک به صورت مرکب و تصادفی از ۲۰۴ نقطه از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر جمع‌آوری و مقدار کربن و ذخیره کربن آلی و برخی خصوصیات خاک اندازه‌گیری شد و از شاخص پوشش گیاهی، ارتفاع، دما، بارش و شیب به عنوان داده‌های کمکی استفاده شد. به منظور تخمین نقاط در محل‌های نمونه‌برداری نشده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (پرسترون چندلایه، MLP)، کوکریجینگ، کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده شد و از شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R^2)، ضریب همبستگی همگام (CCC)، خطای میانگین (ME) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تعیین بهترین روش استفاده شد. مقدار و ذخیره کربن آلی خاک با کاهش میانگین دما و افزایش ارتفاع، ارتقا یافت و در کاربری جنگل بیشترین مقدار بود. بهترین مدل واریوگرام برای مقدار و ذخیره کربن آلی مدل گوسی بود و روش MLP نسبت به روش‌های زمین‌آماري در تخمین مقدار و ذخیره کربن آلی خاک دقت بیشتری داشت. پهنه‌بندی حاصل از روش MLP با توجه به دقت بالای آن ($CCC=0.89$ ، $ME=0.133$ ، $RMSE=0.856$ و $R^2=0.68$) و مدنظر قرار دادن عوامل زمینی، خاکی و اقلیمی، می‌تواند به عنوان یک نقشه مبنای برای بیان وضعیت فعلی کربن آلی در منطقه معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، تغییرپذیری مکانی، مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقشه مبنای کربن خاک

مقدمه

انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (۲۷). درک بهتر از مقدار و ذخیره کربن آلی خاک و تنوع مکانی آن برای استفاده از خاک و حفظ بهره‌وری آن مؤثر و ضروری می‌باشد (۱۱). لذا نقشه‌ی دقیق مقدار و ذخیره کربن آلی خاک برای داشتن خط مبنایی از وضعیت کربن آلی خاک و نظارت بر تغییرات آن در طول زمان در مقیاس‌های مختلف، برای درک مناسب از پاسخ‌های سیستم زمینی به تغییرات اقلیمی و تشخیص میزان ترسیب یا آزادسازی کربن خاک به اتمسفر مورد توجه بسیاری است. عوامل زیست‌محیطی متعددی در مقدار کربن آلی خاک نقش دارند. عوامل توپوگرافی، اقلیمی، نوع پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بافت خاک و مدیریت انسانی از جمله این عوامل محسوب می‌شوند (۱۲ و ۳۸).

برای به حداقل رساندن وقت و هزینه جهت تهیه نقشه‌های کربن آلی خاک، لازم است از روش‌هایی استفاده شود که از کم‌ترین تعداد نمونه و آزمون خاک استفاده کند و دقت مناسبی نیز داشته باشند (۱۳). از میان روش‌های نوین و کارآمد می‌توان روش‌های زمین‌آمار و

کربن آلی خاک نقش بسیار مهمی در بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک‌ها در مناطق خشک دارد و از طریق تجزیه میکروبی و سایر عوامل طبیعی و غیرطبیعی دستخوش تغییرات میشود (۱۲). ذخیره کربن آلی خاک^۵ (SOC) که عمدتاً به مقدار کربن موجود در خاک به ازای سطحی مشخص از اراضی تا عمق معین بیان می‌شود (مانند کیلوگرم در هکتار)، یکی از منابع طبیعی با ارزش است که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را کنترل کرده و می‌تواند موجب بهبود کیفیت خاک شود. کربن آلی خاک نقش بسیار مهمی در افزایش تولید محصولات کشاورزی، کاهش فرسایش خاک و کاهش

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و دانشیار

گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(*) نویسنده مسئول: (Email: mostafaemadi@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.67983

5- Soil Organic Carbon Density

شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) را نام برد (۳۴).

رایج‌ترین روش‌های درون‌یابی در پژوهش‌های خاک روش کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله^۲ (IDW) هستند (۳۲). روش کریجینگ یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده از بین تکنیک‌های تصادفی می‌باشد، این روش در پیش‌بینی خواص خاک از جمله مقدار کربن آلی خاک در مقایسه با روش‌های درون‌یابی خطی برتری دارد (۱۱). تخمین‌گر کوکریجینگ برای مواردی استفاده می‌شود که دو متغیر دارای تغییرات مکانی بوده و داده‌های کافی از متغیر اصلی در دسترس نیست. در این گونه موارد از متغیر ثانویه‌ای (کمکی) استفاده می‌شود که دارای همبستگی بالایی با متغیر اصلی می‌باشد (۵). روش وزن‌دهی معکوس فاصله، یکی از روش‌های محلی درون‌یابی برای تخمین نقاط محسوب می‌شود. این روش از نقاط همسایه در برآورد پارامتر موردنظر استفاده می‌کند و یک روش قطعی و ریاضی برای تخمین در مکان‌هایی است که داده‌برداری از آن‌ها صورت نگرفته است (۴). این روش‌ها، نیاز به نمونه‌برداری متراکم برای تهیه نقشه کربن آلی خاک با دقت بالا را کاهش داده و از این طریق تا حد زیادی در هزینه و وقت صرفه‌جویی می‌کنند (۲۰).

شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پویا و غیرخطی است که از تعداد زیادی واحد پردازنده به نام نورون و اتصالات بین نورون‌ها (رشته‌های سیناپسی) تشکیل شده و قادر به شبیه‌سازی فرآیندها همانند یادگیری انسان است (۲۰). مقدار ماده آلی خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (با در نظر گرفتن ارتفاع، دما، بارش و شاخص پوشش گیاهی به عنوان متغیرهای کمکی) و کریجینگ معمولی در فلات تبت بررسی شد و نتایج نشان داد که روش تلفیقی شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی کربن آلی از دقت بالاتری برخوردار است (۱۱). مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۳ (PLSR) نیز در اندازه‌گیری مقدار کربن آلی به کار برده شد (۱۹) و پیشنهاد شد از آن برای پیش‌بینی آنالین (برخط) کربن آلی استفاده شود.

در رابطه با تخمین مقدار و ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی مطالعات محدودی در کشور انجام گرفته است (۱۳، ۲۰، ۲۴، ۲۹، ۳۱، ۳۲). میزان کربن آلی خاک را با استفاده از آنالیز عوارض زمینی در مشهد مورد بررسی قرار گرفت (۲۰) و نتایج نشان داد بین نقشه‌های حاصل از روش‌های زمین‌آمار تفاوت نسبتاً کمی وجود داشته، درحالی‌که این تفاوت با نقشه‌های حاصل از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی

مصنوعی محسوس بود. در مطالعه‌ای دیگر برای پیش‌بینی تراکم کربن آلی خاک با استفاده از متغیرهای کمکی (زیست‌محیطی) در شمال ایران، از شبکه عصبی مصنوعی برای توسعه مدل‌هایی جهت پیش‌بینی SOC در دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری خاک استفاده شد (۱۳). متغیرهای زیست‌محیطی انتخابی شامل شاخص‌های پوشش گیاهی، توزیع اندازه ذرات خاک، نوع کاربری اراضی و خصوصیات عوارض زمینی به عنوان متغیرهای ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شدند. طبق نتایج به دست آمده، مدل شبکه عصبی به ترتیب ۷۷ و ۷۲ درصد از تغییرپذیری SOC را در اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری خاک را توجیه کردند. در ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره برای پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین مشخص شد که مدل رگرسیونی توانست تنها ۶۰ درصد از تغییرات مکانی کربن آلی را پیش‌بینی کند در حالیکه مدل شبکه عصبی مصنوعی حدود ۸۹ درصد از تغییرات را توجیه کرد (۲۹).

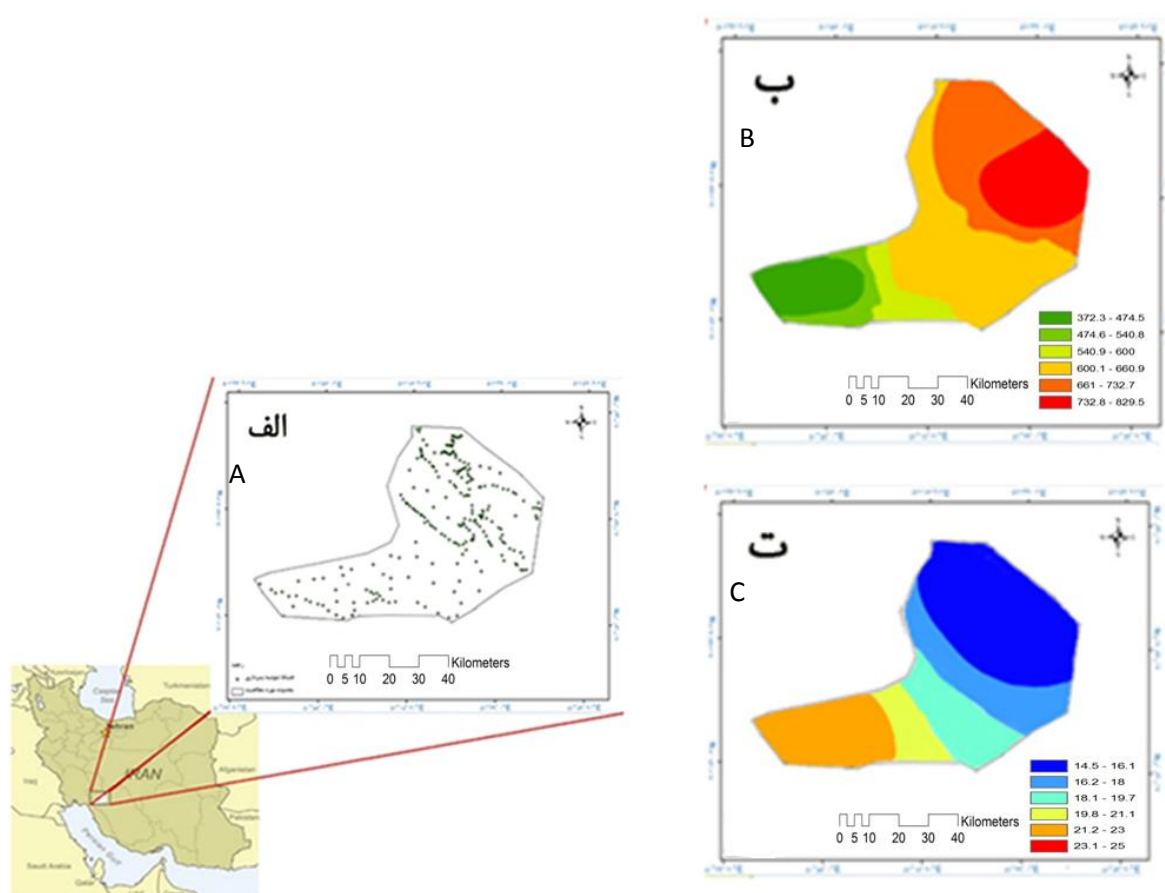
تاکنون تهیه نقشه‌ی کربن آلی خاک در شرق و جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد با توجه به تنوع زیاد از لحاظ تغییرات توپوگرافی و اقلیمی انجام نشده است. لذا به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی بتواند با مدنظر قرار دادن داده‌های کمکی از قبیل خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیم و شاخص پوشش گیاهی، نقشه مبنای خوبی را از مقدار و ذخیره کربن آلی خاک فراهم کند. براین اساس، هدف از این تحقیق امکان استفاده از متغیرهای کمکی مانند مشخصه‌های عوارض زمینی (درجه شیب، مدل رقومی ارتفاع و شاخص پوشش گیاهی)، خصوصیات اقلیمی (دما و بارش) و برخی ویژگی‌های خاک (بافت، EC و pH) در برآورد و پهنه‌بندی مقدار و ذخیره کربن آلی خاک و مقایسه تخمین‌گرهای مختلف در شرق و جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شرق و جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد و وسعت آن ۴۵۷۸/۷۸ کیلومتر مربع است. تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در این منطقه ۴ ایستگاه با داده‌های آماری بیش از ۱۵ سال می‌باشد. میانگین بارندگی و دمای طولانی‌مدت در ایستگاه‌های یاسوج (شرق)، امامزاده جعفر (جنوب)، دوگنبدان (جنوب) و سی سخت (شمال شرق) به ترتیب ۸۲۳/۹ میلی‌متر و ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد، ۴۴۱/۹ میلی‌متر و ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد، ۴۴۲/۸ میلی‌متر و ۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد، ۶۷۶/۲ میلی‌متر و ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شکل ۱ محل نمونه‌برداری و توزیع مکانی میانگین دما و بارش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

- 1- Artificial Neural Network
- 2- Inverse Distance Weighing
- 3- Partial Least Squares Regression



شکل ۱ - محل نمونه‌برداری (الف)، توزیع مکانی میانگین بارش (ب) و دما (ج) در منطقه مورد مطالعه در استان کهگیلویه و بویراحمد
Figure 1- Sampling sites (A) and spatial distribution map of mean precipitation (B) and temperature (C) in the study area in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province

الکتریکی (EC) در عصاره اشباع خاک به‌وسیله هدایت سنج الکتریکی (۲۸) اندازه‌گیری شد. چگالی ظاهری به روش استوانه فلزی در نمونه‌های دست‌نخورده (۷) بدست آمد. مقدار ذخیره کربن آلی خاک (SOC_D) نیز از فرمول ۱ محاسبه شد (۳۸).

$$SOC_{Stock} = \frac{SOC_{content}}{100} \times D_b \times D \times 100 \times (1 - \theta_m) \quad (1)$$

در این فرمول SOC_{Stock} مقدار ذخیره کربن آلی (تن بر هکتار)، $SOC_{content}$ مقدار کربن آلی (گرم کربن بر گرم خاک)، D_b چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D ضخامت لایه سطحی خاک (۱۵ سانتی‌متر) و θ_m درصد سنگریزه می‌باشد. در این پژوهش برای تهیه داده‌های کمکی از ویژگی‌های اراضی (درصد شیب و مدل رقومی ارتفاع^۲)، میانگین دما و بارش و از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای بدست آوردن شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. شاخص پوشش گیاهی به‌وسیله نرم‌افزار ENVI 5.3 و با استفاده از

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

در این تحقیق با توجه به وسعت نسبتاً زیاد منطقه و صعب‌العبور بودن برخی محل‌ها، از روش نمونه‌برداری تصادفی استفاده شد. جمعاً تعداد ۲۰۴ نمونه خاک سطحی به‌صورت مرکب از عمق تقریبی ۰-۱۵ سانتی‌متری برداشته شد که در شکل ۱ محل نمونه‌برداری مشخص شده است. نمونه‌برداری از پنج نوع کاربری مرتع، اراضی زراعی، جنگل، باغ و زمین بایر صورت گرفت. طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر یک از نمونه‌ها با دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد. در زمان نمونه‌برداری درصد شیب با شیب‌سنج اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت انجام آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند و مقدار کربن آلی خاک (SOC) به روش اکسیداسیون تر (۳۷)، بافت به روش هیدرومتری (۸)، pH خاک در گل اشباع به کمک دستگاه اندازه‌گیری pH (۲۸)، قابلیت هدایت

تصاویر ماهواره لندست ۸ (تاریخ ۱۵ فوریه سال ۲۰۱۵) تقریباً همزمان با زمان نمونه برداری بدست آمد.

توصیف آماری داده‌ها و روش‌های درون‌یابی

بعد از انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی به منظور توصیف داده‌ها و به دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری مواردی از قبیل حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات محاسبه شد. از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد و در مورد داده‌هایی که از توزیع نرمال برخوردار نبودند، تبدیل داده‌ها به روش تبدیل لگاریتمی و روش باکس-کاکس (box-cox) انجام شد. در این تحقیق از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله با ۵ توان، برای تخمین مقدار و ذخیره کربن آلی خاک استفاده شد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

برای تعیین بهترین مدل و ساختار شبکه عصبی از نرم‌افزار SPSS18 و برای پهنه‌بندی آن از نرم‌افزار ArcGIS 10 استفاده شد. به منظور پیش‌بینی کربن آلی خاک و SOCD، از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۱ (MLP) با تعداد نورون ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ در لایه مخفی و در روش MLP با دولایه مخفی، با بهترین تعداد نورون در لایه اول، انتخاب تعداد نورون بهینه در لایه دوم با در نظر گرفتن ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ نورون با الگوریتم پس انتشار خطا^۲ و تکنیک یادگیری مارکوارت - لونیگ^۳ با تابع ورودی سیگموئید^۴ و تابع خروجی پیورلاین (خطی) برای انتخاب بهترین ساختار شبکه عصبی MLP استفاده شد.

نیمه‌تغییر نما و روش کریجینگ معمولی

نیم‌تغییرنماهای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از داده‌های نرمال و به وسیله معادله ۲ محاسبه گردید.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

در این معادله $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه x_i و $Z(x_i + h)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه $x_i + h$ و $N(h)$ جفت نمونه‌های جدا شده توسط h هستند. برای ترسیم نیم تغییرنما مدل‌های کروی، گوسی، نمایی و خطی برازش داده شد و

مقادیر اثر قطعه‌ای^۵، حد آستانه^۶ و دامنه تأثیر^۷ در نرم‌افزار GS+ محاسبه شد (۳، ۳۳، ۳۶). سپس از روش کریجینگ معمولی برای یافتن وزن‌های آماری نمونه‌ها، به طوری که هم با حداقل رساندن واریانس و هم با نااریب کردن برآورد (۱)، درون‌یابی را انجام دهد.

کوکریجینگ

در این مطالعه شاخص پوشش گیاهی با توجه به حداکثر همبستگی مکانی با کربن آلی و ذخیره کربن آلی به عنوان داده کمکی انتخاب شد. در روش کوکریجینگ از تغییرنمای عرضی^۸ استفاده شد (معادله ۳) (۵):

$$Z^*(X_0) = \sum \lambda_{1i} Z_1(X_i) + \lambda_{2i} Z_2(X_i) \quad (3)$$

که در این معادله Z^* تخمین مقدار Z در نقطه X_0 و λ_{1i} و λ_{2i} وزن‌های آماری مربوط به متغیرهای Z_1 و Z_2 در نقاط X_i به کاررفته در کوکریجینگ می‌باشند.

وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)

در این مطالعه برای درون‌یابی پارامترهای اندازه‌گیری شده از توان‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در روش وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده شد.

ارزیابی تخمین‌گرها

برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی کربن آلی خاک از روش به صورت تصادفی، ۲۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی و ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش در نظر گرفته شد. یک تخمین‌گر خوب (روش‌های مختلف درون‌یابی) بایستی دارای میانگین خطای تخمین^۹ (ME) صفر و یا نزدیک به صفر باشد و میانگین مجذور خطای^{۱۰} (RMSE) آن حتی‌الامکان حداقل مقدار عددی را داشته باشد و هرچه این دو مقدار کوچک‌تر باشند دقت روش بیشتر است (۱). برای صحت تخمین‌گرها بر مبنای حداقل بودن شاخص‌های آماری خطای میانگین (ME) (معادله ۵)، میانگین مجذور خطا (RMSE) (معادله ۶) و حداکثر بودن ضریب همبستگی^{۱۱} (R^2) (معادله ۷) و ضریب همبستگی انطباقی^{۱۲} (CCC) (معادله ۸)

- 5- Nugget Effect
- 6- Sill
- 7- Range
- 8- Cross-Variogram
- 9- Mean Error (ME)
- 10- Root Mean Square Error (RMSE)
- 11- Correlation Coefficient (R^2)
- 12- Concordance Correlation Coefficient (CCC)

- 1- Multilayer Perceptron
- 2- Back Propagation
- 3- Levenberg-Marquardt
- 4- Sigmoid

بررسی شد (۲۲).

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌های خاک

در جدول ۱ خلاصه آماری از داده‌های مورد مطالعه ارائه شده است. کمترین و بیشترین مقدار SOC، به ترتیب ۰/۲۰ و ۳/۹۶ درصد و به‌طور میانگین مقدار آن ۱/۵۷ درصد در کل منطقه به‌دست آمد. کمترین مقدار DCOS (با در نظر گرفتن عمق ۵۱ سانتیمتر)، ۳/۴۰ تن در هکتار و بیشترین مقدار آن ۵۳/۶۴ تن در هکتار (با میانگین ۲۲/۳۲) بدست آمد. به دلیل قرارگیری عمده منطقه مورد مطالعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مقدار و ذخیره کربن آلی در منطقه مورد مطالعه کم تا متوسط بود. ضریب تغییرات Hp، DCOS، CE، چگالی ظاهری و بافت خاک زیر ۵۰٪ است که نشان‌گر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد این متغیرها در منطقه مورد مطالعه است. کمترین ضریب تغییرات مربوط به Hp (۲/۵۹٪) و بیشترین ضریب تغییرات مربوط به کربن آلی (۵۳/۳۸٪) است. ضریب تغییرات کم برای Hp می‌تواند متأثر از عوامل ذاتی همچون مواد مادری در رفتار این ویژگی و همچنین لگاریتم‌گیری داده‌ها باشد درحالی‌که ضریب تغییرات زیاد کربن آلی خاک می‌تواند ناشی از اثرپذیری بالای آن نسبت به عوامل مدیریتی و کاربری اراضی و عوامل ذاتی مانند وضعیت زهکشی (۱۶)، دما، ارتفاع و بارش در خاک‌های منطقه مورد مطالعه باشد.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (۵)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (۶)$$

$$CCC = \frac{2\rho\sigma_X\sigma_Y}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + (\mu_X - \mu_Y)^2} \quad (۷)$$

در معادلات بالا y_i ، مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده، $\hat{y}_i$ ، مقدار کربن پیش‌بینی شده، $\bar{y}$ میانگین مقدار/ذخیره کربن آلی اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های اعتبارسنجی، ρ همبستگی بین دو پارامتر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده، σ_X و σ_Y واریانس پارامتر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده، μ_X و μ_Y میانگین مقدار/ذخیره کربن آلی اندازه‌گیری شده و مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. در نهایت با تعیین بهترین روش درون‌یابی از نرم‌افزار ArcGIS10 برای پهنه‌بندی کربن و ذخیره کربن آلی خاک استفاده شد.

جدول ۱- برخی شاخص‌های آماری کربن آلی، بافت، pH و EC خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Some descriptive statistics of soil organic carbon, texture, pH and EC in the study area

پارامترها Parameters	واحد unit	ضریب تغییرات (%) Coefficient of Variation (%)	چولگی Skewness	کشی‌دگی Kurtosis	انحراف معیار Standard deviation	میان‌ه Median	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min
کربن آلی SOC	%	53.38	0.882	0.224	1.37	1.37	1.57	3.96	0.20
ذخیره کربن آلی SOCD	tone ha ⁻¹	49.08	0.740	0.148	10.96	19.70	22.32	53.64	3.40
pH	-	2.59	-0.364	-0.035	0.19	7.45	7.43	7.88	6.88
EC	dS m ⁻¹	33.41	1.354	2.419	0.35	0.98	1.05	2.62	0.49
چگالی ظاهری Bulk density	g cm ⁻³	12.16	1.067	0.434	0.13	1.04	1.07	1.49	0.90
رس Clay	%	31.66	0.302	0.514	6.64	20.40	20.98	44.40	2.40
شن Sand	%	32.65	0.701	0.286	10.41	30.00	31.89	64.00	12.60
سیلت Silt	%	18.33	-0.460	0.099	8.64	47.60	47.13	65.60	21.60

بررسی نرمال بودن توزیع خصوصیات خاک

pH، EC، چگالی ظاهری، شن و سیلت به علت معنی‌دار بودن آزمون کولموگروف-اسمیرنوف از توزیع نرمال برخوردار نبودند ($P < 0.05$).

در بین داده‌های اندازه‌گیری شده مقادیر کربن آلی، SOCD،

ولی درصد رس از توزیع نرمال برخوردار بود ($P > 0.05$). داده‌های کربن آلی، SOC، pH، EC و شن از روش تبدیل لگاریتمی و چگالی ظاهری و درصد سیلت از روش تبدیل باکس کاکس در محیط نرم‌افزاری Develve نرمال شدند.

تأثیر نوع کاربری، دما و ارتفاع بر مقدار و ذخیره کربن آلی
مقایسه میانگین تأثیر دما، ارتفاع و نوع کاربری بر مقدار و ذخیره

کربن آلی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار و ذخیره کربن آلی خاک با کاهش میانگین دما افزایش پیدا کرد. مقدار و ذخیره کربن آلی با افزایش ارتفاع که همراه با افزایش بارش نیز در منطقه همراه بوده است افزایش پیدا کرد. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد با کاهش دما و افزایش ارتفاع شرایط برای استقرار پوشش گیاهی فراهم شده و همچنین کاهش دما شرایط لازم برای تجزیه کمتر میکروبی کربن آلی را مهیا می‌کند.

جدول ۲- مقایسه میانگین مقدار کربن آلی و ذخیره کربن آلی در کاربری‌ها، طبقات ارتفاعی و دامنه‌های دمایی مختلف در منطقه مورد مطالعه
Table 2- Mean comparison of SOC and SOCD in different land uses, elevations and temperature ranges in study area

	نوع کاربری Land use				
	مرتع Rangelands (n=17)	جنگل Forest soils (n=31)	زراعی Croplands (n=95)	باغ Orchards (n=45)	اراضی بایر Bared soils (n=16)
کربن آلی SOC (%)	1.37bc	2.21a	1.41bc	1.71b	1.16c
ذخیره کربن آلی SOCD (tone ha ⁻¹)	19.51bc	30.41a	20.58bc	23.59b	17.08c
دامنه ارتفاعی Elevation ranges					
	2000-2700 m (n=77)	1300-2000 m (n=94)		600-1300 m (n=33)	
کربن آلی SOC (%)	1.65a	1.71a		1.05b	
ذخیره کربن آلی SOCD (tone ha ⁻¹)	22.87a	24.04a		16.12b	
دامنه دمایی Temperature ranges					
	19.8-23°C (n=26)	16.2-19.7°C (n=22)		14.5-16.1°C (n=156)	
کربن آلی SOC (%)	1.04b	1.42ab		1.68a	
ذخیره کربن آلی SOCD (tone ha ⁻¹)	16.22b	18.92ab		23.82a	

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter in each row do not have significantly different (ns) ($P < 0.05$)

تجربی مقدار و ذخیره کربن آلی خاک و سایر پارامترها با استفاده از داده‌های نرمال شده در جدول ۲ نشان داده شده است. پس از برآزش چندین مدل نیم تغییرنما، مدل مناسب به عنوان بهترین مدل برای هر پارامتر انتخاب شد. بهترین مدل نیم تغییرنما برای مقدار و ذخیره کربن آلی مدل گوسی با توجه به ضریب تبیین بالا و مجموع مربعات خطای کم انتخاب شد. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف که معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌شود اگر کمتر از ۲۵ درصد باشد نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی و اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی متوسط و اگر بیشتر از ۷۵ درصد باشد وابستگی مکانی ضعیفی را نشان می‌دهد (۳۹). ساختار مکانی قوی در یک متغیر می‌تواند ناشی

حداکثر مقدار کربن و ذخیره کربن آلی در خاک‌های با کاربری جنگل و حداقل مقدار آن‌ها در خاک‌های اراضی بایر وجود داشت. دلیل بیشتر بودن مقدار و ذخیره کربن آلی در خاک‌های با کاربری جنگلی را می‌توان به پوشش گیاهی دائم، بقایای گیاهی بیشتر، وجود مواد هومیکی، عدم زیرورو شدن خاک، ریشه‌دهی بیشتر گیاهان و درختان و حفاظت فیزیکی بیشتر و دائمی‌تر نسبت داد (۲۵).

آنالیز نیم‌تغییرنما

اولین گام در روش زمین‌آمار بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها با استفاده از آنالیز نیم تغییرنما است (۳۵). نیم تغییرنمای

از اثر عامل‌های ذاتی خاک باشد (۹). طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۲ مقدار و ذخیره کربن آلی خاک دارای اثر قطعه‌ای کوچک و همچنین دارای وابستگی مکانی قوی است. وابستگی مکانی قوی در اثر فرآیندهای داخلی و وابستگی‌های مکانی ضعیف در اثر فرآیندهای خارجی حاصل می‌شود. لذا فرآیندهای داخلی مانند مواد مادری تأثیر بیشتری روی تغییرپذیری این متغیرها در منطقه داشته است (۱۸). دامنه تأثیر فاصله‌ای است که در موازی آن نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و آن‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر محسوب نمود. چنین فاصله‌ای حد همبستگی خصوصیت موردنظر را مشخص نموده و

اطلاعاتی در رابطه با حداقل فاصله نمونه‌برداری ارائه می‌کند (۲). دامنه تأثیر نیم‌تغییرنا برای مقدار کربن آلی در حدود ۱۹۶ کیلومتر و برای ذخیره کربن آلی در حدود ۱۸۳ کیلومتر می‌باشد. دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری و موقعیت سیمای اراضی می‌باشد. دامنه تأثیر بزرگ‌تر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر و پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر موردنظر دارد (۲).

جدول ۲- ویژگی‌های نیم‌تغییرنمای خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه
Table 2- Semivariogram characteristics of the soil properties in the study area

پارامترها Parameters	مدل Model	دامنه Range (m)	R ²	RSS	C ₀ /(C+C ₀)	سقف Sill (C+C ₀)	اثر قطعه‌ای Nugget effect (C ₀)
کربن آلی SOC	گوسی Gaussian	196300	0.719	0.121	0.08	2.43	0.214
ذخیره کربن آلی SOCD	گوسی Gaussian	183000	0.692	0.169	0.06	2.32	0.157
pH	گوسی Gaussian	211000	0.713	2.88	20	0.003	0.0006
EC	گوسی Gaussian	211000	0.883	1.30	9.67	0.744	0.072
چگالی ظاهری Bulk density	گوسی Gaussian	155400	0.929	1.36	0.244	0.352	0.086
شن Sand	گوسی Gaussian	311000	0.808	1.77	9.18	0.98	0.09
سیلت Silt	خطی Linear	83316.70	0.925	1.61	20.12	386000.0	77670.9
رس Clay	گوسی Gaussian	90400	0.916	123	30.73	106.4	32.70

ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی در پهنه‌بندی مقدار و ذخیره کربن آلی خاک

نتایج ارزیابی روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ معمولی، وزن‌دهی معکوس فاصله و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین کربن آلی خاک در اراضی مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است و برای شناسایی دقیق‌ترین روش، اساس قضاوت کمترین RMSE و ME و بیشترین R² و CCC مدنظر قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳، بهترین روش زمین‌آماري برای کربن آلی خاک روش کوکریجینگ با حداقل RMSE (۰/۲۴۹) و ME (۰/۰۳۹) و بیشترین R² (۰/۵۹) و CCC (۰/۷۵) بدست آمد. با توجه با پایین بودن نسبی

خطا در تخمین کربن آلی در هر سه روش کوکریجینگ، کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله با توان‌های مختلف، این‌طور به نظر می‌رسد که زمین‌آمار می‌تواند روش نسبتاً خوبی برای تخمین کربن آلی در نقاط نمونه‌برداری نشده باشد. نقشه‌های توزیع مکانی حاصل از داده‌های تخمینی کربن آلی خاک به‌دست‌آمده از منطقه مورد مطالعه به روش کوکریجینگ در شکل ۲ سمت چپ آورده شده است. در این شکل رنگ آبی نشان‌دهنده بالاترین میزان کربن آلی و رنگ قرمز نشان‌دهنده پایین‌ترین میزان کربن آلی می‌باشد. با توجه به شکل ۲، با افزایش ارتفاع، کمتر شدن دما و همچنین بارش بیشتر در بخش‌های شمال شرقی منطقه مورد مطالعه کربن آلی افزایش یافته است. نقشه توزیع مکانی و مقایسه آن با نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد

همکاران (۲۰) مغایرت دارد.

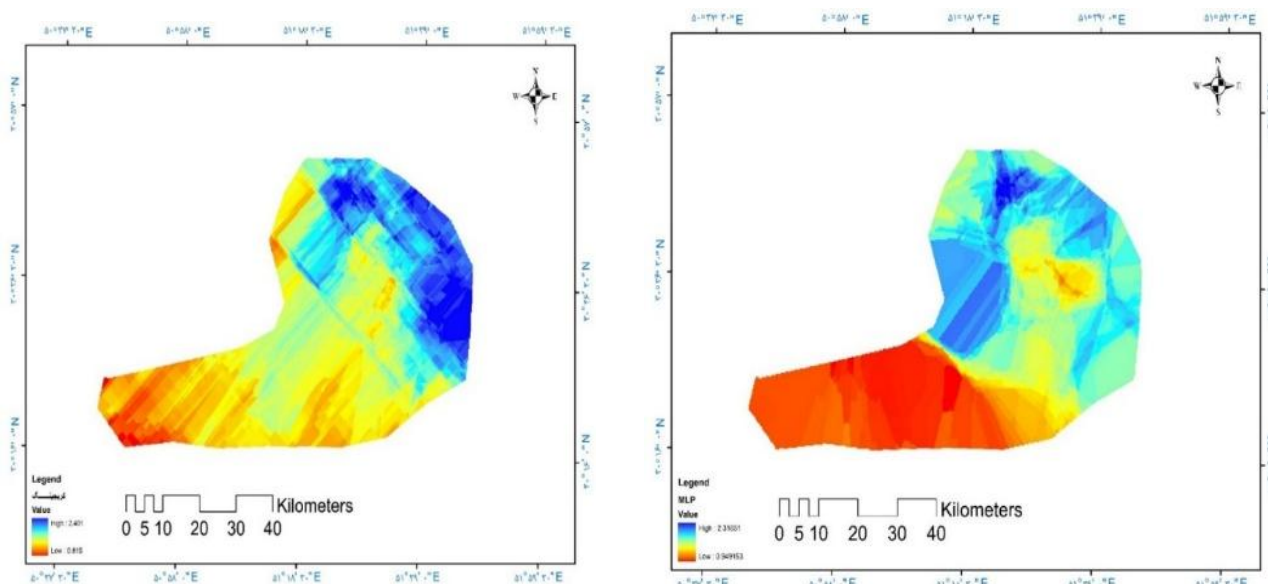
نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی در تخمین SOCD در اراضی مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده بهترین روش درون‌یابی از میان روش‌های زمین‌آمار، روش کوکریجینگ با حداقل RMSE (۲/۱۳) و ME (۰/۴۸۸) و بیشترین R^2 (۰/۵۱) و CCC (۰/۶۹) بدست آمد. استفاده از شاخص پوشش گیاهی در روش کوکریجینگ که همبستگی بالایی با مقدار کربن آلی داشته و منجر به افزایش دقت نقشه توزیع مکانی ذخیره کربن آلی خاک شد. نقشه‌های توزیع مکانی حاصل از داده‌های تخمینی SOCD به‌دست آمده از منطقه مورد مطالعه به روش کوکریجینگ در شکل ۳ سمت چپ آورده شده است. نتایج برآورد SOCD به روش شبکه عصبی مصنوعی MLP تک لایه و دو لایه نیز در جدول ۳ آورده شده است. طبق نتایج به‌دست آمده از این جدول، مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP تک لایه با پنجاه نورون در لایه میانی و $R^2 = ۰/۶۸$ ، $CCC = ۰/۸۹$ ، $ME = ۰/۱۳۳$ ، $RMSE = ۰/۸۵۶$ و به عنوان بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین مقدار SOCD شناخته شد. فلاتکار و همکاران (۱۳) در مطالعه خود از شبکه عصبی مصنوعی برای توسعه مدل‌هایی جهت پیش‌بینی SOCD استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی SOCD عملکرد بالایی داشته است که با یافته‌های این تحقیق مطابقت می‌کند. شکل ۳ سمت راست نقشه پهنه‌بندی داده‌های SOCD در شبکه عصبی MLP را نشان می‌دهد. در واقع روش MLP توانسته است به‌خوبی روابط غیرخطی بین کربن آلی و سایر فاکتورهای خاکی و زمین‌نما را در پهنه‌بندی مقدار و ذخیره کربن آلی بیان کند. این توزیع مکانی بدست آمده از مقدار و ذخیره کربن آلی در روش MLP، وابستگی زیادی با شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی نشان می‌دهد (شکل ۱). با کاهش دما و مساعد بودن شرایط برای افزایش پوشش گیاهی، افزایش کربن آلی به‌خصوص در قسمت شمال غربی منطقه مورد مطالعه رخ داده است. به خاطر فواصل نسبتاً زیاد نمونه‌برداری در این مطالعه، روش‌های کوریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله، به‌تنهایی نتوانستند دقت زیادی در مقایسه با روش کوکریجینگ (با داده کمی شاخص پوشش گیاهی) و به‌خصوص روش MLP داشته باشند زیرا این دو روش با در اختیار داشتن سایر داده‌های کمکی که همبستگی مناسب با کربن آلی داشتند و همچنین به‌واسطه تراکم بالای این داده‌های کمکی در سطح منطقه، منجر به دقت بالایی از نقشه توزیع مکانی کربن آلی در منطقه مورد مطالعه شدند.

که مشخصه‌های مختلف واریوگرام خاک به‌خوبی انتخاب شده‌اند و زمین‌آمار به‌عنوان ابزاری ارزشمند در تهیه نقشه‌های توزیع مکانی کربن آلی خاک نقش مهمی را ایفا می‌کند. ژانگ و همکاران (۴۲) در مطالعه خود در رابطه با تغییرپذیری مکانی کربن آلی سطح خاک به این نتیجه رسیدند که روش کوریجینگ نسبت به روش آمار کلاسیک از عملکرد بهتری برخوردار است. یانا و همکاران (۴۰) در مطالعه خود تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک به این نتیجه رسیدند که روش کوریجینگ معمولی عملکرد خوبی در تخمین کربن آلی داشت. یافته‌های این تحقیق با نتایج مطالعه جعفری و همکاران (۱۷)، سرمدیان و تقی‌زاده مهرجردی (۳۰)، بامری و همکاران (۶) و آهنگر و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. نتایج برآورد کربن آلی خاک به روش شبکه عصبی مصنوعی MLP تک لایه و دو لایه در جدول ۳، آورده شده است. فاکتورهای ورودی شبکه عصبی مصنوعی شامل خصوصیات خاک، عوارض زمینی و اقلیمی بودند. طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP تک لایه با پنج نورون در لایه میانی و $R^2 = ۰/۷۳$ ، $CCC = ۰/۸۸$ و $ME = -۰/۰۱۵$ ، $RMSE = ۰/۰۱۸$ به‌عنوان بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین مقدار کربن آلی خاک شناخته شد. لی و همکاران (۲۱) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که مدل شبکه عصبی (تابع پایه شعاعی) نسبت به رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون کوریجینگ، الگوی مکانی واقع‌بینانه‌تری را از کربن آلی خاک نشان می‌دهد. کانگ و همکاران (۲۰۱۵) و کلر و ارمس (۱۰) بیان داشتند که روش شبکه عصبی مصنوعی عملکرد خوبی در تخمین کربن آلی خاک داشت. یافته‌های این تحقیق با نتایج قلی‌پور و همکاران (۱۵)، سفیداری و همکاران (۳۱) مقیمی و همکاران (۲۳) نوشادی و همکاران (۲۶) مطابقت داشت. شکل ۲ سمت راست نقشه پهنه‌بندی مقدار کربن آلی به روش شبکه عصبی MLP را نشان می‌دهد. طبق این نقشه مقدار کربن آلی خاک در شمال و شمال شرق منطقه مورد مطالعه زیاد می‌باشد و با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرق، رفته‌رفته از مقدار آن کم می‌شود (رنگ قرمز در نقشه) که دلیل آن می‌تواند ارتفاع و بارش کم و دمای زیاد قسمت جنوب استان باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این نقشه هم‌خوانی زیادی با نقشه پهنه‌بندی روش کوکریجینگ دارد.

به‌طور کلی با توجه به معیارهای ارزیابی می‌توان بیان داشت که نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی با روش شبکه عصبی مصنوعی مناسب‌ترین الگوی پراکنش مکانی برای مقدار کربن آلی خاک را به نمایش گذاشته است. یافته‌های این تحقیق با نتایج لی و همکاران (۲۱) و زارعی ابیانه و بیات ورکشی (۴۱) مطابقت و با نتایج لکزیان و

جدول ۳- نتایج ارزیابی متقابل روش‌های مختلف درونیابی در تخمین مقدار کربن آلی خاک و ذخیره کربن آلی خاک
Table 3- The cross-validation results of different interpolation techniques for estimating the SOC and SOCD

روش‌های درونیابی Interpolation methods	شاخص‌های آماری Statistical indices							
	ذخیره کربن آلی خاک SOCD (tone ha ⁻¹)				کربن آلی خاک SOC (%)			
	RMSE	R ²	CCC	ME	RMSE	R ²	CCC	ME
Cokriging	3.13	0.51	0.699	0.688	0.249	0.59	0.75	0.039
Kriging	4.86	0.23	0.269	0.759	0.381	0.17	0.197	0.059
IDW with power of 1	4.93	0.21	0.240	0.770	0.387	0.14	0.164	0.060
IDW with power of 2	5.10	0.18	0.210	0.796	0.400	0.11	0.128	0.062
IDW with power of 3	5.27	0.17	0.190	0.823	0.413	0.1	0.109	0.064
IDW with power of 4	5.39	0.16	0.175	0.842	0.422	0.09	0.097	0.065
IDW with power of 5	5.46	0.14	0.165	0.853	0.426	0.07	0.088	0.066
MLP (one hidden layer)	0.856	0.68	0.892	0.133	0.018	0.73	0.886	-0.015
MLP (two hidden layer)	1.185	0.60	0.793	0.185	0.268	0.69	0.617	0.021



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی کربن آلی خاک به روش کوکریجینگ (سمت چپ) و شبکه عصبی MLP (سمت راست)
Figure 2- Spatial distribution map of SOC by the Cokriging method (left) and the MLP neural network (right)

نتیجه‌گیری

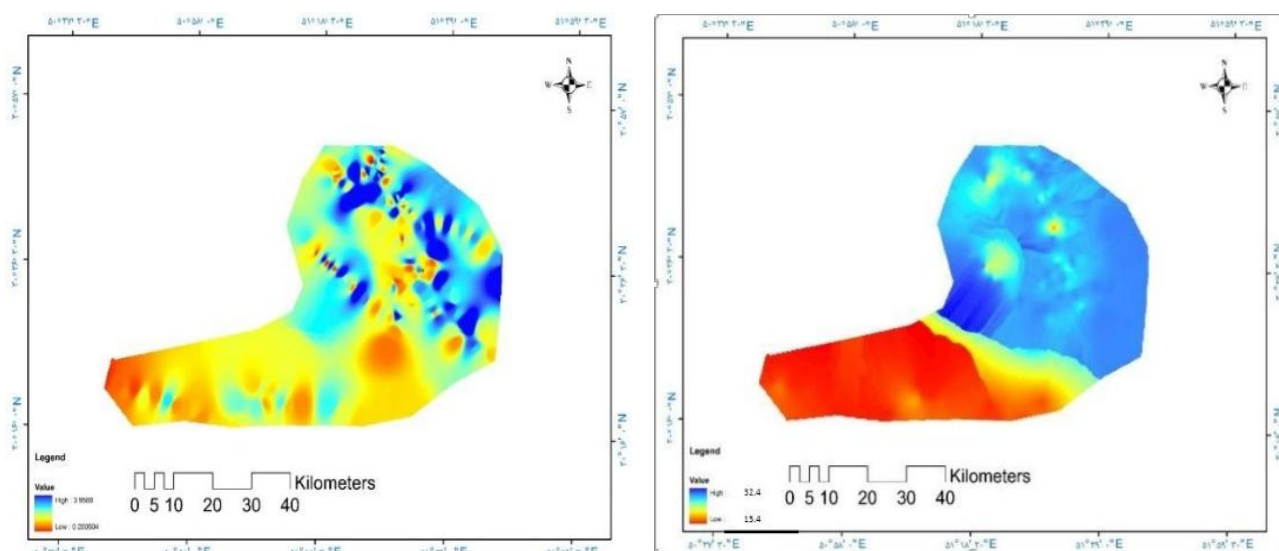
وزن‌دهی معکوس فاصله در تخمین مقدار و ذخیره کربن آلی خاک را نشان می‌دهد. به‌طور کلی از بین روش‌های زمین‌آماري روش کوکریجینگ با داده کمکی شاخص پوشش گیاهی به‌واسطه همبستگی بالای این ویژگی با کربن آلی خاک و همچنین با پراکنش مکانی زیاد در منطقه که از تصاویر ماهواره‌ای بدست آمد، توانست بهتر از دو روش کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله، مقدار و ذخیره کربن آلی خاک را تخمین بزند. در این میان روش شبکه عصبی مصنوعی MLP تک لایه با ساختار شبکه‌ای مناسب با شش ورودی

پهنه‌بندی مقدار و ذخیره کربن آلی خاک سطحی در شرق و جنوب شرقی استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقدار و ذخیره کربن آلی خاک با کاهش میانگین دما و افزایش ارتفاع، افزایش و در کاربری جنگل بیشترین مقدار بود. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه توانایی بالای روش شبکه عصبی مصنوعی را نسبت به روش‌های زمین‌آماري (کوکریجینگ، کریجینگ) و روش

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به انجام رسید که بدین وسیله از همراهی و مساعدت معاونت پژوهشی و آموزشی این دانشگاه کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

pH، EC، ارتفاع، شیب، بافت خاک و شاخص پوشش گیاهی توانست بهتر از روش کوکریجینگ مقدار و ذخیره کربن آلی را پیش‌بینی کند و می‌تواند به عنوان روشی کارآمد در پهنه‌بندی آن مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی SOCD به روش کوکریجینگ (سمت چپ) و شبکه عصبی MLP (سمت راست)
Figure 3- Spatial distribution map of SOCD by the Cokriging method (left) and the MLP neural nNetwork (right)

منابع

1. Abdollahi S., Delavar M.A., and Shekari P. 2013. Spatial distribution mapping of Pb, Zn and Cd and soil pollution assessment in Anguran area of Zanzan province. Journal of Water and Soil, 26(6):1410-1420. (In Persian with English abstract)
2. Afshar H., Salehi M.H., Mohammadi J., and Mehnatkesh A. 2009. Spatial variability of soil properties and irrigated wheat yield in a quantitative suitability map, a case study: Shahr-e-Kian area, Chaharmahal va Bakhtiari province. Journal of Water and Soil Conservation, 23(1):161-172. (In Persian with English abstract)
3. Akbarzadeh M., and Ghahraman B. 2013. A combined strategy of entropy and spatio-temporal kriging in determining optimal network for groundwater quality monitoring of Mashhad basin. Journal of Water and Soil Conservation, 27(3):613-629. (In Persian with English abstract)
4. Ansari H., Erfanian M., and Naderianfar M. 2011. The evaluating of drought zoning models in various time scales case study: Sistan and Baluchestan Province. Journal of Water and Soil Conservation, 18 (1):59-79. (In Persian with English abstract)
5. Ayoubi Sh., Mohammad Zamani S., and Khormali F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. Journal of Agricultural Science and Natural resources, 14(4):1-10. (In Persian with English abstract)
6. Bameri A., Khormali F., Kiani F., and Dehghani A.A. 2012. Spatial variability of soil organic carbon in different slope positions of hilly loess lands, Towshan area, in Golestan province. Journal of Soil and Water Conservation, 19 (2):43-60. (In Persian with English abstract)
7. Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods, American Society of Agronomy, Inc, Madison, Wisconsin.
8. Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54:464-465.
9. Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Yurco R.F., and Koropaka A.E. 1994.

- Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511.
10. Clair T.A., and Ehrman J.M. 1996. Variations in discharge and dissolved organic carbon and nitrogen export from terrestrial basins with changes in climate: A neural network approach. *Limnology and Oceanography*, 41(5):921-927.
11. Dai F., Liu G., Zhou Q., Lv Zh., and Wang X. 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 45:184-194.
12. Falahatkar S., Hosseini S.M., Ayoubi Sh., and Salman Mahiny A. 2013. The impact of primary terrain attributes and land cover/use on soil organic carbon density in a region of northern Iran. *Journal of Water and Soil*, 27(5):963-972. (In Persian with English abstract)
13. Falahatkar S., Hosseini S.M., Ayoubi Sh., and Salmanmahiny A. 2015. Predicting soil organic carbon density using auxiliary environmental variables in northern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, (62):375-393.
14. Gholamalizadeh Ahangar A., Sarani F., Hashemi F., and Shabani A. 2015. Comparison of linear regression methods, geostatistical and artificial neural network modeling of organic carbon in dry land of Sistan plain. *Journal of Water and Soil*, 28 (6):1250-1260. (In Persian with English abstract)
15. Gholipour S., Kadkhodaei A., Makkipour M., and Abadi Chalaksaraee, A.R. 2016. Comparison of artificial neural network, ΔLogR and cluster analysis for the assessment of organic carbon in hydrocarbon-bearing formations. *Geoscience*, 25(98):147-158. (In Persian with English abstract)
16. Hashemi M., Gholamalizadeh Ahangar A., Bameri A., Sarani F., and Hejazizadeh A. 2016. Survey and zoning of soil physical and chemical properties using geostatistical methods in GIS (case study: Miankangi Region in Sistan). *Journal of Water and Soil*, 30(2):443-458. (In Persian with English abstract)
17. Jafari M., Asgari H.M., Moazemi M., Beniaz M., and Tahmoures M. 2008. Investigation of spatial distribution of soil properties using geostatistical methods. *Pajouhesh & Sazandegi*, 80:177-191. (In Persian)
18. Jalali Gh., Tehrani M.M., Boroumand N., and Sanjari S. 2014. Comparison of land statistics methods in the protection of spatial distribution map of some food elements in east of Mazandaran province. *Soil research (Soil and Water Sciences)*, 27(2):195-204. (In Persian with English abstract)
19. Kuang B., Tekin Y., and Mouazen A.M. 2015. Comparison between artificial neural network and partial least squares for on-line visible and near infrared spectroscopy measurement of soil organic carbon, pH and clay content. *Soil and Tillage Research*, 146:243-252.
20. Lakzian A., Fazeli Sangani M., Astaraei A., and Fotovat A. 2013. Estimation and mapping soil organic carbon content using Terrain analysis (Case study: Mashhad, Iran). *Journal of Water and Soil*, 27(1):180-192. (In Persian with English abstract)
21. Li Q., Yue T., Wang Ch., Zhang W., Yu Y., Li B., Yang J., and Bai G. 2013. Spatially distributed modeling of soil organic matter across China: An application of artificial neural network approach. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 104:210-218.
22. Lin L. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, (45):255-268.
23. Moghimi S., Parvizi Y., Mahdian M.H., and Masih Abadi M.H. 2015. Comparative application of multiple linear regression and artificial neural networks for simulating the effects of topographic factors on organic carbon changes in soil. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(4):312-322. (In Persian with English abstract)
24. Mohammadzadeh M J., Aghababaei H., and Naseri A. 2007. Application of neural network in estimating total organic carbon, binak oil field, Bushehr province. *Geosciences*, 66:60-67. (In Persian with English abstract)
25. Mokhtari Karchegani P., Ayoubi Sh., Mosaddeghi M.R., and Malekian M. 2011. Effects of land use and slope gradient on soil organic carbon pools in particle-size fractions and some soil physico-chemical properties in hilly regions, western Iran. *Jornal of Soil Management and Sustainable Production*, 44(2):193-202. (In Persian with English abstract)
26. Noshadi E., Bahrami H.A., and Alavipanah S.K. 2014. Study the relationship between digital number values from ETM+ satellite images and soil organic matter using artificial neural network and regression models. *Environmental Erosion Researches Journal*, 4 (13): 29-38. (In Persian with English abstract)
27. Nosrati K. 2011. The effect of land use and soil erosion on soil organic carbon and nitrogen stock. *Environmental erosion research*, 3: 127-140. (In Persian with English abstract)
28. Page M.C., Sparks D.L., Noll M.R., and Hendricks G.J. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic coastal plain soils. *Geoderma*, 51:1460-1465.
29. Pilevar Shahri A.R., Ayoubi S.H., and Khademi S.H. 2011. Comparison of artificial neural network (ANN) and multivariate linear regression (MLR) models to predict soil organic carbon using digital terrain analysis (Case study: Zargham Abad Semirom, Isfahan proviance). *Journal of Water and Soil*, 24(6):1151-1163. (In Persian with English abstract)

30. Sarmadian F., and Taghizadeh Mehrgerdi R. 2009. Comparison of interpolation methods for mapping of soil quality characteristics (a case study: fields of agricultural college, Tehran University). Iranian Journal of Soil and Water Researches, 40(2):157-165. (In Persian with English abstract)
31. Sefidari A., Kadhodaie A., and Sharifi M. 2012. Comparison of self-constructive neural network and cluster analysis methods for evaluating the amount of organic carbon in hydrocarbon-bearing formations using intelligent systems. Petroleum Research, 23(75):117-130.
32. Shakouri Katigari M., Shabanpour M., Davagar N., and Babazadeh SH. 2011. Evaluation efficiency spatial interpolation techniques in mapping Organic carbon and Bulk density paddy soils of Guilan. Journal of Water and Soil, 18(2):195-210. (In Persian with English abstract)
33. Sohrabi Seraj B., Kiadaliri H., Akhavan R., and Babaei Kafaki S. 2015. Investigation of spatial variations and mapping of forest contamination to the semi-parasite species (*Loranthus europaeus*) in Zagros forests (A case study, Ilam). Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 12(2):94-106.
34. Taghizadeh Mehrjardi R., Mahmoudi S.H., Zareian Jahromi M., and Heidari A. 2007. Mapping of soil texture spatial distribution with using geostatistic method and GIS, Case study (Khezrabad Yazd). Fourth national conference on watershed management and management, University of Tehran, Natural Resources University of Karaj. 1-7.
35. Taghizadeh Merjerdi R., Sarmadian F., Omid M., and Savaghebi Gh. 2012. Soil salinity maping using geostatistics technique and electromagnetic induction device in Ardakan region. Iranian Journal of Soil Research. 26 (4): 369-380. (In Persian with English abstract)
36. Vahedi S., Zare Abyane H., Taheri M., and Bahmani O. 2013. Investigation of spatial variation of some chemical and hydrological features lands surrounding the Ghezel Ozan River using geostatistics methods. Iranian Water Research Journal, (12) 141-150. (In Persian with English abstract)
37. Walkley A., and Black C.A. 1934. An examination of the degtjareff method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. Journal of Soil Science, 37:29-38.
38. Were K., Bui D T., Dick Y B., and Singh B R. 2015. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afromontane landscape. Ecological Indicators, 52:394-403.
39. Wu W., Xiu D.T., and Liu H.B. 2008. Spatial variability of soil heavy metals in the three gorges area, Multivariate and geostatistical analyses. Environmental Monitoring and Assessment, 157: 63-71.
40. Yana J., Lee Ch.K., Umeda M., and Kosaki T. 2013. Spatial variability of soil chemical properties in a paddy field. Soil Science and Plant Nutrition, 46(2):473-482.
41. Zare Abyaneh H., and Bayat M. 2013. Development and application of statistical and neural, Fuzzy, Genetic algorithm models in estimation of spatial distribution of water table level. Journal of Water and Soil Conservation, 20(4): 1-25. (In Persian with English abstract)
42. Zhang H., Zhuang Sh., Qian H., Wang F., and Ji H. 2015. Spatial variability of the topsoil organic carbon in the moso Bamboo forests of southern China in association with soil properties. PLOS one, 10 (3) 1-17.

Soil Organic Carbon Mapping By Geostatistics and Artificial Neural Network Methods (Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Province)

P. Lahooti¹- S. M. Emadi^{2*}- M. A. Bahmanyar³- M. Ghajar Sepanlou⁴

Received: 06-11-2017

Accepted: 22-10-2018

Introduction: Predicting and mapping soil organic carbon (SOC) contents and stocks are important for C sequestration, greenhouse gas emissions and national carbon balance inventories. The SOC plays a vital role in sustaining agricultural productions in arid ecosystems. It shows very quick and direct changes with atmosphere through the photosynthesis and the SOC decomposition. The depletion of C storage not only exacerbates the risk of soil erosion but also reduces agricultural production. An accurate knowledge of regional SOC contents and stocks and their spatial distribution are essential to optimize the soil management and land-use policy for SOC sequestration. Today, digital soil mapping methods such as geostatistics and artificial neural network (ANN) have focused more on SOC contents and stocks mapping. Geostatistics is a robust tool widely applied to model and quantify soil variation and analyze the spatial variability of SOC in large scale. The ANN as a nonlinear technique has been received much less attention for modeling SOC contents and stocks. Therefore, in this study, we aimed to develop and compare the performance of ordinary Kriging, co-kriging, inverse distance weighting (IDW) and artificial neural network models in predicting and mapping the SOC contents and stocks in East and Southeast of the Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, southern Iran.

Materials and Methods: The composite soil samples were collected randomly from the 0-15 cm soil depths at 204 sampling sites at different land uses in east and southeast of the Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. The collected soil samples were air-dried, ground, and sieved to pass through a 2 mm mesh. Soil properties such as organic carbon contents and stocks, pH, electrical conductivity (EC), bulk density (BD) and soil texture were determined according to the standard analysis protocols. The normality tests were done according to the Kolmogorov-Smirnov method, and the variability of SOC contents and stocks were analyzed by the classical statistics (mean, maximum, minimum, standard deviation, skewness, and coefficient of variations). The digital elevation model (DEM), slope gradient, precipitation and temperature and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were used as co-variables (auxiliary data). The NDVI was obtained by the remotely sensed data of LANDSAT 8. The geostatistical parameters were calculated for each soil property as a result of corresponding semivariogram analysis. The spatial prediction maps of soil properties were generated by ordinary kriging (OK), cokriging (Co-K) inverse distance weighting (IDW) with powers of 1, 2, 3, 4 and 5 as well as the Artificial Neural Network (Multilayer Perception model, MLP) methods. The mentioned interpolation methods were used to prepare the SOC spatial distribution maps by using the 80 % of data as the training datasets. The prediction results were then evaluated by the validation data set (20 % of all data). The differences between the observation and prediction values were evaluated by Mean Error (ME), Root Mean Square Error (RMSE), Correlation Coefficient (R^2) and Concordance Correlation Coefficient (CCC). The spatial distribution maps of the SOC contents and stocks in the study area were finally developed by ArcGIS 10 software.

Results and Discussion: The SOC content for all samples largely varied from 0.20 to 3.96 %. The high coefficient of variation of 53.38 % demonstrates the strong spatial variation of SOC content in the study area. The SOC stocks had also a relatively high variability compared with other soil properties. Such strong variation could be attributed to the diverse soil types, land covers and other environmental conditions across the study area. The average SOC content for forest land use was significantly higher than the other land uses. The intensive tillage in cropland soils appears to have induced the acceleration of organic carbon oxidations leading to the lowest SOC contents and stocks. By increasing the mean precipitation within our study area (in eastern and northeastern regions), the SOC contents and stocks increased significantly. The inverse trend was, however, observed for temperature implying the fact that the higher the temperature, the lower the SOC. Gaussian model was found to be the best model for parameters such as SOC contents and stocks due to the lowest RSS and R^2 . Overall, the results denoted the higher ability of ANN compared to geostatistical techniques (cokriging, kriging and IDW methods) in estimating both soil organic carbon contents and

1, 2, 3, 4- Former M.Sc. Student, Assistant Professor, Professor and Associate Professor in Department of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Respectively
(*- Corresponding Author Email: mostafaemadi@gmail.com)

stocks. According to the results, ANN (MLP) method with one hidden layers with 50 neurons performed better in estimating soil organic carbon contents and stocks at unsampled points, whereas the largest errors were obtained for IDW method.

Conclusions: The good performance of ANN method can be attributed to the division of the study area and the capability of ANN to capture the nonlinear relationships between SOC and environmental factors i.e. slope, DEM, precipitation, temperature and NDVI. The results suggest that the proposed structural method for ANN can play a vital role in improving the prediction accuracy of SOC spatial variability in large scale.

Keywords: Arid and semi-arid regions, Baseline soil carbon map, Carbon sequestration, Spatial variability

رابطه بین اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی با تکامل خاکهای منطقه رامهرمز، استان خوزستان

یونس عبدلی^۱ - سیروس جعفری^{۲*} - عباس بشکار^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی رابطه بین اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی با تکامل خاک های گچی استان خوزستان صورت گرفت. برای این منظور ۱۴ خاکرخ تشریح و نمونه برداری شده و مقادیر آهن و پذیرفتاری مغناطیسی آن اندازه گیری شد. موقعیت خاکها طوری انتخاب شد که از لحاظ توپوگرافی در موقعیت های مختلف شیب قرار داشته باشند. نتایج نشان داد که میانگین آهن پدوژنیک (Fe_d) و آهن بلوری ($Fe_o - Fe_d$) به ترتیب در خاکرخ های دشت مرتفع با کاربری زراعی، تپه و اراضی پست افزایش یافت که با میزان تکامل آنها هماهنگی دارد. کمترین و بیشترین مقدار اکسیدهای آهن فعال (Fe_o/Fe_d) به ترتیب مربوط به تپه یا اینسیلرگ قدیمی و واحدهای اراضی پست با زه کشی ضعیف بود. مقایسه میانگین آهن فعال نشان داد که بین واحدهای دشت مرتفع و تپه به دلیل تکامل و سن بیشتر، اختلاف معنی داری وجود نداشت اما در اراضی پست اختلاف معنی داری بین آنها وجود داشت که نشان دهنده تکامل کم این خاکها بود. میزان پذیرفتاری مغناطیسی آهن در خاکهای تپه، بیشترین و در اراضی پست با شرایط زه کشی ضعیف و کاربری زراعی حداقل بود. پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک در خاکرخ های متأثر از گچ، پس از حذف آنها افزایش یافت که با مجموع کربنات کلسیم، گچ، مواد آلی و درصد شن رابطه مثبت و معنی دار و با درصد سیلت و رس رابطه معکوس و معنی داری داشت. این روند تاثیر مواد مادری را بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک آشکار نموده و نشان می دهد که پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک، ارتباط مثبتی با تکامل پدوژنیک ندارد. همچنین همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و مینروژیک با Fe_o رابطه منفی و معنی دار و پذیرفتاری مغناطیسی با میزان $Fe_d - Fe_o$ رابطه مثبت و معنی دار نشان داد. این پژوهش نشان داد که کاربری، زه کشی و مواد مادری بیشترین اثر را بر مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و آهن دارند که سبب تغییر خصوصیات ژنتیکی و تکامل خاکهای گچی مورد مطالعه گردیده است.

واژه های کلیدی: افق، خاک گچی، رس، زه کشی، کاربری اراضی

مقدمه

مغناطیسی نیز در مطالعات مختلف خاکشناسی از جمله تشخیص شدت فرایندهای خاکسازی (۴۰)، مطالعه اثرات مواد مادری (۲۶)، درک فرایندهای رسوب گذاری (۷)، مطالعه شرایط زه کشی خاک (۲۶ و ۲۸) و آلودگی خاک (۴ و ۲۳) کاربرد دارد. شرایط اشیاعی یا اکوییک یکی از عوامل موثر بر فرایندهای اکسایش - کاهش به ویژه بر تغییر شکل شیمیایی ترکیبات آهن و به دنبال آن اثر بر خصوصیات مغناطیسی در خاک است.

در اغلب خاکها، میزان و نسبت اشکال مختلف آهن پدوژنیک و میزان رس، برای تخمین سن نسبی خاکها استفاده می شود (۱۲). مهمترین شکل های آهن که در مطالعه تکامل خاک مورد توجه است آهن دی تیونایتی (Fe_d) است که به آن آهن پدوژنیک یا آزاد گفته می شود (۱۲) و آهن بی شکل یا فعال است که با اکسالات آمونیم (Fe_o) عصاره گیری می شود. اختلاف این دو ($Fe_d - Fe_o$) نشان دهنده ترکیبات بلوری آهن و میزان Fe_o/Fe_d بیانگر آهن فعال

ترکیبات گوناگون آهن در خاک به میزان زیادی بوسیله ماهیت مواد مادری، اقلیم، فرایندهای خاکسازی، چرخه های زیستی، نوسانات فصلی آب های زیرزمینی، پتانسیل اکسایش و کاهش، مواد آلی و برهم کنش سایر عناصر غذایی تعیین می گردد. امروزه تجمعات آهن علاوه بر مطالعات پیدایش خاک، از دیدگاه محیط زیست نیز مورد توجه می باشد. از دیدگاه پیدایش خاک، تجمع رنگدانه های آهن در خاک های با زه کشی ضعیف یافت شده و به عنوان شاخصی برای شرایط هیدرومورفی خاک تلقی می شوند (۱۵، ۳۴ و ۴۶). پذیرفتاری

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار علوم خاک و دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(*) - نویسنده مسئول
(Email: Siroosjafari@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.68206

می‌باشد (۱۹).

پذیرفتاری مغناطیسی به این دلیل که روشی سریع، غیرمخرب، ساده و نسبتاً ارزان است، در دامنه گسترده‌ای از مطالعات مربوط به خاک، رسوب و سنگ استفاده می‌شود. همچنین این ویژگی در رابطه با تکامل خاک‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این روش به عنوان یکی از شاخص‌های سنجش تکامل خاکرخ، متأثر از عوامل خاک ساز است که در فهم بسیاری از فرایندهای خاک ساز، مفید و مؤثر می‌باشد (۲۰ و ۳۳).

رفتارهای مغناطیسی در اجسام به پنج دسته تقسیم می‌شوند که بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی و به ترتیب نزولی شامل فرومغناطیس (مانند آهن خالص با حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی)، فری مغناطیس (مانند مگنتیت و ماگهمیت)، آنتی فرومغناطیس (مانند همتایت و گئوتیت)، پارامغناطیس (مانند بیوتیت و پیریت) و دیامغناطیس (مانند، کوارتز، آهک، گچ و ماده آلی) هستند (۳۱).

افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها اساساً به دلیل تشکیل کانی‌های فری - مگنتیت (در اثر فعالیت‌های خاکساز) می‌باشد که به میزان زیادی به عوامل خاکساز شامل مواد مادری، آب و هوا، پستی و بلندی و پوشش گیاهی بستگی دارد (۱۳). فرضیه مطرح در مورد افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، بیشتر به تغییر شکل درجای آهن غیرمغناطیس به ریز بلورهای مگنتیت و مگهمیت اشاره دارد (۳۱). آبشویی کربنات‌ها و گچ و همچنین تجمع ماده آلی در سطح خاک و یا سایر تغییرات شدید در توده خاک می‌تواند میزان پذیرفتاری مغناطیسی در یک افق را نسبت به سایر افق‌ها تغییر دهد که به افزایش یا کاهش غلظت ترکیبات مغناطیسی در خاک مربوط می‌باشد. تغییرات ناشی از انتقال ترکیبات آهن در نیمرخ خاک و یا آزادسازی اکسیدها از داخل سیلیکات‌های حاوی آهن به عنوان تغییرات مطلق^۱ در نظر گرفته می‌شوند.

عواملی مانند مقدار و نوع مواد دیامگنتیک، نوع مواد مادری و فرایندهای خاکساز بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مؤثر هستند که نقش هریک از عوامل را باید جداگانه در تفسیر نتایج در نظر گرفت (۱۰ و ۱۷). علاوه بر تکامل خاک، نوع کاربری زمین از عوامل اصلی تأثیرگذار در توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در خاکرخ می‌باشد. تفاوت‌های معنی‌داری در میانگین پذیرفتاری مغناطیسی کاربری‌های مختلف وجود دارد. خاک‌های زراعی اغلب به طور معنی‌داری میانگین پذیرفتاری مغناطیسی پایین‌تری نسبت به کاربری‌های بکر و طبیعی دارند (۲۱ و ۳۰).

در بین مواد دیامغناطیس، گچ و کربنات‌ها به دلیل تحرکی که در جریان فرایندهای خاک سازی در خاک دارند، باعث رقیق شدن تأثیر

مواد دیامغناطیسی شده و اثر فرایندهایی که سبب تغییر پذیرفتاری مغناطیسی می‌شوند را کم رنگ می‌کنند. صرف نظر از فرایندهایی که باعث تغییر در پذیرفتاری مغناطیسی می‌شوند، نوع مواد مادری به شدت بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مؤثر است (۳). گستره وسیعی از خاکهای گچی در بخش‌های شمال شرقی استان خوزستان در شهرستان‌های رامهرمز، بهبهان و هفتکل وجود دارند. این خاکها از رسوبات آبرفتی حاصل از هوازدگی و فرسایش سازند گچساران در ارتفاعات بالادست تشکیل شده است. از بین این منطقه، اراضی رامهرمز دارای شرایط مختلفی از پستی و بلندی است، بطوریکه از اراضی مرتفع با تجمع گچ تا اراضی پست با چشمه های آب شیرین، بیشترین تنوع را در اشکال پستی و بلندی دارد. این تنوع در اشکال مختلف پستی و بلندی سبب شده است که خاکهای با درجات مختلفی از کاربری و زهکشی پدید آید که به همین دلیل دارای خاکهای با مقادیر متفاوتی از گچ می باشند. به عبارتی اگرچه همه این خاکها در ابتدا از مواد مادری گچی برخوردار بوده اند با این وجود به دلیل شرایط متفاوت زهکشی در حال حاضر دارای مقادیر متفاوتی از گچ هستند. با توجه به اطلاعات محدود در مورد همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک با اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی در برخی از خاک های مورد مطالعه و رابطه درونی بین آنها با برخی عوامل اثرگذار بر تکامل خاک این مطالعه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات منطقه

منطقه مورد مطالعه، محدوده هایی از شهرستانهای رامهرمز و هفتکل در استان خوزستان است که بین طول‌های جغرافیایی ۲۱° تا ۴۹° تا ۴۵° ۴۹° شرقی و عرض‌های ۰۶° تا ۳۱° ۲۶° شمالی قرار دارد که بیشترین وسعت خاک‌های گچی در این استان را دارا می‌باشند (شکل ۱). رژیم رطوبتی و حرارتی به ترتیب یوستیک و هایپرترمیک است (۲). مواد مادری خاکهای مورد مطالعه همگی از رسوبات آبرفتی سازندهای گچساران و آغاچاری با مقدار زیادی گچ است که در بخشی از منطقه در اثر آبیاری و یا آبشویی گچ از خاک شسته شده است. واحدهای فیزیوگرافی بالادست، تپه و دشت مرتفع با حداکثر شیب ۱۵-۲ درصد و در بخش‌هایی از دشت حداکثر دارای شیب ۵-۲ درصد است. بخشی از منطقه نیز اراضی پست با شیب کمتر از ۲ درصد تشکیل شده که محل خروج آب اضافه منطقه است. در بخش‌هایی از این اراضی نیز چشمه‌هایی جاری است که از آب با کیفیت مناسبی برخوردار است (جدول ۱). تپه ها، بخش های بجا مانده از فرسایش خندقی شدید دشت در قدیم بوده‌اند که با متعادل شدن شیب های جانبی به تپه تبدیل شده اند. بنابراین قله این تپه ها، بیشترین سن را در بین سایر خاکهای نمونه برداری شده دارند. با

توجه به الگوی رسوبگذاری، سن خاک در قسمت های مرتفع بیشتر و با توجه به اینکه قسمت پست این رسوبات اخیراً بجای گذاشته شده اند از سن کمتری نسبت به سایر خاکها برخوردارند. محل خاکرخها با استفاده از نقشه های DEM، توپوگرافی و تصاویر ماهواره ای لندست ETM⁺، تعیین و پس از حفر ۱۴ خاکرخ، با استفاده از روش استاندارد این خاکرخ ها تشریح و نمونه برداری شد (۴۱).

مطالعات آزمایشگاهی

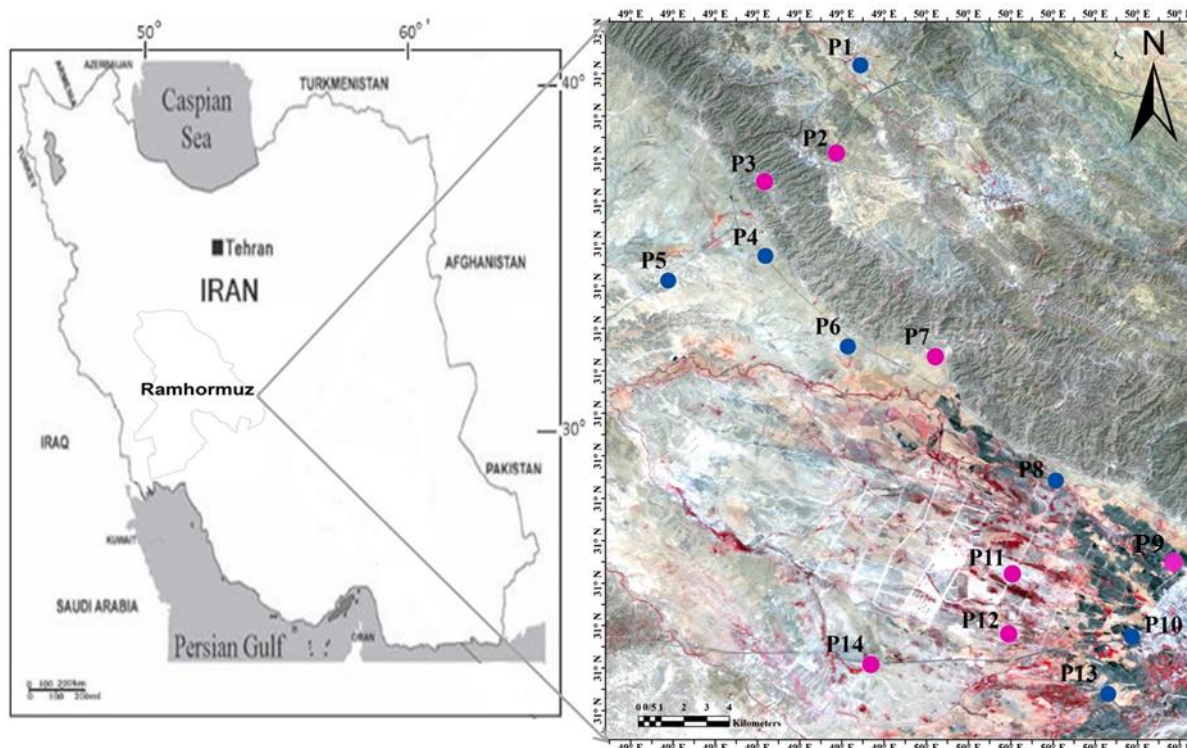
در کلیه نمونه های خاک، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (ECe) و pH خاک در گل اشباع (۴۴)، بافت خاک به روش هیدرومتر (۶)، ماده آلی به روش وایکلی و بلاک (۴۵)، کربنات کلسیم به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (۱)، گچ به روش

ترسیب در استن (۳۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش چاپمن (۸) اندازه گیری شد. سپس بر اساس ویژگی های مورفولوژیکی و خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاکها، افق های مشخصه تعیین شده و همراه با رژیم های رطوبتی و حرارتی، مطابق کلید جامع طبقه بندی خاک آمریکایی (۴۲) تا سطح تحت گروه و همچنین بر اساس سیستم جهانی (WRB, 2014) طبقه بندی گردید. همچنین براساس واحد فیزیوگرافی، کاربری، زهکشی و تنوع افق های مشخصه و خاکها، ۷ خاکرخ از این تعداد انتخاب شد (شکل ۱). در این خاکرخها آهن بی شکل و آلی (Fe_o) با عصاره گیری به وسیله اکسالات آمونیوم با پهاش ۳ در تاریکی و آهن دی تیوناتی (Fe_d) با عصاره گیری توسط سترات - بیکربنات - دیتیونایت سدیم (CBD) استخراج گردید (۲۹). تفاضل این مقادیر، آهن بلوری خاک فرض شد (۲۰).

جدول ۱- مشخصات عمومی و رده بندی خاکرخ های منطقه مورد مطالعه
Table 1- General characteristics and classification of the pedons in the studied area

خاکرخ Soil profile	ارتفاع (متر) Elevation (m)	فیزیوگرافی Physiography	شیب (درصد) Slope (%)	زهکشی Drainage	کاربری landuse	زیر گروه خاک* Subgroup	WRB, 2014
1	244	تپه Hill	3-5	مناسب Well	زراعی Cultivated	Typic Haplustepts	Calcaric Cambisols
2	215	تپه Hill	5-8	مناسب Well	بایر uncultivated	Gypsic Haplustepts	Haplic Gypsisols
3	125	تپه Hill	12-15	مناسب Well	بایر Uncultivated	Typic Ustifluvents	Haplic Gypsisols
4	78	دشت آبرفتی Alluvial plain	5-8	مناسب Well	بایر Uncultivated	Gypsic Haplustepts	Haplic Gypsisols
5	71	دشت آبرفتی Alluvial plain	3-5	مناسب Well	بایر Uncultivated	Typic Haplosalids	Haplic Solonchak
6	91	دشت آبرفتی Alluvial plain	3-5	مناسب Well	زراعی Cultivated	Typic Haplustepts	Calcaric Cambisols
7	106	دشت مرتفع Plateau	3-5	مناسب Well	زراعی Cultivated	Gypsic Haplustepts	Haplic Gypsisols
8	120	دشت آبرفتی Alluvial plain	3-5	مناسب Well	زراعی Cultivated	Gypsic Haplustepts	Haplic Gypsisols
9	155	دشت مرتفع Plateau	1-3	مناسب Well	زراعی Cultivated	Typic Haplustepts	Calcaric Cambisols
10	145	دشت مرتفع Plateau	1-3	مناسب Well	زراعی Cultivated	Typic Haplustepts	Calcaric Cambisols
11	122	اراضی پست Lowland	3-5	نسبتاً ضعیف Slightly Poor	بایر Uncultivated	Aquic Haplosalids	Gypsic Solonchak
12	118	اراضی پست Lowland	1-3	ضعیف Poor	بایر Uncultivated	Aquic Haplustepts	Haplic Gypsisols
13	132	دشت آبرفتی Alluvial plain	1-3	نسبتاً ضعیف Slightly poor	زراعی Cultivated	Aridic Ustorthents	Calcaric Regosols
14	104	دشت آبرفتی Alluvial plain	1-3	نسبتاً ضعیف Slightly poor	زراعی Cultivated	Gypsic Haplustepts	Haplic Gypsisols

* بر اساس (Soil Survey Staff (2014)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و محل حفر خاکرخ‌ها در منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Geographic and soil profile locations in the studied region

رابطه ۲ حساب شد (۳):

$$\% \chi_{fd} = 100 * (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \quad (2)$$

در این رابطه χ_{fd} پذیرفتاری وابسته به فرکانس، χ_{lf} پذیرفتاری در فرکانس پایین و χ_{hf} در فرکانس بالا است. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS و روش پیرسون، همبستگی بین اشکال آهن و پذیرفتاری مغناطیسی تعیین و از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین‌ها در خاکها در واحدهای فیزیوگرافی و درجه تکامل مختلف استفاده گردید.

نتایج و بحث

موقعیت و ویژگی خاکرخ‌ها

برخی مشخصات عمومی خاکرخ‌های مطالعه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. این خاکرخ‌ها در کلاس‌های زه‌کشی ضعیف تا مناسب و کاربری زراعی و مرتع با واحدهای فیزیوگرافی تپه تا دشت‌های مرتفع و پست قرار گرفته‌اند. این تپه‌ها در اثر فرسایش خندقی شدید که در سازندهای مارنی بسیار متداول است، پدید آمده اند. سپس لبه‌های دره‌ها صاف شده و به صورت تپه در آمده است. خاکرخ‌های مورد مطالعه در سه راسته انتی سولز، اینسپتی سولز و اریدی سولز قرار داشتند که نشان دهنده درجه تنوع کافی از خاکها در

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های پودری خاک به وسیله دستگاه MS2 Meter Bartington Dual Frequency، در دو فرکانس کم (۰/۴۶ کیلوهرتز) و زیاد (۴/۶ کیلوهرتز) اندازه‌گیری گردید. برای این منظور حدود ۱۰ گرم خاک خشک شده (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) در نمونه‌گیر دستگاه ریخته شد. قرائت‌های شاهد در ظروف خالی در ابتدا و انتهای قرائت نمونه خاک، جهت تصحیح اثرات احتمالی ظرف بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی انجام گرفت. واحد پذیرفتاری مغناطیسی جرمی $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ می‌باشد که به دلیل بزرگ بودن در ضریب 10^{-8} ضرب و گزارش شد. به منظور حذف اثرات مواد دیامگنتیک مانند آهک، گچ و ماده آلی بر روی پذیرفتاری مغناطیسی از رابطه ۱ استفاده شد (۳):

(۲)

$$\chi_{\text{minero}} = (\chi_{\text{oven dry}} \times 100) / [(100 - (\text{OM} + \text{CCE} + \text{Gypsum}))]$$

در رابطه (۱) χ_{minero} : میزان پذیرفتاری مغناطیسی بر مبنای مینروژنیک (مطلق)، χ_{ovendry} : میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، OM: ماده آلی (%)، CCE: کربنات کلسیم معادل (%). میزان گچ (%) در نمونه خاک می‌باشد. محاسبه مشابهی نیز برای تعیین مقادیر اشکال مختلف آهن برای حذف عوامل بدون اثرگذاری صورت گرفت. همچنین پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس نیز با استفاده از

میزان گچ از مقادیر ناچیز تا ۷۸/۷ درصد در نوسان بوده که نشان از وجود مقادیر متفاوتی از گچ در مواد مادری این خاکها و اثرات فاکتورهای تکاملی بر این خاکها می باشد. بیشترین درجه تکامل خاک مربوط به تشکیل افق کمبیک در خاکرخ شماره ۹ و جوانترین خاک نیز به خاکرخ شماره ۱۳ مربوط بود که بجز اپی-پدون اکریک فاقد سایر افق های مشخصه دیگر بود.

منطقه مورد مطالعه است (۴۲). جدول ۲ نیز برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این خاکها را نشان می دهد. میزان رس در نمونه خاکها بین ۱۵ تا ۵۹ درصد، پهایش بین ۷/۱ تا ۸/۵، هدایت الکتریکی از ۰/۶ تا ۵۸/۱ دسی زیمنس بر متر، ظرفیت تبادل کاتیونی از ۴/۲ تا ۲۲/۴ سانتی مول در کیلوگرم خاک، ماده آلی از مقادیر ناچیز تا ۲/۴ درصد، میزان کربنات کلسیم معادل بین ۲۱/۲ تا ۳۹/۷ درصد و

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

Table 2- Physical and chemical properties of the studied soils

افق Horizon	عمق Depth (cm)	توزیع اندازه ذرات			بافت Texture	ECe dS/m	pHe	CCE	OM	Gyps.	CEC cmol _c /kg
		Particle size distribution (%)									
		Sand	Silt	Clay							
Profile 1- Typic Haplustepts											
Ap	0-15	29	53	18	SiL	0.7	7.9	39.4	0.64	0.3	10.2
Bw	15-60	24	52	24	SiL	0.6	7.9	39.6	0.39	0.3	15.3
C1	60-93	27	53	20	SiL	1.7	7.6	39.7	0.28	0.6	14.2
C2	93-150	26	50	24	SiL	1.6	7.7	38.6	0.24	0.5	16.4
Profile 2- Gypsic Haplustepts											
A	0-24	39	33	28	CL	2.8	7.7	37.3	0.40	0.1	12.3
By1	24-48	46	32	22	L	2.6	7.6	35.5	0.24	27.2	9.0
By2	48-90	52	22	26	SCL	4.5	7.3	36.6	0.29	37.6	5.5
2C	90-150	27	48	25	L	2.8	7.7	36.8	0.10	22.4	6.7
Profile 3- Typic Ustifluvents											
A	0-20	42	30	28	CL	8.1	7.5	33.5	0.20	44.2	7.7
Cy	20-92	40	35	25	L	4.9	7.7	32.3	0.12	46.3	8.0
2Byb	92-160	34	42	24	L	2.9	7.5	38.9	0.11	9.9	6.5
Profile 4- Gypsic Haplustepts											
A1	0-30	39	42	19	L	13.6	7.5	33.7	0.42	25.9	8.2
A2	30-58	36	44	18	L	15	7.4	30.5	0.25	63.9	6.4
By	58-98	37	38	25	L	10.6	7.5	29.7	0.14	66.5	9.0
C	98-150	32	39	29	CL	5.5	7.6	34.4	0.18	45.6	9.0
Profile 5- Typic Haplosalids											
A	0-23	19	46	35	SiCL	2.8	7.7	38.0	0.65	21	9.0
Bz	23-80	23	42	35	CL	58.1	7.8	36.0	0.28	12.8	7.5
Bw	80-109	22	44	34	CL	7.8	7.7	37.0	0.17	14.3	8.0
Cz	109-150	19	46	35	SiCL	41.5	7.6	38.5	0.18	8.8	5.5
Profile 6- Typic Haplustepts											
A	0-10	23	48	29	CL	10.9	7.9	37.0	0.34	0.6	12.1
Bw	10-30	37	39	24	L	17.2	8.2	35.7	0.31	9.9	8.7
C1	30-51	40	35	25	L	24.5	8	37.5	0.16	12	10.5
C2	51-150	32	44	24	L	3.1	7.5	37.3	0.10	9.4	11.4
Profile 7- Gypsic Haplustepts											
A	0-24	39	40	21	CL	2.9	7.7	34.8	0.51	6.1	12.4
By	24-58	31	41	28	CL	3.0	8	34.7	0.35	17.9	7.0
Cy1	58-92	33	43	24	L	3.0	7.6	33.6	0.19	21.4	8.2
Cy2	92-150	36	37	27	CL	3.2	7.6	32.8	0.22	20.3	9.6
Profile 8- Gypsic Haplustepts											
Ap	0-28	31	44	25	L	19.7	7.5	32.6	0.76	22.4	9.3
By1	28-53	63	22	15	SL	2.65	7.7	23.2	0.12	78.7	6.4
By2	53-88	72	12	16	SL	23.7	7.4	21.2	0.18	78.4	7.3
Cyym	88-150	50	36	14	L	21.6	7.9	26.5	0.15	65.9	6.0

Profile 9- Typic Haplustepts											
A	0-23	15	40	45	C	4.2	7.5	39.4	0.75	1.8	15.2
Bw1	23-90	14	48	40	SiCL	7.8	7.8	39.4	0.46	3.4	12.0
Bw2	90-132	10	44	46	SiC	7.2	7.8	39.3	0.63	1.6	13.2
Bw3	132-150	13	44	43	SiC	9.7	7.7	39.3	0.54	1.4	9.0
Profile 10- Typic Haplustepts											
Ap	0-39	9	38	53	C	1.0	7.7	39.4	1.53	0.2	15.8
Bw1	39-83	7	34	59	C	4.2	7.4	39.5	0.54	0.9	12.6
Bw2	83-150	7	36	57	C	5.4	7.1	39.6	0.25	2.8	10.2
Profile 11- Aquic Haplosalids											
A	0-23	50	29	21	L	32.5	8.4	39.0	0.63	37.5	6.8
Byz	23-80	46	32	22	L	33.1	8.5	38.2	0.20	46.5	12.8
Cgz	80-150	44	35	21	L	39.5	8.4	38.7	0.20	40.6	10.0
Profile 12- Aquic Haplustepts											
Ay	0-38	25	50	25	SiL	13.9	7.7	39.4	2.4	6.2	22.4
Bw	38-78	21	42	37	Cl	7.6	7.7	39.5	2.1	3.4	14.6
Bg1	78-100	15	45	40	SiL	7.3	7.7	39.5	1.8	2.0	14.2
Bg2	100-150	15	48	37	SiCL	5.6	7.8	39.5	1.0	1.2	11.6
Profile 13- Aridic Ustorthents											
Ap	0-25	8	54	38	SiCL	5.0	7.4	39.2	1.24	0.5	12.4
C1	25-55	10	53	37	SiCL	2.9	7.5	39.3	0.62	1.4	15.5
C2	55-100	8	54	38	SiCL	3.6	7.5	39.4	0.42	0.9	12.4
C3	100-150	20	50	30	CL	2.5	7.7	39.5	0.25	0.8	8
Profile 14- Gypsic Haplustepts											
Ay	0-10	44	37	19	L	25.0	8.4	39.5	0.89	37.1	4.2
By	10-38	47	35	18	L	25.1	8.1	39.4	0.49	38.5	12.6
Cy1	38-65	44	33	23	L	16.9	8.4	39.3	0.35	35.6	9.6
Cy2	65-150	43	40	17	L	12.9	7.9	39.5	0.20	10.5	12

ECe : هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Electrical Conductivity): OM ماده آلی (Organic Matter): CCE : کرنبات کلسیم معادل (Calcium Carbonate)

CEC Equivalent): ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity), gypsum: میزان گچ

توزیع اشکال اکسیدهای آهن در خاکرخ‌ها

نتایج مقدار آهن استخراج شده با عصاره گیری‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر آهن بی شکل (Fe_o) در خاک‌های مطالعه شده از ۰/۱۴ تا ۰/۷۷ گرم بر کیلوگرم متغیر است. حداکثر میزان آن در خاکرخ ۱۱ با زه کشی ضعیف (اراضی پست) و در مقابل خاکرخ ۲ با واحد فیزیوگرافی تپه و شرایط مناسب زه‌کشی با حداکثر سن خاک، دارای حداقل میزان آهن بی شکل بود. به عبارتی میزان آهن بی‌شکل (Fe_o) در نواحی با زه‌کشی ضعیف، حداکثر و در نواحی با زه‌کشی مناسب (هر دو در اراضی بایر) حداقل بود.

در همه خاکرخ‌ها، بیشترین میزان آهن بی شکل (Fe_o) مربوط به افق‌های سطحی بود (جدول ۳). روندی از کاهش میزان آهن بی شکل (Fe_o) با عمق در اراضی دشت با کاربری زراعی مشاهده شد اما در خاکرخ‌های ۱۱ و ۱۲ با شرایط زه‌کشی ضعیف و نسبتاً ضعیف و خاکرخ‌های ۲ و ۳ به علت وجود انقطاع سنگی و مدفون شدن رسوبات قدیمی، تغییرات منظمی با عمق ملاحظه نشد. افزایش آهن بی شکل (Fe_o) در سطح نسبت به عمق را می‌توان به امکان هودیدگی بیشتر کانی‌های اولیه و رس‌ها و وجود ماده آلی و در نتیجه

ایجاد شرایط اسیدی بیشتر ناشی از تجزیه مواد آلی در افق‌های سطحی دانست که مانع تبلور آهن اکزالات می‌شود (۳۹). این روند تقریباً با تغییرات میزان ماده آلی خاک همخوانی دارد. کاهش مقدار ماده آلی به همراه کاهش فعالیت میکروبی در عمق خاک، از دلایل کاهش میزان تبدیل آهن بی شکل به شکل بلوری است (۵). کاهش آهن بی شکل (Fe_o) در خاکرخ‌های ۲ و ۳ (واحد تپه) به دلیل شرایط زه‌کشی مناسب و کمبود ماده آلی در این خاکرخ‌ها بود. در خاکرخ‌های ۷ و ۹ (دشت مرتفع)، مقدار آهن بی شکل (Fe_o) نسبت به خاکرخ تپه افزایش یافته است که می‌تواند به دلیل افزایش مقدار ماده آلی در این واحد فیزیوگرافی نسبت به تپه باشد. حداکثر مقدار آهن بی شکل (Fe_o) در خاکرخ‌های ۱۱ و ۱۲ در اراضی پست و شرایط زه‌کشی ضعیف و نسبتاً ضعیف ملاحظه شد. در این خاکرخ‌ها، شرایط احیایی از یک سو و تجمع ماده آلی، املاح و گچ مانع از تبلور آهن شده است. در این شرایط امکان تبدیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن غیربلورین به اشکال بلورین به حداقل می‌رسد. اسکارسیا و همکاران (۳۶) نیز شرایط مشابهی را تشریح نمودند. نتایج بررسی همبستگی بین اشکال مختلف آهن با خواص فیزیکی و

معنی داری نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین آهن دی تیونایتی (Fe_d) در واحدهای مختلف نشان داد که بین واحدهای مختلف، اختلاف معنی داری وجود دارد. کمترین میانگین مقدار در واحد اراضی پست با زهکشی ضعیف و نسبتاً ضعیف و بیشترین مقدار آن مربوط به دشت مرتفع با کاربری زراعی و زهکشی مناسب بود که به درجه تکامل بیشتر خاک تحت شرایط مناسب زهکشی مربوط می شد (جدول ۶).

دامنه تغییرات آهن دی تیونایتی ($Fe_d - Fe_o$) بعنوان اکسیدهای آهن بلوری است که با افزایش درجه تکامل و سن خاک افزایش می یابد (۳۵). مقدار این اکسیدهای آهن به صورت ($Fed-Feo/Fed$) استاندارد می شود (۲۰). اکسیدهای آهن بلوری از ۰/۲۰ تا ۲/۶۹ و نسبت استاندارد شده آن ($Fed-Feo/Fed$) از ۰/۲۱ تا ۱/۰۶ متغیر است. این دو فاکتور در خاکرخی های ۲، ۳ و ۹ با زهکشی مناسب و تکامل بیشتر از میزان بیشتری برخوردار است ولی در خاکرخی های ۱۱ و ۱۲ با زهکشی ضعیف که فرصت کریستال شدن آهن را ندارد، کمتر است. مقدار آهن بلوری در خاکرخی های مطالعه شده با شوری ($r = -0.636^{**}$) رابطه منفی و معنی داری نشان داده است که با نتایج پژوهان نیا و همکاران (۳۴) مطابقت دارد.

همچنین مقادیر آهن مینروژیک بی شکل (Fe_o^{m}) (این عبارت اولین بار در این مقاله پیشنهاد می گردد) که با استفاده از حذف آهک، گچ و مواد آلی محاسبه شده است، به بیشترین میزان در افق Byz خاکرخی ۱۱ و کمترین آن در افق Byb به میزان ۰/۲۹ گرم در کیلوگرم ملاحظه شد. در حالیکه بیشترین میزان آهن دی تیونایتی مینروژیک (Fe_d^{m}) در افق Cy خاکرخی ۳ به میزان ۹/۲۱ و کمترین آن به میزان ۱/۵۴ گرم در کیلوگرم در افق Bgz خاکرخی ۱۲ ملاحظه شد. این میزان به استثناء خاکرخی ۱۲ در افق های میانی خاکرخی ها، بیشتر از افق های سطحی و عمقی بود که می تواند به اثرات تجمعی آن در اثر آبشویی از افق های سطحی باشد. نسبت Fe_o/Fe_d در خاک ها بیان گر عواملی چون شرایط اکسایش - کاهش، حضور لیگاند های آلی، شرایط تکامل خاک و درجه هوادیدگی می باشد (۲۷). مقدار آن در سطوح جوان، بالا بوده و با افزایش تکامل خاک کاهش می یابد. این نسبت به طور معمول در بیشتر خاکرخی ها از سطح به عمق کاهش یافته است.

میزان Feo/Fed از ۰/۰۷ تا ۰/۸ متغیر بود. کمترین نسبت در خاکرخی ۲ به واحد تپه یا اینسیلبرگ مربوط بود که دارای سن بیشتری است. حداکثر نسبت نیز در خاکرخی ۱۱ (اراضی پست) بود. این نسبت Feo/Fed در سه خاکرخی ۲، ۳ و ۷ تقریباً مشابه و از سطح به عمق تفاوت چندانی نداشته و نسبت به سایر خاکرخی ها کمترین میزان را دارد. این تغییرات در خاکرخی های ۱۱ و ۱۲ به حداکثر میزان خود می رسد که از سطح به عمق روند تغییرات منظمی ندارد.

شیمیایی خاکها (جدول ۵) نشان داد که آهن بی شکل (Fe_o) همبستگی مثبت و معنی داری با ماده آلی ($r = 0.575^{**}$)، شوری ($r = 0.673^{**}$) و کربنات کلسیم معادل ($r = -0.688^{**}$) دارد. مقایسه میانگین آهن بی شکل (Fe_o) در واحدهای فیزیوگرافی مختلف نشان می دهد که بین واحدهای مختلف، اختلاف معنی داری وجود دارد. کمترین مقدار در واحد تپه و بیشترین مقدار آن در اراضی پست است (جدول ۶).

دامنه تغییرات آهن دی تیونایتی (Fe_d) در خاک های مطالعه شده از ۰/۹ تا ۳/۱ گرم بر کیلوگرم متغیر است. این شکل آهن (Fe_d) در بیشتر خاکرخی ها با عمق تغییرات منظمی نداشته است (به جز خاکرخی ۹). بیشترین میزان این شکل از آهن به ترتیب در خاک های واحد فیزیوگرافی دشت و تپه با شرایط پایدار و زهکشی مناسب بوده است. میزان این آهن به دلیل پدوژنیک بودن، رابطه مستقیمی با درجه تکاملی خاک دارد. حداکثر میزان آهن دی تیونایتی (Fe_d) در خاکرخی ۹ با بیشترین سابقه کشت و کار و آبیاری در منطقه بوده که نشان دهنده اثرات آبیاری در اراضی دشت همراه با تکامل بیشتر خاک بوده است.

افزایش مقدار آهن دی تیونایتی (Fe_d) در خاکرخی ۹ (دشت) با کاربری زراعی همراه با کشت و کار و آبیاری با مقدار رس نیز همخوانی دارد. خان و فنتون (۲۴) همبستگی بین تغییرات مقدار رس و میزان آهن دی تیونایتی (Fe_d) را به حرکت همزمان این دو عامل در طول خاکرخی نسبت دادند. پژوهان نیا و همکاران (۳۴) در بررسی دلایل احتمالی تغییرات آهن دی تیونایتی (Fe_d) در ارتباط با میزان رس در خاکهای خوزستان گزارش مشابهی را ارائه دادند. کاهش مقدار آهن دی تیونایتی (Fe_d) در خاکرخی ۷ نسبت به خاکرخی ۹ می تواند به قرار داشتن خاکرخی ۷ در واحد دشت مرتفع و در نتیجه سن بیشتر خاک نسبت به ۹ باشد. خاکرخی های ۲ و ۳ (واحد تپه) با شرایط مناسب زهکشی و قرار داشتن در موقعیت های پایدارتر نسبت به اراضی پست، دارای مقدار آهن دی تیونایتی (Fe_d) به مراتب بالاتری بوده است. در خاکرخی های ۱۱، ۱۲ و ۱۴ (اراضی پست) با شرایط زهکشی ضعیف و نسبتاً ضعیف همراه با تغییرات سطح آب زیرزمینی و شوری، تجمع آهن بی شکل در بخشی از افق ها سبب افزایش آهن بی شکل و در نتیجه آهن دی تیونایتی در این خاکها شده است. آهن بی شکل در این اراضی ممکن است در اثر توالی مکرر اکسیداسیون و احیاء و ازداسازی آهن از ساختار کانیها پدید آمده باشد. در این شرایط، امکان تشکیل آهن بلورین، کمتر وجود داشته و ترکیبات آهن عمدتاً به شکل آلی و بی شکل (عمدتاً غیرپدوژنیک) می باشد (۴۲). همبستگی تغییرات آهن دی تیونایتی (Fe_d) با مقدار رس ($r = 0.463^{**}$) رابطه مثبت و معنی دار و با مقدار شن ($r = -0.411^{**}$)، شوری ($r = -0.533^{**}$) و مجموع کربنات کلسیم، گچ و ماده آلی ($r = -0.389^{**}$) رابطه منفی و

مقایسه میانگین بین واحدهای فیزیوگرافی تپه و دشت مرتفع، نشان می‌دهد که مقادیر Fe_0/Fe_d اختلاف معنی‌داری ندارند. کم بودن نسبت آهن در این خاکها نسبت به میانگین اراضی پست که با هم اختلاف معنی‌داری دارند نشان می‌دهد خاک در این واحدهای فیزیوگرافی از سن بیشتری نسبت به اراضی پست برخوردارند (جدول ۵). این نتایج با نتایج رضاپور و همکاران (۳۵) در واحد فلات در شمال غرب ایران مطابقت دارد. در اراضی پست و در شرایط بی‌هوایی، ضمن این که آزاد سازی ترکیبات آهن از درون کانیهای

حاوی آهن به دلیل شرایط احیایی کاهش می‌یابد، امکان رسوب اکسیدهای آهن به صورت ترکیبات بلورین نیز محدود می‌گردد. شوزل و آندرسون (۳۷) اظهار نمودند که مقادیر بیشتر نسبت Fe_0/Fe_d در شرایط زهکشی ضعیف احتمالاً مربوط به هوادیدگی کمتر کانی‌ها و تاخیر در تبلور اکسیدهای آهن در حضور ماده آلی می‌باشد. نتایج حاصل از نسبت Fe_0/Fe_d نشان می‌دهد که شرایط زهکشی و کاربری اراضی تفاوت چشمگیرتری بر غلظت و نسبت شکل‌های آهن در مقایسه با عامل پستی و بلندی و عمق خاک ایجاد نموده است.

جدول ۳- مقادیر اشکال مختلف آهن در خاک‌های مطالعه شده

Table 3- The amounts of different iron forms in the studied soil profiles

افق	Fe _o	Fe _d	Fe _o -Fe _d	Fe _d -Fe _o /Fe _d	Fe _d /Fe _o	Fe _o ^m	Fe _d ^m	Fe _d ^m - Fe _o ^m
horizon	(g kg ⁻¹)			(g kg ⁻¹)				
Profile 2								
A	0.16	1.94	1.78	0.92	0.08	0.26	3.12	2.86
By1	0.14	1.84	1.70	0.92	0.08	0.38	4.96	4.59
By2	0.14	1.85	1.70	0.92	0.08	0.55	7.25	6.70
2C	0.15	2.11	1.96	0.93	0.07	0.37	5.18	4.82
Profile 3								
A	0.16	1.71	1.82	0.91	0.10	0.72	7.74	7.01
Cy	0.17	1.96	1.79	0.91	0.09	0.80	9.21	8.41
2Byb	0.15	1.80	1.65	0.92	0.08	0.29	3.52	3.23
Profile 7								
A	0.19	1.9	1.75	0.92	0.10	0.32	3.24	2.92
By	0.18	2	1.82	0.91	0.09	0.38	4.27	3.88
Cy1	0.18	1.9	1.72	0.91	0.09	0.40	4.26	3.84
Cy2	0.17	1.8	1.63	0.91	0.09	0.36	3.86	3.49
Profile 9								
Ap	0.50	3.1	2.69	0.87	0.16	0.86	5.34	4.48
Bw1	0.46	2.9	2.48	0.86	0.16	0.81	5.11	4.3
Bw2	0.40	2.4	2.3	0.96	0.17	0.68	4.1	3.42
Bw3	0.43	2.32	2.09	0.90	0.19	0.73	3.95	3.22
Profile 11								
A	0.77	0.97	0.20	0.21	0.79	3.37	4.24	0.87
Byz	0.61	1.05	0.44	0.42	0.58	4.04	6.95	2.91
Czg	0.68	0.94	0.26	0.28	0.72	3.32	4.59	1.27
Profile 12								
Ay	0.56	1.60	1.03	0.64	0.35	1.08	3.08	2
Bw	0.66	1.27	0.57	0.45	0.52	1.20	2.31	1.11
Bg1	0.60	1.32	0.71	0.54	0.45	1.06	2.33	1.27
Bg2	0.53	0.90	0.38	0.42	0.59	0.91	1.54	0.63
Profile 14								
Ay	0.45	1.60	1.15	0.90	0.28	2	7.11	5.11
By	0.40	1.84	1.44	0.78	0.22	1.85	8.51	6.66
Cy1	0.32	1.76	1.44	0.82	0.18	1.29	7.11	5.82
Cy2	0.31	1.51	1.20	0.79	0.21	0.62	3.03	2.41

Fe_0 : اکسیدهای آهن بی‌شکل (Amorphous iron oxides)، Fe_d : اکسیدهای آهن دی‌تیونایتی (Dithionite extractable iron oxides)، $Fe_0 - Fe_d$: اکسیدهای آهن بلوری (Crystalline iron oxides)، Fe_0^m : آهن مینروژیک بی‌شکل (minorogeneous amorphous iron)، Fe_d^m : آهن کل مینروژیک (Minogeneous dithionite extractable iron)، $Fe_d^m - Fe_0^m$: اکسیدهای آهن بلوری مینروژیک (Minorogeneous crystalline iron oxides)

توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در خاکها

پذیرفتاری مغناطیسی خاک خشک شده (χ_{if}^{od}) از $5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ تا $25/5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ متغیر بود (جدول ۴). حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی مربوط به خاکرخ ۲ (تپه) و حداقل آن نیز مربوط به خاکرخ ۱۱ (اراضی پست) است. پذیرفتاری مغناطیسی با افزایش عمق در خاکرخها کاهش یافت (به جز خاکرخ ۲ و ۳). بیشترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک (χ_{if}^m) نیز در خاکرخ ۳ و حداقل آن مربوط خاکرخ ۱۲ در افق Bw3 بوده است.

همانطور که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، در تمام خاکرخها (به جز خاکرخهای ۲، ۳) با افزایش عمق، میزان پذیرفتاری مغناطیسی کاهش یافته است. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و مینروژیک بیانگر حضور مواد دیامگنتیک و پویای کربنات کلسیم، گچ و ماده آلی می‌باشد. خاکرخهای ۲ و ۳ بیشترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی و کمترین مقدار آن در خاکرخهای ۱۱ و ۱۲ با شرایط زه‌کشی ضعیف و نسبتاً ضعیف مشاهده گردید (جدول ۳). میانگین میزان پذیرفتاری مغناطیسی آن در واحدهای فیزیوگرافی مختلف از $9/79 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ تا $17/76 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ و مینروژیک از $20/87 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ تا $55/07 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ مشاهده گردید (جدول ۶).

افزایش بیشتر میزان پذیرفتاری مغناطیسی در افق سطحی خاکرخها می‌تواند به دو عامل نسبت داده شود: الف) آبشویی بیشتر مواد دیامگنتیک به خصوص گچ و آهک از افق سطحی در خاکها و ب) امکان تبدیل بیشتر درجای اکسیدهای غیرمغناطیسی آهن به بلورهای بسیار ریز فری مگنتیت در خاک. طبق نظر گریملی و همکاران (۱۶) افزایش پذیرفتاری مغناطیسی آهن در لایه‌های سطحی خاک به میزان زیادی به تبدیل درجای اکسیدهای آهن غیرمغناطیسی و اکسی هیدروکسیدهای آهن به ریز بلورهای فری مگنتیک مربوط می‌گردد.

به طور کلی تغییرات عمودی پذیرفتاری مغناطیسی آهن در طول خاکرخ به میزان زیادی به تبدیل درجای اکسیدهای غیرمغناطیسی آهن به بلورهای بسیار ریز فری - مگنتیت بستگی دارد. همچنین محلول شدن Fe^{2+} و متعاقب آن رسوب مجدد به صورت شکل‌های مغناطیسی‌تر از عوامل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک می‌باشد (۱۴). عامل دیگر در توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی به ویژه در خاکهای آهکی و گچی، نحوه توزیع ترکیبات دیامگنتیک کربنات کلسیم و گچ در نیمرخ خاک می‌باشد (۲۳). بیشترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در میان خاکهای مطالعه شده در خاکرخهای ۲ و ۳ (واحد تپه) مشاهده گردید. افزایش پذیرفتاری مغناطیسی به شرایط زه‌کشی مناسب در خاک از یک سو و سن بیشتر خاکهای این

بخش‌های اراضی مربوط می‌گردد. طبق نظریات فنگ و جانسون (۱۳) و گریملی و همکاران (۱۶) خاکهای با زه‌کشی مناسب دارای پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به خاکهای با زه‌کشی ضعیف می‌باشد. همچنین قدیمی ترین بخش های دشت، همین اینسلیبرگ یا تپه های قدیمی هستند.

در خاکرخ های ۷ و ۹ (دشت مرتفع) با کاربری زراعی به نظر می‌رسد که آبیاری اراضی موجب تسریع در فرایندهای اکسیداسیون و احیاء و کاهش دوره های خشک و مرطوب شدن خاک و در نتیجه سبب کاهش تبدیل اشکال غیرمغناطیسی به مغناطیسی آهن می‌گردد. دیرینگ و همکاران (۱۱) در مطالعه خاک های انگلیس، پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری را در مراتع نسبت به اراضی زراعی مشاهده نمودند.

در خاکرخ‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۴ شرایط زه‌کشی ضعیف و نسبتاً ضعیف، منجر به شرایط بی‌هوازی در برخی مواقع سال و عدم تبدیل کانی‌های پارامگنتیک و کنتد آنتی فرومگنتیک (مانند لپیدوکروسیست و گوئیتیت) به کانی‌های فری مگنتیت و مگهمیت می‌شود (۱۳ و ۱۶). بنابراین در این خاکرخها به رغم تغییرات سطح آب زیرزمینی در اعماق کم در اغلب مواقع سال، با وجود تکامل نسبی این خاکها، از پذیرفتاری مغناطیسی اندکی برخوردارند. همچنین کم بودن میزان پذیرفتاری مغناطیسی آهن در خاکرخ ۱۱ و ۱۴ ممکن است به دلیل شرایط زه‌کشی نسبتاً ضعیف و بافت سبک (حاوی مقدار زیاد مواد دیامگنتیک شن کوارتزی) بوده که مانع از بروز پذیرفتاری مغناطیسی در این خاکرخ گردید. بنابراین میانگین کم پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای دشت مرتفع و اراضی پست به دلیل کشت و کار و شرایط زه‌کشی ضعیف با هم اختلاف معنی داری نداشتند اما این دو واحد با واحد تپه اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۶).

پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک در خاکرخها متأثر از گچ پس از حذف آن به شدت افزایش یافته است (جدول ۴). بنابراین خاکرخهای متأثر از مواد مادری به خوبی نشان می‌دهند که گچ و کربنات‌ها به نسبت سهمی که از خاک اشغال می‌کند باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی شده و تاثیر عوامل ایجاد کننده یا تغییر دهنده پذیرفتاری مغناطیسی را می‌پوشانند. مواد مادری بیشترین اثر را بر پذیرفتاری مغناطیسی داشته که پس از حذف اثرات مواد دیامگنتیت (گچ و آهک) از جرم خاک، پذیرفتاری مغناطیسی زیاد می‌شود. با این وجود در خاکهایی که گچ به صورت طبیعی در اثر آبشویی از خاک یا برخی از افق ها حذف شده است این تغییرات اندک است. میانگین واحدهای مختلف نیز تاکید بر این مسئله است که نشان می‌دهد واحد تپه دارای اختلاف معنی داری نسبت به دو واحد دیگر است (جدول ۶).

جدول ۴- مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های مطالعه شده

Table 4- The amounts of magnetic susceptibility in the studied soils

افقی Horizon	χ_{lf}^{od} $10^{-8} (m^3/kg^{-1})$	χ_{hf}	$\chi_{lf}^m - \chi_{hf}^m$ $/\chi_{lf}^{od}$	χ_{lf}^m $10^{-8} (m^3/kg^{-1})$	χ_{hf}^m	$\chi_{lf}^m / \chi_{hf}^m$
Profile 2						
A	25.5	25.5	1.6	41.0	41.0	1.0
By ₁	12.1	11.8	2.7	32.6	31.8	1.03
By ₂	11.9	11.7	3.9	46.6	45.9	1.02
2C	17.9	17.8	2.5	44.0	43.7	1.01
Profile 3						
A	21.7	21.6	4.5	98.2	97.7	1.0
Cy	15.4	15.2	4.7	72.4	71.4	1.01
2Byb	19.2	18.8	2.0	37.6	36.8	1.02
Profile 7						
A	17.7	17.3	1.7	30.2	29.5	1.02
By	16.2	16.2	2.1	34.6	34.6	1.0
Cy ₁	14	13.9	2.2	31.2	31.0	1.01
Cy ₂	13.2	12.3	2.1	28.3	26.3	1.07
Profile 9						
Ay	11.6	11.6	1.7	20.0	20.0	1.0
Bw	11.5	11.5	1.8	20.3	20.3	1.0
Bg ₁	9.4	9.4	1.7	16.1	16.1	1.0
Bg ₂	9.2	9.2	1.7	15.7	15.7	1.0
Profile 11						
A	5.7	5.5	4.4	24.9	24.0	1.04
Byz	5.6	5.4	6.6	37.1	35.8	1.04
Czg	5	4.2	4.9	24.4	20.5	1.19
Profile 12						
Ay	19.1	18.9	1.9	36.7	36.3	1.01
Bw ₁	11.3	11.2	1.8	20.5	20.4	1.01
Bw ₂	5.9	5.4	1.8	10.4	9.5	1.09
Bw ₃	5.9	5.9	1.7	10.1	10.1	1.0
Profile 14						
Ay	15.5	15.5	4.4	68.9	68.9	1.0
By	13.4	13.3	4.6	62.0	61.5	1.01
Cy ₁	12.1	12.1	4.0	48.9	48.9	1.0
Cy ₂	8.9	8.9	2.0	17.9	17.9	1.0

 χ_{lf}^{od} : پذیرفتاری مغناطیسی آون (Oven dried Magnetic susceptibility)، χ_{hf} : پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا χ_{lf}^m : پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک (Minerogenic Magnetic susceptibility)، χ_{hf}^m : پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک (High frequency magnetic susceptibility)

دیاگنیت و پویایی کربنات کلسیم، گچ و ماده آلی می‌باشد. حداکثر نسبت $\chi_{lf}^m / \chi_{lf}^{od}$ در واحدهای فیزیوگرافی تپه با میانگین $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 3/28$ و کمترین مقدار آن مربوط به دشت مرتفع با میانگین $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 1/65$ بود (جدول ۴). بالاتر بودن این نسبت بیانگر بیشتر بودن مجموع کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی در این خاک‌ها می‌باشد. نتایج همبستگی میان نسبت $\chi_{lf}^m / \chi_{lf}^{od}$ با مجموع کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی ($r=0.948^{**}$)، شن ($r=0.682^{**}$) و شوری ($r=0.699^{**}$) رابطه مثبت و معنی دار و با مقدار سیلت ($r=0.665^{**}$) و رس ($r=0.516^{**}$) رابطه منفی و معنی‌داری نشان داد. این روند منعکس کننده اهمیت مواد مغناطیسی به ارث رسیده از مواد مادری است (۹).

نتایج همبستگی جدول ۵ نیز نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک، با میزان شن ($r=0.560^{**}$) رابطه مثبت و معنی دار و با مجموع کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی ($r=0.667^{**}$)، درصد سیلت ($r=0.506^{**}$) و رس ($r=0.456^{**}$) رابطه منفی و معنی‌داری داشت. این روند منعکس کننده اهمیت مواد مغناطیسی به ارث رسیده از مواد مادری در اندازه شن و در نتیجه نشان دهنده تاثیر سنگ مادر و مواد مادری بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک می‌باشد. دیانگ و همکاران (۱۱) نیز در مطالعه اثر اقلیم و مواد مادری بر پذیرفتاری مغناطیسی نشان دادند که خاک‌های با بافت درشت‌تر، پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری دارد که آن را به ارث از مواد مادری نسبت دادند.

مقایسه میانگین نسبت $\chi_{lf}^m / \chi_{lf}^{od}$ بیانگر اثر حضور مواد

جدول ۵- همبستگی بین اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی با برخی از ویژگی‌های فیزیوشیمیایی خاکهای مورد مطالعه
Table 5- Correlation between magnetic susceptibility and different iron forms and some physicochemical properties of the studied soils

	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d	Fe _d -Fe _o	χ_{ir}^{od}	χ_{ir}^m	$\chi_{ir}^m/\chi_{ir}^{od}$	ECe	Clay	Sand	Silt	CCE	Gypsum	OM
Fe _o	-0.408*													
Fe _o /Fe _d	-0.723**	0.900**												
Fe _d -Fe _o	0.959**	-0.629**	-0.865**											
χ_{ir}^{od}	0.355	-0.679**	-0.677**	0.489*										
χ_{ir}^m	-0.003	-0.399*	-0.319	0.136	0.537**									
$\chi_{ir}^m/\chi_{ir}^{od}$	-0.401*	0.174	0.320	-0.379	-0.214	0.618**								
ECe	-0.533**	0.672	0.722**	-0.636**	-0.484*	0.097	0.699**							
Clay	0.463*	0.241	-0.010	0.358*	-0.213	-0.456*	-0.516**	-0.397*						
Sand	-0.411*	-0.247	0.011	-0.296	0.147	0.560**	0.682**	0.422*	-0.888**					
Silt	0.226	0.174	-0.013	0.134	-0.016	-0.506**	-0.665**	-0.311	0.456*	-0.813**				
CCE	-0.105	0.688**	0.497**	-0.291	-0.427*	-0.394	-0.053	0.416*	0.267	-0.318	0.283			
Gypsum	-0.346	-0.073	0.125	-0.268	-0.060	-0.696**	0.916**	0.547**	-0.646**	0.788**	-0.707**	-0.343		
OM	-0.212	0.575**	0.413*	-0.356	-0.115	-0.281	-0.311	-0.009	0.347	-0.458*	0.437*	0.457*	-0.448*	
CCE+Gypsum+OM	-0.389*	-0.050	-0.224	-0.341	-0.133	-0.667**	0.948**	0.642*	-0.628**	0.766**	-0.687**	-0.192	0.987**	-0.365

* and **, significant at 95 and 99 percent confidence levels, باشد, بیانگر معنی دار نبودن رابطه همبستگی مورد نظر می باشد. ^{ns} بیانگر معنی دار بودن در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد می باشد. و ^{**} به ترتیب، بیانگر معنی دار بودن در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد می باشد.
(Crystalline) اکسیدهای آهن بلوری (Fe_d-Fe_o), (Dithionite extractable iron oxides) اکسیدهای آهن دی تیونیتی (Fe_d), (Amorphous iron oxides) اکسیدهای آهن بی شکل (Fe_o, respectively. ^{ns} non-significant)
 χ_{ir}^m , پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا ((High frequency magnetic susceptibility) χ_{ir}^{od} , پذیرفتاری مغناطیسی آهن (Oven dried magnetic susceptibility) χ_{ir}^{od} , پذیرفتاری مغناطیسی آهن (Minerogenic magnetite susceptibility)

جدول ۶- مقایسه میانگین اشکال آهن و پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های مورد مطالعه

Table 6- Comparison of the average magnetic susceptibility and iron forms in the studied soils

واحد فیزیوگرافی Physiographic unit	Fe _d	Fe _o	Fe _d -Fe _o	Fe _o /Fe _d	χ_{if}^{od} 10 ⁻⁸ (m ⁺³ /kg ⁻¹)	χ_{if}^m	$\chi_{if}^m / \chi_{if}^{od}$
تپه Hill	1.88 ^b	0.15 ^a	1.77 ^b	0.08 ^a	17.67 ^b	55.07 ^b	3.28 ^b
دشت مرتفع Plateau	2.29 ^c	0.31 ^b	2.06 ^c	0.12 ^a	12.85 ^a	20.87 ^a	1.65 ^a
اراضی پست Lowlands	1.34 ^a	0.53 ^c	0.80 ^a	0.44 ^b	9.79 ^a	32.69 ^a	3.44 ^b

حروف مشابه در یک ستون به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

Numbers followed by the same letter are not significantly differences (P<0.05).

ارتباط اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی

همبستگی معنی داری بین پذیرفتاری مغناطیسی و مینروژنیک با آهن دی تیونایتی (Fe_d) ملاحظه نشد که دلیل احتمالی آن می‌تواند به تفاوت در مواد مادری مربوط باشد. دجانگ و همکاران (۹) نیز نبود رابطه بین این دو پارامتر را به تفاوت در مواد مادری نسبت دادند اما آهن بی شکل (Fe_o) با پذیرفتاری مغناطیسی ($r = -0.679^{**}$) و پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک ($r = -0.399^*$) رابطه منفی و معنی داری داشت. همچنین بین پذیرفتاری مغناطیسی و تغییرات آهن بلوری (Fe_o-Fe_d) رابطه مثبت و معنی دار ($r = 0.489^*$) وجود دارد که با نتایج اولیایی و همکاران (۳۳) مطابقت دارد. کاهش نسبت آهن Fe_o/Fe_d نشان دهنده افزایش میزان تکامل خاک و سن نسبی آن می باشد (۱۱). در این پژوهش بین پذیرفتاری مغناطیسی و نسبت Fe_o/Fe_d رابطه منفی و معنی داری ($r = -0.677^{**}$) ملاحظه شد و از طرفی این دو ویژگی با یکدیگر رابطه معکوسی داشتند (۱). کاهش شدید پذیرفتاری مغناطیسی را می‌توان به شرایط احیایی و بی‌ثباتی کانی‌های فری مگنتیت و تجزیه آنها و همچنین عدم تبدیل کانی‌های پارامگناطیس و آنتی پارامگناطیس (مانند لپیدوکروسایت و گئوتیت) به کانی‌های فری مگنتیت (مانند مگنتیت و مگهمیت) در شرایط زهکشی ضعیف نسبت داد.

خصوصیات مغناطیسی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه، به خوبی رخدادهای محیطی را آشکار ساخته‌اند. همچنین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی، مرز افق‌ها را با توجه به انقطاع موجود در خاک‌های غیریکنواخت و به دنبال آن، پوشیده شدن خاک با رسوبات جدید به خوبی نشان داده‌اند. به علاوه، خاک‌های احیایی منطقه، به خوبی توسط مقدار پذیرفتاری مغناطیسی مشخص شدند. مقادیر آهن بی شکل، کریستالی و دی تیونایتی با درجه تکامل خاک، زهکشی و کاربری همبستگی داشتند.

نتیجه‌گیری

با توجه به ارتباط بین تکامل و سن خاک با اشکال مختلف آهن،

افزایش (Fe_d) و تغییرات آهن بلوری (Fe_o-Fe_d) با سن خاک و تکامل آن در خاک‌های دشت مرتفع با کاربری زارعی، تپه و اراضی پست همبستگی مناسبی داشت. کمترین نسبت Fe_o/Fe_d مربوط به واحد تپه یا اینسیلبرگ قدیمی بوده و حداکثر نسبت نیز در واحدهای اراضی پست با زهکشی ضعیف بود که نشان دهنده سن کم و درجه کم تکامل این خاک‌ها می‌باشد. مقایسه میانگین نسبت Fe_o/Fe_d نشان داد که بین واحدهای دشت مرتفع و تپه به دلیل تکامل و سن بیشتر، اختلاف معنی داری وجود نداشت اما با اراضی پست اختلاف معنی داری داشت که نشان دهنده تکامل کم این خاک‌هاست. تغییرات (Fe_o) همبستگی مثبت و معنی داری با ماده آلی، شوری و آهک نشان داد و تغییرات (Fe_d) با مقدار رس رابطه مثبت و معنی دار و با مقدار شن، شوری و مجموع کربنات کلسیم، گچ و ماده آلی رابطه منفی و معنی داری نشان داد. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های تپه بیشترین و در اراضی پست و شرایط زهکشی ضعیف و نسبتاً ضعیف کمتر بود. مقادیر کم پذیرفتاری مغناطیسی در واحدهای دشت مرتفع و اراضی پست می‌تواند به دلیل کشت و کار و شرایط زهکشی باشد. پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک در خاک‌ها متأثر از گچ پس از حذف اثر آن به شدت افزایش یافت ولی برای خاک‌هایی که گچ در اثر آبشویی از آنها خارج شده بود، اثرات چندانی نداشت. همچنین نتایج نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک، با میزان شن رابطه مثبت و معنی دار و با مجموع کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی و میزان سیلت و رس رابطه منفی و معنی داری داشت. این روند منعکس کننده اهمیت مواد مغناطیسی موروثی از مواد مادری در اندازه شن و در نتیجه نشان دهنده تاثیر سنگ مادر و مواد مادری بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک می‌باشد. همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و میزان مینروژنیک آن با Fe_d ملاحظه نشد که دلیل آن می‌تواند به تفاوت در مواد مادری مربوط باشد. پذیرفتاری مغناطیسی و مینروژنیک با آهن بی شکل (Fe_o) رابطه منفی و معنی‌داری داشت. پذیرفتاری مغناطیسی با آهن بلوری (Fe_o-Fe_d) رابطه مثبت و معنی دار و با نسبت Fe_o/Fe_d رابطه منفی و معنی داری داشت. بنابراین

کاربری، وضعیت زه کشی و مواد مادری بیشترین اثر را بر پذیرفتاری مغناطیسی و اشکال آهن دارند که سبب تغییر خصوصیات ژنتیکی و تکامل خاکهای گچی مطالعه شده است.

مواد مادری تاثیر آشکاری بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک داشته و پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک، ارتباط مثبتی با تکامل پدوژنتیکی نشان نداد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که نوع

منابع

1. Alison L.E., and Moodie C.D. 1965. Carbonate. Pp. 1369-1379. In: Black CA (Ed.) Method of Soi Analysis. Part II, Monograph No. 9. Amrican Society of Agronomy, Madison, WI.
2. Banaie M.H. 1999. Soil moisture and temperature regimes map of Iran. Soil and water research institu, Iran.
3. Blume H. P., and Schwertmann U. 1969. Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe and Mn oxides. Soil Science Society of America, 33: 438-444.
4. Blundell A., Dearing J.A., Boyle J.F., and Hannam J.A. 2009. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales. Earth-Science Reviews, 95: 158-188.
5. Bouma J. 1990. Classification and Management of Wet Soils. Report of ICOMAQ. Circular 10. In: Eighth International Soil. Correlation Meeting, USDA, Soil Service, Soil Management Support Services, USDA.
6. Bouyoucos G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy, 43: 434-438.
7. Caitcheon G.G. 1993. Applying environmental magnetism to sediment. Tracer in Hydrology. Proceeding of the Yokohama Symposium, 215. JAHs Pub.
8. Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. Pp.811 – 903 in: Black CA (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part II. Monograph No. 9. Am Soc Agron., Madison, WI.
9. De Jong E., Pennock D.J., and Nestor P.A. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. Catena, 40: 291-305.
10. De Jong E., Kozak L.M., and Rostad P.W. 1999. Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewan soils. Canadian of Journal Soil Science, 1: 135-142.
11. Dearing J. A., Hay K.L., Balsan S. M.J., Huddleston A.S., Wellington E.M.H., and Loveland P.J. 1996. Magnetic susceptibility of soil: An evaluation of contributing theories using a national data set. Geophysical Journal International, 127:728-734.
12. Dethier D.P., Birkeland P.W. and McCarth J.A. 2012. Using the accumulation of CBD-extractable iron and clay content to estimate soil age on stable surfaces and nearby slopes, Front Range, Colorado. Geomorphology, 173: 17-29.
13. Feng Z.D., and Johnson W.C. 1995. Factors affecting the magnetic susceptibility of a loess-soil sequence, Barton County, Kansas, USA. Catena, 24: 25-37.
14. Fine P., Singer M.J., and Verosub K.L. 1992. The use of magnetic susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies. Soil Science Society of America, 56: 1195-1199.
15. Gasparatos D., arenidis D.T., Haidouti C., and Oikonomou G. 2005. Microscopic structural Fe-Mn nodule environmental implication. Environmental Chemistry Letters, 2:175-178.
16. Grimley D.A., Arruda N.K., and Bramstedt M.W., 2004. Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the Midwestern USA. Catena, 58: 183-213.
17. Hanesch M., and Schloger R. 2005. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured through soil profiles. Geophysical Journal International, 161: 50-56.
18. Hosseini S.S., Esfandiarpour Borujeni I., Farpour M.H., and Karimi A.R. 2015. Comparsion of different soil development indices along Kerman-Baft transect. Journal of Soil Management and Sustainable, 5(2): 23-1. (In Persian with English abstract)
19. Howard J.L., Clawson C.R. and Daniels L.W. 2012. A comparison of mineralogical techniques and potassium adsorption isotherm analysis for relative dating and correlation of Late Quaternary soil chronosequences. Geoderma, 179, 180: 81-95.
20. Hu X., Xu L., and Shen M. 2009. Influence of the aging of Fe oxides on the decline of magnetic susceptibility of the Tertiary red clay in the Chinese Loess Plateau. Quaternary International, 209: 1-9.
21. Hussain I., Olson K.R., and Jones R.L. 1998. Erosion patterns on cultivated and uncultivated hill slopes determined by soil fly ash contents. Journal of Soil Science, 163(9): 726-738.
22. Karimi A., and Khademi H. 2012.The impact of parent material, gypsum and carbonate on the magnetic susceptibility of Southern soils Mashhad. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 16(61): 247-258. (In Persian with English abstract)
23. Karimi R., Ayoubi Sh., Jalalain A., Sheikh-Hossen A.R., and Afyuni M. 2011. Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran. Journal of Applied Geophysics, 74: 1– 7.

24. Khan F.A., and Fenton T.E. 1994. Saturated zones and soil morphology in a Mollisol catena of central Iowa. *Soil Science Society of America*, 58:1457-1464.
25. Kravchenko A.N., Bollero G.A., Omonode R.A., and Bullock D.G. 2002. Quantitative mapping of soil drainage classes using topographical and soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America*, 66: 235-243.
26. Lu S.G. 2000. Characterization of magnetism and iron oxide minerals of Quaternary red earth and its paleoenvironmental implication. *Acta Pedologica Sinica*, 37: 182-191.
27. Lu Sh., Zhu L., and Yu J. 2012. Mineral magnetic properties of Chinese paddy soils and its implications. *Catena*, 93: 9-17.
28. Mathe V., and Leveque F. 2003. High resolution magnetic survey for soil monitoring: detection of drainage and soil tillage effects. *Earth and Planetary Science Letters*, 212: 241- 251.
29. McFadden L.D., and Hendricks D.M. 1985. Changes in the content and composition of pedogenic iron oxyhydroxides in a chronosequence of soils in southern California. *Quaternary Research*, 23: 189-204.
30. Mokhtari Karchegani P., Ayoubi S., Lu S.G., and Honarju N. 2011. Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. *Journal of Applied Geophysics*, 75: 227-236.
31. Mullins C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science - a review. *Journal of Soil Science*, 28: 223-246.
32. Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum, P. 181-196. In: A. L. Page et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis* (2nd Ed). Part 2, Agron, Monograr, No: 9, ASA and SSSA, Madison.
33. Owliaie H.R., Adhami E., Jafari S., Rajaie M., and Ghasemi Fasai R. 2009. The distribution of magnetic susceptibility associated with iron compounds in some soils of Fars Province. *Iranian Journal of soil research*, 23(2): 191-204. (In Persian with English abstract)
35. Pajohannia, M., Chorom M., and Jafari S. 2016. The Effect of water table fluctuation and its salinity on Fe crystal and noncrystal in some Khuzestan soils. *Journal of Water and Soil*. 30(5): 1531-1542. (In Persian with extended English abstract)
36. Rezapour S., Jafarzadeh A.A., Samadi A., and Oustan S. 2010. Distribution of iron oxides forms on transect of calcareous soils, northwest of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Scienc*, 56:165-182.
37. Scarciglia F., Tuccimei P., Vacca A., Barca D., Pulice I., Salzano R., and Soligo M. 2011. Soil genesis, morphodynamic processes and chronological implications in two soil transects of SE Sardinia, Italy: Traditional. *Geoderma*, Volume 162, Issues 1-2, Pages 39-64.
38. Schaetzl R.J., and Anderson S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, UK.
39. Schwertmann U., 1984. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Advances in Soil Sciences*, Vol. 1: 171- 200.
40. Schwertmann U., and Taylor R.M. 1989. Iron oxides. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), *Minerals in Soil Environment*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. PP. 379 -438.
41. Singer M.J., Verousb K.L., Fine P., and Tenpas J. 1996. A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soils. *Quaternary International*, 34: 243- 248.
42. Soil Survey Staff. 2002. Field book for describing and sampling soil. Version 2.0. National soil survey center, USDA, USA.
43. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. Second edition. USDA, NRCS.
44. Stonehouse H.B., and Arnaud R.J. 1971. Distribution of iron, clay and extractable iron and aluminum in some Skatchewan soils. *Canadian of Journal Soil Science*, 51: 283-292.
45. United State Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook, 60, Washington, DC.
46. Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degetiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Journal of Soil Science*, 37: 29-38.
47. Wiederhold J., Teutsch N., Kraemer S., and Halliday A. 2007. Iron isotope fractionation during pedogenesis in reoxomorphic Soil. *Soil Science Society of America*, 71:1840-1850.



Correlation between Different Fe Forms and Magnetic Susceptibility with the Development of Some Ramhormoz's Soils, Khuzestan Province, Iran

Y. Abdoli¹ - S. Jafari^{2*} - A. Beshkar³

Received: 08-11-2017

Accepted: 27-10-2018

Introduction: The Fe forms diversity is related to parent materials, climate, soil process, biocycles, water table fluctuation, redox, organic matter and etc. in soil. The main Fe forms are Fe_d (extracted by dithionite citrate bicarbonate), Fe_o (extracted by oxalate ammonium) and Fe crystals. Fe_o/Fe_d ratio also shows active Fe forms. Magnetic susceptibility (MS) increases when ferri-magnetite is formed due to soil processes. This characteristic (MS) changes with parent material, climate, relief, and organism. Therefore, this study was undertaken to evaluate different Fe forms and MS with soil forming factors in some gypsic soils of Khuzestan province.

Material and Methods: The study area was located in Ramhormoz and Haft-Kel regions in Khuzestan province. Soil moisture and temperature regimes were ustic and hypertermic, respectively. Soil parent material consisted of the eluvial deposit of Gachsaran and Aghajari geological formations. The soil profiles location was selected according to topography map, ETM⁺ Landsat satellite images, and then 14 soil pedons were dug and described according to the standard methods. All horizons or layers were sampled and 5 pedons were selected for the analysis of different Fe forms. Fe_d and Fe_o were, respectively, extracted by citrate-bicarbonate-dithionite (CBD) and oxalate ammonium, and Fe concentration was then determined by atomic absorption spectrometry. Furthermore, MS was determined by MS2 meter Barlington Dual frequency in low (0.46 kHz) and high (4.6 kHz) frequencies. All MS were calculated for carbonates, gypsum, and OM free. These calculations were also done for Fe forms in these samples. The statistical analysis was carried out with SPSS and Pierson methods between Fe forms and MS. The Duncan's test was used to compare the mean values.

Results and Discussion: Pedons were classified as Entisols, Inceptisols, and Aridisols soil orders. The range of clay content, pH_e, ECE, CEC, OM, CCE and gypsum was 15-59%, 7.1-8.5, 0.6-58.1 dS/m, 4.2-22.4 cmol_c/kg, 0.3-2.4%, 21.2-39.7%, and 0-78.7%, respectively. All epipedons were classified to be ochric and developed soils had cambic diagnostic horizon (Bw) in subsurface. Fe_o content was maximum in young soil under poor drainage, and minimum Fe_o content was observed for developed pedons with good drainage class. The sepedons have not been cultivated yet. Fe_o was maximum at surface soils in all pedons, and decreased with increasing depth. A decreasing trend was observed from surface to subsurface for Fe content in cultivated soils. This negative trend was not, however, detected in poor drainage class or pedons with lithologic discontinuity. This trend can be ascribed to more organic matter content in surface soil in comparison with subsurface soil. Organic matters increase soil acidity and therefore, Fe_o can not be converted to other Fe forms under this circumstance. Maximum Fe_o was determined under poor drainage class in low lands. In addition, Fe_d displayed no trend from the surface to depth at most pedons. Maximum Fe_d was found in old plain and the hill slope summit. This Fe_d was positively strongly correlated with soil development trend. Fe_d had a positive association with clay content ($r=0.463$), and negative correlation with sand content ($r=-0.411$), salinity ($r=-0.533$), and total carbonate, gypsum and OM ($r=-0.389$). Fe_o^m (Fe_o menegic) was maximum in Byz (4.04 gr/kg soil) and minimum content for Fe_o^m was found in Byb (0.29 gr/kg soil). Maximum and minimum Fe_d^m was measured in Cy (9.21 g/kg) and Bg2 (1.54 g/kg), respectively. The Fe_o/Fe_d ratio was larger in young soil and decreased with time. These values decreased from the surface to depth with the range from 0.07 to 0.8. The greatest and lowest Fe_o/Fe_d were, respectively, observed in the hills and the low lands. There was no significant difference in Fe_o/Fe_d between hill and plain.

MS changed from 5 to 25.5. Maximum and minimum MS was detected in the hills and the low lands. MS decreased with depth in almost all horizons. The highest and lowest MS were, respectively, found in pedon 3 (Byb horizon) and pedon 12 in the Bw3 horizon. The MS minerogenic was statistically significantly associated to sand content ($r=0.56^{**}$)

1, 2 and 3- Graduated M.Sc. Student, Associate Professor, Department of Soil Science and Graduated M.Sc. Student, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

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

and significantly negatively correlated with total carbonates, gypsum, OM ($r=-0.667^{**}$), silt content ($r=-0.506$) and clay content ($r=-0.456$). The positive relationship between sand content and MS can be explained by the effect of magnetic materials inherited from the parent materials.

Conclusion: Fe_d and Fe_o - Fe_d showed a close correlation with soil development. Fe_o/Fe_d ratio increased with decreasing soil age. Fe_o content had a positive correlation with total carbonate, OM, salinity. MS was more in older soils such as hill physiographic unit but it was low in younger soils or soils with weak drainage. MS was greatly affected by sand material size which seems to be linked to parent materials. MS showed no trend with soil development but land use, drainage and parent material largely impacted MS and different Fe forms in these gypsiferous soils.

Keywords: Clay, Drainage, Gypsiferous soils, Horizon, Land use

تأثیر کمپوست بقایای هرس درختان بر برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی یک خاک آهکی در حضور میکوریز در شرایط رایزوباکس

رقیه واحدی^{۱*} - میرحسن رسولی صدقیانی^۲ - محسن برین^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۱

چکیده

با توجه به کمبود مواد آلی در اغلب خاک‌های ایران، بقایای هرس درختان میوه یکی از منابع مهم مواد آلی خاک به شمار می‌روند که با تبدیل شدن به کمپوست به همراه تلقیح میکوریزی می‌تواند از راهکارهای افزایش خصوصیات میکروبیولوژیکی در خاک‌های آهکی باشد. از این رو، در این پژوهش تأثیر کمپوست حاصل از بقایای هرس درختان میوه در حضور تلقیح میکوریزی بر برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی یک خاک آهکی در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در رایزوباکس اجرا گردید. فاکتورها شامل منابع آلی (کمپوست بقایای هرس، بقایای هرس و شاهد بدون ماده آلی) و خاک (خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر) در شرایط تلقیح میکوریزی بودند. پس از پایان دوره رشد گیاه گندم، کربن آلی (OC)، کربن زیست توده میکروبی (MBC)، فسفر زیست توده میکروبی (MBP)، کسر متابولیکی (qCO_2)، بهر میکروبی (MBC/OC) و شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI)، فعالیت آنزیم‌های فسفوموناستراز اسیدی (ACP) و قلیایی (ALP) و نیز درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تعیین گردید. نتایج نشان داد که کاربرد کمپوست باعث افزایش OC، MBC، MBP و کاهش MBC/MBP نسبت به تیمار شاهد شد. به طوریکه کمپوست بقایای هرس OC، MBC و MBP را به ترتیب ۰/۸، ۴۶/۷۹ و ۳۷/۱۸ درصد در خاک ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر افزایش داد. بقایای هرس موجب افزایش ۱/۴۵، ۱/۲۶ و ۱/۳ برابری به ترتیب در qCO_2 ، CAI و ACP در خاک ریزوسفری در مقایسه با غیرریزوسفر شد. در حالی که بیشترین میزان بهر میکروبی در تیمار شاهد بدون ماده آلی بود. همچنین، بیشترین فعالیت ALP و درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه را کمپوست بقایای هرس در خاک ریزوسفری به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: ماده آلی، ریزوسفر، کیفیت خاک، ریزموجودات

مقدمه

فعالیت‌های میکروبیولوژیکی را کاهش داد (۳۵). استفاده از این بقایای هرس درختان میوه به عنوان ماده اولیه در تهیه کمپوست در مناطقی مانند آذربایجان غربی علاوه بر تأثیرات مطلوب بر عملکرد محصولات کشاورزی و افزایش ماده آلی خاک از نظر اقتصادی به صرفه می‌باشد (۳۸). از بقایای حاصل از هرس درختان به عنوان خاک اره در صنایع کاغذ سازی استفاده می‌شد، اما در حال حاضر می‌توان از آن به دلیل قابلیت هدایت الکتریکی پایین، محتوای کم فلزات سنگین سمی و نیز توانایی ایجاد خلل و فرج و هوادهی بهتر می‌تواند به عنوان ماده اولیه یک روش مناسب جهت بهبود کیفیت کمپوست به ماده اولیه تولید کمپوست افزوده گردد (۲۲). ماریناری و همکاران (۳۰) دریافتند در پایان فرآیند تولید، کمپوست‌ها حاوی جمعیت زیادی از ریزموجودات هستند و بنابراین با مصرف کمپوست علاوه بر افزودن مواد آلی و عناصر غذایی در خاک، موجودات زنده نیز به خاک وارد می‌شوند. ایقبالی و همکاران (۱۷) بیان کردند که اثرات باقیمانده کودهای گاوی و کمپوست تا چهار سال بعد از کاربرد این کودها ادامه داشته و

ماده آلی نه تنها منبع عمده عنصرهای غذایی است بلکه با تشدید فعالیت زیستی در خاک به چرخش بهتر مواد غذایی کمک می‌کند بنابراین ماده آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک می‌باشد (۱۶). وجود ماده آلی بیشتر در خاک به تأمین بیشتر انرژی، کربن و عناصر غذایی و در نهایت فعالیت میکروبی بیشتر منجر می‌شود (۳۴). سالانه میلیون‌ها تن ضایعات هرس درختان میوه در سطح کشور تولید می‌شود که می‌تواند سهمی زیادی در تأمین و تقویت ماده آلی خاک داشته باشد، ولی قسمت اعظم آن سوزانده شده یا در محیط رها می‌گردد. در یک آزمایش طولانی مدت (۷ ساله) سوزاندن بقایا،

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(Email: rvahedi93@yahoo.com)
(*) - نویسنده مسئول
DOI: 10.22067/jsw.v32i5.71736

می‌تواند خصوصیات کیفی خاک را بهبود دهند. کیفیت خاک علاوه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، دارای ارتباط نزدیکی با خصوصیات میکروبیولوژیکی آن نیز می‌باشد. در یک سیستم ریشه‌ای فعال، ترکیبات آلی به‌طور منظم به محیط ریشه گیاه آزاد می‌شوند که باعث رشد و افزایش فعالیت جامعه‌ی میکروبی خاک شده و سلامت سیستم را بهبود می‌بخشند. از آنجا که خاک بخش مهمی از محیط زیست را تشکیل می‌دهد، ارزیابی کیفیت آن به‌منظور تشخیص وضعیت کیفی محیط زیست ضروری است. برای ارزیابی تغییرات عملکردهای خاک و تغییرات آن بهتر است پارامترها و نمایه‌های زیست شیمیایی که نشان دهنده تنوع، توزیع زیستی و چگونگی فعالیت ریزموجودات خاک هستند، مورد استفاده قرار گیرند (۲۰). هرریک (۲۱) بیان نمود که شاخص‌های میکروبیولوژیک خاک از جنبه‌های مهم کیفیت خاک هستند و به همین دلیل کیفیت خاک با استفاده از خواص مختلف میکروبیولوژیک نیز اندازه‌گیری می‌شود. اصولاً خاکی که از تنوع و توزیع مناسب میکروبی برخوردار باشد و ریزموجودات آن به خوبی فعالیت کنند، از نظر کیفی در سطح بالایی است. فعالیت آنزیمی و زیست توده میکروبی (کربن و فسفر زیست توده میکروبی) از مهم‌ترین شاخص‌های میکروبی خاک محسوب می‌شوند. به نظر می‌رسد که در میان پارامترهای زیست شیمیایی در درجه اول کربن زیست توده میکروبی (۴۱ درصد) و فعالیت فسفومونواسترازها (اسیدی یا قلیایی) (۲۸ درصد) بیشترین کاربرد را داشته‌اند (۲۰). فعالیت آنزیمی و زیست توده میکروبی ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند زیرا تبدیل عناصر آلی مهم از طریق ریزموجودات صورت می‌پذیرد. آنزیم‌های خاک تولید شده توسط میکروب‌ها، نقش کلیدی در عملکرد بیوشیمیایی، تجزیه مواد آلی و چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کنند (۴۷). تجادا و گونزالز (۴۵) بیان کردند که عموماً افزایش در کربن زیست توده میکروبی، به اثرات مثبت کمپوست در خاک مربوط می‌شود. همچنین مواد ساده و قابل دسترسی که کمپوست در اختیار دارد، باعث تحریک فعالیت میکروبی که منجر به افزایش جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیمی در خاک می‌گردد. اگرچه ریشه‌های گیاه در تولید فسفومونواسترازها نقش دارند اما فسفومونواسترازهای میکروبی مانند قارچ‌های میکوریزی در هیدرولیز ترکیبات آلی خاک مؤثرتر هستند (۴۳). بنابراین راهکار دیگر بهبود کیفیت خاک استفاده از پتانسیل ریزموجودات می‌باشد. قارچ میکوریز آربوسکولار^۱ (AMF) در خاک قادر به تحریک و افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک بوده و فعالیت انواع آنزیم‌ها و زیست توده میکروبی را در خاک تشدید می‌کنند. شواهدی از فعالیت آنزیم‌های فسفومونواستراز اسیدی و قلیایی در قارچ‌های میکوریز آربوسکولار وجود دارد که نشان دهنده توانایی این قارچ‌ها در استفاده از منابع آلی فسفر می‌باشد (۲۴). همچنین

آزمایش‌های انجام شده در خاک‌هایی با غلظت اندک فسفر نشان داد که کلنیزاسیون میکوریزی افزایش یافته و بهبود عملکرد گندم را به دنبال داشته است (۳۷). در تعداد زیادی از مطالعات گزارش شده است که افزودن کمپوست باعث کلنیزاسیون میکوریزی ریشه، تولید اسپور و توسعه گستردگی هیف‌ها شده است و از این طریق سبب بهبود کیفیت خاک گردیده است (۱۱، ۲۶، ۴۴ و ۴۶). لیانگ و همکاران (۲۸) نشان دادند که قرار دادن ماده آلی (کمپوست) در اطراف ریزوسفر یا خارج از ریزوسفر تأثیر قابل توجهی در فعالیت میکروبی در ریزوسفر و خاک غیرریزوسفری در پی داشته است. به نظر می‌رسد که ریزوسفر آن قدر پیچیده است که نمی‌توان آن را تغییر داد، ولی می‌توان با به کاربرد ریزموجودات و همچنین افزودن ماده آلی به آن باعث تغییر در ترکیب جمعیت میکروبی ریزوسفر شد. اطلاعات در زمینه شناخت شاخص‌های میکروبیولوژیکی در ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر خیلی ناقص و پراکنده است، علاوه بر این محیط ریزوسفر با غیرریزوسفر بسیار متفاوت است. مطالعه خاک ریزوسفری اغلب با مشکلاتی همراه است زیرا لایه خاکی که مستقیماً تحت تأثیر ریشه قرار می‌گیرد بسیار نازک بوده و از طرف دیگر توزیع ریشه در خاک بسیار گسترده است. رایزوباکس^۲ از جمله ابزارهایی است که برای مطالعه تغییرات ریزوسفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. چرا که با محدود کردن ریشه‌ها در حجم معینی از خاک، منجر به افزایش تراکم ریشه شده و نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری را آسان می‌سازد. تاکنون درک کاملی از اثر کمپوست بقایای هرس درختان سیب و انگور و تأثیر آن‌ها بر شاخص‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های آهکی به دلیل وجود روابط پیچیده بین این ترکیبات در ریزوسفر گندم حاصل نشده است. لذا هدف این تحقیق تأثیر کمپوست حاصل از بقایای هرس درختان سیب و انگور در حضور قارچ میکوریزی بر کیفیت خاک در ریزوسفر گندم در شرایط رایزوباکس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، نمونه خاک غیر زراعی مورد استفاده با بافت شنی بعد از هوا خشک کردن از غربال ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۴۱) (جدول ۱). خاک مورد مطالعه جهت آزمایش گلخانه‌ای، در دستگاه اتوکلاو و با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲ ساعت استریل شد. بقایای هرس درختان سیب و انگور از باغ‌های شهرستان ارومیه جمع‌آوری شدند. همچنین کمپوست بقایای هرس درختان سیب و انگور از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ارومیه تهیه گردید. در

اندازه گیری شدند. همچنین برای برآورد کسر متابولیکی از تقسیم میزان تنفس پایه بر کربن زیست توده میکروبی (۲)، شاخص قابلیت دسترسی کربن از تقسیم تنفس برانگیخته با سوستر بر کربن زیست توده میکروبی (۱۳) و برای محاسبه بهر میکروبی از تقسیم کربن زیست توده میکروبی بر کربن آلی خاک (۳۲) استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم افزار MSTATC و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای و بقایای هرس و کمپوست بقایای هرس به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. خاک مورد استفاده دارای بافت شن لومی (رس ۴/۱۶، سیلت ۱۰ و شن ۸۵/۸۴ درصد) است و دارای فسفر قابل دسترس پایین (۷/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کربن آلی کم (۰/۲۵ درصد)، ۱۴/۲۵ درصد کربنات کلسیم معادل، غیر شور و با pH خنثی تا قلیایی ضعیف بود. تجزیه بقایا هرس سیب و انگور و کمپوست حاصل از این بقایا نشان داد که بقایای هرس درختان دارای pH اسیدی (۵/۶۴)، قابلیت هدایت الکتریکی (۲/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر)، مقدار کربن آلی (۴۴/۲۲ درصد) و مقدار فسفر کل (۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. از ویژگی‌های بارز بقایای خام نسبت بالای C/N در بقایای هرس سیب و انگور (۴۰/۲۱) و مقدار بسیار کم فسفر کل آن در مقایسه با کمپوست (۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بقایای هرس درختان موجب کاهش pH در کمپوست تهیه شده از آن‌ها شد. هرچند pH کمپوست نسبت به بقایای هرس خام اولیه افزایش یافت ولی این افزایش تقریباً خنثی بود، بطوریکه pH کمپوست خنثی تا قلیایی ضعیف (۷/۰۵) بود. در انتهای فرآیند کمپوست سازی به دلیل کاهش میزان آمونیوم، از میزان pH کاسته می‌شود. بنابراین استفاده از کمپوست بقایای هرس در خاک‌های با pH بالا مناسب می‌باشد. همچنین قابلیت هدایت الکتریکی بالا (۱۷/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر)، کربن آلی بالا (۳۰/۰۲ درصد) از دیگر ویژگی‌های کمپوست مصرفی بود. از مهم‌ترین مشخصه‌های کمپوست مصرفی مقدار فسفر کل (۷/۵۴ درصد) بالای آن بود.

نهایت بقایای هرس (شاخه‌های چوبی) و کمپوست بقایای هرس آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های آن‌ها اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای انجام آزمون گلخانه‌ای، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار شامل منابع آلی (بقایای هرس درختان سیب و انگور، کمپوست بقایای هرس درختان سیب و انگور و شاهد بدون ماده آلی) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) در حضور میکوریز بود، که در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ارومیه اجرا گردید. به منظور کشت گیاه از رایزوباکس استفاده شد. باکس‌های ریزوسفر در ابعاد ۲۰×۱۵×۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع استفاده شد. فضای هر باکس با استفاده از صفحات مشبک نایلونی ۳۲۵ مش به ۲ قسمت: ۱) ناحیه ریزوسفری به ضخامت ۲ سانتی‌متر، ۲) ناحیه غیرریزوسفری به ضخامت ۵/۸ سانتی‌متر (این ناحیه در طرف دیگر ناحیه ریزوسفری نیز با همان ضخامت تکرار شد) تقسیم شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، بقایای هرس و کمپوست برحسب ۱/۵ درصد کربن آلی خالص به خاک (۵/۷۹۹ کیلوگرم خاک برای هر باکس) اضافه و به باکس‌ها منتقل گردید. همچنین مقدار ۸۰ میلی‌گرم فسفر از منبع خاک فسفات به عنوان منابع نامحلول فسفر در هر کیلوگرم خاک اضافه شد. برای تلقیح میکروبی از قارچ میکوریزی گونه‌ی گلوموس (*Glomus fasciculatum*) موجود در گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه استفاده گردید. مقدار قارچ میکوریزی برای هر باکس حدود ۷۰ گرم بود که به قطر نیم سانتی متر و به فاصله یک لایه مانده از سطح خاک ریزوسفری به طور یکنواخت تلقیح و توزیع گردید و بعد از تلقیح با سطحی یکنواخت از خاک پوشانده شد. برای کشت گیاه، بذره‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشتاز پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به تعداد شش بذر در قسمت ریزوسفری رایزوباکس‌ها کشت گردیدند. پس از جوانه زدن بذرها، ۴ بوته نگهداشته شدند. در طول دوره کشت از آب مقطر به منظور آبیاری و جهت تامین مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی Rorison بدون فسفر استفاده گردید. در پایان پس از ۶۵ روز رایزوباکس‌ها باز شدند. خاک هر دو ناحیه ریزوسفری و غیرریزوسفری برداشت و به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری برخی ویژگی‌ها منتقل شدند. کربن آلی (۴۱)، کربن زیست توده میکروبی (۲۳)، فسفر زیست توده میکروبی (۸)، آنزیم‌های فسفومونوآستراز اسیدی و قلیایی (۴۲) و نیز درصد همزیستی میکوریزی ریشه (۳۳)

جدول ۱- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شنی

Table 1- Results of some physical and chemical properties of sandy soil

بافت خاک soil texture	K _{ava}	P _{ava}	N _{Tot}	CaCO ₃	OC	EC	pH
	mg kg ⁻¹			%		dS m ⁻¹	
Loamy Sand	98	7.64	0.08	14.25	0.25	0.47	7.53

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بقایای هرس و کمپوست حاصل از بقایای هرس درختان سیب و انگور
Table 2- Some characteristics of pruning waste and pruning waste compost of apple and grape trees

ویژگی‌ها Characteristics	واحد Unit	کمپوست بقایای هرس سیب و انگور Pruning wastes compost apple and grape	بقایای هرس The pruning wastes	
			انگور Grape	سیب Apple
pH		7.05	5.65	5.59
EC	dS m ⁻¹	17.87	2.65	2.48
N	%	3.72	1.09	1.11
C	%	30.02	45.22	43.22
C/N		7.92	41.49	38.94
کل P P (Total)	%	7.54	0.69	0.64

را در خاک ریزوسفری بترتیب ۱/۴۶ و ۴ برابر نسبت به خاک غیرریزوسفری و تیمار شاهد در هر دو سطح خاک افزایش داد (جدول ۳). کربن زیست توده میکروبی در نتیجه کاربرد کمپوست بدلیل تأمین بستر مناسب برای قارچ‌های میکوریزی است که فعالیت آن‌ها را تحریک می‌کند و باعث افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک می‌شود (۱۹). زمان و همکاران (۴۸) گزارش کردند که با مصرف کمپوست زیاله شهری به دلیل افزایش نیتروژن، کربن و کربن آلی محلول در خاک نقش مثبتی در افزایش کربن زیست توده میکروبی خاک دارد. که با نتایج حاصل شده از تحقیق حاضر مطابقت دارد، چرا که نتایج نشان داد مقدار کربن آلی در تیمار کمپوست نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. همچنین دی نیگارد و مگید (۱۵) گزارش کردند که افزودن مواد آلی منجر به افزایش MBC در خاک ریزوسفر گیاه چاودار نسبت به خاک غیرریزوسفر شد. قارچ‌های میکوریزی بعد از پایان چرخه زندگی از بین رفته و به کل زیست توده میکروبی اضافه می‌شوند بنابراین اجساد سلولی اضافه شده به خاک ریزوسفری می‌تواند دلیل افزایش کربن زیست توده میکروبی بر اثر تلقیح میکوریزی در ریزوسفر باشد (۱). قارچ میکوریز در کشت ذرت، کربن زیست توده میکروبی را بیش از ۲ برابر در خاک ریزوسفری افزایش داد (۲۷). به-طور کلی چنین می‌توان نتیجه گرفت که ناحیه ریزوسفر مهمترین نقش را در میزان کربن زیست توده میکروبی نسبت به غیر ریزوسفر داشت. زهاو و همکاران (۴۹) گزارش کردند که کربن زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفری بیشتر از خاک غیرریزوسفر بود. علاوه بر نقش مواد آلی بر میزان کربن زیست توده میکروبی، گیاهان نیز ترکیباتی مانند قند و اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها را به ریزوسفر ترشح کرده و باعث اختلاف خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شده، همچنین به واسطه‌ی ترشحات ریشه‌ای سبب افزایش کربن زیست توده میکروبی می‌شوند، چرا که ترشحات ریشه‌ای محیط ریزوسفر را

- کربن آلی (OC)، کربن زیست توده میکروبی (MBC)، فسفر زیست توده میکروبی (MBP)، نسبت کربن زیست توده میکروبی به فسفر زیست توده میکروبی (MBC/MBP) و بهر میکروبی (MBC/OC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع آلی بر OC، MBC، MBP، MBC/MBP و MBC/OC معنی‌دار ($p < 0.001$) بود. همچنین نتایج نشانگر معنی‌دار بودن اثر اصلی خاک (ریزوسفر و غیرریزوسفر) بر OC و MBC ($p < 0.001$)، MBP و MBC/MBP ($p < 0.05$) و MBC/OC ($p < 0.001$) این شاخص‌ها بود. بر اساس جدول ۳، منابع آلی تمامی مقادیر کربن آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری را تحت تاثیر قرار دادند ($p < 0.001$). بطوریکه کربن آلی خاک در کمپوست و بقایای هرس و حتی در تیمار شاهد در خاک ریزوسفری بیشتر از خاک غیرریزوسفر بود. اما بیشترین مقدار کربن آلی مربوط به تیمار کمپوست بقایای هرس (۲/۱۴ درصد) بود. به طور کلی ریزوسفر محیطی است که در آن تجمع و تجزیه ترکیبات آلی رخ می‌دهد بنابراین دور از انتظار نیست که کربن آلی در ریزوسفر بیشتر از غیر ریزوسفر باشد. با توجه به اینکه میزان کربن کمپوست مصرفی (جدول ۲) نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، بنابراین طبیعی است که این تیمار منجر به افزایش کربن آلی پس از افزوده شدن به خاک گردد. بنظر می‌رسد که بخش کربن فعال موجود در کمپوست پس از افزوده شدن به خاک تجزیه گردیده و همچنین بخشی از کربن موجود در این کود به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش سطح کربن آلی خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شده است. کربن زیست توده میکروبی در هر دو تیمار آلی در حضور قارچ میکوریزی نسبت به تیمار شاهد در هر دو سطح خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری معنی‌دار بود ($p < 0.001$). بطوریکه کمپوست میزان کربن زیست توده میکروبی

به فسفر زیست توده میکروبی در خاک‌های با قابلیت دسترسی پایین فسفر ۱-۴۵ و در خاک‌های با دسترسی بالای فسفر ۱-۱۲ می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین بهر میکروبی در جدول ۳ نشان می‌دهد که نسبت کربن زیست توده میکروبی به کربن آلی خاک (بهر میکروبی) در تیمار شاهد بیشترین مقدار را در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص داد ($p < 0.05$). همچنین بهر میکروبی در بین تیمارها به استثنای بقایای هرس در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری اختلاف معنی‌داری نداشت. هرچند در تمامی تیمارها این شاخص در خاک ریزوسفری (با وجود معنی‌دار نبودن بین خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) بیشتر بود. انتظار بر این بود که با توجه به کربن زیست توده میکروبی و نیز کربن آلی بالای خاک در تیمار کمپوست، بهر میکروبی نیز در این تیمار نسبت به سایر تیمارها بیشترین افزایش را نشان دهد، هر چند در مقایسه با بقایای هرس روند این چنین بود ولی بهر میکروبی برخلاف انتظار در تیمار شاهد بیشترین مقدار را نشان داد (جدول ۳). احتمالاً کربن آلی خاک تنها دلیل تغییر بهر میکروبی بوده است. اختلاف بیشتر در کربن آلی خاک تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها آلی و محدودیت کربن آلی خاک در تیمار شاهد علت افزایش بهر میکروبی تیمار شاهد بوده است. بنابراین مخرج کسر در MBC/OC نسبت به سایر تیمارها کمتر بوده و سبب افزایش نسبت MBC/OC شده است. کربن زیست توده میکروبی ۱-۵ درصد کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد، با این حال سینها و همکاران (۴۰) نشان دادند نسبت MBC/OC (بهر میکروبی) در خاک‌های مختلف بسیار متفاوت می‌باشد. آن‌ها با مطالعه‌ی شاخص‌های میکروبی خاک ریزوسفری در گونه‌های درختی در اکوسیستم معدن زغال سنگ نسبت کربن زیست توده میکروبی به کربن آلی خاک را ($MBC/OC = mg.kg^{-1} / mg.kg^{-1} = 0.03 - 0.58$) گزارش کردند.

کسر متابولیکی (qCO_2) و شاخص قابلیت دسترسی کربن (CAI)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و اثرات متقابل (منابع آلی × خاک) بر شاخص‌های کسر متابولیکی و قابلیت دسترسی کربن معنی‌دار ($p < 0.001$) گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان کسر متابولیکی در تیمارهای کمپوست و شاهد در خاک ریزوسفر کمتر از خاک غیرریزوسفر بود به جز تیمار بقایای هرس که میزان کسر متابولیکی در خاک ریزوسفر (0.33) بیشتر از خاک غیرریزوسفر (0.22) بود (شکل ۱- A). اثر ریزوسفر تأثیر معنی‌داری بر قابلیت دسترسی کربن در مقایسه با غیرریزوسفر در خاک داشت، به طوریکه کاربرد بقایای هرس منجر به افزایش فعالیت این شاخص در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد که در خاک ریزوسفر $1/19$ برابر بیشتر از خاک غیرریزوسفری بود (شکل ۱- B).

به محیطی برای فعالیت میکروبی تبدیل کرده و رشد گیاه و تولید متابولیت‌های میکروبی آن را افزایش می‌دهد (۶). فنگ و همکاران (۱۸) با مطالعه تأثیر ترکیبات گونه‌های درخت بر فعالیت آنزیمی و کربن زیست توده میکروبی در شرایط ریزوباکس مشاهده کردند که کربن زیست توده میکروبی بطور قابل توجهی در خاک ریزوسفری بیشتر از غیر ریزوسفر بود.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود دامنه تغییرات فسفر زیست توده میکروبی در تلقیح میکوریزی تمامی تیمارها در خاک‌های ریزوسفری از $81/02$ تا $8/98$ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و در خاک‌های غیرریزوسفری از $59/06$ تا $3/88$ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود ($p < 0.05$). بطور کلی میزان فسفر زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفری بیشتر از غیرریزوسفر بود. فسفر زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار تلقیح میکوریزی کمپوست نسبت به تیمار بقایای هرس بترتیب $5/66$ و $9/93$ برابر مشاهده شد (جدول ۳). بالابالا و همکاران (۴) گزارش کردند که در نتیجه افزودن کمپوست بقایای گیاهی به خاک جمعیت قارچ‌ها افزایش یافته و باعث افزایش فسفر زیست توده میکروبی در خاک شد. ردل و همکاران (۳۶) گزارش کردند که با افزودن کمپوست به خاک ارتباط مثبتی در خاک بین فسفر زیست توده میکروبی و فسفر اولسن (عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم) وجود داشت. که با نتایج حاصل شده از این تحقیق مطابقت دارد چرا که نتایج نشان داد تیمار کمپوست مصرفی بیشترین فسفر قابل استفاده را نسبت به سایر تیمارها در خاک داشت (جدول ۲). مارشنر و همکاران (۳۱) گزارش کردند که خاک ریزوسفری گندم منجر به افزایش معنی‌دار فسفر زیست توده میکروبی نسبت به خاک غیرریزوسفری از $pH 4/4$ تا $8/7$ گردید. نتایج نشان داد که در خاک تیمار شده با کمپوست همراه با تلقیح میکوریزی نسبت کربن زیست توده میکروبی به فسفر زیست توده میکروبی بطور معنی‌دار در خاک ریزوسفری و حتی غیرریزوسفری نسبت به سایر تیمارها کاهش یافت ($p < 0.05$). البته این نسبت بر عکس سایر تیمارها در تیمار بقایای هرس در خاک ریزوسفری بیشتر از غیرریزوسفر بود (جدول ۳). هر چند در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری مشاهده نشد. بطور کلی احتمالاً نیاز ریزوموجودات در خاک ریزوسفری به فسفر بیشتر از غیرریزوسفر بوده است. نسبت کربن زیست توده میکروبی به فسفر زیست توده میکروبی بیانگر نیاز ریزوموجودات خاک به فسفر، شاخصی از طبیعت ریزوموجودات خاک و نیز کنترل فسفر قابل استفاده گیاه در این خاک‌ها از طریق چرخه میکروبی باشد. با توجه به اینکه میزان فسفر در بقایای هرس مصرفی کم بود (جدول ۲). بنابراین بقایای هرس بعد از افزوده شدن به خاک احتمالاً در مقایسه با کمپوست مصرفی (میزان بالای فسفر) سبب افزایش فسفر قابل دسترس خاک نشده است. چرا که چالوهان و همکاران (۱۲) گزارش کردند دامنه نسبت کربن زیست توده میکروبی

جدول ۳- مقایسه میانگین منابع آلی و خاک بر کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی، فسفر زیست توده میکروبی و نسبت کربن زیست توده میکروبی به فسفر زیست توده میکروبی در شرایط تلقیح میکوریزی

Table 3- Mean comparisons of the organic source and, organic carbon, microbial biomass carbon, microbial biomass phosphorus and ratio of microbial biomass carbon to microbial biomass phosphorus (MBC/MBP) in mycorrhizal inoculation

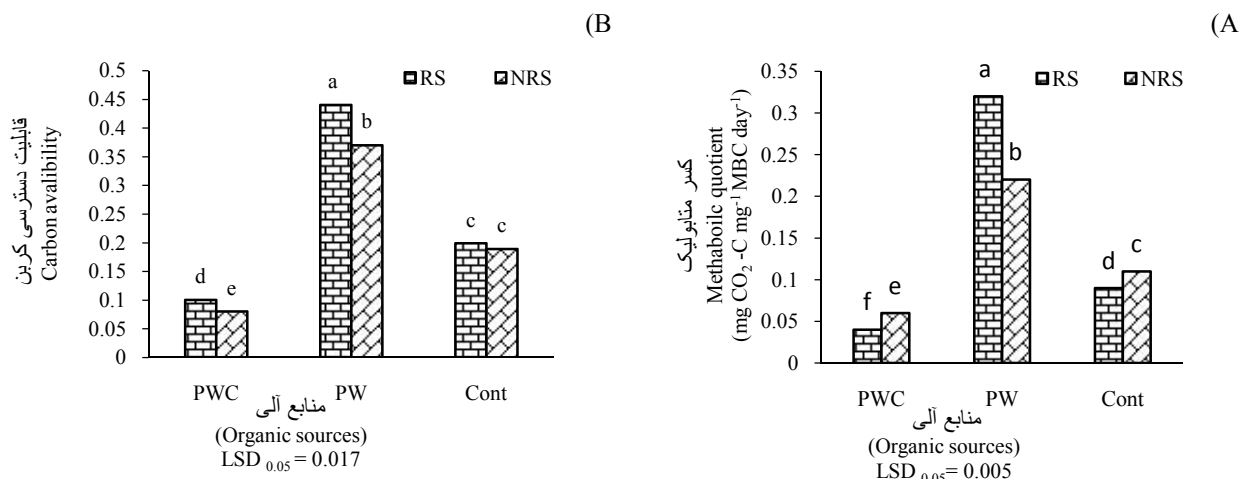
Soil خاک	%	کربن آلی OC	کربن زیست توده میکروبی MBC	فسفر زیست توده میکروبی MBP	MBC/MBP	MBC/OC
		mg kg ⁻¹			%	
ریزوسفر Rhizosphere	کمپوست Compost	2.14 ^a	1058 ^a	81.02 ^a	13.21 ^c	5 ^b
	بقایای هرس Pruning waste	1.01 ^c	528.3 ^c	14.32 ^c	62.86 ^a	5 ^b
	شاهد Control	0.39 ^e	428.3 ^d	8.98 ^c	49.95 ^b	11 ^a
غیر ریزوسفر Non-rhizospher	کمپوست Compost	1.98 ^b	725.6 ^b	59.06 ^b	12.39 ^c	4b ^c
	بقایای هرس Pruning waste	0.94 ^d	264.1 ^c	5.95 ^c	45.25 ^b	3 ^c
	شاهد Control	0.27 ^f	265.5 ^e	3.88 ^c	42.82 ^b	10 ^{ab}
LSD _{0.05}		0.05	22.88	10.49	9.25	0.01

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the level $p < 0.05$.

افزایش جمعیت قارچ‌ها می‌باشد. براساس فرضیه دوم می‌توان نتیجه گرفت اگر کسر متابولیسی در ریزوسفر بالا باشد افزایش در جمعیت قارچ‌ها میکوریزی رخ داده است که با نتایج بدست آمده از این تحقیق مطابقت دارد چرا که تیمار بقایای هرس کمترین مقدار کربن زیست توده میکروبی را در مقایسه با کمپوست داشت. با توجه به اینکه ریشه موجود در خاک ریزوسفری مهم‌ترین منبع تولید کربن برای ریزموجودات هتروتروف خاک می‌باشد (۱۴). لذا با توجه به شکل ۲-B که تصدیق بر فرضیه دوم می‌باشد، می‌توان چنین بیان کرد احتمالاً جمعیت قارچ میکوریزی در ریزوسفر افزایش پیدا کرده و این افزایش باعث افزایش کسر متابولیسی و افزایش شاخص قابلیت دسترسی کربن در ریزوسفر بقایای هرس شده است.

دور از انتظار نبود که این تیمار بقایای هرس موجب افزایش qCO_2 شود چرا که این شاخص در شرایط ناپایدار و حضور تنش‌های محیطی مختلف و شرایط نامساعد برای فعالیت میکروب‌ها افزایش می‌یابد (۹). یکی از این شرایط نامساعد ایجاد شده برای فعالیت میکروب‌ها در تیمار بقایای هرس میزان C/N بالای بقایای هرس مصرفی (جدول ۲) بود. بوستامانت و همکاران (۱۰) مشاهده کردند که علی‌رغم جمعیت میکروبی بالا در ضایعات انگور، qCO_2 بدلیل بالا بودن C/N بالا بود. شکل آبادی و همکاران (۳۹) برای تفاوت کسر متابولیسی در خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر دو فرضیه پیشنهاد کردند: فرضیه اول، میزان کسر متابولیسی کمتر نشان دهنده سطح پایین تنش در جامعه میکروبی خاک ریزوسفری است، فرضیه دوم کسر متابولیسی کمتر نشان دهنده تغییر در ترکیب جامعه میکروبی و



شکل ۱- مقایسه میانگین منابع آلی و خاک بر شاخص‌های کسر متابولیکی و قابلیت دسترسی کربن در شرایط تلقیح میکوریزی
 Figure 1- Mean comparison of the organic sources and soil on methabolic quotient index and carbon availability in mycorrhizal inoculation.

CRP, RP, Cont, RS and NRS, respectively pruning waste compost, pruning waste, control (without organic matter), rhizosphere soil and non-rhizosphere soil

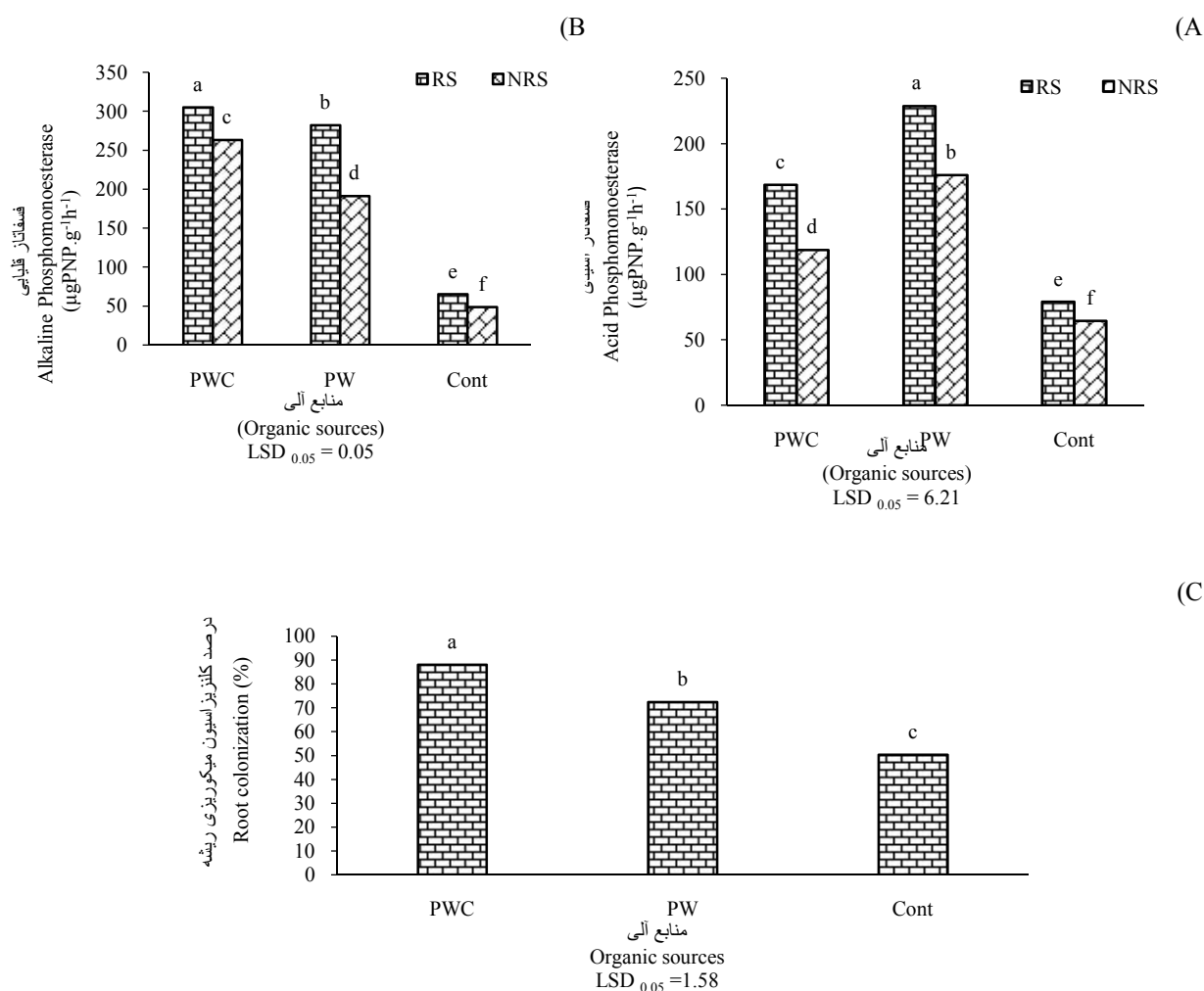
بهبود خصوصیات خاک (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) نظیر ظرفیت نگهداشت مواد غذایی و آب نسبت داد. همچنین عملکرد بهتر کمپوست در افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفونواستراز در مقایسه با بقایای هرس نشان‌دهنده تجزیه بالای کمپوست بقایای هرس و نیتروژن سهل‌الوصول در ترکیب آن در نتیجه افزایش بهتر تحریک فعالیت میکروبی بود. حضور مواد غذایی سهل‌التجزیه و نیتروژن سهل‌الوصول کافی در ترکیب پسماند، موجب افزایش فعالیت این آنزیم می‌گردد (۲۵). کاهش فعالیت آنزیم فسفونواستراز اسیدی با افزودن کمپوست به خاک دور از انتظار نبود چرا که خاک مورد مطالعه و کمپوست بقایای هرس با pH قلیایی برای فعالیت این آنزیم مناسب نبود. افزایش فعالیت فسفونواستراز در خاک ریزوسفری نسبت به غیرریزوسفر را می‌توان ناشی از فعالیت میکروبی و ریشه‌ای گیاه نسبت داد (۴۳). همچنین بالیک و همکاران (۵) با مطالعه تاثیر کود آلی بر فعالیت‌های آنزیم‌های فسفونواستراز در ریزوسفر گیاهان با استفاده از رایزوباکس گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های فسفونواستراز اسیدی و قلیایی بطور معنی‌داری نسبت به خاک غیرریزوسفری افزایش یافت. نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار منابع آلی و قارچ‌های میکوریزی بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه بود ($p < 0.001$). قارچ‌های میکوریزی همراه با تیمارهای آلی منجر به افزایش درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۲-۲). تیمار کمپوست بالاترین درصد کلنیزاسیون را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد ۷۵/۰۳ درصد افزایش دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که کربن آلی خاک در

فعالیت فسفونواستراز اسیدی، قلیایی و درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه

نتایج نشان داد که در تیمارهای ماده آلی حتی در تیمار بدون ماده آلی تلقیح میکوریزی تاثیر معنی‌داری ($p < 0.001$) بر فعالیت آنزیم‌های فسفونواستراز در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری داشت (شکل ۲). اثر ریزوسفر تاثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم فسفونواستراز اسیدی در مقایسه با غیرریزوسفر در خاک داشت، بطوریکه کاربرد بقایای هرس منجر به افزایش فعالیت آنزیم فسفونواستراز اسیدی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد که در خاک ریزوسفر ۱/۳۰ برابر بیشتر از خاک غیرریزوسفری بود (شکل ۲-۲). با توجه به اینکه بقایای هرس مصرفی (جدول ۲) حاوی فسفر قابل جذب پایین بود این احتمال می‌رود که پس از افزودن به خاک نتوانسته نیاز گیاه را برآورده سازد زیرا فعالیت فسفونواستراز اسیدی به سطح کمبود فسفر در تغذیه گیاه مربوط می‌باشد (۲۲ و ۲۹). تیمارهای آلی به‌طور معنی‌دار میزان آنزیم فسفونواستراز قلیایی را در هر دو سطح خاک (ریزوسفری و غیرریزوسفری) نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. نتایج نشان داد که کمپوست بقایای هرس سبب افزایش (۱/۱۶ برابری) فعالیت آنزیم فسفونواستراز قلیایی در ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر گردید و نیز تفاوت معنی‌داری با هر دو سطح خاک تیمار بقایای هرس و شاهد داشت (شکل ۲-۲). افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفونواستراز قلیایی خاک در تیمار کمپوست افزوده شده نسبت به بقایای هرس و شاهد را احتمالاً می‌توان به افزایش زیست توده میکروبی در پاسخ به ماده آلی افزوده شده، عناصر غذایی خاک و

آلی و قابل دسترس شدن مواد غذایی و همچنین با بهبود شرایط فیزیکی خاک محیط مناسبی را برای گسترش و فعالیت ریزوموجودات و فرایندهای زیستی خاک فراهم کند (۳). مادر و همکاران (۲۹) گزارش کردند که افزودن کمپوست به خاک منجر به افزایش ۳۰-۶۰ درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه در ریزوسفر گندم شد.

کمپوست بالاترین میزان کربن آلی خاک را به خود اختصاص داد. بنابراین در خاک‌هایی که مقدار درصد مواد آلی و کربن خاک بیشتر باشد، درصد کلنیزاسیون قارچ میکوریز آریسکولار نیز بیشتر است. جریان کربن به خاک از طریق قارچ‌های میکوریز باعث می‌شود که در برخی از میکوریزها، هیف خارجی، آنزیم‌های هیدرولیز کننده از قبیل فسفومونواستراز تولید کنند که می‌تواند تاثیر مهمی بر معدنی شدن مواد



شکل ۲- مقایسه میانگین منابع آلی و خاک بر فعالیت آنزیم‌های فسفومونواستراز اسیدی و قلیایی در شرایط تلقیح میکوریزی (شکل A و B) و اثر منابع آلی بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه (شکل C)

Figure 2- Mean comparison of the organic sources and soil on activity of acid and alkaline phosphomonoesterase enzymes in mycorrhizal inoculation (Fig A and B) and effect of the organic sources on root colonization mycorrhizal.

RS، NRS، Cont، RP، CRP به ترتیب کمپوست بقایای هرس، بقایای هرس، شاهد بدون ماده آلی، خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری
PWC، PW، Cont، RS و NRS، respectively pruning waste compost، pruning waste، control (without organic matter)، rhizosphere soil and non-rhizosphere soil

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ویژگی‌های متفاوت کمپوست و بقایای هرس در حضور قارچ میکوریز می‌تواند منجر به افزایش شاخص‌های بیولوژیک در منطقه ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفر گردد. به دنبال کاربرد مواد آلی به ویژه کمپوست، ریزموجودات به سرعت رشد کرده و منجر به افزایش فعالیت‌های میکروبیولوژیکی همانند افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفومونواستراز، کربن و فسفر زیست‌توده میکروبی در ریزوسفر خاک گردید. همچنین افزایش کلنیزاسیون میکوریزی ریشه با کاربرد کمپوست در شرایط تلقیح میکوریزی فعالیت‌های آنزیمی و زیست توده میکروبی را تحت تأثیر قرار داد. در نتیجه چنین می‌توان بیان کرد که افزایش فعالیت فسفومونواسترازها و زیست توده میکروبی و همچنین کاهش کسر متابولیکی در خاک توسط کاربرد مواد آلی همانند کمپوست در حضور قارچ میکوریزی در بهبود کیفیت خاک مورد مطالعه موثر واقع گردید. بطور کلی می‌توان این گونه بیان نمود که اثرات متقابل منابع آلی و خاک در شرایط تلقیح میکوریزی با استفاده از مکانیسم‌های متعددی بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی

منابع

1. Aghababaei F., Raiesi F., and Hosseinpour A. 2014. The Influence of earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi on microbial biomass carbon and enzyme activity in a soil contaminated with cadmium in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivation. *Journal of Water and Soil*, 27: 949-962. (in Persian with English abstract)
2. Anderson T.H., and Domsch K.H. 1990. Application of eco-physiological quociente (qCO_2 and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 22: 251-255.
3. Anwar M., Patra D.D., Chand S., Alpesh K., Naqvi A.A., and Khanuja S.P.S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 1737-1746.
4. Babalola O.A., Adesodun J.K., Olaniran F.O., and Adekunle A.F. 2012. Responses of some soil biological, chemical and physical properties to short-term compost amendment. *International Journal of Soil Science*, 7: 28-38.
5. Balík J., Pavlíková D., and Vaněk V. 2007. The influence of long-term sewage sludge application on the activity of phosphatases in the rhizosphere of plants. *Plant and Soil Environmental*, 53: 375-381.
6. Benizri E., Nguyen C., Piutti S., Slezacek-Deschaumes S., and Philippot L. 2007. Additions of maize root mucilage to soil changed the structure of the bacterial community. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1230-1233.
7. Borken W., Muhs A., and Beese F. 2002. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 403-412.
8. Brookes P.C., Powlson D.S., and Jenkinson D.S. 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 14: 319-329.
9. Bunemann E.K., Schwenke G.D., and Van Zwieten L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms-a review. *Australian Journal of Soil Research*, 44(4): 379-406.
10. Bustamante M.A., Perez-Murcia M.D., Paredes C., Moral R., Pe'rez-Espinosa A., and Moreno-Caselles J. 2007. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. *Bioresource Technology*, 98: 3269-3277.
11. Cavagnaro, T.R. 2015. Biologically regulated nutrient supply systems: compost and arbuscular mycorrhizas-a review. *Advances in Agronomy Journal*, 129: 293-321.
12. Chauhan B.S., Stewart J.W.B., and Paul E.A. 1981. Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 61: 373-385.
13. Cheng W., Coleman D.C., Carroll C.R., and Hoffman C.A. 1993. In situ measurements of root respiration and soluble carbon concentrations in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 1189-1196.

خاک تأثیر گذاشته و منجر به ایجاد اختلاف در منطقه ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر می‌گردد. چرا که نتایج پژوهش نشان داد که فرایندهای بیوژئوشیمیایی ریزوسفر وابسته به عوامل مختلفی از جمله تجزیه مواد آلی بر اثر فعالیت ریزموجودات، تجمع و تجزیه ترکیبات آلی افزوده شده به خاک، آزاد سازی عناصر در طول معدنی شدن مواد آلی، ترشح آنزیم توسط ریزموجودات و ریشه، افزایش کسر متابولیکی احتمالاً بدلیل C/N بالای ماده آلی (بقایای هرس) افزوده شده ممکن است باعث ایجاد نتایجی متفاوت در ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک ریزوسفری در مقایسه با غیرریزوسفر گردد. لذا استفاده از مواد آلی اصلاحی یا کودهای آلی به ویژه کمپوست و استفاده از ریزموجودات در تلفیق با هم مکمل بسیار مناسبی برای کودهای شیمیایی و خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد این کودها و هزینه‌های هنگفت آن‌ها می‌باشد. چرا که استفاده از مواد آلی اصلاحی و پتانسیل بیولوژیکی ریزموجودات یکی از مهمترین راه‌های حفظ بیان کربن آلی خاک، کمک به تشدید فعالیت‌های بیولوژیکی می‌باشد.

14. Das P., Samantaray S., and Rout G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution Journal*, 98: 29-36.
15. De Neergaard A., and Magid J. 2001. Influence of the rhizosphere on microbial biomass and recently formed organic matter. *European Journal of Soil Science*, 52: 377-384.
16. Duong T.T.T., Penfold C., and Marschner P. 2012. Differential effects of composts on properties of soils with different textures. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 699-707.
17. Eghball B., Ginting D., and Gilley J.E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 96: 442- 447.
18. 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*, 18: e61461.
19. Fierer N., Schimel J.P., and Holden P.A. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 35: 167-176.
20. Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda C., Leiros M.C., and Seoane S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 37:877-887.
21. Herrick J.E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management. *Applied Soil Ecology*, 15: 75-83.
22. Imbeah M. 1997. Composting Piggery Waste: A Review. *Bioresource Technology*, 63: 197-203.
23. Jenkinson D.S., and Ladd J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Powl EA, Ladd JN (eds) *Soil biochemistry*. Dekker, New York, 415-417.
24. Kojima T., Hayatsu M., and Saito M. 1998. Intracellular hyphae phosphatase of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita*. *Biology and Fertility of Soil*, 26(4): 331-335.
25. Kourtev P.S., Ehrenfeld J.G., and Häggblom M. 2003. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 35: 895- 905.
26. Labidi S., Nasr H., Zouaghi M., and Wallander H. 2007. Effects of compost addition on extra-radical growth of arbuscular mycorrhizal fungi in *Acacia tortilis* ssp. *raddiana* savanna in a pre-Saharan area. *Appl. Soil Ecology*, 35: 184-192.
27. Li H., Shao H., Li W., Bi R., and Bai Z. 2012. Improving soil enzyme activities and related quality properties of reclaimed soil by applying weathered coal in opencast-mining areas of the Chinese Loess Plateau. *Clean Soil Air Water*, 40:233-238.
28. Liang Y., Nikolic M., Peng Y., Chen W., and Jiang Y. 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 1185-1195.
29. Mäder P., Edenhofer S., Boller T., Wiemken A., and Niggli U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils*, 31:150-156.
30. Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B., and Grego S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72: 9-17.
31. Marschner P., Solaiman Z.M., and Rengel Z. 2005. Growth phosphorus uptake and rhizosphere microbial community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168: 343-351.
32. Martens R., 1991. Methoden zur quantitative Bestimmung und Charakterisierung der mikrobiellen biomasse in Böden. Eigenverlag des institutes für Bodenbiologie der FAL Braunschweig.
33. Norris J.R., Read D.J., and Varma A.K. 1992. *Methods in Microbiology*, Volume 24, Techniques for the Study of Mycorrhiza, Academic Press, London.
34. Pane C., Piccolo A., Spaccini R., Celano G., Vilecco D., and Zaccardelli M. 2013. Agricultural waste-based composts exhibiting suppressivity to diseases caused by the phytopathogenic soil-borne fungi *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Applied Soil Ecology*, 65: 43-51.
35. Rasmussen P.E., and Albrecht S.L. 1998. Crop management effects on organic carbon in semi-arid Pacific Northwest soils. In: Lal, R., et al. (Eds.), *Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, FL, 209-219.
36. Redel Y., Escudey M., Alvear M., Conrad J., and Borie F. 2011. Effects of tillage and crop rotation on chemical phosphorus forms and some related biological activities in a Chilean Ultisol. *Soil Use Management*, 27: 221-228.
37. Ruiz-Lozano J.M., and Azcon R. 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhiza*, 10: 137-143.
38. Santos J.A., Nunes L. A.P.L., Melo W.J., and Araujo A.S.F. 2011. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass of two different soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 47: 146-151.
39. Shekhabadi M., Khademi H., Eghbal M., and Nourbakhsh F. 2007. Effects of climate and long-term grazing exclusion on selected soil biological quality indicators in rangelands of central Zagros. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 41:103-116. (in Persian with English abstract)
40. Sinha S., Mastro R.E., Ram L.C., Selvi V.A., Srivastava N.K., Tripathi R.C., and George J. 2009. Rhizosphere soil microbial index of tree species in a coal mining ecosystem, *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 1824-1832.

41. Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., and Sumner M.E. 1996. p.1390. Methods of soil analysis Part 3- Chemical methods. Soil Science Society of America Book Ser. 5, Madison, Wisconsin, USA.
42. Tabatabai M.A., and Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry, 1: 301-307.
43. Tarafdar J.C., and Jungk A. 1987. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biology and Fertility of Soils, 3:199-204.
44. Tanwar A., Aggarwal A., Yadav A., and Parkash V. 2013. Screening and selection of efficient host and sugarcane bagasse as substrate for mass multiplication of *Funneliformis mosseae*. Biological Agriculture and Horticulture, 29: 107-117.
45. Tejada M., and Gonzalez J.L. 2006. Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. European Journal of Agronomy, 25: 22-29.
46. Valarini P. J., Curaqueo G., Seguel A., Manzano K., Rubio R., Cornejo P., Borie F. 2009. Effect of compost application on some properties of a volcanic soil from central South Chile. Journal of Agricultural Research, 69: 416-425.
47. Waldrop M.P., Zak D.R., Sinsabaugh R.L., Gallo M., and Lauber C. 2004. Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymatic activity. Ecological Applications. 14(4): 1172-1177.
48. Zaman M., Matsushima M., Chang S., Inubushi K., Nguyen L., Goto S., Kanek O.F., and Yoneyama T. 2004. Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological prosperities as affected by long-term application of sewage sludge composts. Biology and Fertility of Soils, 40: 101 – 109.
49. Zhao Q., Zeng D., and Fan Z. 2010. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizosphere of three tree species in a nutrient-poor sandy soil. Applied Soil Ecology, 46: 341-346.



Effect of the Compost of Trees Pruning Wastes on Some Microbiological Indices of a Calcareous Soil in the Presence of Mycorrhiza under Rhizobox Conditions

R. Vahedi^{1*} - M.H. Rasouli-Sadaghiaei² - M. Barin³

Received: 09-04-2018

Accepted: 02-07-2018

Introduction: Trees pruning wastes by turning into compost and adding to soil improves the physical, chemical and biological properties of the soil. Soil biological indices are important aspects of soil quality, so soil quality is measured using different biological properties. The organic compounds are regularly released from plants into the rhizosphere, which increase the activity of the soil microbial community and improve the health of the soil. The organic matter such as compost, stimulates microbial activity like the enzymatic activity and microbial biomass in the soil. Another method to improve soil quality is the use of the microorganisms potential. The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in soil can stimulate and increase soil microbial activity and also improve the activity of enzymes and microbial biomass in soil. The application of microorganisms and the addition of the organic matter to the rhizosphere can change the microbial communication composition of the rhizosphere. The Limiting roots to investigate the biological and chemical changes and the extent of these properties in the rhizosphere are challenges that have been less addressed. The rhizobox is one of the used tools to study the rhizosphere changes. The main objective of the present study was to investigate the effects of the compost prepared from pruning wastes of apples and grapes trees and also pruning wastes of apples and grapes trees on soil quality, in the presence of arbuscular mycorrhizal fungi, in rhizosphere of the wheat under the rhizobox conditions.

Materials and Methods; The present study was carried out in a completely randomized factorial design with three replications in rhizobox under greenhouse condition. The factors included the organic matter (compost of trees pruning wastes, trees pruning wastes and control) and soil (the rhizosphere and non-rhizosphere soil) in mycorrhizal inoculation conditions. The soil sample with light texture and low available phosphorus was prepared. The pruning wastes of apple and grape trees were collected from urmia orchards. Also, the compost of trees pruning wastes was prepared from the research greenhouse of Urmia University. The compost and pruning wastes were ground and crushed and then passed through a 0.5 mm sieve for the greenhouse experiment. The plants were planted in the rhizobox with the dimensions of 20 × 15 × 20 cm (length × width × height). The compost and pruning wastes were added to the boxes based on 1.5% pure organic carbon (each box contained 5.799 kg of soil). *Glomus fasciculatum* as mycorrhizal inoculation was used. The control treatments contained sterile soil with mycorrhizal inoculation and without organic matter. The wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) of Pishtaz cultivar were grown in rhizoboxes. At the end of the growth period, organic carbon (OC) by Walkley-Black method, microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass phosphorus (MBP) by fumigation extraction method, metabolic quotient index (qCO_2) (microbial respiration per unit of biomass), microbial quotient index (microbial biomass carbon per unit of organic carbon), carbon availability index (CAI) (substrate-induced respiration/microbial biomass ratio), colonization Percentage of arbuscular mycorrhizal fungi, and acid (ACP) and alkaline (ALP) phosphomonoesterase enzymes activities by spectrophotometry method, were determined.

Results and Discussion: The results showed that the application of compost significantly increased organic carbon, microbial biomass carbon, microbial biomass phosphorus and decreased MBC/MBP compared with the control treatment. Furthermore, compost increased the organic carbon, microbial biomass carbon and microbial biomass phosphorus in the rhizosphere soil by 8.08, 45.79 and 37.18 % compared with the non-rhizosphere soil, respectively. The pruning wastes increased 1.45, 1.26 and 1.30 fold metabolic quotient, carbon availability and acid phosphomonoesterase activity in the rhizosphere compared with non-rhizosphere soil, respectively. The highest activity of the alkaline phosphomonoesterase enzyme and the percentage of mycorrhizal root colonization were also related to pruning waste treatments in rhizosphere soils.

Conclusions: Different characteristics of the organic matter and the microbial inoculation led to an increase in the biological indices in the rhizosphere zone compared with non-rhizosphere soils. The application of organic matter in the soil, along with microbial inoculation, will accelerate the biological activity of the soil and thus contributes to a better

1, 2 and 3- MSc Student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Iran
(*- Corresponding Author Email: rvahedi93@yahoo.com)

cycle of nutrients in the soil. Following the application of organic matter, microorganisms rapidly grew and led to an increase in biological activity, such as increase activity of phosphomonoesterase enzymes, carbon and phosphorus of microbial biomass in the rhizosphere. It could be argued that increased activity of phosphomonoesterases and the microbial biomass and decreased metabolic quotient in the soil were influenced by the application of the organic materials and mycorrhizal inoculation. The findings of this study have a number of important implications for future practice. Therefore, the use of the organic materials and biological potential of the microorganisms are one of the most important tools to maintain organic carbon balance of the soil, contributing to the stimulation of soil microbiological activities.

Keywords: Microorganisms, Organic matter, Rhizosphere, Soil quality

کاربرد ماشین‌های بردار پشتیبان برای تهیه نقشه پوشش / کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست

محمد علی محمودی^{۱*} - سهیلا مومینی^۲ - مسعود داوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

آگاهی از وضعیت پوشش زمین و نوع کاربری‌های آن برای بسیاری از مطالعات زیست محیطی، تغییرات اقلیمی و مدیریت منابع خاک و آب ضروری است. امروزه به‌طور فزاینده‌ای از اطلاعات سنجش از دور، که از ماهواره‌ها بدست می‌آیند، برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی کارایی ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست ۸ به منظور تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی حوضه آبخیز سد گاوشان در غرب ایران با مساحتی در حدود ۲۰۶ هزار هکتار و نیز مقایسه آن با شبکه‌های عصبی مصنوعی بود. بدین منظور از ۱۳۲۰ نقطه به عنوان نقاط کنترل زمینی یا نقاط مرجع استفاده شد. کلاس کاربری در هر نقطه با پیمایش صحرایی و یا با استفاده از تصاویر گوگل ارث مشخص گردید. برای ترکیب ماشین‌های بردار پشتیبان دودویی برای طبقه‌بندی چند کلاسه از استراتژی‌های یک در مقابل یک، یک در مقابل همه و ترتیبی استفاده شد. همچنین در هر استراتژی کرنل‌های مختلف خطی، چند جمله‌ای و شعاعی بکار گرفته شد. بر این اساس در بین مدل‌های مختلف ایجاد شده بهترین عملکرد بر اساس روش یک در مقابل یک و تابع کرنل چند جمله‌ای درجه سه به‌دست آمد. آزمون مک‌نمار نشان داد که کارایی مدل به‌دست آمده با صحت کلی ۸۹/۵ درصد و شاخص کاپای ۸۴/۹ به‌طور معنی‌داری از شبکه‌های عصبی مصنوعی بالاتر است ($P < 0.001$). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ماشین‌های بردار پشتیبان در مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی از کارایی بالاتری برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برخوردارند؛ با اینحال صحت آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای متأثر از الگوی ترکیب ماشین‌ها و نوع تابع کرنل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز سد گاوشان، سنجش از دور، طبقه‌بندی تصویر

مقدمه

پوشش زمین به پوشش‌های فیزیکی در سطح زمین شامل آب، پوشش گیاهی، اراضی بایر، آسفالت و غیره اشاره می‌کند. پوشش زمین با کاربری اراضی تفاوت دارد؛ هر چند که این دو اصطلاح اغلب به جای هم بکار برده می‌شوند. منظور از کاربری اراضی نحوه استفاده از زمین است. اراضی شهری و اراضی کشاورزی دو نمونه از کلاس‌های شناخته شده کاربری اراضی می‌باشند. در یک منطقه ممکن است انواع یا تناوب‌هایی از کاربری‌های اراضی وجود داشته باشد که نوع آن را سیاست‌های مدیریتی در آن منطقه تعیین می‌کند. معمولاً برای اجتناب از اشتباه در به‌کارگیری این دو اصطلاح از

اصطلاح ترکیبی پوشش/کاربری اراضی^۲ استفاده می‌کنند (۷).

اطلاع از وضعیت پوشش زمین و نوع کاربری‌های آن برای بسیاری از مطالعات زیست محیطی، تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع آب و خاک و مدل‌سازی‌ها ضروری است (۱۸). امروزه به‌طور فزاینده‌ای از اطلاعات سنجش از دور، که از ماهواره‌ها به‌دست می‌آیند، برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی استفاده می‌شود. این امر به دلیل قابلیت ماهواره‌ها در فراهم کردن اطلاعات سطح زمین در مقیاس‌های متفاوت زمانی و مکانی است.

از آنجا که هدف اصلی در تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی و قرار دادن آن‌ها در گروه‌ها و طبقه‌بندی‌های مشخص است، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان بعنوان مهمترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای به شمار آورد. از زمانی که نخستین تصاویر ماهواره لندست در اوایل دهه ۱۹۷۰ بدست آمد، الگوریتم‌های مختلفی نیز برای طبقه‌بندی تصاویر

۱ و ۲ - به ترتیب استادیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
(Email: a.mahmoodi@uok.ac.ir)
(*) - نویسنده مسئول

بین داده‌ها غیرخطی است ابتدا با استفاده از انواعی از توابع ریاضی که کرنل نامیده می‌شوند داده‌ها به یک فضای چند بعدی برده شده تا مرزهای غیرخطی به مرزهای خطی تغییر یابند (۵، ۱۰، ۱۴ و ۱۶). تعیین درست تابع کرنل در عملکرد ماشین بردار پشتیبان تأثیر زیادی دارد.

از آنجا که ماشین بردار پشتیبان در اصل یک جدا کننده دودویی است، تشخیص یک الگوی چند کلاسی در این روش به وسیله ترکیب ماشین‌های بردار دو کلاسی صورت می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معروفترین آنها عبارتند از روش‌های یک در مقابل یک، یک در مقابل همه و روش ترتیبی. در این میان استراتژی یک در مقابل یک از همه معمولتر است. در این روش هر بار یک کلاس در مقابل کلاس دیگری طبقه‌بندی شده و بقیه کلاس‌ها نادیده گرفته می‌شوند. در استراتژی ترتیبی در مرحله اول اولین کلاس در مقابل بقیه کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌شود. در مرحله دوم اولین و دومین کلاس با هم در مقابل بقیه کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌شوند؛ و به همین روال این کار تا آخر ادامه پیدا می‌کند. در استراتژی یک در مقابل همه هر بار یک کلاس در مقابل باقیمانده کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌شود. بدین ترتیب در همه این روش‌ها یک مسئله چند کلاسی به تعدادی مسئله دو کلاسی تجزیه می‌شود. سپس هریک از مسائل با یک ماشین بردار پشتیبان دودویی حل می‌شود. در نهایت خروجی جداکننده‌های دودویی با هم ترکیب شده و به این ترتیب یک مسئله چند کلاسی حل می‌شود (۱). چنانچه تعداد کلاس‌ها برابر K باشد، تعداد ماشین‌های بردار پشتیبان دودویی مورد نیاز در این استراتژی‌ها به ترتیب برابر خواهند بود با $(K-1)/2$ و $K-1$.

در مطالعات انجام شده توسط واپینگ (۲۱) و جوچیمس (۱۱) کارایی بیشتر ماشین بردار پشتیبان نسبت به بهترین روش‌های طبقه‌بندی موجود از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی و درخت تصمیم نشان داده شده است. همچنین کارایی بالاتر ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی تصاویر چندطبقه بدست آمده از اسپکترومتر نیز اثبات شده است (۸). هدف اصلی این مطالعه تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز سد گاوشان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و ماشین‌های بردار پشتیبان و نیز ارزیابی روش مورد استفاده بود. همچنین کارایی ماشین‌های بردار پشتیبان در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز سد گاوشان در غرب ایران با مساحتی در حدود ۲۰۶ هزار هکتار است، که در محدوده جغرافیایی

ماهواره‌ای توسعه پیدا کردند (۹ و ۲۰). از میان روش‌های مختلفی که برای طبقه‌بندی تصاویر وجود دارند، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای عموماً از روش‌های نظارت شده استفاده می‌شود. در این روش‌ها ابتدا یک مدل با استفاده از مجموعه‌ای از زوج‌های ورودی-خروجی، که نمونه‌های آموزشی نامیده می‌شوند، آموزش داده می‌شود. سپس با استفاده از مدل به دست آمده به طبقه‌بندی تصاویر اقدام می‌شود. در میان روش‌های نظارت شده نیز روش‌های حداکثر تشابه، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم بیشتر از همه برای تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی کاربرد دارند (۱۰).

روش حداکثر تشابه یک روش پارامتریک است که بر مبنای نظریه احتمال استوار است. در این روش فرض بر آن است که توزیع کلاس‌های مختلف پوشش/کاربری اراضی نرمال است (۱۰، ۱۳ و ۱۵). چنانچه توزیع کلاس‌ها نرمال نباشد، که اتفاق معمولی نیز هست، روش‌های پارامتریک قادر به تفکیک کلاس‌های دارای بازتاب طیفی نزدیک به هم نخواهند بود. این مسئله یکی از مهمترین محدودیت‌های روش حداکثر تشابه است. روش‌های طبقه‌بندی غیرپارامتریک مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، درخت تصمیم و یا ماشین بردار پشتیبان^۱ به توزیع آماری داده‌ها وابسته نمی‌باشند و لذا محدودیت‌های روش پارامتریک را ندارند. از مزایای دیگر این روش‌ها آن است که برای توصیف ریاضی پدیده‌ها نیازی به ارتباط از پیش تعیین شده‌ای میان داده‌های ورودی و داده‌هایی که قرار است پیش‌بینی شوند، ندارند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلهایی مشابه شبکه‌های عصبی بیولوژیکی هستند. آن‌ها شامل یک گروه به هم پیوسته از نورون‌ها می‌باشند که قادر به ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها در هر سیستم هستند. یکی از مشکل‌ترین و مهم‌ترین کارها در فرآیند مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی تعیین معماری مناسب برای شبکه می‌باشد. انواعی مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای حل مسائل مختلف وجود دارند (۱۲). معروفترین آنها برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای شبکه‌های پرسپترون با یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی است که توسط الگوریتم پس‌انتشار خطا^۲ آموزش داده می‌شوند (۲ و ۱۷).

اخیراً استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای کاربرد بیشتری پیدا کرده است. ماشین بردار پشتیبان یکی دیگر از روش‌های یادگیری ناپارامتریک است که در اصل برای تفکیک دو گروه داده از هم ایجاد شد. اساس کار دسته‌بندی کردن داده‌ها در این روش یافتن ابر صفحه بهینه‌ای است که با داشتن بیشترین حاشیه دو گروه داده را از هم جدا کند. در مواردی که مرز

- 1- Support Vector Machine (SVM)
- 2- Backpropagation

ثبت کلاس پوشش/کاربری نقاط کنترل زمینی اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ بود. در انتخاب داده‌های مرجع سعی شد که این نقاط از توزیع مناسب برخوردار بوده و معرف خوبی برای طبقات مورد نظر پوشش/کاربری اراضی باشند.

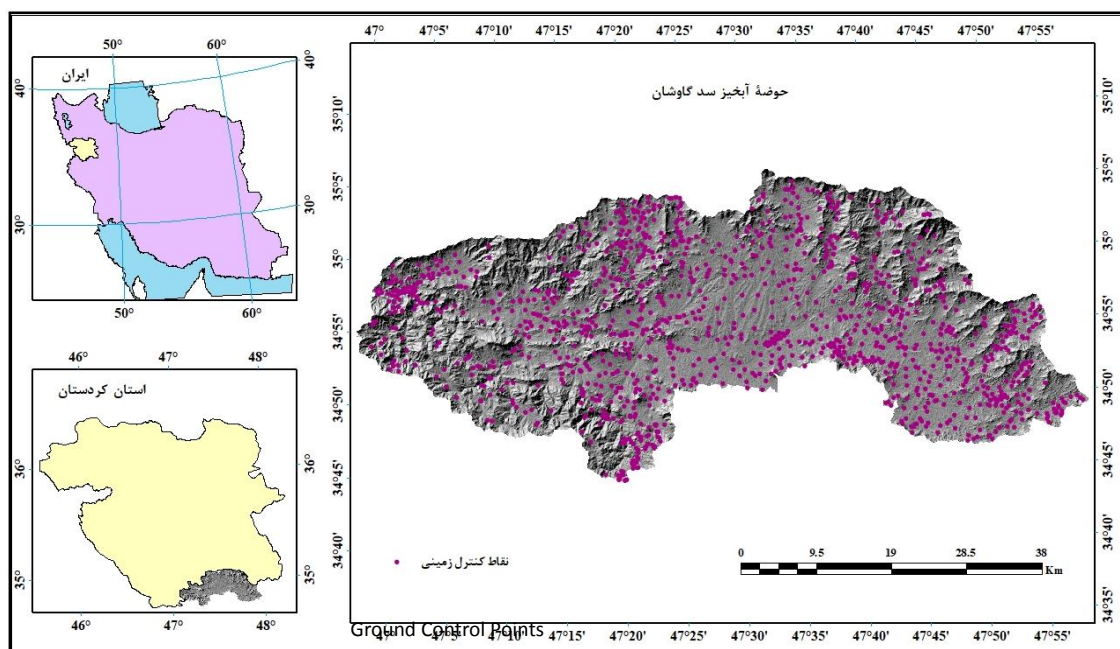
داده‌های سنجش از دور

برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. تصاویر ماهواره لندست ۸ از سایت سازمان نقشه‌برداری جغرافیایی ایالات متحده آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) در سطح تصحیحات L1T دریافت شد که در آن تصحیحات هندسی ضمن رفع اثر جابجایی ناشی از پستی و بلندی‌ها (تصحیحات ارتو) انجام شده است. بعلاوه به منظور اطمینان از هندسه تصویر از نقشه‌های جاده‌ها و آبراه‌ها با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد و تطابق دقیق این تصاویر مورد تأیید قرار گرفت. تاریخ تصاویر مورد استفاده مصادف با تاریخ ثبت کلاس پوشش/کاربری نقاط کنترل زمینی بود. قبل از استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لازم است تصحیحات دیگری نیز بر روی آنها انجام شود. یکی از این موارد تصحیحات رادیومتری می‌باشد. تصحیحات رادیومتری برای کاهش و یا حذف دو نوع خطای عمده، خطای اتمسفری و خطای دستگاهی به کار می‌روند. در بیشتر موارد از جمله در این تحقیق به علت جوان بودن ماهواره لندست ۸ خطای دستگاهی نادیده گرفته می‌شود (۱۹). برای

۴۶/۹۷ تا ۴۷/۹۸ درجه طول شرقی و ۳۴/۷۴ تا ۳۵/۰۹ درجه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). بخش‌هایی از این حوضه به همراه دریاچه سد در جنوب استان کردستان و بخش‌های بیشتری از آن در شمال استان کرمانشاه واقع شده است. اراضی این منطقه عمدتاً تپه‌ای با کاربری کشاورزی است و محصولات عمده آن شامل گندم، جو و نخود می‌باشد. رژیم حرارتی خاک‌های این منطقه مزیک و رژیم رطوبتی آنها زیریک است.

نقاط کنترل زمینی

به منظور آموزش و آزمون ماشین‌های بردار پشتیبان و نیز شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی از ۱۳۲۰ نقطه به عنوان نقاط کنترل زمینی یا نقاط مرجع استفاده شد (شکل ۱). کلاس پوشش/کاربری اراضی در ۱۲۴۰ نقطه از این نقاط با پیمایش صحرایی و مطالعات میدانی تعیین شد. کلاس پوشش/کاربری ۸۰ نقطه دیگر به دلیل غیرقابل دسترس بودن، مانند واقع شدن در وسط دریاچه سدهای حوزه یا مناطق حفاظت شده، با استفاده از تصاویر گوگل ارث مشخص گردید. کلاس‌های پوشش/کاربری شناسایی شده در این حوضه عبارت بودند از کشاورزی، جنگل‌های بافر (درختان کنار رودخانه‌ای)، باغ، مراتع بوت‌ه‌ای، مراتع علوفه‌ای، مناطق مسکونی، جاده و آب. به این کلاس‌ها به ترتیب مقادیر عددی ۱ تا ۸ اختصاص داده شد (جدول ۱). تاریخ



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط کنترل زمینی

Figure 1- Location of the study area and distribution of the ground control points

مصنوعی نیز داده‌ها به سه گروه آموزشی (۷۰ درصد)، اعتبارسنجی (۱۵ درصد) و آزمون (۱۵ درصد) تقسیم شدند. لازم به ذکر است که داده‌های آزمون در هر دو روش یکسان بود و داده‌های استفاده شده برای ایجاد ماشین‌های بردار پشتیبان اجتماع داده‌های آموزش و اعتبارسنجی برای شبکه‌های عصبی مصنوعی بود.

پس از به‌دست آوردن بهترین مدل برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های مقادیر بازتاب طیفی تصحیح شده باند‌های ۱ تا ۷ تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه وارد مدل شده و خروجی مدل که همان نقشه کاربری اراضی بود به‌دست آمد. پردازش داده‌ها و ایجاد مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین‌های بردار پشتیبان به کمک نرم‌افزار MATLAB 8.6.0 و تهیه نقشه‌های خروجی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 انجام شد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای ارزیابی صحت الگوریتم‌های استفاده شده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از شاخص‌های صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولید کننده و ضریب کاپا استفاده شد. این شاخص‌ها که از ماتریس خطا به‌دست می‌آیند در مطالعات مختلف استفاده شده و به تفصیل توسط محققین مختلف تشریح شده‌اند (۴). سودهیر و همکاران (۱۹) مدل‌هایی با شاخص کاپای ۴۰ درصد و بیشتر را به عنوان مدل‌هایی با صحت خوب برای طبقه‌بندی ارزیابی کرده‌اند.

برای مقایسه ماشین‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی مصنوعی از نظر صحت طبقه‌بندی از آزمون مک‌نمار (۶) استفاده شد. در این آزمون از آماره کای اسکور استفاده می‌شود که به صورت زیر از ماتریس خطاهای هر دو مدل مورد مقایسه محاسبه می‌شود:

$$\chi^2 = \frac{(f_{12} - f_{21})^2}{f_{12} + f_{21}} \quad (2)$$

که در آن f_{12} بیانگر تعداد مشاهداتی است که به اشتباه توسط مدل ۱ ولی به درستی توسط مدل ۲ طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین f_{21} بیانگر تعداد مشاهداتی است که به درستی توسط مدل ۱ ولی به اشتباه توسط مدل ۲ طبقه‌بندی شده‌اند.

نتایج و بحث

در جدول (۲) توزیع نقاط کنترل زمینی در کاربری‌های مختلف برای کل داده‌ها و همچنین زیرمجموعه‌های مختلف آن (داده‌های آموزش و آزمون) ارائه شده است. در ستون آخر این جدول مقدار آماره P برای آزمون کای اسکور نشان داده شده است. بر اساس این آزمون توزیع آماری داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمون با همدیگر یکسان و با توزیع کل داده‌ها نیز یکسان است. این موضوع

انجام تصحیح اتمسفری از نرم‌افزار ENVI 5.3 و روش FLAASH^۱ استفاده شد. با استفاده از مختصات نقاط کنترل زمینی موقعیت این نقاط بر روی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد. سپس مقدار بازتاب طیفی تصحیح شده در هر نقطه برای باندهای ۱ تا ۷ تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

تکنیک اصلی در این مطالعه برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای ماشین‌های بردار پشتیبان بود؛ اما به منظور مقایسه از شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز استفاده شد. برای ترکیب ماشین‌های بردار پشتیبان دودویی برای طبقه‌بندی چند کلاسه از استراتژی‌های یک در مقابل یک، یک در مقابل همه و ترتیبی استفاده شد. همچنین در هر استراتژی کرنل‌های مختلف خطی، چند جمله‌ای و شعاعی به‌کار گرفته شد. در نهایت مدل‌های به‌دست آمده با استفاده از شاخص‌های مختلف ارزیابی شدند.

شبکه عصبی مورد استفاده در این مطالعه از نوع پرسپترون پیش‌خور^۲ و دارای دو لایه بود. نرون‌های لایه مخفی آن از نوع سیگموئیدی و نرون‌های لایه خروجی آن از نوع softmax بود. این نوع شبکه به دلیل کارایی بالای آن در طبقه‌بندی متغیرهای ورودی در کلاس‌های دلخواه به‌طور گسترده‌ای توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۲، ۱۷). برای آموزش شبکه از الگوریتم پس‌انتشار خطای گرادینان مزدوج مقیاس‌بندی‌شده^۳ استفاده شد. تعداد نرون‌های لایه مخفی بر مبنای توصیه کولوموگروف برابر $2n+1$ در نظر گرفته شد که در آن n تعداد متغیرهای ورودی است (۳). متغیرهای ورودی برای هر کدام از الگوریتم‌های فوق مقدار بازتاب طیفی تصحیح شده باندهای ۱ تا ۷ تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ بود. همچنین این مدل‌ها تنها دارای یک متغیر خروجی و آن هم کلاس کاربری اراضی بودند. قبل از مدل‌سازی کلیه متغیرهای ورودی با استفاده از رابطه زیر استاندارد شدند:

$$Z = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

که در آن Z مقدار استاندارد شده، x_i مقدار هر داده، $x_{\min}$ مقدار حداقل داده‌ها و $x_{\max}$ مقدار حداکثر داده‌ها می‌باشد. این تبدیل مقدار داده‌ها را بین ۰ و ۱ استاندارد و بی بعد می‌کند. داده‌های مورد استفاده برای ماشین‌های بردار پشتیبان به طور تصادفی به دو گروه تقسیم شدند؛ گروه اول داده‌ها (۸۵ درصد) برای ایجاد مدل و گروه دوم (۱۵ درصد) برای آزمون مدل ایجاد شده استفاده شدند. برای شبکه عصبی

- 1- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes
- 2- Feed forward
- 3- Scaled conjugate gradient backpropagation

تقسیم‌بندی خوب داده‌ها را نشان می‌دهد که برای به‌دست آوردن یک مدل پایدار و کارآمد ضروری است.

جدول ۱- کلاس‌های کاربری شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

Table 1- LULC categories delineated for the classification in the study area

کد کلاس Class Number	نام کلاس Class Name	توصیف Description
1	کشاورزی Agriculture	غلات دانه ریز مانند گندم و جو Fine grain cereals like wheat and barely
2	جنگل‌های بافر Buffer Forests	پوشش‌های درختی و درختچه‌ای در امتداد نهرها و رودخانه‌ها Trees and shrubs that grow next to streams and rivers
3	باغ Orchard	درختان مشمر کاشت شده Trees and shrubs which are intentionally grown for food production
4	مراعات بوته‌ای Range Brush	مراعات طبیعی با پوشش گیاهان بوته‌ای Rangelands characterized by vegetation dominated by shrubs
5	مراعات علوفه‌ای Range grasses	مراعات طبیعی با پوشش گیاهان خانواده گندمیان Rangelands characterized by vegetation dominated by grasses
6	مناطق مسکونی Urban Areas	مناطق تجاری و مسکونی ساخته شده به دست بشر Commercial and residential areas with man-made structure
7	جاده Road	مسیرهای مربوط به حمل‌ونقل Transport lines
8	آب Water	آبهای آزاد مانند سدها و برکه‌ها Open water like dams and ponds

جدول ۲- نحوه توزیع نقاط کنترل زمینی در کاربری‌های مختلف برای گروه‌های مختلف داده‌ها

Table 2- Distribution of ground control points among LULC groups for different data sets

الگوریتم Algorithm	گروه داده Data Group	کلاس کاربری LULC Class								سطح معنی‌داری P Value
		1	2	3	4	5	6	7	8	
ماشین بردار پشتیبان SVM	آموزش Training	554	32	62	144	202	32	28	59	1.00
	آزمون Test	95	6	11	27	37	5	4	12	
شبکه عصبی مصنوعی ANN	آموزش Training	456	27	50	118	165	28	23	49	
	اعتبارسنجی Validation	98	5	12	26	37	4	5	10	
	آزمون Test	95	6	11	27	37	5	4	12	
	کل All	649	38	73	171	239	37	32	71	

ترکیبی را می‌توان تا اندازه زیادی به تعداد بیشتر ماشین بردار پشتیبان به‌کار گرفته شده در این دو روش (۲۸ ماشین) نسبت به روش ترکیبی (۸ ماشین) نسبت داد؛ که البته همین مسأله تا حدی زمان انجام محاسبات را نیز افزایش می‌دهد. با اینحال صحت بالاتر روش یک در مقابل یک نسبت به روش یک در مقابل همه ناشی از الگوی متفاوت این روش‌ها در به‌کارگیری ماشین‌های بردار پشتیبان دودویی است و

در جدول (۳) الگوهای مختلف مدل‌سازی با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با هم مقایسه شده‌اند. بررسی الگوهای ترکیب ماشین‌های بردار پشتیبان نشان می‌دهند که در تمام موارد صحت الگوی یک در برابر یک بیشتر از الگوی یک در برابر همه و الگوی ترکیبی است. صحت بالاتر روش‌های یک در مقابل یک و یک در مقابل همه نسبت به روش

به نظر می‌رسد طبقه‌بندی یک کلاس در مقابل کلاس دیگر و نادیده گرفتن بقیه کلاس‌ها توسط ماشین‌ها قدرت تفکیک آنها را افزایش می‌دهد. در بین توابع مختلف کرنل نیز بهترین عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان بر اساس تابع چند جمله‌ای به‌دست آمده است و بعد از آن به ترتیب توابع شعاعی و خطی قرار دارند. با افزایش درجه تابع چند جمله‌ای عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است؛ به‌طوری‌که در بین مدل‌های مختلف ایجاد شده بهترین عملکرد بر اساس روش یک در مقابل یک و تابع کرنل چند جمله‌ای درجه سه به‌دست آمده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود

مدل به‌دست آمده توانسته است ۸۹/۵ درصد از نقاط را به درستی طبقه‌بندی کند. به‌علاوه شاخص کاپای به‌دست آمده برای این مدل ۸۴/۹ درصد است که صحت بالایی آن را در طبقه‌بندی نقاط مختلف با کاربری‌های اراضی متفاوت نشان می‌دهد (۱۹). همچنین این جدول نشان می‌دهد که مقادیر شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا برای داده‌های آزمون نیز به‌طور قابل قبولی بالا بوده و تقریباً معادل مقادیر آنها برای داده‌های آموزش است که مدل از روی آنها به‌دست آمده است. این موضوع قدرت تعمیم‌پذیری بالایی مدل به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ساختار و کارایی مدل‌های مختلف ایجاد شده با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان

Table 3- Structure and performance of the developed SVM models

مدل Model	الگوی ترکیب Coding Design	تابع کرنل Kernel Function	صحت کلی Overall Accuracy			ضریب کاپا Kappa Coefficient		
			آموزش Training	آزمون Test	کل All	آموزش Training	آزمون Test	کل All
1	یک در مقابل یک One vs. One	شعاعی Radial Basis	83.8	75.6	82.1	76.3	63.9	73.8
2	یک در مقابل یک One vs. One	خطی Linear	78.5	73.3	77.5	68.6	60.7	67.0
3	یک در مقابل یک One vs. One	چند جمله‌ای درجه ۲ Polynomial, n=2	84.1	79.4	83.1	76.6	69.5	75.2
4	یک در مقابل یک One vs. One	چند جمله‌ای درجه ۳ Polynomial, n=3	87.2	80.2	85.8	81.4	70.8	79.3
5	یک در مقابل یک One vs. One	چند جمله‌ای درجه ۴ Polynomial, n=4	91.7	80.9	89.5	88.0	72.3	84.9
6	یک در مقابل یک One vs. One	چند جمله‌ای درجه ۵ Polynomial, n=5	54.1	48.9	53.1	31.7	23.6	30.1
7	یک در مقابل همه One vs. All	شعاعی Radial Basis	81.6	76.7	80.6	72.9	65.6	71.4
8	یک در مقابل همه One vs. All	خطی Linear	67.7	67.6	67.6	49.7	49.7	49.7
9	یک در مقابل همه One vs. All	چند جمله‌ای درجه ۲ Polynomial, n=2	81.5	78.6	80.9	72.7	68.7	71.9
10	یک در مقابل همه One vs. All	چند جمله‌ای درجه ۳ Polynomial, n=3	85.1	80.2	84.1	78.2	70.8	76.7
11	یک در مقابل همه One vs. All	چند جمله‌ای درجه ۴ Polynomial, n=4	74.4	66.8	72.9	63.1	51.6	60.9
12	یک در مقابل همه One vs. All	چند جمله‌ای درجه ۵ Polynomial, n=5	13.5	12.6	13.3	-0.3	-0.7	-0.4
13	ترکیبی Ordinal	شعاعی Radial Basis	80.3	75.6	79.4	71.8	65.2	70.5
14	ترکیبی Ordinal	خطی Linear	65.6	61.1	64.7	51.4	45.2	50.1
15	ترکیبی Ordinal	چند جمله‌ای درجه ۲ Polynomial, n=2	76.1	74.4	75.8	66.0	63.5	65.5
16	ترکیبی Ordinal	چند جمله‌ای درجه ۳ Polynomial, n=3	80.8	77.5	80.2	72.6	67.7	71.6
17	ترکیبی Ordinal	چند جمله‌ای درجه ۴ Polynomial, n=4	38.5	34.0	37.6	28.8	23.3	27.7
18	ترکیبی Ordinal	چند جمله‌ای درجه ۵ Polynomial, n=5	8.4	7.6	8.2	3.1	2.9	3.1

خالص نبوده و مقداری از سایر کاربری‌های کنار جاده‌ای را نیز پوشش دهد. همچنین در روش ماشین‌های بردار پشتیبان صحت کاربر و صحت تولید کننده برای کاربری جاده به مقدار قابل توجهی نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی افزایش یافته به‌طوری‌که صحت تولید کننده از ۶/۳ به ۷۱/۹ درصد و صحت کاربر از ۴۰ به ۸۵/۲ رسیده است.

در جدول (۵) بهترین مدل به‌دست آمده با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان با مدل شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با هم مقایسه شده‌اند. در ستون آخر جدول مقادیر سطح معنی‌دار آزمون مک‌نمار برای مقایسه دو روش با هم نشان داده شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود بر اساس کل داده‌ها مقادیر صحت کلی و شاخص کاپای ماشین‌های بردار پشتیبان به‌طور معنی‌داری نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی بیشتر است ($P < 0.0001$). همچنین بر اساس داده‌های آزمون نیز مقادیر این شاخص‌ها برای ماشین‌های بردار پشتیبان نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی بیشتر است، هر چند که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نیست ($P > 0.05$).

در جدول (۴) ماتریس خطای داده‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داده شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در تمام کاربری‌ها صحت تولید کننده و صحت کاربر با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان بیشتر از شبکه‌های عصبی مصنوعی است. با اینحال روند تغییرات صحت در کاربری‌های مختلف در هر دو روش با هم یکسان است؛ به‌طوری‌که در هر دو روش صحت تولید کننده برای کاربری‌های آب و کشاورزی از سایر کاربری‌ها بیشتر است. این موضوع می‌تواند به‌دلیل تعداد بالای نقاط کنترل زمینی برداشته شده از این کاربری‌ها باشد (جدول ۲). البته در مقایسه کاربری‌های کشاورزی و آب هرچند که تعداد نقاط کاربری آب نسبت به کشاورزی کمتر است، اما به‌دلیل مساحت کمتر کاربری آب نسبت به کشاورزی در سطح حوضه، تراکم نقاط برداشت شده در این کاربری بیشتر و در نتیجه صحت آن بیشتر از کاربری کشاورزی است. از طرف دیگر در هر دو روش در بین کاربری‌های مختلف صحت کاربری جاده از همه کمتر است. این مسأله می‌تواند به‌دلیل پهنای کم جاده‌ها (کمتر از ۱۵ متر) در منطقه مورد مطالعه در مقایسه با قدرت تفکیک کم (۳۰ متر) تصاویر ماهواره‌ای باشد؛ که موجب می‌شود پیکسل‌های اختصاص داده شده به کاربری جاده

جدول ۴- ماتریس خطای داده‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (اولین اعداد)

و شبکه‌های عصبی مصنوعی (اعداد بعد از علامت /)

Table 4- Error matrix of classified data using SVM (first values) and ANN (values after slash)

		کلاس‌های مرجع Reference Classes								صحت کاربر Users' Accuracy
		1	2	3	4	5	6	7	8	
کلاس‌های پیش‌بینی شده Predicted Classes	1	623/594	2/7	9/12	4/7	20/35	1/5	6/20	0/0	93.7/87.4
	2	0/4	31/17	1/4	4/3	0/1	0/0	0/0	0/0	86.1/58.6
	3	3/6	2/9	56/46	1/9	1/1	0/0	0/0	1/1	87.5/63.9
	4	1/1	2/2	2/5	143/109	25/40	0/0	0/0	0/0	82.7/69.4
	5	21/37	1/2	5/6	18/40	191/162	0/2	1/9	0/2	80.6/62.3
	6	0/4	0/0	0/0	0/2	0/0	36/30	0/1	0/0	100.0/81.1
	7	1/3	0/0	0/0	1/0	2/0	0/0	23/2	0/0	85.2/40
	8	0/0	0/1	0/0	0/1	0/0	0/0	2/0	70/68	97.2/97.1
صحت تولید کننده Producers' Accuracy		96.0/91.5	81.6/44.7	76.7/63	83.6/63.7	79.9/67.8	97.3/81.1	71.9/6.3	98.6/95.8	89.5/78.5

پشتیبان، تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه از این کاربری‌ها به نام کاربری‌های دیگر، در روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی شده بودند کاهش یافته و در نتیجه مساحت این کاربری‌ها نیز افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

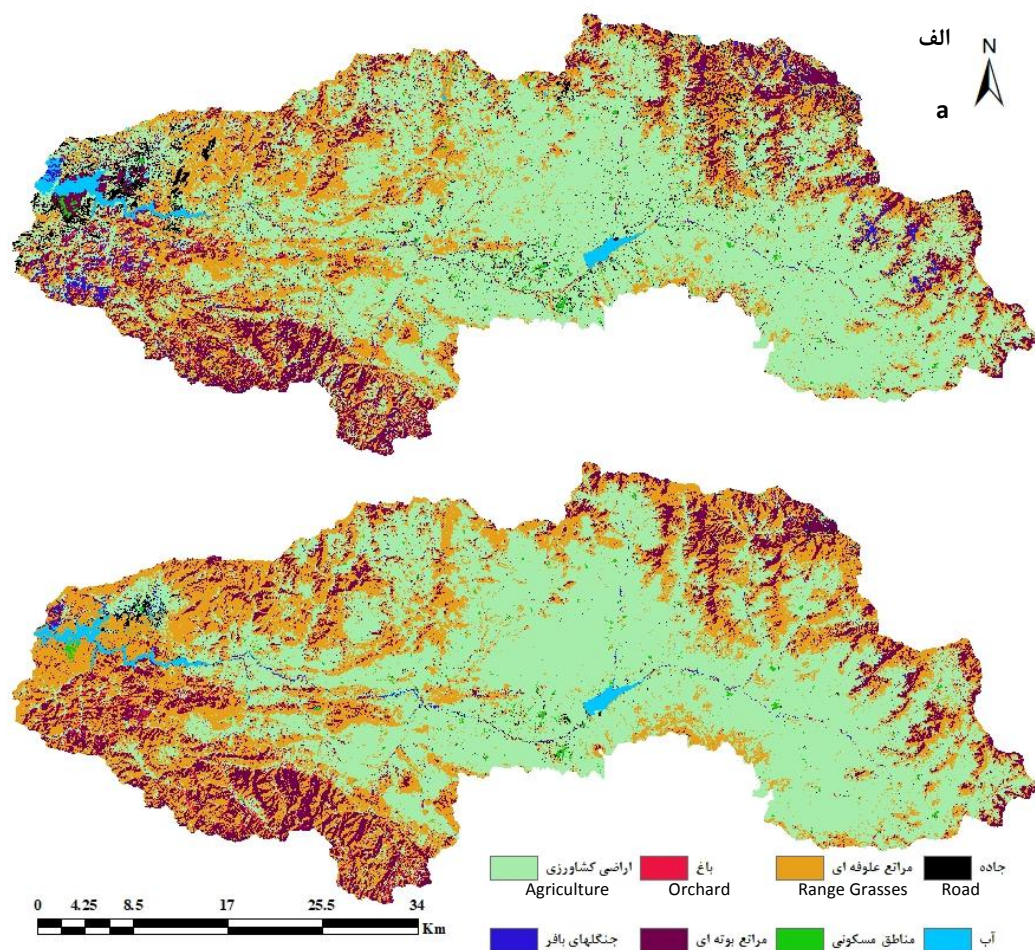
در این پژوهش کارایی ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به منظور تهیه نقشه پوشش کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که الگوی ترکیب ماشین‌های بردار پشتیبان دودویی برای طبقه‌بندی چند کلاسی و نیز نوع تابع کرنل تأثیر زیادی بر روی کارایی ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای دارد؛ به‌طوری‌که در بین الگوهای مختلف ترکیب ماشین‌های بردار پشتیبان الگوی یک در مقابل یک و در بین توابع مختلف کرنل تابع چندجمله‌ای درجه سه بیشترین کارایی را در تفکیک کلاس‌های مختلف داشتند. همچنین مقایسه این روش با شبکه‌های عصبی نشان داد که در تمام کلاس‌ها ماشین‌های بردار پشتیبان از کارایی بهتری جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برخوردارند. نقشه پوشش کاربری اراضی به‌دست آمده نشان داد که بخش‌های زیادی (۵۲/۸ درصد) از حوضه را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهند. مراتع بوته‌ای و مراتع علوفه‌ای روی‌هم‌رفته ۳۹/۳ درصد از حوضه را می‌پوشانند و تنها در حدود ۲/۷ درصد از حوضه توسط درخت پوشیده شده است.

در شکل ۲-الف نقشه کاربری اراضی تهیه شده با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان نشان داده شده است. بر اساس این نقشه (شکل ۲-الف) بخش بزرگی از منطقه مورد مطالعه را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهند (۵۲/۸ درصد) و پس از آن مرتع علوفه‌ای (۲۶/۸ درصد) و مراتع بوته‌ای (۱۲/۵ درصد) قرار دارند. تنها بخش کوچکی از اراضی حوضه از درخت پوشیده شده‌اند که شامل باغ‌های مثمر (۱/۵ درصد) و جنگل‌های بافر (۱/۲ درصد) می‌باشند. همچنین مناطق مسکونی ۰/۸ درصد، جاده‌ها ۳ درصد و آب ۱/۳ درصد از اراضی حوضه را در بر گرفته‌اند. در این نقشه، کاربری آب و کشاورزی به خوبی از دیگر کاربری‌ها تفکیک شده‌اند؛ به‌طوری‌که دریاچه سد سلیمان‌شاه در مرکز و دریاچه سد گاوشان در خروجی حوضه به خوبی مشخص می‌باشند. از سوی دیگر، کاربری مراتع بوته‌ای و مراتع علوفه‌ای با یکدیگر آمیخته شده‌اند. این مسأله ممکن است در مرحله طبقه‌بندی به اختلاط طیفی این دو کلاس منجر شود. این موضوع صحت پایین کاربر (جدول ۴) برای این کاربری‌ها را تأیید می‌کند. در شکل ۲-ب نیز نقشه کاربری اراضی تهیه شده با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت مقایسه نشان داده شده است. مقایسه این دو نقشه نشان می‌دهد که میزان پوشش کاربری‌های کشاورزی، باغ، مراتع بوته‌ای، مراتع علوفه‌ای و آب در هر دو نقشه کم و بیش یکسان است؛ در حالیکه درصد پوشش کاربری‌های جنگل‌های بافر، مناطق مسکونی و جاده در دو نقشه تفاوت زیادی را با هم نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که درصد این کاربری‌ها در نقشه الف به ترتیب ۳، ۲ و ۶ برابر نقشه ب است. دلیل این امر آن است که با افزایش صحت تولید کننده و صحت کاربر در این کاربری‌ها، در روش ماشین‌های بردار

جدول ۵- مقایسه ماشین‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی مصنوعی و نتایج آزمون مک‌نمار

Table 5- Comparison of SVMs and ANN classifiers and McNemar's test results

مدل Model	صحت کلی Overall Accuracy		ضریب کاپا Kappa Coefficient		سطح معنی‌دار P Value	
	آزمون Test	کل All	آزمون Test	کل All	آزمون Test	کل All
ماشین بردار پشتیبان SVM	80.9	89.5	72.3	84.9	0.07	< 0.0001
شبکه عصبی مصنوعی ANN	77.1	78.5	66.7	68.5		



شکل ۲- نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی تهیه شده برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از
الف) ماشین‌های بردار پشتیبان و ب) شبکه‌های عصبی مصنوعی

Figure 2- LULC maps of the studied area prepared using a) SVM and b) ANN approaches

منابع

1. Allwein E., Schapire R., and Singer Y. 2000. Reducing multiclass to binary: A unifying approach for margin classifiers. *Journal of Machine Learning Research*, 1:113-141.
2. Atkinson P.M., and Tatnall A.R.L. 1997. Neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 18:699-709.
3. Bishop C.M. 1995. *Neural networks for pattern recognition*. Oxford University Press, Oxford.
4. Congalton R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37:35-46.
5. Cortes C., and Vapnik V. 1995. Support-vector networks. *Machine learning*, 20:273-297.
6. De Leeuw J., Jia H., Yang L., Liu X., Schmidt K., Skidmore A.K. 2006. Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. *International Journal of Remote Sensing*, 27:223-232.
7. Fisher P.F., Comber A.J., and Wadsworth R.A. 2005. Land use and land cover: contradiction or complement. p. 85-98. In Fisher P. and Unwin D. (ed.) *Re-Presenting GIS*. Wiley, Chichester.
8. Gualtieri J.A., and Crompton R.F. 1998. Support vector machines for hyperspectral remote sensing classification. p. 221-232. In *Proceedings of the 27th AIPR Workshop: Advances in Computer Assisted Recognition*, 27 Oct. 1998. SPIE, Washington, DC, USA.
9. Hall F.G., Townshend J.R., and Engman E.T. 1995. Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. *Remote Sensing of Environment*, 51:138-156.

10. Huang C., Davis L.S., Townshend J.R.G. 2002. An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23:725-749.
11. Joachims T. 1998. Text categorization with support vector machines learning with many relevant features. p. 137-142. In *Proceedings of European Conference on Machine Learning*, April 10, 1998. Chemnitz, Germany.
12. Lippman R.P. 1987. An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASSP Magazine*, 4:2-22.
13. Mather P.M. 2001. *Computer Processing of Remotely-Sensed images: An Introduction*. John Wiley & Sons, New York.
14. Mathur A., Foody G.M. 2008. Crop classification by support vector machine with intelligently selected training data for an operational application. *International Journal of Remote Sensing*, 29:2227-2240.
15. Otukey J.R., Blaschke T. 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12 (1):27-31.
16. Pal M., Mather P.M. 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 26:1007-1011.
17. Paola J.D., and Schowengerdt R.A. 1995. A review and analysis of backpropagation neural networks for classification of remotely sensed multi-spectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 16:3033-3058.
18. Sellers P.J., Meeson B.W., Hall F.G., Asrar G., Murphy R.E., Schiffer R.A., Bretherton F.P., Dickinson R.E., Ellingson R.G., Field C.B., Huemmrich K.F., Justice C.O., Melack J.M., Roulet N.T., Schimel D.S., Try P.D. 1995. Remote sensing of the land surface for studies of global change: models-algorithms-experiments. *Remote Sensing of Environment*, 51:3-26.
19. Sudheer K.P., Gowda P., Chaubey I. and Howell T. 2010. Artificial neural network approach for mapping contrasting tillage practices. *Remote Sensing*, 2(2):579-590.
20. Townshend J.R.G. 1992. Land cover. *International Journal of Remote Sensing*, 13:1319-1328.
21. Vapnik V.N. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag, New York.



Application of Support Vector Machines for Land Use and Land Cover Classification from Landsat ETM Imagery

M. A. Mahmoodi^{1*} - S. Momeni², M. Davari³

Received: 09-06-2018

Accepted: 07-10-2018

Introduction: Land use and Land cover (LULC) information has been identified as one of the crucial data components for a range of applications including global change studies, urban planning, agricultural crop characterization, and forest ecosystem classification. The derivation of such information increasingly relies on remote sensing technology due to its ability to acquire valuable spatiotemporal information on LULC. One of the major approaches to deriving LULC information from remotely sensed images is classification. Numerous image classification algorithms exist. Among the most popular are the maximum likelihood classifier (MLC), artificial neural network (ANN) classifiers and decision tree (DT) classifiers. Conventional parametric method like MLC is based on statistical theory and assumes a multivariate normal distribution for each class. In case of data that has non-normal distribution (which is common with LULC data), the parametric classifiers may fail since the inability to resolve interclass confusion. This inability is the major limitation of parametric classifiers. Nonparametric classifiers like ANNs and DTs, which do not rely on any assumptions for the class distributions of data, could overcome the aforementioned limitations of parametric classifiers. The support vector machines (SVMs), a nonparametric classifier, that has recently been used in numerous applications in image processing, represents a group of theoretically superior machine learning algorithms. The SVM employs optimization algorithms to locate the optimal boundaries between classes. It was found competitive with the best available classification methods, including ANN and DT classifiers. The classification accuracy of SVMs is based upon the choice of the classification strategy and kernel function. The objective of this study was to investigate the sensitivity of SVM architecture including classification strategy and kernel types to identify LULC information from Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) remote sensing data in Gavshan dam watershed in west of Iran.

Materials and Methods: SVMs were used to classify orthorectified Landsat ETM images of May, 2016. Image pre-processing such as atmospheric correction were conducted before utilization. Three classification strategies (One versus one, one versus all and ordinal) and three types of kernels (linear, polynomial and radial basis function) were used for the SVM classification. A total of 18 different models were developed and implemented for sensitivity analysis of SVM architecture. A two-layer feed-forward Perceptron network classifier with sigmoid hidden and softmax output neurons was also used for comparison. The network was trained using scaled conjugate gradient backpropagation algorithm. A total of 1320 ground control points were collected to train, validate and test the SVM and ANN models. Ground truth locations on each image were identified using the GPS coordinates for extracting spectral reflectance data of seven bands (Bands 1-7) of Landsat ETM images. The LULC class of each point was identified using land survey or Google earth images. The identified LULC classes were agriculture, buffer forests, orchard, ranges brush, range grasses, urban areas, roads and water.

Results and Discussion: The results suggest that the choice of classification strategy and kernel types play an important role on SVMs classification accuracy. Statistical evaluation of the SVM models against the ground control points showed that the one versus one classification strategy had the highest accuracy than the two other ones for any kernel function type and the polynomial kernel function had the highest accuracy than the two other kernels for any classification strategy. The SVM model with polynomial ($n=3$) kernel and one versus one classification strategy outperformed all SVMs models and gave the highest overall classification accuracy of 78.5 and Kappa coefficient of 68.5. The McNemar's test clearly showed significant improvement of the best SVM model in comparison to the ANN model ($P<0.001$). Also, the user accuracy and producer accuracy achieved by best SVM model were higher than ANN model for all LULC classes. In both approaches water and agriculture categories have high accuracy while roads have low accuracy. The resulting LULC map indicated that most parts of the studied area (52.8%) have been assigned to the

1, 2 and 3- Assistant Professor, M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, Respectively

(*- Corresponding Author Email: a.mahmoodi@uok.ac.ir)

agriculture. The ranges brush and range grasses categories cover 12.5% and 26.8% of the watershed, respectively. Only about 2.7% of the watershed have been covered with trees.

Conclusions: This study suggests that the SVMs approach based on Landsat ETM bands may provide reliable and accurate LULC information even better than best ANN approaches. However, choice of classification strategy and kernel types play an important role on SVMs classification accuracy. Best model of polynomial kernel and one versus one classification strategy outperformed all SVMs and ANN models and gave the highest classification accuracy.

Keywords: GavshanDam Watershed, Image Classification, Remote Sensing

اثر اسید هیومیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی کمبود آهن در گیاه کلزا (رقم هایولا ۳۰۸)

طالب نظری^۱ - مجتبی بارانی مطلق^{۲*} - اسماعیل دردی پور^۳ - رضا قربانی نصرآبادی^۴ - سمیه سفیدگر شاهکلایی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

در این پژوهش، تأثیر کاربرد خاکی، محلول‌پاشی و مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک بر فرآهمی آهن، انواع کلروفیل و آنزیم‌های گیاهی در گیاه کلزا (رقم هایولا ۳۰۸) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار در ۴ تکرار به اجرا درآمد که تیمارها شامل مصرف خاکی اسیدهیومیک در سه سطح (۱، ۲ و ۴ گرم بر کیلوگرم خاک)، محلول‌پاشی اسیدهیومیک در سه سطح (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ درصد)، همراه با آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و تیمار شاهد بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین مقدار آهن کل برگ مربوط به تیمار ۰/۴ درصد محلول‌پاشی و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین بیشترین مقدار آهن کل ساقه و آهن فعال به ترتیب با میانگین ۸۵ و ۴۴/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک بود. بیشترین مقادیر کلروفیل a، b و کلروفیل کل به ترتیب با میانگین ۳/۵۸، ۱/۷۹ و ۵/۳۷ در تیمار محلول‌پاشی اسیدهیومیک با سطح ۰/۴ درصد دیده شد. بیشترین مقدار فعالیت آنزیم‌های گیاهی سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز به ترتیب با میانگین ۴/۲۰ و ۱/۹۵ (Iu /gr.fw) مربوط تیمار ۰/۱ درصد محلول‌پاشی اسیدهیومیک و بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین ۴/۴۶ (Iu /gr.fw) مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مصرف همراه با آب آبیاری بود. همچنین همبستگی منفی بین آنزیم‌های گیاهی با انواع کلروفیل و آهن فعال وجود داشت. آهن فعال و آنزیم‌های آنتی اکسیدان که نشان‌دهنده آهن درون سیتوپلاسم سلول‌اند، شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی تحمل به کمبود آهن در مقایسه با سنجش آهن کل برگ می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آهن فعال، آنزیم‌های گیاهی، اسید هیومیک، کلروفیل

مقدمه

هم (سوپراکسید دیسموتاز) هستند (۵۱). کمبود آهن موجب آسیب‌های بیوشیمیایی شدیدی شده و ضمن افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال، سبب خسارات برگشت ناپذیر به ملکول‌های زنده و نیز موجب آسیب دیدگی زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست می‌شود. افزایش سطح پراکسید هیدروژن ممکن است نتیجه ناکافی بودن فعالیت آنزیم‌های حاوی آهن از جمله کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به علت دسترسی ناکافی به آهن باشد (۱۵). کمبود آهن سبب کاهش سنتز کلروفیل و بروز زرد برگی می‌شود. در کلروپلاست گیاهان دچار کمبود آهن، سرعت جذب دی اکسید کربن فتوسنتزی به دلیل کاهش ظرفیت فتوشیمیایی کاهش می‌یابد که در واقع یکی از دلایل مهم تنش اکسیداتیو می‌باشد. تنش اکسیداتیو باعث کاهش تولید کلروفیل می‌شود که پیامد آن، آسیب به دستگاه فتوسنتزی است (۴۲). برای معالجه کلروز آهن روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است از جمله استفاده از نمک‌های معدنی آهن، مواد اصلاحی اسیدزا، زباله‌ها و تولیدات جانبی صنایع، کلات‌های آهن و ترکیبات آلی (۴۳). لزوم سلامت محصولات تولید شده در نظام‌های مختلف کشاورزی از نظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست، سبب شده است تا روش‌های تولید و

آهن اولین عنصر کم‌مصرف شناخته شده برای گیاهان زراعی است و بیش از تمام عناصر کم‌مصرف برای گیاهان مورد نیاز است. آهن در متابولیسم آنزیم‌ها (به عنوان فعال کننده آنها)، در متابولیسم پروتئین‌ها (پروتئین‌های سیتوکروم اکسیداز، کاتالاز، لگ هموگلوبین، پروتئین‌های Fe-S، فردوکسین و همچنین آنزیم‌های حاوی آهن مانند نیتروژناز و سوپراکسید دیسموتاز)، در ساخت کلروفیل، تکامل کلروپلاست، فتوسنتز، تنفس گیاه و واکنش‌های اکسایش کاهش و سوخت و ساز اسیدهای آلی (مانند اگزالیک، استیک، مالیک) نقش دارد (۴۲). همچنین آهن عامل مهمی در زدودن رادیکال اکسیژن فعال (ROS) است، زیرا برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان حاوی آهن به صورت هم (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) یا غیر

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیاران، استادیار و دانش‌آموخته دکتری علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(*) - نویسنده مسئول

(Email: mbarani@gau.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.73520

6-ROS: Reactive Oxygen Species

کلروفیل b افزایش داد. فرارا و همکاران (۲۰) گزارش کردند که اسیدهیومیک سبب افزایش رشد ریشه و میزان کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کارتنوئیدها در برگ‌ها می‌شود. خیاط و همکاران (۳۵) نیز گزارش کردند که مواد هیومیکی در فرایندهای بیولوژیکی گیاه مانند فتوسنتز و مقدار کلروفیل کل موثر بوده و از این طریق رشد گیاه را افزایش می‌دهد. هدف از این پژوهش بررسی نحوه کاربرد و سطوح مختلف اسیدهیومیک بر فراهمی آهن و تأثیرات آن بر انواع کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتینون پراکسیداز تحت کشت گیاه کلزا (*Brassica napus*) رقم هایولا ۳۰۸ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تأثیر کاربرد خاکی، محلول پاشی و مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی کمبود آهن در گیاه کلزا (رقم هایولا ۳۰۸) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار و در ۴ تکرار به صورت گلدانی به اجرا درآمد. تیمارها عبارتند از: (۱) شاهد (۲) یک گرم اسیدهیومیک بر کیلوگرم خاک (به صورت مصرف خاکی)، (۳) دو گرم اسیدهیومیک بر کیلوگرم خاک (به صورت مصرف خاکی)، (۴) چهار گرم اسیدهیومیک بر کیلوگرم خاک (به صورت مصرف خاکی)، (۵) ۱۰۰۰ میلی گرم اسیدهیومیک در لیتر (در آب آبیاری)، (۶) ۲۰۰۰ میلی گرم اسیدهیومیک در لیتر (در آب آبیاری)، (۷) ۴۰۰۰ میلی گرم اسیدهیومیک در لیتر (در آب آبیاری)، (۸) محلول پاشی اسیدهیومیک با غلظت ۰/۱ درصد، (۹) محلول پاشی اسیدهیومیک با غلظت ۰/۲ درصد، (۱۰) محلول پاشی اسید هیومیک با غلظت ۰/۴ درصد. کاربرد خاکی به صورت پودر اسیدهیومیک و در زمان کشت بر اساس وزن خاک گلدان‌ها و برای محلول پاشی و مصرف همراه با آب آبیاری، هرکدام از سطوح به سه قسمت مساوی تقسیم و در سه مرحله (استقرار گیاه، به ساقه رفتن، شروع گلدهی) مورد استفاده قرار گرفتند. محلول پاشی در زمان عصر صورت گرفت و به منظور مؤثرتر بودن آن از چند قطره مویان جهت خیس خوردگی بیشتر برگ‌ها استفاده شد. اسیدهیومیک مورد استفاده در این آزمایش اسیدهیومیک ۸۰ درصد بانام تجاری هیومکس (Humax-95WSG) بود (جدول ۱). خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی متری روستای حاجی غراوی در ۳۰ کیلومتری گنبد کاووس برداشته شد. پس از هوا خشک شدن، از سرنده ۲ میلی متری عبور داده شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک، کربنات کلسیم معادل، کربنات کلسیم فعال (ACCE)، pH در عصاره ۱:۲، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم قابل استفاده، آهن، مس، روی و منگنز (قابل استخراج با DTPA) با استفاده از

نهاده‌های بکار رفته مورد توجه خاص قرار گیرند. از مهم‌ترین مسائل مؤثر بر سلامت محیط زیست و پایداری تولید غذا، کاربرد کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی می‌باشد (۶۲). استفاده از انواع کودهای طبیعی و از جمله اسیدهیومیک بدون اثرات مخرب زیست محیطی به خصوص در شرایط متغیر محیطی می‌تواند مثر ثمر واقع شود، لذا از اسیدهیومیک به عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نام برده می‌شود. ترکیبات هوموسی مواد آلی، دارای دو نوع اسید آلی مهم به نام‌های اسیدهیومیک و اسیدفولویک و جزء هومین هستند که از منابع مختلف نظیر خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده، زغال سنگ و ... استخراج می‌شوند و در اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت هستند (۹). اسیدهیومیک، نوعی ترکیبات پلیمری طبیعی به همراه مواد آلی هتروژن است که در پی پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به وجود می‌آید، رنگ آن سیاه و وزن ملکولی ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلو دالتون دارند که کمپلکس‌های پایدار و نامحلول و کمپلکس‌های محلول با عناصر کم مصرف تشکیل می‌دهند (۴). اسیدهیومیک در آب به خوبی حل شده و با کودهای دیگر مایع، قابل اختلاط می‌باشد و می‌توان آن را از طریق محلول پاشی، مصرف خاکی و سیستم‌های آبیاری تحت فشار مورد استفاده قرار داد (۶۲). اسیدهیومیک از طریق قدرت کلات کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب تر در اختیار گیاه، ساخت رنگیزه‌ها را افزایش می‌دهد و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت تر می‌کند (۵۴). اسیدهیومیک تأثیر مستقیم و غیر مستقیم بر رشد گیاه دارد. اثرهای مستقیم آن‌ها شامل فعالیت آنزیمی و نفوذپذیری غشاء و اثرهای غیر مستقیم آن‌ها شامل بهبود ویژگی‌های خاک مانند خاکدانه سازی، تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب و دسترسی و انتقال عناصر کم مصرف می‌باشد (۲۷، ۴۹ و ۷۲). کاربرد اسیدهیومیک کلروز گیاهان را بهبود می‌بخشد که احتمالاً نتیجه‌ای است از توانایی اسیدهیومیک برای نگهداری آهن خاک به فرمی که قابل جذب و سوخت و ساز باشد. این پدیده می‌تواند در خاک‌های قلیایی و آهکی مؤثر باشد که معمولاً کمبود آهن قابل جذب و مواد آلی را دارند (۶۰). استفاده از اسیدهیومیک باعث رشد اندام هوایی و افزایش تولید محصولات زراعی و باغی می‌شود، دلیل آن افزایش جذب عناصری نظیر ازت، کلسیم، فسفر، آهن، روی و منگنز می‌باشد (۲۶). درس و همکاران (۱۶) گزارش کردند که مواد هیومیک از طریق اثرات بیوشیمیایی و شبه هورمونی که دارند باعث افزایش جذب ریزمغذی‌ها توسط گیاهان می‌شوند. ناردی و همکاران (۵۳) دریافتند که اسیدهیومیک باعث زیاد شدن غلظت کلروفیل برگ، آغازش ریشه‌های جانبی بیشتر، بهبود جذب عناصر کم مصرف شد. کاراکورت و همکاران (۳۲) کاربرد خاکی و محلول پاشی اسیدهیومیک بر عملکرد و کیفیت لفل (*Capsicum annum* L.) را بررسی کرده و دریافتند که کاربرد اسیدهیومیک میزان کلروفیل کل و بویژه

(CAT) و گلوکاتایون پراکسیداز (GPX)، نمونه‌گیری از برگ‌های جوان و توسعه یافته در پایان فصل رشد یعنی ۱۳۹ روز بعد از کشت صورت پذیرفت. آهن فعال در برگ‌های تازه گیاه به روش ارتوفناترولین ۱/۵ درصد (۳۳) و میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ‌ها با استفاده از روش آرنون (۵) اندازه‌گیری شد. به منظور سنجش کلروفیل ۰/۲ گرم برگ در استون ۸۰ درصد هموژن گردید. پس از سانتریفیوژ، محلول روئی برداشت و جذب آن در ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. آنگاه، توسط فرمول‌های زیر مقادیر کلروفیل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد (۵). در این روابط، A بیانگر جذب طول موج بر حسب نانومتر، V حجم نهایی کلروفیل در استون و W وزن تر بافت برحسب گرم می‌باشد.

سنجش سوپراکسید دسموتاز (SOD) بر اساس تغییر شیمیایی نیتروبلوترازولیوم^۱ با استفاده از روش مینامی و یوشیکاوا (۴۶)، سنجش کاتالاز (CAT) به روش ابی (۲) براساس میزان تجزیه آب اکسیژنه و سنجش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) از تری‌بوتیل‌هیدروپروکسید^۲ به‌عنوان سوسترا طبق روش هاپکینز و تودهوپ (۲۹) انجام شد. نتایج آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح ۵ درصد) استفاده شد.

$$a \text{ غلظت کلروفیل} = 12.7(663A) - 2.69(645A) * V / W * 1000 \quad (۱)$$

$$b \text{ غلظت کلروفیل} = 22.9(645A) - 4.68(663A) * V / W * 1000 \quad (۲)$$

$$\text{غلظت کلروفیل کل} = 20.9(645A) - 8.02(663A) * V / W * 1000 \quad (۳)$$

جدول ۱- خصوصیات اسیدهیومیک مورد استفاده در پژوهش
Table 1- Characteristics of humic acid used in the research

اسیدهیومیک Humic acid	اکسید پتاسیم K ₂ O	اسیدفولیک Fluic acid	نام تجاری Trade name
%80	%5	%15	Humax-95WSG

آبیاری اسیدهیومیک بود؛ هرچند که با تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۵۴/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ترکیب‌های آلی نقش مهمی در فراهمی آهن گیاه دارند، مواد هومیکی با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول از رسوب اکسیدهای آهن جلوگیری کرده و موجب افزایش پخشیدگی آهن به سمت ریشه و در نتیجه افزایش فراهمی آهن گیاه می‌شوند (۱۳).

روش‌های استاندارد (۵۶) تعیین شدند (جدول ۲). بر اساس آزمون خاک عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منبع‌های اوره، سوپرفسفات-تریپل و سولفاتپتاسیم و عناصر کم‌مصرف بجز آهن از منبع سولفات تأمین شدند. کود پتاسه، فسفر و عناصر کم‌مصرف در زمان کاشت گیاه ولی کود ازته به سه قسمت مساوی و در سه مرحله کاشت، به ساقه رفتن و گلدهی به گلدان‌ها اضافه شدند. سپس تعداد ۱۰ عدد بذر در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کاشته شد، که پس از سبز شدن و گذشت دو هفته، تعداد بوته‌ها به چهار عدد در هر گلدان تقلیل یافت. جهت حذف اثرات محیطی در طول دوره رشد جای گلدان‌ها دو بار در هفته به‌صورت تصادفی تغییر داده شد. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام گرفت. رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت مزرعه به روش وزنی تأمین شد. گیاهان پس از ۱۳۹ روز برداشت شدند. گیاهان پس از برداشت، به دو قسمت ساقه و برگ تفکیک شدند. ساقه‌ها و برگ‌ها پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند سپس نمونه‌ها به‌وسیله آسیاب پودر گردیدند و غلظت آهن کل در برگ و ساقه به روش خشک اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است، قبل از برداشت گیاهان، به منظور اندازه‌گیری آهن فعال، غلظت کلروفیل‌ها (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دسموتاز (SOD)، کاتالاز

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیشترین مقدار آهن برگ در تیمار ۰/۴ درصد با میانگین ۲۴۵/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به روش محلول‌پاشی اسیدهیومیک و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۱۲۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین بیشترین مقدار آهن ساقه در تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به روش مصرف همراه با آب

- 1- Nitroblue tetrazolium (NBT)
- 2- T-butyl hydroperoxide

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Soil physical and chemical characteristics using in the experiment

CCE (%) (درصد) کربنات کلسیم معادل	15.5
ACCE (%) (درصد) کربنات کلسیم فعال	5.5
OM (%) (درصد) ماده آلی	1.78
Sand (%) (درصد) رس	27
Silt (%) (درصد) سیلت	48.5
Clay (%) (درصد) شن	24.5
Texture بافت	Silty loam
FC ظرفیت مزرعه	22.1
pH _{۱:۲}	7.2
EC (dSm ⁻¹) قابلیت هدایت الکتریکی	1.15
CEC (cmol _c kg ⁻¹) ظرفیت تبادل کاتیونی	17.7
Total Nitrogen (%) (درصد) نیتروژن کل	0.056
Phosphorus (mg kg ⁻¹) فسفر قابل جذب	10.4
Potassium (mg kg ⁻¹) پتاسیم قابل جذب	219
DTPA آهن عصاره گیری با	1.44
DTPA extractable Fe (mg kg ⁻¹)	
DTPA روی عصاره گیری با	0.46
DTPA extractable Zn (mg kg ⁻¹)	
DTPA منگنز عصاره گیری با	0.34
DTPA extractable Mn (mg kg ⁻¹)	
DTPA مس عصاره گیری با	0.44
DTPA extractable Cu (mg kg ⁻¹)	

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر روش کاربرد و سطوح مختلف اسید هیومیک بر غلظت آهن در گیاه کلزا

Table 3- Mean comparison for the application method and different levels of humic acid on iron concentration of canola

عامل آزمایش Experiment factor	آهن کل برگ Total iron of leaf (mg kg ⁻¹)	آهن کل ساقه Total iron of stem (mg kg ⁻¹)	آهن فعال Active iron (mg kg ⁻¹)	نسبت آهن فعال به آهن کل (%) Active iron to total iron Ratio (%)
شاهد Blank مصرف خاکی Soil application	120.50j	54.62e	20.40i	16.93f
1 g kg ⁻¹ soil	175.52i	63.25d	30.40f	17.31e
2 g kg ⁻¹ soil	180.54h	73.12c	32.17e	17.82d
4 g kg ⁻¹ soil	192.31f	78.25b	38.58d	20.06c
مصرف با آبیاری With irrigation water				
1000 mg l ⁻¹	185.07g	62.75d	24.40h	13.18g
2000 mg l ⁻¹	204.61c	85a	44.86a	21.92b
4000 mg l ⁻¹	193.50e	83.32a	44.59a	23.04a
محلول پاشی Spraying				
0.1 %	201.49d	63.12d	25.17g	12.49h
02 %	226.62b	72.87 c	40.32c	17.79d
0.4 %	245.46a	75.37c	42.30b	17.22ef

در هر ستون برای هر تیمار، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هست

In the each column for every treatment, common letters demonstrate not significant at 0.05 probability levels

بیشتر نسبت به برگ‌های سبز می‌باشند. قسمت اعظم آهن اندازگیری شده توسط روش هضم تر در نمونه‌های برگ‌ی غیرفعال بوده و فقط بخش کوچکی از آن که شامل آهن دوظرفیتی می‌باشد در کلروفیل سازی شرکت می‌کند (۴۸). بررسی‌های به عمل آمده توسط محققین مختلف از قبیل کاتیال و شارما (۳۳) بر روی گیاه برنج (*sativa japonica*) و پنبه (*Gossypium*) و منگل و همکاران (۴۵) در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) نشان می‌دهد که مقدار آهن موجود در برگ‌های کلروزه برابر یا بیشتر از مقدار آهن موجود در برگ‌های سبز می‌باشد. همچنین در برگ‌های سبز، غلظت آهن فعال (دوظرفیتی) بیشتر از برگ‌های کلروزه می‌باشد و میزان کلروفیل با آهن دوظرفیتی برگ در مقایسه با آهن کل دارای همبستگی بیشتری است. به طور کلی زرد برگ‌ی ناشی از کمبود آهن، به علت اختلال در جذب و انتقال آهن در گیاه است و این اختلال نیز ناشی از غلظت زیاد یون بی‌کربنات در آپوپلاست سلول می‌باشد که موجب افزایش pH و رسوب آهن در این فضای بین سلولی می‌شود. یون بی‌کربنات همچنین انتقال آهن از رگبرگ‌ها و آپوپلاست به سیتوپلاسم سلول‌های برگ را کاهش می‌دهد. یون آهن برای این که بتواند در گیاه انتقال یابد، باید با کلات‌ها کمپلکس شود (۶۱). مواد هیومیکی اضافه شده به محلول عناصر غذایی، حلالیت عناصر آهن و روی را با تشکیل کمپلکس‌های فلز-هیومیک افزایش می‌دهند. کمپلکس‌های هیومیکی آهن در دسترس گیاه هستند، صرف‌نظر از اینکه آنها از استراتژی اولیه (گیاهان دولپه و گیاهان غیرغلات تک لپه‌ای) و یا استراتژی ثانویه (گیاهان تک لپه‌ای غلات) برای تحریک و دسترسی آهن استفاده می‌کنند (۱۰ و ۱۳). در حقیقت افزایش رشد مشاهده شده در گیاهان تیمار شده با مواد هیومیکی ناشی از افزایش قابلیت دسترسی به آهن می‌باشد (۱۳) مواد هیومیکی، حلالیت هیدروکسیدهای آهن و همچنین حرکت و پویایی‌شان در خاک را افزایش می‌دهند (۱۰). مواد هیومیکی نشان داده‌اند که می‌توانند جایگزین مناسبی برای کی‌لیت کننده‌های مصنوعی آهن مانند EDDHA^۱ در گیاهانی مانند گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum*)، درختان لیمو (*Citrus limonum*) و درختان انگور (*Vitis vinifera*) در خاک آهکی باشند (۶۵). مواد هیومیکی همچنین فعالیت غشای پلاسمای (PM) و آنزیم $H^+ATPase$ را افزایش می‌دهد (۵۹) که می‌تواند منجر به اسیدی شدن ناحیه ریزوسفر ریشه شود که به همین دلیل حلالیت عناصر میکروغذایی افزایش می‌یابد. حکیمی و فرزایمی‌سپهر (۲۴) گزارش کردند اسیدهیومیک احتمالاً با تشکیل کمپلکس‌های فلز-لیگاند بر روی سطوح جذب‌کننده در نمونه خاک‌ها موجب افزایش جذب عناصر میکرو می‌شود.

کاربرد اسیدهیومیک در گیاهان باعث بهبود کارایی جذب عناصر غذایی مخصوصاً افزایش غلظت آهن و نیتروژن در بافت‌های گیاهی شده و راندمان فتوسنتزی را بهبود می‌دهد (۴۴). از مزایای اسیدهیومیک می‌توان به افزایش رشد اندام‌های هوایی و محتوای نیتروژن، رفع کلروز برگ‌ها، بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر ماکرو و میکرو، افزایش فعالیت‌های شبه‌هورمونی و افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی اشاره کرد (۳۰). سانچز و همکاران (۶۵) گزارش کردند که مواد هیومیکی با تحریک بخشیدن به یون‌ها و تأثیر بر متابولیسم و فیزیولوژی گیاه انگور سبب بهبود جذب عناصر آهن و فسفر شده و این امر باعث افزایش وزن حبه می‌شود. حقیقی و کافی (۲۳) بیان داشتند که اسیدهیومیک با افزایش رشد ریشه و سطح تارهای کشنده باعث افزایش جذب عناصری چون پتاسیم، نیتروژن و آهن می‌شود. فرناندزاسکوبار و همکاران (۱۹) در نتیجه یک آزمایش مزرعه‌ای دریافتند که کاربرد مواد هیومیکی انباشتگی پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن را در برگ‌های زیتون افزایش داد. آدانی و همکاران (۱) دریافتند که کاربرد اسیدهیومیک به صورت محلول‌پاشی و کاربرد در خاک موجب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و کارایی عناصر غذایی در گیاه می‌شود.

بیشترین مقدار آهن فعال در تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۴۴/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به روش مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک بود هرچند که با تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۲۰/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). همچنین نسبت میانگین آهن فعال به آهن کل در برگ نشان داد که بیشترین مقدار غلظت آهن برگ به شکل آهن فعال در تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک با میانگین ۲۳/۰۴ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۰/۱ درصد محلول‌پاشی اسیدهیومیک با میانگین ۱۲/۴۹ درصد بود (جدول ۳). معمولاً غلظت عناصر غذایی در بافت سالم بیشتر از غلظت این عناصر در بافت گیاهان کمبوددار است اما این قاعده کلی در مورد آهن صدق نمی‌کند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد، تمامی آهن جذب شده توسط گیاهان مورد استفاده قرار نگرفته و بخشی از آهن جذب شده به فرم ترکیبات نامحلول در می‌آید، لذا در بعضی از موارد آهن کل گیاه معیار مناسبی از حالت تغذیه‌ای آن در گیاه نمی‌باشد. معمولاً آهن سه ظرفیتی در داخل گیاهان در حال رشد غیر متحرک است و فرم فعال آهن در گیاه، آهن دو ظرفیتی می‌باشد (۴۵). از تجزیه برگ‌ی برای تعیین غلظت آهن کل و تشخیص کلروز ناشی از کمبود آهن به کرات استفاده می‌گردد. اما غلظت آهن کل موجود در گیاه ارتباط معناداری با ظهور کلروز ندارد، به گونه‌ای که برگ‌های کلروزه معمولاً دارای میزان آهن برابر یا

1-Ethylenediamine-N, N-bis (2-hydroxyphenyl)acetic acid

محتوای کلروفیل به عنوان شاخص تشخیص کمبود آهن استفاده کرد (۵۷). مهمترین نقش آهن در بیوسنتز کلروفیل کنترل تشکیل گاما آمینولولولینیک اسید، به عنوان پیش ساز مشترک بیوسنتز کلروفیل گروه هیم می باشد و تشکیل آن به وسیله آهن مهار می شود (۲۱). کلروفیل رنگدانه اصلی جذب نور و فتوسنتز است. عناصری نظیر فسفر، نیتروژن، پتاسیم و آهن در تشکیل کلروفیل استفاده می شوند که مصرف اسیدهیومیک موجب فراهمی بیشتر این عناصر برای گیاه می گردد (۳۶). تأثیرات مثبت اسیدهیومیک بر متابولیسم سلول های گیاهی و افزایش مقدار رنگیزه های کلروفیل تأیید شده است. ناسوتی میاندواب و سماوات (۵۴) گزارش کردند که اسیدهیومیک از طریق قدرت کلات کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در اختیار قرار دادن آب و مواد غذایی می تواند ساخت رنگیزه ها را افزایش دهد. جینگ مین و همکاران (۳۱) با بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و اسیدهیومیک بر صنوبر دریافتند که با افزایش آب و استفاده از اسیدهیومیک، مقدار کلروفیل افزایش یافت.

اعمال تیمارها و روش های مختلف اسیدهیومیک موجب افزایش کلروفیل a گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده های مربوط به کلروفیل a نشان داد که بیشترین کلروفیل a با میانگین ۳/۵۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ مربوط به تیمار ۰/۴ درصد محلول پاشی اسیدهیومیک و پس از آن تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر مصرف اسید هیومیک به صورت آب آبیاری با میانگین ۳/۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ گیاه بود و کمترین مقدار آن با میانگین ۲/۱۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ در تیمار شاهد بود (جدول ۴). کلروفیل یک نوع رنگدانه مهم فتوسنتزی است که در جذب و تبدیل انرژی شرکت می کند و عمدتاً شامل کلروفیل a و کلروفیل b می باشد (۷۰). اگرچه Fe جزء ساختاری کلروفیل نیست اما نقش بسیار حیاتی در سنتز کلروفیل دارد. در شرایط کمبود آهن غلظت کلروفیل کاهش می یابد (۱۲). تحت شرایط کمبود آهن، غلظت آهن در برگ ها کاهش یافته که اغلب باعث کاهش قابل توجه سطح کلروفیل می شود. به طور کلی کمبود آهن باعث کلروز برگ ها می شود که نشان دهنده کاهش سطح کلروفیل و رنگدانه های فتوسنتزی است (۲۲). بنابراین می توان از

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر روش کاربرد و سطوح مختلف اسیدهیومیک بر انواع کلروفیل در گیاه کلزا

Table 4 - Mean comparison for the application method and different levels of humic acid on chlorophyll types of canola

عامل آزمایش Experiment factor	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر برگ) Chlorophyll a (mg g ⁻¹)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر برگ) Chlorophyll b (mg g ⁻¹)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر برگ) Total chlorophyll (mg g ⁻¹)
شاهد Blank	2.19g	1.08f	3.28h
مصرف خاکی Soil application			
1 g kg ⁻¹ soil	2.57e	1.31d	3.88f
2 g kg ⁻¹ soil	2.90cd	1.49c	4.39cd
4 g kg ⁻¹ soil	3.03c	1.51c	4.55c
مصرف با آبیاری With irrigation water			
1000 mg l ⁻¹	2.39f	1.19e	3.58g
2000 mg l ⁻¹	3.30b	1.64b	4.94b
4000 mg l ⁻¹	3.23b	1.63b	4.44cd
محلول پاشی Spraying			
0.1 %	2.77d	1.38d	4.16e
02 %	3.37b	1.70b	4.31ed
0.4 %	3.58a	1.79a	5.37a

در هر ستون برای هر تیمار، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هست

In the each column for every treatment, common letters demonstrate not significant at 0.05 probability levels

کلروفیل نقش مستقیمی ندارد اما وجود آهن کافی سبب بهبود کلروفیل سازی در گیاه می‌گردد و وضعیت کلروفیل گیاه می‌تواند در میزان فتوسنتز تأثیرگذار باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد اسیدهیومیک بر آنزیم‌های گیاهی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز در گیاه کلزا در جدول ۵ ارائه شده است. بیشترین مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمارهای ۰/۱ درصد با میانگین $4/20$ (Iu /gr.fw) مربوط به روش محلول‌پاشی اسیدهیومیک و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مصرف اسیدهیومیک همراه با آب آبیاری با میانگین $3/91$ (Iu /gr.fw) و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد با میانگین $2/18$ (Iu /gr.fw) بود (جدول ۵). استفاده از سطوح مختلف اسیدهیومیک میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نسبت به شاهد در هر سه روش مصرف خاکی، مصرف همراه با آب آبیاری و محلول‌پاشی افزایش داد. اما با افزایش غلظت اسیدهیومیک در هر سه روش مصرف از میزان فعالیت این آنزیم کاسته شد (جدول ۵). در شرایط کمبود آهن، بسیاری از آنزیم‌هایی که فعالیت آنها وابسته به آهن است، غیرفعال شده و همین امر سبب تغییرات شدید متابولیکی در گیاه می‌شود (۶۶). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نظیر کاتالاز، پراکسیداز و یک ایزوفرز از سوپراکسید دیسموتاز، به آهن نیاز دارند و قسمتی از سازوکار دفاعی سلول در مقابل گونه‌های واکنشی فعال اکسیژن هستند و معمولاً با افزایش کمبود آهن مقدار آنها کاهش می‌یابد (۲۸ و ۳۹). لومباردی و همکاران (۳۹) نشان دادند که کمبود آهن سبب کاهش ۶۰ و ۹۰ درصدی به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در پیاز گردید. هالین و همکاران (۲۸) نیز کاهش در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را در سویا (*Glycine max*) و لیمو (*Citrus limon L.*) گزارش کردند، به‌گونه‌ای که کمبود آهن سبب ناپدید شدن ایزوفرز Fe-SOD در گیاهان لیمو (*Citrus limon L.*) دچار کمبود شد. کسبا و ال - بلتاگی (۳۴) بیان داشتند که اسیدهیومیک می‌تواند نقش مهمی را در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانت گیاهان ایفا نماید چرا که غلظت‌های پایین اسیدهیومیک می‌تواند سبب تحریک القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نظیر سوپراکسید دیسموتاز گردد و مقدار رادیکال‌های فعال اکسیژن (ROS) را در سلول‌های گیاهی کاهش دهد. چمانی و همکاران (۱۱) گزارش کردند که کاربرد اسیدهیومیک بر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده به‌طوری که کاربرد اسیدهیومیک نسبت به عدم کاربرد آن میزان سوپراکسید دیسموتاز را به میزان $56/4$ درصد کاهش داده است.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف اسیدهیومیک کلروفیل b و کلروفیل کل را به طور معنی‌داری ($p < 0/01$) افزایش داد (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به تیمار محلول‌پاشی اسیدهیومیک با سطح ۰/۴ درصد با میانگین $1/79$ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد با میانگین $1/08$ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بود. بیشترین مقادیر کلروفیل کل نیز مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهیومیک با سطح ۰/۴ درصد با میانگین $5/37$ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ و تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مصرف اسیدهیومیک به صورت آب آبیاری با میانگین $4/94$ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ گیاه بود و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد با میانگین $3/28$ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بود (جدول ۴). افزایش در میزان کلروفیل می‌تواند به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد رویشی گیاه باشد. در بین عناصر غذایی، نیتروژن و آهن سهم مهمی را در افزایش سبزینه گیاه دارد. ایمان و همکاران (۶) اسیدآمین‌ها و اسیدهیومیک را به‌عنوان تسریع کننده رشد، عملکرد و عامل افزایش مقاومت به بیماری‌های قارچی لوبیای رقم فابا کاشته شده در خاک‌های رسی به کار بردند همه صفات مورفولوژیک (به غیر از شاخه‌دهی و برگ‌های گیاه) و عملکرد (به غیر از غلاف و وزن ۱۰۰ دانه) همچنین میزان عناصر پرمصرف و میزان کلروفیل به میزان قابل توجهی به وسیله کاربرد محلول‌پاشی اسیدهیومیک ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. سبزواری و خزاعی (۶۳) اثر اسیدهیومیک را در پنج غلظت، بر عملکرد و کیفیت گندم (*Triticum aestivum L.*) به صورت تیمار محلول‌پاشی و مصرف خاکی بررسی کردند و دریافتند که اسیدهیومیک اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل برگ‌ها داشت و مقادیر ۲۰ میلی‌لیتر در لیتر اسیدهیومیک چه به‌صورت محلول‌پاشی چه به‌صورت مصرف خاکی بیشترین کلروفیل برگ را سبب شد. ال‌سیونی و همکاران (۱۷) دریافتند که محلول‌پاشی اسیدهیومیک در لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) سبب افزایش پروتئین و کلروفیل در گیاه از طریق افزایش سرعت و میزان جذب مواد غذایی شد. کاراکورت و همکاران (۳۲) کاربرد خاکی و محلول‌پاشی اسیدهیومیک بر عملکرد و کیفیت فلفل (*Capsicum annum L.*) را بررسی کرده و دریافتند که کاربرد اسیدهیومیک میزان کلروفیل کل و بویژه کلروفیل b را افزایش داد. در مطالعه‌ای یانگ و همکاران (۷۳) گزارش کردند که اسیدهیومیک بیش از اسیدفولیک و هیومین بر فعالیت کلروفیل b تأثیر می‌گذارد. همچنین سونگ و همکاران (۶۹) گزارش کردند که کلروز ناشی از کمبود آهن باعث کاهش مقدار کلروفیل a و b می‌شود. ملکوتی و همکاران (۴۰) گزارش کردند که عنصر آهن در ساختار

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر روش کاربرد و سطوح مختلف اسیدهیومیک آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتینون پراکسیداز در گیاه کلزا

Table 5 - Mean comparison for the application method and different levels of humic acid on SOD, CAT and GPX of canola

عامل آزمایش Experiment factor	سوپراکسید دیسموتاز SOD ($\text{Iu gr}^{-1}.\text{fw}^{-1}$)	کاتالاز CAT ($\text{Iu gr}^{-1}.\text{fw}^{-1}$)	گلوکاتینون پراکسیداز GPX ($\text{Iu gr}^{-1}.\text{fw}^{-1}$)
شاهد Blank	2.18f	2.41f	0.80f
مصرف خاکی Soil application			
1 g kg ⁻¹ soil	3.05ed	3.79c	1.36c
2 g kg ⁻¹ soil	3.01ed	3.27d	1.10d
4 g kg ⁻¹ soil	2.80e	2.58f	0.87ef
مصرف با آبیاری With irrigation water			
1000 mg l ⁻¹	3.91b	4.46a	1.77b
2000 mg l ⁻¹	3.50c	3.78c	1.40c
4000 mg l ⁻¹	3.26cd	2.81e	1.19d
محلول‌پاشی Spraying			
0.1 %	4.20a	4.19b	1.95a
02 %	3.87b	2.24d	1.31c
0.4 %	2.40f	2.90e	0.96e

در هر ستون برای هر تیمار، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هست

In the each column for every treatment, common letters demonstrate not significant at 0.05 probability levels

کاتالاز و پراکسیدازها که در شرایط کمبود آهن، فعالیت هر دو آنزیم کاهش می‌یابد. بنابراین فعالیت این آنزیم‌ها شاخص مناسب وضعیت غذایی آهن در گیاهان است (۴۲). در پژوهشی که پیرامون اثرهای زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی کمبود آهن در پایه‌های هلو انجام شد، گزارش شد که هر دو آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز به کمبود آهن ناشی از حذف آهن از محیط کشت و یا کمبود آهن ناشی از حضور بی‌کربنات، بسیار حساس بودند (۳۹). مطالعات دیگر نیز کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در پیاز (*Allium sativum*) (۴۱) و کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در سویا (*Glycine max*) و لیمو (*Citrus limon* L.) در اثر کمبود آهن را نشان داده‌اند (۲۸). بنابراین می‌توان بیان نمود که در گیاهان، مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن، یعنی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز، آنزیم‌های حاوی عنصر آهن هستند. پیوندی و همکاران (۵۸) نیز گزارش کردند تیمارهای نانو کود کلات آهن و نانو آهن اعمال شده باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی (کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز) نسبت به شاهد شد، اما با افزایش غلظت نانو کود کلات آهن و نانو آهن از میزان فعالیت این آنزیم‌ها کاسته شد. احمدیان و همکاران (۳) گزارش کردند اسیدهیومیک با افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند نفوذپذیری، تهویه، دانه‌بندی، ظرفیت

بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۴/۴۶ (Iu /gr.fw) مربوط به روش مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۲/۴۱ (Iu /gr.fw) بود (جدول ۵). استفاده از سطوح مختلف اسیدهیومیک میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به شاهد در هر سه روش مصرف خاکی، مصرف همراه با آب آبیاری و محلول‌پاشی افزایش داد. اما با افزایش غلظت اسیدهیومیک از میزان فعالیت این آنزیم‌ها کاسته شد (جدول ۵). آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز، از مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن در گیاهان هستند، زیرا آن‌ها حاوی آهن هستند و فعالیت آن‌ها تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (۶۸). سان و همکاران (۷۱) کاهش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز، در شرایط کمبود آهن را گزارش کردند. کمبود آهن در گیاهان نه تنها موجب کلروز می‌شود، بلکه فعالیت آنزیم‌های مشخصی مانند کاتالاز و پراکسیداز را نیز کاهش می‌دهد. زیرا این آنزیم‌ها دارای آهن پورفیرین هستند و به عنوان گروه‌های پروستتیک، نقش ویژه‌ای را در متابولیسم گیاهی ایفا می‌کنند (۷). همچنین آهن در سنتز پروتئین گیاهی نقش اساسی دارد. شناخته شده‌ترین پروتئین‌های هیم، سیتوکروم‌ها هستند که به عنوان گروه پروستتیک دارای ترکیبات پیچیده آهن هیم پرفیرین می‌باشند. دیگر آنزیم‌های هیم عبارتند از

مختلف محلول‌پاشی اسیدهیومیک اثر معنی‌دار بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت منجمله گلوکاتایون پراکسیداز و کاتالاز دارد. هم‌چنین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز برگ‌های جوان نیز با افزایش شدت زردبرگی کاهش یافت. محصلی و همکاران (۵۰) گزارش کردند که فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در بارهنگ در شرایط حضور آلایندہ ها در هوا کاهش یافت در حالیکه انتظار می‌رود در شرایط تنش، فعالیت این آنزیم‌ها در گیاه افزایش یابد اما چون فعالیت این آنزیم‌ها در گیاه تحت تأثیر غلظت آهن می‌باشد بنابراین، کاهش فعالیت آن‌ها در گیاه مشاهده شد.

همبستگی ساده بین آهن با انواع کلروفیل و آنزیم‌های گیاهی

بین کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل ضریب همبستگی بالایی $r = 0.99$ وجود داشت. بین انواع کلروفیل با میزان آهن کل برگ، میزان آهن کل ساقه و میزان آهن فعال همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد اما بین انواع کلروفیل با آنزیم‌های گیاهی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز همبستگی منفی معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶) که امری منطقی و قابل قبول است به این دلیل که کلروفیل شاخص مناسبی از فتوسنتز و تولید در گیاه می‌باشد. هر اندازه که کلروفیل گیاه بیشتر باشد مقدار آنزیم‌های گیاهی کاهش می‌یابد. بین میزان آهن کل برگ با میزان آهن کل ساقه، میزان آهن فعال و آنزیم‌های گیاهی همبستگی معنی‌دار وجود نداشت اما بین میزان آهن فعال و آنزیم‌های گیاهی کاتالاز $(r = -0.72)$ و گلوکاتایون پراکسیداز $(r = -0.67)$ همبستگی منفی معنی‌داری در سطح 0.05 دیده شد (جدول ۶).

میزان آهن فعال و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که به نحوی نشان دهنده میزان آهن درون سیتوپلاسم سلول اند، شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی تحمل به کمبود آهن در مقایسه با سنجش آهن کل می‌باشند. کمبود آهن می‌تواند منجر به ایجاد محدودیت در ظرفیت چرخه انتقال الکترون و به دنبال آن کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II و کاهش کلروفیل شود که این امر در تحقیقات مورالس و همکاران (۵۲) در چغندر قند نیز ثابت شده است. تحقیقات مورالس و همکاران (۵۲) در چغندر قند نیز نشان داد که کمبود آهن منجر به کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل و کاروتنوئید در واحد سطح برگ شده است. محمدی و همکاران (۴۷) گزارش کردند که همبستگی منفی بین کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با آنزیم‌های گیاهی سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز وجود دارد، به طوری که با کم شدن مقدار کلروفیل مقدار آنزیم‌های گیاهی مذکور افزایش می‌یابند. بلادی و همکاران (۸) گزارش کردند که همبستگی منفی بین کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با آنزیم

نگهداری آب در خاک، تحرک و در دسترس قرار دادن مواد غذایی و از طریق فعالیت شبه‌هورمونی سبب افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه می‌شود. هم‌چنین اسیدهیومیک مانند تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین و سایتوکنین عمل می‌کند و سبب بهبود تحمل به تنش‌های مختلف، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و در نهایت کیفیت گیاه می‌شوند. کیانی چالمردی و عبدل زاده (۳۸) گزارش کردند که کمبود آهن منجر به کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز بخش هوایی به عنوان آنزیم پالایندہ H_2O_2 و کاهش فعالیت پراکسیداز دیواره‌ای ریشه و بخش هوایی شد. در واقع می‌توان گفت که با توجه به نقش اسیدهیومیک در فراهمی و جذب آهن (۱۴) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاهش می‌یابد. دخالت آهن در فرآیندهای مهم سلول، برای مثال در تشکیل کلروفیل و رشد کلروپلاست (۴۲) کاهش رشد گیاهان در شرایط کمبود آهن قابل توجیه است.

بیشترین مقدار آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در تیمارهای 0.1 درصد با میانگین $1/95$ ($Iu / gr.fw$) مربوط به روش محلول‌پاشی اسیدهیومیک می‌باشد که از لحاظ آماری ارتباط معناداری با تیمار 1000 میلی‌گرم در لیتر مصرف اسیدهیومیک همراه با آب آبیاری با میانگین $1/77$ ($Iu / gr.fw$) داشت و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد با میانگین 0.80 ($Iu / gr.fw$) بود (جدول ۵). استفاده از سطوح مختلف اسیدهیومیک میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز را نسبت به شاهد در هر سه روش مصرف خاکی، مصرف همراه با آب آبیاری و محلول‌پاشی افزایش داد. اما با افزایش غلظت اسیدهیومیک از میزان فعالیت این آنزیم کاسته شد (جدول ۵). گلوکاتایون پراکسیداز در کاهش پیشرفت علائم تنش شرکت می‌کند، این آنزیم هم‌چنین برای فرآیند سازش و القای تحمل به تنش مورد نیاز می‌باشد به طوری که اکثر تنش‌های غیرزیستی، غلظت گلوکاتایون پراکسیداز را در گیاه افزایش می‌دهند که به نقش آن در پیام‌رسانی تنش اشاره دارد (۵۵). آهن به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های نظیر کاتالاز و پراکسیداز در پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی سلول‌ها نقش دارد (۶۷). علاوه بر این آهن یک جزء جدایی‌ناپذیر یا کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مانند کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، گلوکاتایون رداکتاز (GR) و آهن - سوپر اکسید دیسموتاز (Fe-SOD) است (۲۵). خوش‌گفتارمنش و همکاران (۳۷) از فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز برگ‌ها به عنوان شاخص مناسب ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای آهن نام بردند که همبستگی نزدیکی با شدت ظاهری زردبرگی درختان چنار داشت. لذا می‌توان از فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در تشخیص زردبرگی ناشی از کمبود آهن در درختان چنار استفاده کرد. سالاما و همکاران (۶۴) گزارش کردند که فعالیت ایزوآنزیم‌های پراکسیداز برگ‌های سویا و آفتابگردان در محلول غذایی فاقد آهن در فرآیند خنثی - سازی پراکسید هیدروژن کاهش یافت. اندالیو و همکاران (۱۸) در آزمایش‌های خود در گیاه ذرت چنین نتیجه‌گیری نمودند که سطوح

سوپراکسید دیسموتاز وجود داشت به طوری که با کم شدن مقدار کلروفیل فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت که احتمالاً تنش اکسیداتیو است.

جدول ۶- ضریب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه

Table 6- Simple correlations coefficients between studied traits

کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	آهن کل برگ Total iron of leaf	آهن کل ساقه Total iron of stem	آهن فعال Active iron	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidase
کلروفیل a Chlorophyll a	1							
کلروفیل b Chlorophyll b	0.99**	1						
کلروفیل کل Total chlorophyll	0.99**	0.99**	1					
آهن کل برگ Total iron of leaf	0.80**	0.77*	0.79*	1				
آهن کل ساقه Total iron of stem	0.75*	0.74*	0.74*	0.27ns	1			
آهن فعال Active iron	0.88**	0.88**	0.88**	0.50ns	0.91**	1		
سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	-0.39ns	-0.41ns	-0.37ns	-0.15ns	-0.39ns	-	1	
کاتالاز Catalase	-0.68*	-0.70*	-0.68*	-0.31ns	-0.66*	-0.72*	0.71*	1
گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidase	-0.58ns	-0.61ns	-0.58ns	-0.22ns	-0.61ns	-0.67*	0.87**	0.91**

ns, * and **: Nonsignificant and significant at 5% and 1% level of probability respectively

ns, * and **: Nonsignificant and significant at 5% and 1% level of probability respectively

نتیجه گیری

مربوط تیمار ۰/۱ درصد محلول پاشی اسیدهیومیک و بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین ۴/۴۶ (Iu /gr.fw) مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر مصرف همراه با آب آبیاری بود. استفاده از سطوح مختلف اسیدهیومیک میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز را نسبت به شاهد در هر سه روش مصرف خاکی، مصرف همراه با آب آبیاری و محلول پاشی افزایش داد، اما با افزایش غلظت اسیدهیومیک از میزان فعالیت این آنزیم ها کاسته شد. بین میزان آهن کل برگ با میزان آهن کل ساقه، میزان آهن فعال و آنزیم های گیاهی همبستگی معنی دار وجود نداشت اما بین میزان آهن فعال و آنزیم های گیاهی کاتالاز ($r=-0.72$) و گلوتاتیون پراکسیداز ($r=-0.67$) همبستگی منفی معنی داری در سطح ۰/۰۵ دیده شد. برای آگاهی از چگونگی اثرات و مکانیسم اسیدهیومیک بر روی بهره‌وری عناصر غذایی و یا بر فعالیت آنزیم های گیاهی لازم است که کاربرد انواع مختلف از محرک های زیستی از

عناصر کم مصرف نقش مهمی را به عنوان کوفاکتور در ساختمان تعدادی از آنزیم های آنتی اکسیدان ایفا می نمایند. بنابراین هنگامی که گیاهان با کمبود این عناصر مواجه باشند فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کاهش یافته و حساسیت به تنش های محیطی افزایش می یابد. تنش های اکسیداتیو باعث کاهش تولید کلروفیل می شود که پیامد آن آسیب به دستگاه فتوسنتزی است. نتایج این پژوهش نشان داد که روش های مختلف استفاده از اسیدهیومیک باعث افزایش فرآهمی آهن، انواع کلروفیل و آنزیم های گیاهی در گیاه کلزا (رقم هایولا ۳۰۸) شد. بیشترین میزان آهن کل ساقه و میزان آهن فعال به ترتیب با میانگین ۸۵ و ۴۴/۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر مصرف همراه با آب آبیاری اسیدهیومیک بود. بیشترین مقدار فعالیت آنزیم های گیاهی سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز به ترتیب با میانگین ۴/۲۰ و ۱/۹۵ (Iu /gr.fw)

کشاورزی‌های مدرن و پایدار با بهره‌برداری از انواع محرک‌های زیستی مانند اسید هیومیک برداشته شود.

جمله مواد هیومیکی در آزمون‌های آزمایشگاهی با مقیاس کوچک، سپس در آزمایش‌های گلخانه‌ای و نهایتاً در شرایط مزرعه مورد آزمون و بهره‌برداری قرار بگیرند و بدین ترتیب گامی نو در نیل به

منابع

- Adani F., Genevini P., Zaccheo P., and Zocchi G. 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (3): 561-575.
- Aebi H., 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105: 121-126.
- Ahmadian A., Ghanbary A., Gluy M., Siyahsar B., and Arazmjoo A. 2010. Different irrigation regimes and manure on the elements essential oil content and chemical composition cumin. *Ecophysiology of Crop Plants and Weeds*, 16: 83-94.
- Aiken G.R., McKnight D.M., Wershaw R.L., and MacCarthy P. 1985. Humic substances in soil, sediment, and water: geochemistry, isolation, and characterization. Wiley-Interscience.
- Arnon D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1): 1-15.
- Ayman M., Kamar M., and Khalid M. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2): 731-739.
- Bannister J.V., Bannister W.H., and Rotills G. 1987. Aspects of the structure, function and application of superoxide dismutase. *Critical Reviews in Biochemistry*, 22: 110-180.
- Beladi S.M., Habibi D., Kashani A., Paknezhad F., and Golshan M. 2010. Effect review lead and copper on Chlorophyll content, lipid membrane, relative water content and super oxidizedismutase activity at plant species guller (*Lathyrus sativus*). *The Crop Ecophysiology Publication*. 2(2): 66-74. (In Persian with English abstract).
- Castro L., Garcia-Balboa C., Gonzalez F., Bahhester A., Luisa Blazquez M., and Muniz J.A. 2013. Effectiveness of anaerobic iron bio-reduction of jarosite and the influence of humic substances. *Hydrometallurgy*, 131: 29-33.
- Cesco S., Reomheld V., Varanini Z., and Pinton R. 2000. Solubilization of iron by water extractable humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163: 285-290.
- Chamaani F., Habibi D., Khodabande N., Davoudifard M., and Asgharzade A. 2012. Effects of salinity stress on growth and antioxidant enzyme activity of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonas putida*) and humic acid. *Journal Agricultuer and Plant Breeding*, 8(3): 39-55. (In Persian).
- Chatterjee C., Gopal R., and Dube B.K. 2006. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Scientia Horticulturae*, 108:1-6.
- Chen Y., Clapp C.E., and Magen H., 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo-iron complexes. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50: 1089-1095.
- De Santiago A., and Delgado A. 2007. Effects of humic substances on iron nutrition of lupin. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 829-836.
- Donnini S., Dellorto M., and Zocchi G. 2011. Oxidative stress responses and root lignification induced by Fe deficiency conditions in pear and quince genotypes. *Tree Physiology*, 31: 102-113.
- Dursun A., Guvenc I., and Turan M. 2002. Effect of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobotanical*, 56: 81-88.
- El-Bassiony A.M., Fawzy Z.F., El-Baky M.A., and Mahmoud A.R. 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(2):169-175.
- Endalew E.K., Kiros Y., and Zanzi R. 2011. Heterogenous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil. *Energy*, 36(5): 2693-2700.
- Fernandez-Escobar R., Benlloch M., Barranco D., Duenas A., and Gañán J.G. 1996. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*, 66 (3-4): 191-200.
- Ferrara G., Pacifico A., Simeone P., and Ferrara E. 2008. Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on 'Italia' table grape. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42: 79-87.
- Ghorbanli M., and Babalar M. 2003. Mineral Nutrition of Plants. Tarbiat Moallem University, Tehran Publication, Iran. (In Persian).
- Gogorcena Y., Abadía A., and Abadía A. 2004. A new technique for screening iron-efficient genotypes in peach rootstocks: elicitation of root ferric chelate reductase by manipulation of external iron concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 1701-1715.
- Haghighi M., and Kafi M. 2010. Effect of humic acid on cadmium accumulation, nitrate and changes activity of nitrate reductase enzymes in lettuce. *Journal of Horticultural Science*, 24(1): 53-58. (In Persian).

24. Hakimi L., and Farzami sepeher M. 2013. Copper and copper accumulations of iron, copper and antioxidant response of dominant plant species around Sorkhe mine in Marand city. *Plant Environment Physiology (Iranian Plant Ecophysiology Research)*, 10(40): 21-30. (In Persian).
25. Halliwell B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology*, 141: 312-322.
26. Harper S.M., Kerven G.L., Edwards D.G., and Ostatek-Boczynski Z. 2000. Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* and from decomposed hay. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 1331-1336.
27. Hartwigsen J. A., and Evans M. R. 2000. Humic acid seed and substrate treatments promote seedling root development. *Horticultural Science*, 35(7): 1231-1233.
28. Hellin E., Hernandez-Cortez J.A., Piqueras A., Olmos E., and Sevilla F. 1995. The influence of the iron content on the superoxidedismutase activity and chloroplast ultrastructure of *Citrus limon* in iron nutrition in soil and plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(3-7): 211-229.
29. Hopkins J., and Tudhope G.R. 1973. Glutathione peroxidase in human red cells in health and disease. *British Journal of Haematology*, 25: 563-575.
30. Jahan M., ghalenoei Sh., Khamoshi A., and Amiri M. 2015. Investigation Agro-ecological Features of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of application water super absorbent, humic acid and irrigation periods. *Journal of Horticultural Science*, 29 (2): 240-254. (In Persian).
31. Jing-min Z., Shang-jun X., Mao-peng S., Bingyao M., Xiu-mei C., and Chunsheng L. 2010. Effect of Humic acid on poplar physiology and biochemistry properties and growth under different water level. *J. Soil Water Conserv. Journal of Plant Physiology*, 24: 1-150.
32. Karakurt Y., Unlu H., Unlu H., and Padem H. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant science*, 59(3): 233-237.
33. Katyal J.C., and Sharma B.D. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil*, 55: 105-119.
34. Kesba H.H., and El-Beltagi H.S. 2012. Biochemical changes in grape rootstocks resulted from humic acid treatments in relation to nematode infection. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(4): 287-293.
35. Khayyat M., Tafazoli E., Eshghi S., and Rajaei S. 2007. Effect of nitrogen, boron, potassium and zinc spray on yield and fruit quality of date palm. *American- Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 2 (3): 289- 296.
36. Khoram Ghahfarokhi A., Rahimi A., Torabi B., and Maddah Hosseini Sh. 2015. Effect of humic acid application and foliar spraying of compost tea and vermiwash on nutrient absorption and chlorophyll content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Oil Plants Production*, 2(1): 71-84. (In Persian with English abstract).
37. Khoshgofarmanesh A.H., Eshghizadeh H. R., Sanaei Ostovar A., Mirlohi M.S. and Taban M. 2013. Physiological Indices of Iron Chlorosis of Plane Trees (*Plantanus orintalis* L.) in Green Space of Isfahan City. *Journal of Soil and Water Sciences*, 17(64):19-31. (In Persian with English abstract).
38. Kiani Chalmardi Z., and Abdul Zadeh A. 2013. The role of silicon in reduction of iron deficiency and toxicity in hydroponics cultivation of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Greenhouse Crop Science and Technology*, 3(4): 79-89. (In Persian with English abstract).
39. Lombardi L., Sebastiani L., and Vitagliano. C. 2003. Physiological, Biochemical and Molecular Effects of in vitro induced iron deficiency in peach rootstock. *Journal of Plant Nutrition*, 26: 2149-2163.
40. Malakouti M., and Tehrani M. 1999. The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of agricultural products (their elements with a large impact). Tarbiat Modares University publication.
41. Manthey J.A., Tisserat B., and Crowley D. E., 1996. Root responses of sterile grown onion plants to iron deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 19: 145-161.
42. Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2th Ed.). Academic Press, London.
43. Mazaherinia Sh., Astarai A.R. Monshi A., and Fotovat A. 2011. A comparison of uptake and concentration of iron (Fe) in wheat (*Triticum aestivum* L.) plant using ordinary and nano iron oxides. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, 92: 103-111. (In Persian with English abstract).
44. Mengel K., and Kirby E.A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Bern.
45. Mengel K., Planker R., and Hofman B. 1994. Relationship between leaf appoplastic pH and iron chlorosis of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 17:1053-1065.
46. Minami M., and Yoshikawa H. 1979. A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. *Clinica Chimica Acta*, 92: 337-342.
47. Mohamadi M., Habibi D., Ardakani M.R., and Asgharzade A. 2010. Effect application of biological fertilizers, humic acid and super absorbent polymer on Chlorophyll content, lipid membrane and catalase and super oxidizedismutase activity in plant species annual medic (*Medicago scutellata*) under toxicity cadmium. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 6(2): 65-79. (In persain).

48. Mohammadi M., and Moezi A. 2006. Evaluation of Fananthrin method for determining Fe^{2+} concentration in citrus leaves. *Scientific Journal of Agriculture*, 29:4:57-67. (In Persian).
49. Mohammdkhani N., and Heidari R. 2007. Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10 (21): 3835-3840.
50. Mohsali V., Khoshtakar Manesh A.H., and Shariatmadari H. 2016. Influence of distance from air contaminating source on iron nutritional status of plantain in Shiraz. *Journal of Soil Research (Soil and Water Science)*, 30(3): 295-304. (In Persian with English abstract).
51. Molassiotis A., Tanou G., Diamantidis G., Patakas A., and Therios I. 2006. Effects of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction mechanism, photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense in two peach rootstocks differing in Fe deficiency tolerance. *Plant Physiology*, 163: 176-185.
52. Morales F., Abadía A., and Abadía J. 1998. Photosynthesis, quenching of chlorophyll fluorescence and thermaenergy dissipation in iron-deficient sugar beet leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 25: 403-412.
53. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., and Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higherplants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34:11 1527-1536.
54. Nasooti Miandoab R., Samavat S., and Tehrani M.M. 2010. Humic acid fertilizer on plants and soil properties. *AgriFood*, 101: 53-55. (In Persian).
55. Nurdin S., Misebah F.A., Haron S.F., Ghazali N.S., and Gimbun J. 2014. A cost-effective catalyst for biodiesel synthesis from Rubber and *Jatropha curcas* seeds. Oil for synthesizing biodiesel by KOH supported on coconut shell activated carbonoil. *Chemical Engineering and Applications*, 5(6): 483-488.
56. Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Chemical and microbiological properties. *Methods of soil analysis*. Part, 2. ASA, SSSA, Madison, WI.
57. Pestana M., De Varennes A., Abadía J., and Faria E.A. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 104(1): 25-36.
58. Peyvandi M., Kamali Jamakani Z., and Mirza M. 2011. Effect of Iron Nanoclat with Iron Chelate on Growth and Antioxidant Activity of *Satureja Hortensis*. *New Molecular Cell Biotechnology*, 2(5): 25-32. (In Persian).
59. Pinton R., Cesco S., Iacoletti G., Astolfi S., and Varanini Z. 1999. Modulation of NO uptake by water- extractable humic substances: involvement of root plasma membrane H ATPase. *Plant and Soil*, 215: 155-161.
60. Rahii A., Davvodi Fard M., Azizi F., and Habiby. D. 2012. Effects of different amounts of humic acid and response curves in the *Dactylis glomerata*. *Agriculture and Plant Breeding Journal*, 8(3): 28-15. (In Persian).
61. Romheld V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grape vine. *Journal of Plant Nutrition*, 13: 1629-1643.
62. Roozbahani A., Ghorbani S., Mirzaei M., and Aerojnia S. 2013. The effect of soil application of humic acid and fluvic acid on yield and yield component of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 9(2): 25-33. (In Persian).
63. Sabzavari S., and Reza Khazaei H. 2009. Effect of spraying various levels of humic acid on growth characteristics, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) Pishtaz cultivar. *Agricultural Ecology*, 1(2): 53-63. (In Persian with English abstract).
64. Salama Z.A.E., El-Beltagi H.S., and El-Hariri D.M. 2009. Effect of Fe deficiency on Antioxidant system in leaves of three flax cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(1): 122-128.
65. Sanchez Sanchez A., Sanchez Andreu J., Juarez M., Jorda J., and Bermudez D. 2006. Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. *Journal of Plant Nutrition*, 29(2): 259-272.
66. Schoenwiss D.F., 1973. Correction of lime induced chlorosis of Pin Oak by liquid soil injection. *HortScience*, 8(4): 333- 334.
67. Shah K., Kumar R.G., Verma S., and Dubey R.S. 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxidation generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Science*, 161: 1135-1144.
68. Shigeoka S., Ishikawa T., Tamoi M., Miyagawa Y., Takeda T., and Yabuta Y. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1305-1319.
69. Song Y.L., Dong Y.J., Tian X.Y., Wang W.W., and He Z.L., 2017. Effects of nitric oxide and Fe supply on recovery of Fe deficiency induced chlorosis in peanut plants. *Biologia Plantarum*, 61(1): 155-168.
70. Stenbaek A., and Jensen P. E. 2010. Redox regulation of chlorophyll biosynthesis. *Phytochemistry*, 71(8-9):853-859.
71. Sun B., Jing Y., Chen K., Song L., Chen F., and Zhang L. 2007. Protective effect of nitric oxide on iron deficiency-induced oxidative stress in maize (*Zea mays*). *Journal of Plant Physiology*, 164: 536-543.
72. Tan K.H. 2003. *Humic Matter in Soil and Environment: Principles and Controversies*. CRC Press, New York.
73. Yang C.M., Wang M.C., Lu Y.F., Chang F., and Chou C.H. 2004. Humic substances affect the activity of chlorophylls. *Journal of Chemical Ecology*, 30: 1057-1065.



Effect of Humic Acid on Physiological Indices of Iron Deficiency in Canola (*Brassica napus*) (cv. Hyola 308)

T. Nazari¹ - M. Baranimotlagh^{2*} - E. Dordipour³ - R. Ghorbani Nasrabadi⁴ - S. Sefidgar Shahkolaei⁵

Received: 02-07-2018

Accepted: 07-10-2018

Introduction: Fe is the first identified micronutrient for crops and required in higher amount than other micronutrients. Fe plays important roles in enzyme metabolism, protein metabolism, chlorophyll construction, chloroplast evolution, photosynthesis, respiration and reduction-oxidation reaction as well as organic acids metabolism. Iron, as an essential micronutrient, has great contribution in important antioxidant enzymes activity and through which affects plant tolerance against environmental stresses. Plant enzymes including superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase are among the most important enzymes scavenging the hydrogen peroxide have iron in their structure, so they affected by iron deficiency. In this study, the effect of soil, foliar and fertigation application of humic acid on iron availability, chlorophyll types and superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase enzymes in canola (Hyola 308) were evaluated.

Materials and Methods: The soil was air-dried and ground to pass through a 2-mm sieve then was analyzed to determine various soil physico-chemical properties using standard methods. A greenhouse experiment as a completely randomized design was carried out consisting of 10 treatments and 4 replications. Treatments included humic acid soil application at three levels (1, 2 and 4 g kg⁻¹ soil), spraying at three levels (0.1, 0.2 and 0.4%) and with fertigation at three levels (1000, 2000 and 4000 mg L⁻¹) and control treatment (without humic acid). Soil application in the form of humic acid powder and in cropping time based on the soil weight of the pots and treatments as spraying and consumption along with irrigation water were divided into three equal parts and used in three stages (plant establishment, stem elongation and flowering). Spraying was performed at the end of the day and in order to make it more effective, several drops of moyan (foliar soap) were used to wet the leaves. After the soil had been prepared, ten seeds of canola were planted approximately 20 mm deep in the center of the pots and Thinning was done to remain four plants pot⁻¹ at plant establishment. Distilled water was used to maintain moisture contents of the soil in all the pots during the experimental period. Plant stem and leaves were Harvested at 139 days after planting, washed with distilled water and dry with tissue paper Plant stem and leaves were Harvested at 139 days after planting, washed with distilled water and dry with tissue paper. The leave and stem samples were air-dried and then oven dried at 65°C to a constant weight in a forced air driven oven. Then the total Fe content of leaf and stem was determined after dry ashing. In addition, before harvesting, active iron, concentration of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase enzymes were determined in fresh leaves. The analysis of variance (ANOVA) were performed using a completely randomized design. Significantly different treatment means were separated using least significant difference (LSD) test at P<0.05

Results and Discussion: Results showed that highest total iron content in plant leaves was obtained in 0.4 percent foliar application and the lowest was belonged to control treatment. Highest iron content in plant stem and active iron was obtained in humic acid application through irrigation at 2000 mg L⁻¹ by 85 and 44.86 mg kg⁻¹, respectively, and lowest amounts were obtained in control by 54.62 and 20.40 mg kg⁻¹. Also, greatest concentration of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll were recorded under 0.4 percent humic acid foliar application by 3.58, 1.79 and 5.37 and the lowest chlorophyll contents were associated to control. Highest activities for plant enzymes superoxide dismutase and glutathione peroxidase were obtained under 0.1 percent foliar application of humic acid by 4.20 and 1.95 (Iu/gr. FW) and the highest activity for catalase enzyme by 4.46 Iu/gr FW in 1000 mg L⁻¹ humic acid through was

1, 2, 3, 4 and 5 M. Sc Graduated, Associate Professors, Assistant Professor and PhD Graduated, Department of Soil Sciences, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Respectively
(* - Corresponding Author Email: mbarani@gau.ac.ir)

irrigation and the lowest enzyme activity obtained in control treatment. Findings showed that application of various levels of humic acid increased plant enzyme activity compared to control in all of three application method (soil, foliar and application through irrigation water). Increasing humic acid concentration decreased enzyme activities. Also, there was negative correlation between activity of plant enzymes and concentration of chlorophyll types and active iron.

Conclusions: Active iron and antioxidant enzymes represent iron status within cell cytoplasm. Based on the results of this study, active iron concentration and activity of antioxidant enzymes are appropriate indices for evaluating plant tolerance to iron deficiency compared to assessing total iron content in leaves.

Keywords: Active iron, Chlorophyll, Humic acid, Plant enzymes

تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک با استفاده از زمین آمار و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی بافت خاک

فرخ اسدزاده^۱ - کمال خسروی اقدم^{۲*} - نفیسه یغمائی‌ان مهابادی^۳ - حسن رمضان پور^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸

چکیده

شناخت توزیع فضایی و تغییرپذیری مکانی بافت خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های خاک‌شناخت، ویژگی اساسی جهت مدیریت بهینه اراضی تلقی می‌شود که آگاهی دقیق از این تغییرات مکانی به استفاده بهینه از زمین و در نهایت افزایش تولیدات کشاورزی منجر خواهد شد؛ بنابراین این مطالعه با هدف افزایش دقت تخمین بافت خاک به کمک تصاویر ماهواره تراه، سنجنده مادیس انجام شد. در این راستا، نمونه‌برداری برای تخمین بافت خاک سطحی در ۶۰ نقطه به روش تصادفی سیستماتیک در منطقه مطالعاتی واقع در شرق آذربایجان شرقی، انجام شد. بعد از تجزیه آزمایشگاهی ذرات معدنی با روش هیدرومتری، بافت خاک تعیین گردید، سپس به بررسی همبستگی اجزای معدنی خاک با باندهای SWIR ماهواره تراه، سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر در جهت کاهش خطای RMSE و MAE در تخمینگر زمین آماری کوکریجینگ پرداخته شد و رابطه رگرسیونی گام به گام چندگانه خطی بین باندهای SWIR و ذرات معدنی خاک ارائه شد، همچنین رابطه رگرسیونی بین سطوح تخمینی کوریجینگ و کوکریجینگ از طریق تفاضل آن‌ها به دست آمد. در انتها پهنه‌بندی بافت خاک به کمک پیش‌بینی کوکریجینگ از سه جزء معدنی خاک انجام شد. نتایج نشان داد که از بین باندهای SWIR، باند سه دارای بیشترین همبستگی با ذرات معدنی خاک می‌باشد و استفاده از این متغیر کمکی، مقدار خطای تخمین RMSE را برای ذرات شن، سیلت و رس را به ترتیب ۲/۸۱، ۲/۷۳ و ۲/۰۶ و خطای تخمین MAE را به ترتیب ۰/۰۱۱، ۰/۰۲۵ و ۰/۱۳۶ کاهش می‌دهد. برازش مدل‌های تئوریک نشان داد که بهترین مدل نیم تغییرنا برای رس، سیلت و شن به ترتیب کروی، کروی، نمایی و برای نیم تغییرنا مقابل به ترتیب کروی، نمایی و نمایی می‌باشد، همچنین بیشترین خطای تخمین مربوط به شن و کمترین خطای تخمین مربوط به رس می‌باشد، که متغیر کمکی باند ۳ سنجنده مادیس در پایین آوردن خطای تخمین بیشترین و کمترین اثر را به ترتیب در تخمین مربوط به شن و رس دارد، همچنین نتایج نقشه کوکریجینگ بافت خاک، با بافت‌های خاک تعیین شده در آزمایشگاه به میزان ۷۰ درصد همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه ذرات، رگرسیون گام به گام چند چندگانه خطی، سنجنده مادیس، کوریجینگ، کوکریجینگ

مقدمه

سطح فامیل و برای شناسایی افق‌های آرچلیک^۶، کندیک^۷ و ناتریک^۸ استفاده می‌شود (۳۴). داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات نهایی سازنده خاک، جزء اطلاعات ورودی به اغلب مدل‌های هیدرولوژیکی، اکولوژیکی، اقلیمی و زیست محیطی هستند (۲۵). افزون بر این، برای تخمین خواصی از خاک مانند قابلیت هدایت آبی و نگهداری آب خاک، از بافت خاک و مقدار برخی از ذرات نهایی سازنده خاک نظیر سیلت و شن استفاده می‌شود (۳۰). بنابراین تهیه نقشه بافت خاک با قدرت تفکیک مکانی بالا برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی و زیست محیطی و همچنین سایر فعالیت‌های مدیریتی کشاورزی و حفاظت محیطی ضروری است (۳۵).

بافت خاک نسبت ذرات شن، سیلت و رس در نمونه‌های خاک

بافت خاک^۵ عاملی اثرگذار بر رفتار فیزیکوشیمیایی خاک‌ها از قبیل توان نگهداری آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، حاصلخیزی و باروری خاک، زهکشی و ویژگی‌های جذبی خاک می‌باشد (۲۷)؛ همچنین عاملی مؤثر در فرسایش‌پذیری و به تبع آن کاهش حاصلخیزی خاک می‌باشد (۴۱). بافت خاک در همه سطوح در سیستم جامع رده‌بندی خاک، برای شناسایی رده‌ها و همچنین برای طبقه‌بندی خاک‌ها در

۱- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: K.Khosraviqdam@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v32i6.74046

5- Soil texture

6- Argillic horizon
7- Natric horizon
8- Kandic horizon

است (۳۳). بافت خاک عامل بسیار تعیین کننده‌ای در میزان رطوبت خاک است. رطوبت خاک، موجب کاهش بازتاب در بخش مرئی و مادون قرمز می‌شود؛ بنابراین خاک رسی که مقدار زیادی رطوبت را جذب می‌کند، انعکاس کمتری در طول موج‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و میانی دارد، زیرا آن‌ها را به شدت جذب می‌نمایند و همبستگی بالایی با تابش امواج الکترومغناطیس دارد (۳) ولی ذرات سیلت که مخلوطی از ذرات معدنی خاک می‌باشند همبستگی کمتری با بازتابش طیف الکترومغناطیس دارند (۳۵).

زمین‌آمار^۱ یکی از شاخه‌های علم آمار می‌باشد که شامل روش‌های مختلفی برای تخمین تغییرپذیری مکانی یک متغیر توسعه یافته است و امروزه به طور گسترده توسط دانشمندان علوم خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳) که ابزاری قدرتمند برای ترسیم نقشه‌های تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک است (۷). کریجینگ^۲ به عنوان یکی از روش‌های اساسی درونیایی، تخمین‌گر خطی ناآریب برای تغییرات مکانی یک متغیر وابسته است. کوکریجینگ^۳ روش دیگر درونیایی است که از یک متغیر ثانویه دارای همبستگی با متغیر اولیه، جهت افزایش دقت و کاهش واریانس خطای تخمین استفاده می‌کند (۴۴). اگر متغیر ثانویه دارای همبستگی کمی با متغیر اولیه باشد، کوکریجینگ برتری کمی نسبت به کریجینگ معمولی دارد (۳۸). بیتس و واریک (۴۵) پیشنهاد کردند که کوکریجینگ نسبت به کریجینگ برای متغیرهایی که دارای همبستگی بیشتر از ۰/۵ هستند، برتری بیشتری در برقراری ارتباط دارد. تغییرات مکانی بافت خاک را بعد از نمونه‌برداری مناسب از منطقه، می‌توان با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ با دقت بالا پهنه‌بندی کرد، همچنین کوکریجینگ نیز می‌تواند با استفاده از داده‌هایی که همبستگی بالایی با ذرات خاک داشته باشند، بهتر از کریجینگ برای مطالعه تغییرات مکانی بافت خاک عمل کند (۲۴).

در دو دهه اخیر، مقایسه بازتابش طیفی خاک به کمک پردازش تصاویر ماهواره‌ای با آنالیز پارامترهای آزمایشگاهی نمونه‌های خاک پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته است (۱۱). مطالعات بسیار زیادی در مورد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای تخمین دقیق‌تر پارامترهای خاک در دنیا انجام شده است (۴۶) و از داده‌های ماهواره‌هایی از قبیل ایکونوس^۴ (۳۶)، ای‌وی‌اچ‌آر‌آر^۵ (۳۱)، لندست^۶ و مادیس^۷ (۲۹ و ۲۶) استفاده شده است که سبب برقراری ارتباط بین داده‌های ماهواره‌ای و آنالیزهای آزمایشگاهی خاک‌شناسان شده که باعث تخمین دقیق‌تر و

جزئی‌تری از پارامترهای خاک شده است، مطالعات زیادی نشان داده است که بافت خاک همبستگی معناداری با بازتابش طیف الکترومغناطیس در محدوده نور مرئی و مادون قرمز نزدیک^۸ (۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر) دارد (۳۶ و ۴۶). بنابراین رابطه بین بازتابش طیفی و روابط آماری از قبیل رگرسیون خطی می‌تواند به برآورد دقیق‌تر بافت خاک بیانجامد (۲۱). لاگسری و همکاران (۲۱) دریافتند که بافت خاک با بازتابش طیفی خاک همبستگی بالایی دارد و تعیین بافت خاک از طریق ترکیب زمین آمار و سنجش از دور بسیار ساده‌تر از مطالعات میدانی می‌باشد، بنابراین داده‌های سنجش از دور می‌توانند برای دستیابی دقیق‌تر به بافت خاک و تغییرات مکانی آن مورد استفاده قرار گیرند.

با وجود اهمیت زیاد بافت خاک، برای مدل‌سازی‌های زیست محیطی در مقیاس‌های مورد نیاز، با کمبود داده‌های آن مواجه هستیم و در بیشتر نقشه‌های خاک تغییرات مکانی بین کلاس‌ها و تغییرات تدریجی این متغیر کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۱) که این مشکل در کشورهایی با داده‌های کم، که تلاش برای داده‌های بیشتر با محدودیت‌های مالی مواجه است، بیشتر مشهود است (۲). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی همبستگی داده‌های^۹ SWIR سنجنده مادیس با آنالیزهای آزمایشگاهی ذرات معدنی خاک، جهت تعیین روابط رگرسیونی بین آنها و افزایش دقت تخمین تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک جهت پهنه‌بندی بافت خاک بر اساس روش^{۱۰} USDA صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

توصیف منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در قسمتی از استان آذربایجان شرقی به مساحت $13154/58 \text{ km}^2$ در بین $36^{\circ}22'$ تا $38^{\circ}02'$ طول شرقی و $36^{\circ}45'04''$ تا $38^{\circ}25'08''$ عرض شمالی در ۴۰ کیلومتری شرق شهرستان تبریز که بخشی از مناطق کوهستانی زاگرس و دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، انجام شد (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه ۱۸۴۶ متر از سطح دریا و شیب منطقه ۲ تا بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. از نظر کاربری اراضی این منطقه دارای انواع کاربری‌ها شامل باغ، کشت آبی و دیم، مراتع و مناطق شهری می‌باشد. از لحاظ مواد مادری عمدتاً شامل مارن^{۱۱}، سنگ‌های آهکی^{۱۲}، آندزیت^{۱۳} و گرانیت^{۱۴} می‌باشد و منطقه شامل اراضی متفرقه

8- Visible and near infrared region

9- Short wave infrared

10- United States Department of Agriculture

11- Marl

12- limestone

13- Andesitic

14- Granite

1- Geostatistics

2- Kriging

3- Co Kriging

4- Ikonos

5- AVHRR

6- Landsat

7- Modis

معدنی خاک با دو روش کریجینگ و کوکریجینگ انجام گرفت که از مقادیر DN استخراج شده به عنوان متغیر کمکی جهت پهنه‌بندی بافت خاک استفاده شد (۲۴).

کریجینگ و کوکریجینگ

در این پژوهش از دو روش زمین آماری کریجینگ معمولی و کوکریجینگ برای تخمین بافت خاک استفاده شد، زیرا هر دو روش با کمترین خطای تخمین شناخته شده‌اند (۴۲). کریجینگ یک روش درونیابی زمین آماری است که از تابع نیم تغییرنما^۳ جهت بیان همبستگی مکانی استفاده می‌کند، نیم تغییرنما به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آن را بیان می‌کند، اگر نیم تغییرنما به سقف معینی برسد و دامنه تأثیر مشخصی داشته باشد، ساختار فضایی و شرایط صدق فرضیه ذاتی می‌تواند وجود داشته باشد (۷). گوارتس (۱۴) نیم تغییرنما را به صورت معادله ۱ تعریف کرد.

$$\lambda(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

در این رابطه $\lambda(h)$ مقدار نیم تغییرنما در فاصله h ، $N(h)$ جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه $\lambda(h)$ به ازای هر فاصله مانند h است. $Z(x_i)$ و $Z(x_i + h)$ به ترتیب مقادیر متغیر در موقعیت‌های نمونه‌برداری x_i و $x_i + h$ است. معادله تخمین که برای کریجینگ ارائه شده به صورت معادله ۲ می‌باشد.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^I \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

در این رابطه $Z^*(x)$ مقدار مشاهده شده متغیر Z^* در نقطه x_i و λ_i وزن یا اهمیت نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه x_i و I تعداد مشاهدات می‌باشد که برای دستیابی به تخمین درست شرط معادله ۳ باید رعایت شوند.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^I \lambda_i \gamma(x_i, x_j) - \mu = \gamma(x_i, x_j) \\ \sum_{i=1}^I \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (3)$$

در این رابطه $\gamma(x_i, x_j)$ مقداری از واریوگرام است که متناظر با بردار کمیت x_i و شدت x_j باشد و μ ضریب لانگ‌راژ می‌باشد. کوکریجینگ رویکرد دیگر زمین آماری است که از نیم تغییرنمای متقابل^۴ (معادله ۴) برای توصیف همبستگی مکانی استفاده می‌کند (۲۸).

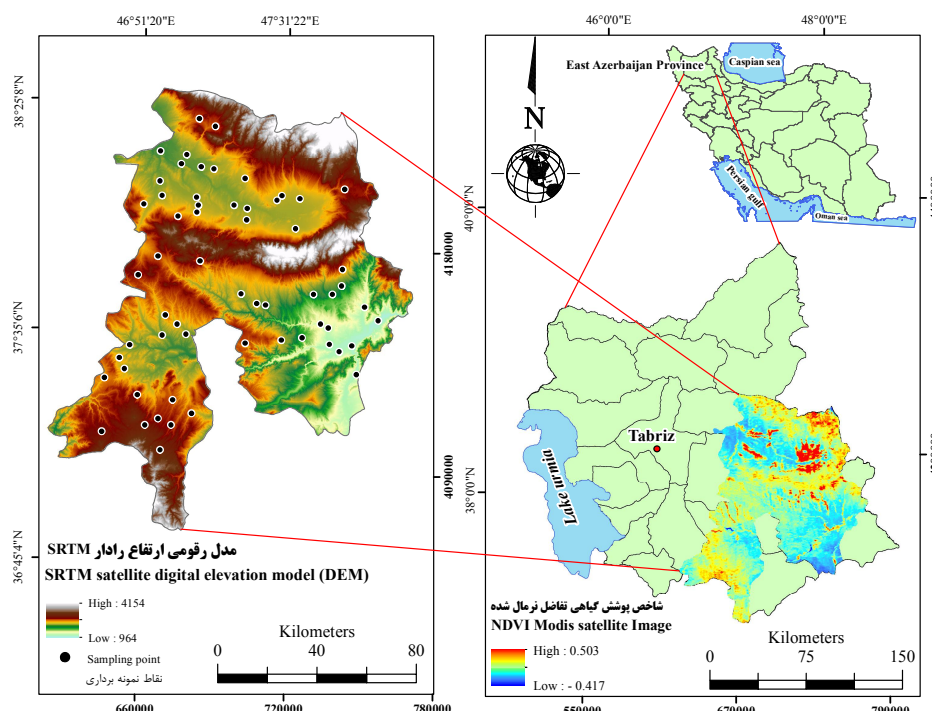
به شکل رخنمون سنگی و بدلدن و خاک‌های رده‌های انتی‌سولز و اینسپتی‌سولز می‌باشد.

گزینش نقاط نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی ذرات معدنی خاک

به منظور نمونه‌برداری از خاک‌های منطقه مورد مطالعه در طبقات ارتفاعی مختلف و به تبع آن در شیب‌های متفاوت، ابتدا مدل رقومی ارتفاعی رادار SRTM در چهار سین ۳۰ متری هم زمان، برای منطقه مورد مطالعه تهیه شدند. بعد از موزائیک سازی لایه‌های ارتفاعی، با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه با خطای کمتر از ۰/۵ پیکسل، لایه نهایی موزائیک شده و به سیستم مختصات UTM ZON-38 انتقال و GIS - Ready شد (شکل ۱). برای جداسازی بازتابش طیف الکترومغناطیس پوشش گیاهی و خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده^۱ از باندهای ۱ و ۲ سنجنده مادیس (۱۳) تهیه شد (شکل ۱). سپس مدل رقومی ارتفاعی موزائیک شده نهایی، به طبقات ارتفاعی مختلف تقسیم‌بندی شد تا از کلیه طبقات ارتفاعی برای ارزیابی دقیق‌تر بافت خاک سطحی استفاده شود، در نهایت تعداد ۶۰ موقعیت مکانی از نقاط فاقد پوشش گیاهی متراکم انتخاب شد همچنین با توجه به این که بازتابش امواج الکترومغناطیس از ۰/۰۰۲ میلی‌متری سطح خاک می‌باشد و همبستگی رگرسیونی بین عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک با لایه ۰/۰۰۲ میلی‌متر خاک برقرار می‌شود، ارزش پیکسل‌ها به عدد آنالیز بافت خاک تغییر می‌کند (۱۹)؛ به همین دلیل نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک سطحی انجام شد (شکل ۱). برای انجام این پژوهش پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه و هوا خشک کردن، جهت همگن کردن ذرات خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد سپس بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه بیشترین همبستگی برای باندهای مادون قرمز نزدیک و ویژگی‌های خاک گزارش شده است (۳۵ و ۴۳). باندهای SWIR سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر برای تاریخ نمونه‌برداری انتخاب شدند. پس از انجام تصحیحات، مقدار^۲ DN باندهای SWIR در نقاط نمونه‌برداری استخراج شد و بعد از انجام تحلیل همبستگی پیرسون، روابط رگرسیونی گام به گام چندگانه خطی بین DN باند SWIR سنجنده مادیس با بالاترین همبستگی و مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی برای اجزاء معدنی خاک به دست آمد (۲۴، ۲۱، ۳۶، ۵، ۱۲ و ۱۰) در این روابط درصد ذرات معدنی به عنوان متغیر وابسته و DN تصاویر ماهواره‌ای به عنوان متغیر مستقل در نرم‌افزار SPSS لحاظ شد و روابط رگرسیونی به دست آمد. در انتها درونیابی ذرات

3- Semivariogram
4- Cross-semivariogram

1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Digital number



شکل ۱- نمای اجمالی از منطقه مورد مطالعه، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، مدل رقومی ارتفاع و پراکنش نقاط نمونه برداری
Figure 1- The Overview of the study area, Normalized Difference Vegetation Index, Digital Elevation Model and Distribution of sampling points

$$\gamma_{uv}(b) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ [z_u(x_i + b) - z_u(x)] [z_v(x_i + b) - z_v(x)] \} \quad (4)$$

استفاده از تکنیک کمترین مربعات با استفاده از همه یا بخشی از سطح، مورد مقایسه قرار گرفته و رابطه رگرسیون خطی بین آن‌ها را ارائه می‌دهد (۱۷). در انتها لایه با کمترین خطا به نرم افزار QGIS انتقال و بعد از تعریف CSR^۱ پهنه بندی بافت خاک بر اساس روش USDA انجام گرفت.

معیارهای ارزیابی روش‌های درونیابی

جهت بررسی دقت هر روش و یا انتخاب پارامتر مناسب در آن نیاز به ارزیابی می‌باشد، برای دستیابی به میزان خطا میان مقادیر واقعی و تخمینی معیارهای مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها میانگین قدر مطلق خطا^۲ (MAE) و خطای مربع میانگین^۳ (RMSE) می‌باشد. در این پژوهش برای ارزیابی دقت تخمین‌های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ از معیارهای ذکر شده بر طبق معادلات ۷ و ۸ استفاده شد (۱۶).

در این معادله $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه، z_u و z_v به ترتیب مقدار متغیرهای اصلی و همراه در موقعیت مکانی x و $x_i + b$ هستند که پس از محاسبه نیم تغییرنمای متقابل، مدل‌های نیم تغییرنما بر آن برازش داده می‌شود. معادله کوکریجینگ می‌تواند به صورت معادله ۵ فرموله شود.

$$\bar{Z}(x) = \sum_{i=1}^I a_i z(x_i) + \sum_{j=1}^J b_j y(x_j) \quad (5)$$

در رابطه ۵، $\bar{Z}(x)$ تخمین کوکریجینگ و a_i و b_j وزن‌هایی از Z (متغیر اولیه) در مکان x_i و y (متغیر ثانویه) در مکان x_j می‌باشد که این وزن‌ها به وسیله معادله کوکریجینگ قابل مقایسه می‌باشد (۱۸). پس از برازش مدل‌های تنوریک مناسب بر نیم تغییرنما و نیم تغییرنمای متقابل در نرم افزار GS+، درونیابی به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای ذرات معدنی خاک در نرم افزار Arc GIS انجام شد. سپس لایه‌های درونیابی شده به نرم افزار IDRISI انتقال داده شده تا بین سطوح تخمینی کریجینگ و کوکریجینگ رابطه رگرسیونی برقرار شود. در این روش روابط رگرسیونی بین دو سطح ایجاد و ضرایب معادله رگرسیونی خطی با

1- Coordinate System Reference
2- Mean Absolute Error
3- Root Mean Square Error

عمودی باشد، آن متغیر اهمیت بیشتری دارد (شکل ۲) طبق این نمودار باند ۳ سنجنده مادیس دارای بیشترین اهمیت می باشد که این اهمیت را همبستگی پیرسون به خوبی نشان می دهد (جدول ۱). این اهمیت و همبستگی نشان می دهد که ذرات رس، سیلت و شن با داده های مادون قرمز باند ۳، ۴ و ۷ سنجنده مادیس، ماهواره ترا دارای رابطه قوی هستند که از بین آن ها این رابطه با DN باند ۳ نسبت به دیگر باندها بیشتر می باشد (جدول ۱). احتمالاً دلیل اصلی آن، طول موج مادون قرمز کوتاه تر مقادیر DN باند ۳ می باشد که به مقدار آب در دسترس خاک حساس تر است، زیرا مقدار این آب به بافت خاک بستگی دارد. علاوه بر این، اثر مستقیمی بر روی بازتابش طیفی خاک در محدوده مادون قرمز کوتاه تر دارد (۲۱، ۶، ۹). در میان سه جزء بافتی خاک همبستگی ذرات رس و شن نسبت به سیلت با باندهای مادون قرمز بیشتر مشاهده شد (۲۸، ۱۶، ۴) که دلیل این همبستگی کم سیلت را، ویتالیند و ستندیک (۴۳) مخلوطی از شن و رس بودن ذرات سیلت بیان کردند که باعث کاهش تشخیص این ذره در محدوده مادون قرمز می شود.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(u_i) - Z(u)| \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(u_i) - z^*(u_i)]^2} \quad (8)$$

در این روابط $Z(u_i)$ و $Z^*(u_i)$ مقادیر اندازه گیری شده Z در مکان (u_i) می باشد.

نتایج و بحث

آنالیز همبستگی و تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه خطی

جهت شناسایی روابط بین اجزای تشکیل دهنده بافت خاک سطحی با باندهای SWIR سنجنده مادیس (باند ۳ تا ۷) ابتدا همبستگی پیرسون به دست آمد، سپس نمودار اهمیت بر حسب متغیر ترسیم شد. در این نمودار متغیرها بر اساس اهمیت شان روی محور Y نشان داده می شود و خطوط عمودی نیز مقادیر بحرانی برای تعیین اهمیت هر متغیر را علامت گذاری می کنند، بدین معنی، زمانی که آماره t (چه در جهت مثبت و چه در جهت منفی) بزرگ تر از خط

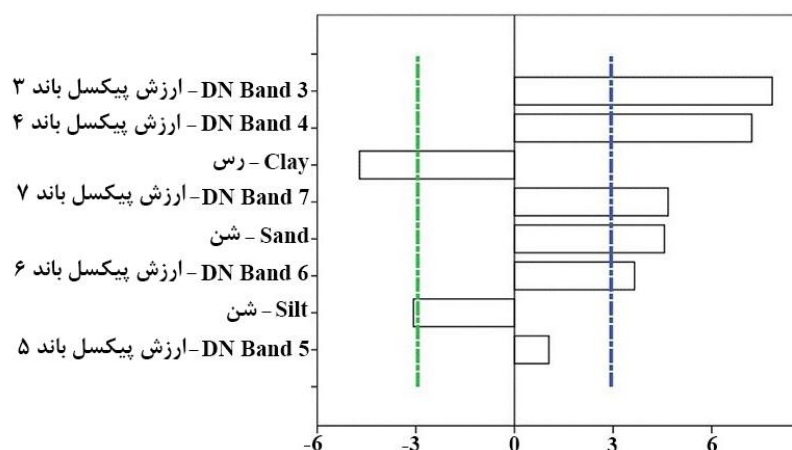
جدول ۱- همبستگی پیرسون بین ذرات معدنی اولیه با DN باندهای SWIR ماهواره ترا سنجنده مادیس

Table 1- Pearson correlations between primary mineral particles with digital numbers (DNs) terra satellite modis sensor

ذرات معدنی خاک Soil mineral particle	ارزش پیکسل باند ۳ DN band 3	ارزش پیکسل باند ۴ DN band 4	ارزش پیکسل باند ۵ DN band 5	ارزش پیکسل باند ۶ DN band 6	ارزش پیکسل باند ۷ DN band 7
شن Sand	0.522 **	0.431 **	0.078	0.214	0.306 *
سیلت Silt	-0.324 *	-0.256 *	-0.119	-0.143	-0.205
رس Clay	-0.525 **	-0.442 **	-0.016	-0.233	-0.313 *

* معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد و ** معنی داری در سطح ۰/۰۱

* Correlation is significant at the 0.05 level, ** Correlation is significant at the 0.01 level



شکل ۲- دیاگرام اهمیت متغیرهای مستقل و وابسته

Figure 2- Importance of dependent and independent variables

غیراین صورت، بیانگر وجود روند در داده‌های مورد بررسی است که در صورت بزرگ مقیاس بودن روند می‌توان آن را قبل از محاسبات حذف کرد که در تحلیل‌های زمین آماری فرض بر فراگیر بودن روند داده‌هاست (۲۰) که با توجه به کم بودن مقدار روند در هر سه جزء معدنی خاک (شکل ۳)، این مقدار در محاسبه واریوگرام‌ها حذف نشد. وجود روند می‌تواند به دلیل تغییرات شیب و مواد مادری منطقه مورد مطالعه باشد (۲۲).

یکی از روش‌های بررسی ناهمسانگردی بیضی همسانگردی^۲ است. هر چند که شاخص دقیقی برای کمی کردن میزان ناهمسانگردی وجود ندارد، ولی در صورتی که نسبت بزرگترین شعاع این بیضی بر کوچکترین شعاع آن کمتر از ۲/۵ باشد می‌توان از ناهمسانگردی صرف‌نظر کرد (۳۲). این نسبت برای ذرات شن، سیلت و رس به ترتیب ۱/۵۳، ۱/۹۳ و ۲/۹۱ می‌باشد (جدول ۲). با توجه به مقادیر بیضی همسانگردی، واریوگرام شن و سیلت همسانگرد و واریوگرام رس ناهمسانگرد در نظر گرفته شدند. در بیضی همسانگردی، قطر بزرگ بیضی نشان دهنده جهتی است که دارای بیشترین پیوستگی مکانی و قطر کوچک آن نشان دهنده کمترین پیوستگی مکانی است. بیضی ناهمسانگردی برای اجزای معدنی خاک در شکل ۵ نشان داده شده است که درصد اجزای معدنی خاک در جهت شمال شرقی- جنوب غربی دارای بیشترین پیوستگی و در جهت شمال غربی- جنوب شرقی دارای کمترین پیوستگی است. مقادیر دامنه واریوگرام (قطرهای بیضی) در جهت‌های مختلف به عواملی از قبیل فرسایش، رسوب‌گذاری، پوشش اراضی، توپوگرافی، مواد مادری و فعالیت‌های انسان بستگی دارد (۳۷).

نتایج برازش مدل تئوریک ذرات معدنی خاک بر نیم تغییر نما در نرم افزار GS+ نشان داد که واریوگرام رس و سیلت با مدل کروی و شن با مدل نمایی بیشترین همخوانی را دارد، همچنین برازش مدل تئوریک بر نیم تغییرنمای متقابل با متغیر کمکی باند ۳ سنجنده مادیس نشان داد که بهترین مدل برای برازش رس، سیلت و شن به ترتیب مدل‌های کروی، نمایی و نمایی می‌باشد (شکل ۶)، زیرا دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RSS می‌باشد (جدول ۳)، مدل نمایی از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد، ولی آهنگ صعود آن آرام‌تر از مدل کروی است و عملاً به حد آستانه یا سقف معینی نمی‌رسد، به همین دلیل دامنه تأثیر این مدل نامعلوم است. علت پیدایش داده‌هایی با چنین مدل‌هایی، می‌تواند به دلیل وجود روند در محدوده مورد بررسی و یا بزرگی قابل ملاحظه دامنه تأثیر نسبت به ابعاد محدوده تحت پوشش نمونه برداری باشد (۲۰ و ۳۹).

جهت به دست آوردن رابطه رگرسیونی بین اجزای معدنی خاک و باند ۳ سنجده مادیس، رگرسیون گام به گام چندگانه خطی بین سه ذره معدنی خاک و باند ۳ در نرم افزار SPSS اجرا و معادلات رگرسیونی برای آن‌ها، طبق معادلات ۹، ۱۰ و ۱۱ به دست آمد، که این روابط رگرسیونی توسط دانشمندی از قبیل (۲۴، ۲۱، ۳۶، ۵، ۱۲ و ۱۰) برای به دست آوردن رابطه رگرسیونی بین داده‌های ماهواره‌ای و اجزای معدنی خاک استفاده شده است. لیائو و همکاران (۲۴) پیشنهاد کردند که در استفاده از روابط رگرسیونی بین اجزای معدنی خاک و داده‌های سنجش از دور در مناطق با وسعت بالا، باید مراتب احتیاط را رعایت کرد. در روابط رگرسیونی به دست آمده برای اجزای معدنی خاک، ضرایب DN روابط رگرسیونی برای ذرات رس و سیلت منفی و برای شن مثبت است در این حالت، دو احتمال وجود دارد اولاً به دلیل وجود رطوبت بیشتر ذرات رس و سیلت بازتابش کمتر و ذرات شن به دلیل وجود رطوبت کمتر بازتابش بیشتری دارند (۳). ثانیاً در صورت کمبود یا جزئی بودن رطوبت، هنگامی که پرتو الکترومغناطیس به سطح خاک می‌تابد به دلیل درشت بودن ذرات شن قسمتی زیادی از پرتو الکترومغناطیس بازتاب و قسمتی به داخل این ذرات نفوذ کرده که در اثر برخورد مجدد پرتوهای نفوذی به ذرات شن، بازتابش دوباره پیدا می‌کند (۴۰). این دو حالت باعث کاهش و افزایش بازتاب و به تبع آن دخالت در علامت ضرایب DN در معادله رگرسیونی می‌شوند.

$$Clay = 19.87 - 0.825 \text{ DNBand } 3 \quad (9)$$

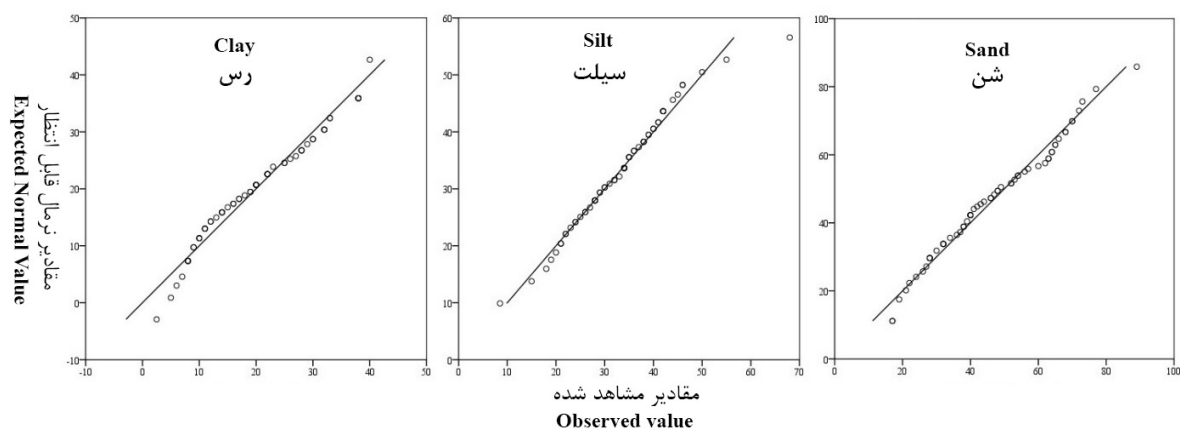
$$Silt = 33.22 - 0.523 \text{ DNBand } 3 \quad (10)$$

$$Sand = 46.56 + 1.41 \text{ DNBand } 3 \quad (11)$$

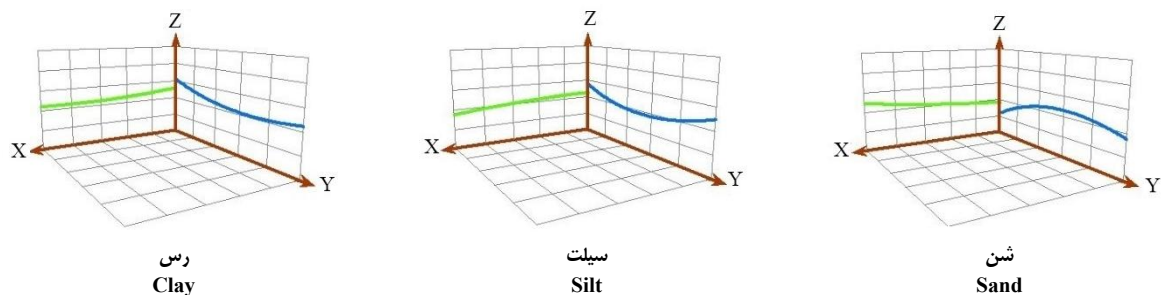
آنالیزهای زمین آماری

جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری اطلاع از توزیع آماری داده‌ها امری ضروری است، به منظور آگاهی از توزیع کمی نرمال داده‌های ذرات معدنی تشکیل‌دهنده بافت خاک، جهت انجام تخمین‌های زمین آماری از نمودار^۱ Q-Q استفاده شد (شکل ۳). طبق این نمودار که باعث الگوبندی داده‌های تجربی در یک توزیع نظری می‌شود، مشاهده می‌شود که نقاط حول یک خط با شیب ۴۵ درجه می‌باشد، بنابراین داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند (۲۴).

در شکل ۴ وضعیت روند مقادیر شن، سیلت و رس نشان داده شده است. روند در جهت شرقی- غربی (خطوط سبز) و شمالی و جنوبی (خطوط آبی) توسط نمودارهای سه‌بعدی از داده‌ها در راستای محور XZ و YZ نشان داده می‌شود. در صورتی که این خطوط مسطح و ثابت باشند بیانگر عدم وجود روند در داده‌ها می‌باشد در



شکل ۳- نمودار Q-Q ذرات معدنی خاک
Figure 3- Q-Q diagram of soil mineral particles

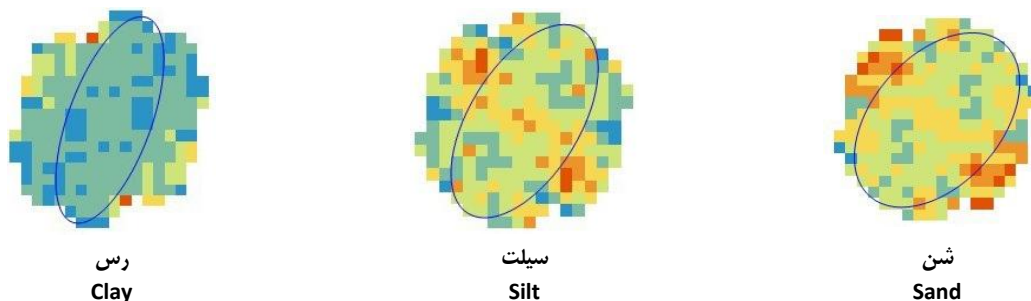


شکل ۴- وضعیت روند در اجزای معدنی خاک
Figure 3- Trend analysis of soil mineral particles

جدول ۲- مقادیر نسبت ناهمسانگردی واریوگرام‌های اجزای معدنی خاک

Table 2- Anisotropy ratio of soil mineral particle

اجزای معدنی خاک Soil mineral particle	نسبت ناهمسانگردی Anisotropy ratio
شن Sand	1.53
سیلت Silt	1.95
رس Clay	2.91



شکل ۵- بیضی‌های ناهمسانگردی اجزای معدنی خاک
Figure 4- Anisotropy ellipses of soil mineral particles

جدول ۳- مقادیر نیم تغییرنما و نیم تغییرنمای متقابل برای ذرات معدنی و باند ۳ ماهواره ترا، سنجنده مادیس

Table 3- Semivariogram and cross semivariogram for soil mineral particles and band 3 of the terra satellite modis sensor

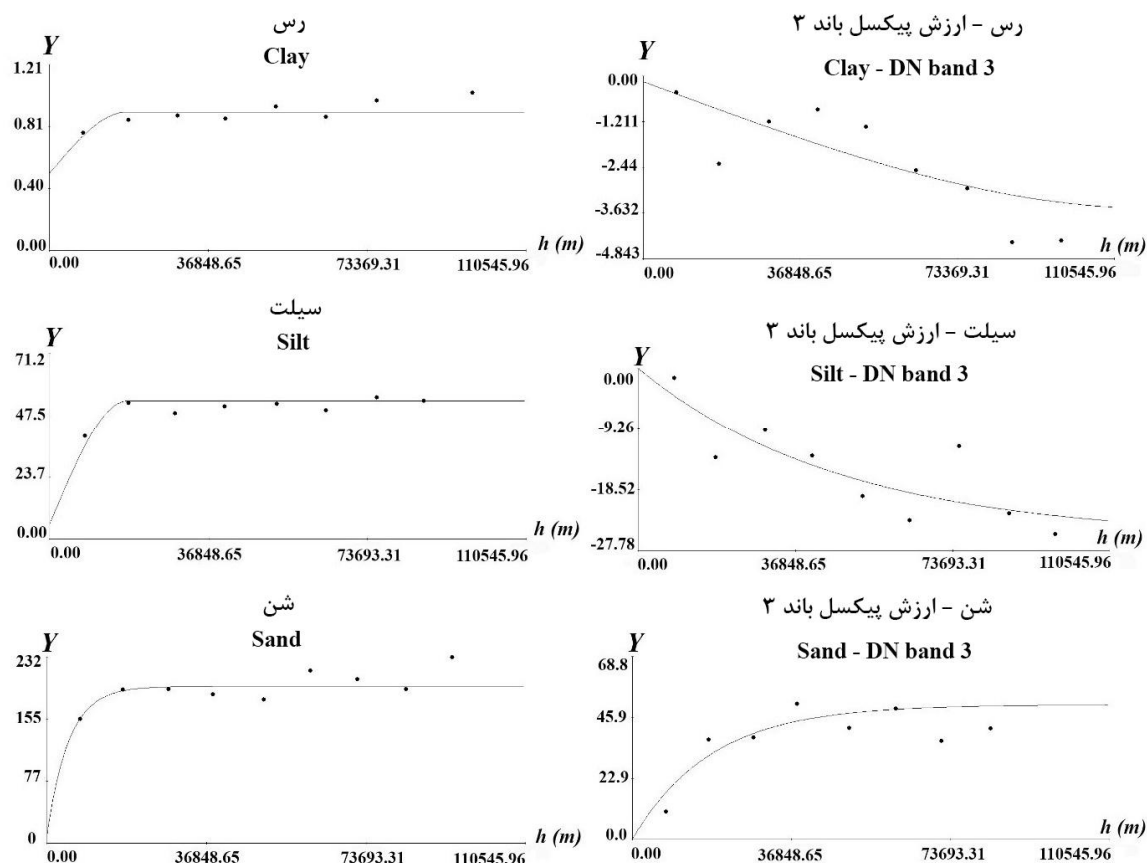
پارامتر Parameter	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget	آستانه Sill	اثر قطعه‌ای/آستانه (%) Nugget/Sill (%)	شعاع تأثیر Range (Km)	R ²
(Semivariogram) نیم تغییرنما						
رس Clay	کروی Spherical	0.5	0.95	52.63	18	0.23
سیلت Silt	کروی Spherical	5.7	53.01	10.7	18	0.34
شن Sand	نمایی Exponential	10.1	195.3	5.17	15	0.47
(Cross Semivariogram) نیم تغییرنمای متقابل						
رس - ارزش پیکسل باند ۳ Clay - DN band 3	کروی Spherical	-0.25	-3.5	7.14	20	0.66
سیلت - ارزش پیکسل باند ۳ Silt - DN band 3	نمایی Exponential	-0.01	-25	0.04	43	0.68
شن - ارزش پیکسل باند ۳ Sand - DN band 3	نمایی Exponential	0.1	80	0.12	54	0.62

کوکرینجینگ نسبت به کورینجینگ کمتر است، همچنین محاسبات نشان داد که مقدار حداکثر برای تخمین کوکرینجینگ بیشتر و مقدار تخمین آن برای مقادیر مینیمم کمتر می‌باشد (جدول ۴)؛ بنابراین رنج برازش این مدل نسبت به روش کورینجینگ بیشتر بوده و نقشه‌های تخمینی این روش نسبت به روش کورینجینگ دارای دامنه تخمین بیشتری خواهند بود (شکل ۸)، همچنین مقادیر خطای استاندارد برای هر سه ذره معدنی خاک در روش کوکرینجینگ نسبت به روش کورینجینگ کمتر می‌باشد (جدول ۴ و شکل ۸). همچنین نقشه‌های تخمینی کورینجینگ و کوکرینجینگ برای ذرات رس، سیلت و شن بسیار شبیه یکدیگر می‌باشد (شکل ۶)، بنابراین استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای تخمین نقشه‌های کوکرینجینگ ذرات رس، سیلت و شن باعث افزایش دامنه تغییرات مکانی شده و مطالعه این تغییرات مکانی در منطقه مورد مطالعه با دقت بیشتری صورت می‌گیرد (۲۴). استفاده از داده‌های سنجش از دور از قبیل سنجنده مادیس می‌تواند به عنوان متغیر کمکی قدرتمند جهت برآورد دقیق‌تر، افزایش صحت و قدرت تخمین کورینجینگ برای بیان تغییرات مکانی بافت خاک و دیگر متغیرهای خاک شود (۳۶، ۴ و ۴۶).

وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک از طریق نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه (Nugget/Sill) تعریف می‌شود. هرگاه این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد وابستگی مکانی قوی است، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد وابستگی مکانی متوسط و هنگامی که بالاتر از ۷۵ درصد باشد وابستگی مکانی ضعیف می‌باشد (۳۹). غالباً وابستگی مکانی قوی در اثر فرآیندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی مکانی ضعیف در اثر فرآیندهای خارجی (مدیریتی) حاصل می‌شود (۸). همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، وابستگی مکانی برای ذرات معدنی خاک در نیم تغییرنمای روش کورینجینگ برای رس متوسط و برای سیلت و شن قوی می‌باشد همچنین این نسبت برای نیم تغییرنمای روش کوکرینجینگ برای همه متغیرها، قوی می‌باشد.

عملکرد تخمین گرهای زمین آماری کورینجینگ و کوکرینجینگ

نتایج آنالیزهای زمین آماری نشان داده که استفاده از داده‌های سنجنده مادیس به عنوان متغیر کمکی جهت تخمین بافت خاک، مقدار خطای RMSE و MAE هر سه ذره رس، سیلت و شن، برای



شکل ۶- بهترین مدل نیم تغییرنما و نیم تغییرنمای متقابل برازش یافته به ذرات رس، سیلت و شن

Figure 6- The best fitted semivariogram and cross-semivariogram model of soil sand, silt and clay content

جدول ۴- آماره‌های توصیفی و اعتبارسنجی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای نقشه‌های زمین آماری رس، سیلت و شن

Table 4- Descriptive statistics and efficiency of kriging and cokriging methods for surface clay, silt and sand map

ذرات معدنی خاک	پارامتر	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف استاندارد	RMSE	MEA
Soil mineral particles	Parameter	MIN	MAX	Mean	Standard Deviation		
رس Clay	اندازه‌گیری شده Measured	2.5	40	19.87	9.85		
	تخمین کریجینگ Kriging	9.027	30.54	19.88	5.09	11.09	0.168
	تخمین کوکریجینگ CO Kriging	3.93	39.57	19.9	9.46	9.03	0.032
سیلت Silt	اندازه‌گیری شده Measured	8.5	68	33.22	10.09		
	تخمین کریجینگ Kriging	14.64	62.07	33.28	8.49	13.55	0.039
	تخمین کوکریجینگ CO Kriging	12.55	65.175	33.3	9.22	10.82	0.014
شن Sand	اندازه‌گیری شده Measured	22	73	48.47	14.04		
	تخمین کریجینگ Kriging	35.56	61.04	48.3	6.27	15.69	0.027
	تخمین کوکریجینگ CO Kriging	35.74	64.81	48.83	6.5	12.88	0.016

روابط رگرسیونی بین نقشه‌های کریجینگ و کوکریجینگ

جهت به دست آوردن رابطه رگرسیونی بین نقشه‌های تخمینی کریجینگ و کوکریجینگ بعد از وارد کردن سطوح تخمینی به نرم‌افزار ادریسی، روابط رگرسیونی با استفاده از تفاضل نقشه‌های کریجینگ و کوکریجینگ در معادله ۱۳، ۱۲ و ۱۴ برای ذرات رس، سیلت و شن به دست آمد، همان‌طور که از ضرایب R^2 این روابط مشخص است کمترین همبستگی مربوط به ذرات شن می‌باشد که این همبستگی

$$Kriging\ Clay = 0.92\ COKriging\ Clay + 1.5$$

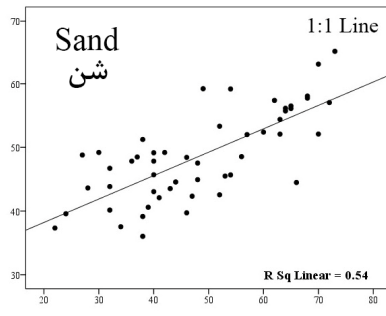
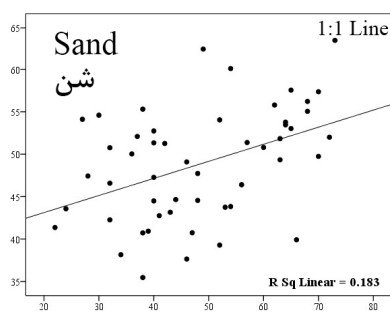
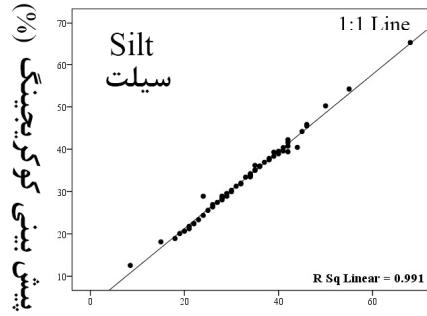
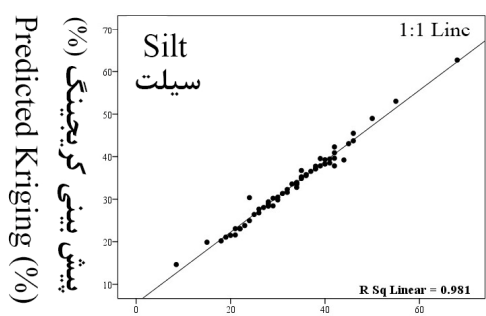
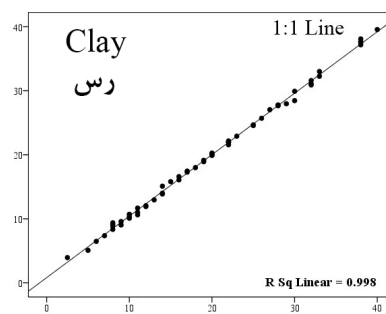
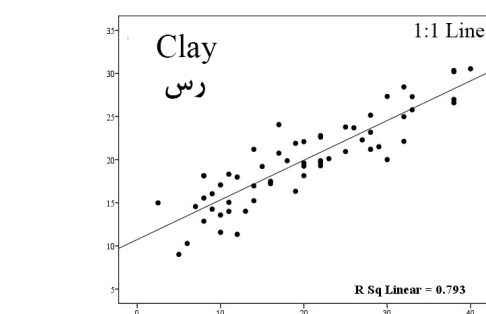
$$R^2 = 94.52 \quad (12)$$

$$Kriging\ Silt = 0.92\ COKriging\ Silt + 2.69$$

$$R^2 = 96.82 \quad (13)$$

$$Kriging\ Sand = -1.81\ COKriging\ Sand - 3.8$$

$$R^2 = 74.3 \quad (14)$$

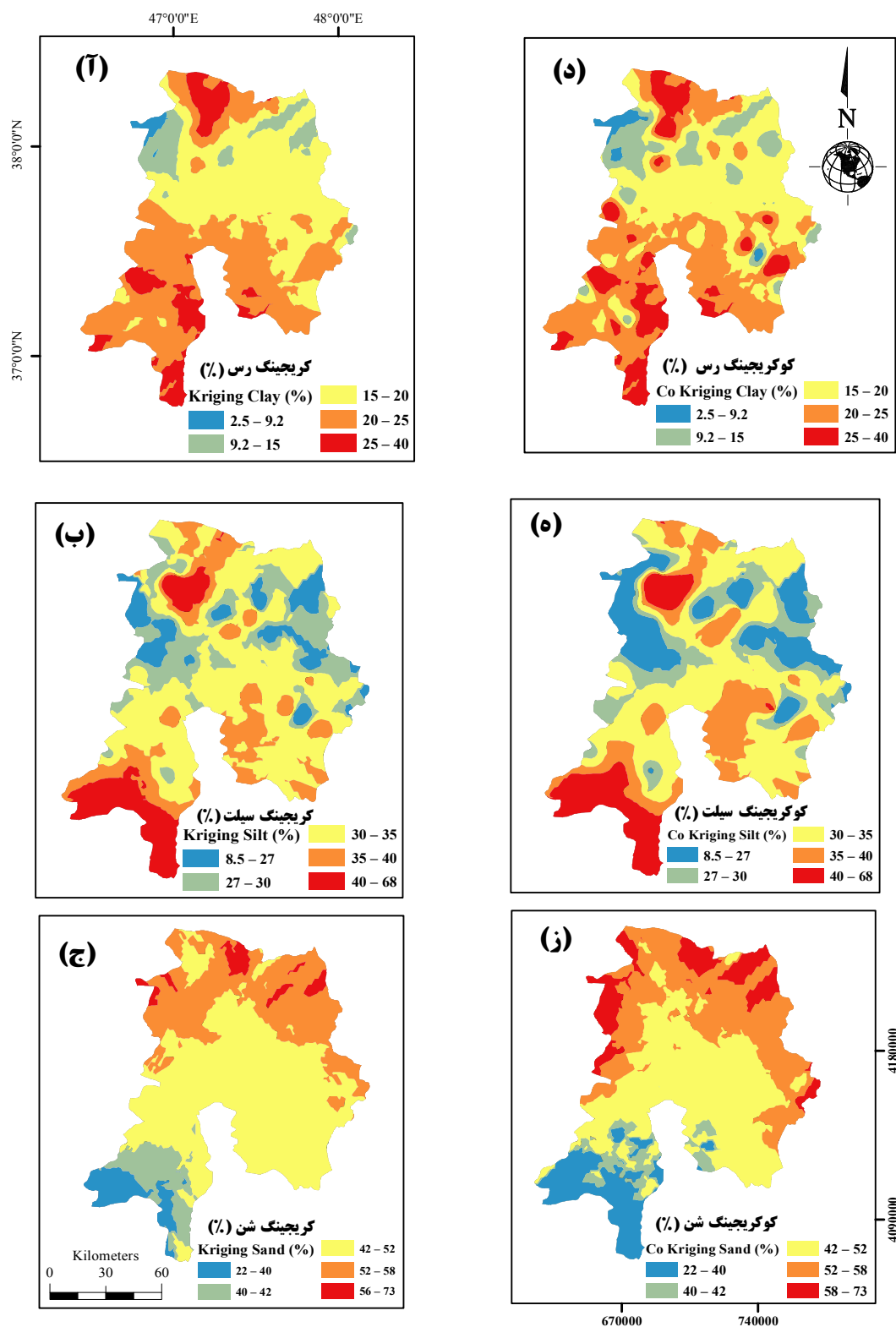


مقادیر اندازه گیری شده (%)
Measured (%)

مقادیر اندازه گیری شده (%)
Measured (%)

شکل ۷- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده با تخمین کریجینگ و کوکریجینگ ذرات رس، سیلت و شن

Figure 7- Comparison of observed sand, silt and clay contents with predicted values by kriging cokriging



شکل ۸- نقشه‌های کریجینگ (الف، ب و ج) و کوکریجینگ (د، ه و ز) ذرات رس، سیلت و شن
Figure 8- Predicted soil sand, silt and clay content by kriging and cokriging

مقایسه نتایج به دست آمده از سه روش برآوردی رگرسیون گام به گام چندگانه خطی، کریجینگ و کوکریجینگ برای تخمین اجزای معدنی خاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد که استفاده از روش کوکریجینگ برای پهنه‌بندی بافت خاک نسبت به دیگر روش‌ها داری صحت و دقت بالاتری می‌باشد (۲۴ و ۴۴).

تخمین نقشه بافت خاک

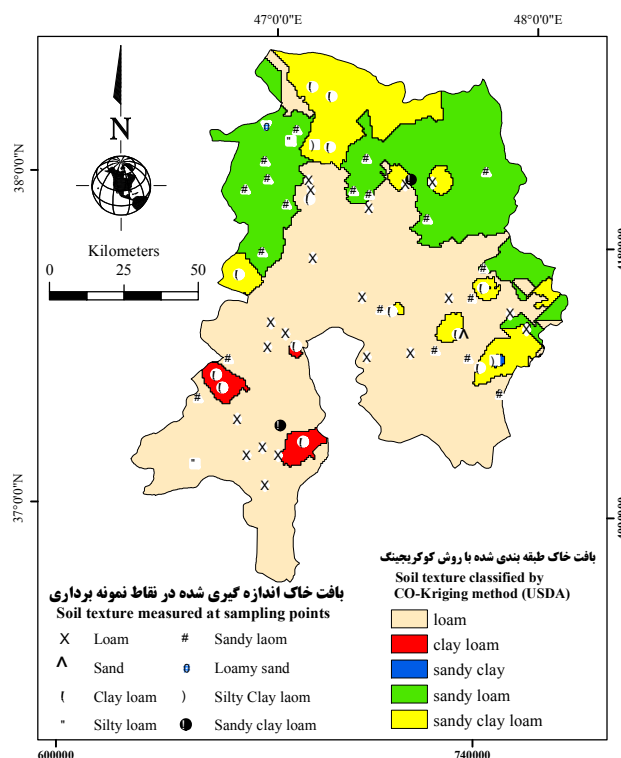
پس از به دست آوردن روابط رگرسیونی، همچنین برازش مدل تئوریک بر نیم تغییرنا و نیم تغییرنمای متقابل و تخمین ذرات رس، سیلت و شن توسط روش‌های درونیایی شامل کریجینگ و کوکریجینگ (شکل ۸)، از کوکریجینگ به عنوان مبنا برای پهنه‌بندی بافت خاک منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار QGIS استفاده شد و پهنه‌بندی نهایی بافت خاک برای منطقه مورد مطالعه طبق روش USDA انجام شد. شکل ۹ نشان دهنده توزیع بافت خاک به دست آمده از روش کوکریجینگ می‌باشد، طبق این نقشه، منطقه مورد

مطالعه به ۵ کلاس بافتی تقسیم‌بندی و داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی در هشت کلاس بافتی قرار دارند. مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و نقشه به دست آمده از روش کوکریجینگ نشان داد که ۷۰ درصد از بافت خاک تشخیص داده شده به روش کوکریجینگ با کلاس بافتی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه مطابقت دارد و در این نقاط کوکریجینگ تخمین درستی از بافت خاک را ارائه داده است (جدول ۵). این همبستگی در مطالعه لیائو و همکاران (۲۴) حدود ۸۵ درصد بود که بالاتر بودن پیش‌بینی آن‌ها، احتمالاً کمتر بودن وسعت منطقه مورد مطالعه و بالاتر بودن قدرت تفکیک مکانی داده‌های سنجش از دور مورد استفاده می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از سطوح تخمینی کوکریجینگ با متغیر کمکی داده‌های سنجنده مادیس برای پهنه‌بندی بافت خاک باعث ایجاد نقشه با یکسانی زیادی با داده‌های آزمایشگاهی بافت خاک می‌شود.

جدول ۵- مقایسه بافت خاک تعیین شده در آزمایشگاه و بافت تشخیص داده شده با روش کوکریجینگ

Table 5- Comparison of soil texture determined in the lab with cokriging predictions

بافت خاک Soil texture	بافت آزمایشگاهی در نقاط نمونه‌برداری Laboratory soil texture in sampling point	بافت تشخیص داده شده به روش کوکریجینگ در نقاط نمونه برداری Soil texture detected by Cokriging method in sampling points	درصد تشابه Percentage of Similarity
لومی رسی سیلتی Silty clay loam	2	0	0 %
لومی سیلتی Silty loam	2	0	0 %
لومی شنی Sandy loam	19	15	78.9 %
لومی رسی شنی Sandy clay loam	2	1	50 %
شنی Sand	1	0	0 %
شنی لومی Loamy sand	1	0	0 %
لومی Loam	20	19	95 %
لومی رسی Clay loam	13	7	53.8 %
مجموع SUM	60	42	70 %



شکل ۹- نقشه بافت خاک به دست آمده از تخمین کوکریجینگ به همراه توزیع بافت خاک اندازه گیری شده در نقاط نمونه برداری
Figure 9- The spatial distribution of surface soil texture generated from cokriging-predicted and black Different symbols on the map denote the measured textures in sampling points

نتیجه گیری

بیاورد؛ بنابراین از این داده‌ها، می‌توان به عنوان متغیر کمکی جهت تخمین هر چه دقیق‌تر بافت خاک استفاده کرد. همچنین نتایج بیانگر این واقعیت است که از بین سه روش رگرسیون گام به گام چندگانه خطی، کوریجینگ و کوکریجینگ، روش کوکریجینگ تخمین دقیق‌تری از تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک دارد. با توجه به اینکه بافت خاک به عنوان یک ویژگی مهم و ایستا نقش مهمی در شناخت خواص فیزیکی و شیمیایی خاک دارد، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی اجزای معدنی خاک و داده‌های SWIR سنجنده مادیس می‌توان نقشه پیوسته‌ای با دقت بالاتر برای بافت خاک ترسیم کرد.

این پژوهش با هدف بررسی همبستگی باندهای SWIR سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ با داده‌های آزمایشگاهی اجزای معدنی خاک در قسمتی از شرق استان آذربایجان شرقی انجام شد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که بین اجزای معدنی خاک و باند ۳ ماهواره ترا سنجنده مادیس بیشترین همبستگی وجود دارد که بهره‌گیری از توان اطلاعاتی داده‌های مادون قرمز نزدیک (SWIR) سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر می‌تواند خطای تخمین RMSE و MAE ذرات معدنی خاک را تا حد زیادی، پایین

منابع

1. Adhikari K., Kheir R.B., Greve M.B., Bocher P.K., Malone B.P., Minasny B., McBratney A.B., and Greve M.H. 2013. Soil Science Society of America Journal. 77, 860-876.
2. Akpa S.I., Odeh I.O., Bishop T.F., and Hartemink A.E. 2014. Digital mapping of soil particle-size fractions for Nigeria. Soil Science Society of America Journal 78(6), 1953-1966.
3. Alavipanah S.A. 2016. Application of remote sensing in the earth sciences (soil). university of Tehran press. Tehran (In Persian).
4. Bishop T., and McBratney A. 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. Geoderma 103(1-2), 149-160.
5. Broge N.H., Thomsen A.G., and Greve M.H. 2004. Prediction of topsoil organic matter and clay content from

- measurements of spectral reflectance and electrical conductivity. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science* 54(4), 232-240.
6. Brown D.J., Shepherd K.D., Walsh M.G., Mays M.D., and Reinsch T.G. 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 132(3-4), 273-290.
7. Burgess T.M., and Webster R. 1980. Optimal interpolation., and isarithmic mapping of soil properties. *European Journal of Soil Science* 31(2), 315-331.
8. Cambardella C., Moorman T., Parkin T., Karlen D., Novak J., Turco R., and Konopka A. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal* 58(5), 1501-1511.
9. Clark R.N. 1999. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. *Manual of remote sensing* 3(3-58), 2.2-4.
10. Coleman T., Agbu P., Montgomery O., Gao T., and Prasad S. 1991. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils. *Soil Science* 151(5), 355-361.
11. D'acqui L., Pucci A., and Janik L. 2010. Soil properties prediction of western Mediterranean islands with similar climatic environments by means of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *European journal of soil science* 61(6), 865-876.
12. Dematte J.A.M., and Garcia G.J. 1999. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. *Soil Science Society of America Journal* 63(2), 327-342.
13. Gong Z., Kawamura K., Ishikawa N., Goto M., Wulan T., Alatang D., Yin T., and Ito Y. 2015. MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) and vegetation phenology dynamics in the Inner Mongolia grassland. *Solid Earth* 6(4), 1185.
14. Goovaerts P. 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* 89(1-2), 1-45.
15. Isaaks E., and Srivastava R. 1989. *Applied geostatistics.* (Oxford University Press: New York). Google Scholar, 561.
16. Islam K., Singh B., and McBratney A. 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Soil Research* 41(6), 1101-1114.
17. JHA C.S., and Unni N. 1994. Digital change detection of forest conversion of a dry tropical Indian forest region. *International Journal of Remote Sensing* 15(13), 2543-2552.
18. Journel A.G., and Huijbregts C.J. 1978. *Mining geostatistics.* Academic press.
19. Jensen J. R., and Lulla K. 1987. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.*
20. Khosravi Y., and Esmaeil A. 2017. *Spatial analysis of environmental data using geostatistics.* Azarlak press. 282pp (In Persian).
21. Lagacherie P., Baret F., Feret J.-B., Netto J.M., and Robbez-Masson J.M. 2008. Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field and airborne hyperspectral measurements. *Remote Sensing of Environment* 112(3), 825-835.
22. Lark R.M. 2010. Two contrasting spatial processes with a common variograms: inference about spatial models from higher-order statistics. *European Journal of Soil Science*, 61: 479-492.
23. Li J., and Heap A.D. 2011. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: performance and impact factors. *Ecological Informatics* 6(3-4), 228-241.
24. Liao K., Xu S., Wu J., and Zhu Q. 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. *Soil science and plant nutrition* 59(4), 488-500.
25. Lieb M., Glaser B., and Huwe B. 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture: comparison of regression tree and random forest models. *Geoderma* 170(4), 70-79.
26. Lobell D.B., and Asner G.P. 2002. Moisture effects on soil reflectance. *Soil Science Society of America Journal* 66(3), (722-727).
27. Makabe S., KAKUDA K.i., Sasaki Y., Ando T., Fujii H., and Ando H. 2009. Relationship between mineral composition or soil texture and available silicon in alluvial paddy soils on the Shounai Plain, Japan. *Soil Science & Plant Nutrition* 55(5), (300-308).
28. McBratney A., and Webster R. 1983. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. V. Co-regionalization and multiple sampling strategies *J Soil Sci* (34), 137-167.
29. Menut L., Pérez C., Haustein K., Bessagnet B., Prigent C., and Alfaro S. 2013. Impact of surface roughness and soil texture on mineral dust emission fluxes modeling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(12), 6505-6520.
30. Minasny B., and Hartemink A.E. 2011. Predicting soil properties in the tropics. *Earth-Science Reviews* 106(1-2), 52-62.
31. Odeh I.O., and McBratney A.B. 2000. Using AVHRR images for spatial prediction of clay content in the lower Namoi Valley of eastern Australia. *Geoderma* 97(3-4), 237-254.
32. Oliver M.A., and Webster R. 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4: 313-332.
33. Page A.L. 1992. *Methods of Soil Analysis.* ASA and SSSA Publishers: Madison, WI.

34. Soil Survey Staff F. 2014. Keys to soil taxonomy (11th ed). Washington: USDA-NRCS.
35. Stenberg B., Rossel R.A.V., Mouazen A.M., and Wetterlind J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science, *Advances in agronomy*. Elsevier, pp. 163-215.
36. Sullivan D.G., Shaw J., and Rickman D. 2005. IKONOS imagery to estimate surface soil property variability in two Alabama physiographies. *Soil Science Society of America Journal* 69(6), 1789-1798.
37. Tesfahunegn G.B., Tamene L., and Vlek P.L.G. 2011. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil and Tillage Research*, 117:124–139.
38. Triantafyllis J., Odeh I., and McBratney A. 2001. Five geostatistical models to predict soil salinity from electromagnetic induction data across irrigated cotton. *Soil Science Society of America Journal* 65(3), 869-878.
39. Vieira S.R., and Paz Gonzalez A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia* 62(1), (127-138).
40. Vincent R. K. (1997). *Fundamentals of geological and environmental remote sensing* (Vol. 366). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
41. Warrington D., Mamedov A., Bhardwaj A., and Levy G. 2009. Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal development. *Eur. J. Soil Sci* 60, 84–93.
42. Western A.W., Zhou S.-L., Grayson R.B., McMahon T.A., Blöschl G., and Wilson D.J. 2004. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. *Journal of Hydrology* 286(1-4), 113-134.
43. Wetterlind J., and Stenberg B. 2010. Near-infrared spectroscopy for within-field soil characterization: small local calibrations compared with national libraries spiked with local samples. *European Journal of Soil Science* 61(6), 823-843.
44. Wu C., Wu J., Luo Y., Zhang L., and DeGloria S.D. 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. *Soil Science Society of America Journal* 73(4), 1202-1208.
45. Yates S., and Warrick A. 1987. Estimating Soil Water Content Using Cokriging 1. *Soil Science Society of America Journal* 51(1), 23-30.
46. Zhang R., Warrick A., and Myers D. 1992. Improvement of the prediction of soil particle size fractions using spectral properties. *Geoderma* 52(3-4), 223-234.
47. Zhao Z., Chow T.L., Rees H.W., Yang Q., Xing Z., and Meng F.R. 2009. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Computers and electronics in agriculture* 65(1), 36-48.



Spatial Variation of Mineral Particles of the Soil using Remote Sensing Data and Geostatistics to the Soil Texture Interpolation

F. Asadzadeh¹- K. Khosraviqdam^{2*}-N. Yaghmaeian Mahabadi³- H. Ramezanzpour⁴

Received: 29-07-2018

Accepted: 10-10-2018

Introduction: Soil texture is the average size of soil particles which depends on the relative proportion of sand, silt and clay contents. Soil texture is one of the most important features used by soil and environmental scientists to describe soils. Soil texture directly affects the soil porosity, which in turn, determines water-retention and flow characteristics, nutrient-holding capacity, internal drainage, sorption characteristics and long-term soil fertility. High-resolution soil maps are essential for land-use planning and other activities related to forestry, agriculture and environment protection. Given the soil texture roles in controlling the soil functions, it is necessary to understand the spatial distribution of this feature in regional scale. As soil texture is a static property, regional scale soil texture maps can thus help environmental scientists to predict different soil-related processes. The objective of this study was to develop a soil textural class map using Terra satellite MODIS sensor images.

Material and Methods: To achieve this goal, the digital elevation model SRTM radar of the studied area for soil samples from different altitudes and slopes was prepared in four consecutive 30 meters time frame. The nearest neighbor method with an error of less than 0.5 pixels was used and the elevation layers were mosaicked and transmitted to the UTM ZON-38 coordinate system and GIS Ready Became. The normalized difference vegetation index of bands 1 and 2 of the matrix was obtained to isolate the reflection of the electromagnetic spectrum of vegetation and soil. This final mosaicked digital elevation model was then divided into different altitudes to accurately evaluate the surface texture. The 60 spatial points were selected to estimate the texture of surface soil in the studied area with systematic randomized sampling. In the current study, soil texture was determined for the air-dried samples using hydrometer. The SWIR bands of MODIS with resolution of 500 meters were selected for sampling dates. After corrections, DN values of the bands for sampling points were extracted. The Pearson correlation coefficient and step wise regression techniques were used to establish proper relationships between the DN values of the SWIR bands and the soil particles. Kriging and cokriging methods were also employed to create a spatially distributed map of the soil textural classes.

Results and Discussion: The results showed that there is a close correlation between the SWIR bands of the terra satellite and the MODIS sensor with band 3, and using this auxiliary variable significantly reduces the estimation error. The best model for fitting semivariogram for clay, silt and sand contents were spherical, spherical and exponential models and the best fitting Cross-semivariogram for clay, silt and sand contents were spherical, exponential and exponential models, respectively. The highest and lowest error estimation was, respectively, related to sand and clay content. The maximum and minimum decrease of estimation error by the auxiliary variables was found for sand and clay content, respectively. The nugget/sill ratio of the kriging semivariograms was greater than 25% for sand and clay content and lower than 25% for sand and silt content. This indicates that sand and silt contents had a strong spatial dependency, and clay content had a moderate spatial dependency. These ratios for cokriging cross-semivariograms of sand, silt and clay contents were less than 25%. The interpolation of estimated soil texture was also determined using the cokriging method with 70% of the soil texture measured in the laboratory.

Conclusions: Our results indicated that cokriging method estimated the soil particles more accurately as compared with linear multi-variable stepwise regression and kriging methods. Application of cokriging method also reduces the number of sampling points and the estimation error of soil texture zoning. Therefore, cokriging method seems to be better suited in impact assessments for data-scarce regions such as Iran.

Keywords: Cokriging, Kriging, MODIS sensor, Multiple stepwise regression, Particle size distribution

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2, 3 and 4-Ph.D Students, Associate Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht, Iran

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

کاربرد کیتوسان اتصال عرضی یافته با کاپاکاراگینان در حذف یون‌های کادمیم از محلول‌های آبی و خاکی

سارا ملاعلی عباسیان^{۱*} - فرحناز داشبلاغی^۲ - غلامرضا مهدوی نیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۴

چکیده

در این مطالعه، کارایی جذب کیتوسان اتصال عرضی یافته با کاپاکاراگینان برای پاکسازی آب و خاک آلوده به فلز سنگین کادمیم به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت. جذب و واجذب کادمیم توسط جاذب زیستی در سیستم تعادلی یا پیمانه‌ای انجام شد. مطالعه جذب و واجذب کادمیم توسط کیتوسان مورد مطالعه (۱/۱۱ g/L) در دامنه غلظتی ۰-۱/۹۷ میلی مولار کادمیم در pH معین ۷/۶ در قدرت یونی ۸ میلی مولار انجام گردید. به منظور تعیین واجذبی کادمیم جذب شده توسط کیتوسان اصلاح شده، به هر کدام از نمونه کیتوسان‌های باقیمانده از آزمایش جذب، ۹۰ میلی‌لیتر EDTA ۰/۱ مولار افزوده شد. مدل‌های فرندلیچ و لنگموئر بر داده‌های حاصل برازش یافت. بهترین مدل بوسیله ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) انتخاب گردید. نتایج بیانگر آن است که معادله فرندلیچ در مقایسه با معادله لنگموئر در هر دو سیستم آب و خاک بخوبی بر داده برازش یافت. ماکزیمم پتانسیل جذب توسط کیتوسان مورد مطالعه در سیستم آب برابر ۷۵۰ میکرومول بر گرم و در سیستم خاک برابر ۹۹۳ میکرومول بر گرم بدست آمد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که جاذب مورد استفاده می‌تواند جاذب زیستی مناسب‌تری برای حذف کادمیم در سیستم خاک در مقایسه با سیستم آب معرفی شود چرا که بدلیل مقادیر پایین کادمیم واجذبی در سیستم آب، استفاده مجدد از جاذب مذکور در آن سیستم به آسانی مقدور نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب، واجذب، فرندلیچ، لنگموئر

مقدمه

موجود در فاضلاب و خاک‌های آلوده شناخته شده است. در بین جاذب‌های مختلف، کیتوسان به علت ویژگی‌های منحصر به فرد از جمله فعالیت ضد میکروبی، سازگاری با محیط زیست، و مقرون به صرفه بودن، بعنوان جاذب زیستی حایز اهمیت است (۹). کیتوسان از داسیتیل‌اسیون کیتین مشتق شده است و این پلی ساکارید را می‌توان از موادی مانند میگو، خرچنگ و زیست توده قارچی استخراج نمود (۸). حضور گروه‌های آمین و هیدروکسیل در ساختار پلیمری کیتوسان باعث افزایش ظرفیت اتصال آن در فرآیند جذب می‌شود. کیتوسان می‌تواند غلظت یون فلز را حتی به نزدیک صفر برساند (۲۱). به منظور جداسازی و استفاده مجدد از جاذب‌ها، روش جداسازی مغناطیسی بعنوان روشی مقرون به صرفه پیشنهاد شده است (۱۶). برای تهیه نانوکامپوزیت‌های کیتوسان مغناطیسی، روش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (۲۶). یکی از روش‌های رایج شامل سنتز ذره‌های مغناطیسی و پراکندگی یا توزیع ذرات مغناطیسی سنتز شده در محلول کیتوسان است. سپس، کیتوسان مغناطیسی شده با افزودن لیگندهای کلات کننده مختلف به صورت کیتوسان‌های مغناطیسی اتصال عرضی یافته در می‌آید (۱۳ و ۲۵). یکی از مزایای کیتوسان اتصال عرضی یافته افزایش ثبات و پایداری آن در

امروزه تلاش به منظور کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در آب یک امر ضروری است چرا که کادمیم جز فلزهای سنگین و غیر قابل تجزیه است. غلظت کادمیم در پوسته زمین ۰/۱-۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم است و اغلب با فلزهای روی، سرب و مس یافت می‌شود (۲۰). منابع اصلی ورود کادمیم به محیط زیست شامل باتری‌ها، کودهای فسفاته، حفاری معادن، رنگدانه‌ها، تثبیت کننده‌ها و آلیاژها می‌باشد. روش‌های متعددی از جمله جذب سطحی (۲)، رسوب شیمیایی (۱)، هم‌آوری (۱۸)، اولترافیلتراسیون (۱۴)، غشاهای نانو فیلتراسیون (۱۲)، اسمز معکوس (۱۲) و انعقاد الکترودی (۴) برای حذف کادمیم معرفی شده است. جذب سطحی به طور قابل ملاحظه‌ای، کاربردی ترین روش حذف یون‌های فلزهای سنگین

۱ و ۲- استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه

(*)- نویسنده مسئول
(Email: abasiyan@maragheh.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.75071

یون‌های آهن بر کیتوسان با وزن مولکولی بالا تهیه شد. به منظور ایجاد اتصال عرضی بین کیتوسان‌های مغناطیس یافته محلول رقیق کاپاکاراگینان استفاده شد. به طور کلی، محلول کیتوسان از طریق افزودن ۱ گرم کیتوسان به ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید استیک (۱ درصد وزنی) تهیه گردید و به منظور انحلال کامل به مدت ۱ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری شد (۱۰).

محلول یون‌های آهن (با افزودن ۲ گرم نمک آهن $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ۵/۴ گرم نمک آهن $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ به $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $n\text{Fe}^{3+}/n\text{Fe}^{2+} = 2$) در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر تهیه گردید (به محلول کیتوسان افزوده شد. سپس کیتوسان بار دار شده با یون‌های آهن با گاز نیتروژن خنثی به مدت ۳۰ دقیقه شستشو داده شد. در نهایت، محلول آمونیاک (۳ مولار) به آرامی به محلول کیتوسان آهن‌دار افزوده شد. با تنظیم pH محلول بر روی ۱۱ محلول تیره رنگی که بیانگر تولید نانوذرات Fe_3O_4 است، ظاهر گردید. سپس، محلول کیتوسان مغناطیس یافته با آب مقطر شستشو داده شد تا هیچ ترکیب واکنش نشده‌ای باقی نماند. خالص سازی تا زمان رسیدن محلول به شرایط خنثی یعنی pH برابر ۷ ادامه یافت. به منظور داشتن یک محلول همگن، نمونه خالص شده کیتوسان مغناطیسی در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر پراکنده گردید و در فرکانس ۵۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه (Bandelin SONOPULS HD 2200) اولتراسونیک شد. سپس محلول کاپاکاراگینان از طریق افزودن ۰/۲ گرم کاپاکاراگینان در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر تهیه گردید و به منظور اطمینان یافتن از انحلال کامل کاپاکاراگینان به مدت ۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. سرانجام، محلول کیتوسان مغناطیسی به تدریج به محلول کاپاکاراگینان اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه در ۷۰ درجه سلسیوس با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. pH مخلوط کیتوسان مغناطیسی / کاپاکاراگینان با افزودن محلول اسید کلریدریک رقیق (۰/۱ مولار) در pH برابر ۵/۷ تنظیم شد. ذرات لخته مانند بلافاصله به دلیل برهمکنش الکترواستاتیکی بین کیتوسان مغناطیسی و کاپاکاراگینان تشکیل گردید. جاذب زیستی کیتوسان مغناطیسی / کاپاکاراگینان بوسیله مگنت (آهن‌ریا) جداسازی شد و جاذب زیستی با استفاده از خشک‌کن انجمادی منجمد گردید (Freeze-dryer, Alfa 2-4LDplus, Christ Co., Germany) و برای آزمایش‌های جذب و واجذب مورد استفاده قرار گرفت. جاذب زیستی مغناطیسی با علامت اختصاری mHCSCar0.2 بیان شده است که در آن m بیانگر مغناطیسی بودن، Car مشخص کننده کاپاکاراگینان، 0.2 بیانگر مقدار کاپاکاراگینان برحسب گرم است. مراحل سنتز نانوکامپوزیت مغناطیسی کیتوسان / کاپاکاراگینان در شکل ۱ ارائه شده است (۱۰).

محیط‌های اسیدی است (۷). فرایند اتصال عرضی یافتن کیتوسان از آنجاییکه منجر به در گیر شدن گروه‌های آمین آن‌ها در واکنش متقابل یکدیگر می‌شود، ظرفیت جذب کیتوسان را کاهش می‌دهد (۲۴)، از این رو مغناطیسی کردن کیتوسان‌های اتصال عرضی یافته می‌تواند منجر به افزایش توانایی جذب کیتوسان گردد (۱۷). در میان پلیمرهای زیستی چند یونی، هیدروژل‌های کیتوسان اتصال یافته توسط کاپاکاراگینان از طریق کاپاکاراگینان آنیونی (حاوی OSO_3^-) تولید می‌شوند. این نوع کیتوسان اتصال عرضی یافته بدلیل برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بین بارهای مثبت گروه‌های آمین موجود بر سطح کیتوسان و بارهای منفی گروه‌های سولفات موجود در کاپاکاراگینان بسیار پایدار می‌باشد (۶). اخیراً، مطالعه‌هایی در زمینه آماده سازی نانوکامپوزیت‌های کیتوسان و کاربرد آنها جهت حذف یون‌های فلزهای سنگین از محلول‌های آبی گزارش شده است. نانوذرات کیتوسان مغناطیسی برای حذف Cu^{2+} (۲۹)، نانوترکیبات کیتوسان اتصال یافته با گلوئالدهید (GLA)، اپیکلروهیدرین (ECH)، و اتیلن‌گلیکول‌دی‌گلیسیدیل‌اتر (EGDE) برای حذف فلزهای سنگین تهیه و استفاده شده است (۱۱). در این تحقیق تهیه نانوذرات مغناطیسی کیتوسان / کاپاکاراگینان و کاربرد آن در حذف یون‌های کادمیم از محلول‌های آبی و خاکی بررسی شده است. همچنین تاثیر پارامترهای غلظت اولیه یون‌های فلزی و مقدار جاذب بر فرایند جذب و واجذب کادمیم مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، بهترین مدل تجربی بر داده‌ها برازش یافت.

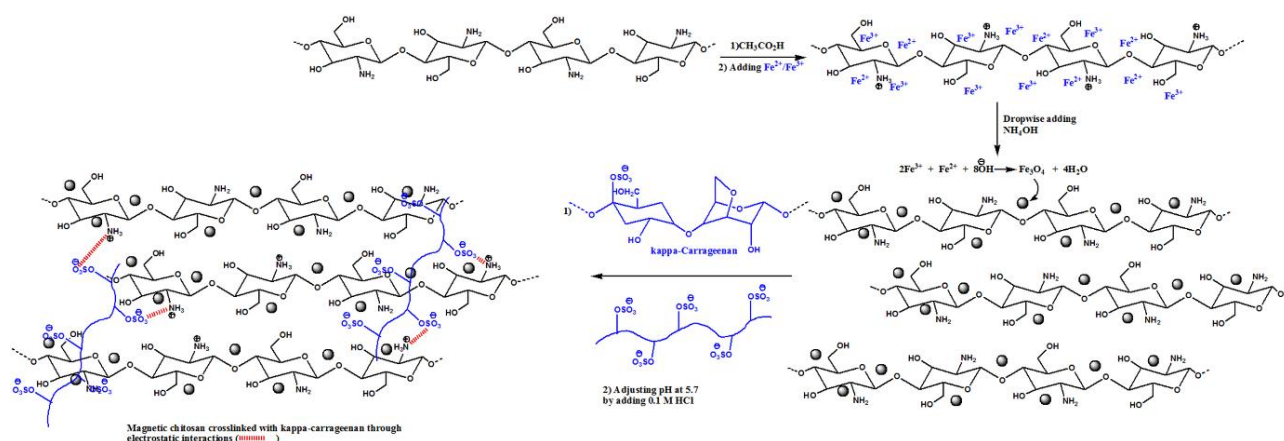
مواد و روش‌ها

مواد آزمایش

کیتوسان با وزن مولکولی بالا (درجه استیل‌زدایی کمتر از ۷۵ درصد و با وزن مولکولی ۳۴۲ کیلو دالتون) از شرکت سیگما آلدریج، کاپاکاراگینان از شرکت کندینسیون دانمارک (با وزن مولکولی ۹۰ کیلو دالتون و درصد خلوص ۹۶٪)، نمک‌های آهن $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ و $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. غلظت‌های مختلف کادمیم از نمک نیترات کادمیم تهیه شدند. ظروف شیشه‌ای و پلی‌اتیلن ابتدا با اسید سپس با آب مقطر ($\text{EC} < 2 \mu\text{S/cm}$) شسته شد. اندازه‌گیری pH با pH متر Jenwey (مدل ۳۵۱۰) انجام شد. به منظور حفظ قدرت یونی محلول از نمک نیترات کلسیم بعنوان الکترولیت زمینه با غلظت ۰/۰۰۲۶۶ استفاده گردید. کلیه آزمایش‌های جذب و واجذب در دمای آزمایشگاه ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) و به روش پیمانه‌ای صورت گرفت.

آماده‌سازی جاذب زیستی مغناطیسی

جاذب زیستی کیتوسان مغناطیسی یافته از طریق هم‌رسوبی



شکل ۱- شکل شماتیک مراحل سنتز کامپوزیت کیتوسان- کاراگینان

Figure 1- A simple scheme showing the used steps for preparing magnetic chitosan-carrageenan complexes

اساس آزمایش مقدماتی، زمان تعادل ۱۰ ساعت انتخاب شد. آزمایش‌ها در دمای ثابت 20 ± 1 درجه سلسیوس در انکوباتور انجام شد. پس از آماده‌سازی هر نمونه، pH آن با استفاده از هیدروکسید کلسیم یا اسید نیتریک تنظیم گردید. pH نمونه‌ها در میانه زمان تعادل دوباره کنترل و تنظیم شد. بعد از اتمام زمان تعادل و به منظور جداسازی فاز محلول از مگنت استفاده شد و برای اطمینان از اینکه جداسازی به طور کامل انجام شده است با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه (۱۶۸۰۰ g) به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. غلظت کادمیم در محلول رویی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری و براساس آن و در نظر گرفتن غلظت اولیه، مقدار کادمیم جذب سطحی شده توسط جاذب مورد استفاده محاسبه شد. کلیه آزمایش‌ها در سیستم خاک همانند سیستم آب تعبیه گردید با این تفاوت که در سیستم خاک، مقدار معینی خاک (۱۱/۱۱ گرم بر لیتر) نیز اضافه شد. در این پژوهش، pH و مقدار قدرت یونی اعمال شده در سیستم آب براساس pH و قدرت یونی طبیعی خاک محاسبه گردید.

پس از فرآیند جذب، مقدار کادمیم واجبی از جاذب mHCSCar0.2 با استفاده از اتیلن دی‌آمین-تتراسنتیک اسید (EDTA) ۰/۱ مولار تعیین شد (۷). مقدار درصد کادمیم واجبی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\text{مقدار یون‌های کادمیم واجبی} \times 100 = \frac{\text{مقدار یون‌های کادمیم جذب}}{\text{مقدار یون‌های کادمیم واجبی}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

همچنین، برای توصیف جذب سطحی کادمیم توسط جاذب زیستی از مدل‌های فروندلیچ (رابطه ۲) و لنگموئر (رابطه ۳) استفاده شد.

ابزار شناسایی

در این تحقیق، به منظور شکل شناسی و اندازه‌گیری نانو ذرات کیتوسان سنتز شده از میکروسکوپ الکترونی پوششی^۱ (SEM/EDX, VEG II, XMU, Czech Republic) و میکروسکوپ الکترونی عبوری^۲ (Philips CM10, Germany) استفاده شد. همچنین بررسی ساختار بلوری و آنالیز فازی نمونه کیتوسان خالص و کیتوسان مغناطیسی بوسیله پراش پرتو ایکس (Siemens, Germany) بررسی گردید. همچنین غلظت یون‌های کادمیم محلول بوسیله دستگاه جذب اتمی Shimadzu (مدل AA-6300) تعیین شد.

خاک مورد استفاده

در این پژوهش، یک نمونه خاک سطحی (عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر) از مزرعه کشاورزی دانشگاه مراغه انتخاب گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (۵)، کربن آلی به روش والکی و بلک (۲۳)، قابلیت هدایت الکتریکی (۲۷) و pH در نسبت ۱:۱ خاک به آب (۲۷) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جذب و واجذب کادمیم در حضور جاذب زیستی mHCSCar0.2

جذب سطحی کادمیم توسط جاذب زیستی mHCSCar0.2 غلظت ثابت ۱/۱۱ گرم بر لیتر جاذب و غلظت نیترات کلسیم (۰/۰۰۲۶۶ مولار) به عنوان الکترولیت زمینه، pH برابر ۷/۶ و در دامنه‌ای از غلظت کادمیم (۰/۰۰۹۷۶۸-۰/۰۰۰۰۰۰۰۰ مولار) تعیین شد (۱۹). بر

1- Scanning Electron Microscopy

2- Transmittance electron microscopy (TEM)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده
Table 1- some physio-chemical properties of the tested soil

pH	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	ماده آلی (%) Organic matter (%)	اجزای خاک (%) Soil Fractions		
			رس clay	سیلت silt	شن sand
7.6	0.64	0.88	27.5	16.5	56

پرتو ایکس به راحتی می‌توان به ساختار بلوری اسپینل Fe₃O₄ پی برد. اندازه بلور نانوذرات مغناطیسی با استفاده از قانون شر^۱ ($D=0.89\lambda/(\beta\cos\theta)$) محاسبه شد. در این معادله، D برابر اندازه بلور، λ برابر طول موج ماده هدف ($\lambda=1.5406\text{\AA}$)، β پهنای کامل در نیم ماکسیمم^۲ موجود در رادیان‌ها و θ زاویه پراش است. اندازه متوسط بلور نانوذرات مغناطیسی در جاذب زیستی مغناطیس شده محاسبه و ۴۹/۲ نانومتر بدست آمد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری جاذب زیستی مغناطیسی در شکل ۲b ارائه شده است. از تصاویر TEM می‌توان دریافت که نانوذرات مغناطیسی به شکل شبه کروی تشکیل شده است. بر طبق نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری، اندازه متوسط نانو ذرات Fe₃O₄، ۵۲/۳ نانومتر بدست آمد که این یافته نسبتاً با نتایج XRD مطابقت دارد.

ریخت‌شناسی یا مورفولوژی سطحی جاذب زیستی بوسیله تکنیک میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مشخص شد و تصویر آن در شکل ۲c ارائه شده است. تصاویر SEM نشان می‌دهد که سطح جاذب زیستی مورد استفاده در این پژوهش حاوی نانوذرات شبه کروی با مورفولوژی متخلخل است. این نانوذرات، ساختار انبوهی و متراکم دارند که این نوع ساختار را می‌توان به عملکرد کاپاکاراگینان بعنوان عامل اتصال عرضی دهنده نسبت داد. در حقیقت، می‌توان نتیجه گرفت که نانوذرات مغناطیسی- کیتوسان توسط کاپاکاراگینان احاطه شده و عامل حفاظتی نانوذرات مغناطیسی- کیتوسان از فرایندهای انحلال و آبشویی محسوب می‌شود.

حلقه پسماند مغناطیسی جاذب زیستی بوسیله تکنیک مغناطیس سنج با نمونه نوسانی در ۹ KOe $\pm$ و دمای ۲۹۸ درجه کلون اندازه-گیری شد (شکل ۲d). در این پژوهش، جاذب زیستی مغناطیسی رفتار ابر پارامغناطیسی نشان داد که این خود از مقدار صفر برای پسماندزایی و پایداری در منحنی‌های مغناطیسی مشهود است. مغناطیس اشباع جاذب زیستی ۴۴ emu/g بدست آمد. بنابراین، به راحتی می‌توان از محلول برداشت کرد.

$$q_e = K_F C_e^n \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$q_e = \frac{bKC_e}{1+KC_e} \quad (\text{رابطه ۳})$$

q_e مقدار جذب سطحی کادمیم بر حسب میکرومول بر گرم و C_e غلظت تعادلی کادمیم بر حسب میکرومول بر لیتر است. در معادله فرنرلیچ K_F و n دو ثابت معادله‌اند. در رابطه ۳، b حداکثر مقدار جذب با همان واحد q و K ثابتی است که می‌توان آن را پارامتری وابسته به انرژی جذب تفسیر کرد. میزان برازش رابطه‌های ۲ و ۳ بر داده‌های جذب سطحی با استفاده از ضریب تعیین (r^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شد. جذر میانگین مربعات خطا با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{\text{predicted}} - q_{\text{measured}})^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در فرمول فوق، n تعداد نقاط مشاهده‌ای، $q_{\text{predicted}}$ و q_{measured} به ترتیب مقدار برآوردی و مقدار مشاهده‌ای برای نقطه نام می‌باشد.

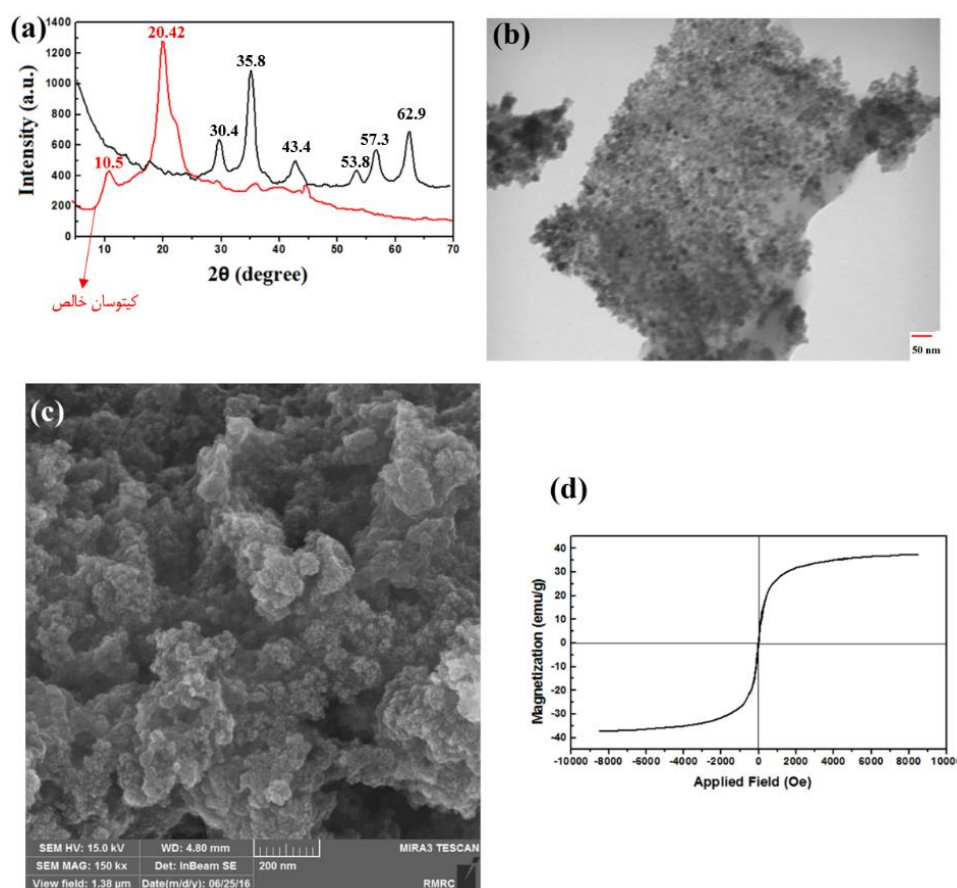
نتایج و بحث

ویژگی‌های جاذب زیستی مغناطیسی

ساختار بلوری و آنالیز فازی کیتوسان خالص و کیتوسان مغناطیس یافته بوسیله آنالیز پراش پرتو ایکس در شکل ۲a ارائه شده است. دیگرام کیتوسان مورد استفاده دارای ۲ پیک شاخص در 2θ برابر $10/5^\circ$ و $20/42^\circ$ درجه است و به ترتیب بیانگر ساختار بلورینگی جزئی کیتوسان و بلورهای هیدراتی در زنجیرهای آلفا- کیتین باقیمانده در کیتوسان می‌باشد. همانطوریکه در شکل مشاهده می‌شود پیک‌های شاخص کیتوسان در دیگرام پراش پرتو ایکس کیتوسان مغناطیس یافته، محو شده است که این خود گویای ساختار آمورفوس یا بی‌شکل کیتوسان در جاذب زیستی سنتزی است. بنابراین، افزودن نانوذرات Fe₃O₄ بر ساختار بلوری کیتوسان اثر قابل توجهی داشته است. جاذب زیستی مغناطیسی سنتز شده در این پژوهش پیک‌هایی در 2θ برابر $30/4^\circ$ ، $35/8^\circ$ ، $43/4^\circ$ ، $53/8^\circ$ و $57/3^\circ$ درجه نشان می‌دهد. این نتایج با پایگاه داده‌های نمایه شده در فایل JCPDS (شماره فایل 65-3107) مطابقت دارد (۱۶). بنابراین، با استفاده از دیگرام‌های پراش

1- Sherr's equation

2- full width at half maximum (FWHM)



شکل ۲- (a) دیاگرام‌های XRD کیتوسان خالص و جاذب زیستی مغناطیسی (mHCSCar0.2)، (b) تصاویر TEM جاذب mHCSCar0.2، (c) میکروگرافی SEM جاذب mHCSCar0.2، (d) مغناطیس در مقابل میدان مغناطیسی اعمال شده برای mHCSCar0.2

Figure 2- (a) XRD patterns of neat chitosan and magnetic bio-adsorbent mHCSCar; (b) TEM image of mHCSCar; (c) SEM micrographs of mHCSCar; and (d) the magnetization versus applied magnetic field for mHCSCar

این وجود، مدل لنگموئر با برآورد حداکثر جذب اطلاعات بیشتری در مقایسه با مدل فرندلیچ ارائه می‌دهد. در این پژوهش، حداکثر مقدار جذب کادمیم توسط جاذب mHCSCar0.2، ۷۵۰/۲ میکرومول بر گرم بدست آمد. نتایج مشابه در مطالعه اخیر در جذب کادمیم توسط کیتوسان اتصال عرضی یافته با پلی‌آنیلین در سیستم آب توسط ایگبراس و آسیف گزارش شده است (۷). آن‌ها حداکثر مقدار جذب کادمیم توسط کیتوسان اتصال عرضی یافته در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، ۸۷۵ میکرومول بر گرم گزارش کردند. بایستی به این نکته اشاره نمود که غلظت‌های اولیه مورد استفاده در هر دو پژوهش تقریباً مشابه بود. در تحقیق پیشین ما، جذب کادمیم توسط نانوذرات هیدروژل پلی وینیل الکل مغناطیسی / لاپونیت (PVA-mLap2) در pH برابر ۷ و در سیستم آب بررسی شد و ماکزیمم جذب کادمیم ۱۱۹ میکرو مول بر گرم بدست آمد (۱۹). نتایج نشان می‌دهد در شرایط مشابه، توانایی جذب کادمیم توسط mHCSCar0.2 در مقایسه با PVA-mLap2 بیشتر است.

جذب و واجذب کادمیم توسط جاذب زیستی mHCSCar0.2

شکل ۳ بیانگر آن می‌باشد که معادله فرندلیچ و لنگموئر بر داده‌های جذبی و واجذبی کادمیم برازش می‌یابد. پارامترهای هر دو مدل در جدول ۲ ارائه گردیده است. در هم‌دماهای جذب، ضریب تعیین و RMSE برای مدل فرندلیچ به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۴/۴۲ و برای مدل لنگموئر به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۶/۸۳ به دست آمد. همچنین در هم‌دماهای واجذب، ضریب تعیین و RMSE برای مدل فرندلیچ به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۰/۹۳ و برای مدل لنگموئر به ترتیب برابر ۰/۹۷ و ۳/۴۷ به دست آمد. بیشترین ضریب تعیین و کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا در هر دو هم‌دماهای جذب و واجذب مربوط به معادله فرندلیچ می‌باشد، لذا، در این پژوهش، معادله فرندلیچ بعنوان بهترین مدل برای داده‌های جذب و واجذب کادمیم در هر دو سیستم خاک و آب معرفی می‌شود (شکل ۳ و ۴). معادله فرندلیچ علت داشتن دو ثابت (n و K_F) از قابلیت انعطاف خوبی برخوردار است. با

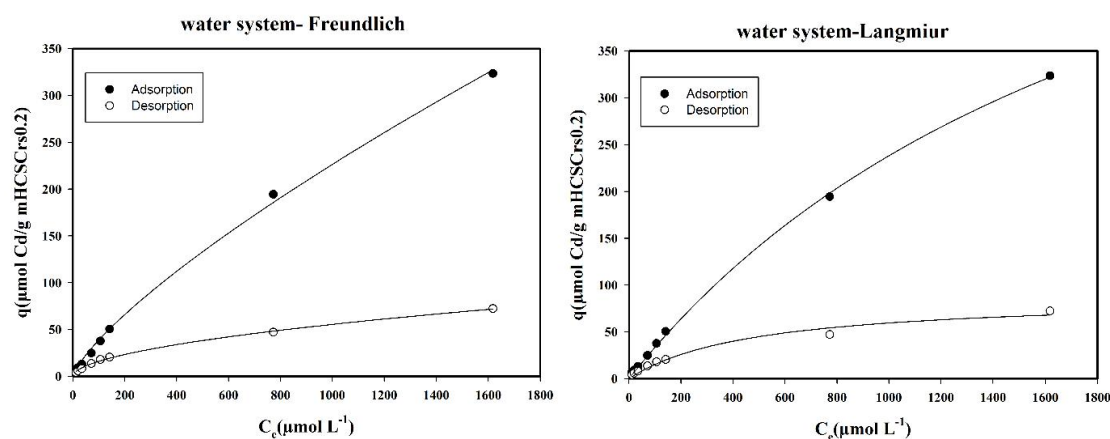
جدول ۲- پارامترهای معادله های لنگموئر و فرنرلیچ در دو سیستم آب و خاک

Table 2- Parameters of the Freundlich and Langmuir equations for water and soil systems.

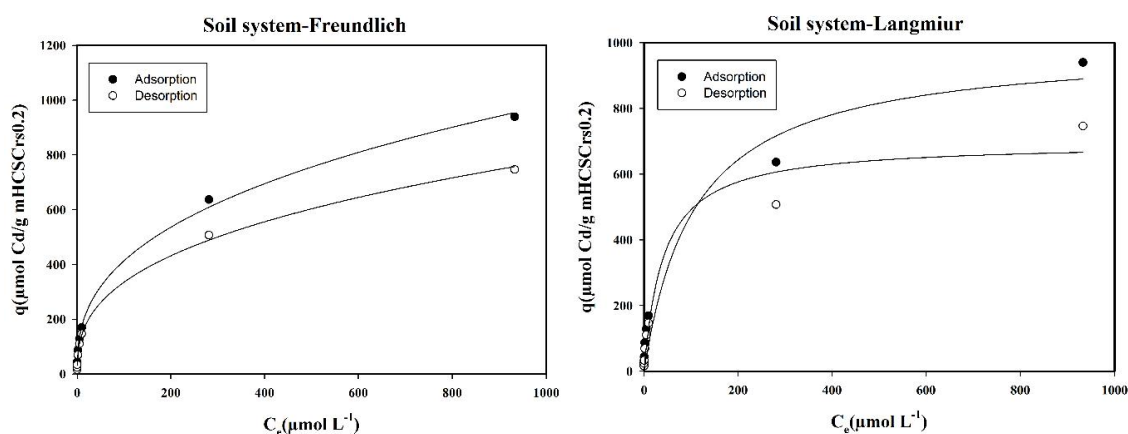
Treatment تیمار	process	معادله فرنرلیچ Freundlich				معادله لنگموئر Langmuir			
		r^2	RMSE	K_F	n	r^2	RMSE	K	$b (\mu\text{mol g}^{-1})$
Water system	ads	0.99	4.42	1.14	0.77	0.99	6.83	0.0005	750.2
Water system	des	0.99	0.93	1.35	0.54	0.97	3.47	0.0021	88.2
Soil system	ads	0.99	14.03	73.62	0.37	0.96	62.91	0.0092	992.7
Soil system	des	0.99	10.84	62.28	0.36	0.96	51.2	0.0241	695.6

مکان های جذب سطحی می باشد (۳). در این پژوهش، مقدار n در سیستم آب و سیستم خاک به ترتیب برابر ۰/۷۷ و ۰/۳۷ بدست آمد. یعنی با وجود شرایط محیطی یکسان (pH و قدرت یونی) در هر دو سیستم، ناهمگنی مکان های جذبی در جاذب mHCSCar0.2 حضور خاک افزایش یافته است که این خود می تواند بدلیل حضور مکان های جذبی مختلف در بخش آلی خاک مورد مطالعه باشد.

با محاسبه ضریب ثابت n در معادله فرنرلیچ می توان میزان همگن یا غیر همگن بودن سطح را از لحاظ مکان های جذبی تعیین کرد (۲۸). هنگامیکه n به سمت صفر میل می کند ناهمگنی مکان های سطحی افزایش یافته که نشان دهنده آن است که طیف وسیعی از انواع مکان های جذبی وجود دارد. به عکس، هنگامیکه n به سمت ۱ میل کند همگنی مکان های جذبی افزایش یافته که بیانگر تنوع اندک



شکل ۳- همدمای جذب کادمیم با جاذب زیستی mHCSCar0.2 در سیستم آب
Figure 3- Adsorption isotherm of Cd (II) by mHCSCar0.2 in the water system



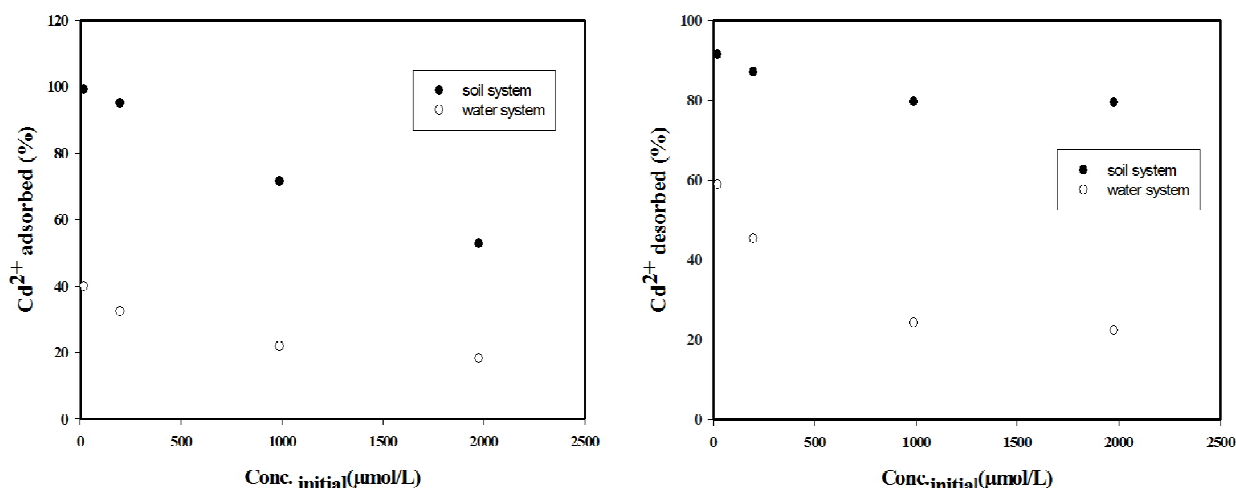
شکل ۴- همدمای جذب کادمیم با جاذب زیستی mHCSCar0.2 در سیستم خاک
Figure 4- Isotherm of adsorption of Cd (II) by mHCSCar0.2 in the soil system

ارزیابی کارایی جاذب زیستی در دو سیستم خاک و آب

تأثیر غلظت‌های اولیه کادمیم در جذب و واجذب آن در دو سیستم آب و خاک در شکل ۵ ارائه شده است. همان طور که این شکل نشان می‌دهد، با افزایش غلظت‌های اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، درصد جذب کادمیم در هر دو سیستم مورد مطالعه کاهش می‌یابد. در سیستم آب، با افزایش غلظت اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، درصد جذب آن از ۴۰ به ۱۸ درصد کاهش یافت. همچنین، در سیستم خاک، با افزایش غلظت اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، درصد جذب آن از ۹۹ به ۸۰ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اولیه کادمیم، مقدار جذب آن توسط جاذب mHCSCar0.2 افزایش در حالیکه درصد جذب کاهش می‌یابد، زیرا در غلظت‌های اولیه پایین کادمیم، نسبت مکان‌های پیوندی قابل دسترس جاذب بر مقدار کل کادمیم بیشتر است تا آنجاییکه تمام مکان‌های جذبی توسط کادمیم اشغال شده است. اما با افزایش غلظت‌های اولیه کادمیم، نسبت فوق کاهش یافته و به احتمال قوی تمام مکان‌های جذبی توسط کادمیم اشغال شده و مقداری از کادمیم به صورت جذب نشده در سیستم باقی می‌ماند. همانطور که نتایج نشان می‌دهند جاذب زیستی مورد استفاده در این پژوهش، جاذب خوبی برای کادمیم در سیستم خاک در مقایسه با سیستم آب است. در سیستم خاک در مقایسه با سیستم آب، جاذب mHCSCar0.2 در دو غلظت اولیه ۲۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار، به ترتیب ۲/۵ و ۲/۹ برابر بیشتر کادمیم جذب می‌کند. دلیل این امر را می‌توان به حضور جاذب‌های دیگر در خاک از جمله مواد آلی نسبت داد که توانسته است کارایی جاذب را بهبود بخشد. تقریباً نتایج مشابه در آزمایش‌های واجذب مشاهده گردید. در سیستم آب، با افزایش

غلظت اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، درصد واجذب آن از ۵۹ به ۲۲٪ کاهش یافت. همچنین، در سیستم خاک، با افزایش غلظت اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، درصد واجذب آن از ۹۱ به ۸۰٪ کاهش یافت. در مطالعه واجذب، با استفاده از EDTA ۰/۱ مولار بعنوان استخراج‌گر، بیشترین مقدار واجذب در سیستم آب و خاک به ترتیب برابر ۶۴ و ۹۱٪ بدست آمد. محققان درصد واجذب کادمیم توسط کیتوسان اتصال عرضی یافته با اپی کلریدین (ECH) ۰/۱ مولار، کیتوسان اتصال عرضی یافته با تری فسفات (TPP) ۰/۱ مولار و کیتوسان اتصال عرضی یافته با EDTA ۰/۰۱ مولار را بررسی نمودند و درصد واجذب را به ترتیب ۸۸/۲، ۸۸ و ۸۶/۵٪ بدست آوردند (۱۵).

در این پژوهش، به منظور بررسی کارایی کیتوسان اصلاح شده بعنوان جاذب زیستی کادمیم در دو سیستم آب و خاک، اختلاف مقادیر جذب و واجذب (Δq) محاسبه گردید (شکل ۶). در سیستم‌های آبی، هر چه مقدار Δq کمتر باشد، دلالت بر بالا بودن کارایی جاذب دارد (۲۸). یعنی در این صورت می‌توان جاذب را مکرر استفاده نمود. اما در سیستم‌های خاکی، هر چه مقدار Δq بیشتر باشد، دلالت بر کارا بودن جاذب دارد. یعنی جاذب می‌تواند جذب شونده را غیرمتحرک کند و بعنوان عامل غیرمتحرک کننده فلز در خاک استفاده شود. شکل ۶ نشان می‌دهد که در هر دو سیستم آب و خاک، با افزایش غلظت اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، Δq افزایش یافته و این افزایش در سیستم آب بیشتر از سیستم خاک است. بنابراین از آنجاییکه با افزایش غلظت‌های اولیه، مقادیر Δq در سیستم آب افزایش یافته، در نتیجه جاذب زیستی مورد مطالعه بویژه در غلظت‌های اولیه بالا از لحاظ اقتصادی کارا نمی‌باشد.



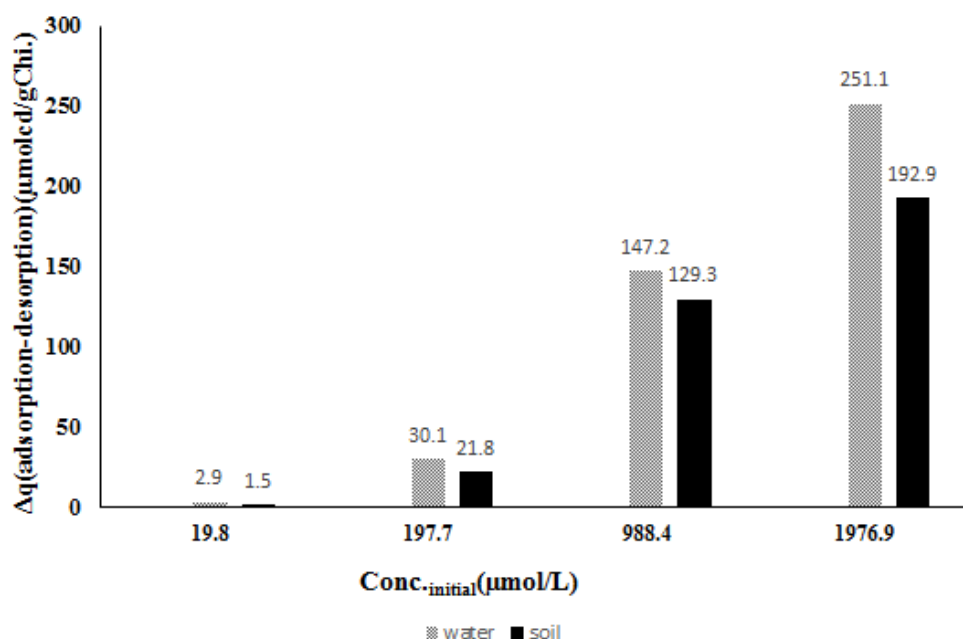
شکل ۵- مقایسه جذب- واجذب کادمیم توسط mHCSCar0.2 در دو سیستم آب و خاک
Figure 5- Adsorption-desorption of Cd²⁺ on mHCSCar0.2 in water and soil systems

استفاده از جاذب زیستی mHCSCar0.2 از نظر کارایی بعنوان اصلاح کننده خاک پیشنهاد می شود.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که جاذب زیستی مغناطیسی بر پایه کیتوسان قادر است یون های کادمیم موجود در هر دو سیستم آب و خاک را جذب نماید. ماکزیمم پتانسیل جذب توسط جاذب مورد استفاده (mHCSCar0.2) در سیستم آب برابر ۷۵۰ میکرومول بر گرم و در سیستم خاک برابر ۹۹۳ میکرومول بر گرم بدست آمد. در هر دو سیستم، بهترین مدل با ارزیابی ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، معادله فرندلیچ معرفی گردید. به منظور ارزیابی کارایی جاذب در حذف یون های کادمیم از مقایسه اختلاف بین مقادیر جذب و واجذب (Δq) استفاده شد. در سیستم آب، جاذب زیستی mHCSCar0.2 به منظور حذف یون های کادمیم در غلظت های اولیه بالا توصیه نمی شود. در حالی که، در سیستم خاک، استفاده از جاذب mHCSCar0.2 به منظور حذف و غیرمتحرک کردن کادمیم در سیستم خاک پیشنهاد می شود.

کاهش مقادیر Δq در سیستم خاک در مقایسه با سیستم آب می تواند ناشی از استخراج گر مورد استفاده (EDTA) در آزمایش های واجذب باشد. نتایج نشان می دهد که EDTA با جاذب زیستی مورد مطالعه برای ایجاد پیوند با یون کادمیم رقابت می کند. پژوهشگران کارایی بالای استخراج گر های آلی در مقایسه با استخراج گر های معدنی در خصوص استخراج بیشتر کادمیم از جاذب های مختلف را گزارش کرده اند. بعنوان مثال در بررسی مقدار کادمیم واجذبی از خاک های مختلف تیمار شده با کادمیم مشاهده گردید که مقدار کادمیم واجذبی توسط استخراج گر های آلی مانند ملات، سیترات و اکسلات بسیار بیشتر از استخراج گر های معدنی مانند نیترات سدیم (NaNO_3) است (۲۲). کین و همکاران گزارش کرده اند مقدار کادمیم واجذبی از دو نمونه خاک مختلف توسط استخراج گر های آلی (اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید استیک) در مقایسه با استخراج گر های معدنی (کلرید کلسیم (CaCl_2) و نیترات سدیم (NaNO_3)) قابل توجه است و دلیل آن را به پایداری بالای کمپلکس های ترکیبات آلی - کادمیم نسبت داده اند (۲۵). در نتیجه، در سیستم های خاکی هر چه مقادیر Δq کمتر باشد دلالت بر کارایی بیشتر جاذب در غیرمتحرک کردن کادمیم دارد. در این پژوهش،



شکل ۶- رابطه بین Δq و غلظت های اولیه کادمیم در دو سیستم آب و خاک

Figure 6- The relation between Δq and the initial cadmium concentrations in water and soil systems

1. Alvarez M.T., Crespo C., and Mattiasson B. 2007. Precipitation of Zn(II), Cu(II) and Pb(II) at bench-scale using biogenic hydrogen sulfide from the utilization of volatile fatty acids. *Chemosphere*, 66: 1677-1683.
2. Dabrowski A., Hubicki Z., Podkoscielny P., and Robens E. 2004. Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*, 56:91-106.
3. Essington, M. E. 2004. "Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press LLC".
4. Escobar C., Soto-Salazar C., and Toral I. 2006. Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater. *Journal of Environmental Management*, 81(4):384-391.
5. Gee G.W., and Or D. 2002. Particle-size analysis. In: J.H. Dane and G. C. Topp (eds.). *Methods of Soil Analysis: Physical Methods*, Part 4. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, USA, 255-295.
6. Grenha A., Gomes M.E., Rodrigues M., Santo V.E., Mano J.F., Neves N.M., and Reis, R.L. 2010. Development of new chitosan/carrageenan nanoparticles for drug delivery applications, *Journal of Biomedical Materials*, Part A 92:1265-1272.
7. Igberase E. and Osifo P. 2015. Equilibrium, kinetic, thermodynamic and desorption studies of cadmium and lead by polyaniline grafted cross-linked chitosan beads from aqueous solution, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26: 340-347.
8. Igberase E., Osifo P., and Ofomaja, A. 2014. The adsorption of copper (II) ions by polyaniline graft chitosan beads from aqueous solution: equilibrium, kinetic and desorption studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1): 362-369.
9. Jenkins D. W., and Hudson S. M. 2001. Review of vinyl graft copolymerization featuring recent advances toward controlled radical-based reactions and illustrated with chitin/chitosan trunk polymers. *Chemical Reviews*, 101(11): 3245-3274.
10. Karimi, M.H., Mahdavinia, G. R., Massoumi, B., Baghban, A., and Saraei, M. 2018. Ionically crosslinked magnetic chitosan/ κ -carrageenan bioadsorbents for removal of anionic eriochrome black-T. *International journal of biological macromolecules*, 113: 361-375.
11. Kamari A., Pulford I. D., and Hargreaves J. S. J. 2011. Binding of heavy metal contaminants onto chitosans-an evaluation for remediation of metal contaminated soil and water. *Journal of environmental management*, 92(10): 2675-2682.
12. Kheriji J., Tabassi D., and Hamrouni B. 2015. Removal of Cd (II) ions from aqueous solution and industrial effluent using reverse osmosis and nanofiltration membranes. *Water Science and Technology*, 72(7):1206-1216.
13. Kim H. R., Jang J. W., and Park J. W. 2016. Carboxymethyl chitosan-modified magnetic-cored dendrimer as an amphoteric adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 317: 608-616.
14. Landaburu-Aguirre J., Garcia V., Pongracz E., and Keiski R.L. 2009. The removal of zinc from synthetic wastewaters by micellar-enhanced ultrafiltration: Statistical design of experiments. *Desalination*, 240:262-269.
15. Laus R., Costa T. G., Szpoganicz B., and Fávere V. T. 2010. Adsorption and desorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions using chitosan crosslinked with epichlorohydrin-triphosphate as the adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3): 233-241.
16. Liu X., Hu Q., Fang Z., Zhang X., and Zhang B. 2008. Magnetic chitosan nanocomposites: a useful recyclable tool for heavy metal ion removal, *Langmuir*, 25: 3-8.
17. Lv P., Bin Y., Li Y., Chen R., Wang X., and Zhao B. 2009. Studies on graft copolymerization of chitosan with acrylonitrile by the redox system. *Polymer*, 50(24): 5675-5680.
18. Medina B.Y., Torem M.L., and de Mesquita L.M.S. 2005. On the kinetics of precipitate flotation of Cr III using sodium dodecylsulfate and ethanol. *Minerals Engineering*, 18:225-231.
19. Mola Ali Abasiyan S., and Mahdavinia G. R. 2018. Polyvinyl alcohol-based nanocomposite hydrogels containing magnetic laponite RD to remove cadmium. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(15):14977-14988.
20. Morrow H., 2001. Environmental and human health impact assessments of battery systems. In *Industrial chemistry library*. Elsevier, 10: 1-34.
21. Muzzarelli R. A., 1973. Natural chelating polymers; alginic acid, chitin and chitosan. In *Natural chelating polymers; alginic acid, chitin and chitosan*. Pergamon Press.
22. Naidu R., and Harter R.D. 1998. Effect of different organic ligands on cadmium sorption by and extractability from soils. *Soil Science Society America Journal*, 62: 644-650.
23. Nelson D. W., and Sommers L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis part 3-chemical methods*, (Methods of Soil Analysis), 961-1010.

24. Osifo P. O., Neomagus H. W., Everson R. C., Webster A., and vd Gun M. A. 2009. The adsorption of copper in a packed-bed of chitosan beads: Modeling, multiple adsorption and regeneration. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1-3): 1242-1245.
25. Qin, F., Shan, X., & Wei, B. (2004). Effects of low-molecular-weight organic acids and residence time on desorption of Cu, Cd, and Pb from soils. *Chemosphere*, 57: 253–263.
26. Reddy D. H., and Lee S. M. 2013. Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions. *Advances in Colloid & Interface Science*, 202(4): 68-93.
27. Sparks D. L., Helmke P. A., and Page A. L. 1996. *Methods of soil analysis: Chemical methods* (No. 631.417/S736 V. 3). SSSA.
28. Sposito G. 1980. Derivation of the Freundlich Equation for Ion Exchange Reactions in Soils¹. *Soil Science Society of America Journal*, 44(3): 652-654.
29. Yuwei C., and Jianlong W. 2011. Preparation and characterization of magnetic chitosan nanoparticles and its application for Cu (II) removal. *Chemical Engineering Journal*, 168(1): 286-292.



Application of Chitosan Cross-linked with κ -Carrageenan for Removal of Cadmium Ions from Water and Soil Systems

S. Mola Ali Abasiyan^{1*} - Farahnaz Dashbolaghi² - Gh. R. Mahdavinia³

Received: 10-09-2018

Accepted: 05-11-2018

Introduction: Due to the negative effects on human being health, the decrease of cadmium bioavailability in waters and soils is necessary. The main origins of cadmium ions in environment consist of batteries, phosphate fertilizers, mining, pigments, stabilizers, and alloys. Many methods such as ion exchange, chemical precipitation, flotation, ultrafiltration, nanofiltration membranes, reverse osmosis, and electrocoagulation have been used for the removal of cadmium. Notably, adsorption is proven the most practical technique for heavy metal ions removal of pollutants from wastewater and contaminated soils. Among the various adsorbents, chitosan has introduced to be an efficient one, due to its unique characteristics such as antimicrobial activity, biocompatibility, non-toxicity, and being low-cost bio-adsorbent. Chitosan is a derivative of N-deacetylated of chitin, a naturally occurring polysaccharide taken from crustaceans i.e. shrimps and crabs, and fungal biomass. The presence of amine and hydroxyl groups in the backbone of chitosan gives the polymer its high binding capacity in adsorption processes. Chitosan can decrease the metal ion concentration to near zero. This work evaluates the modified chitosan's potential as a bio-adsorbent in the water system and also its potential as a soil amendment in the soil system in terms of the adsorption and desorption of Cd^{2+} . It is also worth noting that there is no report on the removal of cadmium ions by ionically crosslinked chitosan/ κ -carrageenan materials, especially in soil systems.

Materials and Methods: The chitosan-based magnetic bio-adsorbent was prepared through in situ co-precipitation of iron ions in the presence of chitosan with high molecular weight. The surface (0-30cm) soil samples were collected from a field in University of Maragheh in the North East of Iran. Some physio- chemical properties of the soil used in this study were determined. Adsorption of cadmium on the bio-adsorbent was investigated using batch experiments. After adsorption, the adsorbent loaded with cadmium ions was washed with distilled water before treating it with 90 ml of 0.1M ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) for the determination of the metal desorption. The experimental data of Cd^{2+} adsorption and desorption isotherm were fitted by Freundlich and Langmuir models.

Results and Discussion: The crystalline nature and phase analysis for pure chitosan and magnetic chitosan bio-adsorbent was confirmed by XRD analysis. The diffractogram of chitosan consisted of two typical crystalline peaks at $2\theta = 10.8^\circ$ and 20.42° , corresponding to the partial crystalline structure of chitosan and the hydrated crystals of the remained α -chitin chains in pure chitosan, respectively. The characteristic peaks of chitosan in the XRD pattern of the magnetic bio-adsorbent disappeared, indicating of the amorphous structure of chitosan. It suggests that the addition of magnetite nanoparticles obviously affects the crystallinity of chitosan. On analyzing the values of r^2 and RMSE obtained using Freundlich and Langmuir models, it was observed that Freundlich model provided the best fit for the experimental adsorption and desorption data at the ranged of the Cd^{2+} concentration studied in the soil and water systems. To evaluate the efficiency of the modified chitosan as an efficient bio-adsorbent in water and soil system, the difference between adsorption and desorption amounts, Δq , was calculated. The less amounts of Δq , the more efficient adsorbent in a water system. This means that the adsorbent can be reused several times. In contrast, in a soil system, a positive relationship was found between the amounts of Δq and the efficiency of the adsorbent. This means that the adsorbent can immobilize the adsorbates and therefore, may be used as a metal immobilizing amendment in soil. As the initial concentrations raised, the amounts of Δq increased in the water system; therefore, it seems that the bio-adsorbent may not efficient at high initial concentrations. In the soil system, the more amounts of Δq decreases, the more efficiency of the adsorbent as a cadmium immobilization increases. Therefore, the bio-adsorbent used can be relatively efficient as a soil modifier.

Conclusions: The results revealed the magnetic bio-adsorbent based on chitosan can be sorb Cd^{2+} from water and soil systems. The maximum adsorption capacity (b) of cadmium onto the adsorbent appeared to increase from the water system to the soil system, from 750.2 to 992.7 $\mu\text{mol/g}$, respectively. On analyzing the values of r^2 and RMSE obtained using Freundlich and Langmuir models, it found that Freundlich model provided the best fit for the experimental

1 and 2- Soil Chemistry Laboratory, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Maragheh

3- Polymer Research Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran

(*-Corresponding Author Email: abasiyan@maragheh.ac.ir)

adsorption and desorption data at the range of the Cd^{2+} concentration studied in both water and soil systems. By comparing the amounts of Δq , the difference between adsorption and desorption amounts, the bio-adsorbent is not economically feasible at high initial concentrations in the water system. But, the more decrease amounts of Δq in the soil system, the more increase efficiency of the adsorbent as a cadmium immobilization. In general it seems that the bio-adsorbent used can be relatively economic as a soil modifier.

Keywords: Adsorption, Desorption, Freundlich, Langmuir

Contents

Numerical and Experimental Study of Internal Hydraulic Behavior of Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland in Different Flow Distributions	1053
S.S. Okhravi- S.S. Eslamian- N.Fathianpour	
Determination of Contribution of the Sediment Resources, using the Geochemical Elements Fingerprinting Technique (Case Study: Dare Anar basin of Baghmalek).....	1066
A. Zoratipour- M. Moazami - M. R. Ansari	
Effect of Irrigation Management (System Type and Water Stress) on Yield and Physiological Indices of Grapes (Case Study: Naghang Region)	1079
F. Fattahi- Naghani- M. Ghobadina- A.R. Mohammadkhani- M.R. Nouri-Emamzadeie	
Assessment of Some Parameters of Groundwater Quality Changes in the Marand Country Watershed- East Azarbayejan	1094
L. Kashi Zenouzi- M. R. Yazdani- M. Khosroshahi- M. Rahimi	
Estimation of Design Flood Using Fractal Theory and HEC-HMS Model (Case Study: Khorramabad River Basin)	1106
H.R. Babaali- Z. Ramak- R. Sepahvand	
Development of Huff Curves for the Five Selected Stations in the East of Urmia Lake	1122
S. Vakili Azar- Y. Dinpashoh	
Curve Number Estimation Based on the Leaf Area Index (A Case Study: Kareh-BasBasin)	1134
K. Abdollahi- S. Bayati	
Soil Organic Carbon Mapping By Geostatistics and Artificial Neural Network Methods (Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Province)	1147
P. Lahooti- S. M. Emadi- M. A. Bahmanyar- M. Ghajar Sepanlou	
Correlation between Different Fe Forms and Magnetic Susceptibility with the Development of Some Ramhormoz's Soils, Khuzestan Province, Iran	1163
Y. Abdoli- S. Jafari- A. Beshkar	
Effect of the Compost of Trees Pruning Wastes on Some Microbiological Indices of a Calcareous Soil in the Presence of Mycorrhiza under Rhizobox Conditions	1176
R. Vahedi- M.H. Rasouli-Sadaghiaei - M. Barin	
Application of Support Vector Machines for Land Use and Land Cover Classification from Landsat ETM Imagery	1189
M. A. Mahmoodi- S. Momeni, M. Davari	
Effect of Humic Acid on Physiological Indices of Iron Deficiency in Canola (<i>Brassica napus</i>) (cv. Hyola 308)	1204
T. Nazari- M. Baranimotlagh- E. Dordipour- R. Ghorbani Nasrabadi- S. Sefidgar Shahkolaei	
Spatial Variation of Mineral Particles of the Soil using Remote Sensing Data and Geostatistics to the Soil Texture Interpolation	1222
F. Asadzadeh- K. Khosraviqdam-N. Yaghmaeian Mahabadi-H. Ramezanpour	
Application of Chitosan Cross-linked with κ-Carrageenan for Removal of Cadmium Ions from Water and Soil Systems	1233
S. Mola Ali Abasiyan- Farahnaz Dashbolaghi Gh. R. Mahdavinia	

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 32

No. 6

2019

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
Ghadiri, H.	Soil Science	Prof. Griffith 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., Tabriz University
Sanaei-Nejad, S.H.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Taghvaeian, S.	Irrigation	Assis. Prof., Oklahoma University

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).