



- بررسی تاثیر ضرایب غیرتعادلی روی انتقال رسوب در رودخانه‌ها با استفاده از مدل عددی ۱
صباح محمدی - رسول قبادیان - سید محمود کاشفی پور
- پیش‌بینی گوه‌ی آب شور تحت شرایط پیشروی و پسروی با استفاده از مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT ۱۳
حجت احمدی - محمد همتی - مهدی مطلبیان
- تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیم ۲۹
ام البنین بذرافشان - زهرا گرکانی نژاد مشیزی
- تاثیر هیدروکسید مسد مضاعف لایه‌ای با آنیون بین لایه‌ای فسفات بر فراهمی فسفر در یک خاک آهکی ۴۵
حدیث حاتمی - امیر قنوت - اکرم حلاج نیا
- تاثیر نوع و منبع کود مصرفی بر توزیع عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی ۵۹
فاطمه حسن‌زاده نارنج‌بونی - رضا ابراهیمی گسکرتی - بیژن مرادی - طاهره رئیس
- مقایسه روش‌های مختلف آماری در برآورد اجزای بافت خاک با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی - فروسرخ ۷۳
محبوبه طیبی - مهدی نادری - جهانگرد محمدی - مهدیه حسینی‌زاده
- بررسی کارایی روش‌های رقمی به‌منظور ارزیابی کیفی تناسبات اراضی ۸۷
(مطالعه‌ی موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری)
زهره مصباح - محمدحسن صالحی - اعظم جعفری - عبدالمحمد محتشک - عیسی اسفندیارپور بروجنی
- اثر هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر تجمع کلر و برخی عناصر پرمصرف در ذرت در الگوهای مختلف کاشت ۱۰۱
داوود دوانی - مجید نبی پور - حبیب الله روشنفکر
- پاسخ برخی شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد محصول به مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی و گیاه پوششی ۱۱۳
اسماعیل اسفندیاری اخلاص - محسن نائل - محسن شکل آبادی - جواد حمزه ثی - علی اکبر صفری سنجانی
- تثبیت سرب در یک خاک آهکی با استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی ۱۲۷
سمیه سفیدگر شاهکولایی - مجتبی بارانی مطلق - فرهاد خرمالی - اسماعیل دردی پور
- ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس ۱۴۳
مجید بصیرت - حسن حقیقت نیا - سید مجید موسوی
- جداسازی و شناسایی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما برای استفاده در کود میکروبی فسفات ۱۵۵
بهمن خوشرو - محمدرضا ساریخانی
- کارایی بنتونیت و شلنوک برنج طبیعی و اصلاح شده در ناپویاسازی کادمیم و پیامد آن بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک ۱۶۹
سمانه عبدالرحیمی - نسرین قربان‌زاده - حسن رمضانپور - محمد باقر فرهنگی
- ارتباط بین ویژگی‌های خاک و پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف اراضی منطقه بردسیر استان کرمان ۱۸۵
سحر طاق‌دیس - محمد هادی فرپور
- پایش و پیش‌بینی حدی دما و تاثیر آن بر روی کشاورزی مطالعه موردی: توت فرنگی استان کردستان ۱۹۹
سامان فشخوری - محمد سلیقه - مه‌ری اکبری
- ارزیابی تجربی روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای تابش فعال فتوسنتز و شدت تابش کل خورشید ۲۱۳
علی اکبر سبزی پرور - علی کریمی

Contents

- The Effect of Non-Equilibrium Coefficients on Sediment Transport in Rivers Using Numerical Model 11
S. Mohamadi - R. Ghobadian- S.M. Kashefipour
- Assessment of Accuracy of CTRAN/W and SEAWAT Models for Prediction of Saltwater Wedge under Intruding and Receding Conditions 27
H. Ahmadi- M. Hemmati- M. Motalebian
- The Impacts of Climate Variability on Spatiotemporal Water Footprint of Tomato Production in the Hormozgan 43
O. Bazrafshan- Z. Gerkani Nezhad Moshizi
- The Effect of Layered Double Hydroxide with Phosphate as the Interlayer Anion on the Availability of Phosphorus in a Calcareous Soil 57
H. Hatami - A. Fotovat- A. Halajnia
- Effect of Fertilizer Type and Its Source on Nutrients Distribution in Kiwifruit Leaves and Fruit 72
F. Hassanzade Naranjboni - R. Ebrahimi-B. Moradi- T. Raiesi
- Comparing Different Statistical Models and Pre-processing Techniques for Estimation of Soil Particles Using VNIR/SWIR Spectrum 85
M. Tayebi- M. Naderi- J. Mohammadi- M. Hosseini Zadeh
- Assessing the Performance of Digital Mapping Approaches for the Qualitative Land Suitability Evaluation (A Case Study: Shahrekord Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province) 99
Z. Mosleh- M. H. Salehi- A. Jafari- A. Mehnatkesh- I. Esfandiarpour Borujeni
- The Effect of Cytokinin and Auxin Hormones on the Distribution and Accumulation of Chlorine and Some Macroelements in Different Sectors of Maize in Different Planting Patterns in Saline Condition 112
D. Davani - M. Nabipour - H. Roshanfekar Dezfooli
- The Response of Selected Soil Quality Indices and Crop Yield to Integrated Management of Tillage and Cover Cropping in *Cucurbita pepo* Cultivation 126
E. Esfandiary Ekhlash- M. Nael- M. Sheklabadi- J. Hamzei- A.A. Safari Sinegani
- Immobilization of Lead in a Calcareous Contaminated Soil using Organic and Inorganic Amendments 142
S. Sefidgar Shahkolaie - M. Baranimotlagh - F. Khormali - E. Dordipour
- Evaluation and Determination the Nutritional Status of Valencia Orange Orchards in South of Fars Province 154
M. Basirat - H. Haghighatnia - S. M. Mousavi
- Isolation and Identification of Temperature Resistant Phosphate Solubilizing Bacteria for Use in Phosphatic Microbial Fertilizer 167
B. Khoshru - M.R. Sarikhani
- Efficiency of Natural and Modified Bentonite and Rice Husk on Immobilization of Cadmium and Its Effect on Some Biological Properties of Soil 183
S. Abdulrahimi - N. Ghorbanzadeh- H. Ramezanpoor- M.B. Farhangi
- Magnetic Susceptibility Related to Soil Properties in Different Land Uses of Bardsir Region, Kerman Province 197
S. Taghdis - M. H. Farpoor
- Monitoring and Prediction of the Extent of Temperature and its Impact on Agriculture in Kurdistan Province Case study: Strawberry in Kurdistan Province 212
S. Fashkhorani- M. Saliqe- M. Akbary
- Experimental Evaluation of Regression Relations of Instantaneous Photosynthetically Active Radiation (PAR) and Total Solar Radiation (TSR) 228
A.A. Sabziparvar - A. Karimi

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 1 فروردین - اردیبهشت سال 1397

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

رضا ولی زاده

سر دبیر:

امیر فتوت

اعضای هیات تحریریه:

دانشیار - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

آستارائی، علیرضا

دانشیار - علوم خاک (دانشگاه تبریز)

اوستان، شاهین

دانشیار - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ثنائی نژاد، سید حسین

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

خرمالی، فرهاد

استاد - آبیاری و زهکشی (دانشگاه فردوسی مشهد)

علیزاده، امین

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

فتوت، امیر

دانشیار - آبیاری و زهکشی (دانشگاه شیراز)

قائمی، علی اصغر

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

کمالی، غلامعلی

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

کیانی، علیرضا

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

لکزیان، امیر

استاد - آبیاری و مهندسی عمران (دانشگاه فردوسی مشهد)

مساعدی، ابوالفضل

استاد - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

موسوی بایگی، محمد

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

مهدیان، محمد حسین

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: انتشارات 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 (شی شماره در سال) منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

1	بررسی تاثیر ضرایب غیرتعدالی روی انتقال رسوب در رودخانه‌ها با استفاده از مدل عددی صباح محمدی - رسول قبادیان - سید محمود کاشفی پور
13	پیش‌بینی گوهی آب شور تحت شرایط پیشروی و پسروی با استفاده از مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT حجت احمدی - محمد همتی - مهدی مطلبیان
29	تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیم ام البنین بذرافشان - زهرا گرگانی نژاد مشیزی
45	تاثیر هیدروکسید مضاعف لایه‌ای با آنیون بین لایه‌ای فسفات بر فراهمی فسفر در یک خاک آهکی حدیث حاتمی - امیر فتوت - اکرم حلاج نیا
59	تاثیر نوع و منبع کود مصرفی بر توزیع عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی فاطمه حسن‌زاده نارنج‌بنی - رضا ابراهیمی گسکرتی - بیژن مرادی - طاهره رئیسی
73	مقایسه روش‌های مختلف آماری در برآورد اجزای بافت خاک با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی - فروسرخ نزدیک و کوتاه محبوبه طیبی - مهدی نادری - جهانگرد محمدی - مهدیه حسینی‌زاده
87	بررسی کارایی روش‌های رقومی به‌منظور ارزیابی کیفی تناسب اراضی (مطالعه‌ی موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری) زهره مصلح - محمدحسن صالحی - اعظم جعفری - عبدالمحمد محنت‌کش - عیسی اسفندیارپور بروجنی
101	اثر هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر تجمع کلر و برخی عناصر پرمصرف در ذرت در الگوهای مختلف کاشت در شرایط شوری داوود دوانی - مجید نبی پور - حبیب الله روشنفکر
113	پاسخ برخی شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد محصول به مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی و گیاه پوششی در زراعت کدو تخمه کاغذی اسماعیل اسفندیاری اخلاص - محسن نائل - محسن شکل آبادی - جواد حمزه نی - علی اکبر صفری سنجانی
127	تشبیه سرب در یک خاک آهکی با استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی سمیه سفیدگر شاهکلاهی - مجتبی بارانی مطلق - فرهاد خرماهی - اسماعیل دردی پور
143	ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس مجید بصیرت - حسن حقیقت‌نیا - سید مجید موسوی
155	جداسازی و شناسایی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما برای استفاده در کود میکروبی فسفات بهمن خوشرو - محمدرضا ساریخانی
169	کارایی بنتونیت و شلتوک برنج طبیعی و اصلاح شده در ناپویاسازی کادمیم و پیامد آن بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک سمانه عبدالرحیمی - نسرین قربان‌زاده - حسن رمضانپور - محمد باقر فرهنگی
185	ارتباط بین ویژگی‌های خاک و پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف اراضی منطقه بردسیر استان کرمان سحر طاق‌دیس - محمد هادی فرپور
199	پایش و پیش‌بینی حدی دما و تاثیر آن بر روی کشاورزی مطالعه موردی: توت فرنگی استان کردستان سامان فشخورانی - محمد سلیقه - مهری اکبری
213	ارزیابی تجربی روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای تابش فعال فتوسنتز و شدت تابش کل خورشید علی اکبر سبزی پرور - علی کریمی

بررسی تاثیر ضرایب غیرتعدالی روی انتقال رسوب در رودخانه‌ها با استفاده از مدل عددی

صبحاح محمدی^{*۱} - رسول قبادیان^۲ - سید محمود کاشفی پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

مدل‌های عددی به‌نحو گسترده‌ای در مدیریت و مهندسی منابع آب کاربرد دارند. در این تحقیق، مدل عددی هیدرودینامیکی یک بعدی و غیرماندگار توسعه داده شده است، که برای روندیابی جریان و انتقال رسوب به‌صورت شبه‌کوپل در سیستم‌های رودخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از معادله دینامیکی انتقال - پخش و معادله دیفرانسیلی بار بستر به‌ترتیب برای محاسبه میزان انتقال بار معلق و بار بستر استفاده می‌شود. بعد از محاسبه میزان رسوب، از معادله اکسیر برای محاسبه تغییرات ارتفاع بستر در رودخانه استفاده می‌شود. با توجه به طبیعت غیر تعادلی بودن رسوب در رودخانه‌ها، در این مدل عددی، برعکس بسیاری از مدل‌های شناخته شده موجود از روش غیر تعادلی معادله اکسیر استفاده شده است. استفاده از روش غیر تعادلی به‌علت پیچیدگی حل آن و همچنین وجود پارامترهای غیرتعدالی در آن مانند ضرایب طول انطباق و بازیافت بسیار مشکل است. در تحقیق حاضر آنالیز حساسیت نیز روی این مقادیر با استفاده از مدل عددی انجام شد. نتیجه گرفته شد، که با انتخاب ضریب طول انطباق، معادل با مضربی از ۱ الی ۳ برابر فاصله بین مقاطع عرضی، نتایج واقع بینانه‌تری می‌توان از مدل عددی گرفت. برای ضریب بازیافت بار معلق نیز بهتر است از معادله تجربی Lin (1984) استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: سیستم رودخانه‌ای، شبه کوپل، معادله اکسیر، یک بعدی

مقدمه

صورت یک بعدی توسعه داده شده است که توانایی شبیه سازی جریان و انتقال رسوب را در سیستم های رودخانه ای دارد. جوژیانگ و همکاران (۷) براساس معادلات سنت ونانت که جریان در کانال ها و مجاری روباز را توصیف می کند و با استفاده از طرح ضمنی چهار نقطه ای پریسمن، مدلی هیدرودینامیکی همراه با مدل کیفی آب را توسعه دادند. ترمینی (۱۱) در تحقیقی به تخمین انتقال رسوبات غیریکنواخت در حالت غیر تعادلی پرداخت. ایشان برای شبیه سازی تغییرات بستر رودخانه و پروفیل های بستر از یک مدل شبه کوپل استفاده کردند. ترمینی الگوریتمی را طراحی کرد که در آن در هر گام زمانی معادلات حاکم بر جریان و رسوب حل می شوند. خیلی از روابط انتقال رسوب برای شرایط تعادلی توسعه داده شده اند که در این حالت فرض بر این است که ظرفیت حمل رسوب با مقدار انتقال رسوب برابر است. با این وجود وقتی که بستر کانال در حال فرسایش و رسوب گذاری باشد، میزان انتقال رسوب ممکن است کم تر یا بیش تر از ظرفیت حمل رسوب گردد (۱۹). بی و دوان (۲) مدلی یک بعدی را برای شبیه سازی جریان غیرماندگار و انتقال رسوب در کانال های با پوشش گیاهی توسعه دادند. آن ها از معادلات اصلاح شده سنت ونانت و انتقال بار بستر به صورت هم زمان استفاده کردند. ایشان از روش منفصل سازی حجم محدود گودنو برای منفصل کردن معادلات حاکم بهره بردند. هانگمینگ و همکاران (۶) در تحقیقی به بررسی اثرات

برآورد حجم انتقال یافته رسوب توسط جریان بخاطر اهمیت آن در طراحی و مدیریت پروژه های منابع آبی، مورد توجه بسیاری از مهندسين هیدرولوژی قرار گرفته است. برای مهندسين بسیار ضروری و مهم است که از چگونگی انتقال رسوب آگاهی داشته و قادر باشند مکان هایی را که در آن ها فرسایش و رسوب گذاری اتفاق می افتد پیش بینی کنند. مدل های ریاضی ابزار با ارزشی را برای پیش بینی شرایط جریان و رسوب فراهم نموده اند و به نحو گسترده ای در مدیریت و مهندسی آب کاربرد دارند. به همین دلیل محققان مختلفی شبیه سازی را برای بررسی جریان های با بستر متحرک در کانال های آبرفتی و در رودخانه های طبیعی مورد توجه قرار داده اند. تجزیه و تحلیل میزان فرسایش و رسوب گذاری از پیچیده ترین مباحث هیدرولیک رسوب و رودخانه می باشد. در این تحقیق مدلی عددی به

۱ و ۲- دانش آموخته دکتری سازه های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Sabah.Mohamadi@gmail.com)

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.65319

جریان سیل در محل تلاقی روی فرایند روندیابی سیل، مورفولوژی رودخانه و فعالیت‌های بشری براساس یک مدل پیشنهادی سیل، پرداختند. مدل پیشنهادی براساس کوپل کردن معادلات هیدرولیکی، شبکه عصبی و تئوری احتمال بنا نهاده شده است. روندیابی سیل در محل تلاقی با استفاده از موج کینماتیک انجام شده است.

بر اساس حالت انتقال رسوب، مدل‌های انتقال رسوب به صورت تعادلی^۱ و غیر تعادلی^۲ طبقه‌بندی می‌گردند. در بسیاری از مدل‌ها، فرض می‌شود که نرخ انتقال رسوب واقعی با ظرفیت حمل رسوب توسط جریان در شرایط تعادلی در هر نقطه‌ی محاسباتی برابر است. مدل‌ها بر اساس این فرضیه تعادلی موضعی، مدل‌های انتقال رسوب در شرایط تعادل نامیده می‌شوند. حالت تعادلی کامل، به‌ندرت در شرایط طبیعی وجود دارد. فرض تعادل موضعی واقعی نیست، به‌خصوص در شرایطی که فرسایش و انباشتگی شدیدی وجود دارد. مدل‌های انتقال رسوب بر اساس شرایط غیر تعادلی از این فرضیه صرف‌نظر نموده و با استفاده از معادلات انتقال، نرخ واقعی بار کف و بار معلق را تعیین می‌کنند. امروزه مدل‌های انتقال در شرایط غیر تعادلی به‌نحو گسترده‌ای در مهندسی رودخانه به‌کار برده می‌شوند (۱۳). در رودخانه‌ها معمولاً فرض می‌شود که دبی بار مواد بستر با ظرفیت انتقال رسوب جریان برابر است، به این معنی که بار مواد بستر در حالت تعادلی منتقل می‌شود. با این وجود شرایطی وجود دارد که در آن اثرات تاخیرات زمانی و مکانی بسیار مهم هستند. در حالت تعادلی تبادل ذرات رسوب بین بستر و ستون آب به صورت آبی رخ می‌دهد در حالی که در حالت غیرتعادلی این تبادل با تاخیر مکانی و زمانی اتفاق می‌افتد و به‌صورت آبی نیست. محققین برای تمایز بین حالت تعادلی و غیر تعادلی، دو پارامتر به اسم ضریب طول انطباق^۳ و ضریب بازیافت^۴ را به‌ترتیب برای بار بستر و بار معلق تعریف کرده‌اند (۱۷). در تحقیق حاضر به‌طور مفصل بررسی حساسیت این ضرایب غیرتعادلی در سیستم‌های رودخانه‌ای و تاثیر آن‌ها در پروفیل‌های فرسایش و رسوب‌گذاری مورد بررسی قرار گرفته است. طول انطباق برای انتقال بار بستر، معمولاً با فرض این‌که این طول بر اساس اندازه فرم بستر غالب در رودخانه مقیاس‌بندی شود، برآورد می‌گردد. این فرض می‌تواند منجر به تخمین این طول در محدوده‌ای از چند برابر عرض کانال تا طول ریپل ماسه‌ای یا طول گام جهش یک دانه رسوبی شود یا حتی منجر به این نتیجه گردد که این طول آن‌قدر کوچک شود که بتوان آن را نادیده گرفت (۱). گایون و همکاران (۵) برای محدود

کردن طول انطباق بار بستر آزمایشاتی را انجام دادند. آن‌ها این طول را به‌صورت زیر تعریف کردند. فاصله مورد نیاز برای جریان به منظور رسیدن به ظرفیت غلظت بار بستر. ایشان به این نتیجه رسیدند که طول انطباق بار بستر حدود 30 ± 8 برابر قطر ذره در یک تنش برشی نسبتاً کم ($\theta - \theta_c = 0.018$) که θ تنش برشی بدون بعد و $\theta_c = 0.0436$ ، تنش برشی بی‌بعد بحرانی است) و حدود 100 ± 30 برابر قطر ذره در یک سطح میانگین از تنش برشی بی‌بعد است ($\theta - \theta_c = 0.032$). آزمایشات در تنش برشی بالا برای محاسبه ضریب طول انطباق (L_b) منجر به خطا شد. یکی دیگر از روابط برای ضریب طول انطباق فرمول ارائه شده توسط وو و همکاران (۱۵) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$L_b = \frac{Uh}{\alpha w_s} \quad (۱)$$

که در آن U ، سرعت متوسط جریان؛ h ، عمق جریان؛ w_s ، سرعت سقوط ذرات رسوبی و α ضریب انطباق غیر تعادلی بار معلق می‌باشد.

وو (۱۳) پیشنهاد کرد که ضریب طول انطباق با فرم بستر ارتباط نزدیکی دارد و در مدل‌های آزمایشگاهی به صورت ضریبی از عمق جریان می‌تواند لحاظ گردد، که در رودخانه‌های طبیعی این ضریب بسیار بزرگ‌تر از مقدار آزمایشگاهی آن است. ضریب بازیافت بار معلق (α) نسبت غلظت نزدیک بستر به غلظت میانگین رسوب معلق در یک مقطع می‌باشد. این ضریب به‌ندرت شناخته شده است و تعیین آن از نظر تئوریک بسیار مشکل است. معمولاً این ضریب را از طریق توزیع غلظت راس^۵ و یا توزیع‌های دیگر غلظت بار معلق برآورد می‌کنند. روابط زیادی برای محاسبه این پارامتر وجود دارد (۱۶). وو و وانگ (۱۴) و ملکی و خان (۹) ضریب بازیافت بار معلق را به‌صورت معادله زیر تعریف کردند:

$$\alpha = \min[\alpha_0, (1 - P_m) / C] \quad (۲)$$

که در آن α_0 مقدار ثابت، P_m می‌باشد. لین (۸) رابطه زیر را برای ضریب بازیافت ارائه کرد:

$$\alpha = 3.25 + 0.55 \ln \left(\frac{\omega_s}{kU_*} \right) \quad (۳)$$

U_* سرعت برشی ذرات بستر می‌باشد.

مقدار ضریب طول انطباق و ضریب بازیافت به مورد مطالعاتی بستگی دارد و باید براساس داده‌های اندازه‌گیری کالیبره گردد (۹). پایه و اساس تئوری خاصی برای تعیین دقیق این ضرایب در رودخانه‌های طبیعی وجود ندارد. بنابراین این ضرایب یا به‌صورت تجربی و یا براساس یک سری شبیه‌سازی‌های عددی به‌دست می‌آید.

- 1- Equilibrium
- 2- Non- Equilibrium
- 3- Adaptation Length Coefficient
- 4- Recovery Coefficient

رسوب استفاده شده است.

بخش هیدرودینامیک جریان

روندپایی هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها با حل هم‌زمان معادلات پیوستگی و اندازه حرکت که به معادلات سنت-وانانت معروف هستند، انجام می‌شود. روابط ۱ و ۲ فرم کلی معادلات مذکور استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T_w \frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{Q_L}{\Delta X} \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \beta \frac{\partial \left[\frac{Q^2}{A} \right]}{\partial x} = -gAS_f - gA \frac{\partial Z}{\partial x} \quad (5)$$

با جایگزین نمودن $\frac{\partial Q}{\partial x}$ از معادله پیوستگی در معادله مومنتم و

هم‌چنین جای‌گرینی شیب خط انرژی به صورت $S_f = \frac{n_m^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}}$

می‌توان معادله مومنتم را به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2\beta Q Q_L}{A \partial x} - \frac{2\beta Q T_w}{A} \frac{\partial Z}{\partial t} - \frac{\beta Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z}{\partial x} - g \frac{n_m^2 Q^2}{AR^{4/3}} \quad (6)$$

که در روابط فوق،

Q ، دبی جریان؛ A ، سطح مقطع جریان؛ Z ، رقوم سطح آب؛

T_w ، عرض سطح آب؛ β ، ضریب تصحیح اندازه حرکت؛ n_m ،

ضریب زبری مانینگ؛ R ، شعاع هیدرولیکی مقطع؛ Q_L ، دبی جریان

ورودی یا خروجی جانبی و S_f ، شیب خط انرژی می‌باشد. در رابطه

فوق می‌توان به جای $\frac{Q_L}{\Delta x}$ از مقدار q_L استفاده کرد. بعد از محاسبه

پارامترهای هیدرولیکی در بخش هیدرودینامیک جریان، این پارامترها به بخش انتقال رسوب ارسال می‌شوند. در این رساله در بخش انتقال رسوب، بار معلق و بار بستر به صورت مجزا محاسبه می‌شوند. برای تخمین ظرفیت حمل رسوب از معادلات تجربی بار معلق و بار بستر، و برای محاسبه میزان انتقال رسوب در بخش بار معلق از معادله دینامیکی انتقال-پخش و برای بار بستر از معادله دیفرانسیلی بار بستر که در ادامه بیشتر به آن اشاره می‌شود، استفاده شده است.

بخش انتقال رسوب

معادلات بار معلق

معادله دینامیکی توازن جرمی در قالب رابطه انتقال-پخش برای حالت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی اساس مدل‌سازی کیفی می‌باشد، که با به کارگیری روش فیک برای شار جرمی متلاطم

ژانگ و دوان (۱۸) آنالیز حساسیت تغییرات ارتفاعی بستر را با توجه به ضرایب مختلف طول انطباق و ضرایب بازیافت انجام دادند. ایشان مقادیر متفاوتی را در محدوده ۲۰۰ الی ۸۰۰ فوت برای طول انطباق انتخاب و آنالیز حساسیت را انجام دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که تغییرات ارتفاعی بستر به تغییرات ضریب طول انطباق و بازیافت بسیار حساس است. بوهورکز و انسی (۳) نشان دادند که ضریب طول انطباق به وسیله سرعت انتقال ذره، پخشیدگی ذره، میزان ته‌نشینی و صعود ذرات از بستر به ستون آب کنترل می‌شود. هم‌چنین نتیجه گرفتند که ضریب طول انطباق مستقل از طول موج فرم بستر می‌باشد. در این مطالعه، مدل عددی هیدرودینامیکی یک بعدی و غیرماندگار توسعه داده شده است، که برای روندپایی جریان و انتقال رسوب به صورت شبه‌کوپل در سیستم‌های رودخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از معادله دینامیکی انتقال-پخش و معادله دیفرانسیلی بار بستر به ترتیب برای محاسبه میزان انتقال بار معلق و بار بستر استفاده می‌شود. بعد از محاسبه میزان رسوب، از معادله اکسندر برای محاسبه تغییرات ارتفاع بستر در رودخانه استفاده می‌شود. با توجه به طبیعت غیر تعادلی بودن رسوب در رودخانه‌ها، در این مدل عددی از روش غیر تعادلی به علت پیچیدگی حل آن و هم‌چنین وجود پارامترهای غیرتعادلی در آن مانند ضرایب طول انطباق و بازیافت بسیار مشکل است. در این تحقیق سعی شده است که مقادیر مناسب و واقع بینانه‌ای برای ضرایب غیر تعادلی انتخاب شود.

مواد و روش‌ها

مدل توسعه یافته در این تحقیق یک مدل از نوع شبه‌کوپل می‌باشد. در گام اول و قبل از شروع گام زمانی، شرایط اولیه برای سیستم رودخانه‌ای و برای مدل عددی تعریف می‌گردد. در مرحله بعد، گام زمانی برای برنامه شروع می‌شود. اولین مرحله بعد از شروع گام زمانی، تعیین شرایط مرزی بالادست و پایین دست برای محدوده موردنظر است که در این مرحله تعریف می‌شود. شرط مرزی بالادست هیدروگراف ورودی و شرط مرزی پائین‌دست رابطه دبی-اشل می‌باشد که توسط مدل عددی موجود با استفاده از رابطه مانینگ ساخته شده است. بعد از تعیین شرایط مرزی، مدل هیدرودینامیکی جریان اجرا و پارامترهای هیدرولیکی از قبیل دبی، سرعت، عمق و تراز سطح جریان تعیین و محاسبه می‌شوند. پارامترهای محاسبه شده در بخش هیدرودینامیک در همان گام زمانی به بخش انتقال رسوب مدل ارسال، و تراز بستر رودخانه محاسبه و به روز می‌شود. همین روند تا پایان زمان اجرای برنامه و تا آخرین گام زمانی ادامه خواهد داشت. در این تحقیق از روش عددی تفاضلات محدود در بخش انتقال هیدرودینامیک جریان و از روش عددی حجم محدود در بخش انتقال

با انتگرال گیری از معادله ۷ روی حجم کنترل یک بعدی و همچنین با توجه به غیرماندگار بودن مسئله، با انتگرال نسبت به زمان از t تا $t + \Delta t$ داریم:

$$\int \left[\frac{\partial}{\partial t} (CA) dt dx + \int \frac{\partial}{\partial x} (AUC) dt dx - \int \frac{\partial}{\partial x} (AD_L \frac{\partial C}{\partial x}) dt dx = \int S_T dt dx + \int q_L C_L dt dx \right] \quad (11)$$

بعد از انتگرال گیری معادله فیک روی حجم کنترل و نسبت به زمان داریم:

$$A_p (C_i^{n+1} - C_i^n) + (A_u C_e^{n+1} - A_u C_w^{n+1}) \frac{dt}{dx} - A D_e \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_e \frac{dt}{dx} + A_u D_w \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_w \frac{dt}{dx} = \alpha \omega_s t_w (C_a^* - C) dt + q_L C_L dt \quad (12)$$

برای گسسته سازی معادله فوق از طرح اختلاف پیوند اسپالدینگ (۱۰) که بر اساس ترکیبی از طرح های اختلاف بالادست و اختلاف مرکزی می باشد، استفاده شده است.

معادلات بار بستر

برای محاسبات بار بستر در این تحقیق از معادله تعادل جرم در لایه بستر به صورت زیر استفاده می شود (۱۴):

$$\frac{\partial}{\partial t} (A_b \bar{C}_b) + \frac{\partial Q_b}{\partial x} + (1 - P_m) \frac{\partial A_b}{\partial t} + t_w (D - E) = 0 \quad (13)$$

که A_b سطح مقطع لایه بستر و $\bar{C}_b$ میانگین غلظت رسوب در لایه بار بستر می باشد. با پیروی از وو (۱۲) تغییر بستر به علت بار کل (مواد بستر) می تواند به صورت زیر تعریف گردد:

$$(1 - P_m) \frac{\partial A_b}{\partial t} = \frac{1}{L_b} (Q_i^* - Q_i) \approx t_w (D - E) + \frac{1}{L_b} (Q_b^* - Q_b) \quad (14)$$

که P_m ، تخلخل مواد رسوبی؛ L_b ، ضریب طول انطباق؛ Q_i^* ، ظرفیت انتقال بار کل یا میزان انتقال بار کل و Q_b^* ، ظرفیت حمل بار بستر یا میزان انتقال بار بستر است که از معادلات تجربی به دست می آید؛ و Q_b ، میزان واقعی انتقال بار بستر می باشد. با جایگزینی معادله ۱۴ در معادله ۱۳ و با استفاده از رابطه $Q_b = A_b u_b \bar{C}_b$ معادله بار بستر به صورت زیر منتج می شود:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q_b}{u_b} \right) + \frac{\partial Q_b}{\partial x} = \frac{1}{L_b} (Q_b^* - Q_b) \quad (15)$$

که در رابطه ۱۵، u_b ، سرعت ذرات بار بستر است.

در نهایت داریم:

$$Q_{b(i)}^{n+1} = \left[\left(\frac{Q_b}{u_b} \right)_i^n - \frac{dt}{dx} Q_{b(i)}^n + \frac{dt}{dx} Q_{b(i-1)}^n + \frac{dt}{L_b} Q_{b(i)}^* - \frac{dt}{L_b} Q_{b(i)}^n \right] u_{b(i)}^{n+1} \quad (16)$$

محاسبه تغییرات ارتفاع بستر

بعد از حل مدل هیدرودینامیک و محاسبه پارامترهای هیدرولیکی در گام زمانی موردنظر و همچنین محاسبات میزان دبی بار بستر و بار معلق، تغییرات ارتفاع بستر رودخانه با استفاده از معادله اکسیر در حالت

(موازنه جرم)، معادله یک بعدی انتقال پخش را می توان به صورت معادله (۷) نوشت:

$$\frac{\partial}{\partial t} (CA) + \frac{\partial}{\partial x} (QC) - \frac{\partial}{\partial x} (AD_L \frac{\partial C}{\partial x}) = S_T + q_L C_L \quad (7)$$

در رابطه (۷) از سمت چپ، ترم یک نشان دهنده تاثیر محلی، ترم دوم انتقال و ترم سوم انتشار به وسیله پخشیدگی، همچنین از سمت راست ترم یک منبع کاهش دهنده یا افزایش دهنده آلودگی و ترم دوم مقدار دبی ورودی و یا خروجی جانبی می باشد. در رابطه (۷)، C ، غلظت رسوب معلق در مقطع مورد نظر؛ A ، سطح مقطع جریان؛ Q ، دبی جریان؛ D_L ، ضریب پخشیدگی طولی؛ C_L ، غلظت رسوب معلق جریان ورودی یا خروجی جانبی و q_L ، دبی جریان جانبی در واحد عرض است. ترم منبع یا S_T در مدل سازی رسوب معلق و غیر چسبند به صورت رابطه (۸) در معادله انتقال - پخش قرار می گیرد:

$$S_T = \omega_f C_s + \varepsilon_s \frac{\partial C_s}{\partial y} = E - D \quad (8)$$

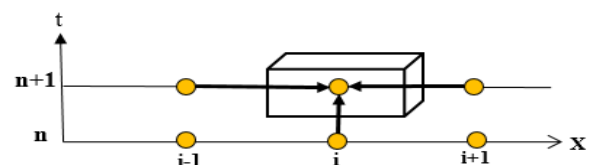
که در آن پارامتر E ، میزان رسوبات وارد شده به ستون آب از لایه بستر، و پارامتر D ، مقدار رسوبات ته نشین شده از ستون آب روی بستر می باشد. در حالت تعادلی نرخ تبادل رسوب بین بار معلق و بار بستر یکسان و برابر لحاظ می گردد، یعنی داریم:

$$S_T = E - D = 0 \quad (9)$$

بر اساس نظریه انتقال رسوب در حالت غیر تعادلی، α به عنوان ضریب بازیافت رسوب معلق تعریف شده است، که در حالت غیر تعادلی ترم منبع به صورت رابطه (۱۰) تعریف می شود:

$$S_T = \omega_f C_s + \varepsilon_s \frac{\partial C_s}{\partial y} = E - D = \alpha \omega_s t_w (C_a^* - C_a) \quad (10)$$

که در آن C_a^* ، ظرفیت حمل بار رسوب معلق که با استفاده از معادلات تجربی محاسبه می شود و C_a ، میزان واقعی انتقال بار معلق است که با استفاده از معادله دینامیکی انتقال - پخش به دست می آید. قدم اصلی در روش حجم محدود، انتگرال گیری از معادلات حاکم روی یک حجم کنترل (شکل ۱) برای رسیدن به یک معادله گسسته در نقاط گرهی می باشد.



شکل ۱- شماتیکی از حجم کنترل
Figure 1- Schematic of control volume

$$\Delta Z(k, i) = 0.5 * \left[\frac{\Delta t}{t_w(k, i)(1-P_m)} [t_w(k, i)w_s(C_a^n(k, i) - C_a^{n*}(k, i)) + \frac{1}{L_b(k, i)} (Q_b^n(k, i) - Q_b^{n*}(k, i))] \right] +$$

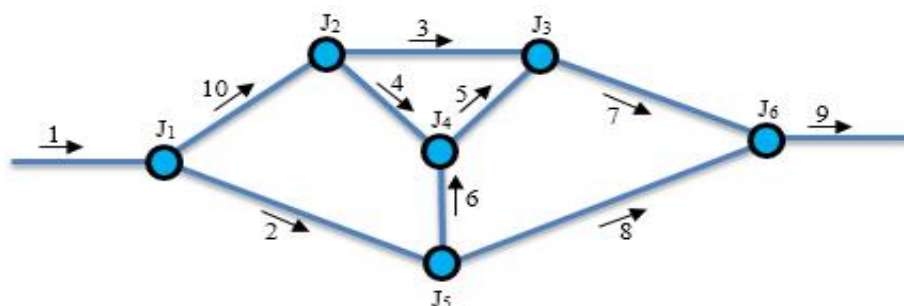
$$0.25 * \left[\frac{\Delta t}{t_w(k, i-1)(1-P_m)} [t_w(k, i-1)w_s(C_a^n(k, i-1) - C_a^{n*}(k, i-1)) + \frac{1}{L_b(k, i-1)} (Q_b^n(k, i-1) - Q_b^{n*}(k, i-1))] \right] +$$

$$0.25 * \left[\frac{\Delta t}{t_w(k, i+1)(1-P_m)} [t_w(k, i+1)w_s(C_a^n(k, i+1) - C_a^{n*}(k, i+1)) + \frac{1}{L_b(k, i+1)} (Q_b^n(k, i+1) - Q_b^{n*}(k, i+1))] \right] \quad (22)$$

برای رسوب‌گذاری مقدار ΔZ ، مثبت و برای فرسایش مقدار آن منفی خواهد بود. در نهایت با استفاده از رابطه ۲۲ تغییرات فرسایشی و رسوب‌گذاری در مسیر رودخانه محاسبه شده است. این تغییرات به بخش هیدرودینامیک مدل ارسال شده و بستر اولیه رودخانه مطابق آن به‌روز می‌شود.

نتایج و بحث

پارامترهای غیر تعادلی رسوب شامل ضریب طول انطباق بار بستر و ضریب بازیافت بار معلق، از جمله پارامترهای بسیار حساس و مهم در بحث مدل‌های عددی انتقال رسوب هستند که مطالعات نشان داده است، روش مبنا و خاصی برای تعیین این پارامترها وجود ندارد. برای درک بهتر اهمیت این پارامترها در تغییرات بستر رودخانه، در این تحقیق، آنالیز حساسیت روی پارامترهای غیر تعادلی برای سیستم رودخانه‌ای موجود در چاودری (۴) انجام گرفت. به‌طوری‌که مقادیر ثابت مختلفی برای ضریب طول انطباق در نظر گرفته شد. سعی شده است که مقادیر انتخابی برای ضریب طول انطباق، تقریباً ضرایبی از فاصله بین مقاطع عرضی رودخانه باشد. سیستم رودخانه‌ای چاودری به‌صورت حلقه‌ای، دارای ۱۰ شاخه و ۶ اتصال می‌باشد (شکل ۲). همه کانال‌ها دارای مقطع مستطیلی هستند. سایر مشخصات ژئومتری هر یک از شاخه‌های این سیستم رودخانه‌ای در منبع مذکور ذکر شده است.



شکل ۲- سیستم رودخانه‌ای حلقوی
Figure 2- Chaudhry river system

غیر تعادلی محاسبه خواهد شد:

$$(1 - P_m) \frac{\partial A_b}{\partial t} = B(D - E) + \frac{1}{L_b} (Q_b - Q_b^*) \quad (17)$$

که در آن P_m ، تخلخل مواد بستر و A_b ، سطح لایه بستر است که به جای آن از تراز بستر یعنی Z_b ، استفاده شده است. با توجه به اینکه عرض سطح آب در مقاطع نامنظم و طبیعی رودخانه در هر ارتفاعی تغییر می‌کند، بنابراین در معادله اکسرنر غیر تعادلی به جای عرض کف کانال از عرض فوقانی سطح آب استفاده شده است ($B = t_w$).

داریم:

$$B(D - E) = Bw_s (C_a - C_a^*) \quad (18)$$

که در آن C_a ، میزان انتقال واقعی بار معلق که پیشتر از معادله دینامیکی انتقال-پخش محاسبه شد؛ و C_a^* ، میزان ظرفیت حمل بار معلق است که از روابط تجربی محاسبه می‌شود. در نهایت معادله اکسرنر غیر تعادلی به‌صورت زیر گسسته‌سازی شده است:

$$Z_b^{n+1} = Z_b^n + \frac{\Delta t}{t_w(1-P_m)} [t_w w_s (C_a^n - C_a^{n*}) + \frac{1}{L_b} (Q_b^n - Q_b^{n*})] \quad (19)$$

داریم:

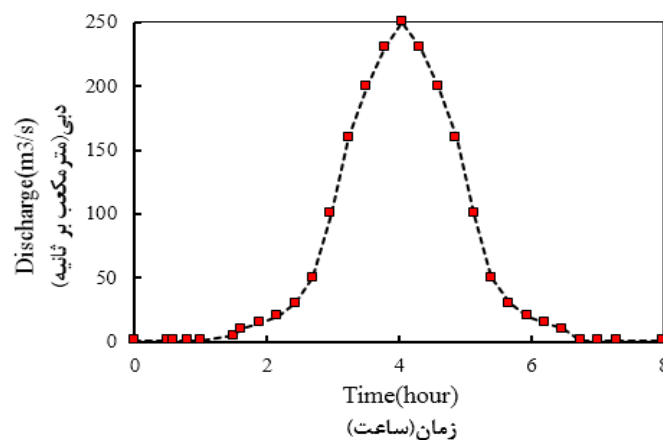
$$\Delta Z = Z_b^{n+1} - Z_b^n \quad (20)$$

$$\Delta Z = \frac{\Delta t}{t_w(1-P_m)} [t_w w_s (C_a^n - C_a^{n*}) + \frac{1}{L_b} (Q_b^n - Q_b^{n*})] \quad (21)$$

در این تحقیق گسسته‌سازی معادله اکسرنر، به‌صورت زیر انجام شده است، به‌طوری‌که برای محاسبه تغییر ارتفاع بستر در گره i ، علاوه بر خصوصیات خود این گره، از مشخصات گره‌های اطراف نیز، اما با ضرایب وزنی کمتری استفاده شده است.

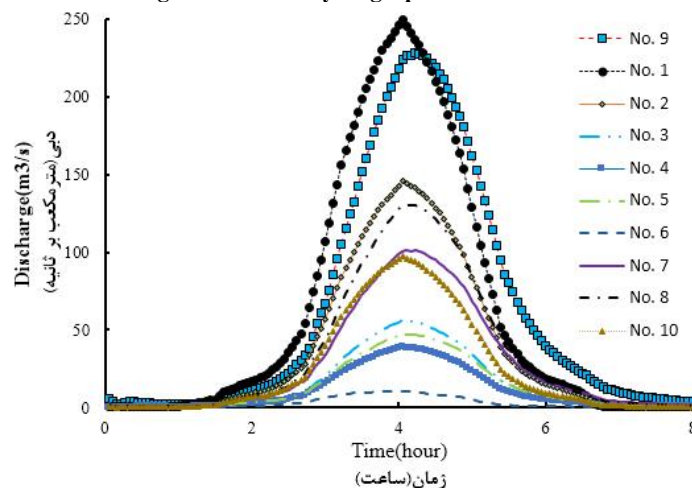
ورودی به سیستم رودخانه‌ای چاودری، در شاخه شماره یک معادل ۱۸۴۱۲۹۹ متر مکعب و در شاخه انتهایی سیستم یعنی شاخه شماره ۹، معادل ۱۸۴۰۹۴۶ مترمکعب برآورد شد. با توجه به این‌که مقدار تلفات نشت در طول مسیر نادیده گرفته شده است، بنابراین می‌بایست حجم هیدروگراف در شاخه شماره ۱ و ۹ با یک‌دیگر برابر باشند. مقدار خطای مدل در این حالت برابر ۰/۰۲ درصد می‌باشد، که خطای بسیار کوچک و قابل صرف‌نظر کردن است. مقادیر محاسبه شده حجم هیدروگراف در محل اتصال شاخه‌ها، حاکی از دقت بالای مدل در ارضای رابطه پیوستگی می‌باشد.

به منظور شبیه سازی سیستم رودخانه‌ای مورد نظر با استفاده از مدل عددی توسعه یافته از یک هیدروگراف سیل فرضی با زمان پایه ۸ ساعت، که مقدار دبی اوج آن معادل ۲۵۰ متر مکعب بر ثانیه است، استفاده شده است. این هیدروگراف به عنوان شرط مرزی بالادست به کانال شماره یک وارد شده است. بعد از اجرا و شبیه‌سازی مدل، روندیابی هیدروگراف سیل نشان داده شده در شکل ۳ برای تمامی شاخه‌های سیستم رودخانه‌ای چاودری انجام شد. شکل ۴ هیدروگراف روندیابی شده را به تفکیک برای همه شاخه‌های سیستم رودخانه‌ای چاودری نشان می‌دهد. فرض شده است، تلفات انتقال در طول مسیر این سیستم رودخانه‌ای معادل صفر می‌باشد. میزان حجم هیدروگراف



شکل ۳- هیدروگراف جریان ورودی به شاخه شماره یک

Figure 3- Inflow hydrograph in river No. 1



شکل ۴- روندیابی هیدروگراف سیل در سیستم رودخانه‌ای چاودری

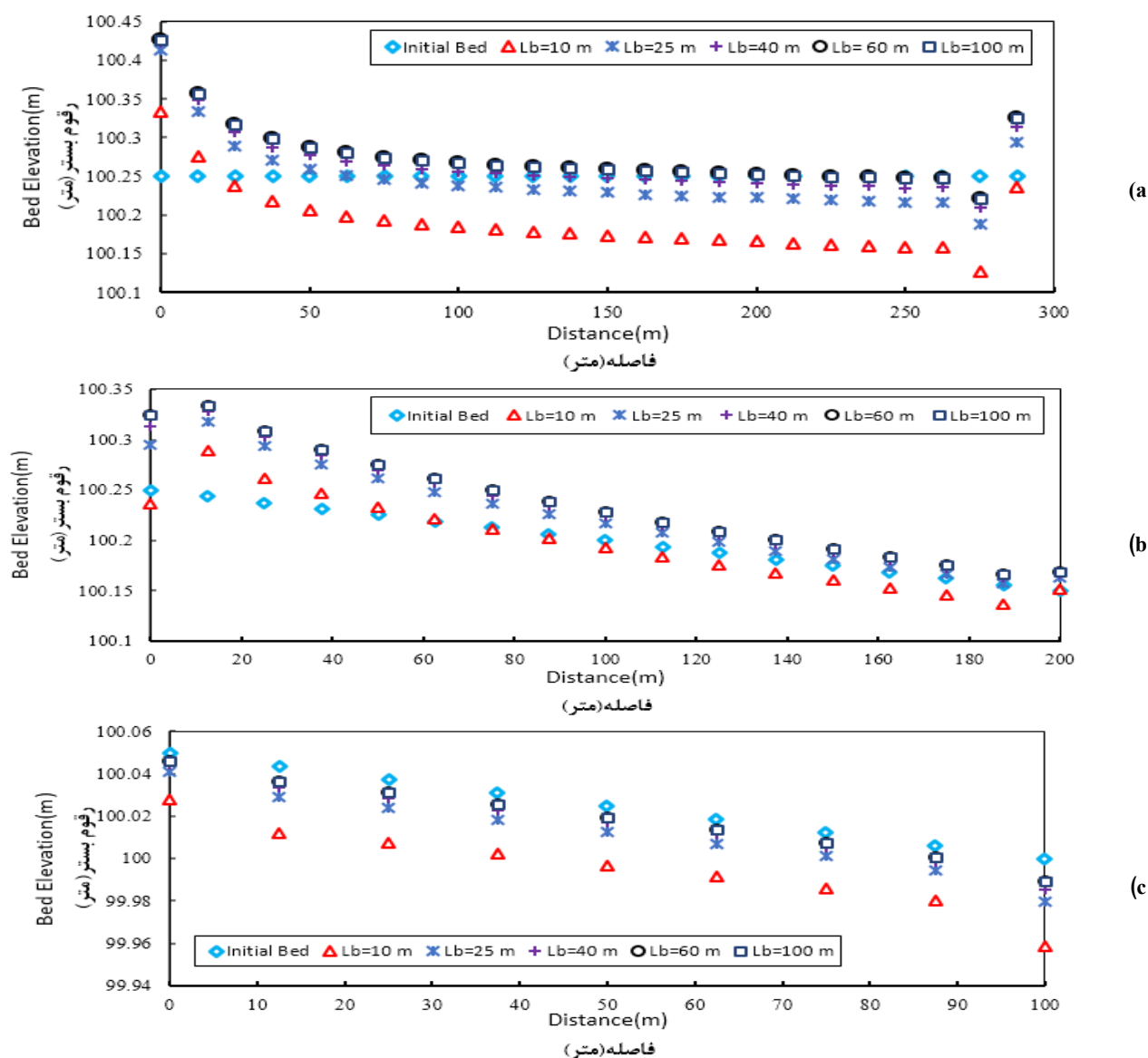
Figure 4- Flow routing in Chaudhry river system

به ضریب طول انطباق روی سیستم رودخانه‌ای چاودری نشان داد، که با افزایش مقدار این ضریب، فرسایش‌پذیری در پروفیل طولی رودخانه کاهش و مقدار رسوب‌گذاری افزایش پیدا می‌کند. این روند را می‌توان

جهت بررسی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در سیستم رودخانه‌ای چاودری از توابع انتقال وایف و همکاران برای بار معلق و میرپتر- مولر برای بار بستر استفاده شده است. آنالیز حساسیت نسبت

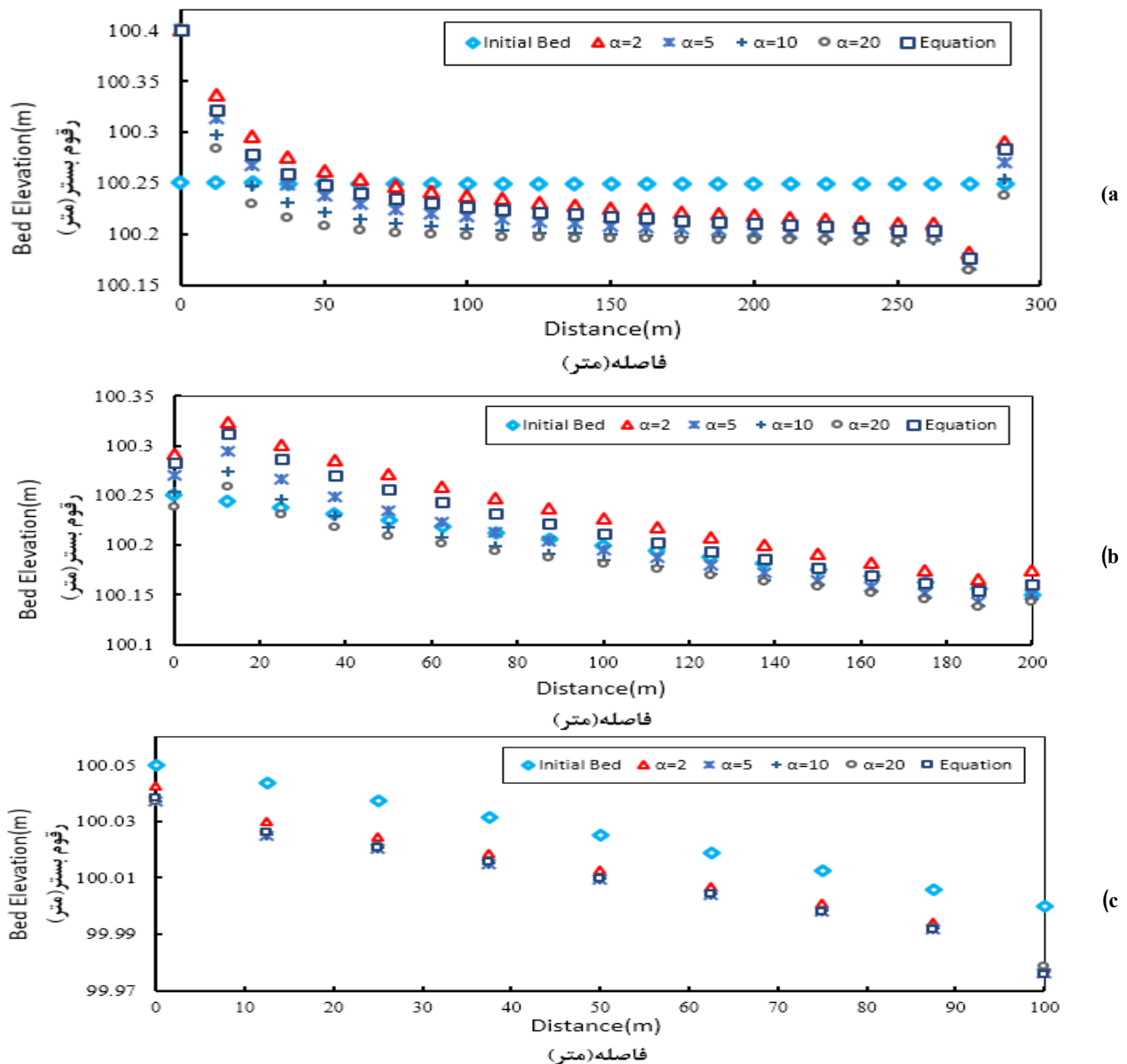
توجه به مباحث گفته شده در بخش مقدمه، مقادیر انتخاب شده برای ضریب بازیافت معادل ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ می‌باشد. علاوه بر اعداد ثابت انتخاب شده برای ضریب بازیافت، این ضریب از طریق معادله ۳ نیز محاسبه و با ضرایب دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. آنالیز حساسیت نسبت به ضریب بازیافت بار معلق روی سیستم رودخانه‌ای چاودری نشان داد، که با افزایش مقدار این ضریب، فرسایش پذیری در پروفیل طولی رودخانه افزایش و مقدار رسوب گذاری کاهش پیدا می‌کند. این روند را می‌توان در تمام شاخه‌های این سیستم رودخانه‌ای مشاهده نمود.

در تمام شاخه‌های این سیستم رودخانه‌ای مشاهده نمود. همچنین با توجه به شکل ۵ می‌توان پی برد که تغییرات ارتفاع بستر با توجه به تغییرات ضریب طول انطباق در دبی‌های بالا، افزایش می‌یابد. در شاخه‌های شماره ۱ و ۹ که دبی معادل دبی ورودی به سیستم می‌باشد، این تغییرات نسبت به شاخه‌های دیگر که دبی به تناسب بین آن‌ها تقسیم می‌گردد، بیشتر است. نکته مهم دیگری که از این تحقیق نتیجه گرفته شد این است، که با انتخاب ضریب طول انطباق، معادل با مضربی از ۱ الی ۳ برابر فاصله بین مقاطع عرضی، نتایج واقع بینانه‌تری می‌توان از مدل عددی گرفت. شکل ۶ نیز آنالیز حساسیت پارامتر ضریب بازیافت بار معلق را روی تغییرات بستر نشان می‌دهد. با



شکل ۵- آنالیز حساسیت تغییرات بستر به ضریب طول انطباق در رودخانه (a) شماره ۱، (b) شماره ۲، (c) شماره ۷

Figure 5- Sensitivity analyses of bed elevation change on bed load adaptation length L_b in river a)no.1, b)no.2, c)no.7



شکل ۶- آنالیز حساسیت تغییرات بستر به ضریب بازیافت در رودخانه (a) شماره ۱، (b) شماره ۲، (c) شماره ۷

Figure 6- Sensitivity analyses of bed elevation change on suspended load recovery coefficient α in river a)no.1, b)no.2, c)no.7

جمع‌بندی

سیستم‌های رودخانه‌ای حلقوی و پیچیده دارد. در الگوریتم در نظر گرفته شده برای این مدل عددی، نخست معادلات هیدرودینامیکی جریان برای محاسبه پارامترهای هیدرولیکی از قبیل سرعت، دبی، سطح مقطع جریان و ... حل می‌شوند. سپس در همان گام زمانی این پارامترها به بخش انتقال رسوب ارسال می‌شوند و پارامترهای هیدرولیکی تخمین زده شده برای محاسبه بار معلق و بار بستر و همچنین تغییرات تراز بستر مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس تراز جدید محاسبه شده، دوباره به بخش هیدرودینامیک جریان فرستاده

رودخانه‌ها همواره از گذشته‌های دور مورد توجه جوامع انسانی بوده‌اند بطوریکه رودخانه‌ها نه تنها در سیمای کلی سطح زمین نقش دارند، بلکه شکل زیستن انسان در کره زمین را تعیین می‌کنند که تشکیل تمدن‌های بزرگ و کهن در کناره رودخانه‌ها از آن جمله است. تجزیه و تحلیل میزان فرسایش و رسوب‌گذاری از پیچیده‌ترین مباحث هیدرولیک رسوب و رودخانه می‌باشد. مدل عددی توسعه یافته در این رساله توانایی شبیه‌سازی و روندیابی جریان و انتقال رسوب را در

است و آنالیز حساسیت نیز روی این مقادیر انجام شد. نتیجه گرفته شد، که با انتخاب ضریب طول انطباق، معادل با مضربی از ۱ الی ۳ برابر فاصله بین مقاطع عرضی، نتایج واقع بینانه‌تری می‌توان از مدل عددی گرفت. برای ضریب بازیافت بار معلق نیز بهتر است از معادله تجربی لین (۸) استفاده شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد. نویسندگان این تحقیق از همکاری تمامی اساتید گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کمال تشکر را دارند.

شده و ژئومتری کانال براساس آن دوباره تعدیل می‌گردد. برای محاسبه تغییرات بستر رودخانه، می‌توان از معادله اکسندر در دو حالت تعادلی و غیر تعادلی استفاده نمود. با توجه به طبیعت غیر تعادلی بودن رسوب در رودخانه‌ها، در این مدل عددی، خلاف بسیاری از مدل‌های شناخته شده موجود مانند HEC-RAS، از روش غیر تعادلی معادله اکسندر استفاده شده است. استفاده از روش غیر تعادلی به علت پیچیدگی حل آن و همچنین به جهت وجود پارامترهای غیرتعادلی موجود در آن مانند ضرایب طول انطباق و بازیافت بسیار سخت و مشکل است.

در این تحقیق ضریب طول انطباق برای بار بستر و ضریب بازیافت برای بار معلق در بخش انتقال رسوب در نظر گرفته شده

منابع

- 1- Armanini A. 1992. Variation of bed and sediment load mean diameters due to erosion and deposition processes. Dynamics of gravel-bed rivers, Wiley, 5:352-359.
- 2- Bai Y., and Duan J.G. 2014. Simulating unsteady flow and sediment transport in vegetated channel network. Journal of Hydrology, 515:90-102.
- 3- Bohorquez P., and Ancey C.h. 2015. Stochastic-deterministic modeling of bed load transport in shallow water flow over erodible slope: Linear stability analysis and numerical simulation. Advanced Water Resources, 83:36-54.
- 4- Chaudhry M.H. 1993. Open channel flow. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 5- Gaeuman D., Sklar L., and Lai Y. 2014. Flume experiments to constrain bedload adaptation length. Journal of Hydrologic Engineering, 20(5):1-6.
- 6- Hongming H., Yong Q.T., Xingmin M.u., Jie Z.h., Zhanbin L.i., Nannan C., Qingle Z.h., Soksamnang K., and Chantha O. 2015. Confluent flow impacts of flood extremes in the middle yellow river. Quaternary International, 380:382-390.
- 7- Juxiang J., Jing H., Liu C., and Tao J. 2011. Hydrodynamic and water quality models of river network and its application in the Beiyun River. 978-1-4244-5089-3/11/2011 IEEE.
- 8- Lin B. 1984. Current study of unsteady transport of sediment in China. In: Proc. Japan-China Bilateral Seminar on River Hydraulics and Engineering Experiences, Tokyo-Kyoto-Saporo, Japan, 337-342.
- 9- Maleki Safarzadeh F., and Khan A. 2016. 1-D coupled non-equilibrium sediment transport modeling for unsteady flows in the discontinuous Galerkin framework. Journal of Hydrodynamics, 28(4):534-543.
- 10- Spalding D.B. 1972. A Novel Finite Difference Formulation for Differential Expressions Involving Both First and Second Derivatives. Journal Number Methods Engineering, 4:1-551.
- 11- Termini D. 2014. Non-uniform sediment transport estimation in non-equilibrium situation. Procedia Engineering, 70:1639-1648.
- 12- Wu W. 2004. Depth-averaged two-dimensional numerical modeling of unsteady flow and nonuniform sediment transport in open channels. Journal of Hydraulic Engineering, 130(10): 1013-1024.
- 13- WU W. 2007. Computational river dynamics. Abingdon, UK: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- 14- WU W., and Wang S.S. 2007. One-dimensional modeling of dam- break flow over movable beds. Journal of Hydraulic Engineering, 133(1):48-58.
- 15- Wu X.L., Xiang X.H., Wang C.H., Li L., and Wang C.h. 2014. Water level updating model for flow calculation of river networks. Water Science and Engineering, 7(1):60-69.
- 16- Yang C.H., and Marsooli R. 2010. Recovery factor for nonequilibrium sedimentation processes. Journal of Hydraulic Research, 48(3):409-413.
- 17- Yang C.T., and Simoes F.J.M. 2002. User's manual for Gstars3.0 (generalized stream tube for alluvial river simulation). USBR.
- 18- Zhang S., and Duan J. 2011. 1D finite volume model of unsteady flow over mobile bed. Journal of Hydrology, 405(1):57-68.
- 19- Zhang S., Duan J., and Strelkoff T. 2013. Grain-scale non-equilibrium sediment transport model for unsteady flow. Journal of Hydraulic Engineering, 139(1):22-36.



The Effect of Non-Equilibrium Coefficients on Sediment Transport in Rivers Using Numerical Model

S. Mohamadi^{1*}- R. Ghobadian²- S.M. Kashefipour³

Received: 03-07-2017

Accepted: 15-01-2018

Introduction: It is so important for engineers to be able to predict the places in which deposition and scouring occurs. In recent two decades using the numerical models are common for simulating flow and sediment transport. Numerical models are valuable tools for estimating flow conditions and sediment transport, and are widely applied in water resources management. For this reason, many researches focus on modeling and simulation of flow on a mobile bed in natural and alluvial rivers. Analyzer of sediment transport is one of the most complicated topics in sediment and river hydraulic.

Material and Methods: In this research a one dimensional, unsteady, hydrodynamic model is developed which can be used for simulating flow and sediment transport as semi-coupled model in river systems. In this research, the Saint- Venant's first order partial differential hyperbolic equations are numerically solved using the Visual Basic program for river systems. In this research study a semi implicit finite difference scheme is developed to solve the Saint- Venant equations for unsteady flow. The linear equations are produced based on the partial differential equations and the staggered technique, so it is possible to employ the tri-angular matrix algorithm (TDMA) to solve them, with this algorithm the time of running model being minimum due to the least mathematical computations. The matrix form of the linearized momentum and continuity equations for a channel with upstream and downstream boundary conditions is provided. Another technique used to solve the matrix of the linear equations is Influence Line Technique (ILT). Base flow discharge and depth in each branch are introduced into the model as the initial conditions. To avoid divergence in numerical calculations, the downstream end discharge of each branch is calculated using initial flow depth and stage-discharge or Manning's relationship. At the junctions, the upstream discharge is calculated using the algebraic sum of the discharges of the downstream branches and vice-versa; this process is continued up to the last branches at the upstream of the river system. After solving the above equations, the computed hydraulic parameters in this part are sent to the sediment transport segment. In the sediment subroutine the bed and suspended dynamic equations are discretized by finite volume method, and solved with flow equations as semi-coupled scheme. In this study the bed and suspended load rates are individually solved. The dynamic advection- dispersion equation and the bed load differential equation were applied to calculate the suspended sediment concentration and bed load transport, respectively. The Exner equation is then used to predict the changes in the river bed elevations in non-equilibrium conditions. Because of the nature, the sediment transport is often in non-equilibrium form, in this study, the non-equilibrium Exner equation is used to compute the bed elevations, unlike many of the known models. The use of non-equilibrium method due to the complexity of the solution and the presence of non-equilibrium parameters such as coefficients of the adaptation length and recovery is very difficult.

Results and Discussion: In non-equilibrium conditions, the numerical models have high sensitivity to two parameters including, the adaptation length coefficient for bed load and recovery coefficient for suspended load, with the sensitivity analysis for these coefficients being carried out in this research. In this study, a sensitivity analysis was performed on these parameters using developed numerical model. The developed model has this ability to simulate flow and sediment transport in complex and loop river systems. Finally, the model was simulated for the Chaudhry loop river systems. This river system has 9 branches that form the loop. All channels have rectangular sections and their flows are sub-critical. The upstream boundary condition is an unsteady hydrograph with peak discharge of 250 cubic meters per seconds and base time of 8 hours. The calculated stage and discharge by the model (using Manning's equation) was supplied to the model as a downstream boundary condition at last node. The model outputs are discharged hydrographs on different sections of each channel. The developed model has good ability to simulate the flow and sediment transport in river systems. The result

1 - Graduated Ph.D of Water Structures and Associate Professor Water Engineering Department, Razi University
(*-Corresponding Author Email: Sabah.Mohamadi@gmail.com)

3- Professor, Water Structures Department, Shahid Chamran University of Ahvaz

showed that by selecting the adaptation length coefficient, equivalent to a multiple of 1 to 3 times the distance between cross sections, the results of the numerical model can be more realistic. Also it was concluded that empirical equation of Lin(1984) used for the recovery factor of the suspended load.

Keywords: River System, Semi-Coupled, Exner equation, One dimensional

پیش‌بینی گوهی آب شور تحت شرایط پیشروی و پسروی با استفاده از مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT

حجت احمدی^{۱*} - محمد همتی^۲ - مهدی مطلبیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

آبخوان‌های ساحلی منبع اصلی آب شیرین در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشند. نفوذ آب شور بصورت یک زبانه از طرف دریا به زیر آب شیرین آبخوان باعث تخریب کیفیت این منابع می‌گردد. به علت این که مسائل تداخل آب شور بسیار پیچیده هستند و به طور کلی نمی‌توانند به صورت تحلیلی حل شوند، بنابراین روش‌های عددی ابزاری ایده‌آل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی نتایج می‌باشند. در این مطالعه دقت مدل‌های ریاضی CTRAN/W و SEAWAT در شبیه‌سازی و پیش‌بینی گوهی آب شور در سه حالت الف) وضعیت جریان پایدار تحت گرادیان‌های مختلف ب) حالت گذرا تحت شرایط پیشروی گوهی آب شور ج) حالت گذرا تحت شرایط پس روی گوهی آب شور بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی دو مدل با مشاهدات آزمایشگاهی گوسامی و کلمنت (۸) مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور مقایسه‌ی داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار ناش-سانتکیلف (CE)، ضریب همبستگی (R^2)، نسبت اختلاف (r) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT دقت بالایی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی موقعیت و حرکت گوهی آب شور را با متوسط میانگین مربعات خطا به ترتیب معادل ۰/۶۷ و ۰/۵۸ سانتیمتر (کمتر از ۱۰ درصد متوسط داده‌های واقعی) دارا می‌باشند. مدل CTRAN/W برآورد بهتری نسبت به مدل SEAWAT در محاسبه میزان دبی انتقالی از منبع آب شیرین به سمت منبع شور را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان ساحلی، تداخل آب شور، شبیه‌سازی، مدل کامپیوتری

مقدمه

این مشکلات در مناطقی که آب زیرزمینی کم عمق دارند حادث‌تر است، چون اینگونه آبخوان‌ها ظرفیت ذخیره محدود دارند. علاوه بر آن در مناطق خشک و نیمه خشک شرایط اقلیمی بارش کم و پراکنده، مقدار تغذیه را محدود کرده و باعث می‌شود آبخوان در معرض خشکی قرار گیرد (۴). مدیریت تداخل آب شور به داخل آبخوان‌های ساحلی یکی از چالش برانگیزترین مسائل مدیریت زیست محیطی است که برنامه ریزان منابع آب در سرتاسر جهان با آن مواجه هستند. تهاجم آب شور به داخل سفره‌های ساحلی مانع از تخلیه آب زیرزمینی محصور در آبخوان به داخل اقیانوس می‌شود. به هر حال، بهره برداری بیش از حد از سفره‌های ساحلی تراز آب زیر زمینی و جریان آب زیرزمینی را کاهش داده که این منجر به تشدید مسئله تداخل آب شور به مناطق شهری می‌گردد (۲۵). علاوه بر این، حوادث فاجعه برانگیزی همچون سونامی و طوفانها می‌توانند آب شور را به داخل آبخوان‌ها تزریق کنند و حجم عظیمی از منابع آب شیرین را آلوده نمایند (۱۴). بنابراین فهم دینامیک اختلاط آب شور به داخل سیستم‌های آب شیرین یک مسئله‌ی پژوهشی مهم است.

مناطق ساحلی به دلیل مسطح بودن، فراوانی آب، خاک مستعد و تولید انبوه محصولات کشاورزی اغلب از مناطق پر جمعیت جهان هستند و اگر آب مصرفی در این مناطق بوسیله آب سطحی تأمین نشود تقاضا برای تأمین آب شیرین از منابع آب زیرزمینی بیشتر شده و کمبود آب شیرین یک امر عادی می‌باشد. اگر در سواحل موجود چنین مناطقی استخراج آب زیرزمینی بیش از حد انجام شود تعادل موجود بین آب شور و شیرین به هم خواهد خورد و باعث ایجاد مشکل پیشروی آب شور به سمت آبخوان خواهد گردید. ورود آب لب شور، باعث کاهش برداشت محصول، کاهش منابع آب آشامیدنی و سر انجام کاهش حاصلخیزی خاک و تعداد چاه‌های برداشت آب می‌شود.

۱ و ۲- دانشیار و استادیار گروه مهندسی آب و پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه

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

۳- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه ارومیه

امروزه برای تحلیل مسائل مربوط به دینامیک جریان در آبخوان‌های ساحلی بیشتر از مدل‌های ریاضی استفاده میشود، که می‌توان به حل گلوور (۹)، حل پمپاژ استراک (۲۴) و حل بر آمدگی بیر و داگان (۶) برای حل تحلیلی معدلات تداخل آب شور و شیرین در آبخانه‌های تک لایه و حل معلم و بیر (۲۰) برای آبخانه‌های چند لایه اشاره کرد. مدل‌های عددی برای محاسبه اثر چگالی و گرانیروی روی سیال در محیط اشباع اغلب برای شبیه سازی تداخل آب شور با چگالی حدود ۳۰ گرم بر لیتر در آبخانه توسعه داده شده است و معمولاً مرز بین آب شور و شیرین یک صفحه فرض می‌شود. بعضی مطالعات مربوط به آبخانه محدود (۷) یا نامحدود با جریان آب مدلسازی شده و با استفاده از روش آبدی ویژه (۱۰، ۱۱ و ۲۸) است.

ژانگ و همکاران (۲۸) بررسی‌های عددی و آزمایشگاهی بر روی انتقال آلودگی در حالت پایدار انجام دادند. هدف آنها بررسی پیامد ناشی از نادیده گرفتن تأثیر چگالی آب دریا و تغییرات جزر و مدی بود. ایشان نتیجه گرفتند که نادیده گرفتن تأثیرات چگالی میزان جریان املاح را دست کم برآورد نموده و مسیر انتقال آلودگی را نادرست پیش بینی می‌نماید. گوسامی و کلمنت (۸) در یک مدل آزمایشگاهی از محیط متخلخل پیشروی زبانه ی آب شور در آب شیرین آبخانه را مطالعه کردند. آزمایشات در سه وضعیت: الف) داده برداری زبانه ی آب شور در حالت پایدار ب) داده برداری انتقال آب شور در حین پیشروی ج) داده برداری زبانه آب شور هنگام پسروی، و اندازه گیری خصوصیات جریان در این سه حالت انجام شد و از مدل SEAWAT برای شبیه سازی داده‌ها استفاده شد. نتایج مدل با داده‌های آزمایشگاهی به عنوان مسئله مبنا برای آزمایش مدل‌های جریان همراه با چگالی آب زیر زمینی استفاده شد و نسبت به اثرات چگالی حساسیت سنجی شد. نتایج نشان داد، مجموعه داده های حاصل از این آزمایش می تواند برای ارزیابی مدل‌های تداخل آب شور در شرایط ماندگار و انتقال به کار رود. کولار و همکاران (۱۷) برای اعتبار سنجی مدل پیشروی (Baroclinic shallow water) با استفاده از مسئله lock-exchange، از مدل آزمایشگاهی، مجموعه داده بسیار دقیقی برای مقایسه صحت و کمیت نتایج آزمایشگاهی و عددی پیشروی جبهه آب شور دریا جمع آوری کردند و دو سیاست تداخل منظم و غیر منظم وابسته به نسبت چگالی آب شور به آب شیرین را اعمال کردند و در نهایت نتایج آزمایشگاهی را برای اعتبارسنجی مدل (ADCIRC7) بانضمام اثرات شکل تداخل عمودی روی نتایج شبیه سازی بکار بردند.

لویان و همکاران (۱۹) در یک مدل فیزیکی با ابعاد ۹۰ سانتیمتر طول و ۶۰ سانتیمتر ارتفاع و هشت سانتیمتر عرض و مخزن شور و شیرین در طرفین مدل پیشروی آب شور را بررسی کردند، پس از نفوذ آب شور در مدل با نصب دیواره حائل با ارتفاع‌های مختلف (۴۰ و ۲۰ سانتیمتر) رفتار آزمایشگاهی و مدلسازی عددی کنترل آب شور با سد

زیرزمینی را مطالعه کردند و مدلسازی عددی پدیده را با مدل SEAWAT انجام دادند. نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی نشان داد، دیواره کوتاه‌تر، آب شور باقیمانده در پشت دیوار حایل را، سریعتر از بین می‌برد. حداقل ارتفاع لازم برای حذف آب شور، مقدار ضخامت آب شور در محل احداث دیواره میباشد. ورنر و همکاران (۲۶) در تحقیقی به مطالعه فرایندهای تداخل آب شور و مدیریت آن در پیشرفت های اخیر و چالش هایی که در زمینه تداخل در آینده با آن روبرو خواهیم شد پرداختند. ابدلاتی و همکاران (۱) به بررسی بعضی از پارامترهای بالقوه و تأثیرشان بر رو تداخل آب شور در آبخوان دلتای نیل پرداختند. که در این مطالعه جهت شبیه سازی تأثیر پارامترها از مدل سه بعدی SEAWAT بهره گرفتند. ون لاپک و همکاران (۲۷) در مقاله‌ای به بررسی شورشدن آکیفرهای مطبق توسط انتقال گرمای ناشی از چاه‌های گاز و نفت و دکل‌های حفاری پرداختند که در این مطالعه از مدل SEAWAT استفاده کردند. نتایج نشان دادند که گرمای انتقال یافته از چاهها به داخل آکیفر بر روی چگالی آب شور تأثیر گذاشته و موجب جریان های وابسته به چگالی شده و موجب اختلاط آب شور زیرین سفره با آب شیرین بالای آبخوان در طولانی مدت می‌گردد. نورآبادی و همکاران (۲۱) به بررسی آزمایشگاهی تأثیرات استخراج آب بر روی جابه جایی گوه آب شور پرداخت. که در این مطالعه از مدل SEAWAT جهت مطالعه عددی فرایند تحت سناریوهای مختلف استفاده گردید.

هدف از این مطالعه شبیه‌سازی و بررسی رفتار گوه آب شور در تماس با آب شیرین می‌باشد که به کمک دو مدل عددی CTRAN/W و SEAWAT انجام شده است، که به ترتیب مدل اول بر مبنای روش اجزای محدود و مدل دوم بر مبنای تفاضل محدود معادلات حاکم را در هندسه مسئله تحلیل می‌کند. با توجه به مطالعات گذشته بررسی‌های صورت گرفته بر روی گوه آب شور تاکنون مربوط به تأثیر چگالی آب شور بر میزان پیشروی گوه آب شور، نحوه حرکت آب شور تحت تأثیر برداشت آب‌های زیرزمینی، تأثیر روش‌های مدیریتی مختلف بر جلوگیری از نفوذ آب شور به سفره‌های آب شیرین به صورت عددی و آزمایشگاهی می‌باشد. اکثر مطالعات در زمینه تداخل آب شور و شیرین جهت بررسی عددی از مدل SEAWAT بهره گرفته‌اند که در این مطالعه علاوه بر استفاده از مدل مذکور از مدل CTRAN نیز استفاده شده است و نیز دقت هر یک از مدل‌ها در توانایی پیش‌بینی موقعیت گوه آب شور در شرایط پایدار و گذرا مقایسه گردیده است. جهت ارزیابی دقت هر یک از مدل‌ها پس از انجام شبیه‌سازی از نتایج مشاهدات آزمایشگاهی استفاده شده است.

معادلات انتقال

فرایندهای انتقال، چگونگی انتقال و توزیع مواد حل شده را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر در آب زیرزمینی بیان می‌کنند. سامانه آب زیرزمینی، وسیله این انتقال و توزیع است. به علت اتفاقات زیادی که هم زمان با هم در محیط رخ می‌دهد، شرح این فرایندها به شیوه‌ای ساده مشکل است. فعل و انفعالات شیمیایی و زیستی احتمالی، مقدار، کیفیت و توزیع مواد حل شده در سامانه آبی را تغییر می‌دهد. اگرچه ظاهراً ماده همراه با جریان آب زیرزمینی و سوار بر آن حرکت می‌کند، اما این ماده می‌تواند در حین حرکت، جذب ذرات جامد محیط شود و یا احياناً توسط باکتری‌های موجود در محیط مصرف گردد. فرایندهای فیزیکی که شار ماده در یک حجم معیار از محیط متخلخل را کنترل می‌کنند، شامل فرایندهای جابجایی و پراکندگی هیدرودینامیکی است. در بسیاری از مسائل انتقال آلودگی، سهم جابجایی، نسبت به سایر فرایندهای انتقال غالب است. جهت اندازه‌گیری درجه غالب بودن جابجایی نسبت به سایر پارامترهای معادله انتقال، از عدد بی بعد پکلت استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_e = \frac{|V|L}{D} \quad (3)$$

که در آن V اندازه بردار سرعت نشت، L طول مشخصه که معمولاً برابر عرض سلول شبکه در نظر گرفته می‌شود و D ضریب پخش می‌باشد.

در مسائلی که پدیده جابجایی غالب است، عدد پکلت عدد بزرگی است و در مسائلی که جابجایی صرف وجود دارد، عدد فوق به سمت بینهایت میل می‌کند. حرکت املاح در محیط متخلخل توسط سه عامل جریان آب زیرزمینی (انتقال)، انتشار مولکولی، پخشیدگی مکانیکی اتفاق می‌افتد. معادله دیفرانسیل زیر بیان‌کننده تغییرات غلظت ماده نسبت به زمان و مکان یا حرکت املاح در آب زیرزمینی می‌باشد (۳):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla \cdot (D \cdot \nabla C) - \nabla \cdot (\theta C) - \frac{q_s}{\theta} C_s + \sum_{k=1}^N R_k \quad (4)$$

که در آن D ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی، θ سرعت جریان، C_s غلظت آب ورودی یا خروجی از چشمه یا چاه، R_k نرخ تولید یا زوال در واکنش k از N واکنش مختلف می‌باشند.

در رابطه (۴) ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$D = \alpha_L \frac{V_L^2}{|v|} + \alpha_H \frac{V_H^2}{|v|} + \alpha_V \frac{V_V^2}{|v|} + D^* \quad (5)$$

که در آن D ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی، α_L پخشیدگی طولی، V_L سرعت طولی جریان، α_H پخشیدگی افقی، V_H سرعت

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر اندرکنش آب شور و شیرین به دو بخش معادلات جریان و معادلات انتقال جرم تقسیم می‌شود که باین معادلات به صورت کوپل و همزمان در حالتهای غیرماندگار حل می‌گردند. بدین منظور در هر گام محاسباتی ابتدا با حل معادله جریان سرعت و جهت جریان در هر نقطه حاصل شده و بعنوان اطلاعات ورودی برای حل یک گام زمانی از معادلات انتقال جرم استفاده می‌شود و بر اساس شرایط جدید حاصله مجدداً برای گام بعدی سرعت و جهت جریان تعیین شده و حل مسئله ادامه می‌یابد.

معادلات جریان

معادله عمومی حاکم بر حرکت آب‌های زیرزمینی از ترکیب معادلات پیوستگی و داری به دست می‌آید به صورت زیر بیان می‌شود که در مدل‌های ریاضی به منظور شبیه سازی جریان آب زیر زمینی به روش‌های عددی خاصی مانند اجزای محدود، اختلاف محدود، اجزای مرزی حجم محدود حل می‌شود.

$$(1) \quad k_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_{yy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \pm q_s$$

که در آن k_{xx} ، k_{yy} و k_{zz} مقادیر هدایت هیدرولیکی در سه جهت مختصات می‌باشد، S_s ضریب ذخیره آبخوان می‌باشد و q_s حجم آب چاه یا چشمه در واحد حجم آبخوان است.

جریان آب زیر زمینی با چگالی متغیر

در فرایند مربوط به اختلاط آب شور و شیرین بدان علت که دو سیال با چگالی‌های متغیر با هم در ارتباط می‌باشند مکانیسم آن با زمانی که فقط یک سیال باشد متفاوت بوده و مکانیسم آن تغییر می‌کند. بنابراین زمانی که تأثیر چگالی در معادله جریان آب زیرزمینی (معادله (۱)) وارد گردد، رابطه به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$(2) \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho K_{xx} \left(\frac{\partial h_f}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho K_{yy} \left(\frac{\partial h_f}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K_{zz} \left(\frac{\partial h_f}{\partial z} + \left(\frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right) \frac{\partial z}{\partial z} \right) \right] = \rho S_f \frac{\partial h_f}{\partial t} + \theta \frac{\partial \rho}{\partial c} \frac{\partial c}{\partial t} - \rho_s q_s$$

که در آن h_f بار آبی آب شیرین، k_{fx} ، k_{fy} و k_{fz} هدایت هیدرولیکی آب شیرین در سه جهت مختصات، ρ چگالی آب آبخوان، ρ_f چگالی آب شیرین، S_s ذخیره ویژه، C غلظت املاح، θ تخلخل موثر، ρ_s چگالی آب ورودی از یک منبع و یا آب رها شده از سینک، q_s نرخ حجمی آب بر واحد حجم آبخوان می‌باشد.

افقی جریان α_V پخشیدگی عمودی، V_V سرعت عمودی جریان، D^* ضریب انتشار مولکولی، V : مقدار سرعت نفوذ می‌باشد (کران (۱۸)).

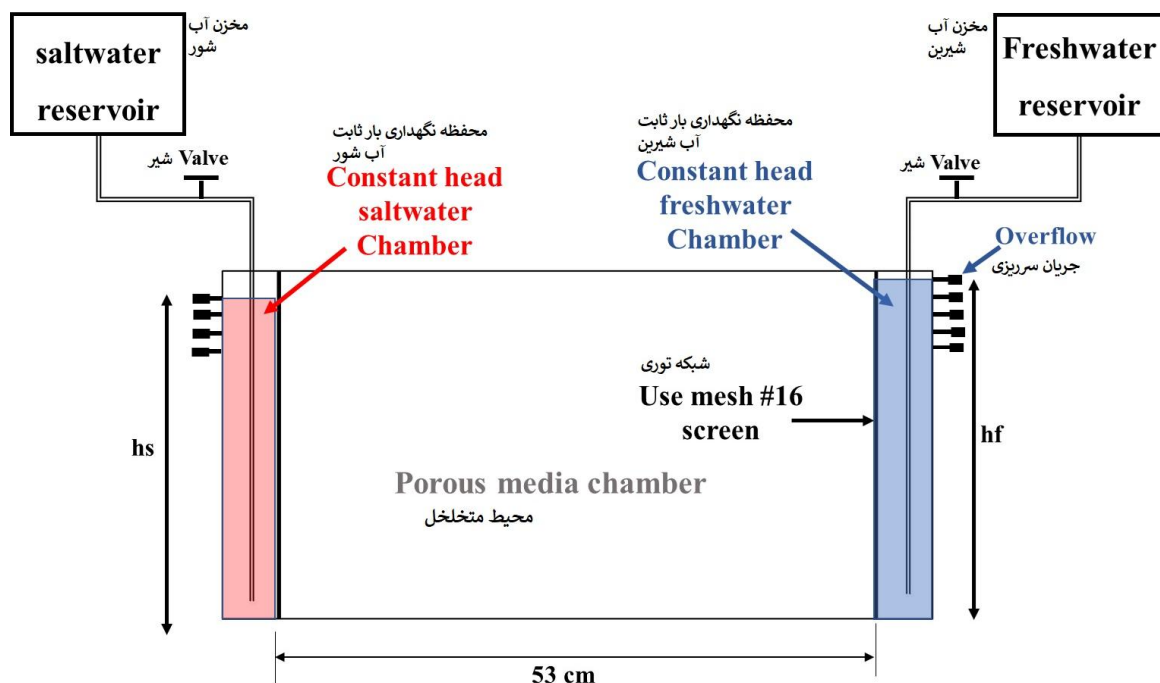
انتقال املاح تحت تأثیر چگالی

برای جریان آب زیرزمینی با تغییرات چگالی زیاد در املاح منتقل شده، توزیع غلظت املاح چگالی را تغییر می‌دهد که در نتیجه بر روی جریان آب زیر زمینی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، جریان آب زیر زمینی و انتقال املاح در آبخوان در چنین وضعیتی فرایندهایی مرتبط باهم هستند به طوری که معادله (۲) و معادله (۴) باید به طور پیوسته و همزمان حل شوند.

مدل آزمایشگاهی

در این مطالعه از داده‌های آزمایشگاهی گوسامی و کلمنت (۸) استفاده شد. آزمایشات در یک جعبه ماسه‌ای مستطیلی انجام شد. مدل با استفاده از پلکسی گلس با ضخامت ۶ میلی‌متر با ابعاد داخلی ۵۳ سانتیمتر طول و ۲/۷ سانتیمتر عرض ۳۰/۵ سانتیمتر ارتفاع ساخته شد. جعبه ی مدل از سه بخش بخش مرکزی که محیط متخلخل و دو بخش کناری که مخازن آب شور و شیرین را با هد ثابت تشکیل شد. هندسه شماتیک مدل آزمایشگاهی در شکل (۱) نشان داده شده است. مخازن آب شور و شیرین با یک شبکه توری از محیط متخلخل

میانی جدا شده بودند. از دانه‌های سیلیکا با قطر متوسط ۱/۱ میلی‌متر برای محیط متخلخل استفاده شد که هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل با استفاده از روش بار ثابت تحت گرادیان‌های مختلف تعیین گردید که هدایت هیدرولیکی متوسط حدود ۱۰۵۰ متر بر روز برآورد گردید. جهت تهیه آب شور از نمک صنعتی استفاده شد و چگالی آب شور تهیه شده ۱/۰۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین گردید. به منظور ردیابی آب شور از رنگ مواد خوراکی قرمز با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر استفاده شد. آزمایشات برای سه حالت مختلف الف) وضعیت پایدار تحت گرادیان‌های مختلف ب) حالت گذرا تحت شرایط پیشروی گوه آب شور ج) حالت گذرا تحت شرایط پس روی گوه آب شور با ثابت نگه داشتن سطح آب شور در تراز ۲۵/۵ سانتیمتر تغییرات سطح آب در مخزن آب شیرین بین ۲۶/۲ تا ۲۶/۷ سانتیمتر انجام گرفت. وضعیت پایدار در سه فاز انجام گرفت که در فاز اول هد آب شیرین در ارتفاع ۲۶/۷ تنظیم شد و جریان پایدار پس از مدتی برقرار شد (SS1) که در این حالت اندازه گیری‌های لازم انجام شد و سپس در فاز دوم سطح آب شیرین از تراز ۲۶/۷ به تراز ۲۶/۲ کاهش داده شد و پس از ۶۰ دقیقه به حالت پایدار رسید (SS2) و در فاز سوم تراز سطح آب شیرین از ۲۶/۲ به ۲۶/۵۵ افزایش داده شد که در این حالت گوه آب شور شروع به پسروی کرده و پس از گذشت زمان ۳۵ دقیقه به حالت پایدار رسید (SS3).



شکل ۱- تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی
Fig. 1-Schematic view of experimental setup

مدل CTRAN/W

در این مطالعه جهت استفاده از مدل SEAWAT، از بسته‌ی نرم افزاری GMS که واسطه گرافیکی و به عنوان پیش پرداز و پس پرداز چندین مدل آب زیر زمینی است، بهره گرفته شد.

ورود اطلاعات به مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT

مدل به صورت جعبه‌ای مستطیلی با ابعاد ۵۳×۲۶ سانتیمتر طراحی گردید. و ضخامت مدل واحد در نظر گرفته شد و داده‌های اتخاذ شده از مدل آزمایشگاهی گوسوامی از قبیل هدایت هیدرولیکی ($k=1050 \text{ m/s}$)، تخلخل ($S=0.385$)، چگالی آب شور (1.027 kg/L) به مدل وارد شد. با توجه به نظریه بعضی از محققین (۷)، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۰ مقدار پراکندگی طولی برابر قطر متوسط ذرات (۱ میلیمتر) و مقدار پراکندگی عرضی حدود یک دهم پراکندگی طولی (۰/۱ میلیمتر) در نظر گرفته شد. با انجام آنالیزهای متعدد با اندازه شبکه‌های مختلف، شبکه بندی مدل با ابعاد ۰/۵ سانتیمتر انتخاب شد. در شکل (۲) و (۳) تصاویر هندسه مدل عددی و شبکه عددی استفاده شده نشان داده شده است.

واسنجی مدل

واسنجی با تغییر پارامترهای حساس که با عدم قطعیت همراه است صورت گرفت. پارامترهایی که در این تحقیق جهت کالیبراسیون مدل استفاده گردید میزان پخشیدگی طولی و عرضی (دامنه تغییرات میزان پخشیدگی طولی برای مقیاس‌های بزرگ از ۲ میلیمتر تا چندین متر متغیر بوده و برای مقیاس‌های آزمایشگاهی بین ۰ تا ۱۰ میلیمتر نیز متغیر است و پخشیدگی عرضی معمولاً ۱۰ مرتبه کوچکتر از پخشیدگی عرضی می‌باشد که بنا به پیشنهاد نرم افزار CTRAN/w میتوان مقدار اولیه پخشیدگی طولی را یک دهم طول هندسه در فضای واقعی در نظر گرفت (۱۸)) می‌باشد، که برای انجام واسنجی مدل از داده‌های آزمایشگاهی برای فاز دوم (جریان پایدار SS2)) استفاده گردید. نتایج مربوط به واسنجی در قسمت نتایج تحقیق آمده است.

ارزیابی مدل

جهت ارزیابی مدل‌های مذکور در تخمین موقعیت گوه آب شور از شاخص‌های آماری نظیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار ناش-ساتکلیف (CE)، ضریب همبستگی (R^2)، نسبت اختلاف (r) و انحراف استاندارد عمومی (GSD)، طبق روابط ۷ تا ۱۱ استفاده شده است.

مدل CTRAN/W یکی از ماژول‌های نرم افزار GeoStudio, 2007 می‌باشد که این مدل عددی قابلیت تحلیل مسائلی پیچیده شامل پخشیدگی مولکولی، پراکندگی، جذب سطحی، واپاشی و جریان چگال در محیط‌های متخلخل مانند خاک و سنگ را دارا می‌باشد. این نرم افزار با استفاده از روش المان محدود معادلات دیفرانسل مربوط به انتقال آلاینده‌ها را حل می‌نماید. شکل عمومی المان محدود رابطه (۴) به صورت زیر می‌باشد که در آن محدوده مورد نظر به تعدادی المان شبکه‌بندی شده محدود تقسیم می‌شود:

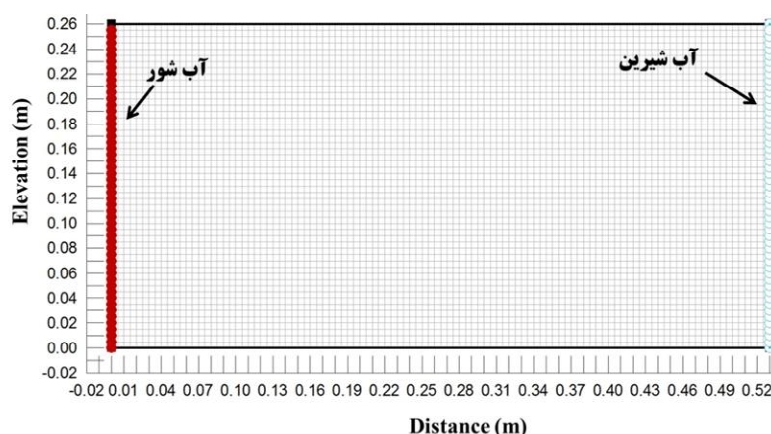
$$[K]\{C\} = \{Q\} \quad (۶)$$

که در آن $[K]$ ماتریس ضرابی است که مربوط به ویژگی‌های هندسی و مشخصات مواد، $\{C\}$ بردار غلظت در هر نقطه و $\{Q\}$ بردار شار آلاینده در هر نقطه می‌باشد. هدف اصلی از رابطه (۶) تعیین غلظت در هر نقطه می‌باشد. مقادیر مجهول در هر نقطه بر اساس غلظت ویژه‌ای که مقدار آن از ابتدا مشخص است بدست می‌آیند. بدون داشتن داشتن مقداری ویژه برای غلظت، حل معادله المان محدود امکان پذیر نمی‌باشد. در هر تحلیل حداقل باید در یک نقطه مقدار ویژه غلظت معلوم باشد که به آن شرایط مرزی گفته می‌شود. نرم افزار CTRAN/W از روش جایگزینی تکراری در هر فرایند حل خود استفاده می‌کند. فرایند تکرار تا جایی ادامه پیدا می‌کند تا نتایج بدست آمده شرایط همگرایی مورد نظر را ارضا کند. همگرایی به معنای حل تکراری روابط غلظت هر گره تا جایی است که تغییرات به دست آمده تکرارهای بعدی از حد معینی بیشتر نباشد.

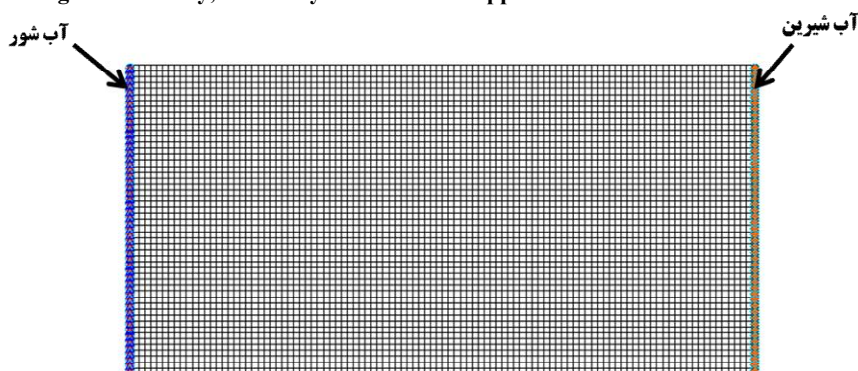
برای اجرای مدل CTRAN/W لازم است مدلی از مسئله در بسته SEEP/W از نرم افزار GeoStudio برای محاسبه سرعت جریان آب‌های زیر زمینی ایجاد شود و به همراه مدل CTRAN/W به صورت کوپل همزمان مورد حل قرار بگیرد.

مدل SEAWAT

مدل SEAWAT توسط سازمان تحقیقات زمین شناسی آمریکا (۲۵) تهیه شده است. این مدل توانایی شبیه سازی سه بعدی جریان آب زیرزمینی و انتقال املاح با شرایط چگالی متغیر با تلفیق مدل‌های MODFLOW و MT3DMS به روش تفاضل محدود را داراست. در این مدل ابتدا توسط MODFLOW شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی انجام شده و سپس خروجی آن جهت شبیه سازی انتقال املاح به صورت همرفت - پراکندگی در اختیار مدل MT3DMS قرار گرفته و نتایج حاصله از مدل MT3DMS نیز به مدل SEAWAT وارد شده تا شبیه سازی انتقال املاح تحت تأثیر چگالی صورت پذیرد.



شکل ۲- هندسه مدل عددی، شرایط مرزی و شبکه مش بکار رفته در مدل عددی CTRAN/W
Fig. 2- Geometry, boundary condition and applied mesh in CTRAN/W model



شکل ۳- هندسه مدل عددی، شرایط مرزی و شبکه مش بکار رفته در مدل عددی SAEWAT
Fig. 3- Geometry, boundary condition and applied mesh in SAEWAT model

که در رابطه‌های ذکر شده، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، n : تعداد داده‌ها، O_i : مقدار واقعی، P_i : مقدار تخمینی مدل، $\bar{O}$: میانگین مقادیر مشاهده شده، $\bar{P}$: میانگین مقادیر برآورده شده، CE: معیار ناش-ساتکلیف، R^2 : ضریب همبستگی، r : نسبت اختلاف و GSD: انحراف استاندارد عمومی می‌باشد.

مقدار بهینه شاخص‌های RMSE و GSD برابر صفر بوده، در حالی که مقدار بهینه شاخص آماری ضریب همبستگی ۱ می‌باشد. همچنین هر چه مقدار شاخص نسبت اختلاف و معیار ناش-ساتکلیف به ۱ نزدیکتر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود (۲۱).

نتایج و بحث

واسنجی مدل

پس از اجرای مدل و آنالیز حساسیت، با تغییر پراکندگی طولی و عرضی مدل برای حالت SS2 به روش آزمون سعی و خطا مدل واسنجی شد. در نهایت بهترین مقادیر پراکندگی طولی و عرضی به ترتیب ۰.۵ و ۰.۰۵ میلیمتر بدست آمد که این مقادیر در دامنه‌ی تعیین

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - p_i)^2} \quad (7)$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(p_i - \bar{p})}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \right]^2 \quad (9)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (10)$$

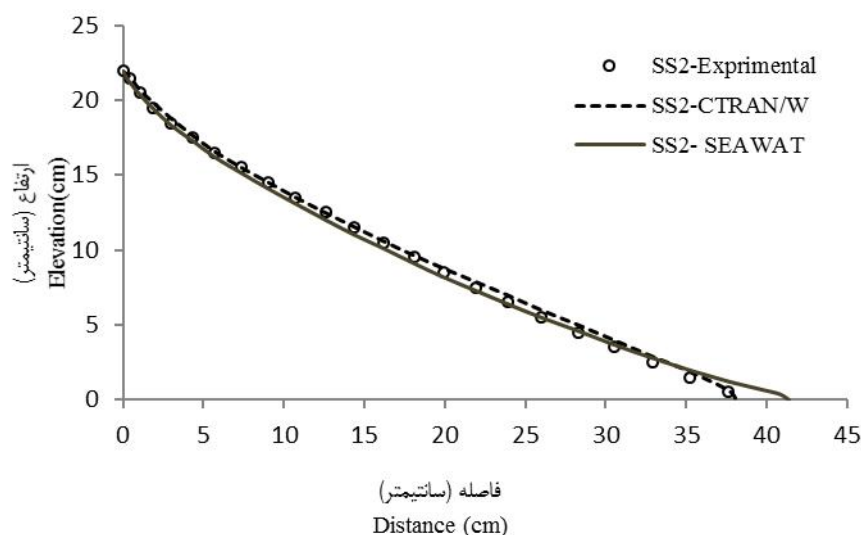
$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{p}} \quad (11)$$

آخر واسنجی مدل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی آورده شده است که گوهی آب شور در فاصله ۴۱/۳۸ سانتیمتری از منبع آب شور قرار گرفته است. مقادیر شاخص آماری در جدول (۱) آمده است و در شکل (۵) برازش مقادیر محاسباتی و مقادیر مشاهداتی مربوط به میزان پیشروی گوه آب شور نشان داده شده است.

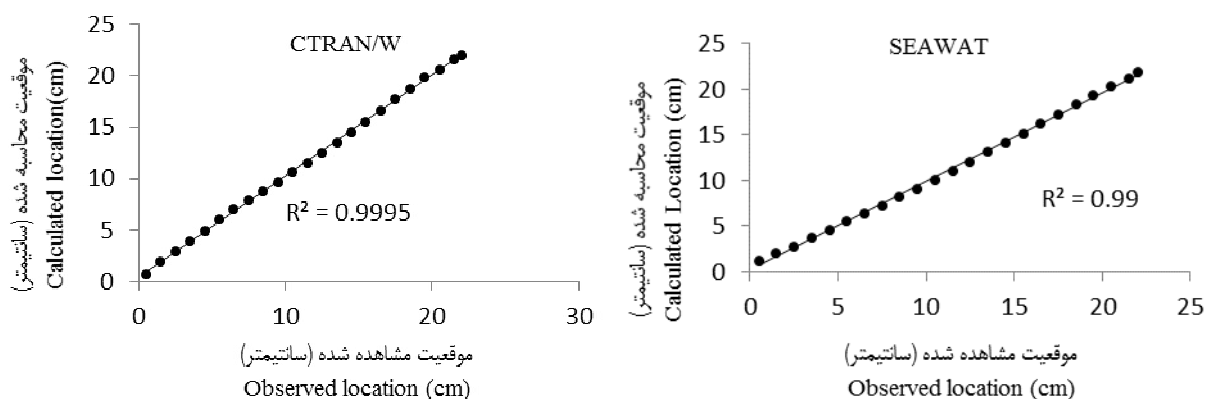
شده برای مقادیر پراکندگی طولی و عرضی در آزمایشات متعدد (برای تخلخل‌ها و اندازه‌های مختلف دانه‌ها) انجام شده توسط زو و اکستین (۲۹) قرار دارد. مقادیر خطا بر اساس شاخص‌های آماری مختلف نیز تعیین گردید. این مقادیر نشان دهنده دقت بالای واسنجی مدل‌های SEAWAT و CTRAN/W می‌باشد. در شکل (۴) گراف مربوط به موقعیت قرارگیری مرز فوقانی گوهی آب شور پس از گام

جدول ۱- مقادیر شاخص آماری پس از کالیبراسیون
Table 1. Statistical Parameters After Calibration

Model مدل	statistical indicators شاخص‌های آماری				
	RMSE	CE	R^2	r	GSD
CTRAN/W	0.29	0.998	0.99	1.02	0.026
SEAWAT	0.34	0.997	0.99	0.99	0.031



شکل ۴- مقایسه نتایج کالیبراسیون مدل و داده‌های آزمایشگاهی در حالت پایدار ss2
Fig.4- Comparison of calibration results and experimental data at steady state of ss2 test



شکل ۵- برازش مقادیر محاسباتی و مقادیر مشاهداتی
Fig. 5- Regression of computational and observed data

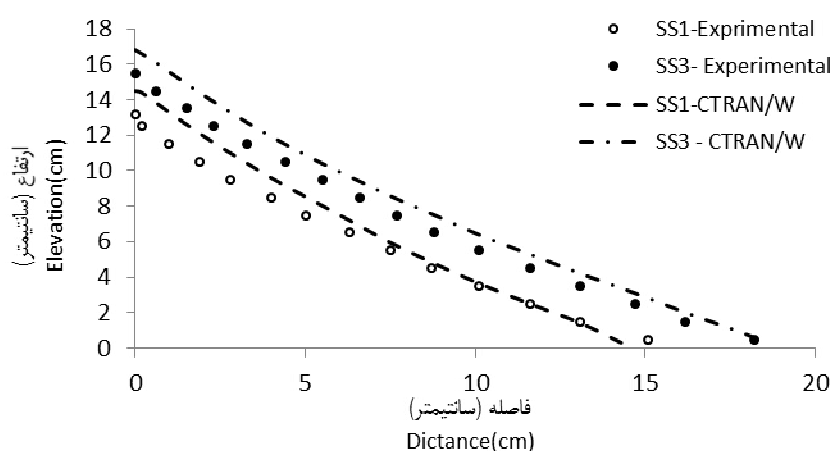
نتایج ارزیابی مدل

ارزیابی مدل برای سه حالت الف) وضعیت پایدار تحت گرادیان‌های مختلف ب) حالت گذرا تحت شرایط پیشروی گوهی آب شور ج) حالت گذرا تحت شرایط پس روی گوه آب شور با استفاده از شاخص‌های آماری مختلف صورت گرفت که در ذیل به صورت مجزا آورده شده است.

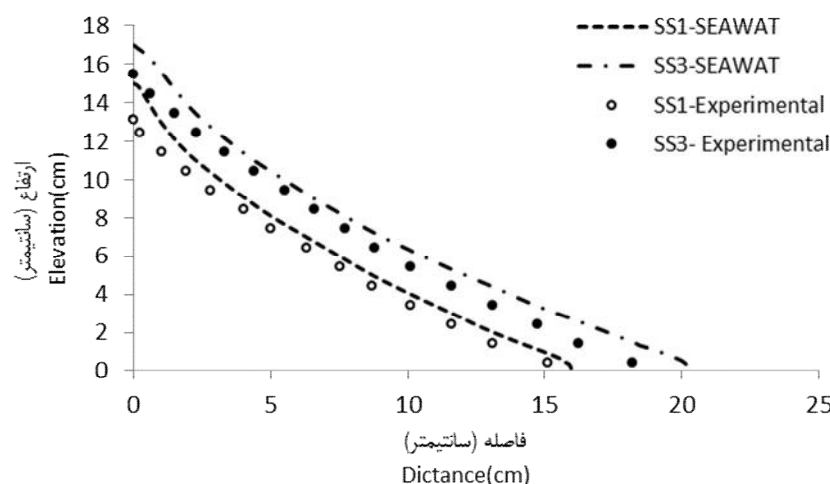
وضعیت پایدار

به منظور تعیین دقت مدل برای وضعیت پایدار، برای دو فاز

(SS1) و (SS3) شبیه سازی صورت گرفت که نتایج مربوط به قرارگیری موقعیت گوهی آب شور توسط مدل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی به صورت نمودار ارائه گردیده است و همچنین مقادیر شاخص آماری نیز در صورت جدول ۲ ارائه شده است. شکل‌های (۶) و (۷) و همچنین مقادیر شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول (۲)، تطابق خوب هر دو مدل مورد نظر با داده‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها و جدول ارائه شده، هر دو مدل برای حالت پایدار جریان، برآوردی بیشتر از مقدار واقعی برای هر سه فاز دارند.



شکل ۶- مقایسه نتایج مدل CTRAN/W و داده‌های اندازه‌گیری شده در حالت SS1 و SS3
Fig. 6- Comparison of CTRAN/W results with measured data at ss1 and ss3 tests



شکل ۷- مقایسه نتایج مدل SEAWAT و داده‌های اندازه‌گیری شده در حالت SS1 و SS3
Fig. 7- Results of SEAWAT compared to measured data at ss1 and ss3 tests

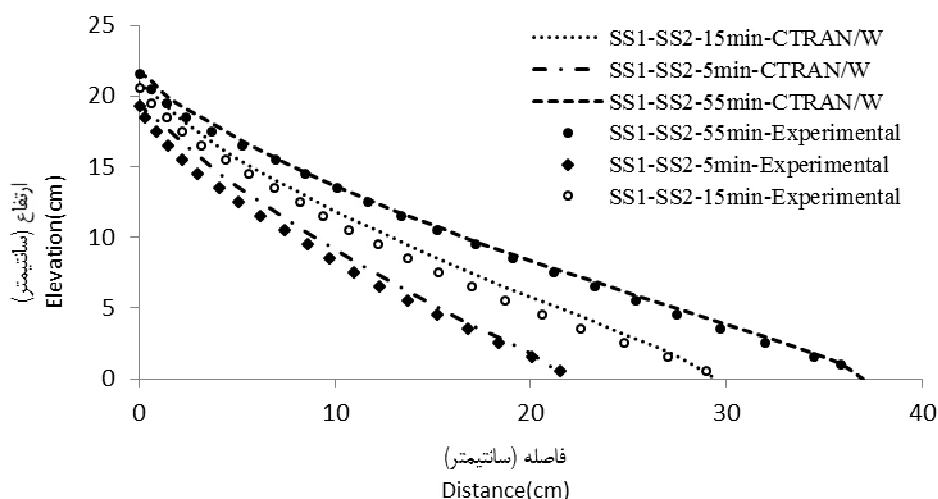
جدول ۲- مقادیر شاخص آماری برای حالت‌های SS1 و SS3

Table 2- Statistical indexes at ss1 and ss3 tests

مدل Model	حالت Mode	شاخص‌های آماری statistical indicators				
		RMSE	CE	R^2	R	GSD
CTRAN/W	SS1	1.09	0.92	0.99	1.12	0.142
SEAWAT		1.03	0.93	0.99	1.14	0.132
CTRAN/W	SS3	1.02	0.95	0.99	1.12	0.121
SEAWAT		0.97	0.96	0.81	1.14	0.145

وضعیت گذرا (پیشروی گوهی آب شور)

جهت تعیین دقت مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT در پیش‌بینی موقعیت گوه آب شور در حالت پیشروی، از مدل‌های مذکور برای حالت انتقال از SS1 به SS2 برای زمان‌های ۵، ۱۵ و ۵۵ دقیقه پس از برقراری حالت پایدار SS1 استفاده شد که نتایج مربوط به قرارگیری موقعیت گوهی آب شور در حالت پیشروی توسط مدل‌ها در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی در شکل‌های (۸) و (۹) ارائه گردیده است و همچنین مقادیر شاخص آماری به صورت جدول (۳) می‌باشد.



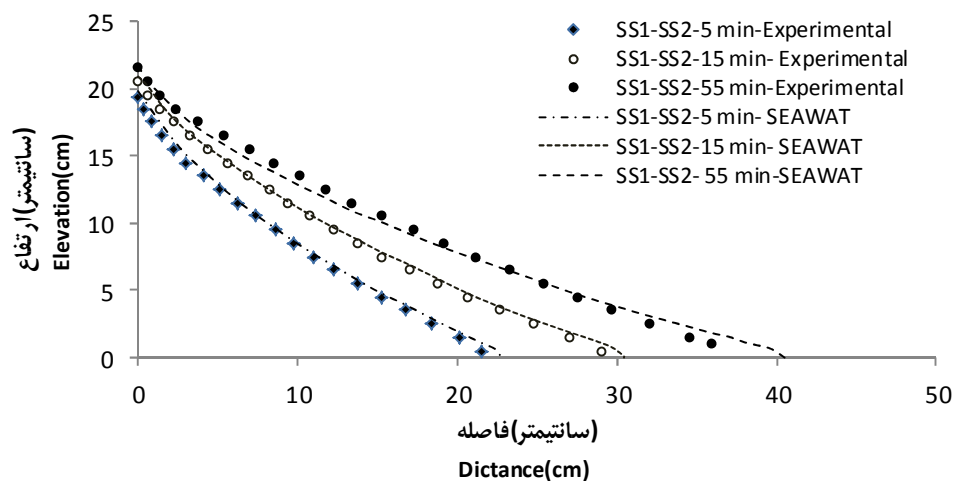
شکل ۸- مقایسه نتایج مدل CTRAN/W و داده‌های اندازه‌گیری شده در حالت پیشروی

Fig. 8- Compression between results of CTRAN/W and observed data at intruding state

جدول ۳- مقادیر شاخص آماری برای حالت گذار از SS1 به SS2 در زمان‌های مختلف

Table 3- Statistical indexes for transient condition from ss1 to ss2 at different intervals

Model	حالت Mode	شاخص‌های آماری statistical indicators				
		RMSE	CE	R^2	r	GSD
CTRAN/W	SS1-SS2-5min	0.81	0.98	0.99	1.07	0.075
SEAWAT		0.48	0.99	0.97	1.05	0.05
CTRAN/W	SS1-SS2-15min	0.79	0.98	0.99	1.07	0.074
SEAWAT		0.33	0.99	0.95	1.03	0.034
CTRAN/W	SS1-SS2-55min	0.37	0.99	0.99	1.03	0.034
SEAWAT		0.51	0.99	0.97	1.05	0.048



شکل ۹- مقایسه نتایج مدل SEAWAT و داده های اندازه گیری شده در حالت پیشروی
Fig. 9- Compression between results of SEAWAT and observed data at intruding state

بالایی در برآورد موقعیت گوهی آب شور در حالت پیشروی را دارا می باشد. نتایج نیز نشان می دهد که مدل CTRAN/W در شبیه سازی حالت گذرا در زمان های ۱۰ و ۱۵ دقیقه پس از حالت SS2 برآورد نزدیکتری به واقعیت نسبت به مدل SEAWAT دارد و بالعکس در زمان ۲۵ دقیقه مدل SEAWAT برآورد دقیق تری دارد.

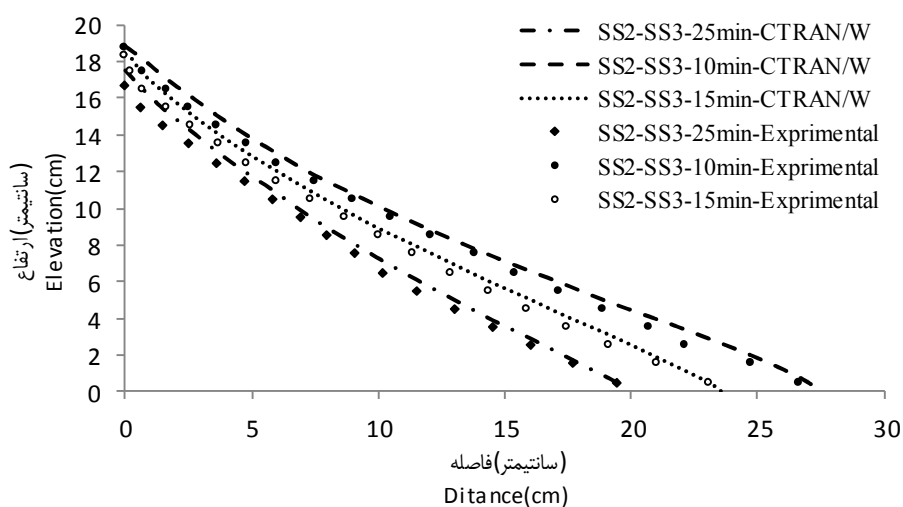
۳-۳- مقایسه دبی آب شیرین انتقال یافته

به منظور دستیابی به اینکه آیا مدل های مذکور در برآورد دبی انتقال یافته از منبع آب شیرین به آب شور را دارد، دبی های انتقالی محاسبه شده توسط مدل ها برای سه حالت SS1، SS2 و SS3 با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند. که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

۳-۲-۳- وضعیت گذرا (پسروی گوهی آب شور)

جهت ارزیابی دقت مدل های CTRAN/W و SEAWAT در پیش بینی موقعیت گوهی آب شور در حالت پسروی، از مدل های فوق الذکر برای حالت انتقال از SS2 به SS3 برای زمان های ۱۰، ۱۵ و ۲۵ دقیقه پس از برقراری حالت پایدار SS2 خروجی گرفته شد که نتایج مربوط به قرارگیری موقعیت گوهی آب شور در حالت پسروی توسط مدل ها در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی در شکل های (۱۰) و (۱۱) ارائه گردیده است.

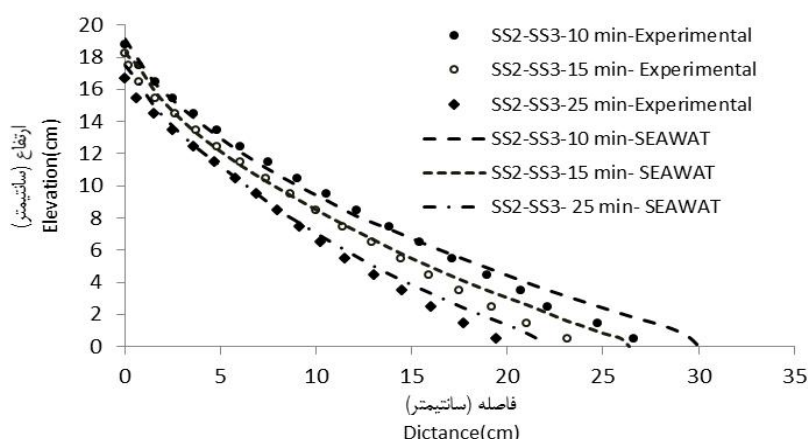
همچنین مقادیر شاخص آماری حاصل از مقایسه داده های مشاهده ای و عددی در جدول (۴) ارائه شده است. شکل های (۱۰) و (۱۱) و همچنین مقادیر شاخص های آماری ارائه شده در جدول (۴) نشان می دهد که مدل های CTRAN/W و SEAWAT دقت بسیار



شکل ۱۰- مقایسه نتایج مدل CTRAN/W و داده های اندازه گیری شده در حالت پسروی
Fig. 10-Compression between results of CTRAN/W and observed data at receding state

جدول ۴- مقادیر شاخص آماری برای حالت گذار از SS2 به SS3 در زمان‌های مختلف
Table 4-Statistical indexes at transient condition from SS2 to SS3 at different conditions

Model	حالت Mode	شاخص‌های آماری statistical indicators				
		RMSE	CE	R^2	r	GSD
CTRAN/W	SS2-SS3-10 min	0.50	0.99	0.99	1.05	0.053
SEAWAT		0.55	0.99	0.94	1.02	0.066
CTRAN/W	SS2-SS3-15min	0.52	0.99	0.99	1.05	0.055
SEAWAT		0.59	0.98	0.91	1.07	0.065
CTRAN/W	SS2-SS3-25min	0.62	0.99	0.99	1.06	0.072
SEAWAT		0.54	0.99	0.90	1.07	0.073



شکل ۱۱- مقایسه نتایج مدل SEAWAT و داده‌های اندازه‌گیری شده در حالت پسروی
Fig. 11-Compression between results of SEAWAT and observed data at receding state

جدول ۵- مقایسه جریان آب شیرین پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده
Table 5- Compression between fresh water flow rate at predicted and observed states

model	جریان انتقالی از منبع آب شیرین به سمت آب شور (سانتیمتر مکعب بر ثانیه) Transported flow from freshwater resource to saltwater resource (cm^3/s)		
	SS1	SS2	SS3
داده‌های آزمایشگاهی Experimental Data	1.42	0.59	1.19
CTRAN/W	1.40	0.60	1.16
SEAWAT	1.46	0.59	1.13

نتیجه‌گیری

مطالعات صورت گرفته بر روی گوه آب شور تاکنون مربوط به تأثیر چگالی آب شور بر میزان پیشروی گوه آب شور، نحوه حرکت آب شور تحت تأثیر برداشت آب‌های زیرزمینی، تأثیر روش‌های مدیریتی مختلف بر جلوگیری از نفوذ آب شور به سفره‌های آب شیرین به صورت عددی و آزمایشگاهی و ... می‌باشد و با توجه به اینکه مسائل تداخل آب شور بسیار پیچیده هستند و به طور کلی نمی‌توانند به صورت تحلیلی حل شوند، بنابراین روش‌های عددی ابزاری ایده‌آل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی نتایج می‌باشند بنابراین در این راستا در این مقاله دقت مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT در شبیه‌سازی و پیش‌بینی گوهی آب شور در سه حالت الف) وضعیت پایدار تحت

طبق جدول (۵)، مشاهد می‌شود که هر دو مدل دقت خوبی در برآورد میزان دبی انتقالی دارند با این حال مدل CTRAN/W نسبت به مدل SEAWAT در شرایط پس روی و تحلیل حالت تعادل دقت بیشتری در برآورد دبی انتقالی دارد و در عین حال مدل SEAWAT با توجه به اختلاف کمی که بین دبی مشاهده‌ای و محاسباتی در حالت SS2 از خود نشان داده، برای ارزیابی شرایط پس روی گوهی آب شور می‌تواند مناسب‌تر باشد. البته این در شرایط یکسان عددی از نظر تعداد مش به کار رفته می‌باشد که تعداد مش‌ها با توجه به کاهش ناپایداری عددی در مدل تعیین گردید.

SEAWAT در شبیه‌سازی و پیش‌بینی موقعیت و حرکت گوهی آب شور به ترتیب معادل $0/67$ و $0/58$ سانتیمتر می‌باشد که این مقادیر بسیار به هم نزدیک بوده و در کل نشان دهنده دقت بالاتر مدل SEAWAT نسبت به مدل CTRAN/W در شبیه‌سازی موقعیت گوهی آب شور می‌باشد. مقایسه صورت گرفته بین مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل CTRAN/W برآورد بهتری نسبت به مدل SEAWAT در محاسبه میزان دبی انتقالی از منبع آب شیرین به سمت منبع شور را داراست.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ارومیه و همچنین ریاست محترم پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه به سبب فراهم آوردن امکانات انجام این تحقیق و حمایت‌های صورت گرفته نهایت تشکر را دارند.

گرادیان‌های مختلف (ب) حالت گذرا تحت شرایط پیشروی گوه آب شور (ج) حالت گذرا تحت شرایط پس روی گوه آب شور بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی مدل‌های مذکور با نتایج آزمایشات گوسامی و کلمنت (۸) انجام شده بود مقایسه گردید. به منظور مقایسه داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار ناش-ساتکلیف (CE)، ضریب همبستگی (R^2)، نسبت اختلاف (r) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) استفاده شد. در همه حالت‌های شبیه‌سازی شده مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد مقدار ماکزیمم داده‌ها بوده و مقدار معیار ناش-ساتکلیف (CE) که در بازه $0/81-1$ قرار داشته و مقدار ضریب همبستگی و نسبت اختلاف نیز نزدیک به ۱ بوده و میزان انحراف استاندارد به صفر نزدیک می‌باشد که نشان می‌دهد مدل‌های CTRAN/W و SEAWAT توانایی شبیه‌سازی و پیش‌بینی موقعیت و حرکت گوه آب شور را تحت شرایط پایدار و گذرا را دارا بوده و همچنین در برآورد میزان جریان انتقالی از منبع آب شیرین به منبع آب شور دقت بالایی دارند. معیار متوسط میانگین مربعات خطای مدل‌های CTRAN/W و

منابع

- 1- Abdelaty I.M., Abd-Elhamid H.F., Fahmy M.R., Abdelaal G.M. 2014. Investigation of some potential parameters and its impacts on saltwater intrusion in Nile Delta Aquifer. J.Engineering Sciences Assiut University Faculty of Engineering. 4:931-955.
- 2- Bear J. 1979. Hydraulics of Ground Water, McGraw-Hill, New York City.
- 3- Contaminant Modeling with CTRAN/W .2007. An Engineering Methodology Third Edition, March 2008.
- 4- Custodio Ch. and Broggman G. A. 1987. Groundwater problems in coastal aquifers, Studies and Reports in Hydrology, UNESCO, Paris, Vol. 45: 1-576.
- 5- C. W. Fetter Jr. 1972. Position of the saline water interface beneath oceanic islands. Water Resources research 8,no.5:1307-1315.
- 6- Dagan G., and Bear J. 1968. Solving the problem of local interface upconing in a coastal aquifer by the method of small perturbations. J. Hydrol. Res., v. 6:15-44.
- 7- Frind E.O. 1982. Simulation of long-term transient density-dependent transport in groundwater. Advances in Water Resources 5, 6:73-88.
- 8- Goswami RR., and Clement TP. 2007. Laboratory-scale investigation of saltwater intrusion dynamics. Water Resour Res ;43:W04418. [http://dx.doi.org/ 10.1029/2006WR00515](http://dx.doi.org/10.1029/2006WR00515).
- 9- GLOVER R.E. 1964. Ground water movement. U.S. Bureau of Reclamation Engineering Monograph 31:31-34
- 10- Galeati G., Gambolati G., and Neuman S.P.1992.coupled and partially coupled eulerian-lageangian model of freshwater-seawater mixing. Water Resources research 28,no.1:149-165.
- 11- Huykorn P.S., Anderson P.F., Mercer J.W., and White H.O. Jr. 1987. Saltwater intrusion in aquifers: Development and testing of a three-dimensional finite-element model. Water Resources research 23,no.2: 293-312.
- 12- Henry H. R. 1960. Salt intrusion into coastal aquifers, Ph.D. thesis, Columbia University, New York.
- 13- Henry H.R. 1964. Effects of dispersion on salt encroachment in coastal aquifers. Seawater in Coastal Aquifers. USGS Water-Supply Paper 1613-C: 70-84.
- 14- Illangasekare T., et al. 2006. Impacts of the 2004 tsunami on groundwater resources in Sri Lanka, Water Resources., 42, W05201, doi:10.1029/ 2006WR004876.
- 15- Johannsen K., Kinzelbach W., Oswald S., Wittum G. 2002. The salt-pool benchmark problem – numerical simulation of saltwater upconing in a porous medium. Adv. Water Resour, 25(3): 335-348
- 16- Konz M., Younes A., Ackerer P., Fahs M., Huggenberger P., and Zechner E. 2009. Variable-density flow in heterogeneous porous media – Laboratory experiments and numerical simulations. J. Contam. Hydrol., 108 (3-4):168-175

- 17- Kolar R. L., Kibbey T.C.G., Szpilka C., Atkinson J.H. 2009. Process-oriented tests for validation of baroclinic shallow water models: The lock-exchange problem. *Ocean Modelling* 28(1-3):137-152.
- 18- Krahn J. 2004. Contaminant transport modeling with Ctran/w: an engineering methodology. Geo-Slope International Ltd. Canada.
- 19- Luyun R.J. Momii K., Nakagawa K. 2009. Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall. *J. Hydrol.*, 377(3-4): 227-236
- 20- Mualem Y., and Bear J.1974. The shape of the interface in steady flow in a stratified aquifer, *Water Resources Research*, 10(6):1207– 1215.
- 21- Noorabadi S., Nazemi A.H, Sadraddini A.A. and Delirhasannia R. 2017. Laboratory investigation of water extraction effects on saltwater wedge displacement. *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 3(1): 21-32, Winter 2017. DOI: 10.22034/gjesm.2017.03.01.003.
- 22- Oswald S.E. and Kinzelbach W. 2004. Three-dimensional physical benchmark experiments to test variable-density flow models. *J. Hydrol.*, 290(1-2):22-42.
- 23- Rezaee Pazhand H. 2001. Application of probability and statistics in water resources. Sokhan Gastar publication, 456p (In Persian).
- 24- Strack ODL. 1976. A single-potential solution for regional interface problems in coastal aquifers. *Water Resour Res*;12:1165–74.
- 25- U.S. Geological Survey (USGS) .2000. Groundwater resources for the future—Atlantic Coastal Zone, Fact Sheet 085-00, Reston, VA.
- 26- Werner A.D., Bakker M., Post VAE, Vandenbohede A., Lu C, Ataie-AshtianiB, Sim-mons CT, and Barry DA. 2013. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *AdvWater Resources*. 2013;51: 3–26.
- 27- Van Lopik J.H., Hartog N., Zaadnoordijk W.J., Cirkel D.G, and Raoof A. 2015. Salinization in a stratified aquifer induced by heat transfer from well casings. *Advances inWater Resources* 86 (2015) 32–45.
- 28- Xue Y., Xie0 C. and Wu J. 1995. A three dimensional model for seawater intrusion in China. *Water Resour.Res.*, No. 4:903-912.
- 29- Xu M. and Eckstein Y. 1997. Statistical analysis of the relationships between dispersivity and other physical properties of porous media. *Hydrogeology Journal*, V. 5, no. 4
- 30- Zhang Q., Volker R.E., and Lockington D. A. 2001. Influence of seaward boundary condition on contaminant transport in unconfined coastal aquifers, *J. Contam. Hydrol.*, 49(3– 4):201– 215.

Assessment of Accuracy of CTRAN/W and SEAWAT Models for Prediction of Saltwater Wedge Under Intruding and Receding Conditions

H. Ahmadi^{1*} - M. Hemmati² - M. Motalebian³

Received: 06-11-2017

Accepted: 15-01-2018

Introduction: Coastal aquifers are major source of freshwater in many parts of the world. Saltwater intrusion is a serious environmental issue since 80% of the world's population live along the coast and utilize local aquifers for their water supply. Under natural conditions, these coastal aquifers are recharged by rainfall events, and the recharged water flowing towards the ocean would prevent saltwater from encroaching into the freshwater region. However, over exploitation of coastal aquifers has resulted in reducing groundwater levels (hence reduced natural flow) and this has led to severe saltwater intrusion. Saltwater intrusion from the sea into below the freshwater of aquifer impairs the quality of these resources. Cause of the complexity of saltwater intrusion issues and generally they cannot be solved analytically, so numerical methods can be useful tools for simulation and prediction of salt water intrusion.

Materials and Methods: CTRAN/W is a finite element software product that can be used to model the movement of contaminants through porous materials such as soil and rock. The comprehensive formulation of CTRAN/W makes it possible to analyze problems varying from simple particle tracking in response to the movement of water, to complex processes involving diffusion, dispersion, adsorption, radioactive decay and density dependencies. SEAWAT is a three-dimensional variable density groundwater flow and transport model developed by the USGS based on MODFLOW and MT3DMS. SEAWAT is based on MODFLOW and MT3DMS. SEAWAT includes two additional packages: Variable-Density Flow (VDF) and Viscosity (VSC). In this study, the precision of CTRAN / W and SEAWAT models to simulation and prediction of saltwater wedge were investigated in three states: a) steady state salt-wedge data observed under different hydraulic gradient conditions; b) transient salt-wedge data observed under intruding-wedge conditions; and c) transient salt-wedge data observed under receding-wedge conditions. Both models were initially calibrated and then the models were performed for the above conditions. The simulation results of the two models with the experimental results of Goswami and Clement (2007) have been compared. For comparing the measured data and simulated data, statistical indicators were used: root-mean-square error (RMSE), a measure of Nash-Sutcliffe (CE), the Correlation Coefficient (R^2), the ratio of difference (r) and the General Standard Deviation (GSD).

Results and Discussion: In this study, the precision of CTRAN / W and SEAWAT models to predict saltwater wedge was investigated. At first step, both models were calibrated and the best values for longitudinal and transverse dispersion were obtained 0.5 and 0.05, respectively. Then simulation was performed with both models for all three modes (a- steady state salt-wedge data observed under different hydraulic gradient conditions; b- transient salt-wedge data observed under intruding-wedge conditions; and c- transient salt-wedge data observed under receding-wedge conditions). The results showed that CTRAN/W and SEAWAT models have high precision for simulation of position and movement of saltwater wedge in steady state with average of root mean square error (RMSE) equal to 1.05 and 1 cm, respectively and Both models have a higher estimate than the actual value for a steady state. As well as for transient state under the under intruding-wedge conditions CTRAN/W and SEAWAT models have high precision with average of root mean square error (RMSE) equal to 0.65 and 0.44 cm, respectively and other statistical indicators were acceptable. The results of prediction of position and movement of saltwater wedge under receding-wedge conditions with average of root mean square error (RMSE) equal to 0.54 and 0.56 cm, respectively provided acceptable estimates of both models. Finally, in order to determine the accuracy of the models in estimating the flow rate from the source of fresh water to the source of salt water, a comparison was made between the results of the models and the laboratory data, which showed that The CTRAN/W revealed appropriate estimation of amount of transferring discharge from freshwater reservoir to saltwater reservoir in compared with SEAWAT model. In general, according to statistical

1 and 2- Associate Professor and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia Lake Research Institute, Urmia University

(*-Corresponding Author Email: h.ahmadi@urmia.ac.ir)

3- PhD student of Hydraulic Structures, Department of Water Engineering, Urmia University

indicators, the results of both models were acceptable

Conclusion: The results showed that CTRAN/W and SEAWAT models have high precision for simulation and prediction of position and movement of saltwater wedge with average of root mean square error equal to 0.67 and 0.58 cm (less than 10% of the average of measured data), respectively. The CTRAN/W revealed appropriate estimation of amount of transferring discharge from freshwater reservoir to saltwater reservoir in compared with SEAWAT model. In general, according to statistical indicators, the results of both models were acceptable.

Keywords: Costal Aquifer, Saltwater Intrusion, Saltwater wedge, CTRAN/W, SEAWAT

تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیم

ام البنین بذرافشان^{۱*} - زهرا گرکانی نژاد مشیزی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱

چکیده

استان هرمزگان رتبه اول تولید گوجه فرنگی خارج از فصل در کشور را داراست، این در حالی است که کمبود بارش و به تبع آن کمبود منابع آب شیرین در استان هرمزگان، قرار گرفتن استان در اقلیم فراخشک و همچنین تلفات زیاد آب در بخش کشاورزی موجب بحران جدی آب طی دو دهه اخیر شده است. تحقیق فوق با هدف تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی و ردپای آب در محصول گوجه فرنگی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی طی ۱۵ سال گذشته (۱۳۸۱-۱۳۹۵) صورت پذیرفته، تا بر این اساس، ارزش و حجم آب مجازی مبادلاتی در هر شهرستان محاسبه و تاثیر تغییر متغیرهای اقلیمی موثر بر ردپای آب مشخص گردد. نتایج نشان داد، متوسط وزنی ردپای آب در تولید گوجه فرنگی ۰/۹۳۶ مترمکعب در کیلوگرم بوده که بیشترین و کمترین میزان ردپای آب مربوط به شهرستان جاسک و بستک با مقدار ۱/۵۴ و ۰/۶۶ مترمکعب بر کیلوگرم است. متوسط حجم ردپای صادرات آب مجازی گوجه فرنگی ۱۰/۸ میلیون متر مکعب با ارزش ۲۸ میلیون ریال می باشد که بیشترین و کمترین سهم را به ترتیب شهرستان بندرعباس و بشارگرد داشته اند، اما به ترتیب بالاترین و پائین ترین ارزش آب مجازی مربوط به شهرستان بستک و جاسک است. تغییرات زمانی ردپای آب نشان می دهد، روند ردپا در بخش مرکزی رو به کاهش و در سایر بخش ها فاقد روند معنی دار است، این در حالی است که متغیر ساعات آفتابی نیز روبه کاهش بوده و در بین فاکتورهای غیراقلیمی روند عملکرد در بخش مرکزی افزایش قابل توجهی نشان می دهد، لذا روند تغییرات ردپای آب را می توان به عوامل غیراقلیمی مرتبط دانست.

واژه های کلیدی: ارزش ردپای آب، آب آبی و سبز، تغییر اقلیم، ردپای آب، ردپای صادرات و واردات

مقدمه

گلخانه ای به دلیل رشد صنایع، تغییر کاربری اراضی و تخریب محیط زیست سبب افزایش درجه حرارت اتمسفر کره زمین و فراتر از آن تحت تاثیر قرار دادن دیگر متغیرهای اقلیمی گشته و موجب بروز پدیده تغییر اقلیم شده است (۱۷). تغییر اقلیم اثرات قابل توجهی بر چرخه آبی و سیستم منابع آب دارد. تغییرات اقلیم باعث تغییر در مدت، شکل و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین و نیز باعث تغییر در حجم، مدت و زمان رواناب می شود، که پیامد این اتفاق در عرصه مدیریت منابع آب تحولات و تغییرات بسیاری به وجود خواهد آورد (۱۵).

افزایش رقابت برای منابع آب، همراه با تغییرات آب و هوایی می تواند تاثیر قابل توجهی در دسترسی به آب برای تولید محصولات کشاورزی داشته باشد. انتظار می رود که تاثیرات بالقوه آب و هوایی بر چرخه هیدرولوژیکی جهانی، الگوهای عرضه و تقاضای آب را برای کشاورزی در سراسر جهان تغییر دهد (۹ و ۲۱). برای تطبیق سیستم های کشاورزی با شرایط آب و هوایی متغیر، مهم است بدانیم که چگونه تغییرات آب و هوایی در تولید محصولات کشاورزی و

در دسترس بودن آب شیرین تاثیر قابل توجهی در امنیت غذایی دارد. زیرا نقش مهمی در تولید مواد غذایی دارد؛ مدیریت صحیح و متناسب با منابع طبیعی موجود، ضرورتی مهم برای رسیدن به توسعه پایدار است (۳۰). کشاورزی به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب شیرین در دنیاست که حدود ۷۰ درصد از کل مصرف منابع را تشکیل می دهد (۸). با توجه به این مسائل استراتژی برای رسیدگی به کمبود آب کشاورزی و افزایش بهره وری از آب محصول بسیار مهم می باشد (۱۳). برای این که بتوان با کمبود آب در کشاورزی مبارزه کرد و بتوان نیاز غذایی مردم را تامین کرد باید میزان واقعی آب مصرفی محصولات کشاورزی را برآورد کرد. افزایش روزافزون گازهای

۱ و ۲- استادیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

(*) نویسنده مسئول: Email: O.baztrafshan@hormozgan.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v32i1.68792

ارزش آب مجازی است، تا بتوان از این ابزار برای مدیریت منابع آب در بخش صیفی جات استان بهره برد. همچنین با توجه به تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی تولیدات کشاورزی، تبخیر و تعرق و متغیرهای هیدرواقليمی، اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای تاثیرگذار بر آب مجازی مورد بررسی قرار می گیرد، مسئله ای که تاکنون در مطالعات گذشته مورد توجه قرار نگرفته است.

گوجه فرنگی یکی از محصولات مهم در ایران است؛ در سال های اخیر سطح زیر کشت این محصول به شدت افزایش یافته است، به گونه ای که به عنوان یک گیاه زراعی در سطوح وسیع مورد کشت و کار قرار می گیرد (۱۱). کشور ایران با تولید سالانه پنج میلیون و ۸۰۰ هزار تن گوجه فرنگی در رتبه هفتم جهان قرار گرفته است؛ همچنین گوجه فرنگی دومین محصول صادراتی کشور است. بیش از ۹۲ درصد از منابع آب شیرین در استان هرمزگان در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می گردد، این در حالی است که از ۸۴ دشت استان، ۳۴ دشت در وضعیت ممنوعه قرار دارند (۱۵). استان هرمزگان از نظر تولید محصولات جالیزی و صیفی خارج از فصل در رتبه نخست کشوری قرار دارد و از جمله مهم ترین این محصولات، گوجه فرنگی است. طی ۱۵ سال گذشته، به طور متوسط ۱۴۰۰۰ هکتار از اراضی زیرکشت در استان هرمزگان به محصول گوجه فرنگی تعلق داشته که بیش از ۲۰ درصد سطح زیرکشت اراضی صیفی در سطح استان را در برمی گیرد (۱۷). در این پژوهش سعی بر این است که مزیت کشت گوجه فرنگی با توجه به مفهوم ردپای آب در هر یک از شهرستان های استان هرمزگان مشخص و شهرستان های با مزیت پائین معرفی گردند، همچنین میزان حجم و ارزش مبادلاتی آب مجازی ناشی از صادرات گوجه فرنگی طی دوره آماری ۱۵ ساله محاسبه و روند تغییرات آن نسبت به تغییر اقلیم مشخص گردد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان هرمزگان در نوار ساحلی جنوبی ایران و بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. از نظر طبقه بندی اقلیمی دومارتن توسعه یافته دارای اقلیم فراخشک فراگرم بوده (۲۳) به طوری که میزان متوسط بارندگی سالانه استان ۱۷۶ میلی متر و متوسط درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی گراد است. به ترتیب گرم ترین و سردترین شهرستان ها بشاگرد و بندر خمیر با متوسط ۲۹/۴ و ۲۶/۶ درجه سانتی گراد طی دوره مورد مطالعه بوده است.

بهره وری آب تاثیر می گذارد. از این رو ارزیابی استفاده از منابع آب در فرآیند تولید کشاورزی تحت تغییرات آب و هوایی به بهبود روش های مدیریت آب کشاورزی برای مقابله با تغییرات آب و هوایی کمک خواهد کرد (۲۸). ردپای آب و آب مجازی یک رویکرد جدید برای ارزیابی استفاده از منابع آب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی است (۱۲ و ۱۳).

مفهوم آب مجازی به حجم آب مورد استفاده در تولید یک محصول اشاره دارد (۲ و ۳). ردپای آب شاخصی است که مقدار آبی را که به صورت مستقیم و غیرمستقیم در تولید یک محصول یا کالا مصرف می شود اشاره می کند (۱۴). برآورد ردپای آب محصولات مختلف کشاورزی، دامی و صنعتی به عنوان شاخصی از حجم آب مورد نیاز در ارتباط با مصرف کشور، می تواند در اخذ تصمیمات مهم در راستای جبران کمبود منابع آبی، تعیین سهم آب آبی و آب سبز در تولید محصولات کشاورزی، تغییر در الگوی کشت، تغییر حجم صادرات و واردات محصولات با توجه به میزان مبادله آب مجازی و حفظ ذخایر آبی با واردات محصولات آب بر و عنایت به موضوع خودکفایی کشور مؤثر واقع گردد (۵).

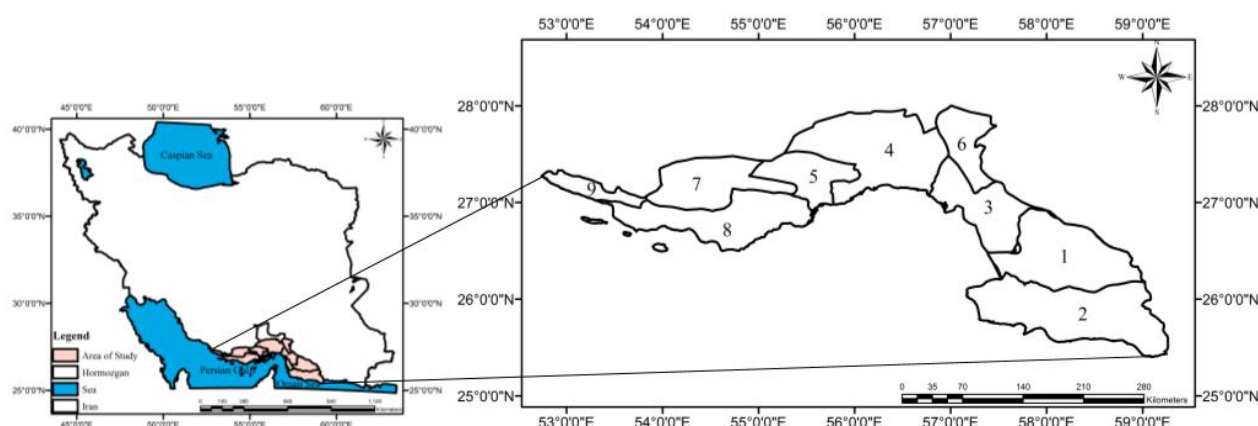
ردپای آب یک ابزار استراتژیک برای ارزیابی مصرف آب کشاورزی می باشد (۱۹). ردپای آب به سه بخش آب آبی، آب سبز و آب خاکستری (۱۳ و ۲۹) تفکیک می شود. ردپای آب سبز به حجم آب حاصل از بارش و ردپای آب آبی به حجم آب آبیاری (شامل آب های سطحی و زیرزمینی) اشاره دارد. ردپای آب خاکستری حجمی از آب شیرین است که برای رقیق سازی کودهای شیمیایی که در تولید محصول استفاده می شوند به کار برده می شود (۱۴). آب آبی و رمضانی اعتدالی (۱) مفهوم ردپای آب سفید را به عنوان حجم تلفات آبیاری معرفی کردند. مطالعات زیادی در سراسر جهان در رابطه با شاخص ردپای آب صورت گرفته است.

محققین متعددی به بررسی آب مجازی در محصولات مختلف در ایران در مقیاس استانی پرداختند که از جمله می توان به غلامحسین پور و همکاران (۱۰) در استان کرمان برای محصول پسته و خرما؛ سالاری و همکاران (۲۶) در تحلیل زمانی و مکانی تغییرات آب مجازی گندم در استان سیستان و بلوچستان؛ امیدی و همایی (۲۲) در بررسی مقدار آب مجازی گندم در استان فارس؛ صافی و میرلطفی (۲۵) در بررسی حجم آب مجازی نیشکر در خوزستان و دهقان پیر (۷) در بررسی آب مجازی مرکبات و نخیلات در استان هرمزگان اشاره کرد. تحقیقات مذکور، وضعیت آب مجازی و تجارت آب را برای محصولات مهم و یا عمده مناطق مختلف مورد مطالعه قرار دادند. اما تحقیق فوق، علاوه بر در نظر گرفتن ردپای آب سبز و آب آبی، از مفهوم جدید ردپای آب سفید نیز استفاده نموده و به دنبال مشخص نمودن حجم آب مجازی صادراتی و ارزش آب مجازی یک محصول، با هدف معرفی مناطق دارای کمترین ردپای آب و بالاترین

داده‌ها

گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان در شهرستان‌های بستک، بشاگرد، بندر عباس، بندر لنگه، پارسیان، جاسک، خمیر، رودان و میناب تولید می‌شود. موقعیت جغرافیایی (شکل ۱) و متوسط بارش و دمای این شهرستان‌ها طی دوره مشترک آماری ۱۳۸۱-۱۳۹۵ (جدول ۱) در ادامه نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، میزان تولید، عملکرد در واحد سطح، راندمان آبیاری مناطق مورد

مطالعه از اداره کل جهاد کشاورزی استان هرمزگان طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۱-۱۳۹۵ گردآوری شد. همچنین داده‌های اقلیمی شامل حداقل و حداکثر دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش طی دوره‌ی آماری مشترک ۱۳۸۱-۱۳۹۵ از سازمان هواشناسی استان هرمزگان تهیه گردید. همچنین محدوده شاخص خشکی دومارتن در منطقه از ۲/۹ تا ۵/۸ در نوسان بوده که در دسته اقلیم خشک قرار می‌گیرند.



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های تولید کننده گوجه‌فرنگی در سطح استان هرمزگان
Figure 1- The major tomato-producing counties at Hormozgan Province level

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی منطقه‌ی مورد مطالعه

Table 1- The 15-year average climate factors at the counties and province level

بخش Region	شهرستان City	کد Code	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature(°C)	بارش سالانه Average Annual Precipitation (mm)	سرعت باد Wind speed (m/s)	ساعات آفتابی Sunshine Hours	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	شاخص خشکی دومارتن De Martonne
شرقی East	بشاگرد Bashagard	1	11.21	36.91	213.8	2.2	9	35.1	5.8
	جاسک Jask	2	20.84	33.46	110	4.6	8.7	70.5	2.9
	میناب Minab	3	15.62	38.17	196	1.4	9.4	51.2	5.09
مرکزی Center	بندرعباس Bandar Abbas	4	17.22	36.62	163	3.5	8.5	63.4	4.33
	خمیر Khamir	5	20.12	38.18	163	2.6	9.1	52.2	4.1
	رودان Roudan	6	19.02	39.15	207	2.9	9.4	38.7	5.4
	بستک Bastak	7	13.8	38.7	164	1.2	8.8	39.8	4.3
غربی West	بندر لنگه Bandar Lengeh	8	15.72	38.29	121	3.6	9	61.1	3.2
	پارسیان Parsian	9	16.58	39.46	155	2.1	8.7	45.2	4
استان (میانگین وزنی) Province (weighted average)		-	17.35	38.07	175.88	2.51	8.98	51.9	4.57

روش انجام تحقیق

محاسبه ردپای آب

در این مطالعه، اجزا مختلف ردپای آب در تولید گوجه‌فرنگی در سطح کشور ایران با به‌کارگیری چارچوب (۱ و ۱۴) و با اعمال تغییراتی بر این روابط، طی دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ برآورد می‌گردد. در نرم افزار کراپ‌وات (۲) معادله فائو-پنمن-مونتیث به عنوان روش استاندارد به منظور محاسبه نیاز آبی گوجه‌فرنگی، در نظر گرفته شد (رابطه ۱). نیاز آبی^۱ هر گیاه مجموع میزان تبخیر سطحی و تعرق از گیاه است که پارامترهای اقلیم، زمان تولید، روش آبیاری و نوع گیاه از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر آن هستند.

در روابط زیر WF_{Green} ردپای آب سبز، WF_{Blue} ردپای آب آبی است. همچنین P_e مجموع بارندگی موثر (با استفاده از روش USDA) (۶) در طول دوره رشد گیاه به میلی‌متر، ET_c تبخیر و تعرق هر گیاه به میلی‌متر، Y عملکرد هر محصول به تن در هکتار و عدد ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متر به متر مکعب در هکتار می‌باشد (۶).

$$WF_{Green} = \frac{CWU_{Green}}{Y} = 10 \times \frac{ET_{Green}}{Y} \quad (1)$$

$$WF_{Blue} = \frac{CWU_{Blue}}{Y} = 10 \times \frac{ET_{Blue}}{Y} \quad (2)$$

تبخیر و تعرق آب آبی و آب سبز در طی دوره رشد محصول با استفاده از مدل کراپ‌وات محاسبه گردید (۱) و مقدار تبخیر و تعرق آب سبز و آبی از رابطه ۳ و ۴ محاسبه گردید. همچنین میزان بارش موثر طی فصل رشد هر گیاه در منطقه مورد نظر با استفاده از مدل کراپ وات بر اساس میزان بارش در دوره رشد محاسبه گردید.

$$ET_{Green} = \min(ET_c, P_e) \quad (3)$$

$$ET_{Blue} = \max(0, ET_c - P_e) \quad (4)$$

مقدار تبخیر و تعرق گیاه (ET_c) با استفاده از مدل کراپ‌وات براساس روش فائو-پنمن-مونتیث محاسبه گردید (۴). تبخیر و تعرق گیاهی از رابطه ۵ و تبخیر و تعرق مرجع از رابطه ۶ محاسبه گردید (۸).

$$ET_c = K_c ET_o \quad (5)$$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_r (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_r)} \quad (6)$$

WF_{White} ردپای آب سفید و بر حسب متر مکعب در هر کیلوگرم می‌باشد (۱).

$$WF_{White} = \max(0, \frac{10 \times (GI - IR)}{Y}) \quad (7)$$

تجارت آب مجازی و ارزش آن

از آنجائی که میزان تولید بیش از نیاز استان است، و اغلب شهرستان‌ها مبادرت به کشت آن دارند، لذا بخش زیادی از تولید مازاد بر نیاز صادر می‌شود، لذا میزان حجم آب مجازی در بخش صادرات با استفاده از روابط ۸ محاسبه گردید.

$$VWE_{i,j} = WFV_{i,x,j} \times E_{i,j} \quad (8)$$

که $VWE_{i,j}$ صادرات سالانه محصول گوجه‌فرنگی برای شهرستان i در سال j ($m^3 y^{-1}$)، $E_{i,j}$ مقدار صادرات سالانه آب مجازی محصول i در سال j است.

کل صادرات آب مجازی برای استان از رابطه ۹ محاسبه شد.

$$TVWE_j = \sum_{i=1}^n (VWE_{i,j}) \quad (9)$$

که $TVWE_j$ کل صادرات آب مجازی در سال j ($m^3 y^{-1}$) و شهرستان i است.

برای به‌دست آوردن ارزش ردپای آب مجازی گوجه‌فرنگی صادراتی، از مفاهیم ردپای اقتصادی استفاده گردید که با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه گردید: در این روابط $WF_{E(Green)}$ ردپای اقتصادی آب سبز، $WF_{E(Blue)}$ ردپای اقتصادی آب آبی بر حسب متر مکعب بر میلیون ریال و NB سود خالص بر حسب میلیون ریال بر تن است (۲۷).

$$WF_{E(Green)} = \frac{WF_{Green}}{NB} \quad (10)$$

$$WF_{E(Blue)} = \frac{WF_{Blue}}{NB} \quad (11)$$

جهت بررسی روند ردپای آب و مولفه‌های اقلیمی موثر بر آن، از آزمون من-کندال (من، ۱۹۴۹ و کندال، ۱۹۴۸) استفاده گردید.

نتایج

سطح زیرکشت، تولید، عملکرد و نیاز آبی گوجه‌فرنگی به

تفکیک شهرستان

مقادیر متوسط تولید، عملکرد و سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی به تفکیک هر شهرستان طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه در جدول ۲ و شکل ۳ ارائه شده است. در واقع ۱۰۰ درصد مزارع گوجه‌فرنگی در استان آبیاری می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، متوسط تولید سالانه گوجه‌فرنگی در استان ۳۷۰۵۳۵ تن در سال طی دوره آماری

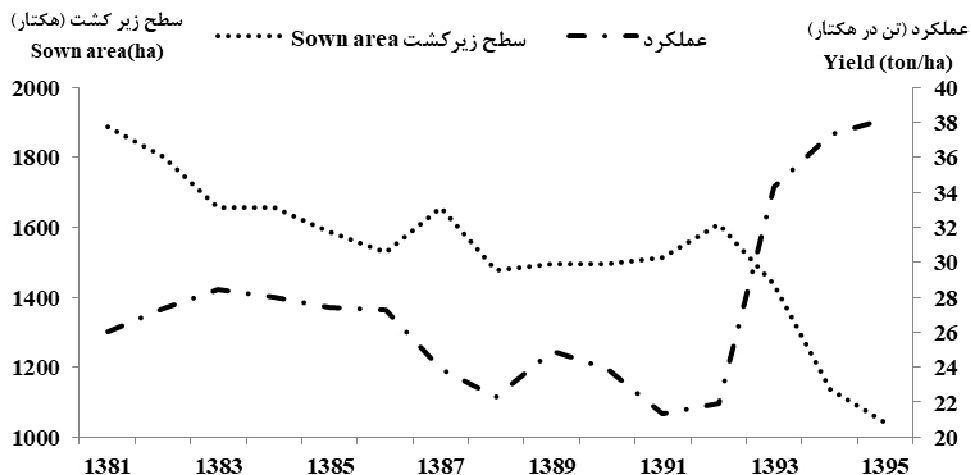
مورد مطالعه است. بیشترین عملکرد گوجه‌فرنگی در استان مربوط به بخش غربی استان و شهرستان پارسیان (۶۴/۸ تن در هکتار در سال) و کمترین عملکرد مربوط به بخش شرقی استان و شهرستان بشاگرد (۲۰/۵ تن در هکتار در سال) است. این در حالی است که ۸۴/۴ درصد از سهم تولید گوجه‌فرنگی مربوط به بخش مرکزی و شهرستان‌های میناب، بندرعباس و خمیر به‌ترتیب اولین تا سومین تولیدکننده‌های محصول فوق هستند.

شکل ۲ تغییرات عملکرد و سطح زیرکشت را طی دوره آماری در سطح استان نشان می‌دهد. طی دوره آماری مورد مطالعه، عملکرد تا سال ۱۳۹۲ تغییر محسوسی نداشته، و از سال ۱۳۹۲ به بعد شاهد افزایش عملکرد در واحد سطح بوده اما روند سطح زیرکشت رو به کاهش است و شیب آن نیز معنی‌دار است. علت افزایش عملکرد و کاهش سطح زیرکشت، جایگزین شدن کشت داریستی (کشت متراکم) به جای کشت سنتی (محصولات جالیزی خارج از فصل) در

این استان می‌باشد که ضمن صرفه‌جویی در نهاده‌ها، افزایش چند برابری محصول در واحد سطح را نیز در پی داشته است (۱۷). بر مبنای متوسط میزان نیاز آبی (شکل ۴-الف)، بیشترین و کمترین نیاز آبی مربوط به شهرستان‌های جاسک و بستک در شرق و غرب استان هرمزگان است و با در نظر گرفتن راندمان ۶۵ درصد براساس گزارش جهاد کشاورزی استان هرمزگان (۱۷) بخش زیادی از استان، نیاز آبی به‌طور متوسط ۴۰۰۰ و متوسط نیاز آبیاری ۴۵۰۰ مترمکعب در هر هکتار برآورد گردید. مقدار فوق نسبت به سایر استان‌های تولید کننده گوجه‌فرنگی تقریباً دو برابر است (۱۷) لذا با توجه به کمبود منابع آب در استان هرمزگان و اقلیم خشک آن تولید محصول در این استان قابل تامل است. اما از آنجائی که محصول فوق خارج از فصل تولید می‌شود، از خارج شدن ارز در کشور در فصولی که سایر استان‌ها تولید ندارند، بسیار با اهمیت جلوه نموده است.

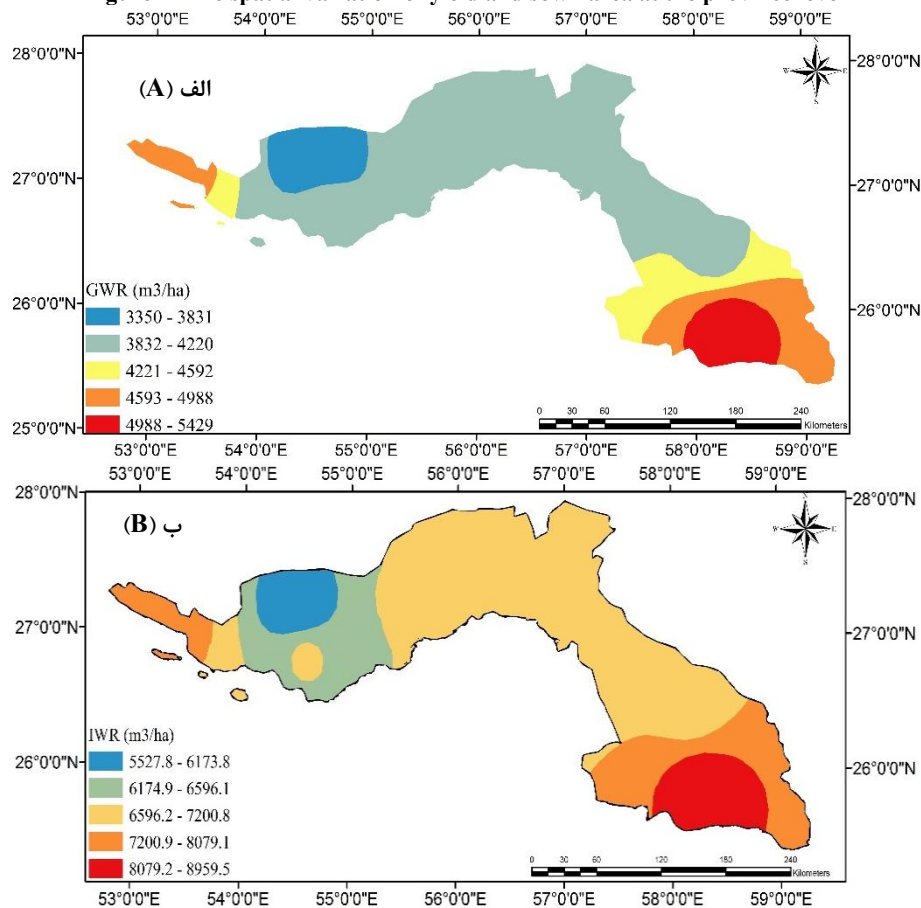
جدول ۲- داده‌های تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان‌های اصلی تولید کننده
Table 2- Tomato production data at the counties level

بخش Region	شهرستان Count	سطح زیر کشت (هکتار) Sown area (ha)	تولید (تن) Production (ton)	درصد سهم Share (%)	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton/ha)	مصرف کود (کیلوگرم در هکتار) N Fertilizer (kg/ha)
شرقی East	بشاگرد Bashagard	11	208	%0.1	20.5	360
	جاسک Jask	52	1197.1	%0.3	25.3	336
مرکزی Center	میناب Minab	3537	91879	%24.8	26.8	360
	بندرعباس Bandar Abbas	4041	96365.5	%26	27.6	350
	خمیر Khamir	2084	62396.4	%16.8	25.6	360
	رودان Roudan	1689	54929.3	%14.8	35.9	360
	بستک Bastak	285	7424.1	%0.2	26.8	358
غربی West	بندر لنگه Bandar Lengeh	137	2979.2	%0.8	26.6	350
	پارسیان Parsian	1651	53156.8	%14.3	64.8	360
استان Province		13487	370335	%100	31.1	354.9



شکل ۲- تغییرات سطح زیر کشت و عملکرد گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان طی دوره آماری مورد مطالعه

Figure 2- The spatial variation of yield and sown area at the province level



شکل ۳- تغییرات نیاز آبی (الف) و نیاز آبیاری (ب) در استان هرمزگان طی دوره آماری مورد مطالعه

Figure 3- The spatial variation of CWR (A) and IWR (B) at the province level

هر یک از ردپاها در جدول ۳ و شکل ۵ خلاصه شده است. به دلیل بالا بودن سهم ردپای سفید نسبت به خاکستری در تولید محصول

برآورد اجزاء ردپای آب در گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان متوسط اجزاء ردپای آب در محصول گوجه‌فرنگی و درصد سهم

آبیاری سبب کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی (کاهش بهره‌وری و افزایش ردپای آب) در بخش‌های شرقی و غربی استان شده است (۱۷)، که لزوم افزایش راندمان آبیاری به کمک روش‌های نوین و بهبود مدیریت آبیاری به ویژه با انتخاب تاریخ مناسب آبیاری در این مناطق جهت افزایش بهره‌وری آب و عملکرد آن ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به نتایج بدست آمده، بیش‌ترین ردپای آب در گوجه‌فرنگی ۱/۳۳ مترمکعب بر کیلوگرم مربوط به بخش شرقی و (شهرستان جاسک و بشاگرد) و کم‌ترین ردپای کل مربوط به بخش مرکزی، و متوسط وزنی ردپای کل در استان ۰/۹۳۶ مترمکعب بر کیلوگرم است که سهم آب سبز، آبی و سفید به ترتیب ۵، ۱۸ و ۷۷ درصد است. نتایج رضوانی اعتدالی و همکاران (۲۴) در دشت قزوین و منتصری و همکاران (۱۹) در غرب ایران، میزان ردپای آب را به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۱۸۷ و میزان متوسط ردپای آب در ایران توسط عربی یزدی و همکاران (۴) و محمدی کانی گلزار و همکاران (۱۸) ۰/۱۴ مترمکعب در کیلوگرم محاسبه گردید. بدین معنی که حجم ردپای آب مجازی در استان هرمزگان نسبت به سایر استان‌ها تقریباً دو برابر بوده که درصد زیادی از آن را هدررفت آب در بخش کشاورزی (آب سفید) به خود اختصاص داده است. این استان در اقلیم خشک با میزان بارش کم (سهم پائین آب سبز) و به تبع آن نیاز آبی بالا مواجه بوده و از طرفی بخش زیادی از دشت‌های استان دارای افت جدی و شدید آب زیرزمینی است، که لزوم افزایش افزایش بهره‌وری آب و راندمان آبیاری ضروری به نظر می‌رسد.

تجارت آب مجازی و ارزش آب صادرشده

ارزش آب مجازی محصولات کشاورزی به این معنی است که هر متر مکعب آب که در تولید هر محصول به مصرف رسیده است، معادل چه ارزش ریالی است. حجم و ارزش ردپای آب مجازی گوجه‌فرنگی صادراتی شهرستان‌ها به تفکیک و استان هرمزگان طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ در شکل ۵ ارائه شده است. بر این اساس، به‌طور میانگین با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۶۵ درصد با استناد به آمار سازمان جهاد کشاورزی استان هرمزگان (۱۷)، حجم ردپای صادرات آب مجازی در استان طی این دوره به‌طور متوسط ۱۰/۸ میلیون متر مکعب با ارزش ۲۸ میلیون ریال می‌باشد، که شهرستان بندرعباس و بشاگرد به ترتیب با دارا بودن ۲۶ و ۲ درصد از سطح زیرکشت استان بیش‌ترین و کم‌ترین حجم آب مجازی را به خود اختصاص داده‌اند. که با حذف صادرات و یا به عبارتی تولید در سطح تامین نیاز داخلی در استان، به میزان ۱۰/۸ میلیون مترمکعب سالانه آب در استان ذخیره و یا می‌تواند صرف محصولات با ارزش‌تر گردد. با توجه به نتایج بدست آمده، بیش‌ترین تجارت آب مجازی در استان در سال ۱۳۸۱ بوده که دارای ارزش اقتصادی کمتری نسبت به سایر

آبی، رقیق سازی کود به وسیله آب سفید صورت گرفته، لذا در این محاسبات آب خاکستری لحاظ نشده است (۲۷). براساس نتایج به‌دست آمده، ردپای آب سبز در محدوده ۰/۲-۰/۳ و میانگین وزنی در سطح استان ۰/۰۵ مترمکعب در هر کیلوگرم بوده است. بالاترین سهم ردپای آب سبز مربوط به بخش شرقی استان و شهرستان بشاگرد (۰/۲ مترمکعب بر کیلوگرم) و سایر بخش‌ها نیز رقم مشابهی را نشان می‌دهد. استان هرمزگان به واسطه ناکافی بودن میزان بارش، امکان توسعه کشت دیم میسر نبوده و تنها در بشاگرد با میزان بارندگی ۲۱۳ میلی‌متر، توسعه کشت دیم امکان‌پذیر است. به گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان هرمزگان (۱۷) قبل از توسعه آبیاری مکانیزه در این منطقه بسیاری از محصولات به‌صورت دیم کشت می‌شدند. در مجموع متوسط سهم ردپای آب سبز در تولید گوجه‌فرنگی تنها ۵/۲ درصد است. بدین معنی که تنها ۵/۲ درصد از نیاز آبی گوجه‌فرنگی از نزولات جوی تامین می‌گردد، که سهم بسیار ناچیزی است، لذا با توجه به غالب بودن بارش پاییزه و عمدتاً زمستانه در این استان، با تغییر ژنوتیپ گیاهی و استفاده از وارته‌های مقاوم به کم آبی، امکان کشت دیم وجود خواهد داشت.

میزان ردپای آب آبی در تولید گوجه‌فرنگی در سطح استان ۰/۲۲ مترمکعب بر کیلوگرم بوده که بخش مرکزی دارای کمترین میانگین ردپا (۰/۱۴) مترمکعب بر کیلوگرم و بخش شرقی دارای بیش‌ترین ردپای آب آبی است (۰/۲۳) مترمکعب بر کیلوگرم. به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین ردپای آب آبی مربوط به شهرستان‌های بستک و جاسک (۰/۱۲ و ۰/۲۸ مترمکعب بر کیلوگرم) است. سهم ردپای آب آبی در تولید گوجه‌فرنگی در سطح استان ۱۸ درصد است که ۳/۴ برابر سهم آب سبز است. نتایج نشان می‌دهد، بیش از ۳ برابر آبی که توسط بارش برای رشد گوجه‌فرنگی تامین می‌شود، بایستی توسط آبیاری تامین گردد، لذا برنامه‌ریزی جهت کاهش نیاز آبی با روش کوتاه نمودن دوره گلدهی با هدف جلوگیری از ورود به دوره خشکی و جابجایی تاریخ گلدهی و رشد از طریق استفاده از هورمون‌های رشد گیاهی مرسوم و یا استفاده از ارقام خاص که دارای چنین ویژگی هستند (۲۴)، می‌تواند موثر واقع گردد.

ردپای آب سفید یا تلفات آب آبیاری در بخش کشاورزی، بیش‌ترین سهم را در تولید گوجه‌فرنگی (۷۷ درصد) دارد. از این نقطه‌نظر بخش شرقی استان دارای بالاترین سهم ردپای آب سفید در تولید گوجه‌فرنگی است. شهرستان جاسک با ۱/۲۲ مترمکعب بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین ردپای آب سفید و در مقابل بخش غربی استان و شهرستان بستک دارای کم‌ترین میزان ردپای آب سفید (۰/۵) مترمکعب بر کیلوگرم در تولید گوجه‌فرنگی است. بیش از ۳۴ دشت استان از جمله دشت میناب، کهورستان و هشت‌بندی با فرونشست جدی روبرو است (۱۵) از سوی دیگر مدیریت نامناسب آبیاری، تعداد آبیاری و حجم آبیاری بیش از نیاز گیاه و تاریخ و زمان نامناسب

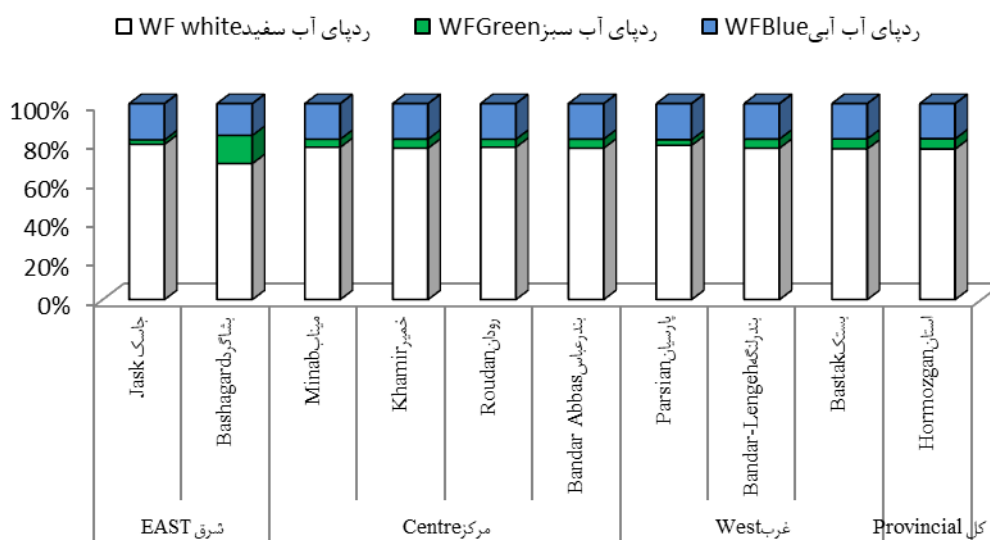
فوق دارای خودکفایی آب مجازی بوده و مازاد بر نیاز داخلی را صادر نموده است. نتایج دهقان پیر (۷) در مقیاس حوزه‌ای در استان هرمزگان نیز مؤید این مطلب است که استان هرمزگان علی‌رغم مشکلات وسیع کم‌آبی، همه ساله به‌عنوان صادرکننده آب مجازی است.

سال‌هاست، بالاترین میزان سطح زیرکشت و کم‌ترین قیمت در بازار به این سال تعلق دارد. به‌دلیل تفاوت در میزان عملکرد و تغییر سالانه متغیرهای اقلیمی، میزان ردپای آب و به تبع آن آب مجازی، صادرات آب مجازی و ارزش آن متفاوت خواهد بود. هر قدر میزان تجارت آب مجازی سالانه بیشتر باشد، نشان می‌دهد، استان در تولید محصول

جدول ۳- متوسط اجزاء ردپای آب در گوجه‌فرنگی در شهرستان‌های استان هرمزگان طی دوره آماری مورد مطالعه

Table 3- Water footprint components of Tomato production for the main producing counties

بخش Region	شهرستان County	اجزاء ردپای آب (m ³ /kg) Water footprint components				
		ردپای آب سبز WF _{Green}	ردپای آب آبی WF _{Blue}	ردپای آب سفید WF _{White}	ردپای کل TWF	متوسط ردپای کل TWFF
شرق East	بشاگرد Bashagard	0.2	0.19	0.81	1.2	1.33
	جاسک Jask	0.03	0.28	1.22	1.54	
	میناب Minab	0.04	0.15	0.68	0.87	0.62
مرکز Center	بندرعباس Bandar Abbas	0.04	0.16	0.66	0.86	
	خمیر Khamir	0.03	0.15	0.65	0.76	
	رودان Roudan	0.04	0.14	0.59	0.83	
غرب West	بستک Bastak	0.03	0.12	0.5	0.66	1
	بندر لنگه Bandar Lengeh	0.05	0.15	0.8	1.04	
	پارسیان Parsian	0.03	0.19	0.82	1.04	
کل Total	میانگین Average	0.03	0.22	0.71	-	0.936
	حداکثر Maximum	0.2	0.28	1.22	-	
	حداقل Minimum	0.03	0.12	0.5	-	



شکل ۴- نسبت سهم هریک از اجزاء ردپای آب در تولید گوجه در شهرستان‌های اصلی تولیدکننده گوجه در استان هرمزگان

Figure 4- Shares of Tomato water footprint components at the counties level in Hormozgan.

که با واردات هر محصول با حجم مصرفی آب مجازی کمتر و ارزش بیشتر به منطقه، آب مصرفی برای تولید آن محصول در منطقه ذخیره شده و سبب حفظ منابع آبی می‌گردد و مقدار ذخیره شده می‌تواند در بخش دیگری برای تولید محصولات با ارزش تری بکار رود.

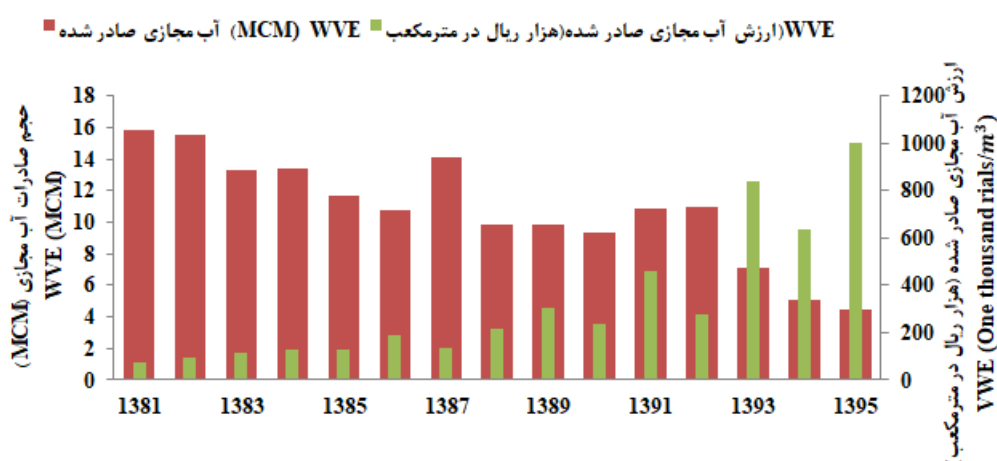
شکل ۶ تغییرات ارزش آب مجازی مبادلاتی در شهرستان‌های استان هرمزگان را نشان می‌دهد، طبق نتایج بدست آمده، بیش‌ترین ارزش آب مجازی مربوط شهرستان بستک با میزان ۱۹/۹ هزار ریال در مترمکعب در بخش غربی استان و در درجه بعدی مربوط به شهرستان‌های رودان (۱۸/۳)، خمیر (۱۷/۷)، بندرعباس (۱۶) و میناب (۱۵/۸) در بخش مرکزی است. شهرستان بستک با دارا بودن حداقل میزان نیاز آبی و عملکرد بالا بالتبع داری کمترین ردپا و ارزش بالای ریالی است.

بررسی روند تغییرات ردپای آب و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی

جهت بررسی روند تغییرات اجزای ردپای آب، میزان ردپا در هر شهرستان محاسبه و براساس میانگین وزنی تولید، مقدار هر یک در بخش‌های سه‌گانه و کل استان محاسبه و در شکل ۶ نمایش داده شد. همچنین، روند مقادیر فوق و متغیرهای اقلیمی موثر بر ردپای آب با استفاده از آزمون تحلیل روند من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. روند تغییرات ردپای آب طی دوره مورد مطالعه، نشان می‌دهد، از سال ۱۳۹۰ به بعد، شیب ردپای آب دارای کاهش محسوسی است، طی سال‌های فوق عملکرد، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد.

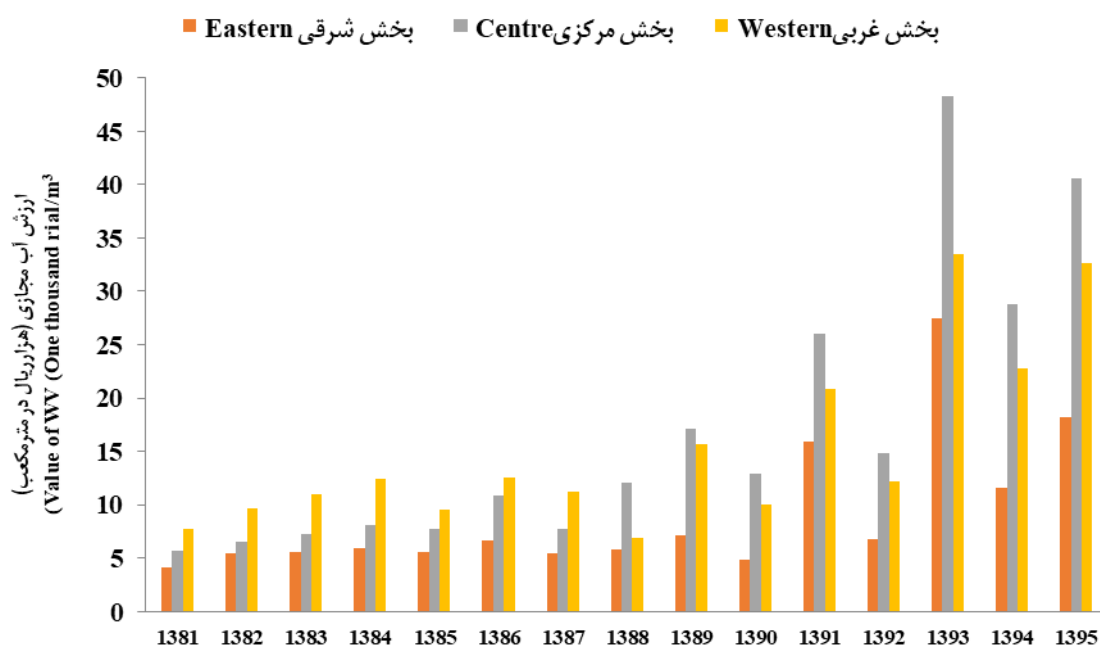
مطالعات طی دوره مورد مطالعه با افزایش جمعیت نرخ صادرات حجم آب مجازی حاصل از گوجه‌فرنگی کاهش شایانی را نشان می‌دهد، (نرخ کاهش صادرات آب مجازی ۰/۶ میلیون مترمکعب در سال) بدین‌معنی که بخش زیادی از تولیدات استان، نیاز داخل استان را تامین نموده است. پائین بودن قیمت گوجه نسبت به هزینه تولید، نبود بازار مناسب جهت فروش، عدم وجود صنایع تولیدی در استان جهت فرآوری گوجه‌فرنگی و افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان سبب عدم وجود انگیزه در کشاورزان، از جمله دلایل کاهش سطح زیرکشت در استان است (۱۷). از طرفی از سال ۱۳۹۰ تاکنون به‌دلیل خشکسالی‌های پیاپی و افت شدید سطح آب زیرزمینی، از جمله اهداف عمده و مهم جهاد کشاورزی استان، تغییر الگوی کشت در جهت افزایش نرخ بهره‌وری آب است.

بررسی ارزش آب مجازی صادراتی، نشان می‌دهد طی دوره مورد مطالعه، به ازای هر تن گوجه‌فرنگی تولیدی در استان به‌طور متوسط ۱۹۰ مترمکعب آب صادر شده که ارزش آن ۵۱۰ هزار ریال است، به عبارتی ارزش هر مترمکعب آب صادر شده حاصل از محصول گوجه‌فرنگی، ۲/۶۸ هزار ریال است. مطالعه شکوهی و همکاران (۲۷) ارزش آب مجازی گوجه‌فرنگی در استان قزوین را ۴/۵ هزار ریال در مترمکعب برآورد نمودند. بدین‌منظور که ارزش آب مجازی صادر شده حاصل از گوجه فرنگی نسبت به سایر مناطق تقریباً نصف است. به‌دلیل پائین بودن میزان آب سبز و بالا بودن تبخیر و تعرق و نیاز آبی این محصول در هرمزگان و صرف آب بیشتر به ازای هر کیلوگرم محصول، ارزش آب مجازی صادر شده به مراتب پائین‌تر از سایر نقاط با شرایط آب و هوایی متفاوت است. مبادله آگاهانه آب مجازی براساس ارزش اقتصادی آن در دیدگاه آب مجازی به این معنی است



شکل ۵- ارزش و حجم آب مجازی صادر شده گوجه فرنگی از استان هرمزگان

Figure 5- Value and volume of virtual water exported tomatoes at the Hormozgan province



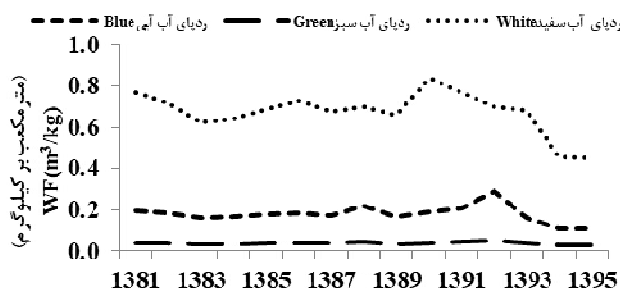
شکل ۶- ارزش آب مجازی به تفکیک بخش طی دوره آماری مورد مطالعه
Figure 6- Value of virtual water at the counties level over the 2002 - 2016



بخش غربی Western Part (ب)



بخش شرقی Eastern Part (الف)



کل استان Total (د)



بخش مرکزی Central Part (ج)

شکل ۷- روند تغییرات اجزای ردپای آب در محصول گوجه‌فرنگی طی دوره آماری ۱۳۸۱ - ۱۳۹۵
Figure 7- The Trend of water footprint components of Tomato production over the 2002 - 2016

روند بررسی فاکتورهای اقلیمی نشان دهنده وجود روند ساعات آفتابی طی دوره آمار مورد مطالعه در تمام سطح استان دارای روند کاهشی است (جدول ۳).

روند بررسی اجزاء ردپای آب در محصول گوجه فرنگی نشان می دهد (جدول ۴)، در بخش های شرقی و غربی روند خاصی مشاهده نمی شود، اما در بخش مرکزی استان؛ در شهرستان های بندرعباس، رودان، میناب، خمیر و بستک روند ردپای آب مجازی رو به کاهش بوده و به لحاظ آماری نیز معنی دار است. در بررسی ارتباط بین عوامل اقلیمی و غیراقلیمی موثر بر ردپای آب می توان خاطر نشان نمود،

جدول ۴- روند فاکتورهای اقلیمی با استفاده از آزمون من- کندال در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۸۱

Table 4- The Trend of climate factors using Mann- Kendal Test over the 2002 - 2016

ساعات آفتابی	بارش (میلی متر)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد	متوسط حداقل دما (درجه سانتی گراد)	متوسط حداکثر دما (درجه سانتی گراد)	خصوصیات آماری
Sun shine hours (hr)	Precipitation (mm)	Relative humidity (%)	Wind speed (m/s)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	
Average	95.03	70.49	4.59	16.25	35.2	Average
CV	69.5	1.68	0.45	0.34	0.31	CV
Z value	1.48	0.00	1.29	3.2***	3.33***	Z value
Average	131.17	54.88	3.23	17.92	44.95	Average
CV	66.84	3.09	0.31	0.35	0.51	CV
Z value	1.19	-1.18	-0.78	3.2***	2.21**	Z value
Average	79.75	49.31	2.28	15.36	38.81	Average
CV	53.07	1.94	0.14	0.42	0.38	CV
Z value	0.00	-0.99	-1.29	2.11**	2.59**	Z value

*, **, و *** به ترتیب معنی داری در سطح اعتماد ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد

جدول ۵- روند اجزاء ردپای آب با استفاده از آزمون من- کندال در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۸۱

Table 5- The trend of water footprint components using Mann- Kendal Test over the 2002 - 2016

ردپای آب		WF (m ³ /kg)						
		آبی	سبز	سفید	کل	عملکرد	نیاز آبی	آبی
		Blue	Green	White	Total	Yield (ton/ha)	IWR(m ³ /ha)	Blue
Average		0.21	0.08	0.90	1.19	24.63	5430	0.21
CV		0.08	0.02	0.34	0.43	0.4	0.17	0.08
Z value		0.40	0.79	0.40	0.49	-0.09	0.33	0.40
Average		0.15	0.04	0.63	0.82	29.68	4035	0.15
CV		0.03	0.01	0.14	0.18	0.27	0.04	0.03
Z value		-3.66***	-3.56***	-3.66***	-3.66***	3.85***	0.66	-3.66***
Average		0.17	0.04	0.71	0.91	28.61	4083	0.17
CV		0.04	0.01	0.17	0.22	0.23	0.11	0.04
Z value		0.30	0.69	0.30	0.30	-0.98	0.11	0.30
Average		0.15	0.036	0.66	0.19	27.5	4204	0.15
CV		0.03	0.007	0.13	0.04	0.19	0.14	0.03
Z value		-3.16***	-3.26***	-3.16***	-3.16***	1.89*	1.1	-3.16***

از آنجایی که ۸۴/۴ درصد از تولید گوجه فرنگی مربوط به بخش مرکزی است، لذا نتایج تحلیل روند ردپای کل نیز تبعیت زیادی از

نتایج بخش مرکزی داشته و روند ردپای استان نیز نزولی است. نتایج سان و همکاران (۲۸) در بررسی ارتباط ردپای آب با عوامل اقلیمی

و امکان کشت دیم از طریق تغییر ژنوتیپ گیاهی، تغییر تاریخ کشت و استفاده از واریته‌های مقاوم به کم‌آبی تنها در شهرستان بشاگرد امکان‌پذیر است. عموماً میزان نیاز آبی به‌استثناء شهرستان جاسک، در سایر مناطق مشابهت بالایی دارد، اما سهم آب آبی، ۱۸٪ از ردپا را به‌خود اختصاص داده است، لذا برنامه‌ریزی در جهت کاهش نیاز آبی از طریق کوتاه نمودن دوره گلدهی گوجه‌فرنگی با هدف جلوگیری از ورود به دوره خشکی و جابجایی تاریخ گلدهی و رشد از جمله اقدامات مهم در جهت کاهش نیاز آبی است. متوسط حجم ردپای آب مجازی در استان بطور متوسط ۱۰/۸ میلیون مترمکعب طی دوره آماری مورد مطالعه برآورد گردید. که میزان آن از گذشته تا پایان دوره مورد مطالعه کاهش چشمگیری نشان می‌دهد، افزایش عملکرد در واحد سطح، صرف‌نظر از نیاز آبی، بطور چشمگیری سبب کاهش ردپای آب می‌شود، بالاترین و کمترین حجم آب مجازی صادراتی توسط شهرستان بندرعباس و بشاگرد تامین می‌شود. جالب توجه است، شهرستان بندرعباس و میناب بالاترین سطح زیرکشت را در بین شهرستان‌ها داراست در حالی که دشتهای واقع در این دو شهرستان دارای مشکل جدی افت سطح ایستابی، فرونشست زمین و شور شدن آب‌های زیرزمینی روبرو هستند، لذا لازم است در این زمینه برنامه‌ریزی جدی در جهت بهبود الگوی کشت، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، مدیریت آبیاری و افزایش راندمان صورت پذیرد. نتایج حاصل از بررسی ارزش آب مجازی نشان می‌دهد، با کاهش ردپای آب در محصول گوجه‌فرنگی طی دوره آماری، ارزش آب صادرشده نیز افزایش یافته است. بررسی روند تغییرات ردپا و عوامل اقلیمی و غیر اقلیمی نشان داد، روند ردپا ارتباط نزدیکی با تغییرات عملکرد دارد و می‌توان تغییرات محسوس ردپا را ناشی از تغییرات عملکرد دانست. لذا با مدیریت عوامل غیراقلیمی مانند مدیریت صحیح تولید، راندمان آبیاری، مدیریت صحیح مصرف آب در بخش کشاورزی و ... می‌توان اثر تغییرات فاکتورهای اقلیمی را کنترل نمود.

نشان داد، نقش عوامل اقلیمی مانند عملکرد، نهاده‌های کشاورزی و مدیریت الگوی کشت نقش موثری در تغییرات ردپای آب دارد. بدین مفهوم که آب مجازی یک محصول تا حد زیادی توسط مدیریت کشاورزی تعیین می‌شود نه تحت تاثیر شرایط اقلیمی و آب و هوایی. با این وجود با توجه به خطرات ناشی از تغییرات اقلیم و اثرات آن بر تولیدات کشاورزی و باغی، بایستی به‌دنبال راهبردهای موثر در جهت کاهش ریسک ناشی از آن بر محصولات باشیم.

نتیجه‌گیری

استان هرمزگان رتبه اول تولید گوجه‌فرنگی خارج از فصل در کشور را داراست، و بیش از ۲۰٪ اراضی تحت کشت صیفی‌جات را به‌خود اختصاص داده است و ۹ شهرستان به کشت آن مبادرت دارند. این در حالی است که کمبود بارش و به تبع آن کمبود منابع آب شیرین در استان هرمزگان، قرار گرفتن استان در اقلیم خشک و همچنین تلفات زیاد آب در بخش کشاورزی موجب بحران جدی آب طی دو دهه اخیر شده است.

مفهوم ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی به مدیریت و مکان‌یابی مناسب مصرف آب کشاورزی کمک شایانی می‌نماید. در تحقیق فوق علاوه بر آب سبز و آبی (۱۳) از مفهوم جدید ردپای آب سفید (۱) برای اولین بار برای محصول گوجه‌فرنگی در ایران و مناطق فراخشک ایران استفاده می‌شود. در واقع آب سفید میزان تلفات آب کشاورزی را لحاظ می‌نماید. میزان ردپای آب گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان طی دوره مورد مطالعه ۰/۹۳۶ مترمکعب در کیلوگرم برآورد شده که سهم آب سبز، آبی و سفید به‌ترتیب ۵، ۱۸ و ۷۷ درصد است که نشان‌دهنده بالا بودن سهم تلفات آب در تولید گوجه‌فرنگی در استان است، لذا لزوم توجه به افزایش راندمان آب در استان فراخشکی مانند هرمزگان که با مشکل جدی کمبود آب در اکثر دشتهای مواجه است، امری اجتناب‌ناپذیر است. به‌دلیل ناکافی بودن میزان بارش، سهم بارش موثر و آب سبز جهت کشت محصول فوق بسیار کم بوده

منابع

- 1- Ababaei B., and Ramezani Etedali H. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, 179: 401- 411.
- 2- Allan J. A. 1997. Virtual water: A long-term solution for water short Middle Eastern economies? Paper presented at the 1997 British Assoc. Festival of Sci., University of Leeds, UK.
- 3- Allan J. A. 2003. Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. PP. 137-145. In: A. Y. Hoekstra (Ed.), *Virtual Water Trade, Proc. of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12*, IHE, Delft, The Netherlands.
- 4- Arabi Yazdi A., Alizadeh A., and Mohammadian F. 2009. Study on Ecological Water Footprint in Agricultural Section of Iran, *Journal of Water and Soil*. 23(4): 1- 15.
- 5- Arabi A., and Niknia N. 2010. Water footprint, an indicator of the impact of the pattern of consumption of nations. 5th National Congress of Civil Engineering, Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian)
- 6- Chapagain A.K., Hoeksta A.Y., and Savenije H.H.G. 2006. Water saving through international trade of

- agricultural products. *Hydrol. Earth System Science*, 10: 455-468, DOI: 10.5194/hess-10-455.
- 7- Dehghan Pir, Sh. 2015. A Comparative Study on Virtual Water through Problemshed Concept (Hormozgan Province), Master's thesis. (in Persian with English abstract).
- 8- Duan P., Qin L., Wang Y., and He H. 2015. Spatial pattern characteristics of water footprint for maize production in Northeast China. *Journal of the Science of Food Agriculture* 96(2): 561- 568. DOI: 10.1002/jsfa.7124.
- 9- FAO, 2011. Climate change, water and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome.
- 10- Gholam Hosein Pour Jafari Nejad A., Alizadeh A., Nashat A., and Abolhasani Zeraatkar M. 2014. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 8(2): 325- 335. (in Persian)
- 11- Golkar F., Farahmand A., and Fardad H. 2008. Effect of irrigation water on yield and water use efficiency in tomato. *Journal of Water Engineering*, (1): 13- 19.
- 12- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan, London.
- 13- Hoekstra A.Y., and Hung P.Q. 2002. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value if the Watre Research Report Series. No. 11, UNESCO-IHE, Delft.
- 14- Hoekstra A. Y., and Chapagain A. K. 2008. Globalization of water: Sharing the planets freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK. DOI: 10.1002/9780470696224.
- 15- HRWA (2017) Hormozgan water resource bulletin. Hormozgan Regional Water Authority, Bandar Abbas. (in Persia).
- 16- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP.
- 17- Ministry of Agriculture- Jihad (MAJ). 2016, The year of agricultural production, Volume II, 125 p. (in Persian)
- 18- Mohammadi- Kanigolzar F., Daneshvar Aheri J., and Motee N. 2014. Virtual Water Trade as a Strategy to Water Resource Management in Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 6: 141 – 148.
- 19- Montaseri M., Rasouli Majd N., Behmanesh J., and Rezaie H. 2016. Evaluation of Agricultural Crops Water Footprint with Application of Climate Change in Urmia Lake basin. *Journal of Water and Soil*, 30(4): 1075- 1089. (in Persian with English abstract)
- 20- Morillo J.G., Martin M., Camacho E., Díaz J.A.R., Montesinos P. 2015. Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation, *Agricultural Water Management*, 151(1), 43-51, DOI: 10.1016/j.agwat.2014.09.021.
- 21- Ohmura A., Wild M., 2002. Climate change: is the hydrological cycle accelerating? *Science* 298: 1345-1346.
- 22- Omid F., Homaei, M. 2015. Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price. *Journal Management System*. 5(2):131- 143. (in Persian with English abstract)
- 23- Rahimi J., Ebrahimpour M., and Khalili A. 2013. Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 112, 409-418.
- 24- Ramezani Etedali H., Shokoohi A., and Mojtavavi S.A. 2017. Using the Concept of Virtual Water Footprint in Main Crops Production for Crossing the water crisis in Qazvin. *Journal of Water and Soil*, 31(2): 422 – 433. (in Persian with English abstract)
- 25- Safi R., Mirlotfi S.M. 2015. Sugarcane in Khuzestan assess the situation from the perspective of virtual water. *Journal of Water Resources* 8: 87- 95. (in Persian with English abstract)
- 26- Salari S., Karandish F., and Darzi-Naftchali A. 2015. Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan Province, *Journal of Irrigation & Water Engineering*, 5(18): 81 – 94.
- 27- Shokoohi A., Ramezani Etedali H., Mojtavavi, S. A. and Singh, V. P. 2016. Using Water Footprint Accounting for Optimizing Crop Patterns Respecting Sustainable Development (Case Study: Qazvin Plain), Iran – water Resources Research. 3(12): 99 – 113. (in Persian with English abstract)
- 28- Sun S.K.; Wu P.T.; Wang Y.B., Zhao X.N., Liu J., Zhang X.H. 2012. The temporal and spatial variability of water footprint of grain: A case study of an irrigation district in China from 1960 to 2008. *J. Food Agric. Environ.* 10, 1246–1251.
- 29- Van Oel P.R., Mekonnen M.M., and Hoekstra A.Y. 2009. The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics*, 69: 82-92.
- 30- Yang H., Zehnder A. 2006. Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resources Research* 43:12.

The Impacts of Climate Variability on Spatiotemporal Water Footprint of Tomato Production in The Hormozgan

O. Bazrafshan^{1*} - Z. Gerkani Nezhad Moshizi²

Received: 04-12-2017

Accepted: 12-03-2018

Introduction: Agriculture sector, as the key consumer of fresh water resources throughout the world, is progressively more squeezed by the requirements of other contemporary society areas and threatened by potential climatic change. Irrigation is the major part of agricultural water usage in Iran, which consumes 90% of total agricultural water use. Increasing competition for water resources use, in conjunction with climate factors change may have significant effects on water availability for agricultural production. Climate change has already affected components of the hydrologic cycle, such as precipitation redistribution, runoff and groundwater cycling. The water footprint of a crop is the volume of freshwater both consumed during the crop production process, and it has three components consist of green water footprint (the volume of the precipitation consumed in crop production); blue water footprint (the volume of runoff or groundwater consumed in crop production); grey water footprint (the volume of freshwater that is required to assimilate the load of pollutants during the crop production process) and white water footprint (the volume of water losses during the irrigation process).

Materials and Methods: The Hormozgan is located in a hyper-arid region that is impressionable to the potential impact of climate. The data used in this research consist of climate data and agricultural data. The climate data (2002-2016) was taken from the Iran Islamic Republic Meteorological Organization including monthly average maximum temperature, monthly average minimum temperature, relative humidity, precipitation, wind speed and sunshine hours. The agricultural data consists of, cultivation area, crop yield and soil type were taken from the Agricultural Jihad Bureau of Hormozgan Province. CROPWAT model is used to estimate crop water and crop irrigation requirements using meteorological, crop and soil data. Effective precipitation (Pe) values were calculated by USDA method and crop evapotranspiration (ETc) was calculated by FAO-Penman-Montieth method. The WFGreen (effective precipitation), WFBBlue (net irrigation requirement) and WFWWhite (irrigation water losses) water footprints (WF) of potato production were estimated for Hormozgan. The Mann-Kendall (M-K) trend test is used to analyze the trends and abrupt changes of the climatic factors.

Results and Discussion: The total tomato WF was estimated 0.639 m³/kg in the Hormozgan province that Jask and Bastak have maximum and minimum with 1.54 and 0.66 m³/kg, respectively. The share of green, blue and white water footprint estimated 5, 18 and 77 percent, respectively. The largest shares of water footprint were observed in Bandar- Abbas (27%). The sum of the water footprint it is 19.2 MCM, which is more than 95% of the total water footprint (70.2 MCM) in the whole province. In Bashagard a large share of water footprint is related to the blue water footprint despite having a considerable amount of seasonal precipitation. Regarding the dominance of autumn precipitation in it, changing the vegetation genotype and cultivation of varieties resistant to water deficit will increase the plausibility of dry farming and increases share of the green water footprint. The white water footprint has the largest shares (77%) of while subsidence is so serious in more than 36 plains. Hormozgan province has low precipitation and high water demand. On the other hand, improper irrigation management (number of events and the volume of irrigation) has led to decreased tomato performance in these regions and larger water footprint. The share of blue water footprint is 18% that 4 times more than from WFGreen. The considerable amounts of precipitation in this province, strategies such as cultivation of new genotypes more adapted to the wet periods, shortening the flowering period of Saffron with the aim of avoiding the dry period at the end of the growing season can be considered to reduce the share of the blue water footprint and reduce the share of the green and white water footprints. Total consumed and exported virtual water volume from the region are 10.8 MCM to 28 million Rials per year. The export of these crops imports the most pressure on groundwater and surface water resources of the region. The M-K test results of climatic factors throughout

1 and 2- Assistant Professor and Ph.D Student of Natural Resources Engineering Department, Agriculture and Natural Resources Engineering Faculty, University of Hormozgan

(*- Corresponding Autor Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir)

the 2002–2016 study periods in Hormozgan showed that sunshine hours during the tomato growth period experienced downward trends for the M-K statistics values were less than zero and the downward temperature trend reached statistical significance. The declining temperature and sunshine hours would result in lower crop evapotranspiration (ETc) and agricultural water consumption, while CWR donot have any trend. The trend analysis shows that the green, blue and white water footprint had significant increasing trends in the central part. Increasing theyield would result in lower water footprint.

Conclusion: Ground water depletion and water shortage are two problems in Hormozgan province which have occurred due to the irregular use and inappropriate management of demand and supply of water in agricultural sector. The water footprint (WF) of crop production is a comprehensive indicator that can reflect water consumption types, quantities and environmental impacts during the crop growth period. This study assesses interannual variability of green, blue and white WFs of tomato production in Hormozgan from 2001 to 2015. The share of green, blue and white WFs in the region is 5, 17 and 77 percent and 10.5 MCM year⁻¹. Under the combined influence of climate change and water footprint variation, WFCs weredecreasing trends. In contrast, sunshine hours had decreasing trend. The statistical analysis revealed that interannual variabilities of WFCs were caused by both climatic and non-climatic factors.

Keywords: Climate change, Export and import water footprint, Green and blue water, Value of water footprint, Water footprint



تأثیر هیدروکسید مضاعف لایه‌ای با آنیون بین لایه‌ای فسفات بر فراهمی فسفر در یک خاک آهکی

حدیث حاتمی^۱ - امیر فتوت^{۲*} - اکرم حلاج نیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

چکیده

به دلیل واکنش فسفر با ترکیبات موجود در خاک، فراهمی فسفر به عنوان یک فاکتور محدودکننده برای تولید فرآورده‌های کشاورزی در سراسر جهان مطرح است. این پژوهش با هدف مقایسه تأثیر ترکیب سنتزی هیدروکسید مضاعف لایه‌ای (LDH) با آنیون بین لایه‌ای فسفات و کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل (TSP) بر فراهمی فسفر یک خاک آهکی در طی زمان انجام شد. به این منظور ابتدا Zn-Al LDH با آنیون بین لایه‌ای فسفات (P-LDH) به روش تبادل یونی ساخته شد و سپس یک آزمایش انکوباسیون در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل دربرگیرنده دو ترکیب حاوی فسفر (P-LDH و TSP)، چهار سطح فسفر (صفر (شاهد)، ۱۸، ۴۵ و ۹۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم)، ۸ زمان (۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ روز) و سه تکرار انجام شد. در پایان هر زمان مقادیر فسفر و روی قابل دسترس، pH و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که کاربرد P-LDH و TSP منجر به افزایش معنی‌دار فسفر قابل دسترس در مقایسه با تیمار شاهد گردید اما روند تغییرات رهاسازی فسفر در این دو منبع با گذشت زمان متفاوت بود. در نمونه‌های P-LDH برخلاف TSP با گذشت زمان فسفر قابل دسترس افزایش یافت تا آنجا که تفاوت میان این دو منبع در هر سه سطح فسفر در زمان ۱۵۰ روز از نظر آماری معنی‌دار گردید. این امر احتمالاً به دلیل رهاسازی آهسته فسفر از ساختمان P-LDH و کاهش واکنش فسفر با ترکیبات خاک رخ داده است. در اثر انحلال ترکیب P-LDH در خاک هم‌زمان با آنیون فسفر کاتیون روی هم وارد محلول خاک شد که منجر به افزایش قابل توجه روی قابل دسترس خاک در تیمارهای P-LDH گردید. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات pH و EC در هر دو منبع یکسان بوده و تفاوت معنی‌داری میان دو منبع مشاهده نشد. بنابراین به نظر می‌رسد که P-LDH می‌تواند به عنوان یک کود کندره‌ای فسفره سبب افزایش کارایی فسفر گردد اما سطوح بالای این ترکیب به دلیل بالا بودن مقادیر روی قابل دسترس توصیه نمی‌شوند.

واژه‌های کلیدی: سوپر فسفات تریپل، فسفر قابل دسترس، کود کندرها، هیدروکسیدهای مضاعف بین لایه‌ای

مقدمه

کودهای فسفره با خلالت بالا در خاک مانند کودهای مونوآمونیم فسفات، دی آمونیوم فسفات و سوپر فسفات تریپل، استفاده از سنگ فسفات آپاتیت (۳۳ و ۳۸) و همچنین کاربرد توام کودهای شیمیایی با کودهای حیوانی، بقایای گیاهی، ضایعات شهری و صنعتی (۱۱، ۳۱ و ۴۵) اشاره نمود. اخیراً امکان استفاده از ترکیبات سنتزی تحت عنوان هیدروکسیدهای مضاعف لایه‌ای^۴ یا به اختصار LDHs در حوزه‌های مختلف پزشکی (به‌ویژه داروسازی)، الکتروشیمی، فتوشیمی، پلیمریزاسیون، کاتالیزورها، جاذب‌ها، بیولوژی و کاربردهای زیست‌محیطی مطرح شده است. هیدروکسیدهای مضاعف لایه‌ای گروهی از ترکیبات غیرسیلیکاتی دارای صفحات شبیه بروسایت (Mg(OH)₂) با بار مثبت هستند که در آن کاتیون دو ظرفیتی در هشت وجهی به وسیله گروه‌های هیدروکسیل هم‌آرایی شده است.

فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی پرمصرف مورد نیاز گیاه است و به دو شکل ارتوفسفات اولیه و ثانویه ($H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-}) توسط گیاه جذب می‌گردد (۴۴). به دلیل وارد شدن فسفر در واکنش‌های مختلف با ترکیبات موجود در خاک (۱) فراهمی این عنصر همواره به عنوان یک فاکتور محدودکننده برای تولید فرآورده‌های کشاورزی در سراسر جهان مطرح می‌باشد. بنابراین، ارائه راه کارهایی به منظور افزایش کارایی استفاده از فسفر همواره مورد توجه محققان بوده است. از جمله این راه کارها می‌توان به استفاده از

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*) - نویسنده مسئول
(Email: afotovat@um.ac.ir)

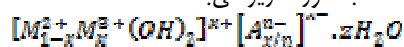
دارا است. اما توجه به این نکته حائز اهمیت است که از آنجایی که اطلاعات کافی در مورد پایداری LDHs در خاک وجود ندارد بنابراین بایستی کاتیون‌های سازنده این ترکیبات به نحوی انتخاب شوند که منجر به آلودگی خاک نشده و حتی از نظر تغذیه گیاه در خاک مورد مطالعه مفید باشند.

با توجه به مشکلات تامین فسفر در خاک و پتانسیل خوب ترکیبات LDHs در رهاسازی تدریجی عناصر موجود در ساختمان‌شان و همچنین با توجه به گزارشات بسیار کمی که در زمینه کاربرد این ترکیبات در محیط خاک و به‌خصوص درباره عنصر فسفر ارائه شده است، لذا انجام بررسی‌های آزمایشگاهی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف مطالعه حاضر مقایسه تاثیر ترکیب Zn-Al LDH و کود شیمیایی سوپرفسفات ساده بر فراهمی فسفر یک خاک آهکی در طول زمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور ساخت ترکیب Zn-Al LDH با آنیون بین‌لایه‌ای فسفات (P-LDH) ابتدا ترکیب Zn-Al LDH با آنیون بین‌لایه‌ای نیترات (N-LDH) با نسبت کاتیون دو به سه ظرفیتی ۲ به ۱ به‌روش هیدرولیز اوره^۴ (۲۶) تهیه گردید و سپس با استفاده از روش تبادل یونی^۵، آنیون نیترات موجود در N-LDH با آنیون فسفات جایگزین گردید تا بدین ترتیب ترکیب P-LDH ساخته شود. ساختن N-LDH به‌این صورت بود که پس از حل شدن نمک‌های نیترات روی (۰/۳۳۵ مولار) و نیترات آلومینیوم (۰/۱۶۵ مولار) در آب مقطر، به این محلول اوره با غلظت ۱/۶۵ مولار اضافه شد. محلول نهایی در دمای ۹۰ درجه سلسیوس و در شرایط هم زدن دائم به مدت ۴۸ ساعت نگهداری گردید. پس از سرد شدن محلول، رسوبات تشکیل شده برای خروج نمک‌های اضافی چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند و در نهایت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آن خشک گردیدند. لازم به ذکر است که تمام مراحل سنتز در شرایط محیط و بدون تاثیر گاز نیتروژن انجام شد. رسوبات خشک شده در هاون خرد شدند و برای به دست آوردن توزیع مشخصی از اندازه ذرات، ذرات عبور داده شده از الک مش ۵۰ در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. ساختار بلوری ترکیب ساخته شده با استفاده از دستگاه پراش نگار پرتو ایکس^۶ مدل Unisantix XMD 300, Switzerland و در ۲θ برابر ۴ تا ۷۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. پس از حصول اطمینان از ساخته شدن N-LDH، به‌منظور تبادل یون از اشباع سازی N-LDH با محلول پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات با

جانشینی هم‌شکل در این ورقه توسط کاتیون سه ظرفیتی انجام می‌شود. بار مثبت ایجاد شده با ورود آنیون بین‌لایه‌ای خنثی می‌گردد (۱۹). فرمول عمومی LDHs به‌صورت زیر می‌باشند:



در این فرمول، M^{2+} و M^{3+} بیانگر کاتیون‌های دو ظرفیتی (کلسیم، منیزیم، روی و غیره) و سه ظرفیتی (آهن، آلومینیوم و غیره) می‌باشند و A^{n-} آنیون بین‌لایه‌ای با n بار منفی است. x نیز عبارتست از نسبت $M^{3+}/(M^{2+}+M^{3+})$ بنابراین ترکیبات LDHs در نسبت‌های مختلفی از کاتیون‌های سه ظرفیتی به دو ظرفیتی تهیه می‌شوند. همچنین برخی از محققان از شاخص R برای توصیف LDHs استفاده می‌کنند. شاخص R عبارتست از نسبت کاتیون دو ظرفیتی به سه ظرفیتی ($R = M^{2+}/M^{3+}$) که به‌صورت یک عدد صحیح (مثل ۲ و ۳) بیان می‌شود (۱۳).

در چند سال اخیر توجه بیشتری به جنبه کاربردهای زیست‌محیطی این ترکیبات به‌ویژه رفع آلودگی در محیط‌های آبی شده است. به‌عنوان مثال می‌توان به کاربرد LDHs در جذب فسفات (۷ و ۱۲)، بورات (۲۷ و ۲۸)، کرومات (۳۴ و ۴۹) و آرسنات (۲۰) اشاره نمود، اما با این وجود به کاربردهای آن در بخش کشاورزی و به‌گونه‌ای خاص‌تر در خاک چندان پرداخته نشده است و در این زمینه تعداد مطالعات انجام شده محدود و اندک شمار می‌باشند. برونو و همکاران (۴ و ۵) امکان استفاده از LDH آلای دارای مولکول‌های بین‌لایه‌ای آفت‌کش (کاربامید^۱ و متامیترون^۲) و علف‌کش (تربوتایلزین^۳) مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد، استفاده از LDH منجر به افزایش کارایی این ترکیبات و ماندگاری بیشتر آن‌ها از طریق کنترل رهاسازی و جذب آن‌ها در خاک شده است. در چندین تحقیق نیز استفاده از LDHs به‌عنوان کود کندرهای نیتروژنی و یا به عنوان تبادل کننده آنیونی با هدف افزایش ظرفیت بافری نیترات و کاهش آبشویی نیترات مطرح شده است (۲۲، ۳۰ و ۴۶). وو و همکاران (۵۰) نشان دادند فسفات بین‌لایه‌ای موجود در ترکیب Ca-Fe-LDH در شرایط اسیدی، قادر است به آهستگی از ساختمان LDH خارج شود. این محققان پیشنهاد کردند ترکیب ذکر شده می‌تواند به‌عنوان کود کندرهای فسفاتی مناسب در خاک‌های اسیدی مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود تاکنون هیچ تحقیقی مبنی بر استفاده از LDHs حاوی فسفات بین‌لایه‌ای در خاک گزارش نشده و تحقیقات انجام شده مربوط به جذب فسفات توسط LDHs مختلف در محیط آبی (۷، ۸، ۹ و ۱۲) و یا رهاسازی فسفر جذب شده توسط LDH در محیط آبی است (۵۰)، در صورتی که به نظر می‌رسد این ترکیب قابلیت کاربرد به عنوان یک کود فسفره در محیط خاک را

4- Urea hydrolysis

5- Ion exchange

6- X-Ray Diffraction

1- Carbetamide

2- Metamitron

3- Terbutylazine

نتایج و بحث

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، الگوی پراش پرتو ایکس نمونه Zn-Al LDH دارای پیک‌های مشخصه LDH می‌باشد. این الگو شامل پیک‌های تیز و متقارن برای صفحات 003 و 006 و پیک‌های پهن و نامتقارن برای صفحات 015 و 018 می‌باشد (۱۶) که این از ویژگی‌های اصلی الگوی پراش پرتو ایکس کانی‌های رسی با ساختار لایه‌ای هستند. بنابراین، مشاهده این پیک‌ها در ترکیب ساخته شده حاکی از سنتز موفقیت آمیز ترکیب Zn-Al LDH می‌باشد. با استفاده از پیک 003، فاصله درمیان قاعده‌ای LDH^۲ ساخته شده برابر با ۸/۵۸ آنگستروم به‌دست آمد که این نتیجه با نتایج عنایت و همکاران (۲۶) بسیار نزدیک بود. همچنین شدت بالای پیک‌ها نشان‌دهنده درجه بلوری بالای ترکیب Zn-Al LDH می‌باشد.

نتایج حاصل از طیف‌سنجی مادون قرمز ترکیب P-LDH نیز تاییدکننده ساختار مناسب LDH بود (شکل ۲). نخستین باریکه جذبی^۳ در 3430 cm^{-1} مشاهده شد که مربوط به ارتعاشات کششی گروه‌های هیدروکسل ساختمانی و مولکول‌های آب بین‌لایه‌ای است. این باریکه جذبی به‌همراه باریکه‌های جذبی مشاهده شده در 331 cm^{-1} و 615 cm^{-1} که مربوط به پیوندهای فلز - اکسیژن - فلز می‌باشد (۵۱) برای شناسایی LDH مورد استفاده قرار می‌گیرد. دومین باریکه جذبی در 1646 cm^{-1} مربوط به پیوندهای مولکول آب می‌باشد (۲۵ و ۵۰). وجود پیک قوی و مشخص در 1027 cm^{-1} که با یک شانه در 1204 cm^{-1} همراه است مربوط به ارتعاش کششی پیوندهای فسفات است که نشان‌دهنده حضور آنیون فسفات در فضای بین‌لایه‌ای می‌باشد (۳۶). علاوه بر این پیک، باریکه جذبی 1382 cm^{-1} که مربوط به نیترات می‌باشد در طیف‌سنجی مادون قرمز مشاهده شد که حاکی از حضور مقادیری نیترات در فضای بین‌لایه‌ای می‌باشد و یا به بیان دیگر نشان‌دهنده آن است که بخشی از نیترات با آنیون فسفات جایگزین نگردیده است. اما با توجه به کوچک بودن شدت پیک مربوط به نیترات می‌توان نتیجه گرفت که بخش اعظم نیترات بین لایه‌ای با آنیون فسفات جایگزین شده است. همچنین بر اساس آنالیز شیمیایی ترکیب P-LDH، میزان فسفر کل موجود در این ترکیب ۹۰ میلی‌گرم بر گرم تعیین شد.

پس از حصول اطمینان از ساخته شدن P-LDH، بخش دیگر این مطالعه یعنی مقایسه فراهمی فسفر خاک با استفاده از ترکیب P-LDH و TSP انجام گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و متقابل تیمارهای منبع، سطح و زمان بر فسفر قابل دسترس دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). بنابراین به نظر می‌رسد که

غلظت ۰/۰۵ مولار در نسبت ۵ گرم بر لیتر و به مدت ۱۲ ساعت استفاده گردید. به جهت اطمینان از اشباع سازی کامل، این عمل ۳ بار تکرار شد. پس از آماده شدن P-LDH، این ترکیب توسط دستگاه طیف سنجی مادون قرمز^۱ مدل Thermo Nicolet AVATAR 370, U.S.A مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین برای تعیین مقدار فسفر کل در P-LDH، از هضم این ترکیب در اسید سولفوریک ۲ نرمال (۴۷) استفاده شد و قرائت غلظت فسفر توسط روش رنگ سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام گردید.

به‌منظور بررسی و مقایسه تأثیر P-LDH و سوپر فسفات تریپل (TSP) بر فراهمی فسفر خاک از یک آزمایش انکوباسیون در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل دربرگیرنده دو ترکیب حاوی فسفر (P-LDH و TSP)، چهار سطح فسفر (صفر (شاهد)، ۱۸ (معادل با توصیه کودی ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار)، ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم)، هشت زمان (۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ روز) و سه تکرار استفاده شد. مجموعاً تعداد نمونه‌ها در این آزمایش ۱۹۲ عدد بود. برای نمایش چهار سطح فسفر به‌ترتیب از علائم C1، C2 و C3 استفاده گردید.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد از عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری تهیه و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی این خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱). سپس تیمارهای P-LDH و TSP روی ۵۰ گرم خاک خشک انجام شد و نمونه‌های خاک تیمار شده درون ظروف پلاستیکی جای داده شدند. رطوبت خاک این نمونه‌ها به‌وسیله آب مقطر به حد ظرفیت زراعی رسانده شد. لازم به ذکر است که ظرفیت زراعی خاک مورد مطالعه با استفاده از روش صفحات فشاری (مکش ۰/۳۳ بار) تعیین شد. به‌منظور ثابت نگهداشتن اثر دما بر فرآیند آزمایش نمونه‌ها به درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. در طول دوره آزمایش رطوبت نمونه‌های خاک در محدوده ظرفیت زراعی به‌وسیله توزین نمونه‌ها حفظ گردید. در پایان هر دوره در نمونه‌های مربوط به آن زمان، فسفر قابل دسترس به روش بی‌کربنات سدیم (۴۲) عصاره‌گیری گردید و غلظت فسفر به روش رنگ سنجی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۴۰). همچنین غلظت روی عصاره‌گیری شده به روش DTPA-TEA (۳۵) توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. pH و EC نمونه‌ها در نسبت ۱:۲ خاک به آب اندازه‌گیری شد. برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel و MSTAT-C و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

2- Basal spacing
3- Absorption band

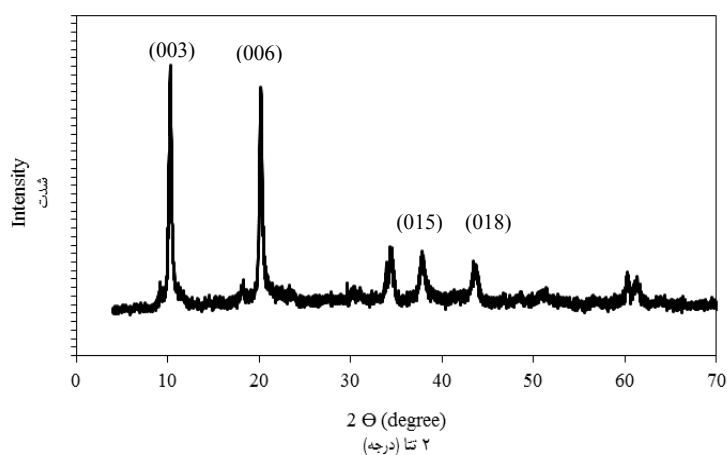
1- FT-IR spectrometer

تغییر منبع و سطح فسفر منجر به افزایش معنی‌دار فسفر قابل دسترس خاک در مقایسه با تیمار شاهد شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک مورد استفاده

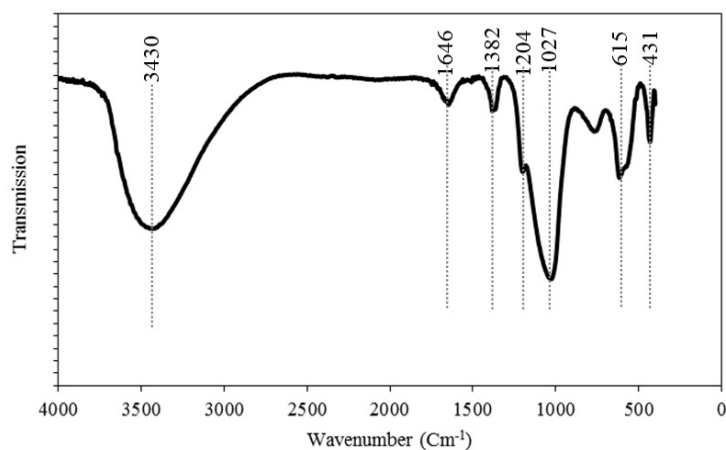
Table 1- Selected physicochemical properties of soil used

pH _(1:2)	EC _(1:2) (dS m ⁻¹)	ظرفیت زراعی Field capacity (%)	فسفر قابل دسترس Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	کربنات کلسیم معادل calcium carbonate equivalent (%)	کلاس بافتی Soil texture
7.98	0.43	15	9.87	11.62	Loam



شکل ۱- الگوی پراش نگار پرتو ایکس Zn-Al LDH

Figure 1- The XRD pattern of the Zn-Al LDH



شکل ۲- طیف FTIR در P-LDH

Figure 2- The FT-IR spectra of the P-LDH

فسفر آغاز شده که منجر به افزایش معنی‌دار فسفر قابل دسترس خاک در مقایسه با تیمار شاهد می‌گردد. اما با گذشت زمان میزان فسفر قابل دسترس در تیمارهای TSP به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد تا آنجایی که در زمان پایانی آزمایش میزان فسفر قابل

اما با این وجود نحوه تغییرات فسفر قابل دسترس در TSP و P-LDH در طی زمان کاملاً متفاوت بود. نتایج بررسی اثرات سه گانه منبع، سطح و زمان (جدول ۳) نشان داد که در تیمارهای مربوط به TSP در همان ابتدای آزمایش در اثر انحلال ذرات کود، رهاسازی

LDH مورد مطالعه آن‌ها می‌تواند به‌عنوان یک کود کندرهای فسفره در خاک مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه‌ای دیگر مشخص گردید که تحت تأثیر محلول یک مولار کلرید سدیم تنها ۱۲ درصد از فسفات جذب شده توسط ترکیب $Mg-Al$ LDH آزاد شده است که بیان‌گر رهاسازی کند فسفر از این ترکیب می‌باشد (۳۷). کوپلراج و همکاران (۲۹) پس از فسفره کردن ترکیب $Ni-Al-LDH$ از این ترکیب به عنوان منبع تامین کننده فسفر در رشد جلبک سبز *Ulva lactuca* استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مقادیر یکسان فسفر، میزان رشد این جلبک در فاضلاب، KH_2PO_4 و $Ni-Al-LDH$ به‌ترتیب ۸/۶، ۱۳/۵ و ۱۴/۳ درصد بود. این محققان دلیل بالا بودن میزان رشد در $Ni-Al-LDH$ را رهاسازی آهسته یا کنترل شده فسفر گزارش کردند. تحقیقات دیگری نیز وجود دارد که نشان می‌دهد سایر آنیون‌های بین‌لایه‌ای موجود در ترکیب LDH نیز دارای روند رهاسازی کندی می‌باشند. به‌عنوان مثال برونو و همکاران (۴ و ۵) امکان استفاده از LDH با آنیون بین‌لایه‌ای آلنی کاربامید و متامیترون (دو نوع آفت کش) و تربوتایلزین (نوعی علف‌کش) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد، استفاده از LDH منجر به افزایش کارایی این ترکیبات و ماندگاری بیشتر آن‌ها از طریق کنترل رهاسازی و جذب آن‌ها در خاک شده است.

علاوه بر فسفر قابل دسترس، پارامترهای pH، EC و روی قابل دسترس نیز در این تحقیق جهت آگاهی از تغییرات احتمالی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج مقایسه اثرات متقابل سه گانه تیمارهای منبع، سطح و زمان بر pH خاک در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کاربرد TSP و P-LDH منجر به تغییر چندانی در pH خاک در طی زمان آزمایش نشده است و بیش‌ترین تغییر در زمان ۱۵۰ روز در تیمارهای P-LDH-C3 و TSP-C3 رخ داد که منجر به کاهش حدوداً ۰/۳ واحد در pH خاک هر دو منبع گردیده است. با توجه به این‌که کود TSP دارای ماهیت اسیدی است بنابراین مشاهده کاهش pH در تیمارهای مربوط به این کود امری طبیعی بوده و این روند کاهشی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است به‌عنوان مثال در یک مطالعه حداکثر کاهش pH خاک در اثر اضافه نمودن ۸۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات در هر هکتار خاک در شرایط مزرعه و انکوباسیون به‌ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۲۵ واحد اعلام شد (۳۲). در تحقیقی دیگر میزان کاهش pH خاک ۰/۶ واحد گزارش شده است (۲). تفاوت در مقدار کاهش pH در مطالعات مختلف ممکن است به دلیل متفاوت بودن میزان کوددهی و همچنین تفاوت خاک‌ها از نظر اسیدیته و آهکی بودن باشد. همان‌طور که اشاره شد در تیمارهای مربوط به P-LDH نیز کاهش pH خاک مشاهده گردید. با توجه به حل‌پذیری بخشی از LDH کاهش pH می‌تواند به‌دلیل هیدرولیز آلومنیوم رها شده از ساختمان LDH در محلول خاک باشد. اگر چه این کاهش pH مشاهده شده در مقایسه با زمان‌های

دسترس در سطوح TSP-C1، TSP-C2 و TSP-C3 به‌ترتیب ۲۸/۳۰، ۳۱/۲۲ و ۳۴/۶۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. مشاهده روند کاهشی فراهمی فسفر در TSP با توجه به آهکی بودن خاک مورد مطالعه (جدول ۱) کاملاً قابل انتظار بود چرا که در خاک‌های آهکی با گذشت زمان تشکیل فسفات‌های کلسیم منجر به رسوب فسفر و کاهش فسفر محلول خاک می‌گردد (۲۳). تحقیقات فولکی (۱۸) نشان داد که در خاک‌های آهکی، یک هفته پس از کوددهی تنها ۶۰-۷۰ درصد فسفر خاک توسط عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم قابل استخراج است و مابقی فسفر خاک به شکل‌های غیر قابل استخراج با این عصاره‌گیر تبدیل می‌گردد. کاهش فراهمی فسفر خاک در طی زمان در چندین مطالعه دیگر نیز گزارش گردیده است (۱۴ و ۴۳). با اعمال P-LDH به خاک نیز در همان نخستین زمان آزمایش، میزان فسفر قابل دسترس همه سطوح آزمایشی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد اما این مقدار فسفر در مقایسه با زمان‌های هم‌ارز در TSP به‌طور معنی‌داری کمتر بود. به بیان دیگر رهاسازی فسفر از ترکیب P-LDH در مقایسه با TSP در ابتدای آزمایش کمتر بود اما با گذشت زمان به‌دلیل افزایش رهاسازی فسفر از P-LDH و از طرف دیگر کاهش فسفر قابل دسترس در TSP، میزان فسفر قابل دسترس در زمان ۱۵۰ روز P-LDH به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. در تیمار P-LDH-C1 از زمان ۲۰ روز به بعد دیگر تفاوت معنی‌داری میان این تیمار با زمان نخست در تیمار TSP-C1 که دارای بالاترین رهاسازی فسفر در این تیمار بود مشاهده نشد. اما میزان فسفر قابل دسترس در تیمارهای P-LDH-C2 و P-LDH-C3 تا پایان ۱۵۰ روز نیز نتوانست به‌ترتیب معادل با زمان‌های نخست TSP-C2 و TSP-C3 گردد و تفاوت میان این دو از نظر آماری معنی‌داری بود. با این وجود در تیمار P-LDH-C2 میزان فسفر قابل دسترس در زمان ۲۰ روز به بعد نتوانست با زمان ۱۰ روز TSP-C2 و در تیمار P-LDH-C3 میزان فسفر قابل دسترس در زمان ۴۰ روز به بعد با زمان ۲۰ روز TSP-C3 معادل گردد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که رهاسازی آهسته فسفر از ترکیب P-LDH منجر می‌شود در ابتدای آزمایش میزان فسفر قابل دسترس P-LDH به‌طور معنی‌داری کمتر از TSP باشد اما با توجه به آهکی بودن خاک مورد مطالعه رهاسازی کند همچنین موجب کاهش تثبیت سریع و غیر قابل استفاده شدن فسفر فراهم خاک می‌گردد و به‌همین دلیل افزایش معنی‌داری در فسفر قابل دسترس ترکیب P-LDH در مقایسه با TSP در زمان‌های طولانی‌تر رخ داده است.

روند رهاسازی کند ترکیبات LDH در محیط آبی در چندین مطالعه گزارش گردیده است. وو و همکاران (۵۰) با بررسی رهاسازی فسفر از ترکیب $Ca-Fe$ LDH در شرایط اسیدی نشان دادند که رهاسازی فسفر در ابتدا سریع انجام شد و سپس تا پایان زمان آزمایش با سرعت یکنواخت ادامه پیدا کرد. این محققان پیشنهاد نمودند که

کننده این خاک‌ها، ممکن است در زمان‌های طولانی‌تر این کاهش pH جبران شود.

اولیه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است اما ۰/۳ واحد کاهش pH عملاً منجر به تغییرات خاصی در ویژگی‌های خاک نمی‌شود. ضمن این‌که به دلیل آهکی بودن خاک و ویژگی‌های بافر

جدول ۲- تجزیه واریانس فسفر قابل دسترس، pH، EC و روی قابل دسترس
Table 2- Analysis of variance for available phosphorus, pH, EC and available zinc

منابع تغییر Sources	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square			
		فسفر قابل دسترس Available phosphorus	pH	EC	روی قابل دسترس Available zinc
منبع Source	1	162.25**	0.005	0.004	70924.87**
سطح Level	3	12928.07**	0.09**	0.07**	15473.99**
منبع×سطح Source×Level	3	99.74**	0.01	0.003	15622.59**
زمان Time	7	39.99**	0.23**	0.12**	133.52**
منبع×زمان Source×Time	7	122.33**	0.01*	0.004	133.97**
سطح×زمان Level×Time	21	18.19**	0.03**	0.003	44.76**
منبع×سطح×زمان Source×Level×Time	21	22.61**	0.01*	0.001	44.21**
خطا Error	128	2.63	0.004	0.002	11.79
ضریب تغییرات (%) Coefficient of Variation		6.45	0.78	7.72	17.43

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

تجزیه مواد آلی موجود در خاک توسط میکروارگانیزم‌ها در طی زمان انکوباسیون باشد. علاوه بر این، میکروارگانیزم‌های خاک با ترشح اسیدهای آلی قادر به افزایش حلالیت کانی‌های موجود در خاک می‌باشند (۱۷) که این امر نیز می‌تواند منجر به حل شدن کربنات‌ها و ورود کاتیون‌ها و یا آنیون‌ها به محلول خاک و در نهایت افزایش EC خاک گردد. نتایج مطالعه مولر و همکاران (۳۹) نشان داد که قابلیت هدایت الکتریکی خاک دارای هم‌بستگی مثبتی با رطوبت خاک و کاتیون‌های کلسیم و منیزیم است. همچنین کوربین و لسچ (۱۰) بیان کردند که یون‌های کلسیم و کربنات از جمله یون‌های موثر در شوری خاک محسوب می‌شوند. اما از طرف دیگر در تیمارهای TSP- و P-LDH (به‌خصوص در زمان‌های پایانی) EC خاک به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر از نمونه شاهد بود که این امر گواه تأثیر TSP و P-LDH بر EC خاک می‌باشد. به بیان بهتر در تیمارهای TSP و P-LDH علاوه بر دلایل ذکر شده، انحلال بخشی از ترکیبات TSP و P-LDH نیز رخ داده است و همین امر موجب افزایش بیشتر EC خاک در این

پارامتر دیگری که مورد مطالعه قرار گرفت تغییرات احتمالی EC خاک می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود با افزایش زمان EC خاک در تمام تیمارهای آزمایشی افزایش یافته است. میزان افزایش EC در زمان ۱۵۰ روز در مقایسه با زمان نخست در هر یک از تیمارهای شاهد، TSP-C1، TSP-C2 و TSP-C3 به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۲۰، ۰/۲۷ و ۰/۲۴ واحد و در تیمارهای P-LDH-C1، P-LDH- و P-LDH-C3 به‌ترتیب ۰/۲۰، ۰/۲۳ و ۰/۲۴ واحد بود. با توجه به این‌که این روند افزایشی در تیمار شاهد هم مشاهده شده است لذا احتمالاً بخشی از افزایش EC به‌دلیل حل شدن برخی از ترکیبات محلول و یا نسبتاً محلول موجود در خاک در طی زمان انکوباسیون و مرطوب نگه‌داشتن خاک بوده است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده تغییر وضعیت رطوبتی خاک می‌تواند بر روی جمعیت میکروبی خاک (۱۵) و تجزیه مواد آلی خاک (۴۱) اثرگذار باشد. از طرف دیگر تحقیقات انجام شده حاکی از هم‌بستگی مثبت میان ماده آلی و EC خاک می‌باشد (۲۱). بنابراین ممکن است یکی از دلایل افزایش EC

نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد گردیده است. نتایج تحقیقی که به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد چندین کود فسفره از جمله TSP بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک انجام شد، نشان داد که در طی ۱۰۵ روز انکوباسیون میزان هدایت الکتریکی خاک حدود ۸ درصد افزایش یافته است (۳).

جدول ۳- اثر تیمارهای منبع، سطح و زمان بر فسفر قابل دسترس خاک (mg kg^{-1})

Table 3- Effect of source, level and time treatments on available phosphorus (mg kg^{-1})

منبع فسفر Source of phosphorus	سطح فسفر Level of phosphorus	زمان خوابانیدن (روز) Incubation time (day)							
		1	5	10	20	40	70	100	150
TSP	C0	9.9 ^v	9.6 ^v	9.7 ^v	9.1 ^v	8.6 ^v	9.5 ^v	9.9 ^v	9.6 ^v
	C1	19.1 ^o	18.7 ^{op}	17.6 ^{opqr}	16.7 ^{opqrst}	15.8 ^{pqrstu}	14.9 ^{rstu}	14.5 ^{stu}	13.7 ^u
	C2	34.3 ^h	33.4 ^h	29.7 ⁱ	29.4 ^{ij}	26.6 ^{ijklmn}	24.5 ^{mn}	24.9 ^{lmn}	23.6 ⁿ
	C3	64.4 ^a	59.9 ^b	52.6 ^c	47.1 ^d	45.9 ^{de}	44.7 ^{def}	44.0 ^{efg}	42.1 ^{fg}
P-LDH	C0	9.9 ^v	9.6 ^v	9.7 ^v	9.1 ^v	8.6 ^v	9.5 ^v	9.9 ^v	9.6 ^v
	C1	14.0 ^{tu}	13.7 ^u	15.5 ^{qrst}	17.0 ^{opqrs}	17.5 ^{opqrs}	18.0 ^{opq}	18.0 ^{opq}	18.0 ^{opq}
	C2	25.1 ^{lmn}	25.7 ^{klmn}	26.1 ^{klmn}	27.7 ^{ijkl}	27.1 ^{ijklm}	27.4 ^{ijklm}	27.8 ^{ijkl}	28.2 ^{ijk}
	C3	41.6 ^g	44.4 ^{defg}	43.2 ^{efg}	41.5 ^g	45.4 ^{de}	45.3 ^{de}	45.1 ^{def}	46.0 ^{de}

میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند. C0, C1, C2 و C3 به‌ترتیب سطوح فسفر شاهد، ۱۸، ۴۵ و ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$). C0, C1, C2 and C3 are control, 18, 45 and 90 mg P kg^{-1} , respectively.

جدول ۴- اثر تیمارهای منبع، سطح و زمان بر pH خاک

Table 4- Effect of source, level and time treatments on soil pH

منبع فسفر Source of phosphorus	سطح فسفر Level of phosphorus	زمان خوابانیدن (روز) Incubation time (day)							
		1	5	10	20	40	70	100	150
TSP	C0	8.00 ^{delg}	8.03 ^{cdef}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.03 ^{cdef}
	C1	8.03 ^{cdef}	8.00 ^{delg}	8.17 ^{ab}	8.03 ^{cdef}	8.13 ^{abc}	8.10 ^{abcd}	7.83 ^{hij}	7.80 ^{ijk}
	C2	7.93 ^{fgh}	8.07 ^{bcde}	8.10 ^{abcd}	7.97 ^{efg}	8.10 ^{abcd}	8.07 ^{bcde}	7.80 ^{ijk}	7.80 ^{ijk}
	C3	7.90 ^{ghi}	8.00 ^{delg}	8.03 ^{cdef}	7.97 ^{efg}	8.07 ^{bcde}	8.00 ^{delg}	7.77 ^{jkl}	7.73 ^{jkl}
P-LDH	C0	8.00 ^{delg}	8.03 ^{cdef}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	8.03 ^{cdef}
	C1	8.00 ^{delg}	8.10 ^{abcd}	8.10 ^{abcd}	8.10 ^{abcd}	8.20 ^a	7.93 ^{fgh}	7.83 ^{hij}	7.80 ^{ijk}
	C2	8.00 ^{delg}	8.03 ^{cdef}	8.07 ^{bcde}	8.13 ^{abc}	8.07 ^{bcde}	8.07 ^{bcde}	7.90 ^{ghi}	7.83 ^{hij}
	C3	8.03 ^{cdef}	8.03 ^{cdef}	8.07 ^{bcde}	8.10 ^{abcd}	8.03 ^{cdef}	8.03 ^{cdef}	7.70 ^{kl}	7.67 ^l

میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند. C0, C1, C2 و C3 به‌ترتیب سطوح فسفر شاهد، ۱۸، ۴۵ و ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$). C0, C1, C2 and C3 are control, 18, 45 and 90 mg P kg^{-1} , respectively.

جدول ۵- اثر تیمارهای منبع، سطح و زمان بر EC خاک (dS m^{-1})

Table 5- Effect of source, level and time treatments on soil EC (dS m^{-1})

منبع فسفر Source of phosphorus	سطح فسفر Level of phosphorus	زمان خوابانیدن (روز) Incubation time (day)							
		1	5	10	20	40	70	100	150
TSP	C0	0.40 ^g	0.47 ^{efg}	0.47 ^{efg}	0.47 ^{efg}	0.53 ^{cde}	0.50 ^{def}	0.53 ^{cde}	0.57 ^{bcd}
	C1	0.40 ^g	0.50 ^{def}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}
	C2	0.40 ^g	0.50 ^{def}	0.57 ^{bcd}	0.57 ^{bcd}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.63 ^{ab}	0.67 ^a
	C3	0.43 ^{fg}	0.50 ^{def}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.67 ^a
P-LDH	C0	0.40 ^g	0.47 ^{efg}	0.47 ^{efg}	0.47 ^{efg}	0.53 ^{cde}	0.50 ^{def}	0.53 ^{cde}	0.57 ^{bcd}
	C1	0.40 ^g	0.43 ^{fg}	0.50 ^{def}	0.53 ^{cde}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}	0.60 ^{abc}
	C2	0.40 ^g	0.50 ^{def}	0.53 ^{cde}	0.57 ^{bcd}	0.63 ^{ab}	0.63 ^{ab}	0.63 ^{ab}	0.63 ^{ab}
	C3	0.43 ^{fg}	0.53 ^{cde}	0.53 ^{cde}	0.53 ^{cde}	0.63 ^{ab}	0.63 ^{ab}	0.60 ^{abc}	0.67 ^a

میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند. C0, C1, C2 و C3 به‌ترتیب سطوح فسفر شاهد، ۱۸، ۴۵ و ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$). C0, C1, C2 and C3 are control, 18, 45 and 90 mg P kg^{-1} , respectively.

جدول ۶- اثر تیمارهای منبع، سطح و زمان بر روی قابل دسترس خاک (mg kg^{-1})Table 6- Effect of source, level and time treatments on available zinc (mg kg^{-1})

منبع فسفر Source of phosphorus	سطح فسفر Level of phosphorus	زمان خواباندن (روز) Incubation time (day)						
		1	5	10	20	40	70	100
TSP	C0	0.6 ^k	0.6 ^k	0.5 ^k	0.6 ^k	0.6 ^k	0.6 ^k	0.6 ^k
	C1	0.6 ^k	0.4 ^k	0.4 ^k	0.5 ^k	0.4 ^k	0.5 ^k	0.5 ^k
	C2	0.5 ^k	0.5 ^k	0.4 ^k	0.5 ^k	0.5 ^k	0.4 ^k	0.4 ^k
	C3	0.5 ^k	0.4 ^k	0.4 ^k	0.4 ^k	0.4 ^k	0.3 ^k	0.4 ^k
P-LDH	C0	0.6 ^k	0.6 ^k	0.5 ^k	0.6 ^k	0.6 ^k	0.6 ^k	0.6 ^k
	C1	28.7 ^h	29.8 ^h	25.8 ^{hi}	20.8 ^{ij}	16.4 ^j	16.1 ^j	17.3 ^j
	C2	52.5 ^f	60.3 ^e	58.8 ^e	49.9 ^f	51.1 ^f	44.2 ^g	42.7 ^g
	C3	73.3 ^d	85.0 ^b	105.4 ^a	83.7 ^{bc}	85.9 ^b	78.3 ^{cd}	77.2 ^d

میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند. C0، C1، C2 و C3 به ترتیب سطوح فسفر شاهد، ۱۸، ۴۵ و ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$). C0, C1, C2 and C3 are control, 18, 45 and 90 mg P kg^{-1} , respectively.

کردند در صورتی که کود فسفره منجر به کاهش pH خاک گردد، ممکن است میان یون‌های پروتون ایجاد شده در اثر کاهش pH و کاتیون روی برای جذب سطحی در سطوح کلئید خاک رقابت ایجاد شود که این امر نیز ممکن است در کاهش فراهمی روی با کاربرد کود فسفره اثرگذار باشد. بنابراین نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن بود که ترکیب P-LDH می‌تواند به عنوان یک کود دو منظوره علاوه بر فسفر در تامین روی قابل دسترس خاک نیز اثرگذار باشد که این امر به ویژه در خاک‌های آهکی که عمدتاً با مشکل کمبود روی مواجه هستند بسیار حائز اهمیت است. نکته مهم دیگر این که سطح معادل با توصیه کودی فسفر (P-LDH-C1) به خوبی قادر به تامین فسفر و روی قابل دسترس خاک بود و سطوح بالاتر نه تنها در مورد ترکیب P-LDH بلکه در مورد کودهای فسفر هم چندان قابل توصیه نیست و استفاده از آن‌ها در این تحقیق تنها به دلیل عدم اطلاع از رفتار ترکیب P-LDH در مقادیر متفاوت بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود آهکی بودن خاک مورد مطالعه، ترکیب P-LDH در طی ۱۵۰ روز انکوباسیون توانست غلظت تقریباً ثابتی از فسفر قابل دسترس در خاک تامین نماید در صورتی که در تیمارهای TSP گذشت زمان منجر به کاهش معنی‌دار غلظت فسفر قابل دسترس گردید. این امر گواه رهاسازی آهسته فسفر از ساختمان P-LDH می‌باشد. همچنین کاربرد P-LDH منجر به ایجاد تفاوت معنی‌داری در مقادیر pH و EC در مقایسه با کود TSP نشد. علاوه بر این با توجه به این که کاتیون دو ظرفیتی به کار رفته در ساختمان LDH مورد مطالعه کاتیون روی بود لذا در اثر حل شدن P-LDH در خاک، کاتیون روی هم هم‌زمان با آنیون فسفر وارد محلول خاک گردید و موجب افزایش روی قابل دسترس خاک شد. اما با این

دیگر پارامتر مورد مطالعه در این تحقیق میزان روی قابل دسترس خاک در اثر استفاده از TSP و P-LDH بود که روند تغییرات آن در جدول ۶ نمایش داده شده است. کاربرد TSP در طی ۱۵۰ روز منجر به تغییرات معنی‌داری در روی قابل دسترس خاک در مقایسه با تیمار شاهد نشد اما در تمام زمان‌های مربوط به تیمارهای P-LDH، روی قابل دسترس خاک به صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر میزان فراهمی روی به صورت معنی‌داری افزایش نشان داد و به این ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین افزایش در طول دوره انکوباسیون به ترتیب در سطوح P-LDH-C1 و P-LDH-C3 مشاهده گردید. اگر چه در مجموع کاربرد P-LDH منجر به افزایش معنی‌دار روی قابل دسترس در مقایسه با تیمار شاهد شده است اما همان گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در هر یک از سطوح P-LDH، با افزایش زمان ابتدا فراهمی روی افزایش یافت اما در ادامه آزمایش روند فراهمی روی کاهشی گردید به طوری که میزان روی قابل دسترس در سطوح P-LDH-C1 و LDH-C2 در زمان ۱۵۰ روز با زمان ۱ روز هر یک از این تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار شد. به طور کلی کاهش میزان روی قابل دسترس در خاک به دو دلیل ممکن است صورت گرفته باشد: ۱- در خاک‌های آهکی وجود مقادیر قابل توجهی از آهک از یک طرف با تشکیل رسوباتی مانند هیدروکسید و هیدروکسیل کربنات روی منجر به کاهش فراهمی روی در خاک می‌شود و از طرف دیگر یون کلسیم موجود در آهک سبب ایجاد رقابت میان یون‌های کلسیم و روی در جذب شدن در مکان‌های جذب موجود در آلومینوسیلیکات‌ها می‌گردد و به این ترتیب مانع از جذب روی و فراهم شدن شرایط لازم برای رسوب کاتیون روی می‌گردد (۴۸)، ۲- بر اساس مطالعات انجام شده کاربرد کودهای فسفره نیز به دلیل تشکیل کمپلکس‌های روی-فسفات منجر به کاهش روی قابل دسترس خاک می‌گردد (۲، ۲۴). همچنین ونگ و هارل (۴۸) گزارش

که P-LDH می‌تواند به‌عنوان یک کود کندرهای فسفره سبب افزایش کارایی فسفر گردد اما با این وجود اثرات باقی‌مانده این ترکیب در زمان‌های طولانی نیازمند مطالعات بیش‌تر و دقیق‌تری می‌باشد.

وجود نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه سطوح مورد استفاده برای P-LDH موجب تامین مقادیر بالاتر فسفر در مقایسه با کود TSP در طی زمان می‌شود اما ممکن است منجر به افزایش روی قابل دسترس در حد سمیت نیز گردد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آن بود

منابع

- 1- Afif E., Matar A., and Torrent J. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Science Society of America Journal*, 57:756-760.
- 2- Biling W., Zhengmiao X., Jianjun C., Juntao J., and Qiufeng S. 2008. Effects of field application of phosphate fertilizers on the availability and uptake of lead, zinc and cadmium by cabbage (*Brassica chinensis L.*) in a mining taing contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 20:1109-1117.
- 3- Boukhalfa-Deraoui N., Hanifi-Mekliche L., and Mihoub A. 2015. Effect of incubation period of phosphorus fertilizer on some properties of sandy soil with low calcareous content, southern Algeria. *Asian Journal of Agricultural Research*, 9:123-131.
- 4- Bruna F., Pavlovic I., Barriga C., Cornejo J., and Ulibarri M.A. 2006. Adsorption of pesticides Carbetamide and Metamitron on organohydrotalcite. *Applied Clay Science*, 33:116-124.
- 5- Bruna F., Pavlovic I., Barriga C., Cornejo J., and Ulibarri, M.A. 2008. Organohydrotalcites as novel supports for the slow release of the herbicide terbuthylazine. *Applied Clay Science*, 42:194-200.
- 6- Castro B., and Torrent J. 1995. Phosphate availability in calcareous Vertisols and Inceptisols in relation to fertilizer type and soil properties. *Fertilizer Research Journal*, 40:109-119.
- 7- Cheng X., Huang X., Wang X., and Sun D. 2010. Influence of calcination on the adsorptive removal of phosphate by Zn-Al layered double hydroxides from excess sludge liquor. *Journal of Hazardous Materials*, 177:516-523.
- 8- Cheng X., Wang Y., Sun Z., Sun D., and Wang A. 2013. Pathways of phosphate uptake from aqueous solution by ZnAl layered double hydroxides. *Water science and technology*, 67.8:1757-1763.
- 9- Chitrakar R., Tezuka S., Sonoda A., Sakane K., Ooi K., and Hirotsu T. 2005. Adsorption of phosphate from seawater on calcined MgMn-layered double hydroxides. *Journal of Colloid and Interface Science*, 290:45-51.
- 10- Corwin D.L., and Lesch S.M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46:11-43.
- 11- Damodar Reddy, D., Subba Rao, A., Sammi Reddy, K., and Takkar, P.N. 1999. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. *Field Crops Research*, 62:181-190.
- 12- Das J., Patra B.S., Baliarsingh N., and Parida K.M. 2006. Adsorption of phosphate by layered double hydroxides in aqueous solutions. *Applied Clay Science*, 32:252-260.
- 13- De Roy A. 1998. Lamellar double hydroxides. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 311:173-193.
- 14- Dodd R.J., McDowell R.W., and Condron L.M. 2013. Changes in soil phosphorus availability and potential phosphorus loss following cessation of phosphorus fertiliser inputs. *Soil Research*, 51:427-436.
- 15- Entry J.A., Hubbard R.K., Thies J.E., and Fuhrmann J.J. 2000. The Influence of Vegetation in Riparian Filterstrips on Coliform Bacteria: II. Survival in Soils. Reprinted from the *Journal of Environmental Quality*, 29: 1215-1224.
- 16- Forano C., Hibino T., Leroux F., and Taviot-Gueho C. 2006. Layered double hydroxides. p. 1021-1095 In: F. Bergaya, B.K.G. Theng, G. Lagaly (eds). *Handbook of clay science*. Elsevier Ltd.
- 17- Frey B., Rieder S.R., Brunner I., Plotze M., Koetzsche S., Lapanje A., Brandl H., and Furrer G. 2010. Weathering-associated bacteria from the Damma glacier forefield: physiological capabilities and impact on granite dissolution. *Applied and environmental microbiology*, 76: 4788-4796.
- 18- Fülekgy Gy. 1978. Available phosphorus content of soil affected by P fertilization and its change in time. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 9:851-863.
- 19- Goh K.-H., Lim T.T., and Dong Z. 2008. Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: A review. *Water Research*, 42: 1343-1368.
- 20- Grover K., Komarneni S., and Katsuki H. 2010. Synthetic hydrotalcite-type and hydrocalumite-type layered double hydroxides for arsenate uptake. *Applied Clay Science*, 48:631-637.
- 21- Gulser C., Demir Z., and Ic S. 2010. Changes in some soil properties at different incubation periods after tobacco waste application. *Journal of Environmental Biology*, 31: 671-674.
- 22- Halajnia A., Oustan S., Najafi N., Khataee A.R., and Lakzian A., 2013. Adsorption-desorption characteristics of nitrate, phosphate and sulfate on Mg-Al layered double hydroxide. *Applied Clay Science*, 80-81:305-312.
- 23- Halford, I.C.R., and Patrick J.R. 1979. Effect of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil. *Soil Science Society of American Journal*, 43:292-297.
- 24- Hettiarachchi G.M., and Pierzynski G.M. 2002. In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese

- oxide: influence of plant growth. *Journal of Environmental Quality*, 31:564-572.
- 25- Hosni K., and Srasra E. 2010. Evaluation of Phosphate Removal from water by calcined-LDH synthesized from the dolomite. *Colloid Journal*, 72:423-431.
- 26- Inayat A., Klumpp M., and Schwieger W. 2011. The urea method for the direct synthesis of ZnAl layered double hydroxides with nitrate as the interlayer anion. *Applied Clay Science* 51:452-459.
- 27- Isaacs-Paez E.D., Leyva-Ramos R., Jacobo-Azuara A., Martinez-Rosales J.M., and Flores-Cano J.V., 2014. Adsorption of boron on calcined AlMg layered double hydroxide from aqueous solutions: Mechanism and effect of operating conditions. *Chemical Engineering Journal*, 245:248-257.
- 28- Koilraj P., and Srinivasan K., 2011. High sorptive removal of borate from aqueous solution using calcined ZnAl layered double hydroxides. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50:6943-6951.
- 29- Koilraj P., Antonyraj C.A., Gupta V., Reddy C.R.K., and Kannan S. 2013. Novel approach for selective phosphate removal using colloidal layered double hydroxide nanosheets and use of residue as fertilizer. *Applied Clay Science* 86:111-118.
- 30- Komarneni S., Newalkar B.L., Li D., Gheyi T., Lopano C.L., Heaney P.J., and Post J.E. 2003. Anionic clays as potential slow-release fertilizers: Nitrate ion exchange. *Journal of Porous Materials*, 10:243-248.
- 31- Laboski C.A.M., and Lamb J.A. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 67:544-554.
- 32- Lambert R., Grant C., and Sauvé S. 2007. Cadmium and zinc in soil solution extracts following the application of phosphate fertilizers. *Science of the Total Environment*, 378:293-305.
- 33- Lewis D.C., Sale P.W.G., and Johnson D. 1997. Agronomic effectiveness of a partially acidulated reactive phosphate rock fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 37:985-993.
- 34- Li Y., Gao B., Wu T., Sun D., Li X., Wang B., and Lu F. 2009. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by adsorption on aluminum magnesium mixed hydroxide. *Water Research*, 43:3067-3075.
- 35- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421-428.
- 36- Long F., Guang J., Zeng G., Chen L., Wang X., Deng J., Niu Q., Zhang H., and Zhang X. 2011. Removal of phosphate from aqueous solution by magnetic Fe-Zr binary oxide. *Chemical Engineering Journal*, 171:448-455.
- 37- Lv L., Sun P., Wang Y., Du H., and Gu T. 2008. Phosphate removal and recovery with calcined layered double hydroxides as an adsorbent. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 183: 519-526.
- 38- Mirseyed Hosseini H., Khayami S., Besharati H., and Bybordi S. 2010. Study of the effects of rock phosphate application with phosphate solubilizing bacteria on P availability for corn. p. 261-263. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 Aug. 2010, Brisbane, Australia.
- 39- Mueller T.G., Hartsock N.J., Stombaugh T.S., Shearer S.A., Cornelius P.L., and Barnhisel and R.I. 2003. Soil electrical conductivity map variability in limestone soils overlain by loess. *Agronomy Journal*, 95:496-507.
- 40- Murphy J., and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27:31-36.
- 41- Neher D.A., Barbercheck M.E., El-Allaf S.M., and Anas O. 2003. Effects of disturbance and ecosystem on decomposition. *Applied Soil Ecology* 23: 165-179.
- 42- Olsen S.R., Cloe V., Watnebe F.S., and Pean L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA, 939 USA.
- 43- Samadi A., and Gilkes R. J. 1999. Phosphorus Transformations and their relationships with calcareous soil properties of south Western Australia. *Soil Science Society of America Journal*, 63:809-815.
- 44- Schachtman D.P., Reid R.J., and Ayling S.M. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology*, 116:447-453.
- 45- Toor G.S., and Bahl G.S. 1997. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. *Bioresource Technology*, 62:25-28.
- 46- Torres-Dorante L.O., Lammel J., Kuhlmann H., Witzke T., and Olfs H.-W. 2008. Capacity, selectivity, and reversibility for nitrate exchange of a layered double-hydroxide (LDH) mineral in simulated soil solutions and in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171:777-784.
- 47- Walker, T.W., and Adams, A.F.R., 1958. Ignition method. In: Klute, A. (Ed), *Methods of Soil Analysis: Physical Properties*, Part 1, second ed. Agron Monogr, No 9. Madison WI: ASA and SSSA., pp. 403-430.
- 48- Wang J., and Harrell D.L. 2005. Effect of ammonium, potassium, and sodium cations and phosphate, nitrate, and chloride anions on zinc sorption and lability in selected acid and calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1036-1046.
- 49- Wang W., Zhou J., Achari G., Yu J., and Cai W. 2014. Cr(VI) removal from aqueous solutions by hydrothermal synthetic layered double hydroxides: Adsorption performance, coexisting anions and regeneration studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 457:33-40.
- 50- Woo M.A., Kim T.W., Paek M., Ha H., Choy J., and Hwang S. 2011. Phosphate-intercalated Ca-Fe-layered double hydroxides: Crystal structure, bonding character, and release kinetics of phosphate. *Journal of Solid State*

Chemistry, 184:171-176.

- 51- Yu Q., Zheng Y., Wang Y., Shen L., Wang H., Zheng Y., He N., and Li Q. 2015. Highly selective adsorption of phosphate by pyromellitic acid intercalated ZnAl-LDHs: Assembling hydrogen bond acceptor sites. Chemical Engineering Journal, 260:809-817. 45.



The Effect of Layered Double Hydroxide with Phosphate as the Interlayer Anion on the Availability of Phosphorus in a Calcareous Soil

H. Hatami¹ - A. Fotovat^{2*} - A. Halajnia³

Received: 08-01-2017

Accepted: 12-07-2017

Introduction: After nitrogen, phosphorus is the second most frequently limiting macronutrient for plant growth. It participates in metabolic processes such as photosynthesis, energy transfer and synthesis and breakdown of carbohydrates. H_2PO_4^- and HPO_4^{2-} are two forms of this element which are present in the soil solution in the available form. Due to phosphorus reactions with soil components (oxy or hydroxides of Fe and Al in acidic soils and Ca^{2+} and Mg^{2+} ions in calcareous soils), the availability of this element is a limiting factor for production of agricultural crops in the whole world. To minimize this problem it is needed to improve the recycling of phosphorus and develop new technologies to reduce phosphorus losses and increase its effectiveness. In the recent decades, layered double hydroxides (LDH) have been extremely used as an effective sorbent for organic and inorganic anions such as phosphate. Furthermore, some studies have suggested that the phosphate form LDH is applicable as a slow release phosphate fertilizer. Therefore, the objective of the present study was to compare the effect of using Zn-Al LDH and triple superphosphate (TSP) as fertilizers on the availability of phosphorus over time in a calcareous soil.

Materials and Methods: At the first, nitrate containing Zn-Al LDH (N-LDH) was synthesized by urea hydrolysis method and then ion exchange method was used for the phosphate anions intercalation into N-LDH. In this process, 5.0 g of the N-LDH was suspended in 1000 mL of a solution 0.05 mol/L of K_2HPO_4 . The suspension was kept for 12 h at room temperature (25 °C) under stirring. Afterwards, the material was filtered, washed with distilled water and dried at 70 °C for 18 h. The LDH sample produced by the ion exchange method was nominated as P-LDH. To compare the effects of P-LDH and TSP application on the availability of soil phosphorus, an incubation experiment was carried out using a completely randomized factorial design with two sources of phosphorus (P-LDH and TSP), four levels of phosphorus (0 (control), 18, 45 and 90 mg P kg⁻¹), eight levels of time (1, 5, 10, 20, 40, 70, 100 and 150 days) and three replications. Available phosphorus and zinc, pH and EC of samples were measured at the end of each time period. Available phosphorus was extracted with 0.5 M sodium bicarbonate and phosphorus concentration was determined using the ascorbic acid method. Available zinc content was determined by atomic absorption spectrometry following extraction of the sample by DTPA-TEA method. Also, pH and EC were measured in water (soil/water ratio 1:2). Data analysis was performed by MSTAT-C software, and the means were compared at $\alpha=5\%$ by Duncan test.

Results and Discussion: The results showed that the use of P-LDH and TSP significantly improved available phosphorus compared to control treatment. However, in contrast to TSP, available phosphorus in P-LDH treatments increased with increasing of time, up to significant difference which was observed between the two sources after 150 days. This result is probably due to slow release of phosphorus from P-LDH and reduction of phosphorus reactions with different soil components. Moreover, available zinc was higher for P-LDH treatments than TSP treatments as dissolution of P-LDH may concurrently release zinc ions into the soil solution. It seems that the application of P-LDH not only increased the availability of phosphorus but also improved available zinc. Therefore, due to the zinc deficiency in calcareous soils, P-LDH can be used as a suitable dual purpose fertilizer for these soils. However, the possibility of Zn toxicity risk due to higher level of LDH application in soil is not ruled out. It is worth mentioning that the variation of pH and EC values in P-LDH treatments showed no significant difference compared to TSP treatments. In other words, application of P-LDH increased soil available phosphorus and zinc without any negative effect on soil pH and EC.

Conclusions: The results of this study illustrated that the P-LDH probably can be used as a slow release phosphate fertilizer to increase the phosphorus efficiency; however, care should be taken as the high levels of

1, 2 and 3- PhD Student, Professor and Assistant Professor of Soil science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

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

this fertilizer may not be recommended due to the high zinc content. It should be noted that the high levels of phosphorus are not appropriate for all phosphorus fertilizers but in the present study we used the different levels of fertilizers because the behavior of P-LDH was not clear for us .

Keywords: Available phosphorus, Layered double hydroxide, Slow release fertilizer, Triple superphosphate



تاثیر نوع و منبع کود مصرفی بر توزیع عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی

فاطمه حسن‌زاده نارنج‌بنی^۱ - رضا ابراهیمی گسکرئی^{۲*} - بیژن مرادی^۳ - طاهره رئیسی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

چکیده

انتخاب نوع و منبع کود در تغذیه درختان میوه نقش مهمی در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه تولیدی دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کوتاه مدت چهار نوع کود آلی شامل آزولا، آزوکمپوست، کود گاوی و ورمی کمپوست و نیز کود شیمیایی کامل و تیمار بدون کود، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مجموع با شش تیمار و چهار تکرار بر توزیع عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی و ارتباط آن با عملکرد انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ و میوه کیوی در تیمارهای کودی نسبت به تیمار بدون کود بیشتر بود و مقدار این عناصر در برگ و میوه در تیمارهای کودی در وضعیت بهینه قرار داشت. تیمار آزوکمپوست در بین تیمارهای کودی، بیشترین افزایش مقدار نیتروژن (۲/۵۷ درصد) و کلسیم (۳/۳۹ درصد) را در برگ نشان داد. در تجزیه همبستگی ارتباط معنی‌دار بین نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ با نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه به ترتیب 0.76^* ، 0.69^* و 0.71^* بدست آمد. همچنین در معادله رگرسیون گام به گام بین عملکرد تیمارها با مقادیر هر یک از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و میوه ارتباط مستقیم وجود داشت. در مجموع مصرف کودهای آلی در خاک باغ کیوی موجب افزایش مقدار عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی شد. با توجه به آشنایی کودهای شیمیایی و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف این کودها، می‌توان از کودهای آلی بررسی شده در این مطالعه مانند ورمی کمپوست و آزوکمپوست در باغات کیوی به منظور تولید میوه در شمال کشور استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون گام به گام، کود آلی و کود شیمیایی

مقدمه

دارد (۲۴). بطوری که مصرف بهینه عناصر کودی موجب افزایش عملکرد و کیفیت میوه و برعکس، مصرف نامتعادل آنها منجر به کاهش عملکرد و کیفیت میوه می‌شود (۳۹). مواد معدنی فقط بخش کوچکی از وزن خشک میوه را تشکیل می‌دهد، ولی ممکن است کیفیت نهایی میوه را به مقدار قابل توجهی تحت تاثیر قرار دهد (۴۸). در گروه‌بندی تاثیر عناصر غذایی در کیفیت میوه کیوی، نیتروژن به همراه پتاسیم، فسفر، گوگرد و مس در گروه اول و کلسیم، منیزیم و روی در گروه دوم قرار دارند و در اکثر موارد این دو گروه ارتباط منفی با یکدیگر دارند. به عنوان مثال عناصر گروه اول بطور منفی و عناصر گروه دوم بطور مثبت با سفتی بافت میوه‌ها ارتباط دارد (۴۳). نیتروژن بیش از اندازه نه تنها عدم تعادل اسید آمینه‌های ضروری و بالطبع عدم تعادل پروتئین را در پی خواهد داشت، بلکه مشکلات زیادی چون تجمع نیترات و کاهش میزان ویتامین C را نیز ایجاد می‌کند (۴۸). جانسون و همکاران (۲۹) در بررسی تاثیر عناصر غذایی بر کیفیت میوه کیوی اعلام کردند که هر چند غلظت عناصری مانند کلسیم و پتاسیم بر قابلیت انبارمانی میوه کیوی تاثیر گذار است، اما تاثیر نیتروژن به تنهایی از تمامی عناصر دیگر بیشتر است به طوری که مصرف زیاد نیتروژن، اگرچه رشد رویشی را افزایش می‌دهد ولی در

کیوی [*Actinidia deliciosa*] گیاه نیمه گرمسیری از خانواده Actinidiaceae است. تمایل به مصرف میوه‌های کیوی به دلیل ارزش غذایی بالا در سال‌های اخیر افزایش یافته و از نظر تولید جهانی پس از موز، پرتقال و سیب در رتبه چهارم قرار گرفته است (۱۹ و ۴۲). ایران نیز یکی از کشورهای مهم تولیدکننده کیوی است که با افزایش قابل توجه سطح زیر کشت این محصول در دهه اخیر همراه بوده است (۶ و ۷).

در پرورش درختان میوه و تولید محصول مناسب، حفظ حاصلخیزی و مدیریت چرخه عناصر غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغذیه صحیح محصولات باغی نقش مهمی در کاهش ضایعات و بهبود کیفیت و طولانی کردن عمر انبارمانی محصولات برداشت شده

۱ و ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان
(*) نویسنده مسئول: Email: rezaeabrahimi@guilan.ac.ir

۳ و ۴- مربی و استادیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.63419

کیفیت میوه نقش منفی ایفا می کند. کودهای آلی به خاطر سه ویژگی مهم شامل اثر تغذیه ای و شیمیایی، بهبود خواص فیزیکی و زیستی خاک، مورد توجه می باشند و به طور کلی، کودهای آلی به عنوان یک منبع سرشار از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می باشند که معمولاً عناصر موجود در این منبع کودی در اثر تجزیه و معدنی شدن به تدریج در خاک آزاد می شود (۱۶ و ۱۵).

کودهای آلی باعث بالا بردن ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می شوند که از نظر تغذیه گیاه و جلوگیری از هدررفت عناصر کودی در اثر آبشویی، اهمیت زیادی دارد. مواد آلی و کود دامی که به خاک افزوده می شوند، به منزله غذای تازه برای موجودات ذره بینی خاک، باعث فعالیت و تکثیر بیشتر این موجودات می شوند. این نوع فعالیت های زیستی در خاک موجب تولید گاز کربنیک، آمونیوم، نیترات، حل شدن عناصر نامحلول و تولید اسیدهای آلی خواهد شد که مزایای آنها در تغذیه گیاه کاملاً آشکار است (۴).

کودهای آلی استفاده شده در این پژوهش شامل آزولا، آزوکمپوست، ورمی کمپوست، و کود گاوی بوده است. آزولا سرخس آبی است که عمدتاً در شالیزارهای برنج رشد می کند و قادر به همزیستی با جلبک های سبز - آبی مانند آزولا آنابیا می باشد. آزولا ظرفیت بالایی برای تثبیت نیتروژن دارد و می تواند بیش از ۱/۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را به صورت روزانه تثبیت کند (۴۵) در نتیجه باعث افزایش حاصلخیزی خاک می شود به همین دلیل مصرف آن در کشاورزی پایدار به عنوان کود سبز (۱۲) یا کود زیستی (۱۴) توصیه می شود. فرایند کمپوست کردن شامل تجزیه میکروبی مواد آلی تحت شرایط هوازی و یا بی هوازی است. هدف اصلی در کمپوست سازی تثبیت کردن مواد آلی فساد پذیر و تولید ماده ای پایدار و عاری از عوامل بیماری زار و بذر علف هرز و مناسب برای محصولات زراعی و باغی است (۲۶). فرایندهای بیولوژیکی طی کمپوست کردن منجر به کاهش مقدار کربن آلی محلول و نسبت کربن به نیتروژن کمپوست نهائی نسبت به ماده خام اولیه می شوند (۲۶ و ۳۳). آزوکمپوست هم از ترکیب آزولا و مواد آلی تازه مانند بقایای گیاهی طی فرایند کمپوست شدن تولید می شود که معمولاً در مقایسه با کمپوست ها، درصد نیتروژن بیشتری دارد، استفاده از کمپوست و آزولا به عنوان منبع ازت خاک در جلوگیری از هدررفت ازت و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای موثر است (۲۶ و ۴۲). با این حال، اطلاعات در رابطه با اثر آزولا و آزوکمپوست بر توزیع عناصر غذایی در درختان میوه بسیار کم است.

ورمی کمپوست یک نوع کود آلی است و در فرایند تولید آن از کرم های خاکی و ریز جانداران برای تبدیل پسماندهای آلی به ماده ای سیاه رنگ و غنی از مواد غذایی مورد نیاز گیاهان استفاده می شود (۲۳). ورمی کمپوست در واقع کمپوست به دست آمده از عملیات

تجزیه کرم های خاکی بر روی پسماندها و بقایای گیاهی و جانوری است که نه تنها شامل لاشه کرم ها است، بلکه مواد بستر و پسماندهای آلی در مراحل مختلف تجزیه را نیز شامل می شود. این کود دارای ذرات با سطح ویژه بالا است که این باعث بهبود وضعیت منافذ ریز خاک از نظر فعالیت میکروبی و قابلیت نگهداری بالای عناصر غذایی می شود (۲). کود گاوی عنصر غذایی (مانند فسفر) را به مدت طولانی تر در خاک به صورت محلول نگه می دارد. آزاد سازی اسیدهای آلی در طی تجزیه کود گاوی می تواند باعث کاهش تثبیت عناصر غذایی (مانند فسفر) و افزایش قابلیت دسترسی آنها گردد (۴۴). مطالعه اثر کودهای آلی در تغذیه درختان کیوی با توجه به در دسترس بودن و امکان تولید این کودها در شمال کشور، گران شدن کودهای شیمیایی و شکل گیری بازار و افزایش تمایل عمومی به مصرف میوه های ارگانیک، ضروری است، بنابراین در این پژوهش اثر چهار نوع کود آلی و یک تیمار کود شیمیایی بر غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی بررسی شد. همچنین ارتباط بین مقدار عناصر غذایی در برگ در اواسط فصل رشد و در میوه در زمان برداشت با عملکرد و برخی ویژگی های کیفی میوه بررسی شد.

مواد و روش ها

این تحقیق در پژوهشکده مرکبات و میوه های نیمه گرمسیری واقع در در دامنه های شمالی رشته کوه البرز در شهر رامسر در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی انجام شد. به منظور ارزیابی تاثیر نوع و منبع کود مصرفی بر توزیع عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی - رقم هایوارد این تحقیق در قالب بلوک های کامل تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار بر روی درختان کیوی رقم هایوارد با ۱۲ سال سن تحت سیستم آبیاری تحت فشار در سال های ۱۳۹۴-۱۳۹۳ انجام شد.

یک اصله تاک کیوی فروت به عنوان واحد آزمایشی لحاظ شد. در اسفند ۱۳۹۳ قبل از شروع آزمایش و پیش از اعمال تیمارهای کودی، نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی متری، برداشت و برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد. pH نمونه های خاک در عصاره ۲/۵ به ۱ محلول به خاک، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره صاف شده با نسبت ۲/۵ به ۱ محلول به خاک، درصد کربن آلی به روش اکسیداسیون تر و بافت به روش هیدرومتر تعیین شد. همچنین مقدار نیتروژن کل به روش کج لیدال، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و پتاسیم قابل استفاده با روش عصاره گیری با استات آمونیوم، اندازه گیری شد (۱). کودهای آلی تجاری رد شده از الک چهار میلی متری نیز از شرکت فناور کود طبیعت خریداری شد. خصوصیات کودهای آلی شامل pH و EC در عصاره ۱۰ به ۱ محلول به کود آلی خشک، درصد کربن کود آلی به روش اکسیداسیون تر و

سپس مقایسه میانگین داده‌ها، با آزمون LSD و مقدار همبستگی شاخص‌های مورد نظر با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام شد. سپس از رگرسیون گام به گام برای بررسی ارتباط بین مقدار عناصر در برگ و میوه و عملکرد استفاده شد. کلیه تجزیه‌های آماری و محاسبات با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی خاک باغ مورد مطالعه در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در جدول ۱ ارائه شده است. این خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر، بافت لومی با ۳۸/۸ درصد شن، ۴۰/۸ درصد سیلت، ۲۰/۴ درصد رس و در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر بافت لومی رسی با ۲۶/۹ درصد شن، ۴۲/۵ درصد سیلت و ۳۰/۶ درصد رس دارد. خاک این باغ ماده آلی متوسط (حدود ۳/۴ درصد)، نیتروژن و فسفر بالا و پتاسیم کمتر از حد بهینه دارد.

برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار کربن آلی در کودهای مورد مطالعه از ۱۱/۱ (آزولا) تا ۱۷/۵ (آزوکمپوست) درصد متغیر است که می‌تواند اثر مطلوب بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشد. مقدار سه عنصر کودی نیتروژن، فسفر و پتاسیم کل به ترتیب در آزولا، ورمی کمپوست و کود گاوی، بیشتر است و بنابراین انتظار می‌رفت استفاده از این کودها حتی در کوتاه مدت بتواند بخشی از نیاز درختان کیوی به این عناصر را تامین کند.

نتایج اعمال تیمارهای کودی بر غلظت عناصر غذایی در برگ‌های کیوی

مقدار ویژگی‌های بررسی شده و اثر تیمارهای کودی بر غلظت عناصر غذایی در برگ کیوی به شماره بلوک بستگی نداشت ولی اعمال تیمارهای کودی بر غلظت عناصر غذایی در برگ کیوی اثر مثبت داشت (جدول ۳). مقدار نیتروژن در برگ درختان کیوی از ۱/۶۴ (شاهد) تا ۲/۵۷ (کود آزوکمپوست) درصد متغیر بود و اختلاف معنی‌دار بین درصد نیتروژن تیمارهای کودی و شاهد در سطح ۱ درصد وجود داشت. بیشترین مقدار نیتروژن برگ در تیمارها به ترتیب در تیمارهای آزوکمپوست، ورمی کمپوست و کود گاوی بدست آمد (جدول ۳). دامنه حد کفایت غلظت نیتروژن در فصل تابستان و بعد از زمان تشکیل میوه در برگ‌های سالم و کاملاً توسعه یافته کیوی بین ۲/۲-۲/۸ درصد ماده خشک گزارش شده است (۳۷).

لازم به ذکر است که در همه تیمارهای کودی وضعیت نیتروژن در برگ درختان کیوی در حد مطلوب بود. کوددهی باعث شده که مقدار نیتروژن در برگ‌های کیوی بیشتر شود، در چنین وضعیتی، منابع آلی نیتروژن بر منابع معدنی یا شیمیایی، ارجحیت دارد، چون احتمال

همچنین در کودهای آلی مقدار نیتروژن کل (کج‌لدال)، فسفر کل و پتاسیم کل تعیین شد (۱ و ۲۵).

در اوایل فروردین ماه ۱۳۹۴، کود کامل شیمیایی (۴۹) شامل اوره ۱/۵ کیلو در سه نوبت، دی آمونیوم فسفات ۰/۵ کیلو، کلرور پتاسیم ۱ کیلو، سولفات منیزیم ۰/۵ کیلو، سولفات روی و سولفات منگنز هر کدام ۲۰۰ گرم و یا چهار نوع کود آلی شامل آزولا، آزوکمپوست، ورمی کمپوست و کود گاوی پوسیده به مقدار ۳۰ کیلوگرم از یکی از این چهار کود برای هر درخت در سایه انداز درخت با فوکا زدن با خاک سطحی مخلوط گردید. مقادیر کودها در تیمار کود شیمیایی براساس آنالیز خاک، برگ و مقدار برداشت میوه توسط محققین پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری توصیه شد. کنترل علف‌های هرز باغ به صورت مکانیکی طی چندین مرحله توسط دستگاه علف‌زن موتوری و نیز آبیاری قطره‌ای از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهرماه بر اساس نیاز آبی گیاهان انجام شد.

در اواسط فصل رشد (اوایل شهریور) برای تهیه نمونه برگ، از برگ‌های بالغ شاخه‌های یکساله بارده در چهار جهت، تعداد ۲۵ عدد برگ از هر تکرار بعنوان نمونه برداشت شد. همچنین پس از رسیدن میزان مواد جامد قابل حل (TSS)^۱ میوه به حد مناسب (بریکس حداقل ۶/۲) مصادف با نیمه دوم آبان ماه، تمام میوه‌های هر درخت برداشت شد و عملکرد کل هر درخت با اندازه‌گیری وزن کل میوه هر درخت به دست آمد. برای اندازه‌گیری درصد عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی، نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک، سپس آسیاب و از الک ۴۰ مش عبور داده شد و برای تهیه خاکستر خشک، یک گرم از هر نمونه به کوره الکتریکی منتقل و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد، تا حذف کامل مواد آلی حرارت داده شد و خاکستر هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکلریدریک اسید دو نرمال حل و بعد از حرارت دادن ملایم، عصاره‌گیری و به حجم رسانده شد (۱).

در عصاره به دست آمده، میزان کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با محلول ۰/۰۱ نرمال EDTA، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر به روش رنگ سنجی در طول موج ۸۸۰-۸۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار نیتروژن کل در برگ و میوه خشک شده با روش کج‌لدال تعیین و غلظت عناصر معدنی در برگ و میوه بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک، محاسبه و گزارش شد. علاوه براین در زمان برداشت، در پنج میوه سالم از هر تکرار هر تیمار مواد جامد قابل حل با روش رفرکتومتری چشمی، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال و سفتی بافت میوه با دستگاه پنترومتر اندازه‌گیری شد (۲۲). پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا تجزیه واریانس بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار

آبشویی کمتر خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، آزوکمپوست، ورمی‌کمپوست و کود گاوی بیشتر از تیمار کود شیمیایی مقدار نیتروژن در برگ درختان کیوی تحت تیمار کودهای آلی شامل است.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک باغ کیوی مورد مطالعه
Table 1- Chemical properties of experimental soil in site

عمق خاک	بافت خاک	شن	رس	سیلت	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی OC	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
Soil depth	Soil Texture	Sand %	Clay %	Silt %	pH (1:2.5)	EC (dS/m)	%	%	ppm	ppm
0-30	Loam	38/8	20/4	40/8	6.6	0.19	1.99	0.21	41.1	119
30-60	Clay loam	26/9	30/6	42/5	6.9	0.15	1.97	0.16	26.3	94

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی چهار نوع کود آلی مورد استفاده در این تحقیق
Table 2- Some chemical properties of four organic manures used in this research (%)

نوع کود آلی مصرفی	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	کربن آلی
Organic Manure	PH (1:10)	EC _(1:10) (dS m ⁻¹)	Total N	P	K	Organic carbon
آزولا Azolla	6.76	0.90	1.80	1.03	0.3	33.1
آزوکمپوست Azocompost	7.30	1.90	1.30	2.46	0.5	17.5
کود گاوی cow manure	8.30	1.85	1.30	1.55	0.58	22.0
ورمی‌کمپوست vermicompost	7.40	2.13	1.20	3.09	0.5	16.0

جدول ۳- اثر تیمارهای کودی بر غلظت عناصر غذایی (درصد) در برگ درختان کیوی
Table 3 - fertilizer treatments effect on the nutrient concentrations (%) in th leafe Kiwi fruit

تیمارها	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	منیزیم Mg	کلسیم Ca
Treatments	N	P	K	Mg	Ca
شاهد Control	1.64 ^d ± 0.18	0.21 ^c ± 0.02	0.85 ^d ± 0.21	0.43 ^b ± 0.043	1.74 ^d ± 0.096
کود شیمیایی Chemical fertilizer	2.08 ^c ± 0.18	0.26 ^a ± 0.02	1.19 ^c ± 0.21	0.48 ^{ba} ± 0.043	2.37 ^c ± 0.096
آزولا Azolla	2.19 ^c ± 0.18	0.27 ^a ± 0.02	1.25 ^c ± 0.21	0.45 ^b ± 0.043	2.42 ^c ± 0.096
آزوکمپوست Azocompost	2.57 ^a ± 0.18	0.26 ^a ± 0.02	1.64 ^a ± 0.21	0.54 ^a ± 0.043	3.39 ^a ± 0.096
کود گاوی Cow manure	2.39 ^b ± 0.18	0.27 ^a ± 0.02	1.40 ^b ± 0.21	0.52 ^a ± 0.043	3.16 ^b ± 0.096
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2.48 ^{ba} ± 0.18	0.23 ^b ± 0.02	1.70 ^a ± 0.21	0.52 ^a ± 0.043	3.07 ^b ± 0.096
F	1.83 ^{**}	0.009 ^{**}	0.4 ^{**}	0.0075 [*]	1.55 ^{**}
LSD	0.27	0.029	0.14	0.07	0.15

*, **, ns و ns به ترتیب یعنی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و معنی‌دار نبودن است. (هر داده میانگین چهار تکرار است).

*, **, and ns: Significant at $p \leq 0.05$, significant at $p \leq 0.01$, and non significant, respectively (each data is the average of four replications)

پتاسیم در برگ کیوی (۱/۸ درصد ماده خشک) برساند. به هر حال، در تمام کودهای آلی مورد مطالعه با استثنا آزولا مقدار پتاسیم برگ در مقایسه با تیمار کود شیمیایی افزایش نشان داده‌اند. با توجه به اینکه کاتیون‌های تک ظرفیتی مانند پتاسیم و سدیم، در پیوندهای کوالانسی با ترکیبات آلی شرکت ندارند لذا به سهولت از کودهای آلی جدا و به بخش معدنی خاک وارد و برای گیاه قابل جذب می‌شوند (۲۷).

درصد کلسیم در برگ درختان کیوی از ۱/۷۴ (شاهد) تا ۳/۳۹ (تیمار آزوکمپوست) درصد متغیر بود. بین تیمار شاهد با تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول ۳). تیمار آزوکمپوست بیشترین درصد کلسیم در برگ را در بین تیمارها داشت. غلظت کلسیم در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه در برگ‌های سالم کاملاً توسعه یافته کیوی در وضعیت مطلوب باید بین ۳-۳/۵ درصد ماده خشک باشد (۳۶).

اعمال تیمارهای کودی باعث افزایش درصد کلسیم در نمونه‌های کودی نسبت به تیمار شاهد شده است ولی فقط در تیمارهای آزوکمپوست، ورمی کمپوست و کود گاوی این مقدار به حد مطلوب رسیده و در مابقی تیمارها ناکافی بوده است. با توجه به بارش‌های جوی در رامسر و شستشوی کلسیم، این نتایج منطقی بنظر می‌رسد. مصرف کلسی کمپوست (کمپوست با کلسیم بیشتر) در این اراضی می‌تواند توصیه بهتری باشد و لازم است بررسی شود. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با کاربرد کودهای آلی شامل آزوکمپوست، کود گاوی و ورمی کمپوست در مقایسه با مصرف کود شیمیایی، مقدار کلسیم برگ افزایش یافته است. با استناد به منابع موجود، کاربرد کود آلی، می‌تواند منجر به افزایش قابلیت دسترسی کلسیم برای گیاه گردد (۹).

درصد منیزیم در برگ درختان کیوی از ۰/۴۳ (شاهد) تا ۰/۵۴ (تیمار آزوکمپوست) متغیر بود. بین تیمارهای آزوکمپوست، ورمی کمپوست، کود گاوی و کود شیمیایی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۳). غلظت منیزیم در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه در برگ‌های گیاه سالم و کاملاً توسعه یافته اگر بین ۰/۴۵-۰/۳۵ درصد ماده خشک باشد مطلوب است (۳۶). بنظر می‌رسد مقدار منیزیم برگ در تیمار شاهد در حد مطلوب باشد، اگرچه اعمال تیمارهای کودی باعث افزایش درصد منیزیم برگ نسبت به تیمار شاهد شد.

بطور کلی نتایج تجزیه برگ نشان داد که با کاربرد کود شیمیایی و یا آلی، مقدار عناصر غذائی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ درختان کیوی افزایش یافته است و اثر کودهای آلی (به جز آزولا) بر بهبود غلظت عناصر غذائی در برگ کیوی در مقایسه با کود شیمیایی بیشتر است. دلیل این پدیده، با استناد به منابع علمی ناشی از اثر کودهای آلی بر بهبود قابلیت انحلال عناصر غذایی در

این نتیجه حاکی از اثر مثبت کاربرد کودهای آلی بر قابلیت استفاده نیتروژن در باغ مورد مطالعه می‌باشد. در واقع با کاربرد کودهای آلی با توجه به مقدار بالای ماده آلی در این کودها و نیز نسبت کربن به نیتروژن این کودها احتمالاً فعالیت بیولوژیکی در خاک افزایش یافته و معدنی شدن نیتروژن و به دنبال آن قابلیت استفاده نیتروژن خاک برای درختان کیوی افزایش یافته است. بر اساس نتایج بدست آمده در پژوهش‌ها، مصرف کودهای آلی بخصوص کمپوست و ورمی کمپوست موجب بهبود ظرفیت ذخیره عناصر غذایی در خاک و محصول شده و افزایش عملکرد را در مقایسه با تیمار بدون کود به دنبال داشته است (۹).

درصد فسفر در برگ درختان کیوی از ۰/۲۱ (شاهد) تا ۰/۲۷ (تیمار کود گاوی) متغیر است و اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای کودی و شاهد در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول ۳). دامنه حد کفایت غلظت فسفر در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه، در برگ‌های سالم کاملاً توسعه یافته کیوی بین ۰/۲۲-۰/۱۸ درصد ماده خشک گزارش شده است (۳۷). در بین تیمارهای کودی و حتی در مورد تیمار بدون کود هم وضعیت فسفر در برگ درختان کیوی از حد مطلوب بیشتر است با توجه به درصد فسفر در برگ، احتمالاً فسفر خاک جوابگوی نیاز گیاه است.

مقدار فسفر قابل جذب در خاک مورد پژوهش هم بالا است و استفاده از کودهای آلی صرف نظر از مقدار فسفر موجود در این کودها، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش جذب فسفر توسط گیاه شده است. گزارش‌ها نشان داد، که با افزودن ماده آلی به خاک ظرفیت خاک برای تثبیت فسفر کاهش و سرعت آزاد شدن فسفر افزایش یافت (۱۷). همچنین نتایج یک مطالعه نشان داد که پس از نه ماه خواباندن خاک با کود آلی و یا کود شیمیایی با فسفر برابر، مقدار فسفر قابل جذب در زمان‌های مختلف در خاک تیمار شده با کود آلی، بیشتر از تیمار کود شیمیایی بود (۳۰).

درصد پتاسیم در برگ درختان کیوی از ۰/۸۵ (شاهد) تا ۱/۷۰ (تیمارهای ورمی کمپوست و آزوکمپوست) متغیر بود و بین تیمارهای کودی با شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود داشت. بیشترین مقدار پتاسیم در تیمارهای آزوکمپوست و ورمی کمپوست بدست آمد (جدول ۳). حد کفایت غلظت پتاسیم در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه در برگ‌های سالم کاملاً توسعه یافته کیوی به طور متوسط بین ۱/۸-۲/۵ درصد ماده خشک بدست آمده است (۳۷). اعمال تیمارهای کودی باعث افزایش درصد پتاسیم در برگ تیمارهای کودخورده نسبت به تیمار شاهد شد. مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک باغ مورد مطالعه کمتر از حد مطلوب است و مصرف کود از هر دو نوع آلی و شیمیایی، باعث افزایش مقدار پتاسیم در برگ شد ولی این افزایش نتوانست مقدار پتاسیم برگ را به سطح پایین حد مطلوب

خاک و افزایش جذب و در نتیجه غلظت عناصر در برگ بوده است (۹).

نتایج اعمال تیمارهای کودی بر غلظت عناصر غذایی در میوه کیوی

مقدار ویژگی‌های بررسی شده و اثر تیمارهای کودی بر غلظت و نسبت عناصر غذایی در میوه کیوی به شماره بلوک بستگی نداشت ولی اثر تیمارهای کودی بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در میوه معنی دار بود (جدول ۴). دامنه تغییرات عملکرد کل هر درخت در تیمارهای مورد مطالعه از ۴۸/۴۵ (شاهد) تا ۸۴/۲۵ (آزوکمپوست) کیلوگرم بدست آمد، که در مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD، بین شاهد و تیمارهای کودی اختلاف معنی دار وجود داشت. کوددهی باعث افزایش عملکرد کل به مقدار ۴۲، ۳۹، ۳۰، ۲۴ و ۲۲ درصد با ترتیب نزولی در تیمار آزوکمپوست، کود گاوی، کود شیمیایی، ورمی کمپوست و تیمار آزولا شد. از لحاظ مقایسه میانگین بین تیمارها با آزمون LSD، بین دو تیمار آزوکمپوست و کود گاوی و همچنین بین ورمی کمپوست و آزولا تفاوت معنی دار نبود.

دامنه تغییرات نیتروژن میوه از ۱/۶۷ (شاهد) تا ۲/۸۹ (آزوکمپوست) درصد متغیر بود که در مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD تیمارهای کودی دارای نیتروژن بیشتری نسبت به شاهد بود. تیمار آزوکمپوست بیشترین مقدار نیتروژن را در بین تیمارها داشت (جدول ۴) که با نتایج تجزیه برگ نیز هم‌خوانی دارد. آمودیو و همکاران (۳) مقدار نیتروژن میوه در درختان تغذیه شده با کود آلی را بیشتر از کشت معمولی گزارش کرده‌اند.

مهم‌ترین عنصر غذایی در رشد و تولید کیوی، نیتروژن است و کاهش این عنصر می‌تواند موجب کاهش رشد و عملکرد شود، ضمن اینکه مصرف بیش از حد نیاز، هم می‌تواند کیفیت میوه را کاهش دهد. بین غلظت زیاد نیتروژن و سرعت نرم شدن میوه کیوی ارتباط مستقیم وجود دارد (۵ و ۴۶). مقدار متوسط نیتروژن در یک میوه کیوی با اندازه متوسط بین ۰/۹-۱/۸ گرم بر ۱۰۰ گرم است (۴۷). در بین تیمارهای کودی وضعیت نیتروژن در میوه درختان کیوی از حد مطلوب بیشتر است و با توجه به امکان حرکت خوب نیتروژن از برگ به میوه، مقدار نیتروژن در میوه در زمان برداشت (مقدار ضریب همبستگی بین نیتروژن برگ و میوه تحت تیمارهای مختلف کوددهی = ۰/۷۶) و بلوغ میوه، از حد مطلوب بیشتر است.

فسفر میوه از ۰/۲۱ (شاهد) تا ۰/۳ (تیمار کود شیمیایی) درصد بدست آمد. در مقایسه میانگین با آزمون LSD، تیمارهای کودی

نسبت به شاهد اختلاف معنی دار داشت. تیمار کود شیمیایی فسفر بیشتری نسبت به بقیه تیمارها داشت (جدول ۴). یوسفی و همکاران (۴۹) تفاوت معنی دار بین فسفر باغ‌های تیمار شده با کود گاوی و کود شیمیایی در میوه کیوی مشاهده نکردند. در گزارشی بین میزان فسفر میوه کیوی کشت معمولی و کشت تغذیه شده با کود آلی تفاوت معنی دار مشاهده نشد (۴۱). دامنه مطلوب فسفر در میوه کیوی بین ۰/۶۷-۰/۲۲ درصد می‌باشد (۴۷).

در بین تیمارهای کودی وضعیت فسفر در میوه درختان کیوی در حد مطلوب بود. کوددهی باعث افزایش فسفر میوه در بین تیمارهای کودی نسبت به شاهد شد. با توجه به حد مطلوب فسفر در برگ‌ها و حرکت فسفر از برگ به میوه، میزان فسفر در میوه در زمان برداشت در حد مطلوب بوده است. افزایش بیش از حد فسفر باعث کاهش کیفیت میوه و افزایش نسبت اسید فیتیک به روی شده است. در هنگام کمبود فسفر در بعضی از میوه‌ها، گوشت میوه نرم و شیرین میوه خیلی ترش شده است. کمبود فسفر سرعت رشد را کند و عملکرد را کاهش داده و همچنین اثرات سوء بر کیفیت میوه گذاشته است (۲۹ و ۳۲).

مقدار پتاسیم میوه از ۱/۴ (شاهد) تا ۱/۹۶ (کود گاوی) متغیر است. در مقایسه میانگین با آزمون LSD، تیمارهای کودی (به جز آزولا) با شاهد اختلاف معنی دار داشتند. پتاسیم تیمار کود گاوی از آزوکمپوست، کود شیمیایی و آزولا بیشتر بوده است. ولی بین تیمار کود گاوی و ورمی کمپوست از لحاظ مقدار پتاسیم اختلاف معنی دار وجود نداشت (جدول ۴). آمودیو و همکاران (۳) مقدار پتاسیم را در میوه ارگانیک ۲/۱۴ درصد و در کشت معمولی ۱/۷۷ درصد گزارش کردند که پتاسیم میوه درختان تغذیه شده با کود آلی با کشت معمولی اختلاف معنی دار وجود داشت و مقدار پتاسیم میوه درختان تغذیه شده با کود آلی بیشتر از کشت معمولی بوده است. در گزارشی بین میزان پتاسیم میوه کیوی در کشت معمولی و کشت تغذیه شده با کود آلی تفاوت معنی دار مشاهده نشد (۴۱). یوسفی و همکاران (۴۹) نشان دادند که نوع تغذیه درختان با کود آلی تاثیر معنی دار در پتاسیم میوه نداشت. به طور میانگین در یک میوه کیوی با اندازه متوسط بین ۰/۵۷-۰/۱۸ درصد پتاسیم بوده است (۴۸). در گزارشی مقدار مطلوب پتاسیم در میوه کیوی حداکثر تا حدود ۲/۹ گرم بر صد گرم بیان شده است (۲۱). در بین تیمارهای کودی وضعیت پتاسیم در میوه درختان کیوی در حد مطلوب بوده است.

جدول ۴- اثر تیمارهای مختلف کود بر غلظت عناصر غذایی (درصد) در میوه کیوی

Table 3 - fertilizer treatments effect on the nutrient concentrations (%) in the Kiwi fruit

تیمارها Treatments	عملکرد Yeild (kg)	نیتروژن N	پتاسیم K	فسفر P	کلسیم Ca	منیزیم Mg
شاهد Control	2.67 48.45 ^d 48.45 ^d ±	1.67 ^d ± 0.09	1.40 ^c ± 0.1	0.21 ^d ± 0.01	0.37 ^b ± 0.19	0.44 ^c ± 0.04
کود شیمیایی Chemical fertilizer	69.67 ^b ±2.67	2.07 ^{cb} ± 0.09	1.66 ^b ± 0.1	0.30 ^a ± 0.01	0.65 ^b ± 0.19	0.65 ^a ± 0.04
آزولا Azolla	2.67±62.46 ^c	1.94 ^c ± 0.09	1.45 ^c ± 0.1	0.26 ^c ± 0.01	0.49 ^b ± 0.19	0.57 ^b ± 0.04
آزوکمپوست Azocompost	2.67±84.25 ^a	2.89 ^a ± 0.09	1.70 ^b ± 0.1	0.28 ^b ± 0.01	1.19 ^a ± 0.19	0.56 ^b ± 0.04
کود گاوی Cow manure	2.67±80.73 ^a	2.09 ^b ± 0.09	1.96 ^a ± 0.1	0.27 ^b ± 0.01	0.47 ^b ± 0.19	0.66 ^a ± 0.04
ورمی کمپوست Vermicompost	63.96 ^c ±2.67	2.14 ^b ± 0.09	1.81 ^{ba} ± 0.1	0.26 ^c ± 0.01	0.48 ^b ± 0.19	0.55 ^b ± 0.04
F	96.39 ^{**}	0.67 ^{**}	0.18 ^{**}	0.004 ^{**}	0.36 ^{**}	0.026 ^{**}
LSD	4.02	0.15	0.16	0.02	0.29	0.06

*, **, ns: Significant at $p \leq 0.05$, significant at $p \leq 0.01$, and non significant, respectively (each data is the average of four

replications).

کشت معمولی اختلاف معنی دار داشت و مقدار کلسیم کشت ارگانیک بیشتر از کشت معمولی بوده است. یوسفی و همکاران (۴۹) نشان دادند که نوع تغذیه با کودهای آلی اثر معنی داری روی کلسیم نداشت. در گزارش دیگری بین میزان کلسیم میوه کیوی در کشت معمولی و ارگانیک تفاوت معنی دار مشاهده نشد (۴۱). کلسیم در کیوی معمولاً به طور مثبت با کیفیت میوه در ارتباط است. به طور میانگین در یک میوه کیوی با اندازه متوسط، مقدار کلسیم بین ۰/۵۱-۰/۱۶ گرم بر صد گرم بوده است (۴۷). در بین تیمارهای کودی مقدار کلسیم در میوه کیوی بالاتر از حد مطلوب بود.

تجزیه همبستگی بین عناصر معدنی در برگ و میوه

نتایج تجزیه همبستگی بین مقدار عناصر در برگ کیوی در شهرپور و عناصر موجود در میوه در زمان برداشت محصول، نشان داد که ارتباط مستقیم و معنی دار بین نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ و میوه در این دو زمان وجود دارد و افزایش یا کاهش مقدار عناصر در برگ، موجب افزایش یا کاهش مقدار عناصر موجود در میوه شد (جدول ۵).

مقدار منیزیم میوه از ۰/۴۴ (شاهد) تا ۰/۶۶ (کود گاوی) درصد متغیر بود که در مقایسه میانگین با آزمون LSD، تمام تیمارهای کودی با شاهد اختلاف معنی دار بوده است. تیمار کود گاوی نسبت به تیمارهای آزولا، آزوکمپوست و ورمی کمپوست منیزیم بیشتری داشت، ولی بین تیمار کود گاوی و کود شیمیایی از لحاظ مقدار منیزیم اختلاف معنی دار وجود نداشت (جدول ۴). آمودیو و همکاران (۳) مقدار منیزیم میوه ارگانیک را ۰/۱۴ و در کشت معمولی را ۰/۱۱ درصد گزارش کردند که منیزیم میوه در درختان تغذیه شده با کود آلی با کشت معمولی دارای اختلاف معنی دار و بیشتر از کشت معمولی بوده است. یوسفی و همکاران (۴۹) نشان دادند که نوع کود آلی مصرفی برای تغذیه گیاه اثر معنی داری بر منیزیم میوه ندارد. در گزارش دیگری بین میزان منیزیم میوه کیوی کشت معمولی و ارگانیک تفاوت معنی دار مشاهده نشد (۴۱). به طور میانگین در یک میوه کیوی با اندازه متوسط، مقدار منیزیم بین ۰/۰۳-۰/۰۱ گرم بر صد گرم مطلوب می باشد (۴۷). در گزارشی مقدار مطلوب منیزیم میوه کیوی حدود ۰/۰۷ گرم بر صد گرم بیان شده است (۲۱). در تیمارهای کودی وضعیت منیزیم در میوه درختان کیوی بالاتر از حد مطلوب بوده است. دامنه تغییرات کلسیم میوه از ۰/۳۷ (شاهد) تا ۱/۱۹ (آزوکمپوست) درصد متغیر بود. تیمار آزوکمپوست بیشترین مقدار را در بین تیمارها دارد (جدول ۴). آمودیو و همکاران (۳) مقدار کلسیم را در میوه درختان میوه تغذیه شده با کود آلی ۰/۲۱ درصد و در کشت معمولی ۰/۱۹ درصد گزارش کردند که کلسیم میوه درختان تغذیه شده با کود آلی با

جدول ۵- ضریب همبستگی بین عناصر غذایی برگ و میوه در زمان برداشت

Table 5- The correlation between the mineral elements leaves and kiwi fruit at harvest time

عناصر غذایی برگ و میوه The mineral elements leaves and fruit	ضریب همبستگی The correlation coefficient
نیتروژن برگ و میوه Nitrogen of leaves and fruits	0.76*
فسفر برگ و میوه Phosphorus of leaves and fruits	0.69*
پتاسیم برگ و میوه Potassium of leaves and fruits	0.71*
کلسیم برگ و میوه Calcium of leaves and fruits	-0.15

*, **, and ns: Significant at $p \leq 0.05$, significant at $p \leq 0.01$, and non significant, respectively (each data is the average of four

replications).

انرژی و فعالیت متابولیکی در درختان میوه نقش دارد و بطور غیر مستقیم بر عملکرد محصولات تاثیر می‌گذارد (۳۵). فسفر کافی، همچنین باعث زودرسی محصول می‌گردد. کمبود فسفر رشد را کند و عملکرد را کاهش می‌دهد و اثرات سوء بر کیفیت میوه دارد (۲۸). پتاسیم در درختان میوه در عمل فتوسنتز، تشکیل کربوهیدرات، تشکیل پروتئین و کنترل تبخیر و تعرق نقش مهمی ایفا می‌نماید (۳۵). در گزارشی افزایش غلظت پتاسیم در برگ با موجب افزایش عملکرد میوه کیوی شد و کاهش پتاسیم با کاهش عملکرد و کاهش وزن میوه همراه بود و یک همبستگی قوی بین تجمع پتاسیم در برگ با پتاسیم میوه و عملکرد تایید شد. با افزایش مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ، غلظت عناصر در میوه و عملکرد میوه افزایش یافت (۲۳).

رگرسیون گام به گام و ضریب تبیین بین غلظت کلیه عناصر غذایی در میوه با عملکرد

در تجزیه رگرسیونی چند متغیره، یکی از متغیرها به عنوان متغیر وابسته و مابقی متغیرها به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود. هدف از رگرسیون چند متغیره این است که بتوان متغیرهای مستقل تأثیرگذار (X) و مقدار تأثیر آنها بر متغیر وابسته (Y) را بر طبق معادله شناسایی کرد. بنابراین، به منظور بررسی تأثیر هر یک از ویژگی‌های مورد نظر بر روی متغیر تابع، همچنین کاهش تعداد متغیرهای مستقل و حذف متغیرهایی که اثر ناچیزی روی متغیر تابع دارند، برآزش بهترین مدل با استفاده از روش رگرسیون گام به گام انجام شد. با استفاده از مدل رگرسیونی، عناصری که کم تأثیر یا بی تأثیر بر عملکرد بودند، از مدل حذف شدند.

در پژوهشی که در مورد ارتباط بین عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی رقم هایوارد انجام شد، بین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و میوه ارتباط مستقیم وجود داشت و افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ سبب افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه شد. نیتروژن و فسفر برگ در تمام تیمارها از نیتروژن و فسفر میوه بیشتر بود، ولی مقدار پتاسیم در برگ و میوه تقریباً برابر بود. پتاسیم در بافت‌های گیاهی به صورت یون و متحرک است. نتایج این تحقیق موید این است که کلسیم میوه کمتر از برگ بود. بدلیل تحرک کم کلسیم در بافت گیاه، انتقال کلسیم از برگ به میوه کمتر است (۲۳).

تجزیه همبستگی بین مقدار عناصر معدنی در برگ و میوه با عملکرد میوه

نتایج تجزیه همبستگی بین عناصر در برگ (شهریور ماه) و عناصر در میوه (زمان برداشت) نشان داده است که، بین مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم در برگ و میوه با عملکرد میوه رابطه مستقیم، مثبت و معنی‌دار وجود داشت و افزایش یا کاهش هر یک از عناصر در برگ و میوه کیوی باعث افزایش یا کاهش عملکرد شده است. نیتروژن یک عامل تعیین کننده رشد گیاه است. در دوره تولید میوه، مصرف نیتروژن باعث افزایش عملکرد و میانگین وزن میوه کیوی می‌شود. بعلاوه اجزاء عملکرد میوه (قطر، طول، حجم، وزن تر و وزن خشک) با مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد (۱۳، ۲۰ و ۳۴). مقدار نیتروژن در اندام هوایی نظیر برگ نیز بسیار مهم است، زیرا اگر غلظت نیتروژن در اندام هوایی بیشتر باشد با افزایش تقاضای گیاه برای این عنصر در طی فصل رشد، نیتروژن از اندام رویشی به اندام زایشی انتقال می‌یابد در نتیجه عملکرد بهبود می‌یابد. فسفر در انتقال

جدول ۶- تجزیه همبستگی بین عناصر معدنی در برگ و میوه با عملکرد میوه

Table 6- Correlation analysis between mineral elements in leaves and mature fruits and fruit yield											
	N	P	K	Mg	Ca		N	P	K	Mg	Ca
	میوه Fruit						برگ leaf				
عملکرد yield	0.78*	0.73*	0.68*	0.46*	0.33 ^{ns}		0.89*	0.75*	0.89*	0.62*	0.82*

*, ** و ns به ترتیب یعنی معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و معنی دار نبودن است. (هر داده میانگین چهار تکرار است).

*, ** and ns: Significant at $p \leq 0.05$, significant at $p \leq 0.01$, and non-significant, respectively (each data is the average of four replications).

دادند که در گیاهان زراعی بین نیتروژن و عملکرد دانه، رابطه مثبت و معنی دار وجود دارد. همچنین رابطه بین جذب و انتقال نیتروژن در اندام هوایی و عملکرد دانه، مثبت و معنی دار است. همچنین بین جذب فسفر در اندام هوایی و دانه با عملکرد دانه در گیاهان زراعی رابطه مثبت و معنی دار وجود دارد. با افزایش مقدار پتاسیم در اندام هوایی و دانه، عملکرد گیاهان زراعی افزایش یافته است (۱۸). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کود حیوانی یا کمپوست می‌تواند باعث افزایش کربن آلی و سلامت خاک شود و همچنین این مواد می‌توانند بطور تدریجی عناصر غذایی را برای گیاهان فراهم کنند (۸).

به استناد مدل رگرسیونی بدست آمده، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در میوه به عنوان عناصر تاثیرگذار (متغیرهای مستقل) بر عملکرد (متغیر وابسته) شناسایی و در نتیجه مدل رگرسیونی استاندارد شده‌ای برازش شد. (جدول ۹). با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده روی میوه‌های مختلف، کودهای شیمیایی نیتروژن دار و کودهای آلی در افزایش عملکرد تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشت. مصرف کود اوره در درختان پرتقال (۳۱) و افزایش نیتروژن در میوه باعث افزایش عملکرد و افزایش وزن میوه‌ها شده است. همچنین با مصرف مقدار بالای نیتروژن، عملکرد به طور معنی داری در هلو (۴۶) و سیب (۱۹) تحت تاثیر قرار گرفته است. در تحقیقی فاجریا و همکاران (۱۸) نشان

جدول ۷- رگرسیون گام به گام و ضریب تبیین بین غلظت کلیه عناصر غذایی در میوه با عملکرد

Table 8- Stepwise regression and correlation coefficient between yield and all nutrient elements in fruits

معادله رگرسیون گام به گام	ضریب تبیین
Stepwise regression equation	Coefficient of determination
$Y = -43/9 + 20/3N + 23/2 K + 53/5 Ca$	0.89

نیتروژن تاثیر منفی بر سفتی بافت میوه دارد (جدول ۷).

همبستگی مثبت معنی دار (۰/۶۴) بین میزان کلسیم در میوه بالغ با سفتی بافت میوه در زمان برداشت در سطح احتمال ۱ درصد بدست آمد (جدول ۷). غلظت کم کلسیم در میوه کیوی موجب نرم شدن زود هنگام میوه کیوی می‌شود. در میوه کیوی غلظت کلسیم بطور مثبت با سفتی بافت میوه و به طور منفی با نرم شدن میوه ارتباط داشته است (۱۰ و ۳۸). همبستگی مثبت ۰/۶۹ بین درصد ماده خشک و فسفر میوه بالغ در زمان برداشت بدست آمد که در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۷). عاشوری و همکاران (۵) همبستگی منفی و معنی دار بین میزان فسفر با ماده خشک میوه بالغ در سطح احتمال ۱ درصد بدست آوردند.

همبستگی مثبت ۰/۴۶ بین درصد ماده خشک و پتاسیم میوه بالغ در زمان برداشت بدست آمد که در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۷). عاشوری و همکاران (۵) همبستگی منفی معنی دار بین میزان پتاسیم با ماده خشک میوه بالغ در سطح احتمال ۵ درصد بدست آوردند.

نتایج تجزیه همبستگی بین مقدار عناصر معدنی میوه با برخی ویژگی‌های کیفی میوه

برخی شاخص‌های کیفی میوه کیوی شامل سفتی، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون تحت تیمارهای کودی مورد بررسی در تحقیق حاضر در مقاله حسن‌زاده و همکاران (۲۲) گزارش شده‌اند. نتایج بررسی همبستگی بین این شاخص‌ها و مقادیر عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی نشان داد که ارتباط منفی معنی دار (۰/۴۴-) بین میزان نیتروژن در میوه بالغ با سفتی بافت میوه در زمان برداشت در سطح احتمال ۵ درصد بدست آمد و میوه‌های با نیتروژن بیشتر، سفتی کمتری دارند. در پژوهشی همچنین گزارش شده است که میوه‌های بالغ با میزان نیتروژن بیشتر در زمان برداشت، سفتی بافت کمتری در این زمان داشتند (۱۳). گزارش شده است که نیتروژن زیاد در میوه کیوی در زمان برداشت با نرم شدن میوه‌ها در پایان انبارمانی ارتباط دارد. در باغات سیب نیز مصرف زیاد نیتروژن سفتی میوه‌ها را در زمان برداشت کاهش داد (۴۰). بنگی و همکاران (۱۱) نیز گزارش کردند که

نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در میوه کیوی در زمان بلوغ و برداشت میوه مشاهده نکردند.

همبستگی منفی معنی‌دار بین نسبت مواد جامد محلول به اسیدیت به قابل تیتراسیون و عنصر نیتروژن و فسفر میوه کیوی در زمان برداشت به دست آمد (جدول ۷). عاشوری و همکاران (۵) در بررسی همبستگی بین نسبت مواد جامد محلول به اسیدیت به قابل تیتراسیون و نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم در میوه کیوی در زمان برداشت فقط بین میزان کلسیم با نسبت مواد جامد محلول به اسیدیت به قابل تیتراسیون همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۵ درصد بدست آوردند.

همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین میزان مواد جامد محلول و منیزیم در زمان بلوغ میوه کیوی بدست آمد (جدول ۷). عاشوری و همکاران (۵) همبستگی منفی و معنی‌دار بین میزان مواد جامد محلول با منیزیم در زمان برداشت مشاهده نکردند، ولی همبستگی منفی معنی‌دار بین مواد جامد محلول با مقدار کلسیم را گزارش کردند.

همبستگی بین اسیدیت به قابل تیتراسون و عناصر غذایی، فقط در مورد عنصر فسفر در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد و در مورد بقیه عناصر همبستگی معنی‌دار بدست نیامد (جدول ۷). عاشوری و همکاران (۵) همبستگی معنی‌دار بین اسیدیت به قابل تیتراسیون و

جدول ۸- تجزیه همبستگی بین عناصر معدنی با برخی ویژگی‌های کیفی میوه کیوی

Table 7- Correlation analysis between mineral elements with some qualitative features of kiwi fruit

ضریب همبستگی	N	P	K	Mg	Ca
The correlation coefficient					
سفتی Firmness	-0.44*	0.06	-0.11	-0.26	0.64**
درصد ماده خشک Dry mater (%)	0.28	0.69**	0.46*	0.17	0.01
مواد جامد محلول (Tss) Total soluble solids	-0.3	-0.07	-0.17	-0.46*	0.16
اسیدیت به قابل تیتراسیون Titratable acidity (TA)	0.33	-0.48**	0.26	0.11	0.3
نسبت مواد جامد محلول به اسیدیت به قابل تیتراسیون TSS/ TA	-0.44*	-0.44*	-0.32	-0.31	-0.14

*, ** و ns به ترتیب یعنی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و معنی‌دار نبودن است. (هر داده میانگین چهار تکرار است).

*, ** and ns: Significant at $p \leq 0.05$, significant at $p \leq 0.01$, and non significant, respectively (each data is the average of four replications).

نتیجه‌گیری

اکثر عناصر غذایی در برگ کیوی تیمار شده با کودهای آلی (با استثناء کاربرد آزولا) بیشتر از تیمار کود شیمیایی بود. علاوه بر این، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مهمترین عناصر غذایی در بهبود عملکرد درختان کیوی در باغ مورد مطالعه، به ترتیب نیتروژن، پتاسیم و کلسیم بودند. در مجموع می‌توان گفت که مصرف کودهای آلی همانند کود شیمیایی موجب افزایش غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه شده و با توجه به ارتباط معنی‌دار بدست آمده بین غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه با عملکرد، استفاده از کودهای آلی (مانند آزوکمپوست و ورمی‌کمپوست)، با توجه به مخاطرات زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی در شمال کشور و افزایش تمایل به مصرف میوه درختان تغذیه شده با کودهای آلی در بازار، امری ضروری است. اگرچه مطالعات بلند مدت این موضوع نیز ضرورت دارد تا ابعاد گسترده جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی مشخص شود.

در پرورش درختان کیوی و تولید محصول مناسب، حفظ حاصلخیزی خاک و مدیریت عناصر غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر اثرات کوتاه مدت چهار نوع کود آلی شامل آزولا، آزوکمپوست، کود گاوی و ورمی‌کمپوست و نیز کود شیمیایی کامل و تیمار بدون کود، بر غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه و ارتباط آن با عملکرد کیوی انجام شد. نتایج نشان داد کوددهی باعث افزایش عملکرد میوه در درختان کیوی به مقدار ۴۲، ۳۹، ۳۰، ۲۴ و ۲۲ درصد با ترتیب نزولی در تیمار آزوکمپوست، کود گاوی، کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و تیمار آزولا در مقایسه با شاهد شد. همچنین، اثر تیمارهای کودی علاوه بر عملکرد، بر مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ و میوه کیوی معنی‌دار بود. غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ کیوی در تمام تیمارهای کودی نسبت به شاهد (تیمار بدون کود) افزایش نشان داد و غلظت

- 1- Adhami A., Maftun M., and Molavi R. 2014. Soil testing and plant analysis laboratory guide. Yasouj University Press, PP: 34-195.
- 2- Ahmad Abadi Z., Ghajar Sepanlou M., and Rahimi Alashti S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Science, 15(58): 125-137. (in Persian with English abstract)
- 3- Amodio, M.L., Colelli G., Hasey J.K., and Kader A. 2007. A comparative study of composition and postharvest performance of organically and conventionally grown kiwifruits. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87: 1228-1236.
- 4- Ano O.A., and Agwn J.A. 2005. Effect of animal manure on selected soil chemical properties. Journal of Soil Science, 15:14-19.
- 5- Ashouri Vajary M. 2012. Study the storage life of Hayward kiwifruit based on mineral analysis of fruits. Master's thesis, University of Guilan.
- 6- Ashournejad M. 2011. Comparison methods of organic farming, integrated and conventional composition and behavior of kiwi fruit after harvest The 'Hayward'. Master's thesis, University of Guilan.
- 7- Atkinson R.G., and Macrae E.A. 2007. Kiwifruit. PP. 329-346, In: E. C. Pua and M.R Davey (Eds), Transgenic Crops V. Springer Verlag Pub. Berlin.
- 8- Baladi E., Toselli M., and Marangoni B. 2010. Nutrient partitioning in potted peach (*Prunus persica* L.) trees supplied with mineral and organic fertilizers. Journal Plant Nutrition, 33: 2050-2061.
- 9- Otero V., Barreal M.E., Martínez-Núñez L and Gallego P.P. 2010. Nutritional Status of Kiwifruit in Organic and Conventional Farming Systems. Applied Plant & Soil Biology, Faculty of Biology. University of Vigo, 36310, Vigo Spain.
- 10- Beng R.J. 1999. Storage potential of kiwifruit from alternative production systems. PhD Thesis, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- 11- Benge J.R., Banks N.H., Tillmann R and Nihalde Silva H. 2000. Pairwise comparison of the storage potential of kiwifruit from organic and conventional production system. HortScience.
- 12- Bordoloi L.J. 2007. Effect of organic plant nutrient sources on groundnut (*Arachis hypogaea*) productivity and soil fertility under intensive integrated farming system in Meghalaya. Journal of Environment and Ecology, 25: 1146-1150.
- 13- Boyd L.M., and Barnet A.M. 2007. Relationships between maturity nutrition and fruit storage quality in kiwifruit. International Society for Horticultural Science, 753:501-508.
- 14- Cheng W., Sakai H., Matsushima M., Yagi K., and Hasegawa T. 2010. Response of the floating aquatic fern *Azolla filiculoides* to elevated CO₂ temperature and phosphorus levels. Hydrobiologia, 656: 5-14.
- 15- Cooke G.W. 1997. Long term fertilizer experiment in England, the significance of their results for agriculture science and for practical farming. Annals of Agronomy, 27: 503-536.
- 16- Delgado A., Madrid A., Kassem S., Andreu L., and Campillo M.C. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. Plant and Soil, 245: 277-286.
- 17- Fageria N.A., Translated B.Y., Kamkar B., Safahani Langroudi A.R., and Mohammadi R. 2011. The Use of Nutrients in Crop Plants.
- 18- Fallahi E., Khemira H., Righetti T.L., and Azarenko A.N. 2002. Influence of foliar application of urea on tree growth, fruit quality leaf minerals and distribution of urea-driven nitrogen in apples. Acta Horticulturae, 594: 603-610.
- 19- Fageria N.K. 2008. The use of nutrition in crop plant. Boca Raton, FL: CRC Press. doi : 10.1093/aob/mcp227.
- 20- Ferguson I.B. 1980. Movement of mineral nutrients into the developing fruit of the kiwi fruit. New Zealand Journal of Agricultural Research, 23, 394-353.
- 21- François S., Julien P., Toussaint B., and Jean C. 2014. Relationships between the leaf and fruit mineral compositions of *Actinidia deliciosa* var. Hayward according to nitrogen and potassium fertilization. Food Chemistry, 147: 269-271.
- 22- Hassanzadeh F., Ebrahimi R., Raiesi T., and Moradi B. 2017. Effects of organic and chemical fertilizers on yield and quality in Hayward variety of kiwifruit, Soil Management and Sustainable Production, Volume 7, Number 2, 183-195
- 23- Hargreaves J.C., Adl M.S., and Warman P.R. 2008. A Review of the use of composted municipal solid wastes in agriculture. Agriculture Ecosystems and Environment, 123: 1-14.
- 24- Hugh R., Pommeresche R., Eltun R., Hansen S., and Korsæth A. 2008. Soil structure organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations fertilizer levels and manure use. Agriculture Ecosystems and Environment, 124: 275-284.
- 25- Iranian national standard, No. 13320. 2011. Compost Physical and chemical sampling and testing methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. <http://www.isiri.gov.ir/Portal/Home>.

- 26- Jumadi O., Hiola F., Hala Y., Norton J., and Inubushi K., .2014. Influence of Azolla (*Azolla microphylla* Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in a silt loam soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60: 722-730,
- 27- Benton Jones J. 2012. Plant nutrition and soil fertility manual, 2ad Edition, CRC Press, Taylor Francis Group , Boca Raton London New York
- 28- Laboski C.A.M., and Lamb J.A 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 544-554.
- 29- Jones J., and Benton J. 2012. Plant nutrition and soil fertility manual, 2ad Edition, CRC Press Inc., Boca Raton, FL. 304.
- 30- Laboski C.A.M., and Lamb J.A. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 544-554.
- 31- Mansour A.E.M., and Shaaban E.A. 2007. Effect of different source of mineral N applied with organic and biofertilizers on fruiting of 'Washington Navel' orange tree. *Journal of applied sciences research*, 3: 764-769.
- 32- Marschner H.1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Academic Press. Ltd. London, 889.
- 33- Mirzaei R., Kambozia H., Sabahi H., and Mahdavi A. 2009. Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato. *Iranian Journal of Crop Research*, Volume 7 , Number 1; Page(s) 259 To 270.
- 34- Millard P., and Grelet G.A. 2012. Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*, 30: 1083-1095.
- 35- Mengel K., and Kirkby E. 2002. Principles of plant nutrition, 5th Ed. Norwell, MA: Kluwer Academic Press. 849.
- 36- Mohhamadi G., and. Abdi Sanekoochi M. 1993. Kiwifruit and its management. University of Zanjan.
- 37- Moradi B., and Raiesi T. 2016. Nutrition of Kiwifruit vines, publications techniques, Number 14, Citrus and Subtropical Research center.
- 38- Moradi B ., Raiesi T., and Shahnazari S. 2016. Effect of different fertilization methods on quantitative and qualitative characteristics of kiwi fruit. *Journal of Soil Research*, Volume 30, Number3: Page(s) 239.
- 39- Pacheco C., Calouro F., and Vieira S. 2008. Influence of nitrogen and potassium on yield fruit quality and mineral composition of kiwifruit. *International Journal of Energy and Environment*, 2: 517-521.
- 40- Samswat S., Pazuki, A.R., Moghadam A., Samswat R., and practice S. 2015. Principles organic materials in agriculture, Free Islamic University unit garmsar.
- 41- Shela Gorinstein A., Ratiporn Haruenkit B., Sumitra Poovarodom C., Yong Seo Park D., Suchada Vearasilp E., Milan Suhaj F., Kyung Sik H., Buk Gu Heo H., Ja Yong Cho I., and Hong Jang G.I. 2009. The comparative characteristics of snake and kiwi fruits. *Food and Chemical Toxicology*, 47: 1884-1891.
- 42- Subedi P., and Shrestha J. 2015. Improving soil fertility through Azolla application in low land rice, A review. *Azarian Journal of Agriculture*, 2: 35-39.
- 43- Tavarini S., Degl Innocenti E., Remorini D., Massai R., and Guidi L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*, 107: 282-288.
- 44- Talley S.N., Jo talley B. 1977. Nitrogen fixation by Azolla in rice fields. In *Genetic Engineering for Nitrogen Fixation*, Institute of Ecology, Department of Agronomy and Range Science, University of California.
- 45- Toor G.S. 2009. Enhancing phosphorus availability in low-phosphorus soils by using poultry manure and commercial fertilizer. *Soil Science Society of America journal*, 174: 358-364.
- 46- Vizzotto G., Lain O., and Costa G. 1999. Relationship between nitrogen and fruit quality in kiwifruit. *Acta Horticulturae*, 498: 165-172.
- 47- Warrington I.J., and Weston G.C. 1990. *Kiwifruit Science and Management*, bennetts university, book center Ltd, Massey University, private bag, palmerston North.
- 48- Yamane T. 2014. Review-Foliar calcium applications for controlling fruit disorders and storage life in deciduous fruit trees. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 48: 123-126.
- 49- Yousefi R. 2014. The effects of organic nutrition on the physicochemical properties and secondary materials Hayward variety kiwifruit during storage and shelf life, Master's thesis, Senate nonprofit institution of higher education.



Effect of Fertilizer Type and its Source on Nutrients Distribution in Kiwifruit Leaves and Fruit

F. Hassanzade Naranjboni¹- R. Ebrahimi^{2*}-B. Moradi³- T. Raiesi⁴

Received: 25-04-2017

Accepted: 29-01-2018

Introduction: Type and source of fertilizer in fruit trees nutrition play an important role in increasing yield and fruit quality, shelf-life prolonging and reducing waste in harvested fruit. Evaluation of the possibility of integrated use of organic and inorganic fertilizers or gradual replacement of chemical fertilizers with organic manures is necessary in nutrition of kiwi vines, due to environmental issues resulted due to application of chemical fertilizers as well as increasing market value of organic fruits. Studies in this regard, especially comparison between organic manure and chemical fertilizer effects in kiwi fruit production is very limited. Therefore, this research was performed to investigate the short-term effects of four types of organic fertilizers as compared to chemical fertilizers over the amount of nutrients in leaves and fruits in Kiwi- Hayward variety.

Materials and Methods: This short-term field research was conducted in a randomized complete block design with six treatments including (azola, azocompost, vermicompost, cow manure, chemical fertilizer and control treatments) and four replications in Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center in Ramsar. Fertilizers were mixed with topsoil in canopy, weed control and drop irrigation was performed. The amount of nutrients, including nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in kiwi leaves and fruits were measured. In addition, relationship between nutrients in leaves and fruit yield was examined. The correlation analysis between mineral elements and the characteristics of qualitative and quantitative fruit firmness, dry matter, total soluble solids, titratable acidity and ratio of soluble solids to titratable acidity was performed. Stepwise regression equation between treatments with nitrogen, phosphorus, potassium and calcium was written on kiwifruit leaves and fruit. In addition, stepwise regression, the overall equation between yield and nutrient content of kiwifruit were reported.

Result and Discussion: The results showed that concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in leaves and fruits in Kiwi trees are higher than control treatment and the amounts of these elements in leaves and fruit were in optimum condition. Fertilization increased the amount of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in leaves and fruit of kiwifruit trees in fertilizer treatments, compared to the control. Azocompost treatment had the highest amount of nitrogen and calcium in leaves and fruit compared to other treatments. Azocompost and vermicompost treatments had the highest potassium content in the leaf. As well as cow manure, vermicompost and Azocompost treatments resulted in the highest amount of potassium in fruit. Increasing the amount of nutrients in the leaves of kiwifruit had a direct impact. The correlation between the amount of elements in the leaves and fruit showed a direct and significant relationship between nitrogen, phosphorus and potassium leaves and nitrogen, phosphorus and potassium in fruits. Increasing of nutrients in kiwifruit leaves had a direct and positive impact on fruits. In stepwise regression equation there was a significant relationship between the yield and amounts of nitrogen, phosphorus and potassium and kiwi fruit trees, and by increasing of these elements and yield was increased. Correlation analysis between minerals and firmness in kiwifruit showed that there are negative correlations between the nitrogen content in mature fruit and firmness at harvest time at probability level 5 percent. In addition, positive and significant correlation between the calcium content in mature fruit and firmness, as well as between the percentage of dry matter and phosphorus and potassium contents of mature fruit at harvest time was obtained. Results showed that a significant negative correlation was between soluble solids with calcium and between titratable acidity with phosphorus, and of soluble solids ratio to titratable acidity with nitrogen and phosphorus the mature fruit at harvest mature fruit.

Conclusion: In general, according to these research results we can say that use of organic fertilizers like chemical fertilizers in kiwifruit orchards increases the nutrient amounts in leaves and fruit of kiwifruit. In addition, there was a significant positive correlation between quantitative and qualitative characteristics of kiwifruit and its leaf and fruit

1 and 2- M.Sc. Graduate and Assistant Professor, Department of Soil Science, University of Guilan

(*-Corresponding Authors Email: rezaeabrahimi@guilan.ac.ir)

3 and 4- Instructor and Assistant Professor in Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREO), Ramsar

nutrients. Nitrogen, phosphorus and potassium have significant positive effect in increasing fruit yield. Chemical fertilizers leaching and environmental problems caused by the consumption of these fertilizers, motivated to use of organic fertilizers, such as vermicompost and azocompost in kiwifruit orchards, in order to produce fruit in north of the country.

Keywords: Chemical fertilizers, Organic fertilizers, Stepwise regression



مقایسه روش‌های مختلف آماری در برآورد اجزای بافت خاک با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی - فروسرخ نزدیک و کوتاه

محبوبه طیبی^{۱*} - مهدی نادری^۲ - جهانگرد محمدی^۳ - مهدیه حسینیجانی‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

چکیده

استفاده از روش‌های نوین از جمله طیف‌سنجی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه (۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) به عنوان یک روش سریع، آسان و کم هزینه در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک می‌تواند بسیار موثر باشد. این مطالعه با هدف بررسی توانایی داده‌های طیفی در محدوده مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه (۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) در برآورد اندازه ذرات خاک با استفاده از روش‌های رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) و رگرسیون مؤلفه اصلی (PCR) انجام شد. برای این منظور ۱۲۰ نمونه خاک از منطقه کفه مور، استان کرمان برداشته شد. جهت ارزیابی مدل ۸۰ درصد داده‌ها برای کالیبراسیون مدل و ۲۰ درصد برای صحت‌سنجی مدل به صورت تصادفی انتخاب شدند. همچنین جهت اعتبارسنجی از روش حذف هر بار یک نمونه (Leave one out-cross validation) استفاده شد نتایج نشان داد بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE برای داده‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای لگاریتم پارامترهای رس و شن در روش PLSR همراه با پیش‌پردازش مشتق دوم و برای لگاریتم سیلت در روش PLSR همراه با پیش‌پردازش مشتق اول به دست آمد. با توجه به مقادیر انحراف پیش‌بینی باقیمانده (RPD) پیش‌بینی مدل برای درصد رس و سیلت قابل قبول و برای درصد شن ضعیف می‌باشد. براساس نتایج این مطالعه طیف‌سنجی می‌تواند به عنوان یک روش سریع، آسان و غیرمخرب در برآورد اجزای بافت خاک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)، رگرسیون مؤلفه اصلی (PCR)، طیف‌سنجی

نموده‌اند (۱۲).

مقدمه

از آنجا که خاک نیز همانند سایر اجسام موجود در طبیعت براساس ترکیب و ساختار مولکولی خود، بازتاب مشخصی در نواحی مختلف امواج الکترومغناطیس و یا طول موج‌های گوناگون نشان می‌دهد، دارای سیمای طیفی مخصوص به خود است (۳۲). بنابراین می‌توان با کمک طیف‌های بازتابی اطلاعات فیزیکی و شیمیایی خاک را بدست آورد. برخی از ویژگی‌های خاک، مانند رنگ، بافت، ساختمان، کانی‌شناسی، ماده آلی، کربنات‌های آزاد، شوری، رطوبت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز در انعکاس بازتابی آن اثر می‌گذارند و سبب شکل‌گیری الگوی سیمای طیفی خاصی می‌شوند (۹).

بر اساس بررسی‌های انجام شده امکان استفاده از طیف‌سنجی به عنوان یک روش سریع، آسان، کم‌هزینه و پیشرفته برای پیش‌بینی ویژگی‌های خاک وجود دارد (۱، ۲۲ و ۴۰). در این رابطه گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد توزیع اندازه ذرات خاک (۱۲ و ۱۵)، مقدار اکسیدهای آهن (۱۹)، کربنات‌ها (۴ و ۲۴)، ماده آلی (۲۶)، مقدار

بافت خاک یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است که اهمیت بسیاری در مطالعات خاک، آب، محیط زیست و کشاورزی دارد. بافت خاک نقش کلیدی در فرآیندهای تخریب خاک و انتقال توسط آب، کنترل کیفیت خاک و بهروری آن دارد بنابراین به عنوان یکی از پارامترهای مهم محیطی خاک شناخته می‌شود (۱۶). تعیین بافت خاک و تهیه نقشه‌های آن در مقیاس‌های مختلف و سطوح وسیع نیازمند حجم بالای نمونه‌برداری، صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. از این‌رو محققین سعی در توسعه و استفاده از ابزارها و فن‌آوری‌های نوین علمی از جمله طیف‌سنجی در تعیین و برآورد بافت خاک

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته دکتری، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

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

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.63618

درصد رس، سیلت و شن خاک با استفاده از روش‌های PLSR و PCR و (۲) ارزیابی انواع روش‌های پیش‌پردازش داده‌های طیفی در مدل‌سازی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش و روش نمونه‌برداری

منطقه کفه مور با مساحت ۲۹۵۳۳ هکتار در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب سیرجان در مسیر جاده شیراز و بین طول‌های جغرافیایی ۵۵° تا ۵۵°۲۵' و عرض‌های جغرافیایی ۲۸°۵۱' تا ۲۹°۱۱' قرار گرفته است. به طوری که ناحیه معدنی سنگ آهن گل‌گهر در شمال آن واقع شده است (شکل ۱). معدن سنگ آهن گل‌گهر در حال حاضر یکی از بزرگترین معادن روباز در سطح کشور بوده و به طور گسترده و وسیع مواد معدنی آن از عمقی بسیار پایین‌تر از تراز سطح آب زیرزمینی منطقه، استخراج می‌گردد. در این ناحیه با توجه به معدن‌کاری‌های گسترده، تخلیه‌ی پساب‌های معادن به درون حوضچه‌ها و سدهای رسوب‌گیر، احتمال آلودگی خاک‌های مجاور، تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و در نتیجه تخریب خاک به طور گسترده وجود دارد (۱۸). میانگین بارندگی سالانه ۱۷۲ میلی‌متر، حداقل درجه حرارت ۱۲°C- و حداکثر آن ۴۲°C می‌باشد. رژیم حرارتی منطقه ترمیک و رژیم رطوبتی آن اریدیک است. این ناحیه در لبه شمال شرقی زون سنجند - سیرجان قرار گرفته است.

در این پژوهش محل نقاط نمونه‌برداری به روش هاپرکیوب لاتین (Latin Hypercube) با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط نرم افزار R مشخص گردید (۳۸). ۱۲۰ نمونه خاک به صورت مرکب و از اختلاط ۴ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک برداشته شد. به منظور تعیین بافت خاک و همچنین طیف‌سنجی، ابتدا نمونه‌های خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتر (۳۴) استفاده شد. در این روش پس از زدوده شدن مواد سیمان‌کننده و پراکنش دانه‌های خاک به کمک محلول کالگون و همزن برقی، با قرائت عدد هیدرومتر پس از ۴۰ ثانیه و ۲ ساعت درصد رس، سیلت و شن خاک محاسبه شد و به وسیله مثلث بافت خاک، کلاس بافت خاک تعیین شد.

برای اندازه‌گیری بازتاب طیفی خاک‌های مورد نظر در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و کوتاه (۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر) در آزمایشگاه، از دستگاه رادیواسپکترومتر (Analytical Spectral Devices, ASDFieldspec[®]3) استفاده شد. به گونه‌ای که حدود ۱۰۰ گرم از هر نمونه (با ضخامت حدود ۴ cm و قطر حدود ۶ cm) برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. رادیواسپکترومتر قبل از اولین استفاده و در فواصل منظم در طول قرائت (به ازای هر ۵ نمونه) با استفاده از

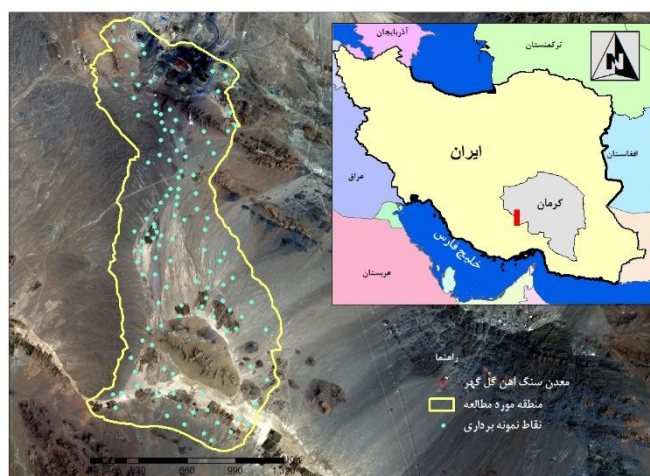
pH (۴۶)، رطوبت خاک (۱۳ و ۲۱) با استفاده از طیف‌سنجی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه (۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) برآورد شده است.

برای بررسی ارتباط بین پارامترهای طیفی ثبت شده خاک‌ها به وسیله اسپکترومتر^۱ و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها از مدل‌های مختلفی استفاده می‌شود (۴۰) که از آن جمله می‌توان رگرسیون حداقل مربعات جزئی (Partial Least Squares Regression, PLSR) (۴۹) و رگرسیون مؤلفه اصلی (Principal Component Regression, PCR) (۳۱) را نام برد. کیوئی (۳۷) از بازتاب طیف مادون قرمز میانی و روش PLSR جهت تخمین تغییرات کربن آلی، کربن غیر آلی، CEC، pH و رس ۱۹۸ نمونه خاک مدیترانه‌ای ایتالیا (جزایر غرب مدیترانه) استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که با استفاده از طیف‌سنجی و روش PLSR امکان تفکیک خصوصیات مهم این نمونه‌ها با مواد مادری متفاوت وجود دارد. سامرز و همکاران (۴۵) از روش PLSR و میگزبان انعکاس در محدوده VNIR-SWIR برای آزمون همبستگی بین کانی‌شناسی خاک، رس، کربن آلی استفاده کردند و گزارش نمودند که مقادیر R^2 برای تمامی پارامترها بیش از ۰/۵۰ و مقادیر درصد انحراف نسبی (Relative percent deviation, RPD) قابل قبول بوده است. شیفر و هرگاتن (۴۲) داده‌های طیفی در محدوده VIS/NIR و روش‌های PLSR و PCR را برای تخمین کربن آلی خاک در اتیوپی به کار بردند. نتایج نشان داد مقادیر r^2 و RPD مربوط به مدل PLSR به ترتیب ۰/۷، ۰/۶ و ۱/۵ و مقادیر مربوط به مدل PCR به ترتیب ۰/۷، ۰/۵ و ۱/۲ بودند و روش PLSR نسبت به روش PCR برتری داشته است.

از آنجا که عوامل متعددی از جمله پخشیدگی نور، غیرخطی بودن و بسیاری عوامل محیطی می‌توانند میزان توانایی مدل‌های ایجاد شده با داده‌های طیفی را تحت تأثیر قرار دهند (۳۹ و ۵۰) بنابراین در بیشتر مطالعات از روش‌های پیش‌پردازش مشتق اول (First Derivative, FD) و مشتق دوم (Second Derivative, SD) (۱۴ و ۳۱)، تصحیح پخشیده‌چندگانه (Multiplicative Scatter Correction, MSC) (۲۹ و ۳۹) و متغیر نرمال استاندارد (Standard Normal Variate, SNV) (۲) به عنوان تکنیک‌های جداناپذیر در مدلسازی طیفی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه کمی در خصوص برآورد اجزای بافت خاک به کمک داده‌های طیف‌سنجی و مدل‌های PLSR و PCR و همچنین مقایسه‌ی انواع تکنیک‌های پیش‌پردازش در کشور صورت نگرفته است، این پژوهش با هدف (۱) بررسی توانایی داده‌های طیفی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه (۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) در برآورد

شد و میانگین آن‌ها با استفاده از نرم افزار RS محاسبه و در تجزیه و تحلیل‌های طیفی در نظر گرفته شد.

صفحه سفید مبنا (White panel Spectralon) واسنجی شد. برای هر نمونه خاک ۲۰ اسکن به منظور کاهش میزان نویز در نظر گرفته



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کرمان.
Figure 1- Location of the Kafemoor basin in Kerman province, Iran

است که مؤلفه‌های اصلی تنها با مقادیر متغیرهای X تعیین می‌شود، در صورتی که در روش PLSR، مقادیر هر دو متغیرهای X و Y در ساخت مؤلفه‌ها تأثیر می‌گذارند (۷).

برای ارزیابی مدل‌های ایجاد شده توسط دو مدل ۸۰ درصد داده‌ها (تعداد ۹۶ نمونه) برای کالیبراسیون مدل و ۲۰ درصد (تعداد ۲۴ نمونه) برای صحت‌سنجی مدل به صورت تصادفی انتخاب شدند. همچنین جهت اعتبارسنجی مدل برآزش داده شده در گروه کالیبراسیون از روش اعتبارسنجی هر بار یک نمونه (Leave one out-cross validation) استفاده شد.

با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۱)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۲) و انحراف پیش‌بینی باقیمانده (Residual Prediction Deviation, RPD) (رابطه ۳) دقت و صحت مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند (۳۳).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSE} \quad \text{رابطه (۳)}$$

طول موج‌های بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر و ۲۴۵۰ تا ۲۵۰۰ که دارای آشفتگی‌های زیاد بودند حذف گردیدند و به منظور حذف هر گونه اطلاعات اضافی، انواع روش‌های پیش‌پردازش از جمله FD^1 و SD^2 به همراه فیلتر ساویتزکی-گلای (Savitzky-Golay)، MSC^3 و SNV^4 بر روی داده‌های طیفی به کمک نرم‌افزار 10.3 Unscambler انجام شد. بررسی توزیع آماری داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف توسط نرم‌افزار ۹ SAS انجام گردید. ابتدا با تبدیل داده‌ها به لگاریتم نرمال‌سازی داده‌ها انجام، سپس از روش‌های PLSR و PCR برای برآورد درصد رس، سیلت و شن خاک استفاده شد. در روش PLSR، معادلات ساختاری مبتنی بر مولفه‌های اصلی (PCA) می‌باشند با این تفاوت که در روش رگرسیون PLSR متغیرهای مستقل X نیز هم‌زمان با متغیرهای وابسته Y به تعدادی مؤلفه اصلی تبدیل می‌شود به نحوی که بیشترین درصد تغییرات، در مولفه‌های اولیه ارائه می‌شود (۳۶). در واقع هدف اصلی رگرسیون PLSR ساختن یک مدل خطی براساس رابطه $Y=AX+B$ است که در آن Y متغیر برآورد شده، X متغیر پیش‌بینی کننده می‌باشد. ضمناً A ماتریسی شامل ضرایب رگرسیون و B ماتریسی از خطاهای باقیمانده است (۵ و ۱۰). رگرسیون مؤلفه اصلی ترکیبی از رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. تفاوت عمده PLSR با PCR این

- 1- First Derivative
- 2- Second Derivative
- 3- Multiplicative Scatter Correction
- 4- Standard Normal Variate

P_i و O_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده، SD، انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول (۱) خلاصه آماری برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد میزان رس بین ۴/۸۸ تا ۳۲/۵۲ درصد، میزان سیلت بین ۲ تا ۷۶ درصد و میزان شن بین ۳/۴۸ تا ۹۱/۸۴ درصد متغیر است. براساس توزیع کلاس‌های بافتی، خاک‌های منطقه در ۷ کلاس بافتی خاک شامل شن، لوم شنی، لوم رسی شنی، لوم، سیلت لوم، شنی لومی و لوم رسی سیلتی قرار می‌گیرند. چگالی ظاهری خاک از ۱/۱۵ تا ۲/۲۱ مگا گرم بر مترمکعب و چگالی حقیقی خاک از ۲/۰۵ تا ۲/۹۲ مگا

گرم بر مترمکعب متغیر بود و بر این اساس میانگین درصد تخلخل خاک‌ها ۰/۳۵ بدست آمد. میانگین غلظت آهن در خاک‌های مورد مطالعه برابر با ۲۴۰۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین درصد ماده آلی خاک ۰/۲۴ درصد بدست آمد. pH خاک بین ۷/۰۳ تا ۸/۸۷ و هدایت الکتریکی خاک بین ۰/۳۶ تا ۲۹۵/۰۶ دسی زیمنس بر متر متغیر است. همچنین برای درصد رس، سیلت، آهن، ماده آلی و هدایت الکتریکی خاک، ضریب تغییرات بالاتر از ۳۵ درصد می‌باشد که براساس طبقه‌بندی ارائه شده توسط ویلدینگ (۴۸) نشانگر وجود تغییرات زیاد در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. ضریب تغییرات برای درصد شن بین ۱۵ تا ۳۵ درصد است که بیانگر وجود تغییرات متوسط است.

جدول ۱- خلاصه آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Summary statistics of soil physical and chemical properties

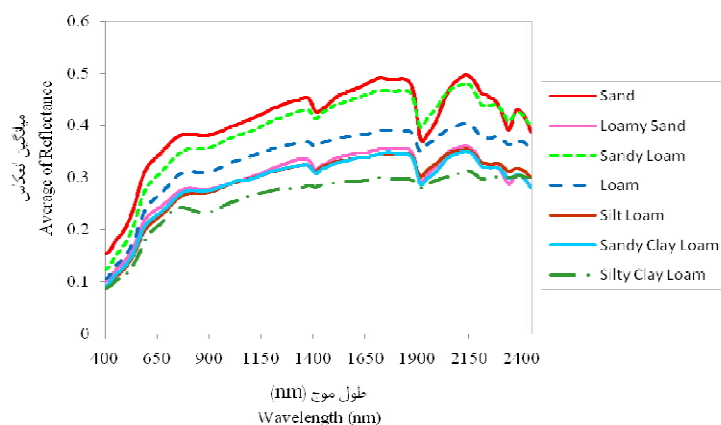
متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف	ضریب
رس	%	4.88	32.52	12.01	4.65	38.71
سیلت	%	2	76	29.57	17.09	57.79
شن	%	3.48	91.84	58.42	18.91	32.37
چگالی ظاهری	Mgm ⁻³	1.15	2.21	1.66	0.14	8.35
چگالی حقیقی	Mgm ⁻³	2.05	2.92	2.55	0.12	4.7
تخلخل	%	0.21	0.44	0.35	0.03	7.35
Fe	(mg kg ⁻¹)	4436.25	271375	24040	45119	187.68
O.M	(%)	0.03	0.69	0.24	0.14	58.33
pH	-	7.03	8.87	7.74	0.57	7.40
EC	(ds m ⁻¹)	0.36	295.06	32.14	61.03	189.88

ویژگی‌های طیفی خاک

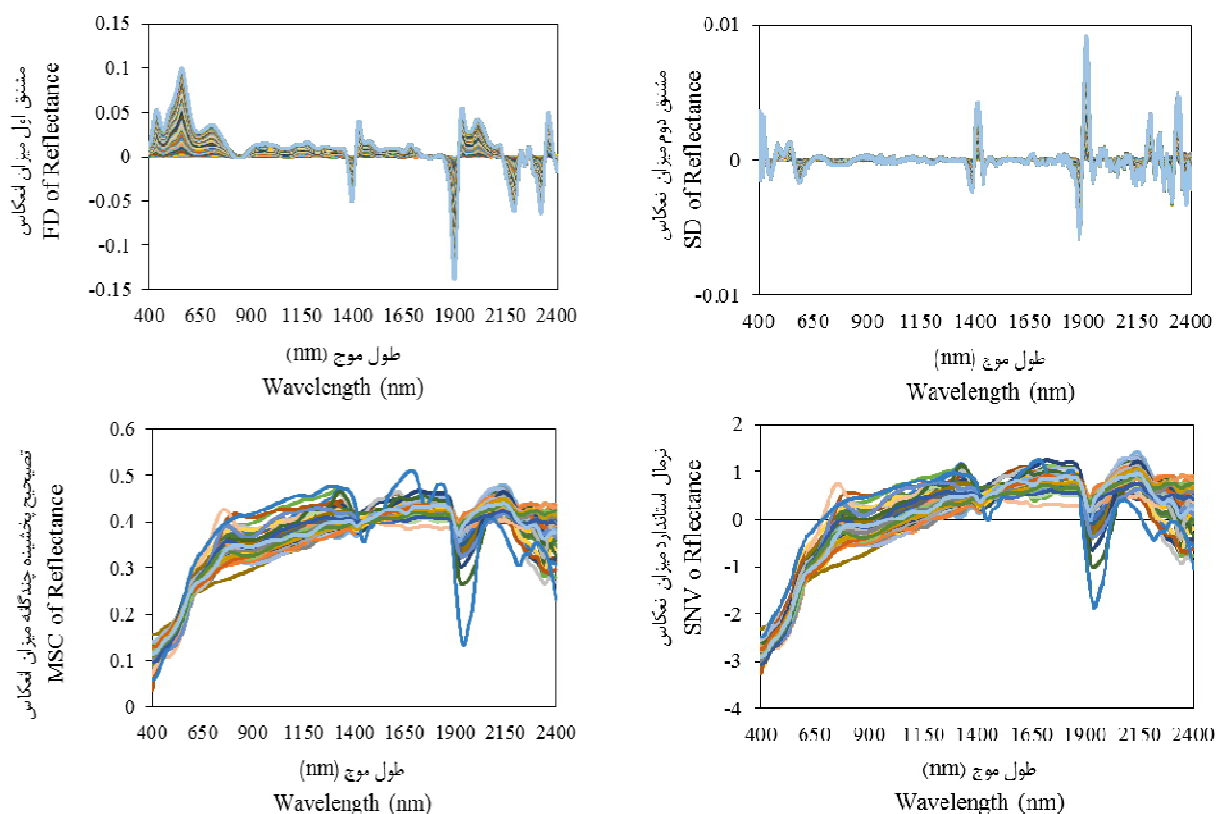
در شکل ۲ منحنی‌های طیفی میانگین ۷ کلاس بافت خاک آورده شده است. بر اساس تحقیقات هانت و اشلی (۱۷) تمام خاک‌ها دارای سیمای طیفی تقریباً مشابه‌ای هستند و ویژگی‌های جذبی آب در ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر و ویژگی‌های جذبی رس در ۲۳۰۰ نانومتر را نشان می‌دهند. مقایسه منحنی‌های طیفی در کلاس‌های مختلف بافتی نشان داد که بافت شن، شنی لومی و لوم دارای بیشترین بازتابش و کلاس لوم رسی سیلتی کمترین بازتابش را دارد. هر چند بر طبق نتایج محققین مختلف مشخص شده است که هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد خاک نرمتر و میزان بازتابش بیشتر است. نتایج معکوس ما و افزایش شدت بازتابش در بافت‌های درشت‌تر را می‌توان به وجود مقادیر بیشتر شن و در نتیجه ترکیبات کوارتز که از مهمترین فاکتورهای شدت بازتابش است، نسبت داد (۳ و ۴۴). در بافت لوم رسی سیلتی کاهش میزان بازتابش به دلیل وجود رس و فیلولسیلیکات‌ها است. علت این نتایج در خاک‌های منطقه را نیز

می‌توان به وجود مقادیر زیاد آهن در نمونه‌های خاک و افزایش تیرگی رنگ خاک نسبت داد. از آنجا که هر چه اندازه ذرات خاک کوچکتر باشند به دلیل سطح ویژه بالاتر و همچنین وجود کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم دارای توانایی بالاتری در نگهداری فلزات سنگین به خصوص آهن می‌باشند (۶ و ۲۸). به طور کلی طیف خاک در محدوده VNIR/SWIR تحت تاثیر مجموعه‌ای از عوامل مختلف از جمله بافت، رنگ، ساختمان، کانی‌شناسی، ماده آلی، کربنات‌های آزاد، شوری، رطوبت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز قرار می‌گیرد (۸).

لوکاس و گاکلی (۲۷) رنگ خاک را یکی از عوامل مهم در تغییر بازتابش در خاک دانستند. جونز و واگان (۲۰) گزارش کردند که سایه‌ی ذرات درشت، زبری سطحی و رطوبت بالا عوامل تاثیرگذار بر میزان بازتابش خاک هستند. شکل (۳) طیف انعکاسی نمونه‌های خاک بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های FD و SD به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای، MSC و SNV را نشان می‌دهند.



شکل ۲- منحنی طیفی خاک‌ها در محدوده مرئی-فروسرخ نزدیک و کوتاه براساس میانگین انعکاس در ۷ کلاس بافتی
Figure 2-Reflectance spectra of soil samples in the visible- near-infrared and shortwave infrared regions based on average of reflectance for 7 soil texture classes



شکل ۳- طیف انعکاسی ۱۲۰ نمونه خاک بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های مشتق اول (FD)، مشتق دوم (SD)، تصحیح پخشیده چندگانه (MSC) و متغیر نرمال استاندارد (SNV) در محدوده مرئی- فروسرخ نزدیک و کوتاه (۴۰۰-۲۴۵۰ نانومتر).

Figure 3- Reflection spectrum of 120 soil samples after applying First (FD) and Second Derivative of reflectance (SD), multiplicative scatter correction (MSC) and standard normal variate (SNV) pre-processing in the visible- near-infrared and shortwave infrared regions

برآورد ذرات رس، سیلت و شن با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک

جدول‌های ۲ تا ۴ مقادیر R^2 ، RMSE و RPD حاصل از مدل‌سازی با استفاده از روش‌های PLSR و PCR و انواع روش‌های پیش‌پردازش در برآورد ذرات رس، سیلت و شن را نشان می‌دهند. در روش PLSR نتایج برآورد لگاریتم درصد رس نشان داد که مقادیر R^2 از ۰/۲۲ تا ۰/۷۲ در گروه کالیبراسیون و از ۰/۱۲ تا ۰/۵۴ در گروه اعتبارسنجی متغیر است. مقدار RMSE در دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب از ۰/۰۸ تا ۰/۱۳ و در گروه اعتبارسنجی از ۰/۱۰ تا ۰/۱۴ متغیر است. در برآورد لگاریتم درصد رس با استفاده از روش PLSR، بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE با پیش‌پردازش SD و کمترین مقدار R^2 و بیشترین مقدار RMSE بدون استفاده از پیش‌پردازش در هر دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی حاصل شد (جدول ۲). شاخص RPD از دیگر معیارهای سنجش مدل در مطالعات طیف‌سنجی می‌باشد که به ۶ کلاس خیلی ضعیف ($RPD < 1$)، ضعیف ($1 - 1/4$)، متوسط ($1/4 - 1/2$)، خوب

($1/2 - 2$)، خیلی خوب ($2 - 5$) و عالی ($RPD > 5$) طبقه‌بندی می‌شوند (۷ و ۳۳). مقادیر RPD برای داده‌های کالیبراسیون (RPD_{CV}) برابر با ۱/۹۲ و برای داده‌های اعتبارسنجی (RPD_{VAL}) برابر با ۱/۵۴ محاسبه شد. RPD_{CV} و RPD_{VAL} براساس طبقه‌بندی چانگ و همکاران (۸) و موازن و همکاران (۳۵) در کلاس خوب قرار می‌گیرند. در روش PCR تنها پیش‌پردازش SD قادر به ایجاد ارتباط بین داده‌های طیفی و لگاریتم درصد رس بود هرچند که در کلاس ضعیف قرار می‌گیرد. سایر روش‌های پیش‌پردازش نیز نتایج خوبی را ارائه ندادند (جدول ۲).

براساس آزمون عدم قطعیت مارتینز طیف‌های مهم در مدل‌سازی براساس روش‌های اعتبارسنجی تلاقی (cross validation)، جک نایف و نقاط پایدار، مشخص شدند (۷ و ۳۰). براساس این روش ۶۵ طیف به عنوان طیف‌های مهم در تعیین لگاریتم درصد رس هستند که مهمترین آن‌ها براساس بیشترین ضریب رگرسیونی در روش PLSR با پیش‌پردازش SD برابر با ۲۰۸۷ نانومتر است.

جدول ۲- نتایج آماری روش‌های PLSR و PCR و روش‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی در تعیین لگاریتم رس (%)

Table 2- Statistics results of PLSR and PCR methods with different pre-processing techniques for estimating of LogClay (%)

مدل	پیش‌پردازش	R^2_{CV}	RMSE _{CV}	R^2_{VAL}	RMSE _{VAL}	RPD _{CV}	RPD _{VAL}
PLSR	No	0.22	0.13	0.12	0.14	1.18	1.10
	FD	0.43	0.11	0.22	0.11	1.39	1.39
	SD	0.72	0.08	0.54	0.10	1.92	1.54
	MSC	0.27	0.13	0.16	0.14	1.19	1.10
	SNV	0.28	0.12	0.15	0.14	1.28	1.10
PCR	No	-	-	-	-	-	-
	FD	-	-	-	-	-	-
	SD	0.21	0.13	0.12	0.14	1.20	1.12
	MSC	-	-	-	-	-	-
	SNV	-	-	-	-	-	-

لگاریتم درصد سیلت هستند که مهمترین آن‌ها براساس بیشترین ضریب رگرسیونی در روش PLSR با پیش‌پردازش FD برابر با ۲۳۵۷ نانومتر است.

در برآورد لگاریتم درصد شن با استفاده از PLSR، مقدار R^2 در دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب از ۰/۱۱ تا ۰/۵۶ و ۰/۰۸ تا ۰/۴۷ برای بدون پیش‌پردازش و پیش‌پردازش SD محاسبه شد. کمترین مقدار RMSE در پیش‌پردازش SD و بیشترین مقدار RMSE برای بدون پیش‌پردازش در دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی بدست آمد. بیشترین شاخص RPD در هر دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی در پیش‌پردازش SD بدست آمد که نشان دهنده کارایی خوب در گروه کالیبراسیون و کارایی ضعیف در گروه اعتبارسنجی براساس طبقه‌بندی چانگ و همکاران (۸) و موازن و

در برآورد لگاریتم درصد سیلت با استفاده از روش PLSR، مقدار R^2 در گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب از ۰/۳۴ تا ۰/۷۳ و ۰/۲۷ تا ۰/۵۸ متغیر است. کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار شاخص RPD برای روش FD در دو گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی بدست آمد (جدول ۳). مقادیر RPD_{CV} برابر با ۲/۰۷ و برای RPD_{VAL} برابر با ۱/۵۲ محاسبه شد. RPD_{CV} و RPD_{VAL} براساس طبقه‌بندی چانگ و همکاران (۸) و موازن و همکاران (۳۵) به ترتیب در کلاس خیلی خوب و خوب قرار می‌گیرند. در روش PCR پیش‌پردازش MSC، بیشترین مقادیر R^2 و کمترین مقادیر RMSE را برای داده‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی نشان داد که کارایی مدل در هر دو حالت ضعیف است (جدول ۳). براساس آزمون عدم قطعیت مارتینز (۷ و ۳۰) ۱۰۶ طیف به عنوان طیف‌های مهم در تعیین

همکاران (۳۵) است (جدول ۴). در روش PCR و پیش‌پردازش MSC، بیشترین مقادیر R^2 و کمترین مقادیر RMSE برای داده‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی حاصل شد که کارایی مدل در هر دو حالت ضعیف است (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج آماری روش‌های PLSR و PCR و روش‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی در تعیین لگاریتم سیلت (%)

Table 3- Statistics results of PLSR and PCR methods with different pre-processing techniques for estimating of LogSilt (%)

مدل	پیش‌پردازش	R^2_{CV}	RMSE _{CV}	R^2_{VAL}	RMSE _{VAL}	RPD _{CV}	RDP _{VAL}
PLSR	No	0.34	0.23	0.27	0.24	1.16	1.24
	FD	0.73	0.14	0.54	0.19	2.07	1.52
	SD	0.70	0.15	0.58	0.18	1.93	1.61
	MSC	0.49	0.20	0.33	0.24	1.45	1.21
	SNV	0.46	0.21	0.35	0.23	1.38	1.26
PCR	No	0.37	0.22	0.25	0.25	1.31	1.16
	FD	0.34	0.23	0.24	0.25	1.20	1.10
	SD	0.27	0.24	0.16	0.26	1.17	1.08
	MSC	0.47	0.20	0.37	0.23	1.31	1.25
	SNV	0.40	0.22	0.35	0.23	1.30	1.24

جدول ۴- نتایج آماری روش‌های PLSR و PCR و روش‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی در تعیین لگاریتم شن (%)

Table 4- Statistics results of PLSR and PCR methods with different pre-processing techniques for estimating of LogSand (%)

مدل	پیش‌پردازش	R^2_{CV}	RMSE _{CV}	R^2_{VAL}	RMSE _{VAL}	RPD _{CV}	RDP _{VAL}
PLSR	No	0.11	0.20	0.08	0.21	1.11	1.06
	FD	0.13	0.20	0.09	0.21	1.12	1.06
	SD	0.56	0.14	0.47	0.16	1.59	1.39
	MSC	0.22	0.19	0.12	0.21	1.17	1.06
	SNV	0.21	0.19	0.13	0.20	1.18	1.12
PCR	No	0.11	0.21	0.07	0.21	1.06	1.06
	FD	0.15	0.20	0.11	0.21	1.12	1.07
	SD	0.24	0.19	0.17	0.20	1.18	1.12
	MSC	0.29	0.18	0.13	0.21	1.25	1.07
	SNV	0.13	0.18	0.07	0.19	1.11	1.05

R^2 و ریشه مربعات خطا (RMSEP) برای ۲۰ درصد داده‌ها که از قبل جدا شده بودند، تعیین گردید (جدول ۵). برای تعیین لگاریتم درصد رس و شن روش PLSR همراه با پیش‌پردازش SD و برای تعیین لگاریتم درصد سیلت روش PLSR همراه با پیش‌پردازش مشتق اول به عنوان روش‌های مناسب‌تری انتخاب شدند. نتایج صحت سنجی نشان داد مقادیر R^2_{PRE} برای لگاریتم درصد رس، سیلت و شن به ترتیب برابر با ۰/۶۲، ۰/۸۲ و ۰/۲۵ و مقادیر RMSEP به ترتیب برابر با ۰/۰۸، ۰/۱۱ و ۰/۱۴ بودند.

براساس آزمون عدم قطعیت مارتینز (۷ و ۳۰) ۱۰۶ طیف به عنوان طیف‌های قابل قبول برای تعیین درصد شن بودند که مناسب ترین آن‌ها براساس بیشترین ضریب رگرسیونی در روش PLSR با پیش‌پردازش SD برابر با ۲۳۵۷ نانومتر بود.

ارزیابی صحت داده‌های طیفی در برآورد ذرات رس، سیلت و شن

برای صحت‌سنجی مدل‌های ایجاد شده توسط روش‌های PLSR و PCR با روش‌های مختلف پیش‌پردازش مقادیر ضریب تبیین (R^2_{PRE})

جدول ۵- نتایج صحت سنجی مدلسازی برای لگاریتم رس، سیلت و شن (%)

Table 5- Results of accuracy for modeling of LogClay, LogSilt and LogSand (%)

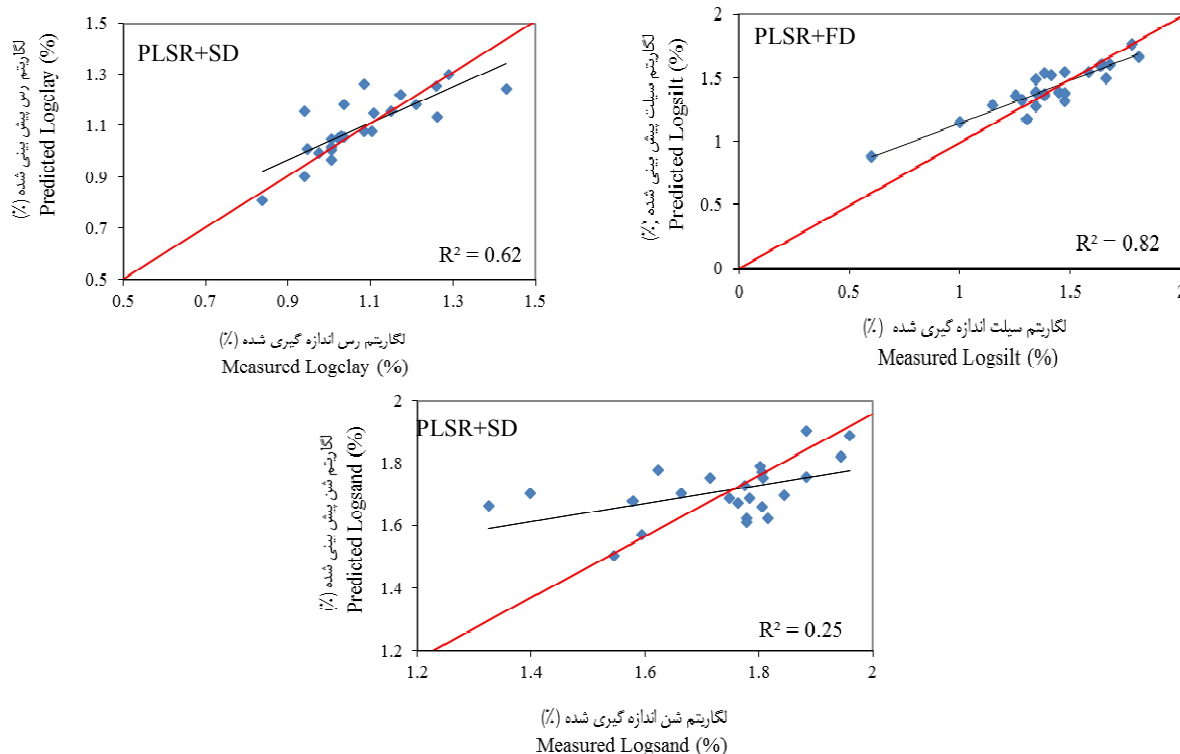
متغیر	واحد	مدل	پیش‌پردازش	R^2_{PRE}	RMSEP
لگاریتم رس	%	PLSR	SD	0.62	0.08
لگاریتم سیلت	%	PLSR	FD	0.82	0.11
لگاریتم شن	%	PLSR	SD	0.25	0.14

درصد رس، سیلت و شن را نشان می‌دهد. در مورد صحت معادلات،

شکل (۵) رابطه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده لگاریتم

estimation) و در درصدهای بالاتر از ۱۸ درصد میزان سیلت اندازه‌گیری شده و برآورد شده نزدیک خط ۱:۱ قرار دارند که نشانه دقت بیشتر در پیش‌بینی مقادیر بالاتر سیلت است. در مورد شن در مقادیر مختلف هم کم برآوردی و هم بیش برآوردی وجود دارد که نشانه دقت کم در پیش‌بینی میزان شن خاک است.

شکل (۵) نشان می‌دهد که تقریباً برای ذرات رس پایین‌تر از ۱۹/۵ درصد ($\text{LogClay}=1/29$) میزان رس اندازه‌گیری شده و برآورد شده نزدیک خط ۱:۱ قرار دارند و معادله توانسته است تخمین اندازه‌گیری شده را با دقت بالایی انجام دهد. در مورد سیلت برای درصدهای پایین‌تر از ۱۸ درصد ($\text{LogSilt}=1/25$) معادله بیش برآوردی (Over



شکل ۵- رابطه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده لگاریتم رس، سیلت و شن (%)
 Figure 5- Measured vs. Predicted LogClay, LogSilt and LogSand (%)

به عنوان روشی کارآمد در مطالعات زمین‌آماري و ایجاد نقشه‌های شن، رس و سیلت خاک‌های جنگلی در جنوب ایتالیا دانستند. سیلوا و همکاران (۴۳) از روش PLSR و داده‌های طیفی ناحیه ۱۰۷۵-۳۲۵ نانومتر برای تعیین اجزای بافت خاک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که این روش برای رس و سیلت نتایج قابل قبولی دارد در حالی که برای شن نتایج ضعیف است. لاسردا و همکاران (۲۳) از روش PLSR برای پیش‌بینی بافت خاک استفاده نمودند. نتایج نشان داد مقدار R^2 برای شن و رس به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۹۳ است و پیش‌بینی بافت خاک با استفاده از طیف‌سنجی ۱/۲ درصد با مقادیر واقعی اختلاف دارد. آن‌ها اظهار داشتند این روش می‌تواند به توسعه برنامه‌های کامپیوتری در ارتباط با کلاس‌بندی بافت خاک و نقشه برداری دیجیتالی خاک در مقیاس دقیق کمک کند.

همچنین مقایسه روش‌های مختلف پیش‌پردازش برای رس، سیلت و شن نشان داد که دقت مدل‌سازی با به کارگیری انواع

به طور کلی براساس نتایج به دست آمده، روش PLSR در مقایسه با روش PCR دارای کارایی بالاتری است و بهترین نتایج مدل‌سازی با پیش‌پردازش SD برای برآورد رس و شن و با پیش‌پردازش FD برای برآورد سیلت به دست آمد. دیگر پژوهشگران نیز نتایج مشابهی مبنی بر نتایج بهتر روش PLSR در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه (۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) بدست آوردند (۲۵، ۴۲، ۴۷). برای مثال کیورسیو و همکاران (۱۲) از روش PLSR و داده‌های طیف‌سنجی برای تعیین بافت خاک استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد مقدار R^2 برای رس، سیلت و شن به ترتیب برابر با ۰/۸۷، ۰/۸۰ و ۰/۶۰ و مقدار RMSE به ترتیب برابر با ۵/۸، ۷/۷ و ۷/۲ درصد است. دیوا و همکاران (۱۳) نیز از روش طیف‌سنجی برای تعیین بافت خاک استفاده نمودند. کانفورتی و همکاران (۱۱) استفاده از داده‌های طیف‌سنجی در دامنه VNIR/SWIR و روش PLSR را

شن ضعیف بود ولی با داشتن مقادیر رس و سیلت به راحتی می‌توان مقادیر شن خاک را محاسبه نمود. براساس نتایج به دست آمده، روش PLSR در مقایسه با روش PCR دارای کارایی بالاتری است و بهترین نتایج مدل‌سازی با پیش‌پردازش SD برای برآورد رس و شن و با پیش‌پردازش FD برای برآورد سیلت به دست آمد. استفاده از روش‌های مختلف پیش‌پردازش نتایج پیش‌بینی درصد اجزای بافت خاک را بهبود بخشید بنابراین یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر دقت مدل‌سازی با استفاده از داده‌های طیفی، انجام پیش‌پردازش بر روی داده‌های طیفی خاک و انتخاب مناسب‌ترین روش پیش‌پردازش است. به طور کلی هرچند بافت خاک از پارامترهای زودبافت خاک می‌باشد، اما در سطوح وسیع به دلیل حجم بالای نمونه‌برداری، نیازمند به صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشند. از این‌رو استفاده از ابزارها و فن‌آوری‌های نوین علمی می‌تواند در تعیین و برآورد آن‌ها در مقیاس بزرگ مؤثر باشد.

روش‌های پیش‌پردازش بر روی داده‌های طیفی می‌تواند افزایش یافت. قلی‌زاده (۱۴) و شرما و همکاران (۴۱) نیز نتایج مشابه‌ای بدست آوردند. به طور کلی طیف‌سنجی می‌تواند برای تعیین بافت خاک به کار رود.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی اثر کلاس‌های بافتی مختلف بر منحنی طیفی نشان داد علاوه بر بافت خاک، مجموعه‌ای از عوامل مختلف از جمله رنگ، ساختمان، کانی‌شناسی، ماده آلی و... می‌تواند بر میزان بازتابش در محدوده VNIR/SWIR مؤثر باشد. نتایج این مطالعه نشان داد با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه (۴۰۰-۲۴۵۰ نانومتر) می‌توان درصد اجزای بافت خاک را تعیین نمود. در واقع طیف‌سنجی به عنوان یک روش سریع، آسان و کم هزینه می‌تواند در پیش‌بینی درصد رس و سیلت خاک مورد استفاده قرار گیرد. هر چند نتایج طیف‌سنجی برای برآورد درصد

منابع

- 1- Araújo S.R., Demattê J.A.M., Franceschini M.H.D., Rizzo R., Stenberg B., and Wetterlind J. 2013. Improving the predictive performance of a national vis-NIR spectroscopic library by comparing clustering data transformation, and data-mining calibration techniques. p. 2431-2440. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13 - 18 April. 2013. Foz do Iguaçu, PR, Brazil.
- 2- Barnes R.J., Dhanoa M.S., and Lister S.J. 1989. Standard Normal Variate Transformation and De-trending of Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra. *Applied Spectroscopy*, 43:772-777.
- 3- Bellinaso H., Demattê J.A.M., and Araújo S.R. 2010. Soil spectral library and its use in soil classification. *Rev. Bras.Ciênc. Solo*, 34:861-870.
- 4- Ben-Dor E., and Banin A. 1995. Near-infrared analysis (NIRA) as a method to simultaneously evaluate spectral featureless constituents in soils. *Soil Science*, 159:259-270.
- 5- Bureau S., Ruiz D., Reich M., Gouble B., Bertrand D., Audergon J.M., and Renard C.M.G.C. 2009. Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 113: 1323-1328.
- 6- Cai Y., Cabrera J.C., Georgiadis M., and Jayachandran K. 2002. Assessment of arsenic mobility in the soils of some golf courses in South Florida. *Science of the Total Environment*, 291:123-134.
- 7- CAMO AS Press. 2006. The Unscrambler Tutorials. CAMO Software Research & Development Team, CAMO Software, NedreVollgate 8, N-0158, Oslo, Norway, retrieved on March 20/2012 from <http://www.camo.com/>
- 8- Chang C.W., Laird D.A., Mausbach M.J., and Hurburgh C.R. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties *Soil Science Society of America Journal*, 65:480-490.
- 9- Chen L., Sheng-lu Z., Shao-hua W., Qing Z., and Qi D. 2014. Spectral Response of Different Eroded Soils in Subtropical China: A Case Study in Changting County, China. *Journal of Materials Science*, 11: 697-707.
- 10- Cho M.A., Skidmore A., Corsi F., van Wieren S.E., and Sobhan I. 2007. Estimation of green grass/herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9: 414-424.
- 11- Conforti M., Froio R., Matteucci G., and Buttafuoco G. 2015. Visible and near infrared spectroscopy for predicting texture in forest soil: an application in southern Italy. *iForest*, 8: 339-347
- 12- Curcio D., Ciraolo G., D'Asaro F., and Minacapillia M. 2013. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy. *Procedia Environmental Sciences*, 19:494 - 503.
- 13- Divya Y., Sanjeevi S., and Ilamparuthi K. 2014. A study on the hyperspectral signatures of sandy soils with varying texture and water content. *Arabian Journal of Geosciences*, 7:3537-3545.
- 14- Gholizadeh A., Boruvkai L., Saberioon M.M., Kozaki J., Vasati R., and Nemeki K. 2015. Comparing Different Data Preprocessing. *Soil & Water Res.*, 10:218-227.

- 15- Gomez C., Rossel V., and McBratney B. 2008. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma*, 146:403-411.
- 16- Hillel D. Applications of Soil Physics. Academic Press Inc. 1980.
- 17- Hunt G.R., and Ashley R.P. 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74:1613-1629.
- 18- Jahanshahi R., and Zare, M, 2015. Assessment of heavy metals pollution in groundwater of Golgohar iron ore mine area, Iran. *Environmental Earth Science*, 74:505-520.
- 19- Ji J.F., Balsam W.L., Chen J., and Liu L.W. 2002. Rapid and quantitative measurement of hematite and goethite in the Chinese Loess-Paleosol sequence by diffuse reflectance spectroscopy. *Clay Mineral*, 50:208-216.
- 20- Jones H.G., and Vaughan R.A. 2010. Remote sensing of vegetation (principles, techniques, and applications. Oxford University Press, New York.
- 21- Kaletia A.L., Tian L.F., and Hirschi M.C. 2005. Relationship between soil moisture content and soil surface reflectance. *Transactions of the ASAE*, 48:1979-1986.
- 22- Klement A., Jaksik O., Kodesova R., Drabek O., and Boruvka L. 2013. Application of VNIR diffuse reflectance spectroscopy to estimate soil organic carbon content, and content of different forms of iron and manganese. *Geophysical Research Abstracts*, 15:10846-1.
- 23- Lacerda M.P.C., Demattê J.A.M., Sato M.V., Fongaro C.T., Gallo B.C., and Souza A.B. 2016. Tropical Texture Determination by Proximal Sensing Using a Regional Spectral Library and Its Relationship with Soil Classification. *Remote Sensing*, 8(701):1-20.
- 24- 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*, 112:825-835.
- 25- Lee K.S., Lee D.H., Sudduth K.A., Chung S.O., Kitchen N.R., Drummond S.T. 2009. Wavelength identification and diffuse reflectance estimation for surface and profile soil properties. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 52:683-695
- 26- Liu Y., Jiang Q., Fei T., Wang J., Shi T., Guo K., Li X., and Chen Y. 2014. Transferability of a Visible and Near-Infrared Model for Soil Organic Matter Estimation in Riparian Landscapes. *Remote Sensing*, 6:4305-4322
- 27- Lucas Y., and Gagelli J. 2002. Hyperspectral detection of sand. p. 12-17. 7th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, 20-22 May. 2002. Miami, Florida. U.S
- 28- Luo X., Yu S., and Li X. 2011. Distribution, availability, and sources of trace metals in different particle size fractions of urban soils in Hong Kong: Implications for assessing the risk to human health. *Environmental Pollution*, 159:1317-1326
- 29- Martens H., Jensen S.A., Geladi P. 1983. Multivariate linearity transformations for near infrared reflectance spectroscopy. In: Christie O.H.J. Proc. Nordic Symp. Stokkland Forlag, Norway: Applied Statistics; p. 205-234.
- 30- Martens H., Martens M. 2000. Modified jack-knife estimation of parameter uncertainty in bilinear modelling by partial least squares regression (pls-r). *Food Qual Prefer*, 11:5-16.
- 31- Martens H., Næs T. 1989. Multivariate Calibration. John Wiley & Sons: Chichester, United Kingdom.
- 32- McCoy R.M. 2005. Field Methods in Remote Sensing. A Division of Guilford Publications, Inc. Spring, New York, U.S, pp. 67-87.
- 33- McDowell M.L., Bruland G.L., Deenik J.L., Grunwald S., and Knox N.M. 2012. Soil total carbon analysis in Hawaiian soils with visible, near-infrared and mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 189:312-320
- 34- Miller R.H., and Keeny D.R. 1992. Methods of Soil Analysis. p. 65-98. Part 1, 2, Physical, Chemical and Mineralogical properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- 35- Mouazen A.M., Kuang B., De Baerdemaeker J., and Ramon H. 2010. Comparison between principal components, partial least squares and artificial neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared 455 spectroscopy. *Geoderma*, 158:23-31.
- 36- Nørgaard L., Saudland A., Wagner J., Nielsen J.P., Munck L., and Engelsen S.B. 2000. Interval partial least-squares regression (iPLS): A comparative chemometric study with an example from near-infrared spectroscopy, *Applied Spectroscopy*, 54:413-419.
- 37- Qiu H. 2010. Studies on the potential ecological risk and homology correlation of heavy metal in the surface soil. *Journal of Agricultural Science*, 2:1916-9760.
- 38- R Development Core Team. 2009. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- 39- Rinnan A., Berg F.V.D., and Engelsen S.B. 2009. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *Trends in Analytical Chemistry*, 28: 1201-1222.
- 40- Schwartz G., Eshel G., and Ben-Dor E. 2011. Reflectance spectroscopy as a tool for monitoring contaminated soils. p. 67-90. In S. Pascucci (ed.) *Soil Contamination, In Technology*.

- 41- Sharma S., Goodarzi M., Ramon H., and Saeys W. 2014. Performance evaluation of preprocessing techniques utilizing expert information in multivariate calibration. *Talanta*, 121:105-12.
- 42- Shiferaw A., and Hergarten Ch. 2014. Visible near infra-red (VisNIR) spectroscopy for predicting soil organic carbon in Ethiopia. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 6:126-139.
- 43- Silva E. B., ten Caten, Dalmolin R.S.D., Dotto A.C., Silva W.C., and Giasson E. 2016. Estimating Soil Texture from a Limited Region of the Visible/Near-Infrared Spectrum...p. 73–87. In A.E. Hartemink and B. Minasny (eds). *Digital Soil Morphometr*. Springer International Publishing, Switzerland.
- 44- Stoner E.R., Baumgardner M.F. 1981. Characteristics variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 1161–1165.
- 45- Summers D., Lewis M., Ostendorf B., and Chittleborough D. 2011. Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. *Ecological Indicators*, 11:123-131.
- 46- ViscaraRossel R., and Behrens T. 2010. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. *Geoderma*, 158:46-54.
- 47- Viscarra Rossel R.A., Taylor H.J., and McBratney A.B. 2007. Multivariate calibration of hyperspectral γ -ray energy spectra for proximal soil sensing. *European Journal of Soil Science*, 58:343-353.
- 48- Wilding L. 1985. Spatial variability. Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In D.R. Nielson and J. Bouma (eds) *Soil Variability*, Pudo, Wagenigen, the Netherlands.
- 49- Wold S., Martens H., and Wold H. 1983. The multivariate calibration problem in chemistry solved by the PLS method. *Matrix Pencils*.
- 50- Wold S., Sjöström M., and Eriksson L. 2001. PLS-regression: A basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58:109–130.



Comparing Different Statistical Models and Pre-processing Techniques for Estimation of Soil Particles Using VNIR/SWIR Spectrum

M. Tayebi^{1*} - M. Naderi² - J. Mohammadi³ - M. Hosseinjani Zadeh⁴

Received: 05-08-2017

Accepted: 29-01-2018

Introduction: Soil texture is one of the major physical properties of soils that plays important roles in water holding capacity, soil fertility, environmental quality and agricultural developments. Measurement of soil texture elements in large scales is time consuming and costly due to the high volume of sampling and laboratory analysis. Therefore, assessing and using simple, quick, low-cost and advanced methods such as soil spectroscopy can be useful. The objectives of this study were to examine two statistical models of Partial Least Squares Regression (PLSR) and Principal Component Regression (PCR) to estimate soil texture elements using Visible and Near-Infrared (VNIR) and Short-Wave Infrared (SWIR) reflectance spectroscopy (400-2450nm).

Materials and Methods: A total of 120 composite soil samples (0-10 cm) were collected from the Kafemoor basin (55° 15' - 55° 25' E; 28° 51' - 29° 11' N), Sirjan, Iran. The samples were air dried and passed through a 2 mm sieve and soil texture components were determined by the hydrometer method (Miller and Keeny 1992). Reflectance spectra of all samples were measured using an ASD field-portable spectrometer in the laboratory. Soil samples were divided into two random groups (80% and 20%) for calibration and validation of models. PLSR and PCR models and different pre-processing methods i.e. First (FD) and Second Derivatives (SD), Multiplicative Scatter Correction (MSC) and Standard Normal Variate (SNV) were applied and compared to estimate texture elements. The cross-validation method was used to evaluate calibration and validation sets in the first part (80%) and coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Residual Prediction Deviation (RPD) were also calculated. For testing predictive models, the second part of data (20%) was used and R^2 and RMSE of predictive accuracy were calculated.

Results and Discussion: The results of applying two statistical models for estimating LogClay (%) showed that R^2 of calibration (R^2_{CV}) and validation (R^2_{VAL}) datasets ranged from 0.22 to 0.72 and 0.12 to 0.54, respectively. The lowest RMSE was computed for PLSR model with SD pre-processing. The highest RPD of calibration (RPDCV) and validation (RPDVAL) were obtained for PLSR with SD pre-processing technique which was classified as a very good and good model, respectively. The results indicated possible prediction of soil clay content by using PCR model with SD pre-processing techniques. In addition, the PCR predicted soil texture elements poorly according to RPD values while the PLSR model with SD pre-processing was the best model for predicting soil clay content. The R^2_{CV} and R^2_{VAL} of PLSR models for LogSilt (%) varied from 0.34 to 0.73 and 0.27 to 0.58, respectively. The RMSECV varied from 0.14 for FD pre-processing to 0.23 for no-preprocessing and the RMSEVAL ranged between 0.18 and 0.24. The highest RPDCV (2.07) and RPDVAL (1.59) were obtained for PLSR with FD pre-processing which were classified as very good and good models, respectively. The results of PCR model developments for estimating LogSilt (%) indicated that the highest RPDCV and RPDVAL were, respectively, 1.31 and 1.25 for MSC pre-processing techniques which were rated as poor models. On the contrary to PLSR models, PCR models were not reliable for predicting LogSilt (%). The results of PLSR models for estimating LogSand (%) revealed that the highest R^2_{CV} and R^2_{VAL} were 0.56 and 0.47, respectively and the lowest RMSECV and RMSEVAL were 0.14 and 0.16, respectively which were obtained for SD pre-processing. The RPDCV and RPDVAL values for SD pre-processing in PLSR model were 1.59 and 1.39 which were rated as good and poor performance of predictions, respectively. The highest RPDCV and RPDVAL for PCR models were obtained with the MSC pre-processing indicating poor model. Therefore, PLSR model with SD pre-processing techniques was superior model for estimation of LogSand (%). Overall, PLSR model with SD pre-processing techniques performed better in estimating clay and

1, 2 and 3- Ph.D. educated, Associate Professor and Professor of Soil Science Department, College of Agriculture Shahrekord University, Iran

4- Assistant Professor, Department of Ecology, Research Institute of Sciences and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

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

sand and PLSR model with FD pre-processing gave better estimate of silt content.

Conclusions: Our finding indicated that clay and silt content can be estimated by using electromagnetic spectrum between VNIR-SWIR region. Further, spectroscopy could be considered as a simple, fast and low cost method in predicting soil texture and PLSR model with SD and FD pre-processing seems to be more robust algorithm to estimate LogClay and LogSilt, respectively.

Keywords: Partial Least Squares Regression (PLSR), Principal Component Regression (PCR), Spectroscopy

بررسی کارایی روش‌های رقومی به منظور ارزیابی کیفی تناسب اراضی (مطالعه‌ی موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری)

زهره مصلح^{۱*} - محمدحسن صالحی^۲ - اعظم جعفری^۳ - عبدالمحمد محنت‌کش^۴ - عیسی اسفندیارپور بروجنی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

چکیده

در این پژوهش، کارایی روش‌های رقومی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی محصولات گندم، یونجه، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر گردید و از اعماق مختلف، نمونه‌برداری صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، میانگین وزنی ویژگی‌های مورد نیاز تا عمق ریشه (برای گیاهان یک‌ساله و چندساله، به‌ترتیب عمق ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) محاسبه گردید. سپس، ویژگی‌های خاک هر خاک‌رخ با معیارهای جدول نیازهای زمینی و ویژگی‌های اقلیمی مورد نیاز برای ارزیابی اقلیم منطقه با جدول‌های نیازهای اقلیمی محصولات مختلف مطابقت داده شدند. پس از آن، با استفاده از روش پارامتریک (فرمول ریشه دوم)، کلاس نهایی تناسب کیفی اراضی برای تمامی محصولات مورد مطالعه تعیین گردید. زیرکلاس نیز بر اساس نامطلوب‌ترین کلاس مربوط به مشخصات اقلیمی یا اراضی تعیین شد. برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی، مدل‌های رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای استفاده گردیدند. نتایج نشان داد که در سطوح کلاس و زیرکلاس، برای تمامی محصولات مورد نظر، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای بالاترین مقدار صحت عمومی می‌باشد (هر چند که تفاوت چشمگیری بین این مدل‌ها وجود ندارد). صرف‌نظر از نوع مدل و محصول مورد مطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیرکلاس کاهش می‌یابند. همچنین، مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی، اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده) می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اجزای سرزمین، پارامترهای محیطی، خاک‌رخ، روش پارامتریک

مقدمه

موجب می‌گردد تا ضمن حداکثر بهره‌وری، امکان استفاده از اراضی برای آیندگان نیز فراهم شود. چنانچه از هر زمین به مقتضای استعداد و توانمندی آن استفاده نشود در معرض نابودی قرار می‌گیرد و به مرور زمان از باروری آن کاسته می‌شود. ارزیابی اراضی، به‌عنوان روشی برای بیان و پیش‌بینی پتانسیل تولید اراضی برای یک کاربری خاص و به‌طور عمده به‌عنوان رابطی بین منابع و مدیریت این منابع می‌باشد (۱۹).

با توجه به اینکه ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند؛ انتظار می‌رود که این تغییرات، در واحدهای نقشه‌ی خاک و نقشه‌های تناسب اراضی نیز وجود داشته باشند. بنابراین، به نظر می‌رسد که یکی از مهم‌ترین مشکلات روش‌های سنتی نقشه‌برداری خاک، تعمیم نتایج حاصل از خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه، بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی آن می‌باشد. پژوهشگران مختلفی ضمن مطالعات خود اذعان داشتند که تعمیم کلاس تناسب اراضی خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه تا حد زیادی می‌تواند گمراه‌کننده باشد (۱۶ و

استفاده‌ی بهینه از عوامل تولید، یکی از ارکان مهم توسعه‌ی پایدار محسوب می‌شود. فشار روز افزون به منابع خاک، ناشی از افزایش جمعیت، توسعه‌ی مناطق صنعتی و محدودشدن اراضی کشاورزی، نیاز به استفاده‌ی بهینه و پایدار از خاک را ضروری می‌نماید (۱۹). یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، شناسایی ظرفیت تولید هر زمین می‌باشد. برنامه‌ریزی برای استفاده‌ی بهینه از اراضی،

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته‌ی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد

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

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد

۵- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

کشور در زمینه‌ی ارزیابی تناسب اراضی، به ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی بر مبنای نتایج خاک‌رخ شاهد پرداخته‌اند. صالحی و همکاران (۱۶) تغییرپذیری تناسب کیفی گندم آبی در یک واحد نقشه‌ی تفصیلی خاک منطقه‌ی فرخ‌شهر استان چهارمحال و بختیاری را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، نتایج ۳۱ خاک‌رخ موجود در این واحد، از نظر معیارهای لازم برای تناسب کیفی، مورد ارزیابی و با نتایج حاصل از خاک‌رخ شاهد، مورد مقایسه‌ی آماری قرار گرفتند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در سطح سری خاک و فاز سری، به ترتیب ۱۶/۱ و ۲۴ درصد از خاک‌رخ‌ها از نظر کلاس تناسب اراضی با خاک‌رخ شاهد واحد هماهنگ می‌باشند. آن‌ها بیان کردند که تعمیم کلاس تناسب اراضی خاک‌رخ شاهد به کل واحد تا حد زیادی می‌تواند گمراه‌کننده باشد. با توجه به اینکه آگاهی از تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی می‌تواند گامی مفید در راستای استفاده صحیح و پایدار از اراضی باشد در این پژوهش، کارایی روش‌های رقومی به منظور ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصولات عمده‌ی دشت شهرکرد مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

قسمتی از اراضی دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری واقع در حد فاصل طول‌های جغرافیایی $50^{\circ}47'$ تا $51^{\circ}00'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ}13'$ تا $32^{\circ}33'$ شمالی با مساحتی در حدود ۱۰۵۰۰ هکتار برای این پژوهش انتخاب گردید (شکل ۱). میانگین ارتفاع از سطح دریا، بارندگی و دمای سالانه‌ی منطقه به ترتیب، ۲۰۵۰ متر، ۳۲۲ میلی‌متر و $12/5^{\circ}$ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. خاک‌های این منطقه به‌طور عمده روی رسوبات رسی و سیلتی مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی (دوره‌ی کواترنری) تشکیل شده‌اند و بخش اعظم این دشت به‌واسطه‌ی وجود زمین‌های حاصلخیز، تحت کشت قرار دارد. کاربری عمده‌ی اراضی در این منطقه، کشت آبی گندم، یونجه، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای می‌باشد.

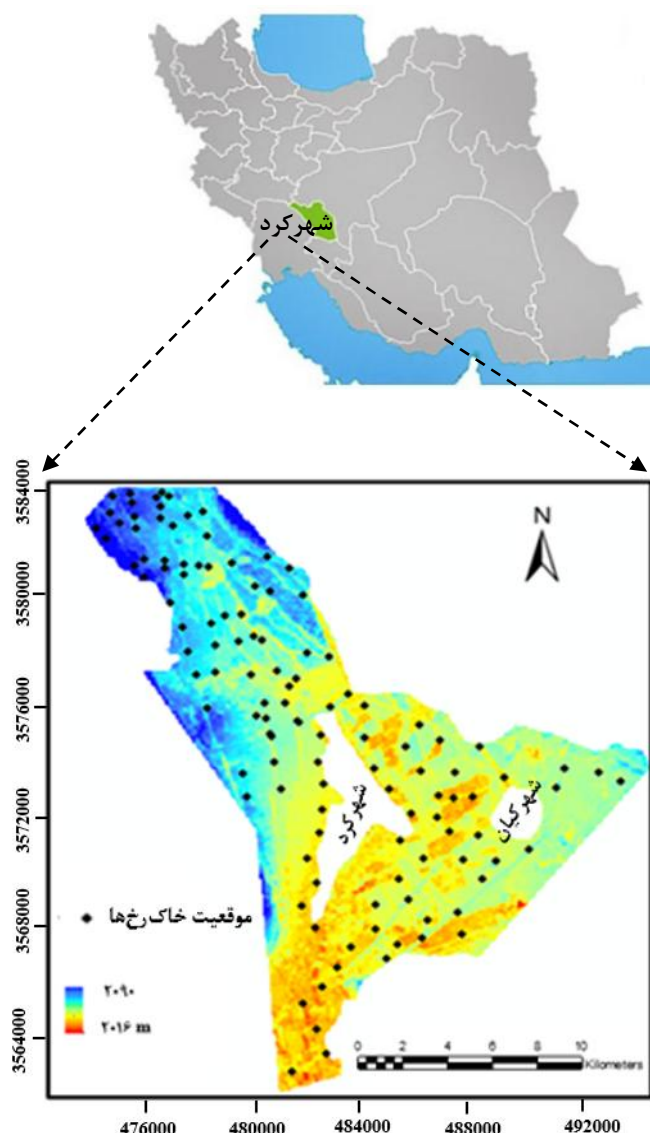
مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی (۱۴)، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر گردید و از افق‌های ژنتیکی خاک نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک، بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند.

پیشرفت در فناوری اطلاعات، تمامی علوم را قادر کرده است تا تقاضاهای جدید زندگی امروزه‌ی بشر را پاسخگو باشند. ارزیابی تناسب اراضی نیز از این قاعده مستثنی نیست و نیازمند به‌کارگیری روش‌های مختلف برای درک بهتر تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی به‌منظور مدیریت پایدار اراضی می‌باشد. تکنیک نقشه‌برداری رقومی، به‌عنوان یکی از فنون جدید نقشه‌برداری تلاش می‌کند تا بر اساس پارامترهای محیطی که به‌سادگی قابل دست‌یابی هستند؛ ویژگی مد نظر (کلاس‌ها یا ویژگی‌های خاک، کلاس‌های تناسب اراضی) را با دقت بالا پیش‌بینی کند. در این روش، برای کاهش وقت و هزینه، پیش‌بینی مکانی بر اساس ارتباط با پارامترهای محیطی انجام می‌شود. در این زمینه، مدل‌های مختلفی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی و رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای استفاده می‌شوند. یکی از موضوعات مهم در تکنیک نقشه‌برداری رقومی، مدل مورد استفاده برای ارتباط دادن پارامترهای محیطی با ویژگی مورد بررسی می‌باشد (۳). همچنین کاربرد موفقیت‌آمیز نقشه‌برداری رقومی خاک به میزان داده‌های موجود از منطقه‌ی مطالعاتی و پارامترهای محیطی استفاده شده در مدل بستگی دارد (۱۸).

در ایران، اولین مطالعات ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش فائو، توسط موحدی نائینی (۱۲) برای مهم‌ترین محصولات زراعی منطقه‌ی گرگان انجام شده است. گیوی (۷) با بررسی ارزیابی تناسب اراضی در منطقه‌ی فلاورجان اصفهان بیان نمود قسمت اعظم منطقه برای کشت گیاهان گندم، جو و سیب‌زمینی تناسب خوبی دارند؛ برای پیاز دارای تناسب کم تا متوسط است که دلیل اصلی آن پهاش خاک می‌باشد و برای گیاهان یونجه و برنج، از تناسب کمتری برخوردار است. کمالی (۹) تناسب اراضی را برای محصولات آبی گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و چغندر قند در قزوین با استفاده از روش‌های محدودیت ساده و پارامتریک تعیین نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که علاوه بر محدودیت‌های اقلیمی، گچ، شوری و پهاش خاک از جمله محدودیت‌های مهم خاک‌های منطقه می‌باشند. اعتدالی و گیوی (۴) با ارزیابی تناسب کیفی اراضی نشان دادند که متوسط حداقل درجه‌ی حرارت دوره‌ی رشد و نسبت تعداد ساعات آفتابی به طول روز در مرحله‌ی رویشی و در بعضی از واحدهای اراضی، پهاش خاک، عوامل محدودکننده‌ی تولید ذرت علوفه‌ای در منطقه‌ی شهرکرد می‌باشند.

علی‌رغم اینکه به‌نظر می‌رسد که تغییرپذیری ویژگی‌های خاک بر نتایج تناسب اراضی تأثیرگذار است اما اغلب مطالعات انجام‌شده در



شکل ۱- منطقه‌ی مورد مطالعه به همراه موقعیت خاک‌رخ‌ها
Figure 1- Location of the study area with pedons position

مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی

در این پژوهش، مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای، یونجه و سیب‌زمینی با استفاده از روش پارامتریک (فرمول ریشه دوم) برای ۱۲۰ خاک‌رخ حفرشده انجام شد. برای ارزیابی تناسب اقلیمی منطقه، با توجه به دوره‌ی رشد، کشت آبی محصولات و پذیرفتن این فرض که نیاز آبی این گیاهان از طریق آبیاری تأمین می‌گردد؛ از میزان بارندگی صرف‌نظر شد. سایر پارامترهای اقلیمی برای سیکل رشد محصولات مختلف تعیین گردیدند. برای تعیین پارامترهای اقلیمی از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در دوره‌ی آماری ۶۰ ساله استفاده شد. بر اساس نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های

حفرشده، میانگین وزنی ویژگی‌های مورد نیاز برای مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی تا عمق ریشه (برای گیاهان یک‌ساله و چندساله، به ترتیب عمق ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) محاسبه شد. سپس ویژگی‌های خاک هر خاک‌رخ با معیارهای جدول نیازهای زمینی محصولات مورد مطالعه (۶) مطابقت داده شدند و محدودیت اراضی تعیین گردید.

پس از تعیین مقادیر ویژگی‌های اقلیمی مورد نیاز برای ارزیابی اقلیم منطقه، این مقادیر با جدول‌های نیازهای اقلیمی محصولات مختلف مطابقت داده شدند. در نهایت با استفاده از روش پارامتریک (فرمول ریشه دوم)، کلاس نهایی تناسب اقلیمی برای تمامی محصولات مورد مطالعه تعیین گردید. در روش پارامتریک، ابتدا

تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ (سال ۲۰۱۴) بدست آمدند. همچنین، نقشه‌ی زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، نقشه‌ی خاک موجود در منطقه (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) (۱۱) و نقشه‌ی ژئومورفولوژی منطقه (با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰)، به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که در این پژوهش، نقشه‌ی ژئومورفولوژی برای منطقه‌ی مورد مطالعه تا سطح شکل سرزمین^{۱۴} بر مبنای روش زینک (۲۰) تهیه گردید.

روش‌های نقشه‌برداری رقومی

در این پژوهش، مدل‌های رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون لاجستیک چندجمله‌ای برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس‌های تناسب کیفی اراضی استفاده شدند. ابتدا، اطلاعات کلاس و زیرکلاس‌های تناسب اراضی به‌صورت جداگانه به همراه پارامترهای محیطی برای مدل‌ها تعریف شدند. سپس، بر اساس ارتباط کلاس‌های تناسب اراضی با پارامترهای محیطی، پیش‌بینی صورت گرفت. مدل‌سازی با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری Caret موجود در نرم‌افزار R انجام شد. برای تمامی مدل‌ها، با استفاده از شاخص تأثیر نسبی، سهم هر متغیر در پیش‌بینی مشخص و پارامترهای مهم برای مدل‌سازی انتخاب گردیدند. مدل‌های مورد مطالعه با ۸۰ درصد داده‌ها (۹۶ خاک‌رخ با انتخاب تصادفی) آموزش داده شدند و اعتبارسنجی با استفاده از ۲۰ درصد داده‌ها (۲۴ خاک‌رخ باقی‌مانده) انجام گردید. ارزیابی صحت پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس‌های تناسب اراضی با استفاده از شاخص صحت عمومی^{۱۵} صورت پذیرفت (۵). این شاخص بر اساس رابطه‌ی زیر تعیین گردید:

$$OA = \sum_{i=1}^n X_{ii} / N$$

در این رابطه، تعداد سطر یا ستون‌های ماتریس، کلاس‌هایی که به درستی پیش‌بینی شده‌اند و تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

در نهایت، بالاترین میزان صحت عمومی، به‌عنوان معیار انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس‌های تناسب کیفی اراضی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، برای کشت گندم و سیب‌زمینی بسیار مناسب (کلاس S1)

شاخص اقلیم (Climatic Index, CI) با استفاده از فرمول ریشه دوم و بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی شاخص اقلیم، پایین‌ترین درجه‌ی تناسب اختصاص‌یافته در هر گروه اقلیمی، انتخاب شد.

$$CI = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100}} \quad (1)$$

در این رابطه، A، B، C و درجات تناسب هر یک از متغیرهای اقلیمی و R، درجه‌ی تناسب حداقل می‌باشد. شاخص اقلیم با استفاده از روابط زیر به درجه‌ی تناسب اقلیم (Climatic Rating, CR) تبدیل شد:

$$CR = 16.67 + 0.9 \times CI \quad \text{if } 25 < CI < 9 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} CR &= 11.67 & \text{if } CI < 9 \\ CR &= 25 & \text{if } CI > 25 \end{aligned} \quad (3)$$

در این روابط، CI و CR، به‌ترتیب شاخص اقلیم و درجه‌ی تناسب اقلیم می‌باشند.

سپس، درجه‌ی تناسب اقلیم به‌دست آمده برای محاسبه‌ی شاخص زمین (Land Index, LI) استفاده شد. در نهایت، بر اساس مقادیر شاخص زمین، کلاس تناسب مشخص شد (۶). همچنین، زیرکلاس نیز بر اساس این‌که نامطلوب‌ترین کلاس مربوط به کدامیک از مشخصات اقلیمی یا اراضی می‌باشد؛ تعیین گردید.

جمع‌آوری پارامترهای محیطی

بر اساس مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر که از وب‌سایت مدل رقومی ارتفاع جهانی استر تهیه گردید؛ ویژگی‌های اولیه و ثانویه مدل رقومی ارتفاع شامل درصد شیب^۱، جهت شیب^۲، انحناي خالص^۳، انحناي نیم‌رخ^۴، انحناي سطحی^۵، جهت جریان^۶، تجمع جریان^۷، تابش مستقیم^۸، مدت تابش^۹، تابش پخشیده^{۱۰}، شاخص قدرت جریان^{۱۱}، شاخص خیزی^{۱۲} و شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا^{۱۳} با استفاده از نرم‌افزار SAGA تعیین گردیدند. شاخص‌های سنجش از دور (شامل شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص گیاهی عمودی، شاخص رس و شاخص کربنات) با استفاده از

- 1- Slope
- 2- Aspect
- 3- Curvature
- 4- Profile curvature
- 5- Plan curvature
- 6- Flow direction
- 7- Flow accumulation
- 8- Direct radiation
- 9- Duration radiation
- 10- Diffuse radiation
- 11- Stream power index
- 12- Wetness index
- 13- Multi-resolution valley bottom flatness index

14- Landform

15- Overall accuracy

ایجاد می‌کنند.

بر اساس نتایج جدول ۱، در رابطه با برخی از خاک‌رخ‌ها و برای تمامی محصولات مورد مطالعه، پسوند W که حاکی از محدودیت زهکشی می‌باشد؛ استفاده شده است. با کاربرد این پسوند، این‌گونه در ذهن تداعی می‌گردد که در منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ وضعیت زهکشی، خاک‌ها دارای محدودیت می‌باشند. این در حالی است که بازدیدهای صحرایی، خلاف این موضوع را تأیید می‌کنند. در جدول نیازهای رویشی محصولات زراعی، در رابطه با وضعیت زهکشی، دو ویژگی عمق کرومای کوچکتر مساوی ۲ (بر حسب سانتی‌متر) و عمق سطح آب زیرزمینی (بر حسب متر) هم‌زمان با یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. در رابطه با اکثر خاک‌های مورد مطالعه، در حال حاضر عمق سطح آب زیرزمینی بیش‌تر از ۲ متر می‌باشد. بنابراین، طبق جدول-های مربوطه، کلاس تناسب، S1 می‌شود و هیچ‌گونه محدودیتی از این نظر وجود ندارد. حال آنکه به دلیل شرایط ماندابی که قبلاً در این خاک‌ها وجود داشته است؛ رنگ خاک دارای کرومای کوچکتر از ۲ می‌باشد و در بسیاری از مواقع این ویژگی در لایه‌ی سطحی و عمق کمتر از ۲۰ سانتی‌متر مشاهده می‌گردد. این ویژگی سبب می‌گردد که کلاس تناسب به S3 و یا N اختصاص یابد. از این رو، به نظر می‌رسد که این دو ویژگی برای بیان ویژگی‌های اراضی تطابق خوبی با یکدیگر ندارند. بنابراین، در این پژوهش، تنها به‌دلیل استفاده از چارچوب ارائه‌شده توسط گیوی (۶) این پسوند به‌کار برده شده است. به همین دلیل، تصحیح جدول‌های نیازهای زمینی و در نظر گرفتن کرومای کمتر از ۲، تنها زمانی که این ویژگی ناشی از شرایط اشباع خاک در حال حاضر باشد؛ پیشنهاد می‌گردد.

می‌باشد و پارامترهای اقلیمی هیچ‌گونه محدودیتی را برای کشت این دو محصول ایجاد نمی‌کنند. همچنین، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که اقلیم این منطقه، برای کشت ذرت علوفه‌ای و یونجه دارای تناسب نسبتاً مناسب (کلاس S2) است. متوسط حداقل درجه‌ی حرارت و متوسط درجه‌ی حرارت دوره‌ی رشد، به‌ترتیب، پارامترهای اقلیمی محدودکننده‌ی رشد ذرت علوفه‌ای و یونجه در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران (۱۰، ۱ و ۱۵) مطابقت دارد.

جدول ۱، ارزیابی تناسب کیفی برخی از خاک‌رخ‌ها برای محصولات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ۵۸ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه برای کشت گندم تناسب S1، S2 و S1-S2 دارند و در بیش‌تر واحدهای اراضی، محدودیت ویژگی‌های فیزیکی خاک (درصد کربنات کلسیم معادل، سنگریزه و عمق خاک) و زهکشی (عمق کرومای کمتر از ۲) وجود دارد. همچنین، اقلیم، ویژگی‌های فیزیکی خاک (درصد کربنات کلسیم معادل) و زهکشی (عمق کرومای کمتر از ۲)، بیش‌ترین محدودیت را برای کشت ذرت علوفه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه ایجاد می‌کنند (جدول ۱). پهاش منطقه، محدودکننده‌ترین عامل برای کشت سیب‌زمینی می‌باشد؛ به‌طوری که ۳۱ درصد منطقه دارای کلاس تناسب S2 و مابقی آن دارای کلاس تناسب S3 می‌باشد (جدول ۱). طبق جدول نیازهای رویشی (۶) اگر پهاش از ۷ بیش‌تر باشد این ویژگی می‌تواند برای کشت محصول سیب‌زمینی محدودیت ایجاد نماید. بر اساس نتایج این پژوهش، اقلیم و ویژگی‌های اراضی (درصد کربنات کلسیم معادل، سنگریزه، عمق خاک، عمق کرومای کمتر از ۲، پهاش) در منطقه‌ی مورد مطالعه برای کشت یونجه، محدودیت

جدول ۱- ارزیابی تناسب کیفی برخی از خاک‌رخ‌ها برای محصولات مورد مطالعه

Table 1- Qualitative land suitability evaluation for some of the profiles for the studied crops.

شماره خاک‌رخ	گندم	ذرت علوفه‌ای	سیب‌زمینی	یونجه
Number of profile	Wheat	Maize	Potato	Alfalfa
1	S1	S2sc	S2fs	S2c
10	S2s	S3s	S2sf	S2sc
27	S1	S2c	S2f	S2c
50	S1	S2cf	S2f	S2c
61	S3w	S3w	S3w	S3w
65	Ns	S3ws	Ns	Ns
85	S2s	S3s	S3f	S3s
100	S2s	S3s	S3f	S2csf
104	S3w	S3ws	S3w	S3w
115	S1	S2fc	S3f	S2fc
120	S2s	S3s	S2sfw	S2swc

S1: کلاس تناسب بالا، S2: کلاس تناسب متوسط، S3: کلاس تناسب کم، N: کلاس نامناسب، S: محدودیت ویژگی‌های فیزیکی، W: محدودیت زهکشی، C: محدودیت اقلیم، f: محدودیت حاصلخیزی

S1: highly suitable class, S2: moderately suitable class, S3: marginally, N: unsuitable, s: soil physical limitation, w: wetness limitation, c: climatic limitation, f: fertility limitation

نشان داد که در سطوح کلاس و زیر کلاس، برای تمامی محصولات مورد نظر، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای بالاترین مقدار صحت عمومی می‌باشد؛ هر چند که تفاوت زیادی بین این مدل‌ها وجود ندارد (جدول ۲). بنابراین، می‌توان بیان نمود که مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، توانایی یکسانی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی داشته‌اند.

جدول ۲، مقادیر صحت عمومی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب کیفی اراضی محصولات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج مدل‌سازی گویای آن است که برای مدل‌های مختلف، مقادیر صحت عمومی در سطح کلاس برای گندم، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی، به ترتیب از ۰/۴۵ تا ۰/۵۴، ۰/۴۱ تا ۰/۵۸، ۰/۴۱ تا ۰/۵۴ و ۰/۸۳ تا ۰/۵۴ متغیر است. همچنین، نتایج

جدول ۲ - ارزیابی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب کیفی اراضی محصولات مورد مطالعه

Table 2- Performance of different models to predict qualitative land suitability classes and subclasses for the studied crops.

نوع مدل Type of model	گندم Wheat		یونجه Alfalfa		ذرت علوفه‌ای Maize		سیب‌زمینی Potato	
	کلاس Class	زیر کلاس Subclass	کلاس Class	زیر کلاس Subclass	کلاس Class	زیر کلاس Subclass	کلاس Class	زیر کلاس Subclass
درختان تصمیم‌گیری تصادفی Random forest	0.54	0.41	0.58	0.33	0.83	0.41	0.58	0.29
رگرسیون درختی توسعه یافته Boosted regression tree	0.5	0.4	0.41	0.29	0.7	0.29	0.5	0.2
رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای Multinomial logistic regression	0.5	0.37	0.5	0.2	0.58	0.33	0.52	0.29
شبکه‌های عصبی مصنوعی Artificial neural networks	0.45	0.37	0.5	0.25	0.54	0.33	0.41	0.25

شاخص‌های سنجش از دور مانند شاخص کربنات و گچ می‌توانند با مقادیر این ویژگی‌ها به خوبی ارتباط برقرار کنند و در بررسی تغییرات آن‌ها مؤثر باشند. بنابراین، با توجه به محدودیت فیزیکی حاصل از درصد کربنات کلسیم معادل در منطقه‌ی مورد مطالعه برای اکثر محصولات، اهمیت شاخص کربنات برای پیش‌بینی کلاس‌ها و زیر کلاس‌های تناسب اراضی قابل تفسیر است. همچنین، برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی دو محصول گندم و یونجه، شاخص قدرت جریان بیش‌ترین تغییرات را توجیه کرده است. این پارامتر بر هیدرولوژی منطقه مؤثر است و می‌تواند نقش مهمی در تعیین تناسب اراضی منطقه برای یک محصول داشته باشد. پستی و بلندی و پوشش گیاهی جزو عوامل پنج‌گانه (اقلیم، پستی و بلندی، خاک، هیدرولوژی و پوشش گیاهی) تأثیرگذار بر ظرفیت تولید اراضی می‌باشند. بنابراین، نقش این پارامترها در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی قابل توجیه است. نقشه‌های پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی، برای محصولات مختلف در سطح کلاس و زیر کلاس، به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند. بر اساس نقشه‌های به‌دست آمده، قسمت‌های جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه برای محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی از کلاس تناسب پایینی‌تر برخوردار هستند و تمرکز کلاس N در این قسمت بیش‌تر است. این موضوع احتمالاً متأثر از قرار گرفتن این قسمت‌ها در

از سوی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که صرف‌نظر از نوع مدل و محصول مورد مطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیر کلاس کاهش می‌یابند. این موضوع احتمالاً به این دلیل می‌باشد که در سطح زیر کلاس، ویژگی‌های خاک با جزئیات بیش‌تری مد نظر قرار می‌گیرند و به تبع آن تعداد زیر کلاس‌ها افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش تعداد زیر کلاس‌ها، تعداد مشاهدات کمتری به هر زیر کلاس اختصاص می‌یابد. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که قابلیت اعتماد به نتایج حاصل از پیش‌بینی نیز کاهش یابد. چنین روندی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (۸، ۱۳، ۲ و ۳).

قابلیت اعتماد به نتایج پیش‌بینی به میزان زیادی متأثر از توانایی پارامترهای محیطی در بیان تغییرات فاکتور مورد بررسی می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب کیفی اراضی، اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده) می‌باشند (شکل‌های ۲ و ۳). برای اکثر محصولات مورد مطالعه، ارتفاع و شاخص کربنات به‌عنوان پارامتری مهم در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب انتخاب شده است. نقش مثبت ارتفاع در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به تأثیر غیرمستقیم آن بر سایر عوامل محیطی می‌تواند قابل توجیه باشد.

می‌یابد. اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده)، مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی و کلاس تناسب کمی اراضی می‌باشند. اگرچه با استفاده از روش‌های نوین، آگاهی در رابطه با میزان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی افزایش می‌یابد، اما در عمل، یکپارچه‌سازی اراضی برای مدیریت بهینه اراضی، ضروری است و این موضوع، نیازمند توجه بیش‌تر دستگاه‌های اجرایی می‌باشد. از این رو، اگرچه روش‌های رقومی تا حد زیادی می‌توانند در فراهم آوردن اطلاعات با تفکیک مکانی بالا راهگشا باشند؛ اما هنوز برای ورود به فازهای عملیاتی و کاربردی، نیازمند همراه شدن معیارهای تناسب اراضی با تغییرات پیوسته‌ی خاک هستند. در این راستا، تصحیح جدول‌های نیازهای رویشی گیاهان به‌طوری که بتواند تغییرات تدریجی خاک در فواصل اندک را بهتر نشان دهد؛ ضروری است.

اراضی پست می‌باشد. همچنین، نقشه‌های زیرکلاس‌ها نیز گویای آن است که قسمت‌های جنوبی منطقه بیش‌تر متأثر از محدودیت زهکشی می‌باشند.

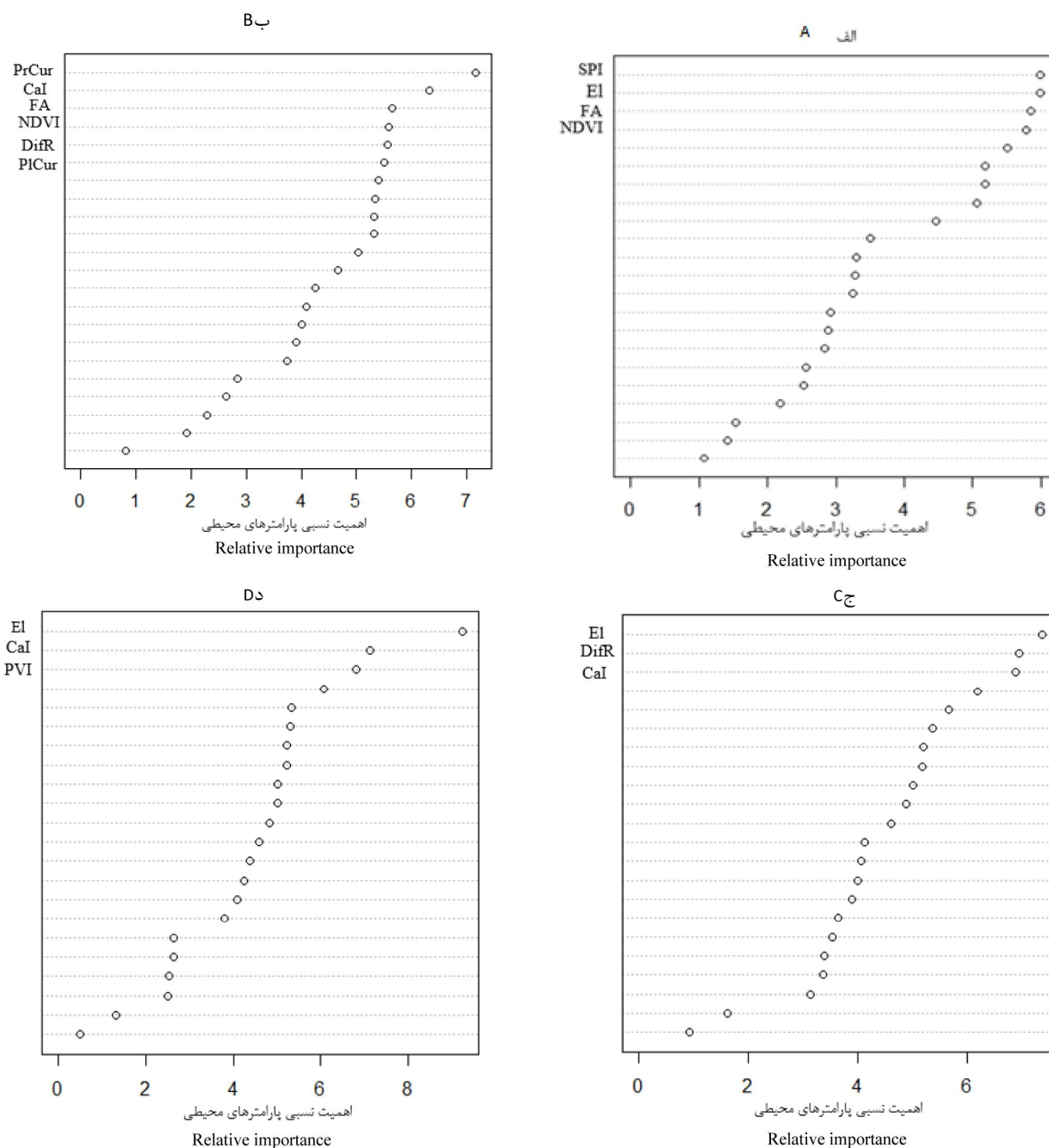
نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، برای کشت گندم و سیب‌زمینی بسیار مناسب است اما متوسط درجه حرارت حداقل و متوسط درجه حرارت دوره‌ی رشد، به‌ترتیب، پارامترهای اقلیمی محدودکننده‌ی رشد ذرت علوفه‌ای و یونجه می‌باشند. بر مبنای مقادیر صحت عمومی، مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش توانایی یکسانی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی داشتند. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که صرف‌نظر از نوع مدل و محصول مورد مطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیرکلاس تناسب به‌طور چشمگیری کاهش



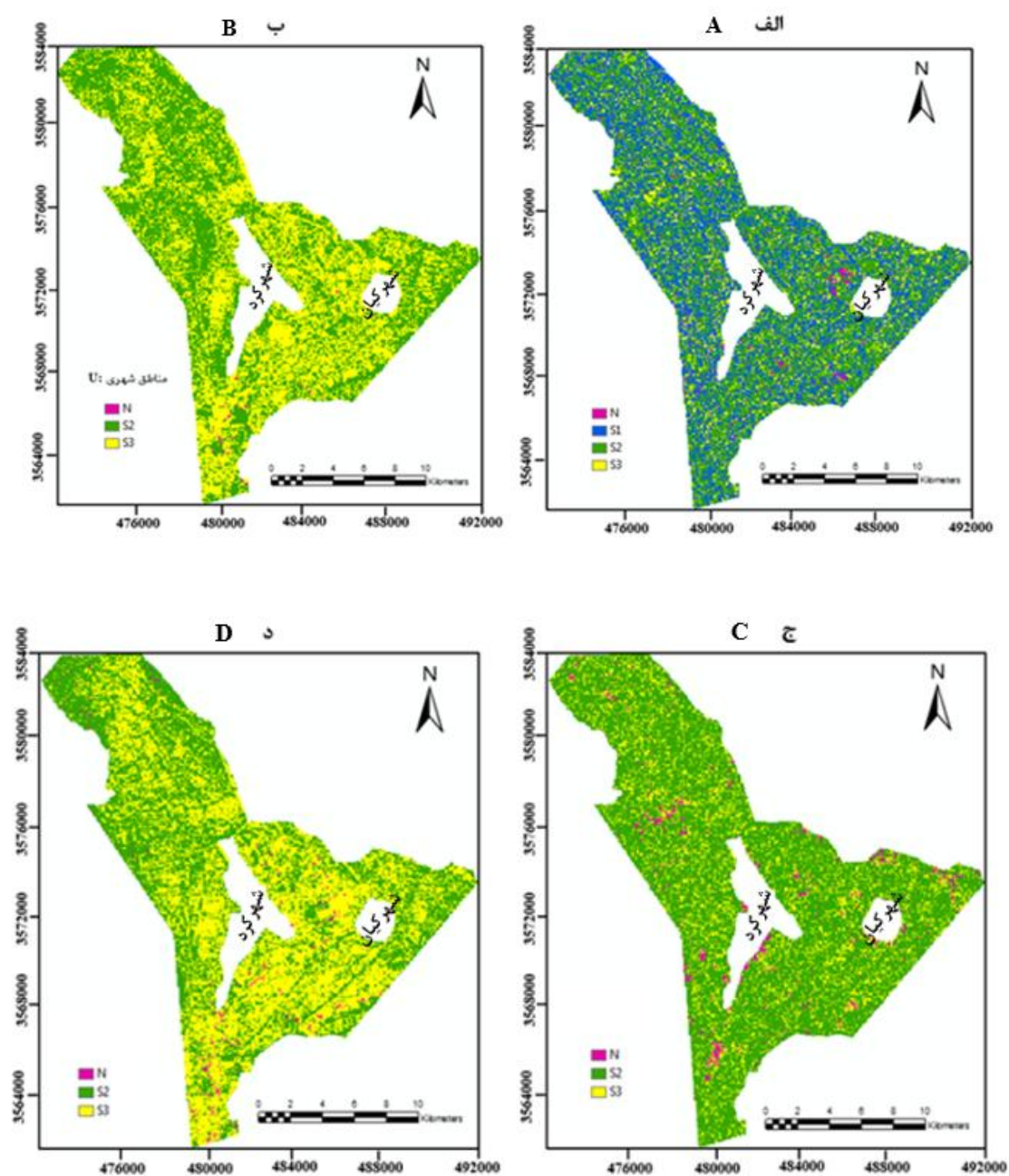
شکل ۲- اهمیت پارامترهای محیطی در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د)

Figure 2- Relative importance of auxiliary information used to predict qualitative land suitability classes using random forest model for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D)



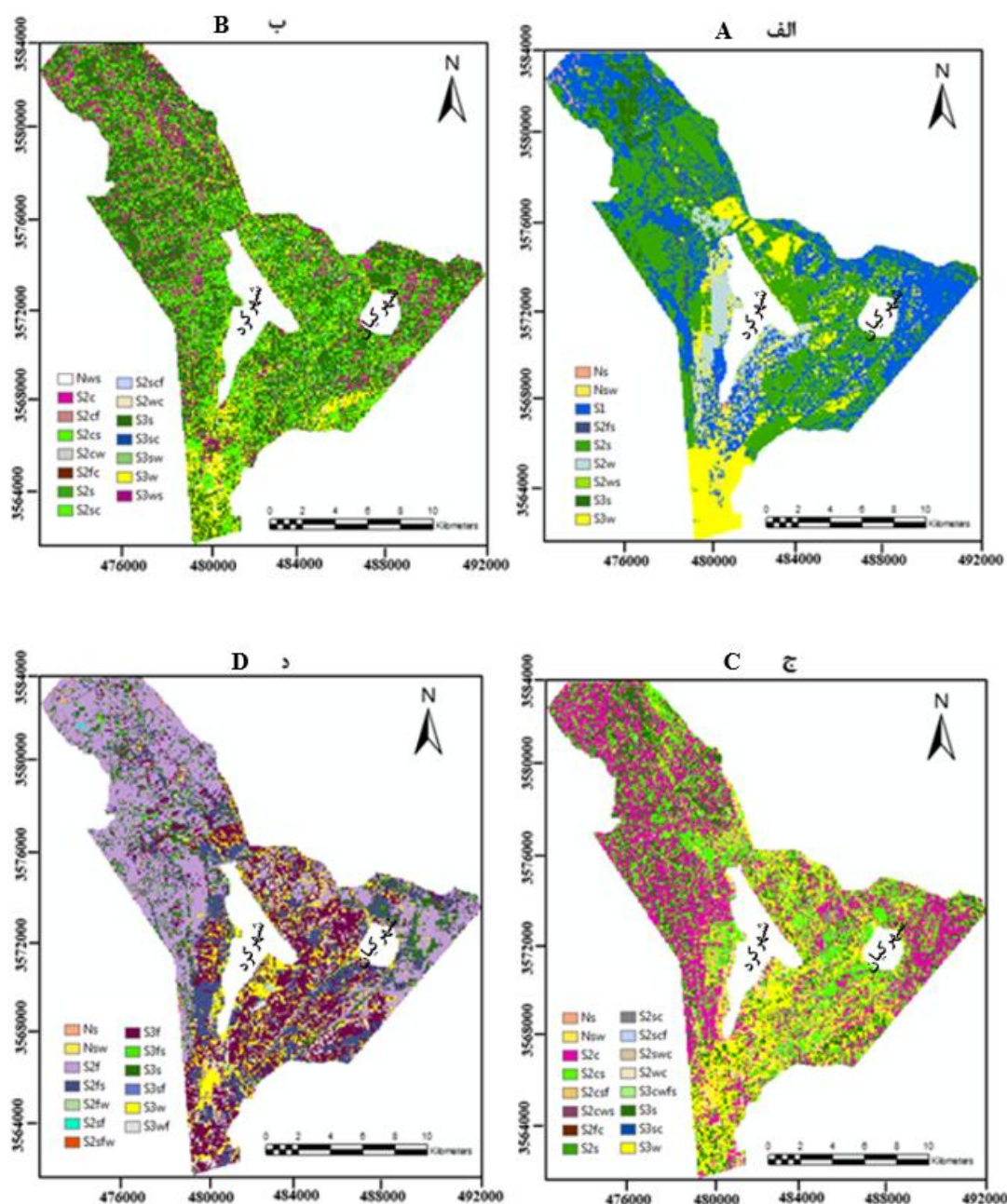
شکل ۳- اهمیت پارامترهای محیطی در پیش‌بینی زیرکلاس‌های تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د). SPI: شاخص قدرت جریان؛ El: ارتفاع؛ FA: تجمع جریان؛ NDVI: شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده؛ PrCur: انحنا نیم‌رخ؛ CaI: شاخص کربنات؛ DifR: تابش پخشیده؛ PICur: انحنا سطحی؛ PVI: شاخص گیاهی عمودی.

Figure 3. Relative importance of auxiliary information used to predict qualitative land suitability subclasses using random forest model for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D). SPI: stream power index, El: elevation, FA: flow accumulation, NDVI: normalized difference vegetation index, PrCur: Profile curvature, CaI: carbonate index, DifR: diffuse radiation, PICur: plan curvature, PVI: perpendicular vegetation index.



شکل ۴- نقشه‌های رقومی تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی در سطح کلاس برای گندم (الف)، ذرت علوفه‌ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د)

Figure 4- Digital qualitative land suitability maps using random forest model at class level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D).



شکل ۵- نقشه‌های رقومی تناسب کیفی اراضی با استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی در سطح زیرکلاس برای گندم (الف)، ذرت علوفه-ای (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د)

Figure 5- Digital qualitative land suitability maps using random forest model at subclass level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato.

منابع

- 1- Abedi A., and Salehi M.H. 2009. Optimum Use of Soil and Water Resources in Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province, Iran. Management and planning organization, Islamic Republic of Iran. (in Persian).
- 2- Bagheri Bodaghabadi M., Martinez-Casasnovas J.A., Salehi M.H., Mohammadi J., EsfandiarpourBorujeni I., Toomanian N., and Gandomkar A. 2015. Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related

- attributes. *Pedosphere*, 25: 580-591.
- 3- Brungard C.W., Boettinger J.L., Duniway M.C., Wills S.A., and Edwards Jr T.C., 2015. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. *Geoderma*, 239-240: 68-83.
- 4- Etedali S., and Givi J. 2013. Qualitative land suitability evaluation for maize in Shahrekord area using FAO method and ALES program. *Journal of Water and Soil*, 26: 1349-1359. (in Persian).
- 5- Foody G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing Environment*, 80: 185-201.
- 6- Givi J. 1997. Qualitative evaluation of land suitability for field and fruit. Publication No. 1015. Soil and Water Research Institute of Iran, Tehran, Iran. (in Persian).
- 7- Givi J. 1998. Qualitative, quantitative and economic land suitability evaluation and land production potential prediction for the main crops of Felavarjan area, Isfahan. Agricultural Planning and Economic Research Institute. (in Persian).
- 8- Jafari A., Ayoubi S., Khademi H., Finke P.A., and Toomanian N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: a case study from an Iranian arid region. *Geomorphology*, 201: 86-97.
- 9- Kamali A. 2003. Land suitability assessment for the main agricultural land uses in Abyek region, Qazvin province using remote sensing and GIS. MSc thesis, Tehran University. (in Persian).
- 10- Mehnatkesh A. 1999. Qualitative, quantitative and economic land suitability evaluation for the main crops of Shahrekord. MSc thesis, Isfahan University of Technology. (in Persian).
- 11- Mohammadi M. 1986. Semi-detailed soil studies report Chaharmahal-Va-Bakhtiari province (Shahrekord and Borujen area). Iranian Soil and Water Research Institute. (in Persian).
- 12- Movahedi Naeini A. 1993. Land suitability evaluation for main irrigated crops in Gorgan region. MSc thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian).
- 13- Pahlavan Rad M.R., Toomanian N., Khormali F., Brungard C.W., Komaki, C.B., and Bogaert P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. *Geoderma*, 232-234: 97-106.
- 14- Rossiter D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories. Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC). 2nd Revised Version.
- 15- Safari Y. 2011. Geostatistical assessing of qualitative land suitability for main irrigated crops in Shahrekord plain. MSc thesis, Vali-E-Asr University of Rafsanjan. (in Persian).
- 16- Safari Y., Esfandiarpour Borujeni I., Kamali A., Salehi M.H. and Bagheri Bodaghabadi M. 2013. Qualitative land suitability evaluation for main irrigated crops in the Shahrekord plain: A geostatistical approach compared with conventional method. *Pedosphere*, 23: 767-778.
- 17- Salehi M.H., Khademi H., Givi J., and Karimian Eghbal M. 2004. Variability of qualitative land suitability evaluation (parametric method) in a detailed map unit in Farrokhsahr area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. *Scientific Journal of Agriculture*. 27: 2.115-126. (in Persian).
- 18- Stoorvogel J., Kempen J., Heuvelink B., and Bruin S. 2009. Implementation and evaluation of existing knowledge for digital soil mapping in Senegal. *Geoderma*, 149: 161-170.
- 19- Van Diepen C.A., Van Keulen H., and Wolf J. 1991. Land Evaluation: From Intuition to Quantification. *Advances in Soil Science*. Springer.
- 20- Zinck J.A. 1989. Physiography and soils. Lecture Notes for Soil Students. Soil Science Division. Soil Survey Courses Subject Matter. The Netherlands.



Assessing the Performance of Digital Mapping Approaches for the Qualitative Land Suitability Evaluation (A Case Study: Shahrekord Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province)

Z. Mosleh^{1*} - M. H. Salehi² - A. Jafari³ - A. Mehnatkesh⁴ - I. Esfandiarpour Borujeni⁵

Received: 23-05-2017

Accepted: 10-12-2017

Introduction: There is a concern with assessment of land performance when used for specific purposes. Land evaluation analysis is considered as an interface between land resources and land use planning and management. However, the conventional soil surveys are usually not useful for providing quantitative information about the spatial distribution of soil properties that are used in many environmental studies. Development of the computers and technology lead to digital and quantitative approaches have been developed. These new techniques rely on finding the relationships between soil and the auxiliary information that explain the soil forming factors or processes and finally predict soil patterns on the landscape. Different types of the machine learning approaches have been applied for digital soil mapping of soil classes, such as the logistic and multinomial logistic regressions, neural networks and classification trees. To our knowledge, most of the previous studies applied land suitability evaluation based on the conventional approach. Therefore, the main objective of this study was to assess the performance of digital mapping approaches for the qualitative land suitability evaluation in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province.

Materials and Methods: An area in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province, Iran, across 32°13' and 32° 23'N, and 50° 47' and 51° 00'E was chosen. The soils in the study area have been formed on Quaternary shale and foliated clayey limestone deposits. Irrigated crops such as wheat, potato, maize and alfalfa are the main land uses in the area. According to the semi-detailed soil survey, 120 pedons with approximate distance of 750 m were excavated and soil samples were taken from different soil horizons. Soil physicochemical properties were determined. The average of soil properties was determined by considering the depth weighted coefficient up to 100 and 150 centimeters for annual and perennial crops, respectively. Qualitative land suitability evaluation for main crops of the area including wheat, maize, alfalfa and potato was determined by matching the site conditions (climatic, hydrology, vegetation and soil properties) with studied crop requirement tables presented by Givi (5). Land suitability classes were determined using parametric method. Land suitability classes reflect degree of suitability as S1 (suitable), S2 (moderately suitable), S3 (marginally suitable) and N (unsuitable). Different machine learning techniques, namely artificial neural networks (ANNs), boosted regression tree (BRT), random forest (RF) and multinomial logistic regression (MLR) were used to test the predictive power for mapping the land suitability evaluation. Terrain attributes, normalized difference vegetation index (NDVI), clay index, carbonate index, perpendicular vegetation index (PVI), geology map, existing soil map (1:50000 scale) and geomorphology map were used as auxiliary information. Finally, all of the environmental covariates were projected onto the same reference system (WGS 84 UTM 39 N) and resampled to 50 * 50 m since the soil samples were collected with approximate distance of 750 m (1:50,000 scale). According to the suggested resolutions for digital soil maps, the pixel size 50 * 50 m fits to a 1:50,000 cartographic scale. Training the models was done with 80% of the data (i.e., 96 pedons) and their validation was tested by the remaining 20% of the dataset (i.e., 24 pedons) that were split randomly. The accuracy of the predicted soil classes was determined using error matrices and overall accuracy.

Results and Discussion: The results showed that climatic conditions are suitable (S1) for wheat and potato whereas the most important limiting factors for maize and alfalfa were the average of minimum temperature and average temperature, respectively. Results demonstrated that among the studied models, random forest showed the highest performance to predict the land suitability classes and subclasses. However, different models had the same ability for prediction. In addition, the overall accuracy decreased from class to subclass for all of the crops. The terrain attributes and remote sensing indices (normalized difference vegetation index and perpendicular

1, 2- Former PhD Student and Professor of Soil Science Department, University of Shahrekord, Respectively

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

3- Assistant Professor of Soil Science Department, Shahid Bahonar University of Kerman

4- Research Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Shahrekord

5- Associate Professor of Soil Science Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

vegetation index) were the most important auxiliary information to predict the land suitability classes and subclasses.

Conclusion: Results suggest that the DSM approaches have enough accuracy for prediction of the land suitability classes that affecting land use management. Although digital mapping approaches increase our knowledge about the variation of soil properties, integrating the management of the sparse lands with different owners should be considered as the first step for optimum soil and land use management.

Keywords: Auxiliary information, Parametric method, Pedon, Terrain attributes



اثر هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر تجمع کلر و برخی عناصر پرمصرف در ذرت در الگوهای مختلف کاشت در شرایط شوری

داوود دوانی^{۱*} - مجید نبی پور^۲ - حبیب الله روشنفکر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۷

چکیده

جهت بررسی اثر مصرف هورمون (عدم مصرف (شاهد)، مصرف سیتوکینین در مرحله V_8-V_{10} و مصرف اکسین در زمان ظهور ابریشم) و الگوی کاشت (یک ردیفه، دو ردیفه و کف فارو) بر تجمع کلر و برخی عناصر پرمصرف در ذرت در شرایط شوری آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. الگوی کاشت به عنوان عامل اصلی و مصرف هورمون به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در الگوهای مختلف کاشت بیشترین میزان سدیم برگ بدون مصرف هورمون به دست آمد ولی کمترین میزان سدیم برگ با تیمار اکسین مشاهده شد. مصرف هورمون در هر سه الگوی کاشت منجر به افزایش پتاسیم بخش هوایی شد که البته بیشترین افزایش با مصرف سیتوکینین با الگوی کاشت کف فارو (۱/۴۶ برابر بیشتر از شاهد) بدست آمد. در کاشت کف فارو مصرف هورمون میزان کلر برگ را کاهش داد و بیشترین کلر برگ بدون مصرف هورمون بدست آمد در حالی که مصرف سیتوکینین و اکسین به ترتیب ۶/۸۶ و ۲۱/۲۴ درصد غلظت کلر را کاهش داد. مصرف هورمون در الگوهای مختلف کاشت کلر بخش هوایی را کاهش داد ولی بیشترین کاهش با سیتوکینین (۲۲ درصد کاهش نسبت به شاهد) بود. به طور کلی نتایج نشان داد که مصرف سیتوکینین و اکسین به ویژه در الگوی کاشت کف فارو موجب کاهش غلظت سدیم، کلر و نسبت سدیم به پتاسیم و افزایش غلظت پتاسیم و کلسیم گیاه شد.

واژه‌های کلیدی: کاشت کف فارو، محلول پاشی، مرحله رشد، نسبت سدیم به پتاسیم

مقدمه

کاهش رشد و عملکرد تحت تنش شوری عمدتاً به دلیل تنش اسمزی القا شده به واسطه شوری می‌باشد (۲۵). دلیل ایجاد تنش اسمزی مقدار بیش از حد نمک‌های محلول در محیط ریشه است، که ممکن است باعث ایجاد اختلال در روابط آبی گیاه، جذب و بهره‌برداری از عناصر غذایی ضروری و همچنین تجمع یون‌های سمی شود. که در نتیجه این تغییرات، فعالیت آنزیم‌های مختلف و سوخت و ساز گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۰). افزایش غلظت نمک محیط می‌تواند منجر به تجمع سمی یون‌هایی مانند کلر و به ویژه سدیم در سیتوزول شود. حضور نامتناسب سدیم در بخش‌های درون سلولی و خارج سلولی تأثیر منفی در جذب و هموستازی عناصر غذایی

ضروری مانند پتاسیم و کلسیم دارد (۲۳).

ذرت گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد بالاست، در سطح جهانی از نظر میزان تولید در دنیا در رتبه اول قرار دارد (۱۱). با توجه به نیاز روز افزون کشور به تأمین مواد غذایی و تولید فرآورده‌های دامی و سهم ذرت در جیره غذایی طیور بررسی عوامل مهم افزایش تولید این محصول استراتژیک اهمیت زیادی پیدا کرده است (۲۷).

الگوی کاشت بوته‌ها می‌تواند بر دسترسی آنها به نور، آب و عناصر غذایی موثر باشد (۳). مطالعات انجام شده پیرامون الگوی کاشت ذرت در کشور حاکی از برتری آرایش کاشت دو ردیفه نسبت به یک ردیفه می‌باشد (۱۲ و ۳۴). با کشت دو ردیفه ذرت، به علت توزیع مناسب تر بوته‌ها، رقابت بین آنها کاهش یافته و موجب استفاده بهتر از عوامل محیطی، در نتیجه افزایش عملکرد محصول خواهد شد (۳۲). با این حال روش‌های کاشت در شرایط شور با روش‌های متداول کاشت در شرایط غیر شور متفاوت می‌باشد و کاشت در کف فارو و یا کشت دو ردیفه در شرایط شور مورد توصیه و تأکید محققان و کارشناسان کشاورزی می‌باشد (۸ و ۱۸).

۱- دانشجوی سابق دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه شهید چمران اهواز و مدرس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر
(*) نویسنده مسئول: Email: davanidavoud@gmail.com

۲ و ۳- استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز
DOI: 10.22067/jsw.v32i1.64801

هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در افزایش توانایی گیاهان برای انطباق با تغییرات محیطی از طریق تأثیر بر فرایندهای رشد و نمو، توزیع مواد غذایی و انتقال از منبع به مقصد دارند. اگر چه بیشتر اسید آبسزیک^۱ به عنوان هورمون تنش مورد مطالعه بوده است، نقش سیتوکینین و اکسین در طول تنش‌های محیطی نباید نادیده گرفته شود (۳۰). مشخص شده است که سیتوکینین‌ها باعث سازگاری گیاهان به شرایط شوری می‌شوند (۱۳). سیتوکینین در تنظیم فرایندهای مختلفی در گیاهان با اسید آبسزیک اثر ضدیت دارد و قرار گرفتن گیاهان در شرایط تنش منجر به کاهش سطوح سیتوکینین می‌شود (۲). برای اطلاع یافتن از پاسخ‌های گیاهان به سیتوکینین اغلب نسبت به مصرف خارجی سیتوکینین اقدام می‌شود (۲۸).

اکسین‌ها نیز نقش بسیار مهمی در تحمل گیاهان به تنش شوری دارند (۱۶). در آزمایشی که توسط فهاد و بانو (۱۰) انجام شد شوری به طور معنی‌داری سطوح اکسین را در برگ‌های ذرت کاهش داد. این احتمال وجود دارد که سیتوکینین و اکسین در تنظیم پروتئین‌های غشایی که در جذب عناصر نقش دارند تغییراتی را ایجاد نمایند (۲۲). بنابراین یک استراتژی جایگزین بهبود اثرات شوری می‌تواند تمرکز بر مصرف خارجی هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین و اکسین باشد که اهمیت زیادی در بهبود رشد گیاه در شرایط شوری دارند. از این رو این آزمایش به منظور بررسی اثر هورمون‌های سیتوکینین و اکسین روی توزیع و تجمع کلر و برخی عناصر پرمصرف در بخش‌های مختلف ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در الگوهای مختلف کاشت در شرایط شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. محل اجرای آزمایش در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا برابر با ۷۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۲۵۰ میلی‌متر است. قبل از کاشت جهت انجام آزمون خاک از عمق ۳۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه خاک تهیه گردید. بر اساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک محل آزمایش دارای ۱۷/۱٪ رس، ۳۲/۵٪ سیلت و ۵۰/۴٪ شن (خاک لوم شنی)، مقادیر کربن آلی، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۰/۵٪، ۱۲/۵ و ۱۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برابر با ۵/۲ و آب مزرعه برابر با ۴ دسی‌زیمنس بر متر که بر این اساس خاک مزرعه در محدوده خاک‌های شور و آب

آبیاری در گروه آب‌های لب شور قرار داشت (۳۱) و pH خاک و آب به ترتیب ۷/۴ و ۷/۶ بود. الگوی کاشت (یک ردیف روی پشته، دو ردیف طرفین پشته به صورت زیگزآگ و یک ردیف کف فارو) به عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی هورمون (عدم مصرف، مصرف سیتوکینین در مرحله V₈-V₁₀ و مصرف اکسین در زمان ظهور ابریشم) به عنوان عامل فرعی (۶ و ۱۷) در نظر گرفته شد. آماده‌سازی زمین با انجام عملیات شخم، دو دیسک عمود برهم و ایجاد جوی-پشته‌هایی به فاصله ۷۵ سانتی‌متر با فاروئر انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل ۵ خط کاشت به طول ۶ متر بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف در الگوی کاشت یک ردیفه و کف فارو برابر با ۱۷/۵ و در روش دو ردیفه برابر با ۳۵ سانتی‌متر بود و بدین ترتیب تراکم بوته برای تمامی تیمارها ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار بود. تاریخ کاشت ۱۵ مرداد ماه بود. مقادیر کود مصرفی در تمام تیمارها یکسان و شامل ۴۰۰ کیلوگرم اوره و ۳۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم بود و با توجه به آزمون خاک نیازی به مصرف پتاسیم نبود. یک سوم کود نیتروژن و کل کود فسفره قبل از کاشت و دو سوم باقیمانده کود نیتروژن به صورت سرک در مرحله ۶ تا ۸ برگی مصرف شد. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. از بنزیل آدنین و ایندول بوتریک اسید (تهیه شده از نمایندگی شرکت مرک آلمان) به ترتیب به عنوان سیتوکینین و اکسین استفاده شد. که به ترتیب با غلظت ۵۰ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند (۶ و ۱۷). جهت حلالیت بیشتر، ابتدا هر دو تنظیم‌کننده در اتانول حل شدند. به منظور جذب بیشتر تنظیم‌کننده‌ها از ماده توین ۲۰ با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده شد (۶). برای از بین بردن اثر آب، اتانول و توین ۲۰، در کرت‌های شاهد نیز آب، اتانول و توین ۲۰ محلول‌پاشی شد. جهت اطمینان از جذب شدن تنظیم‌کننده‌ها توسط گیاه محلول‌پاشی در هر مرحله چهار روز متوالی تکرار و جهت جلوگیری از تبخیر سریع آنها به وسیله نور خورشید و هم اینکه تا صبح روز بعد مدت زمان مناسبی جهت جذب بهینه محلول وجود داشته باشد، محلول‌پاشی هم‌زمان با غروب آفتاب انجام شد. بعد از آخرین مرحله محلول‌پاشی برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی ۱۰ بوته به طور تصادفی و بعد از حذف اثر حاشیه‌ای در هر کرت فرعی انتخاب شد. برای به دست آوردن وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت. مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم از ماده خشک نمونه با ۲۰ میلی‌لیتر اسید (به نسبت ۱:۱ از اسید استیک ۱۰ درصد و اسید نیتریک ۰/۱ نرمال همراه با شیکر نمودن نمونه در مدت ۲۴ ساعت) هضم شدند و از این عصاره برای اندازه‌گیری مقدار سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم‌فتومتر مدل UK-Jenway (۳۳) و کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون (۹) استفاده شد. اندازه‌گیری یون کلر در برگ به وسیله نیترات نقره در مجاورت معرف کرومات پتاسیم انجام شد (۴). جهت اطلاع از تغییرات شوری خاک دو مرحله طی انجام آزمایش (۹۳/۶/۲۰)

علت این افزایش احتمالاً افزایش مقدار تبخیر در منطقه به دلیل افزایش دما بوده است که سبب افزایش تبخیر و در نتیجه افزایش غلظت املاح در خاک گردید. البته با گذشت زمان و انجام آبیاری افزایش شوری در مرکز پشته بیشتر از گذشته شده ولی در کف فارو این افزایش چشمگیر نبود. به عقیده هافمن و همکاران (۱۵) در روش آبیاری جوی و پشته‌ای نمک‌ها بر روی پشته‌ها تجمع می‌یابند زیرا آب‌شویی نمک در داخل جویچه‌ها انجام می‌شود.

غلظت سدیم

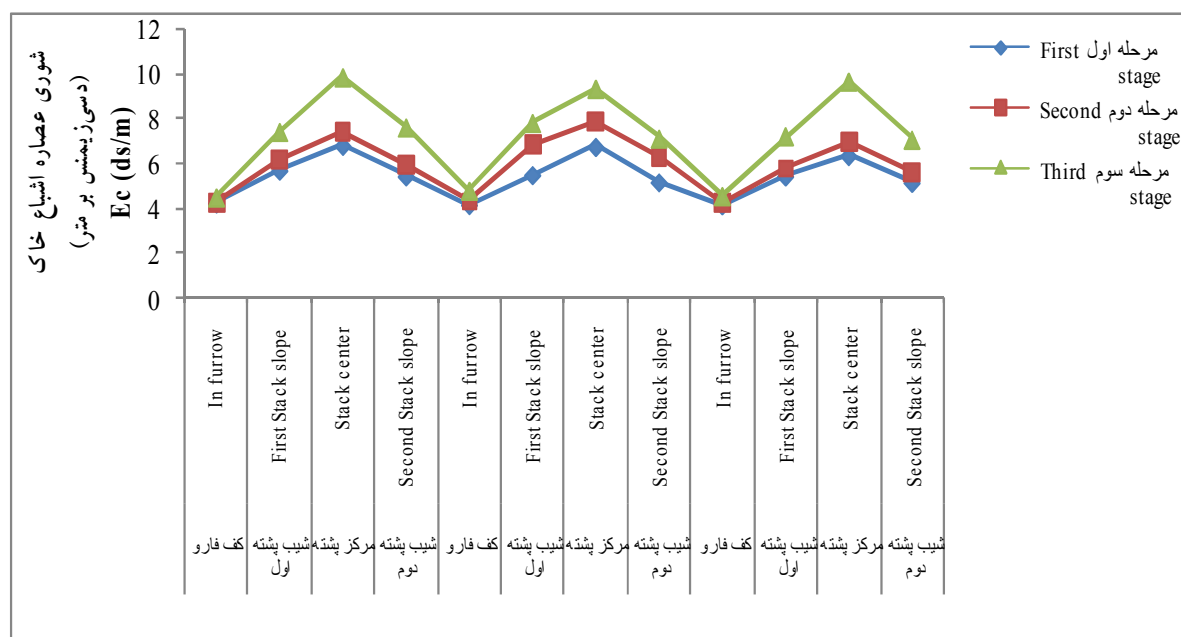
میزان سدیم برگ در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر الگوی کاشت، نوع هورمون و اثر متقابل الگوی کاشت و نوع هورمون قرار گرفت (جدول ۱). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کاشت در تنظیم‌کننده نشان داد که در هر سه الگوی کاشت بیشترین میزان یون سدیم برگ بدون مصرف تنظیم‌کننده به دست آمد در حالی که کمترین میزان یون سدیم برگ با تیمار اکسین مشاهده شد. در بین کلیه تیمارها بیشترین میزان یون سدیم برگ به الگوی کاشت معمول بدون مصرف هورمون مربوط بود در حالی که کمترین میزان به الگوی کاشت کف فارو همراه با مصرف اکسین تعلق داشت (شکل ۲).

و ۹۳/۸/۱) و یک مرحله پس از برداشت (۹۳/۹/۱۵)، در هر الگوی کاشت از ۴ محل کف فارو، لبه پشته اول و دوم و مرکز پشته از عمق ۰-۳۰ سانتی متر خاک نمونه تهیه شد و EC خاک اندازه‌گیری شد. برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات شوری خاک

نتایج اندازه‌گیری میزان شوری عصاره اشباع خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در موقعیت‌های مختلف الگوهای کاشت و در زمان‌های مختلف نشان داد که در الگوهای مختلف کاشت به دلیل حرکت نمک در اثر صعود مویینگی و تجمع آن در روی پشته‌ها، بیشترین شوری به مرکز پشته اختصاص داشت در حالی که کمترین شوری به کف فارو تعلق داشت (شکل ۱). همچنین نتایج مشخص کرد که با نزدیک شدن به انتهای دوره رشد، شوری خاک در روش‌های مختلف کاشت افزایش یافت به طوری که در بین سه مرحله اندازه‌گیری بیشترین میزان شوری به زمان اندازه‌گیری بعد از برداشت تعلق داشت. که



شکل ۱- شوری عصاره اشباع خاک در موقعیت‌های مختلف الگوهای کاشت

Figure 1- Soil salinity at different situations planting patterns

جدول ۱ - تجزیه واریانس اثر هورمون های سیتوکینین و اکسین و گلیکالیت بر میزان عناصر معدنی

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean of Squares																	
		سدیم			پتاسیم			نسبت سدیم به پتاسیم			کلسیم			منیزیم			کلر		
		برگ	دانه	برگ هوایی	برگ	دانه	برگ هوایی	برگ	دانه	برگ هوایی	برگ	دانه	برگ هوایی	برگ	دانه	برگ هوایی	برگ	دانه	برگ هوایی
Na			K			Na/K			Ca			Mg			Cl				
Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	
2	0.03	1.06	0.01	0.001	3.74	7.48	0.001	0.006	0.001	0.001	0.94	0.43	0.01	3.24	0.53	0.85	29.76	0.002	
2	6.16**	29.97*	3.39*	208.238**	35.73*	39.14*	0.568**	0.088*	0.029*	0.568**	1.72 ^{ns}	2.15 ^{ns}	30.26**	1.04 ^{ns}	3.51 ^{ns}	4.67**	299.73**	0.006 ^{ns}	
4	0.01	4.12	0.46	0.019	4.58	5.56	0.001	0.012	0.004	0.001	0.88	1.44	0.01	1.17	1.65	0.22	16.88	0.098	
2	2.79**	9.32*	1.24*	6.425*	9.35*	12.16*	0.048*	0.046*	0.012*	0.048 ^{ns}	0.80 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.02 ^{ns}	7.44 ^{ns}	0.136 ^{ns}	
4	0.16**	0.84 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1.804 ^{ns}	7.80*	0.72 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.015 ^{ns}	1.58 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.05 ^{ns}	2.57 ^{ns}	1.42 ^{ns}	0.25**	11.94*	0.021 ^{ns}	
12	0.01	2.36	0.27	1.547	1.89	2.98	0.011	0.009	0.003	0.011	0.66	0.87	0.27	1.04	1.17	0.03	2.74	0.036	
خطای Error a																			
هورمون Hormone																			
A × B																			
خطای Error b																			
تجزیه C.V. %																			
3.8	9.8	11.2	14.1	16.4	16.9	32.4	12.7	19.2	32.4	13.2	12.7	11.3	17.6	11.1	5.1	8.9	7.8		

ns, *, **, Not-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. + جهت انبازگیری غلظت عناصر بخش هوایی، از همه اندام‌های گیاه شامل برگ‌ها، ساقه، گل تاخ، دانه، چوب پال و غلاف پال استفاده شد. ns, *, **, به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

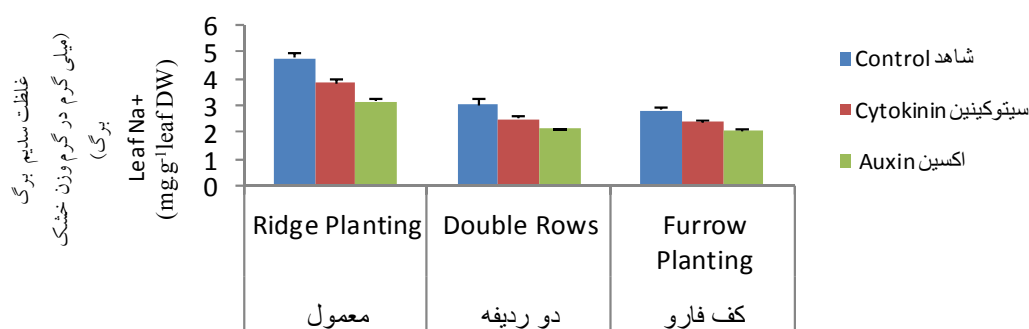
All plant parts including leaves, stem, tassel, seed, cob and pod ear were used to measure the concentration of shoot elements.

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثر هورمون‌های سیتوکینین و اکسین و الگوی کاشت بر میزان عناصر معدنی
Table 2- Mean comparison of the effect of cytokinin and auxin hormones and planting pattern on the mineral elements

تیمار Treatment	سدیم (میلی گرم در گرم خشک) Sodium (mg/g DM)			پتاسیم (میلی گرم در گرم خشک) Potassium (mg/g DM)			نسبت سدیم به پتاسیم			کلسیم (میلی گرم در لیتر)			مینیزیم (میلی گرم در لیتر)			کلر (میلی گرم در لیتر)		
	برگ	بخش هوایی	دانه	برگ	بخش هوایی	دانه	برگ	بخش هوایی	دانه	برگ	بخش هوایی	دانه	برگ	بخش هوایی	دانه	برگ	بخش هوایی	دانه
	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain	Leaf	Shoot	Grain
الگوی کاشت Planting pattern																		
یک ردیفه Ridge planting	3.91a	3.84a	1.31a	6.58c	8.6a	۷/۸b	0.62a	0.35a	0.41a	2.64c	2.62a	1.82a	5.57a	2.88a	3.11a	4.18a	14.77a	0.6a
دو ردیفه Double Rows	2.55b	3.04a _b	1.04b	11.04b	10.37a	4.22a	0.23b	0.24b	0.24b	5.06b	2.33a	2.26a	4.72b	2.86a	1.86a	3.75a	6.88b	0.55a
کف فارو Furrow planting	2.41b	1.98b	0.49c	16.19a	8.84a	4.94a	0.14c	0.20b	0.09c	6.23a	3.2a	2.82a	4.35c	3.46a	2.4a	2.77b	3.53c	0.59a
هورمون Hormon																		
شاهد Control	3.54a	4.07a	1.22a	۸/۴b	۷/۳c	۴/۴b	0.42a	0.44a	0.27a	4.69a	2.37a	2.40a	4.85a	2.91a	2.44a	3.63a	9.45a	0.70a
سیتوکینین Cytokinin	2.90b	2.24b	0.97b	11.03a	11.33a	5.29a _b	0.26b	0.29b	0.18b	4.42a	2.84a	2.31a	4.89a	3.06a	2.40a	3.53a	7.87a	0.56b
اکسین Auxin	2.43c	1.54c	0.63c	9.04b	9.13b	5.04a	0.27b	0.22b	0.12c	4.82a	2.93a	3.20a	4.90a	3.24a	2.53a	3.54a	7.17a	0.47b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)



شکل ۲- غلظت سدیم برگ در الگوهای مختلف کاشت تحت تأثیر مصرف یا عدم مصرف هورمون
Figure 2- Na concentration in different planting patterns affected by the use or non-use of hormone

طرفی با توجه به اینکه در این تحقیق مصرف هورمون‌های سیتوکینین و اکسین منجر به افزایش بیوماس گیاه گردید می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً میزان سدیم جذب شده توسط گیاه در میان تعداد سلول‌های بیشتری توزیع شد و این توزیع متناسب منجر به کاهش غلظت سدیم در بخش‌های مختلف گیاه گردید. و با توجه به اینکه بیشترین میزان بیوماس با مصرف اکسین بدست آمد، میزان کاهش سدیم در تیمار مصرف اکسین بیشتر بود. زیرا در این حالت سرعت جذب و انتقال سدیم به بخش هوایی از سرعت رشد بخش هوایی کمتر می‌باشد (۲۴).

غلظت پتاسیم

غلظت پتاسیم برگ نیز در بین روش‌های مختلف کاشت تفاوت داشت (جدول ۱). بیشترین میزان پتاسیم برگ با الگوی کاشت کف فارو برابر با ۱۶/۱۹ میلی‌گرم بدست آمد در حالی که کمترین میزان به الگوی کاشت معمول با میانگین ۶/۵۸ میلی‌گرم تعلق داشت (جدول ۲). میزان پتاسیم با کاشت دو ردیفه و کف فارو نسبت به کاشت معمول به ترتیب ۴۰/۳۹ و ۵۹/۳۵ درصد افزایش یافت. اثر هورمون نیز بر میزان یون پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (۱). تیمار سیتوکینین بیشترین میزان یون پتاسیم را برابر با ۱۱/۰۳ میلی‌گرم داشت که نسبت به تیمار عدم مصرف هورمون ۲۳/۳ درصد بیشتر بود. کمترین میزان یون پتاسیم نیز برابر با ۸/۴۶ میلی‌گرم با تیمار شاهد بدست آمد در حالی که با تیمار اکسین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

میزان پتاسیم دانه نیز در بین روش‌های مختلف کاشت تفاوت داشت (جدول ۱). بیشترین میزان پتاسیم با الگوی کاشت کف فارو برابر با ۴/۹۴ میلی‌گرم بدست آمد که البته تفاوت معنی‌داری با الگوی کاشت دو ردیفه نداشت. کمترین میزان پتاسیم دانه نیز به تیمار الگوی کاشت معمول با میانگین ۳/۱۸ میلی‌گرم تعلق داشت (جدول ۲). اثر هورمون نیز بر میزان پتاسیم دانه در سطح احتمال ۵ درصد

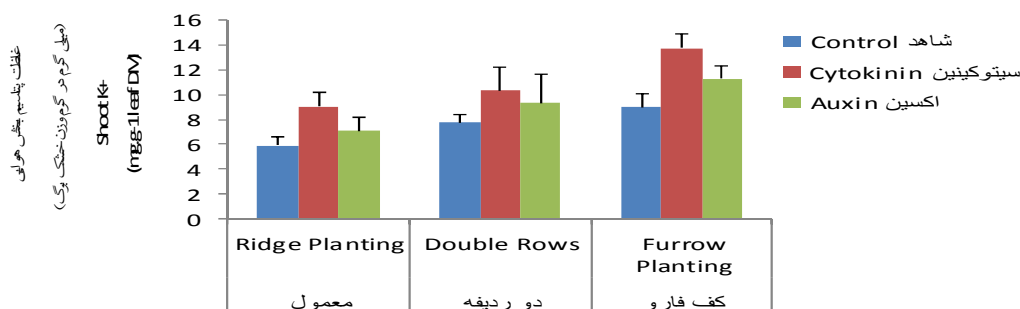
میزان سدیم دانه در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر الگوی کاشت و مصرف هورمون قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین میزان سدیم دانه برابر با ۱/۳۱ میلی‌گرم به الگوی کاشت یک ردیفه اختصاص داشت در حالی که کمترین میزان برابر با ۰/۴۹ میلی‌گرم با الگوی کاشت کف فارو مشاهده شد (جدول ۲). افزایش یافتن غلظت املاح مختلف در بافت گیاه در الگوی کاشت یک ردیفه نسبت به دو ردیفه و کف فارو می‌تواند مربوط به بیشتر بودن غلظت این عناصر در محل استقرار بوته در این الگوی کاشت باشد. افزایش میزان سدیم و کلر گیاه در الگوی کاشت یک ردیفه را می‌توان به کاهش رشد بخش هوایی (۲۶) و وقوع اثر تغلیظ و افزایش سرعت خالص انتقال یون‌های مذکور به بخش هوایی نسبت داد (۲۴). همچنین در بین تیمارهای مصرف هورمون بیشترین میزان سدیم دانه برابر با ۱/۲۲ میلی‌گرم با تیمار شاهد بدست آمد در حالی که کمترین میزان برابر با ۰/۶۳ میلی‌گرم به تیمار مصرف اکسین تعلق داشت (جدول ۲).

میزان سدیم بخش هوایی نیز در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر الگوی کاشت قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین میزان سدیم بخش هوایی برابر با ۴/۰۷ میلی‌گرم با الگوی کاشت معمول به دست آمد در حالی که کمترین میزان برابر با ۱/۵۴ میلی‌گرم با کاشت فارو مشاهده شد. میزان سدیم بخش هوایی تحت تأثیر مصرف هورمون نیز قرار گرفت و با مصرف هورمون میزان سدیم بخش هوایی کاهش یافت و کمترین میزان آن برابر با ۱/۹۸ میلی‌گرم به تیمار اکسین اختصاص داشت (جدول ۲). افزایش غلظت نمک محیط می‌تواند منجر به تجمع سمی یون‌هایی مانند کلر و به ویژه سدیم در سیتوزول شود. حضور نامتناسب سدیم در بخش‌های درون سلولی و خارج سلولی تأثیر منفی در جذب و هموستازی عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم و کلسیم دارد (۲۳). این احتمال وجود دارد که اکسین و سیتوکینین با تشکیل کمپلکس با سدیم مانع از جذب آن توسط گیاه و انتقال آن از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه شدند. و از

اشتباه شوند. بنابراین سدیم به راحتی از طریق ناقل‌های پتاسیم وارد سلول شده و جذب پتاسیم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر انتقال سدیم به قسمت‌های مختلف گیاه و برگ‌ها باعث جایگزینی آن‌ها با کلسیم شده که سبب به هم ریختگی غشا می‌شود و در نتیجه توانایی غشاءها برای جذب انتخابی برخی از یون‌ها دچار اختلال شده و عدم تعادل یونی غیر قابل اجتناب خواهد بود (۱). گزارش شده است که سیتوکینین باعث القا باز شدن روزنه می‌شوند و ممکن است این کار را با کمک به جذب بیشتر پتاسیم و تجمع در سلول‌های برگ انجام دهد (۵). همچنین این احتمال وجود دارد که سیتوکینین و اکسین در تنظیم پروتئین‌های غشایی که در جذب عناصر نقش دارند تغییراتی را ایجاد نمایند (۲۲). یکی از این ناقل‌ها پادیر K^+-Na^+ می‌باشد که در شرایط شوری، سدیم را از سلول‌های ریشه خارج و پتاسیم را به آنها وارد می‌کند (۲۴).

معنی‌دار شد (جدول ۱). مصرف هورمون منجر به افزایش میزان پتاسیم دانه گردید که البته تفاوت معنی‌داری بین سیتوکینین و اکسین وجود نداشت ولی بیشترین میزان برابر با ۵/۲۹ به تیمار سیتوکینین اختصاص داشت. کمترین میزان نیز برابر با ۴/۴۶ بدون مصرف هورمون بدست آمد (جدول ۲).

میزان پتاسیم بخش هوایی تحت تأثیر الگوی کاشت، مصرف هورمون و اثر متقابل الگوی کاشت در هورمون قرار گرفت (جدول ۱). مصرف هورمون در هر سه الگوی کاشت منجر به افزایش میزان پتاسیم بخش هوایی شد که البته بیشترین افزایش با مصرف سیتوکینین بدست آمد (شکل ۳). کاهش غلظت پتاسیم در گیاه در محیط شور به این علت است که وجود غلظت‌های بالای سدیم در محیط خارجی باعث ایجاد رقابت با پتاسیم برای ورود به داخل سلول می‌شود و چون این دو یون دارای شعاع هیدراته مشابهی هستند، پروتئین‌های انتقال دهنده آنها ممکن است در تشخیص آنها دچار



شکل ۳- غلظت پتاسیم بخش هوایی در الگوهای مختلف کاشت تحت تأثیر مصرف یا عدم مصرف هورمون
Figure 3- K concentration of shoot in different planting patterns affected by the use or non-use of hormone

پتاسیم بخش هوایی با الگوی کاشت معمول برابر با ۰/۳۵ بدست آمد در حالی که کمترین نسبت سدیم به پتاسیم بخش هوایی به الگوی کاشت کف فارو با میانگین ۰/۲ اختصاص داشت ولی تفاوت معنی‌داری با کاشت دو ردیفه نداشت (جدول ۲). اثر مصرف هورمون نیز بر نسبت سدیم به پتاسیم بخش هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم بخش هوایی برابر با ۰/۴۴ بدون مصرف هورمون بدست آمد و کمترین میزان نیز برابر با ۰/۲۲ با مصرف اکسین مشاهده شد ولی تفاوت معنی‌داری با تیمار سیتوکینین نداشت (جدول ۲).

همچنین نسبت سدیم به پتاسیم دانه در بین روش‌های مختلف کاشت تفاوت داشت (جدول ۱). بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم دانه با الگوی کاشت معمول برابر با ۰/۴۱ مشاهده شد و کمترین میزان به الگوی کاشت کف فارو با میانگین ۰/۰۹ اختصاص داشت (جدول ۲). نسبت سدیم به پتاسیم دانه تحت تأثیر مصرف هورمون نیز قرار

نسبت سدیم به پتاسیم

نسبت سدیم به پتاسیم برگ در بین روش‌های مختلف کاشت تفاوت داشت (جدول ۱). بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم برگ با الگوی کاشت معمول برابر با ۰/۶۲ مشاهده شد در حالی که کمترین میزان به الگوی کاشت کف فارو با میانگین ۰/۱۴ اختصاص داشت (جدول ۲). اثر هورمون نیز بر نسبت سدیم به پتاسیم برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱-۴). بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم برگ برابر با ۰/۴۲ بدون مصرف هورمون بدست آمد و کمترین میزان نیز برابر با ۰/۲۶ با مصرف سیتوکینین مشاهده شد ولی تفاوت معنی‌داری با تیمار اکسین نداشت (جدول ۲). به طور کلی نسبت سدیم به پتاسیم برگ با مصرف هورمون به طور متوسط به میزان ۳۶/۹ درصد کاهش یافت.

در بخش هوایی نیز نسبت سدیم به پتاسیم در بین روش‌های مختلف کاشت تفاوت داشت (جدول ۱). بیشترین نسبت سدیم به

آدامز (۱۴) گزارش دادند که با افزایش غلظت Na^+ محلول خاک، کلسیم به دلیل رقابت Na^+ با Ca^{2+} ، غلظت کلسیم بخش هوایی کاهش یافت. لاجی و لینچ (۲۱) بیان داشتند که احتمالاً سدیم از حرکت شعاعی کلسیم از محلول بیرونی به آوند چوبی ریشه با اشغال نمودن مکان‌های تبادل کاتیونی در آپوپلاست جلوگیری می‌کند.

غلظت منیزیم

میزان منیزیم برگ در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر الگوی کاشت قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان منیزیم برگ برابر با ۵/۵۷ میلی گرم با الگوی کشت معمول بدست آمد در حالی که کمترین میزان با میانگین ۴/۳۵ میلی گرم مربوط به الگوی کاشت کف فارو بود (جدول ۲). میزان منیزیم برگ با الگوی کاشت دو ردیفه و کف فارو نسبت به الگوی کاشت معمول به ترتیب به میزان ۱۵/۲۶ و ۲۱/۹ درصد کاهش یافت. افزایش میزان منیزیم گیاه در الگوی کاشت یک ردیفه را می‌توان به کاهش رشد بخش هوایی (۲۶) و وقوع اثر تغلیظ و افزایش سرعت خالص انتقال یون‌های مذکور به بخش هوایی نسبت داد (۲۴).

غلظت کلر

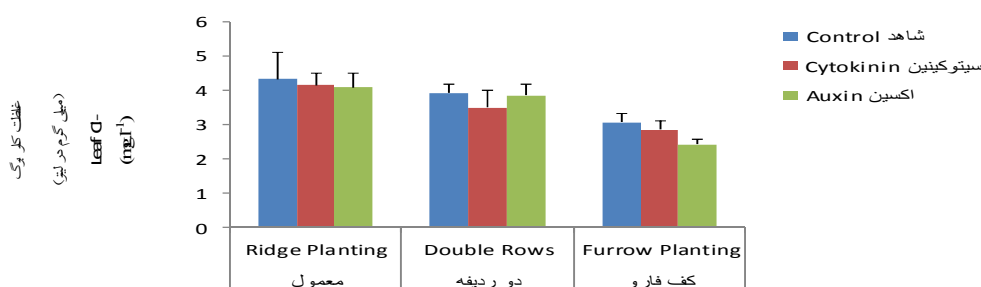
میزان کلر برگ در سطح ۱ درصد تحت تأثیر الگوی کاشت و الگوی کاشت در هورمون قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که در الگوی کاشت کف فارو مصرف هورمون، میزان کلر برگ را کاهش داد به طوری که بیشترین میزان کلر برگ بدون مصرف هورمون بدست آمد در حالی که مصرف هورمون‌های سیتوکینین و اکسین به ترتیب ۶/۸۶ و ۲۱/۲۴ درصد میزان کلر برگ را کاهش داد (شکل ۴).

گرفت (جدول ۱). بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم دانه برابر با ۰/۲۷ بدون مصرف هورمون بدست آمد و کمترین میزان نیز برابر با ۰/۱۲ با مصرف اکسین مشاهده شد (جدول ۲).

افزایش جذب سدیم معمولاً با کاهش جذب پتاسیم و در نتیجه افزایش نسبت سدیم به پتاسیم همراه است. کاهش پتاسیم و افزایش سدیم یکی از بارزترین آثار شوری است. در این آزمایش، تغییر الگوی کاشت از یک ردیفه به دو ردیفه و کف فارو باعث کاهش مقدار سدیم و افزایش پتاسیم شد که در نتیجه باعث کاهش نسبت سدیم به پتاسیم شد و این امر سبب افزایش انتقال پتاسیم به بخش‌های مختلف گیاه و کاهش تجمع سدیم در گیاه گردید. بر اساس نتایج تحقیقات هر چه این نسبت کمتر باشد تحمل گیاه در برابر شوری افزایش می‌یابد و ممکن است به عنوان یک معیار انتخاب مهم برای ارزیابی تحمل گونه‌های زراعی مختلف به شوری در نظر گرفته شود (۱۹).

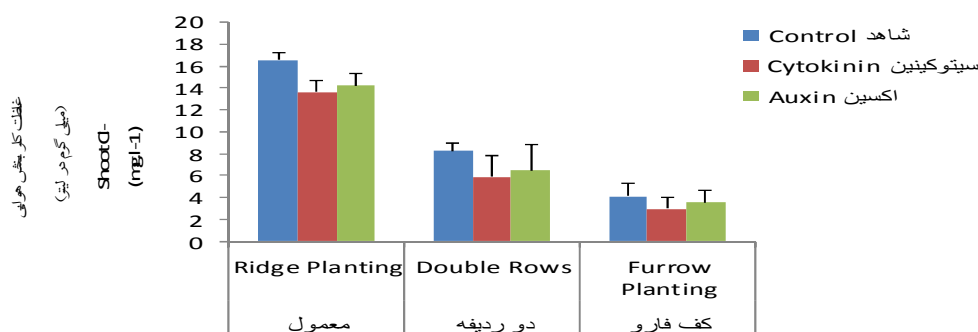
غلظت کلسیم

اثر الگوی کاشت روی میزان کلسیم برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان کلسیم برگ برابر با ۶/۲۳ میلی گرم با الگوی کاشت کف فارو بدست آمد در حالی که کمترین میزان با میانگین ۲/۶۴ میلی گرم مربوط به الگوی کاشت معمول بود. میزان کلسیم با الگوی کاشت دو ردیفه و کف فارو نسبت به الگوی کاشت معمول به ترتیب به میزان ۴۷/۸۲ و ۵۷/۶۲ درصد افزایش داشت (جدول ۲). این نتیجه رابطه منفی بین شوری و کلسیم را نشان می‌دهد زیرا در شرایط شوری این تحقیق، در الگوی کاشت یک ردیفه نسبت به روش‌های کاشت دو ردیفه و کف فارو گیاه در معرض شوری بیشتری قرار داشت. سولومن و همکاران (۳۳) و هو و



شکل ۴- غلظت کلر برگ در الگوهای مختلف کاشت تحت تأثیر مصرف یا عدم مصرف هورمون

Figure 4- Cl concentration of leaf in different planting patterns affected by the use or non-use of hormone



شکل ۵- غلظت کلر بخش هوایی در الگوهای مختلف کاشت تحت تأثیر مصرف یا عدم مصرف هورمون
Figure 5- Cl concentration of shoot in different planting patterns affected by the use or non-use of hormone

گذاشته و موجب کاهش جذب، انتقال و تجمع یون‌های غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم در گیاه می‌شود که سبب کاهش بیشتر رشد می‌شود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که افزایش یافتن غلظت سدیم، منیزیم و کلر در برگ و بخش هوایی گیاه در الگوی کاشت یک ردیفه نسبت به روش‌های کاشت دو ردیفه و کف فارو می‌تواند مربوط به افزایش میزان شوری در محل استقرار گیاه و از طرفی کاهش رشد بخش هوایی گیاه و در نتیجه افزایش غلظت بیشتر عناصر در بخش‌های مختلف گیاه در الگوی کاشت یک ردیفه بود. همچنین بیشتر بودن غلظت عناصر در دانه در الگوی کاشت یک ردیفه نیز می‌تواند به علت بیشتر بودن غلظت این عناصر در اندام‌های هوایی گیاه و انتقال آن به دانه در این الگوی کاشت باشد. مصرف سیتوکینین و اکسین به ویژه در الگوی کاشت کف فارو موجب کاهش غلظت سدیم، کلر و نسبت سدیم به پتاسیم و افزایش غلظت پتاسیم و کلسیم گیاه شد که به نظر می‌رسد نتیجه اثر مصرف این هورمون‌ها بر افزایش بیوماس گیاه و در نتیجه تقسیم میزان عناصر جذب شده بین تعداد سلول‌های بیشتر بود.

بر اساس تحقیق پاریدا و داس (۲۹) جذب نمک (NaCl) زیاد با جذب دیگر عناصر غذایی به خصوص K^+ در رقابت است که منجر به کمبود پتاسیم می‌گردد. این اختلال را به سمیت ویژه یون مانند Na^+ و Cl^- نسبت دادند. مصرف هورمون‌های سیتوکینین و اکسین در روش‌های مختلف کاشت در این تحقیق توانست غلظت کلر بخش هوایی و برگ گیاه را کاهش دهد که به نظر می‌رسد با افزایش بیوماس گیاه در اثر مصرف هورمون‌های سیتوکینین و اکسین مرتبط باشد. میزان کلر بخش هوایی تحت تأثیر الگوی کاشت و اثر متقابل الگوی کاشت در هورمون قرار گرفت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کاشت در هورمون نشان داد که مصرف هورمون در هر سه الگوی کاشت میزان کلر بخش هوایی را کاهش داد ولی بیشترین کاهش با مصرف سیتوکینین بدست آمد (شکل ۵).

نتیجه‌گیری

یکی از اثرات شوری بر گیاه اختلالات تغذیه‌ای است. وجود مقادیر زیاد کلرید سدیم در محیط ریشه اثر منفی بر تغذیه گیاه

منابع

- 1- Aqueel Ahmad M. S., Javed F., and Ashraf M. 2007. Iso osmotic effect of NaCl and PEG on growth, cations and free proline accumulation in callus tissue of two indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 53: 53-63.
- 2- Argueso C. T., Ferreira F. J., and Kieber J. J. 2009. Environmental perception avenues: the interaction of cytokinin and environmental response pathways. *Plant, Cell & Environment*, 32: 1147-1160.
- 3- Ashraf M., Athar H. R., Harris P. J. C., and Kwon T. R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97: 45-110.
- 4- Chapman H. D., and Pratt P. F., 1961. Methods of analysis for soil, plant and water. Univ. Calif., Div. Agriculture Science, p. 60-62.
- 5- Dodd I. C. 2003. Hormonal interactions and stomatal responses. *Plant Growth Regulation*, 22: 32-46.
- 6- Emam, Y., Karimzade- Soressjani, H., Mouri, S., and Maghsoudi, K. 2013. Reaction auxin and cytokinin concentrations of functional bread wheat and durum in terminal drought. *Journal of Crop Production and Processing*, 3 (8): 93-103. (in Persian).
- 7- Emami A. 1996. Methods of Plant Analysis. First volume, Technical Issue No. 982, Soil and Water Research Institute. Tehran Univ. Press, 248p. (in Persian)

- 8- Esmaeili A., and Roshan A. 2006. Effects of nitrogen fertilizer on the environment. Zeiton, 18: 20-30. (in Persian with English Abstract).
- 9- Estefan G., Sommer R., and Ryan J. 2013. Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A manual for the West Asia and North Africa region, Third Edition. 243 p.
- 10- Fahad S., and Bano A. 2012. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. Pakistan Journal of Botany, 44 (4): 1433-1438.
- 11- FAO Statistical Yearbook. 2013. World food and agriculture. Pp 132. . [http:// www. Fao. Org/ economic/ess/ess-publication/ ess- yearbook](http://www.Fao.Org/economic/ess/ess-publication/ess-yearbook).
- 12- Ghanbari-Birgani D., Zand E., Barzegari M., and Khorramian M. 2010. The effect of planting pattern and the use of herbicides on weed population, grain yield and water use efficiency of Corn SC 704. Iranian Journal of Crop Sciences, 12 (1): 1-17. (in Persian with English Abstract).
- 13- Hadiarto T., and Tran L. S. 2011. Progress studies of drought-responsive genes in rice. Plant Cell Reports, 30: 297-310.
- 14- Ho L.C., and Adams P. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta Horticulturae, 396: 33-39.
- 15- Hoffman G.J., Howell T.A., and Solomon K.H. 1990. Management of farm irrigation system . American Society of Agricultural Engineers, USA.
- 16- Kaya C., Tuna A. L., and Okant A. M. 2010. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34: 529-538
- 17- Keshavarzi, M. S., Jafari- Haghighi, B., and Bagheri, A. R. 2013. Evaluation the effect of auxin and gibberellin on quantitative and qualitative characteristics of forage corn. Journal of Plant Ecophysiology, 5(15) 26-35. (in Persian).
- 18- Khavari-Khorasani S. 2012. The handbook of corn production. Gholami Press, 250 p. (in Persian).
- 19- Kusvuran S., Yasar F., and Abak K. 2007. Utilizing some of screening methods in order to determine of tolerance of salt stress in the melon (*Cucumis melo* L.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3: 40-45.
- 20- Lacerda C. F., Cambraia J., Cano M. A. O., Ruiz H. A., and Prisco J. T. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany, 49:107-120.
- 21- Lauchi A., and Lynch J. 1985. Salt stress disturbs the Ca nutrition of barely. New Phytologist, 99: 345-354.
- 22- Lopez M. L., Peralta-Videa J. R., Benitez T., and Gardea-Torresdey J. L. 2005. Enhancement of lead uptake by alfalfa (*Medicago sativa*) using EDTA and a plant growth promoter. Chemosphere, 61: 595-598.
- 23- Manchanda G., and Garg N. 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiologiae Plantarum, 30: 595-618.
- 24- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- 25- Munns R., and Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
- 26- Najafi N., and Sarhazade A. 2012. The effect of NaCl salinity and soil waterlogging on the growth characteristics of maize in the greenhouse. Journal of Greenhouse Culture Science and Technology, 3 (10): 1-15. (in Persian with English Abstract).
- 27- Noormohamadi Gh., Siadat A., and Kashani A. 2009. Cereal Agronomy. Shahid Chamran University of Ahvaz Press, 441 pp. (in Persian).
- 28- Norimoto M. 2014. Review: Plant growth hormone cytokinins control the crop seed yield. American Journal of Plant Sciences, (5): 2178-2187.
- 29- Parida A. K., and Das A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324-349.
- 30- Peleg Z., and Blumwald E. 2011. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. Current Opinion in Plant Biology, 14: 290-295.
- 31- Salardini, A. A. 2008. Soil fertility. University of Tehran press, Tehran. 434 p. (in Persian).
- 32- Shahkarami G., and Rafiee M. 2009. Response of corn (*Zea mays* L.) to planting pattern and density in Iran. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science, 5 (1): 69-73. (in Persian with English Abstract).
- 33- Soloman M., Geldalovich E., Mayer A. M., and Poljakoff M. A. 1986. Changes induced by salinity to the anatomy and morphology of excised pea roots in culture. Annals of Botany, 57: 811-818.
- 34- Tahmasebi, I., and Rashed-Mohassel M. H. 2009. Effect of plant density on yield and yield components of two hybrids of corn. Iranian Journal of Agricultural Research, 7 (1): 105-113. (in Persian with English Abstract).



The Effect of Cytokinin and Auxin Hormones on the Distribution and Accumulation of Chlorine and Some Macroelements in Different Sectors of Maize in Different Planting Patterns in Saline Condition

D. Davani^{1*} - M. Nabipour² - H. Roshanfekar Dezfooli³

Received: 03-07-2016

Accepted: 18-12-2017

Introduction: Maize (*Zea mays* L.) which belongs to the Poaceae family is the third important cereal crop of the world after wheat and rice. Salinity is one of the major environmental factors limiting plant growth and productivity. Maize is sensitive to salinity. Planting method is a crucial factor for improving crop yield. Planting methods in saline and non-saline conditions are different. Kinetin is one of the cytokinins known to significantly improve the growth of crop plants grown under salinity. Indole acetic acid (IAA) is also known to play a significant role in plant tolerance to salt stress. However, little information appears to be available on the relationship between salinity tolerance and auxin or cytokinin levels in plants. In this respect, the objective of this study was to study the effects of foliar application of cytokinin and auxin hormones on distribution and accumulation of chlorine and some macro elements in different parts of maize in salinity conditions.

Materials and Methods: The experiment was carried out at Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dashtestan station with 29° 16' E latitude and 51° 31' N, longitude and 70 m above the sea surface during the 2014 growing season. Dashtestan region is a warm-arid region with 250 mm precipitation per year. The field plowed in April 2014 and then prepared and sowed in August 2014. There were five rows with 75 cm distance. The experiment was conducted as a split-plot design based on complete randomized blocks with three replications. Planting pattern (ridge planting, double rows of planting on a ridge in zigzag form and furrow planting) as the main factor and use of hormone (not consumption (control), application of cytokinin hormone in the time of V8-V10 and application of auxin hormone at the silking stage) was considered as the sub-factor. Cytokinin (Benzyl Adenine, Merck) and Auxin (Indole-3-Butyric Acid, Merck) were sprayed on the entire plant in the evening with concentration of 50 and 10 g. l⁻¹, respectively. All traits measured on 10 randomly selected plants of each plot. Data analyzed using the SAS (Ver.9.1) and comparing of the means was conducted using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion: The measured salinity of soil at a depth of 0 to 30 cm in different locations of planting patterns and in different time period showed that in different planting patterns because salt movement by capillary ascent and its accumulation in the ridges, salinity center stack was the highest and the lowest salinity belonged to the furrow planting. The highest Potassium (K⁺) and Calcium (Ca²⁺) ions were obtained with pattern of furrow planting, while the highest sodium ions (Na⁺), Chlorine ions (Cl⁻) and Na⁺/K⁺ were devoted to the pattern of conventional planting (ridge planting). Foliar application of benzyladenine (BA) and indole-3-butyric acid (IBA) sodium ions (Na⁺) and Na⁺/K⁺. The results showed that in all three planting pattern the most sodium leaf was obtained without the use of hormone auxin, but the lowest amount of sodium leaf was observed with auxin treatment. In each pattern, use of hormone leading to increased potassium of shoot, but the largest increase was cytokinin hormone, of course, the greatest increase was achieved by application of cytokinin hormone. In furrow planting use of hormone reduced the amount of leaf chlorine so that most leaf chlorine was obtained without the use of hormones. While, use of cytokinin and auxin hormones reduced the amount of leaf chlorine by 6.86 and 21.24 percent, respectively. Use of hormone in all planting methods reduced the amount of shoot chlorine but the greatest reduction was achieved by application of cytokinin hormone.

Conclusions: In general, it can be concluded that increasing concentrations of sodium, magnesium and chlorine in

1- Formerly PhD student in Crop Physiology, Shahid Chamran University of Ahvaz, and Teacher of Bushehr Agricultural and Natural Resource Research and Education Center

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

2 and 3- Professor and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Chamran University of Ahvaz

leaves and shoots in row planting compared to planting two rows and furrow planting could be related to higher concentrations of these elements in the soil and in the location of the plant and as a result decrease of plant growth and therefore higher concentration of elements in various parts of the plant in the row planting. It is concluded that use of cytokinin and auxin especially in the furrow planting reduced the concentration of sodium, chloride and sodium to potassium ratio and increased plant potassium and calcium concentration.

Keywords: Furrow planting, Growth stage, Foliar application, Na/K

پاسخ برخی شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد محصول به مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی و گیاه پوششی در زراعت کدو تخمه کاغذی

اسماعیل اسفندیاری اخلاص^۱ - محسن نائل^{۲*} - محسن شکل آبادی^۳ - جواد حمزه ئی^۴ - علی اکبر صفری سنجانی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

به منظور بررسی اثر میان مدت سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی خلر بر کیفیت خاک و عملکرد کدو، آزمایشی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در یک دوره‌ی چهار ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۰) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید. فاکتور خاک‌ورزی در سه سطح شامل NT: بدون خاک‌ورزی (کاشت مستقیم بذر در زمین زراعی)، MT: خاک‌ورزی کمینه (شخم با چپزل + دیسک) و CT: خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان دار + دیسک)؛ و فاکتور گیاه پوششی در دو سطح شامل C1: گیاه پوششی لگوم (خلر) و C0: بدون گیاه پوششی بودند. نتایج نشان داد شاخص‌های کربن آلی کل، کربن فعال، تنفس پایه، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، کربن خاکدانه‌ای، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و همچنین عملکرد دانه کدو به طور معنی‌داری تحت تأثیر گیاه پوششی و خاک‌ورزی قرار گرفتند. مقدار کربن آلی خاک از ۰/۴ درصد در تیمار CT-C0 به حدود ۰/۷ درصد در تیمار NT-C1 افزایش داشت. در اکثر شاخص‌ها، بین خاک‌ورزی کمینه و بی خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، مثلاً بیشترین مقدار MWD (۲/۱۴ میلی‌متر) در تیمار NT-C1 مشاهده شد که با تیمار MT-C1 (۱/۵۶ میلی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت؛ کم‌ترین مقدار این شاخص (۰/۴۸ میلی‌متر) در CT-C0 به دست آمد. همچنین بیشترین عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی (g/m^2) (۱۴۲/۰) در تیمار MT-C1 به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار NT-C1 نداشت و کمترین عملکرد دانه کدو ($115/3 g/m^2$) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی مشاهده شد، اما با تیمارهای NT-C0، MT-C0 و CT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت. در نهایت، تیمار MT-C1 از نظر بهبود عملکرد گیاه و خصوصیات مختلف کیفیت خاک بهتر از تیمارهای دیگر بود اما تفاوت معنی‌داری با NT-C1 نداشت، به همین دلیل تیمارهای خاک‌ورزی‌های حفاظتی همراه با گیاه پوششی خلر به عنوان مناسب‌ترین رویکرد مدیریتی در بهبود خصوصیات کیفیت خاک و عملکرد گیاهی معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بخش‌های کربن آلی، خاک‌ورزی حفاظتی، کشاورزی پایدار، همدان

مقدمه

بهره‌گیری از انرژی خورشید و تبدیل آن به محصولات کشاورزی است که بدون تخریب خاک، آب و محیط زیست انجام می‌گیرد (16-16). از مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده و مؤثر در افزایش تولید پایدار می‌توان به سیستم‌های بهره‌گیری از گیاهان پوششی به‌ویژه گیاهان خانواده حبوبات برای تثبیت نیتروژن و همچنین مدیریت خاک‌ورزی با هدف بهبود کیفیت خاک اشاره کرد (۲۰). از طرف دیگر، گاوآهن برگردان دار از جمله ادواتی است که هر ساله می‌تواند تخریب خاک را تشدید کند، که در بسیاری از مناطق دنیا بهره‌گیری از آن منسوخ شده است، بنابراین کاربرد فن‌آوری‌های مطلوبی همانند سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی به عنوان یکی از روش‌های کاربردی در کشاورزی پایدار، می‌تواند سبب کند کردن روند تخریب زمین‌ها و افزایش پایداری کشاورزی گردد (15-15). خاک‌ورزی حفاظتی به آن دسته از عملیات

خاک یک منبع طبیعی محدود است و استفاده مستمر و پایدار از آن در بخش کشاورزی نیازمند اجرای مدیریت پایدار اراضی است (34-34). در علوم کشاورزی پیروی از قوانین طبیعی به شکل‌های گوناگون متجلی شده است که نمونه آن کشاورزی پایدار است. کشاورزی پایدار، سودمند، مستمر و درعین حال مؤثرترین نحوه

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیاران و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

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

۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.66383

شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک در این ناحیه شد. لذا این نتایج، ارزش تلاش‌های آینده را برای گسترش و پذیرش سیستم‌های کشاورزی حفاظتی در منطقه، جهت بهبود سلامت خاک تقویت می‌کند (۲۰-۲۰).

با وجود تحقیقات فراوان صورت گرفته پیرامون اثر گیاهان پوششی متفاوت و خاک‌ورزی‌های مختلف بر شاخص‌های کیفیت خاک، تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی‌های مختلف با گیاه پوششی خمر در زراعت کدو تخمه کاغذی بر شاخص‌های کیفیت خاک و همچنین عملکرد کدو تخمه کاغذی در ایران و جهان صورت نگرفته است. از این رو این تحقیق با هدف بررسی تأثیر میان‌مدت (چهارسال) دو روش خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل) و گیاه پوشش خمر در مقایسه با مدیریت مرسوم منطقه (خاک‌ورزی برگردان بدون گیاه پوششی) بر برخی از مهم‌ترین جنبه‌های کیفیت خاک و نیز عملکرد زراعی کدو تخمه کاغذی در منطقه نیمه‌خشک همدان انجام شد تا بهترین مدیریت از نظر نوع خاک‌ورزی و گیاه پوششی جهت حفظ و بهبود کیفیت خاک و همچنین افزایش عملکرد کدو برای این منطقه به دست آید.

مواد و روش‌ها

موقعیت و ویژگی‌های محل انجام آزمایش

آزمایش در دو گام مزرعه‌ای و آزمایشگاهی انجام گرفت. بخش زراعی آن در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه پژوهش‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا واقع در روستای دستجرد در فاصله ۳۷ کیلومتری از شهر همدان انجام گرفت. جایگاه انجام آزمایش در ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی، و ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا قرار دارد. برخی از ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است. میزان کل بارندگی در طول فصل زراعی ۹۲-۹۳ حدود ۳۳۰ میلی‌متر و دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۶/۱- و ۳۸/۸ بود (۱۴).

خاک‌ورزی گفته می‌شود که طی آن کمترین آسیب به منابع خاک و آب وارد گردد و همه یا حداقل ۳۰ درصد مانده‌های گیاه زراعت قبلی، بعد از کشت محصول جدید در سطح خاک باقی بماند (۳۰) و شامل روش‌ها و تکنیک‌هایی برای کاشت محصول روی مانده‌ها و کلس به‌جامانده از محصول قبلی می‌باشد.

تحقیقاتی زیادی در مورد اثر مدیریت خاک‌ورزی و گیاهان پوششی بر عملکرد گیاهی و کیفیت خاک انجام شده است. مدیریت درست مانده‌های گیاهی باعث افزایش کربن آلی خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک، افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی و کاهش وابستگی اکوسیستم‌های کشاورزی به کودهای شیمیایی شده و سرانجام باعث حفظ و افزایش پایداری اکوسیستم می‌گردد (۲۱ و ۲۴). مسیگا و همکاران (۱۸-۱۸) و باهاتاچاریا و همکاران (۶) گزارش کردند کاربرد نهاده‌های آلی مانند گیاهان پوششی می‌تواند افزون بر بهبود ساختمان فیزیکی خاک، با افزایش مقدار ماده آلی خاک به بهبود شرایط زیستی و آنزیمی خاک نیز منجر گردد. دهانیوت مدینا (۸) و بحرانی و همکاران (۳-۳) بیان کردند سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی با حفظ مانده‌های گیاهی در برابر خاک‌ورزی مرسوم، مقدار کربن آلی خاک، اندازه خاکدانه‌ها، نیتروژن آلی خاک سطحی و فعالیت زیستی را افزایش می‌دهند.

با توجه به نتایجی که محققین مختلف گزارش کرده‌اند، نوع خاک‌ورزی مناسب و یا استفاده از گیاهان پوششی برای مناطق مختلف از نظر نوع خاک و اقلیم، متفاوت می‌باشد. پالازا بونیللا و همکاران (۲۵) گزارش کردند که استفاده از خاک‌ورزی مرسوم در اقلیم معتدل اروپا باعث کاهش مقدار ماده آلی خاک و افت کیفیت خاک‌ها می‌گردد، اما زمانی که همین خاک‌ورزی همراه با گیاه پوششی لگوم اعمال شود تلفات کربن و نیتروژن آلی خاک کاهش و راندمان محصول افزایش می‌یابد. میچل و همکاران (۲۰) بیان کردند گیاهان پوششی و شیوه بدون خاک‌ورزی تأثیر مثبت بر سلامت خاک در کالیفرنیا گذاشتند. اگرچه این پاسخ ممکن است برای سیستم‌های کشاورزی دیم مناسب باشد و در سیستم‌های کشاورزی آبی به طور مستقیم بر تولید محصولات در کوتاه مدت تأثیر نگذارد، اما اطلاعات به دست آمده نشان داد که این مدیریت‌ها باعث بهبود کلی خواص

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- physicochemical properties of soil in experimental site

هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	پتاسیم	فسفر فراهم	ازت	رس	سیلت	شن	بافت خاک	pH
EC	CEC	K	available P	N	clay	silt	sand	soil texture	
(dS m ⁻¹)	(Cmolc kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)		
0.41	15	350	13	0.3	27	30	43	Clay Loam	7.45

طرح آزمایشی، آماده‌سازی زمین و کشت گیاه

آزمایش به شکل فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید که شامل ترکیب فاکتوریل سه سطح مدیریت خاک‌ورزی شامل بدون خاک‌ورزی (NT)، خاک‌ورزی کمینه (MT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) به همراه دو سطح گیاه پوششی خلر (C1) و بدون گیاه پوششی (C0) بود. لازم به یادآوری است زمین مورد مطالعه به مدت ۴ سال متوالی تحت نظام‌های خاک‌ورزی فوق (خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی کمینه و بدون خاک‌ورزی)، و وجود و عدم وجود گیاه پوششی خلر مدیریت شده بود. سال قبل از انجام این آزمایش (بهار ۱۳۹۲)، ذرت به‌عنوان گیاه اصلی کشت شده و پس از برداشت، مانده‌های آن در سطح خاک رها شده بود. بذر خلر در تاریخ ۱۵ اسفند هرسال به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کشت شد، سپس در اواخر اردیبهشت همان سال و دو هفته قبل از کاشت گیاه اصلی (ذرت یا کدو تخمه کاغذی)، زمانی که حدوداً ۳۰ درصد گیاه به گل رفته بود، خلر با یک دیسک سطحی کف بر شده و در سطح کرت‌ها رها شد. مقدار زیست توده برگردانده شده به خاک در تیمارهای دارای گیاه پوششی حدود ۳۰۰ گرم بر متر مربع بود. در کرت‌های بدون گیاه پوششی، علف‌های هرزی که رشد کرده بودند از سطح خاک جمع‌آوری و بیرون برده شدند. پس از گذشت یک هفته، با ادوات مخصوص برای هر نوع از نظام‌های خاک‌ورزی، زمین شخم زده شد. برای اجرای خاک‌ورزی مرسوم از گاواهن برگردان + دیسک بهره‌گیری شد. این نوع گاواهن‌ها ۹۰ تا ۹۵ درصد مانده‌های گیاهی را در هر سری عملیات دفن می‌کنند و تنها ۵ تا ۱۰ درصد از مانده‌ها و خاک سطحی زیر و رو نمی‌شود. برای انجام خاک‌ورزی کمینه از گاواهن چیزل که شخم‌کوب (پیچر) نیز به آن وصل بود بهره‌گیری شد. این گاواهن برخلاف گاواهن برگردان‌دار و بشقابی خاک را برنمی‌گرداند، بلکه همانند یک ابزار برنده در خاک نفوذ نموده و فقط آن را شکاف می‌دهد. سطح خاک شخم‌خورده با گاواهن چیزل به‌گونه‌ای است که در برابر باد و باران مقاومت نشان می‌دهد و در جذب آب مفید است و چون مانده‌های گیاهی در سطح خاک باقی می‌ماند، تبخیر رطوبت را نیز کاهش می‌دهد. در کرت‌های بدون خاک‌ورزی هیچ‌گونه عملیاتی انجام نشد و کلیه مانده‌ها در سطح خاک به‌صورت پوشش باقی ماندند. لازم به ذکر است روش مرسوم منطقه برای کشاورزی به گونه خاک‌ورزی مرسوم و بدن گیاه پوششی است که به عنوان شاهد در این مطالعه در نظر گرفته شده است. در نهایت در اواسط خرداد ۹۳ کاشت کدو تخمه کاغذی با تراکم ۲/۲ بوته در مترمربع با فاصله ردیف ۱۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر انجام شد (در هر کرت ۳ ردیف کشت شد). آبیاری زمین به صورت بارانی و هر ۶ روز یک بار انجام گرفت.

نمونه‌برداری از خاک و گیاه

نمونه‌برداری از خاک جهت بررسی شاخص‌های مختلف کیفیت خاک در پایان سال زراعی چهارم (اوایل مهر ماه ۹۳)، پس از برداشت کدو و از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری با سه تکرار انجام گردید. سعی شد نمونه‌های هر تکرار از ترکیب نمونه‌ی کنار بوته و میان ردیف‌ها انجام گیرد. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و دور از نور مستقیم خورشید و در سایه هوا خشک شدند. مقداری از نمونه‌ها به گونه دست‌نخورده و بقیه آن‌ها پس از کوبیده شدن با توجه به آزمایش‌های مورد نظر از الک دو و الک نیم میلی‌متر عبور داده شدند. برخی شاخص‌های کیفیت خاک شامل کربن آلی، به روش اکسایش تر (36-36)، کربن فعال، با محلول ۰/۰۲ مولار پرمنگنات پتاسیم (37-37)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD)، با روش الک تر (38-38) تعیین شد. علاوه بر این، کربن خاکدانه‌ای، در خاکدانه‌های درشت و ریز جدا اندازه‌گیری شد، به این گونه که خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر درشت خاکدانه (۲۵-۰/۴ میلی‌متر) و خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر (۲۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر) ریز خاکدانه در نظر گرفته شد (23-23). درشت خاکدانه‌ها با توجه به خاک مانده روی هر الک، از ترکیب نسبی خاک روی الک ۲ و ۰/۲۵ میلی‌متر به دست آمد و ریز خاکدانه‌ها تنها از روی الک ۰/۰۵۳ برداشت شدند (31-31) و کربن آلی آن‌ها با روش اکسایش تر والکی و بلک (36-36) اندازه‌گیری شد. تنفس پایه نیز با روش آیزرمایر (32) اندازه‌گیری شد.

کدو تخمه کاغذی از جمله گیاهان دارویی می‌باشد که در مناطق مختلف کشور برای مصارف خوراکی و بخصوص دارویی کشت می‌شود. در استان همدان نیز به خاطر شرایط اقلیمی (خشک و نیمه خشک) و کم نیاز بودن خانواده کدوییان به منابع آبی، کاشت گیاهان این خانواده همانند کدو تخمه کاغذی رایج می‌باشد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی، نمونه‌برداری از کرت‌ها با پلات یک متر مربعی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام شد. درنهایت برای آزمون میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد بهره‌گیری شد.

نتایج و بحث

کربن آلی

مواد آلی خاک یک ترکیب پیچیده ناهمگون از مواد، شامل مانده‌های گیاهی تازه، مانده‌های میکروبی و ترکیبات هومیکی با زمان بازچرخش هزارساله است که مقدار آن تحت تاثیر مدیریت‌های

مختلف در زمان تغییر می‌کند (۴). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص کربن آلی خاک به طور معنی‌داری تحت تاثیر گیاه پوششی ($P < 0.01$) و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی ($P < 0.05$) قرار گرفت اما با اثر ساده خاک‌ورزی معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین مقدار کربن آلی خاک (۰/۷۸ درصد) در تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی خمر به‌دست آمد، با این حال این تیمار با تیمارهای دیگر خاک‌ورزی که گیاه پوششی دریافت کرده بودند (MT-C1 و CT-C1) در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین کمترین مقدار این شاخص (۰/۳۹ درصد) در تیمار خاک‌ورزی کمینه بدون گیاه پوششی (MT-C0) مشاهده شد که البته با دیگر تیمارهای خاک‌ورزی بدون گیاه پوششی (NT-C0 و CT-C0) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). همان گونه که در این شکل قابل مشاهده است، اثر گیاه پوششی بر این ویژگی در تمام تیمارهای خاک‌ورزی قابل توجه بوده ولی تنها در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی معنی‌دار شده است. در کل می‌توان گفت بعد از چهار سال اعمال مدیریت‌های مختلف، مقدار کربن آلی خاک از حدود ۰/۴ درصد در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه (خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی) به ۰/۷۴ درصد در خاک‌ورزی‌های حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کمینه) با گیاه پوششی خمر (MT-C1 و NT-C1) رسیده است (شکل ۱).

افزایش کربن آلی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی همراه با گیاه پوششی را می‌توان به برگرداندن گیاه پوششی و مانده‌های محصول به سطح خاک و همچنین خاک‌ورزی حفاظتی که باعث تداوم حضور مواد آلی و در دسترس قرار نگرفتن سریع آن‌ها برای تجزیه‌کننده‌ها

می‌شود، نسبت داد. پایین بودن کربن آلی در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم را نیز می‌توان به در دسترس قرارگرفتن مواد آلی تازه برای جانداران تجزیه‌کننده به واسطه برگرداندن و آمیختگی کامل مانده‌های گیاهی با خاک، خرد شدن خاکدانه‌ها در اثر شخم و در نتیجه تهویه بیشتر و تسريع اکسیداسیون مواد آلی نیز نسبت داد (31-33). بوری و همکاران (7-7) نشان دادند که نظام‌های مختلف شخم و مدیریت مانده‌های گیاهی گندم تفاوت معنی‌داری در میزان کربن آلی کل خاک اولتی سول دارد. به‌طوری که بیشترین اندازه کربن در نظام بدون شخم و پس از آن در نظام خاک‌ورزی کمینه اندازه‌گیری شد، درحالی که خاک‌ورزی مرسوم کمترین مقدار کربن را دارا بود. همچنین پلازا بونیا (25-25) در مطالعه‌ی مدیریت تناوب بر پایه کشت حبوبات و تحت شخم مرسوم گزارش کردند که برای کاهش تلفات مواد آلی خاک در این نوع مدیریت‌ها استفاده از گیاهان پوششی ضروری است. آن‌ها گزارش کردند که بیشترین کربن آلی در تیمارهای دارای گیاه پوششی به دست آمد زیرا در این تیمارها تلفات کربن آلی و نیتروژن آلی کاهش می‌یابد؛ در این مطالعه، کمترین مقدار کربن آلی و نیتروژن آلی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی مشاهده شد (25). همچنین میشل و همکاران (19-19) نیز گزارش کردند پس از ۱۴ سال اعمال خاک‌ورزی‌های مختلف و گیاه پوششی، در تمام تیمارهایی که گیاه پوششی دریافت کرده بودند مقدار کربن خاک نسبت به شرایط اولیه، در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری، افزایش پیدا کرده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی شاخص‌های کیفیت خاک

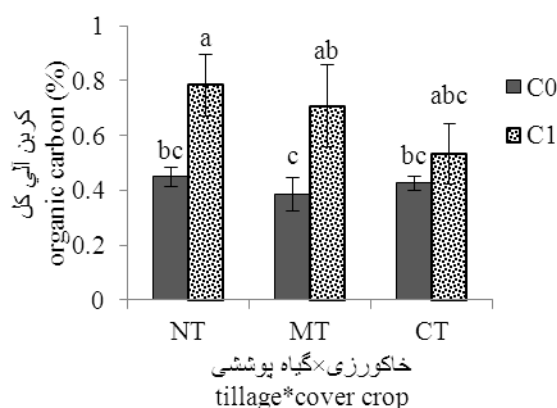
Table 2- Analysis of variance of some of soil quality indicators

میانگین مربعات MS

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کربن آلی organic carbon	کربن فعال active carbon	کربن خاکدانه- های بزرگ macro aggregate carbon	کربن خاکدانه‌های کوچک micro aggregate carbon	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD	تنفس پایه basal respiration	تخلخل porosity	جرم مخصوص ظاهری bulk density	عملکرد دانه کدو pepo grain yield
تکرار Replication	2	0.047 ^{ns}	34510 [*]	0.005 ^{**}	0.004 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.002 ^{ns}	4.3 [*]	0.003 [*]	182.4 ^{**}
خاک‌ورزی Tillage	2	0.27 ^{ns}	22996 ^{ns}	0.009 ^{**}	0.002 ^{ns}	0.96 ^{**}	0.000 ^{ns}	18.9 ^{**}	0.011 ^{**}	188.2 ^{**}
گیاه پوششی Cover crop	1	0.289 ^{**}	157341 ^{**}	0.011 ^{**}	0.014 ^{**}	2.33 ^{**}	0.019 ^{**}	475.3 ^{**}	0.274 ^{**}	709.4 ^{**}
T×C	5	0.078 [*]	43521 [*]	0.006 [*]	0.004 ^{ns}	0.91 ^{**}	0.004 ^{ns}	103.9 ^{**}	0.060 ^{**}	241.3 ^{**}
خطای آزمایشی Error	12	0.022	6507	0.001	0.001	0.11	0.002	0.78	0.000	28.0
%CV	-	27.12	6.43	12.02	8.50	25.92	28.82	1.67	1.67	5.2

*، **، ns به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

*، **، ns، Significant at 1% and 5% levels of probability and no Significant, respectively



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن آلی خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 1- Effects of different tillage and cover crop treatments on soil organic carbon. Means followed by similar letter are not significantly different at $P < 0.05$

کربن فعال

بخش پویای مواد آلی در برابر تغییرات شرایط محیطی حساسیت بیشتری نسبت به کربن آلی کل دارد. بخش پویا شامل کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی، مواد آلی دانه‌ای، کربن محلول در آب، بخش به‌آسانی قابل عصاره‌گیری و با تندی بالا معدنی شونده است (31-). این شاخص از نظر آماری به صورت معنی‌داری تحت تاثیر گیاه پوششی ($P < 0.01$) و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). همانند کربن آلی خاک، بیشترین مقدار کربن فعال خاک (1417 mg/kg soil) در تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی خلر مشاهده شد و با تیمارهای MT-C1 و CT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین مقدار این شاخص (mg/kg soil) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی به‌دست آمد که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای NT-C0، MT-C0 و CT-C1 نداشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد گیاه پوششی خلر نسبت به نوع خاک‌ورزی تاثیر بیشتری بر این ویژگی گذاشته است. با این حال، اثر گیاه پوششی بر این شاخص تنها در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی معنی‌دار بوده است. به عبارت دیگر پس از چهار سال، کربن فعال خاک از 1134 mg/kg soil در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه (خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار، بدون کاشت گیاه پوششی) به حدود 1400 mg/kg soil (برابر با $23/46$ درصد افزایش) در شیوه مدیریتی خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر رسیده است (شکل ۲).

افزایش کربن فعال در تیمارهای یادشده می‌تواند به علت وجود مانده‌های گیاه پوششی خلر و گیاه اصلی و همچنین تجزیه کمتر آن‌ها در اثر آمیخته نشدن مانده‌ها در غیاب خاک‌ورزی (33-33) و انتشار CO_2 کمتر به اتمسفر باشد (1-1). کربن اکسیدشده با پرمنگنات پتاسیم 0.02 مولار نزدیک ۳۰-۵ درصد (اغلب ۲۰-۱۵

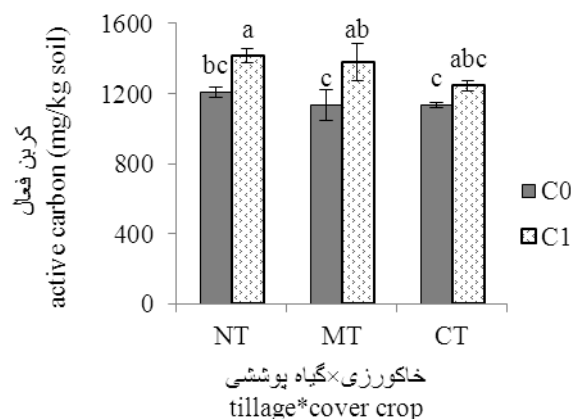
درصد) کربن آلی کل را شامل می‌شود (1-1) و از آنجایی که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر، کربن آلی بیشتری نسبت به سایر تیمارها دارا بودند بنابراین افزایش کربن فعال در این تیمارها می‌تواند به دلیل بالا بودن کربن آلی آن‌ها نیز باشد. همچنین بسیاری از آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده که عملیات مدیریتی مقدار مواد آلی را تغییر می‌دهد که این تغییر در بخش ناپایدار با تندی بیشتری نسبت به کربن و نیتروژن کل رخ می‌دهد (13-۱۳). عزیز و همکاران (2-۲) در بررسی اثر بلندمدت خاک‌ورزی بر کیفیت خاک گزارش کردند که کربن آلی کل و کربن فعال بین دو نظام کشت بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم متفاوت بود؛ به طوری که در طول مدت ۶ سال در سیستم بدون خاک‌ورزی افزایش پیدا کردند. همچنین لوپز-گاریدو و همکاران (17-۱۷) در مطالعه اثر شخم روی ویژگی‌های بیوفیزیکی خاک در اقلیم پرباران مدیترانه‌ای در جنوب اسپانیا گزارش کردند که کربن فعال خاک در مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم است.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD)

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب تحت تاثیر خاک‌ورزی، گیاه پوششی و اثر دوگانه آن‌ها قرار گرفت و این تاثیر بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۲). بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب ($2/14$ میلی‌متر) در تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی خلر مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با MT-C1 نداشت و کمترین مقدار این شاخص (0.48 میلی‌متر) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی به‌دست آمد. در کل در همه‌ی خاک‌ورزی‌ها، تیمارهای دارای گیاه پوششی خلر از تیمارهای بدون گیاه پوششی، MWD بیشتری را نشان دادند (شکل ۳). به طور کلی بعد از چهار سال کاربرد مدیریت‌های گوناگون بر روی این زمین، قطر

خلر افزایش یافته است.

خاکدانه‌ها از ۰/۵ میلی متر در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه به ۲/۲ میلی متر در شیوهی مدیریت خاک‌ورزی‌های حفاظتی با گیاه پوششی

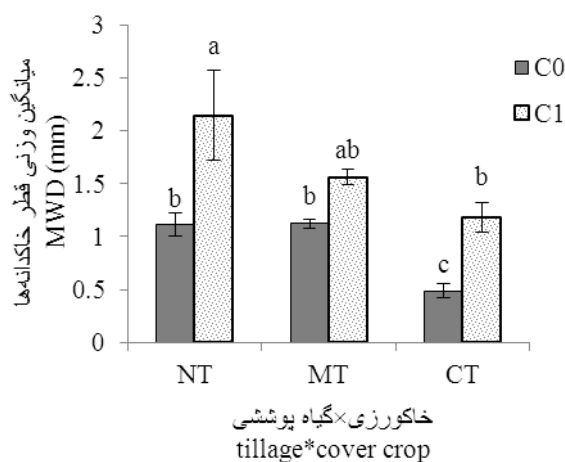


شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن فعال خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 2- Effects of different tillage and cover crop treatments on soil active carbon. Means followed by similar letter are not significantly different at $P < 0.05$

نقش مهمی داشته و MWD را افزایش داده است. داکس و هانگیت (۹-۹) در بررسی تجزیه لاشبرگ‌ها در علفزارهای یک ساله کالیفرنیا گزارش کردند که تغییرات در گونه گیاهی، روی توزیع جامعه میکروبی و تولیدات میکروبی مؤثر در بهبود ساختمان خاک تأثیر می‌گذارد. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی، عملیات گوناگون خاک ورزی، خاکدانه‌های بزرگ را به خاکدانه‌های کوچک‌تر شکسته و از سوی دیگر به علت ماده آلی کم، ایجاد خاکدانه‌های بزرگ نسبت به دیگر تیمارها کمتر شده است.

علت بالا بودن MWD در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی را باید در مانده‌های گیاهی بیشتری که به این تیمارها، در مقایسه با دیگر تیمارها وارد می‌شود جستجو کرد، از سوی دیگر با افزایش پوشش گیاهی، فعالیت میکروبی زیاد و نشر مواد ریشه‌ای و میکروبی افزایش یافته که این مواد سبب افزایش خاکدانه‌سازی می‌شوند (۳۱-۳۱). همچنین خاک‌ورزی حفاظتی مانع از تراکم و خورد شدن خاکدانه‌ها شده است. به علاوه، سیستم ریشه‌ای گیاه پوششی به دلیل تراکم کشت بالا و پوشش دادن بیشتر سطح، در افزایش خاکدانه‌سازی و نیز متصل کردن خاکدانه‌های ریز به همدیگر



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 3- Effects of different tillage and cover crop treatments on mean weight diameter. Means followed by similar letter are not significantly different at $P < 0.05$

لازم به ذکر است مقدار کربن خاکدانه‌ها بر پایه وزن خاکدانه‌ها به دست آمده و نسبت به وزن کل خاک، مقدار کربن خاکدانه‌های بزرگ درصد بیشتری را نسبت به کربن خاکدانه‌های ریز شامل می‌شود (داده‌ها منتشر نشده است). بیشتر بودن مقدار کربن خاکدانه‌های درشت در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی نسبت به دیگر تیمارها، و کربن خاکدانه‌های ریز در تیمار دارای گیاه پوششی خلر نسبت به بدون گیاه پوششی، احتمالاً به دلیل افزایش ماده آلی ناشی از گیاه پوششی و فعالیت ریزجانداران و ترشحات ریشه‌ای و همچنین بهم نخوردن خاک و نشکستن خاکدانه‌ها است که باعث افزایش کربن آلی کل و همچنین MWD در این تیمارها شده است، و این شاخص‌ها بر مقدار کربن خاکدانه‌ای تأثیر گذاشته‌اند؛ اما بیشتر بودن مقدار کربن خاکدانه‌ای در خاکدانه‌های ریز، احتمالاً به علت سطح ویژه بیشتر آن‌ها نسبت به خاکدانه‌های بزرگ است که در یک وزن یکسان خاکدانه‌ها، مقدار بیشتری از کربن را در خود نگهداری کرده‌اند؛ همچنین می‌تواند به این علت نیز باشد که در خاکدانه‌های بزرگ مقدار شن بیشتر از خاکدانه‌های ریز بوده است. صفری سنجانی (۳۱-۳۱) گزارش کرد خاکدانه‌های بزرگ و مواد آلی درون آن از بخش‌های پاسخ دهنده مواد آلی خاک است که برای ارزیابی پیامد دگرگونی کاربری زمین و شیوه بهره‌برداری از آن بسیار کاربرد دارد.

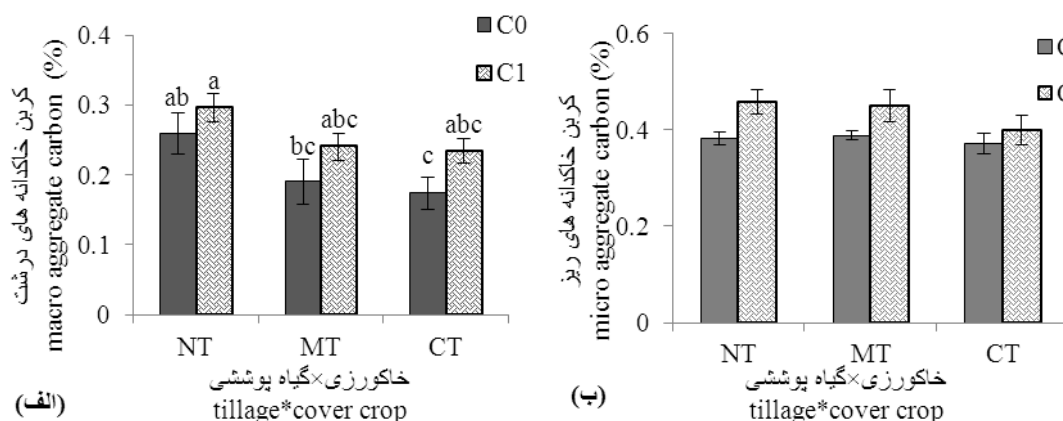
تنفس پایه

این شاخص تنها تحت تأثیر گیاه پوششی ($P < 0.01$) قرار گرفت و از نظر آماری، خاک‌ورزی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی نداشتند (جدول ۲). این تأثیر این‌گونه

نیکپور و همکاران (۲۲-۲۲) در بررسی اثر ویژگی‌های ذاتی خاک بر پایداری ساختمان برخی از خاک‌های استان همدان بیان داشتند که ماده آلی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پایداری خاکدانه‌ها و MWD خاک‌های مورد بررسی بود.

کربن درون خاکدانه‌ها (کربن خاکدانه‌ای)

کربن خاکدانه‌های درشت به صورت معنی‌داری تحت تأثیر خاک‌ورزی ($P < 0.01$)، گیاه پوششی ($P < 0.01$) و اثر دوگانه آن‌ها ($P < 0.05$) قرار گرفت، اما تنها گیاه پوششی ($P < 0.01$) بر کربن خاکدانه‌های ریز اثر معنی‌داری داشت و این ویژگی تحت تأثیر خاک‌ورزی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی قرار نگرفت (جدول ۲). مقدار کربن خاکدانه‌های درشت (خاکدانه‌های در اندازه ۴ - ۰/۲۵ میلی‌متر) بین ۰/۱۷ - ۰/۲۷ درصد به دست آمد که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر با داشتن بیشترین مقدار خاکدانه‌های بزرگ و کربن آلی کل، مقدار کربن خاکدانه‌ای بیشتری (۰/۲۷ درصد) را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی (۰/۱۷ درصد)، با کربن آلی کل کمتر و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های کمتر، نشان دادند (شکل ۴-الف). مقدار کربن خاکدانه‌های ریز (خاکدانه‌های در اندازه ۰/۲۵ - ۰/۰۵۳ میلی‌متر) بین ۰/۳۸ - ۰/۴۴ درصد به دست آمد که بیشترین مقدار آن (۰/۴۴ درصد) در تیمارهای دارای گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی‌های حفاظتی و کمترین مقدار (۰/۳۸ درصد) آن در تیمارهای بدون گیاه پوششی با خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. علاوه بر این، این مقادیر در تمامی تیمارهای آزمایشی از مقدار کربن خاکدانه‌های درشت بیشتر می‌باشد.



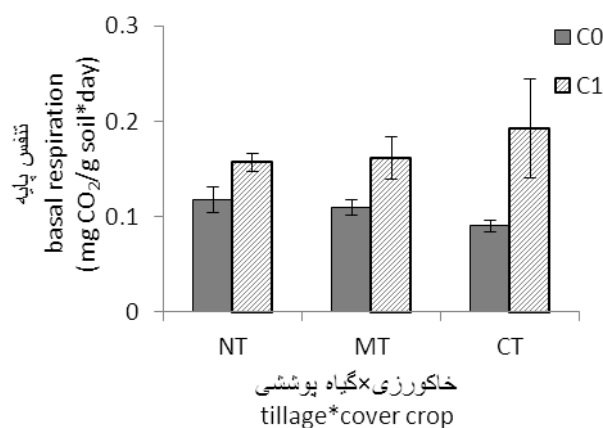
شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن درشت خاکدانه‌ها (الف) و کربن ریز خاکدانه‌ها (ب). میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 4- Effects of different tillage and cover crop treatments on macro aggregate carbon (A) and micro aggregate carbon (B). Means followed by similar letter are not significantly different at $P < 0.05$

باشد که تیمارهای دارای گیاه پوششی خلر فعالیت و جمعیت ریزجانداران خاک را از طریق افزایش مواد آلی خاک و همچنین ترشحات ریشه‌ای این گیاهان افزایش می‌دهد؛ تنفس خاک به وسیله کربن آلی خاک، به عنوان منبع غذا و انرژی، کنترل می‌شود. مواد آلی می‌توانند همانند منبع کربن و انرژی احتمالا باعث افزایش جمعیت میکروب‌های هتروتروف خاک شده و در نتیجه تنفس میکروبی خاک که شاخص فعالیت میکروبی است را افزایش دهند؛ لازم به یادآوری است که بیشترین درصد کربن آلی کل و کربن فعال در این تیمارها مشاهده شد. همچنین مانده‌های گیاه پوششی باعث حفظ رطوبت و کاهش تبخیر می‌شوند که نسبت به تیمارهای بدون گیاه پوششی باعث افزایش فعالیت میکروبی شده است. غفاری و همکاران (۱۲-۱۲) اظهار داشتند محیط خاک مهم‌ترین عامل محدودکننده فعالیت میکروبی و قابلیت دسترسی به بستره کربن‌دار قابل استفاده است و با ورود سوسترای کربن‌دار مانند مانده‌های گیاهی به خاک، جمعیت میکروبی به خصوص در پیرامون بستره افزایش می‌یابد. رئیسی (۲۸-۲۸) در بررسی معدنی شدن کربن و نیتروژن تحت تاثیر خاک‌ورزی و بقایای محصول در اراضی تالابی آهکی ایران گزارش کرد که کمیت و کیفیت مواد آلی به عنوان منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران، عامل مهمی در تشدید فعالیت‌های زیستی خاک به شمار می‌رود.

بود که پس از چهار سال اعمال مدیریت‌های مختلف، تیمارهایی که گیاه پوششی خلر دریافت کرده بودند مقدار تنفس پایه خاک را در مقایسه با تیمارهای بدون گیاه پوششی از ۰/۱۱ به ۰/۱۷ mg CO₂/g soil*day افزایش دادند. هرچند اثر دو گانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی معنی‌دار نبود، با این حال بیشترین مقدار تنفس (۱۹ mg CO₂/g soil*day) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی مشاهده شد. افزایش تنفس در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی احتمالاً به این دلیل بود که در روش خاک‌ورزی مرسوم، به هم خوردن خاک باعث می‌شود مواد آلی تازه در اختیار جمعیت میکروبی قرار گرفته، در نتیجه باعث تجزیه بیشتر و سریع‌تر مانده‌های گیاهی شده و کربن و ازت مواد آلی زودتر معدنی می‌شود که متعاقباً مواد آلی سریع‌تر از دست می‌رود. بنابراین بعد از مدتی که این بستره‌ی به آسانی قابل دسترس کاهش پیدا کند این روند نیز متوقف خواهد شد. صرف نظر از این تیمار، بیشترین مقدار تنفس پایه با میانگین ۰/۱۶ mg CO₂/g soil*day در خاک‌ورزی‌های حفاظتی با گیاه پوششی خلر مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقدار تنفس پایه در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی با ۰/۰۹ mg CO₂/g soil*day به دست آمد (شکل ۵).

افزایش تنفس پایه در تیمارهای ذکر شده احتمالاً به این علت



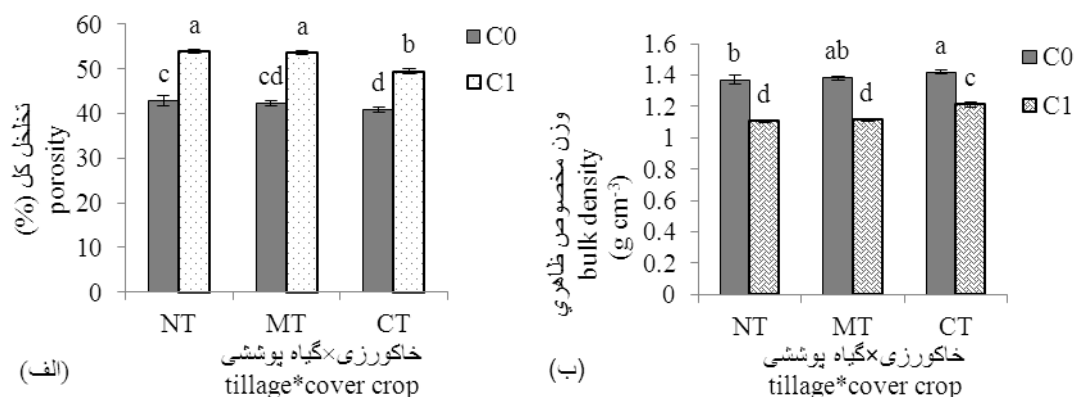
شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تنفس پایه خاک
Figure 5- Effects of tillage and cover crop treatments on soil basal respiration

ساله مدیریت‌های گوناگون نشان داد تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (بی خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کمینه) با گیاه پوششی خلر کمترین جرم مخصوص ظاهری (با میانگین ۱/۱ g/cm³) و بیشترین مقدار تخلخل (۵۳/۷ درصد) را نسبت به تیمارهای دیگر داشت. در مقابل، CT-C0 بیشترین جرم مخصوص ظاهری (۱/۴۲ g/cm³) و کمترین مقدار

جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک

جرم مخصوص ظاهری و تخلخل از شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک هستند که به شیوه‌های مختلف مدیریتی پاسخ می‌دهند. با توجه به جدول تجزیه واریانس هر دو شاخص تحت تاثیر تیمارها قرار گرفته و این تاثیر از نظر آماری معنی‌داری بود (جدول ۲). اعمال چهار

است و همین روند به گونه عکس برای تخلخل در این تیمارها دیده شد (شکل ۶). برگرداندن مانده‌های گیاهی به خاک به مرور زمان باعث افزایش مواد آلی خاک و بهبود اندازه خاکدانه‌ها شده و به تبع آن سبب افزایش تخلخل و خلل و فرج خاک می‌شود که این موضوع منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد. خاک ورزی‌های حفاظتی نیز از راه تأثیر بر نگهداشت مواد آلی در خاک و همچنین جلوگیری از خرد شدن خاکدانه‌های بزرگ بر کاهش جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک تأثیر بسزایی داشته‌اند. نتایج این پژوهش در خصوص تأثیر مواد آلی بر جرم مخصوص ظاهری و تخلخل با گزارش‌های الس گارد و همکاران (۱۰-۱۱) همسو است اما با گزارش‌های برزگر و همکاران (۵) در بررسی تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک که گزارش کردند خاک‌ورزی باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود، مخالف است که البته نتایج پژوهش حاضر حاصل مدیریت تلفیقی انواع خاک‌ورزی با گیاه پوششی است که توانسته وضعیت ساختمان خاک را بهبود ببخشد اما این محققان اثر خاک‌ورزی به تنهایی را بر این شانس‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند.



شکل ۶- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تخلخل (الف) و جرم مخصوص ظاهری خاک (ب). میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 6- Effects of different tillage and cover crop treatments on porosity (A) and bulk density (B). Means followed by similar letter are not significantly different at $P < 0.05$

گیاه پوششی مشاهده شد، اما با تیمارهای NT-C0، MT-C0 و CT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۷). با توجه به اینکه مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی‌های حفاظتی با گیاه پوششی پس از چهار سال، ویژگی‌های خاکی همانند مقدار کربن آلی خاک، فعالیت میکروبی، آنزیمی، پایداری خاکدانه‌ها، و به تبع وضعیت عناصر غذایی قابل دسترس (۱۱) را نسبت به مدیریت‌های دیگر بهبود بخشیده است، بنابراین بالا بودن عملکرد دانه کدو تخمه‌کاغذی در این ترکیب تیماری دور از انتظار نیست. بالا بودن عملکرد در تیمار MT-C1 نسبت به تیمار NT-C1 هر چند از نظر آماری معنی‌دار نبود، احتمالاً

تخلخل (۴۰/۸ درصد) را نشان داد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار MT-C0 نداشت. بین تیمارهای NT-C0 و MT-C0 نیز تفاوت معنی‌داری برای این دو شاخص مشاهده نشد (شکل ۶). در کل، نه تنها خاک‌ورزی‌های حفاظتی تأثیر قابل توجهی بر بهبود این دو شاخص داشته است، حضور گیاه پوششی نیز باعث بهبود معنی‌دار این ویژگی‌ها در تمام تیمارهای خاک‌ورزی شده است.

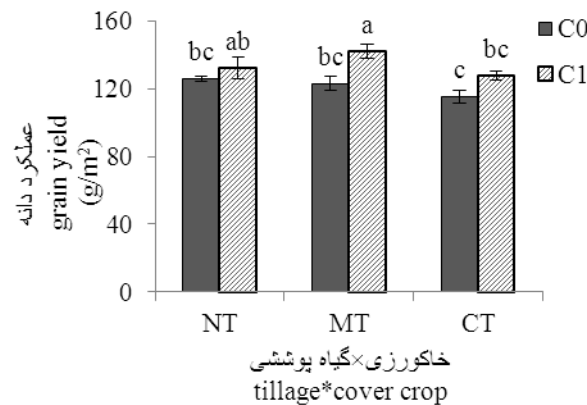
تخلخل و جرم مخصوص ظاهری رابطه عکس با همدیگر دارند. افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش تخلخل احتمالاً به دلیل متراکم شدن و تجزیه سریع‌تر بر مواد آلی خاک، وابسته به عملیات کشت و کار نظیر خاک‌ورزی و عدم ورود مانده‌ها آلی به خاک می‌باشد. احتمالاً بیشترین تأثیر بر این شاخص را افزایش مواد آلی وابسته به مانده‌های گیاه پوششی خلر و کشت اصلی داشته است زیرا در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی، جرم مخصوص ظاهری به گونه معنی‌داری از خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی کمتر شده است؛ همچنین در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، کرت‌هایی که فاقد گیاه پوششی بوده‌اند متراکم‌تر شده و جرم مخصوص ظاهری خاک در آن‌ها نسبت به کرت‌هایی که گیاه پوششی داشته‌اند افزایش پیدا کرده

عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی

عملکرد دانه کدو تخمه‌کاغذی تحت تأثیر خاک‌ورزی ($P < 0.01$)، گیاه پوششی ($P < 0.01$) و برهمکنش خاک‌ورزی در گیاه پوششی ($P < 0.01$) قرار گرفت که این تأثیرها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه کدو تخمه‌کاغذی ($142/0 \text{ g/m}^2$) در تیمار خاک‌ورزی کمینه با گیاه پوششی خلر به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار NT-C1 نداشت و کمترین عملکرد دانه کدو ($115/3 \text{ g/m}^2$) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون

ردیکتی و همکاران (۲۷-۲۸) در بررسی اثر مدیریت خاک‌ورزی-های گوناگون و گیاهان پوششی مختلف زمستانه در یک محیط مدیترانه‌ای بر عملکرد بادمجان به این نتیجه رسیدند که خاک‌ورزی کمینه با گیاهان پوششی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم با همان گیاهان پوششی عملکرد بیشتری داشتند؛ همچنین وزن کاه و کلش بیشتری را نیز در تیمار خاک‌ورزی کمینه با گیاه پوششی دیدند. آنها گزارش کردند تیمارهایی که گیاهان پوششی دریافت می‌کنند نسبت به تیمارهای بدون گیاه پوششی عملکرد بیشتری داشتند. رمرودی و همکاران (۲۹) در بررسی اثرات گیاهان پوششی، سیستم‌های خاک-ورزی و کود نیتروژن بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد سورگوم علوفه‌ای، علت افزایش عملکرد علوفه سورگوم در تیمارهای گیاهان پوششی را به تجزیه و آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، و کاهش آبشویی این عنصر نسبت دادند.

به دلیل نفوذ و جاگیری بهتر ریشه‌ها در اثر شیارهای ایجاد شده در این خاک‌ورزی می‌باشد. اما از دیگر عواملی که در مزرعه‌ی مورد آزمایش دیده شد، می‌توان به اثر آبیاری بارانی اشاره کرد. در کرت های دارای گیاه پوششی قطرات آب مستقیم به سطح خاک برخورد نمی‌کرد و گیاهچه‌ها به راحتی از خاک خارج می‌شدند ولی در کرت‌های بدون گیاه پوششی، مخصوصاً در خاک‌ورزی مرسوم، با برخورد قطرات به سطح خاک، ذرات خاک و آب روی گیاهچه‌ها می‌پاشید و این امر باعث سوختگی گیاهچه‌ها شده که می‌تواند فتوسنتز را نیز کاهش دهد. همچنین در این تیمارها، سطح خاک بعد از خشک شدن سله می‌بست و ایجاد مقاوت در برابر رشد گیاه می‌کرد که به نظر می‌رسد همین عوامل بر عملکرد گیاهی تأثیر بسزایی داشته و باعث شده تیمارهای بدون گیاه پوششی با تأخیر در روند رشد، گیاهانی ضعیف‌تر و در نتیجه عملکرد کمتری نسبت به تیمارهای دارای گیاه پوششی داشته باشند.



شکل ۷- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر عملکرد دانه کدو تخمه کاغذی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 7- Effects of different tillage and cover crop treatments on grain yield in *Cucurbita pepo*. Means followed by similar letter are not significantly different at $P < 0.05$

ویژگی‌های مهم خاک از جمله پایداری خاکدانه‌ها و پیدایش خاکدانه‌های درشت خاک می‌شود که نهایتاً باعث حفاظت خاک می‌گردد.

شکستن خاکدانه‌ها به وسیله خاک‌ورزی مرسوم نیز دلیلی برای هدرروی مواد آلی خاک می‌باشد. خاکدانه‌های درشت نسبت به خاکدانه‌های کوچک در برابر تنش‌های مکانیکی حاصل از شخم مرسوم مقاومت کمی نشان می‌دهند و این امر سبب می‌شود مواد آلی منافذ درونی در برابر هوا قرار گیرند و بیشتر اکسید شوند.

نتیجه‌گیری

پس از چهار سال اعمال تیمارهای خاک‌ورزی و گیاه پوششی، مدیریت تلفیقی گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی‌های حفاظتی به عنوان بهترین مدیریت شناسایی شد چرا که از جهات مختلفی توانست کیفیت خاک و عملکرد گیاهی را افزایش دهد. این مدیریت تلفیقی با افزایش میزان مواد آلی و ترسیب آن در خاک، موجب بهبود فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک و فراهم نمودن بهتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و تلفات عناصر را از خاک کاهش می‌دهد و ضمن دستیابی به عملکرد مطلوب، تداوم آن را در طی زمان حفظ می‌کند. به هم نخوردن ساختمان خاک در روش بی‌خاک‌ورزی و افزایش مواد آلی در اثر بهره‌گیری از گیاه پوششی خلر، باعث حفظ و ارتقاء بیشتر

منابع

- 1- A'lvaro-Fuentes J., Lo'pez M.V., Arru'e J.L., and Cantero-Martí'nez C. 2008. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal | Digital Library*, 72(1): 194–200.
- 2- Aziz I., Mahmood T., and Islam K.R. 2013. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 131: 28–35.
- 3- Bahrani M.J., Raufat M.H., and Ghadiri H. 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. *Soil and Tillage Research*, 94: 305-309.
- 4- Baldock J.A., and Nelson P.N. 2000. Soil organic matter. p. 25-84. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press.
- 5- Barzegar A.R., Asoodar M.A., Khadish A., and Hashemi A.M. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. *Soil and Tillage Research*, 71: 49-57.
- 6- Bhattacharyya P., Chakrabarti K., and Chakraborty A. 2005. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure. *Chemosphere*, 60: 310-318.
- 7- Borie F., Rubio R., Rouanet J.L., Morales A., Borie G., and Rojas C. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil and Tillage Research*, 88: 253-261.
- 8- Dhainaut Medina D.S. 2015. Long-term reduced tillage and cover cropping change soil chemical properties under irrigated Mediterranean conditions. MS Thesis. University of California Davis, (66 p).
- 9- Dukes J.S., and Hungate B.A. 2002. Elevated carbon dioxide and litter decomposition in California annual grasslands: which mechanisms matter? *Ecosystem*, 5: 171– 183.
- 10- Elsgaard L., Petersen S.O., and Debosz K. 2001. Effect and risk assessment of linear alkylbenzenesulfonate (LAS) in agricultural soil. 2. Effects on soil microbiology as influenced by sewage sludge and incubation time. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20: 1664–1672.
- 11- Esfandiary Ekhlās E.S. 2016. Effect of different tillage systems, cover crop and intercropping on some of soil quality indicators in Dastjerd region, Hamadan. MS Thesis. Bu-Ali Sina University, Hamedan (In Persian with English abstract).
- 12- Ghaffari M., Ahmadvand G., Ardakani M.R., Mosaddeghi M.R., Yeganehehpour F., Gaffari M., and Mirakhori M. 2012. Effect of Cover Crop Residues on Some Physicochemical Properties of Soil and Emergence Rate of Potato. *Journal of Crop Ecophysiology*, 6(1): 79-90. (In Persian with English abstract).
- 13- Graham M.H., Haynes R.J., and Meyer J.H. 2002. Soil organic matter content and quality: Efects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 93–102.
- 14- Iran Weather. 2014. Retrieved august 20, 2016. From <http://www.accuweather.com/en/ir/iran-weather>.
- 15- Liu E., Teclamarium S.G., Yan C., Yu J., Gu R., Liu S., He W., and Liu Q. 2014. Long-term effects of no-tillage management practice on soil organic carbon and its fractions in the northern China. *Geoderma*, 213: 379–384.
- 16- Loos J., Abson D.J., Chappell M.J., Hanspach J., Mikulcak F., Tichit M., and Fischer J. 2014. Putting meaning back in to “sustainable intensification”. *Frontiers in ecology and the environment*, 12:356–361.
- 17- Lopez-Garrido R., Deurer M., Madejo'n E., Murillo J.M., and Moreno F. 2012. Tillage influence on biophysical soil properties: The example of a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. *Soil and Tillage Research*, 118: 52–60.
- 18- Messiga A.J., Sharifi M., Hammermeister A., Gallant K., Fuller K., and Tango M. 2015. Soil quality response to cover crops and amendments in a vineyard inNova Scotia, Canada. *Scientia Horticulturae*, 188: 6–14.
- 19- Mitchell J.P., Shrestha A., Horwath W.R., Southard R.J., Madden N.M., Veenstra J., and Munk, D.S. 2015. Tillage and cover cropping affect crop yields and soil carbon in the San Joaquin Valley. *Calif. Agronomy Journal*, 107, 588–596.
- 20- Mitchell J.P., Shrestha A., Mathesius K., Scow K.M., Southard R.J., Haney R.L., Schmidt R., Munk D.S., and Horwath W.R. 2017. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. *Soil and Tillage Research*, 165: 325–335.
- 21- Muscas E., Cocco A., Mercenaro L., Cabras M., Lentini A., Porqueddu C., and Nieddu G. 2017. Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 237: 203–212.
- 22- Nikpoor M., Mahboubi A.A., Mosaddeghi M.R., and Safadoust A. 2010. Investigating the Effect of Soil innate Properties on structure Sustainability in Some Soils of Hamadan. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 15(58): 85-96. (In Persian).
- 23- Novara A., Gristina L., La Mantia T., Rühl J. 2013. Carbon dynamics of soil organic matter in bulk soil and

- aggregate fraction during secondary succession in a Mediterranean environment. *Geoderma*, 193–194: 213–221.
- 24- Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J., Cadisch G., and Giller K.E. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 83:27–42.
- 25- Plaza-Bonilla D., Nolot J.M., Passot S., Raffaillac D., and Justes E. 2016. Grain legume-based rotations managed under conventional tillage need cover crops to mitigate soil organic matter losses. *Soil and Tillage Research*, 156: 33–43.
- 26- Poeplau C., and Don A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—a meta-analysis. *Agriculture ecosystems and environment*, 200: 33–41.
- 27- Radicetti E., Mancinelli R., Moschetti R., and Campiglia E. 2016. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 155: 329–338.
- 28- Raiesi F. 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 3–20.
- 29- Ramroudi M., Majnoun Hosseini N., Hosseinzadeh A.H., Mazaheri D., and Hosseini M.B. 2011. Evaluating the effects cover crops, tillage systems and nitrogen rates on soil properties and sorghum forage yields. *Agronomy Journal* (Pajouhesh & Sazandegi) 92: 18–23. (in Persian with English abstract).
- 30- Raoufat M.H., and Mahmodieh R.A. 2005. Stand establishment responses of maize to seedbed residue, seed drill coulters and primary tillage systems. *Bio systems Engineering*, 90 (3): 261–269.
- 31- Safari Sinegani A.A. 2015. Soil organic matter. Bu-Ali Sina University Publication. p.364. (in Persian).
- 32- Safari Sinegani A.A., Sharifi Z., and Safari Sinegani M. 2010. Laboratory Methods in Biology. Bu-Ali Sina University Publication, (in Persian).
- 33- Salinas-Garcia J.R., Velazquez-Garcia J.D.J., Gallardo-Valdez M., Diaz-Mederos P., Caballero-Hernandez F., Tapia-Vargas L.M., and Rosales-Robles E. 2002. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-Western Mexico. *Soil and Tillage Research*, 66 (2): 143–152.
- 34- Soil Science Society of America (SSSA). 2015. <https://www.soils.org/IYS>.
- 35- Velten S., Leventon J., Jager N., and Newig J. 2015. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, 7: 7833–7865.
- 36- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. *Experimental soil science*, 79: 459–465.
- 37- Weil R.R., Islam K.R., Stine M.A., Gruver J.B., and Samson-Liebig S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18: 3–17.
- 38- Youker R.E., and McGuinness J.L. 1957. A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soils. *Soil Science Society of America*, 83: 291–294.



The Response of Selected Soil Quality Indices and Crop Yield to Integrated Management of Tillage and Cover Cropping in *Cucurbita pepo* Cultivation

E. Esfandiary ekhla¹ - M. Nael^{2*} - M. Sheklabadi³ - J. Hamzei⁴ - A.A. Safari sinegani⁵

Received: 13-08-2017

Accepted: 15-01-2018

Introduction: Soil is a finite natural resource and non-renewable under agricultural production without implementation of sustainable management practices. Ecological sustainability of agroecosystems can be comparatively assessed by soil quality evaluation, which in turn is assessed by soil quality indices. Soil quality is the general term used to refer to “the continued capacity of soil to function as a vital living system, within ecosystem and land-use boundaries, to sustain biological productivity, maintain the quality of air and water environments, and promote plant, animal, and human health”. Conservation tillage and use of cover crops are some of the sustainable agriculture practices that can improve the soil quality by adding organic matter and nutrients, and by acting as scavengers to trap leftover nutrients that otherwise might leach out. Cover crops are used as ground cover, mulches, green manure, nurse crops, smother crops, and forage and food for animals or humans. Given the significant role of tillage practices and crop residue management in soil quality improvement and crop production, a four-year field experiment was conducted to determine selected soil quality indices and *Cucurbita pepo* yield under different tillage and legume cover crop managements in Hamadan.

Materials and Methods: A four-year field experiment (2011-2014) was carried out at Bu-Ali Sina University experimental field in Dastjerd, Hamadan, as a factorial experiment in randomized complete block design with three replications. The area is located at 37 km of Hamadan, on 35° 01' N latitude and 48° 31' E longitude with 330 mm annual rainfall and 1690 m altitude. The treatments consisted of three levels of tillage practices (NT: no-till (direct seeding), MT: minimum tillage (chisel plowing + disk) and CT: conventional tillage (moldboard plowing + disk)) and two levels of cover cropping (C1: with legume cover crop (*lathyrus sativus*) and C0: without cover crop). These treatments were applied for four consecutive years in a way that *lathyrus sativus* as cover crop were planted in late winter for each year and returned to the soil surface with a trowel when 30% of the field was flowered. One week later, and prior to the cultivation of main crop, the mentioned tillage treatments were implemented. In the fourth year of the project, *Cucurbita pepo* was planted as the main crop. Soil and plant (*Cucurbita pepo*) were sampled early autumn (2014) and were analyzed for soil organic carbon, soil active carbon, macro and micro-aggregate carbon, mean weighted diameter of water stable aggregates, soil bulk density, basal microbial respiration and grain yield. Obtained data were analyzed using statistical software SAS 9.4 and the means were compared using LSD multiple range test at 5 percent level.

Results and Discussion: The results revealed that total organic carbon, active carbon, aggregate carbon, mean weighted diameter of water stable aggregates, bulk density, porosity and basal respiration were significantly affected by cover crop and tillage system so that the highest amount of these indicators were obtained in no-tillage system with cover crop treatment (NT-C1) and the lowest amounts were observed in the conventional tillage without cover crop (CT-C0). For instance, mean soil organic carbon increased from 0.4 percent in CT-C0 to about 0.7 percent in NT-C1. For majority of soil quality indices, no significant difference was observed between minimum and no-till; moreover, the application of cover crop in conventional tillage improved some aspects of soil quality. For instance, MWD was the highest (2.14 mm) in NT-C1, and was not significantly different with that of MT-C1 treatment. On the contrary, this index was significantly the lowest (0.48 mm) in CT-C0. The *C. pepo* grain yield was also significantly affected by tillage system, cover crop and their interactions. The highest grain yield (142.1 g.m⁻²) was obtained in MT-C1 treatment, which did not show significant difference with NT-C1 treatment. The lowest *C. pepo* grain yield (115.3 g.m⁻²) was observed in conventional tillage without cover crop (CT-C0) treatment, but it was in a same statistical group with NT-C0, MT-C0 and CT-C1 treatments. Cover crop increased organic carbon, active carbon, porosity, bulk density, microbial biomass activity and MWD by enhancing soil organic matter, probably; conservation tillage on its part further improved these effects by preventing the rapid decomposition of organic matter by reduced soil

1, 2, 3 and 5- PhD student, Assistant Professors and Professor of Soil Science, Soil Science Department, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Respectively

(*Corresponding Author Email: moh_nael@yahoo.com)

4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

destruction, which eventually increased soil organic carbon, active carbon and production of stable aggregates .

Conclusions: Generally, after four years of applying different tillage practices and cover cropping, it was demonstrated that the integrated management of the conservation tillage (either no-tillage or minimum tillage) with legume cover cropping was the most appropriate management in the semi-arid region of Hamadan in view of selected soil quality indices and crop yield improvements.

Keywords: Conservation tillage, Hamadan, Organic carbon fractions, Sustainable agriculture

تثبیت سرب در یک خاک آهکی با استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی

سمیه سفیدگر شاهکلایی^{۱*} - مجتبی بارانی مطلق^۲ - فرهاد خرمالی^۳ - اسماعیل دردی پور^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۴

چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین به دلیل اثرات مخرب آن در محیط زیست مانند تهدید سلامتی انسان‌ها، مسمومیت گیاهان و اثرات طولانی مدتی که بر حاصلخیزی خاک می‌گذارند، تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است. به منظور بررسی اثر اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوچار ۴۲۰ و بیوچار ۶۴۰) و اصلاح‌کننده‌های معدنی (پومیس، لیکا، زئولیت و بنتونیت) در سه سطح صفر، ۱ و ۵ درصد وزنی بر تثبیت سرب در یک خاک آلوده، آزمایشی گلخانه‌ای با استفاده از گیاه ذرت به عنوان شاخص زیستی با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد افزودن اصلاح‌کننده‌ها به خاک موجب کاهش غلظت سرب عصاره‌گیری شده با EDTA و DTPA شد. بیشترین کاهش غلظت سرب عصاره‌گیری شده با EDTA و DTPA در سطح ۵ درصد بیوچار ۶۴۰ و زئولیت مشاهده شد. بیشترین کاهش غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت به ترتیب در خاک تیمار شده با اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوچار ۴۲۰ و بیوچار ۶۴۰) و تیمار سطح ۵ درصد زئولیت مشاهده شد. بیشترین افزایش در ویژگی‌های رویشی گیاه مانند شاخص سبزیگی (SPAD)، تعداد برگ، در تیمار سطح ۵ درصد بیوچار ۶۴۰ و ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه در تیمار سطح ۵ درصد بیوچار ۴۲۰ نسبت به شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) در سطح ۵ درصد بنتونیت و پراکسیداز (PX) و آسکوربات پراکسیداز (ASP) در سطح ۱ درصد بیوچار ۴۲۰ مشاهده گردید که در مقایسه با شاهد، افزایشی معادل با ۱۴۷، ۱۰۱، ۱۹۷ و ۱۲۳ درصد داشته‌اند. اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوچار ۴۲۰ و بیوچار ۶۴۰) و زئولیت بیشترین کاهش جذب سرب را نشان دادند که پتانسیل بالایی این اصلاح‌کننده‌ها را در تثبیت سرب در خاک و کاهش تجمع سرب در گیاه را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پالایش، زیست‌فراهمی، ذرت، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

مقدمه

بسیار پایین نیاز دارند، اما زمانی که غلظت این فلزات از حد نیاز گیاه بالاتر می‌رود منجر به بروز اختلالات متابولیکی و بازدارندگی رشد اغلب گونه‌های گیاهی می‌گردند (۲۹). آرسنیک، سرب، نیکل، کادمیوم، مس، کبالت، روی و جیوه شایع‌ترین فلزات سنگین در خاک هستند که از فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شوند (۶۳). در میان فلزات سنگین، سرب دارای کارکرد زیستی مشخصی نمی‌باشد و از پتانسیل ایجاد مسمومیت برای گیاهان و سایر موجودات زنده برخوردار است. این فلز به دلیل پراکنش گسترده در جوامع شهری و صنعتی و خطر بالقوه‌ی آن برای محیط زیست، سلامت انسان‌ها و حیوانات، منشا نگرانی‌ها متعددی گردیده است (۶۳). سرب نه تنها فعالیت ریزجانداران خاک را تحت تاثیر قرار داده و سبب از دست رفتن حاصلخیزی خاک می‌شود، بلکه باعث بروز تغییر در شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد آن‌ها نیز می‌گردد (۳۹). تاکنون تحقیقات مختلفی بر روی فلزات سنگین در خاک‌های مناطق مختلف ایران صورت گرفته است (۹، ۲۱ و ۶۸). عباسپور و همکاران (۱) آلودگی

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های زیست محیطی هستند که در تمام نقاط جوامع صنعتی یافت می‌شوند (۳۵). سمیت فلزات سنگین و تجمع آن‌ها در زنجیره‌های غذایی یکی از اصلی‌ترین معضلات زیست محیطی و بهداشتی جوامع امروزی است (۴). معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیر آلی بر خلاف آلاینده‌های آلی تجزیه پذیر نمی‌باشند. این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین گروه آلاینده‌های زیست محیطی مبدل ساخته است (۲۹). گیاهان به برخی از فلزات سنگین در غلظت‌های

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشیار، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(*- نویسنده مسئول: Email: s.sefidgar16@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.67489

برخی خاکهای کشاورزی ایران به کادمیم و سرب را بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خاک بسیاری از مزارع مورد مطالعه به سرب و کادمیم آلوده‌اند. از این رو، به منظور احیای مجدد اراضی و حداقل کردن خطر ورود عناصر سمی به زنجیره‌های غذایی، پاکسازی اغلب مکان‌های آلوده به فلزات سنگین امری ضروری است (۷۳). اخیراً روش‌های مختلفی برای پالایش و کاهش سطح این آلاینده‌های سمی پیشنهاد شده است. تثبیت شیمیایی به عنوان یک تکنیک امید بخش می‌تواند تحرک آلاینده‌های سمی در اکوسیستم را کاهش دهد. این تکنیک با استفاده از مواد طبیعی با سطح ویژه زیاد و تمایل شدید جذب برای فلزات سنگین انجام می‌گیرد. برای کاهش انحلال و فراهمی زیستی فلزات سنگین توسط جذب سطحی یا رسوب، مواد شیمیایی و مینرالوژیکی به خاک آلوده اضافه می‌شود (۲). از جمله این مواد بنتونیت، لیکا، زئولیت طبیعی، پومیس و بیوپار هستند. بنتونیت ماده‌ای معدنی است که مخلوط تعدادی زیادی از کانی‌های مختلف رسی و گاه غیر رسی است. مهم‌ترین و عمده‌ترین کانی رسی آن مونت موریلونیت است که خواص بنتونیت را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۷). پومیس سنگ آذرین آتشفشانی است و دارای ساختمانی متخلخل و سطح ویژه بالایی است. پومیس یک نوع کانی سیلیکاتی غیر کریستالی است و به دلیل آزاد بودن بخش زیادی از سایت‌های سیلیکاتی دارای بار منفی می‌باشد (۲). پومیس دارای ساختمان اسکلتی با کانال‌های باز است که یون‌ها و مولکول‌ها در آن قرار می‌گیرند، به همین دلیل از پومیس برای حذف فلزات سنگین در تصفیه خانه‌ها استفاده می‌شود (۲). واژه لیکا از عبارت Clay Aggregate (LECA) به معنی توده رس منبسط سبک شده گرفته شده است. این توده‌ها از انبساط رس مونت‌موریلونیت در کوره‌های گردان با حرارتی حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آیند. این عمل موجب می‌شود که رس همانند پاپ کورن از درون منبسط شده و خلل و فرج‌دار گردند. دانه‌های حاصل دارای شکل تقریباً گرد و سطح زبر و ناهموارند (۲۸). رنگ پوشش خارجی بستگی زیادی به ماده معدنی و روش کیفیت فرآوری دارد و اغلب نزدیک به رنگ قهوه‌ای است (۵۷). لیکا اسفنج مانند و سطح میکروسکوپی قابل توجهی دارد (۵۷). مکانیسم جذب در سطح کانی‌های رسی به شدت به بارهای منفی که در اثر جایگزینی همشکل به وجود آمده است، بستگی دارد (۴۵). کانی زئولیت در طبیعت ممکن است دارای منشا ماگمایی به همراه سنگ‌های آذرین بوده و یا به صورت کانی ثانویه در اثر فرایند دگرسانی تشکیل گردد. ظرفیت تبادل کاتیونی آن‌ها ۱۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌مول‌بار در کیلوگرم خاک گزارش شده است (۲۸). کانی‌های رسی درجه آلودگی‌ها را از طریق جذب و جذب سطحی کنترل می‌کنند. فراوانی کانی‌های رسی در رسوبات باعث تحرک کم فلزات سنگین در این محیط‌ها شده است (۲۴). کانی‌های رسی مونت موریلونیت، آلفان، کائولینیت، بنتونیت و ایلایت

به علت دارا بودن بار الکتریکی منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی، به عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند و قادرند عناصر سنگین را جذب و از دسترس گیاه خارج سازند (۶۵). زئولیت‌ها و بنتونیت‌ها به علت سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، هزینه کم و دسترسی فراوان، به عنوان مواد موثر جهت کاهش جذب فلزات سنگین در خاک‌های آلوده شناسایی شده‌اند (۲۰). سبری و همکاران (۶۴) تثبیت فلزات سنگین و کاهش آلودگی خاک‌های آلوده توسط زئولیت و بنتونیت را گزارش کردند. کلر و همکاران (۳۱)، نشان دادند که افزایش ۱ درصد زئولیت به خاک، مقدار سرب در برگ‌های گیاه تنباکو را به طور معنی‌داری کاهش داد. طبق نتایج پانوکیو و همکاران (۵۷)، کادمیم جذب شده توسط زئولیت عمدتاً به صورت غیر تبادلی بوده، اما قسمت اعظم کادمیم و سرب جذب شده در سطح بنتونیت به شکل تبادلی بود. به عبارت دیگر کانی بنتونیت موثرترین کانی در کاهش جذب سرب توسط آفتابگردان تشخیص داده شد. آبدی و همکاران (۲)، اثر کاربرد پومیس به عنوان اصلاح‌کننده خاک بر روی جذب کادمیم توسط گیاه اسفناج را بررسی نمودند، نتایج ایشان نشان داد که افزودن پومیس به خاک سبب کاهش جذب کادمیم در گیاه شده است. ملکوتیان و همکاران (۴۲)، حذف فلزات سنگین توسط لیکا را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که لیکا به عنوان یک ماده قابل دسترس، طبیعی و ارزان قیمت می‌تواند جایگزینی برای حذف فلزات سنگین باشد. بیوپار، زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (۱۶). بیوپار موادی با تخلخل بسیار بالا و گروه‌های عاملی مختلفی هستند که در جذب سطحی فلزات سنگین موثرند (۴۱). بیوپار سبب افزایش ظرفیت تبادلی کل خاک می‌شود، به علاوه باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی ماکرو و نیز ظرفیت بالای نگهداشت آب و به دنبال آن بهبود رشد گیاه می‌شود (۳۰ و ۷۰). هوبن و همکاران (۲۵) اثر بیوپار بر فراهمی زیستی سرب، کادمیم و روی و تولید بیوماس گیاه کلزا را در خاک آلوده بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که فراهمی زیستی غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم و روی با افزایش مقدار بیوپار کاهش و بیوماس گیاه کلزا افزایش یافته است. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که بیوپارها می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای برخی از فلزات سنگین مانند کادمیم، سرب و روی در خاک را تثبیت کنند (۶۰ و ۷۵). با توجه به مطالب گفته شده، در پژوهش حاضر، اثر بیوپار به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی و اصلاح‌کننده‌های معدنی همانند لیکا، زئولیت، بنتونیت و پومیس بر جذب سرب در یک خاک آهکی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش

خاک مورد استفاده از منطقه‌ای عاری از آلاینده‌ها جمع‌آوری شد و

هوایی پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند تا وزن آن‌ها به حد ثابتی رسید. سپس نمونه‌ها توزین و به وسیله آسیاب پودر گردیدند و غلظت سرب در ریشه، برگ و ساقه اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است، قبل از برداشت گیاهان ارتفاع ساقه، تعداد برگ، شاخص سبزی‌نگی برگ (SPAD) اندازه‌گیری شدند. به منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌ها (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپر اکسید دسموتاز (SOD)، پراکسیداز (PX)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (ASP) نمونه‌گیری از برگ‌های جوان و توسعه یافته در پایان فصل رشد یعنی ۱۲۰ روز بعد از کشت صورت پذیرفت. غلظت کلروفیل‌ها (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل) به روش پورا (۵۹)، کارتنوئید به روش رازمجو (۶۲) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپر اکسید دسموتاز (SOD) به روش مینامی و یوشیکاوا (۴۸)، کاتالاز (CAT) به روش ابی (۵)، پراکسیداز (PX) به روش گو و لنهوف (۵۲) و آسکوربات پراکسیداز (ASP) به روش ناکانو و آسادا (۵۰) اندازه‌گیری شد.

تعیین مقدار سرب در گیاه: برای اندازه‌گیری سرب در ریشه و برگ ذرت از روش هضم تر با استفاده از اسید نیتریک غلیظ، اسید پرکلردیک و اسید سولفوریک استفاده گردید (۲۳).

نتایج آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار (۱) SAS انجام شد و برای رسم نمودارها و گراف‌ها از نرم‌افزار Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح ۵ درصد) استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در این آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌های خاک نشان داد که بافت خاک مورد مطالعه سیلتی لوم و مقادیر پتاسیم و فسفر قابل جذب به ترتیب ۲۵۷ و ۱۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیتروژن ۰/۱۳ درصد خاک را تشکیل می‌دهد. مقدار ماده آلی در خاک مورد مطالعه ۱/۸ درصد بود. همچنین مقدار آهک معادل خاک ۵/۲ درصد محاسبه شد.

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر زیست فراهمی سرب در خاک

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر سرب عصاره‌گیری شده با DTPA و EDTA در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی غلظت سرب عصاره‌گیری شده با DTPA را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش دادند.

پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل pH و EC در نسبت ۱:۵ خاک به آب (۴۴)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۱۱)، فسفر به روش اولسن (۵۴)، پتاسیم با روش فلیم فتومتری (۳۶)، کربن آلی با روش اکسیداسیون (۷۱)، بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش چاپمن (۱۳) و وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه (۲۶) اندازه‌گیری شد، که این خصوصیات در جدول ۱ آورده شده است. به منظور آلوده‌سازی نمونه‌های خاک با سرب (۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مقادیر مناسبی از نمک نترات سرب در آب مقطر معادل ۷۰٪ ظرفیت زراعی حل شد و به نمونه‌های خاک اضافه و به خوبی مخلوط گردید. پس از آلوده شدن خاک و گذشت ۳ ماه و حصول تعادل، به منظور تثبیت درجای سرب توسط اصلاح‌کننده‌های مختلف یک آزمایش آنکوباسیون در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل انواع مختلف اصلاح‌کننده، بنتونیت، لیکا، پومیس، ژئولیت طبیعی، بیوچار تهیه شده در دمای ۶۴۰ و زمان ۳۰ دقیقه از کاه و کلش برنج و بیوچار تهیه شده در دمای ۴۲۰ و زمان ۲ ساعت از کاه و کلش برنج بوده است. بنتونیت از شرکت زرین خاک قائن، لیکا از کارخانه لیکا کیلومتر ۱۰۵ جاده قدیم تهران - ساوه، پومیس از کارخانه پارس پومیس واقع در استان آذربایجان شرقی شهرستان اسکو و ژئولیت طبیعی از شرکت افروند توسکا تهران تهیه شدند. بیوچارها نیز در آزمایشگاه در کوره الکتریکی و در حضور کم اکسیژن تهیه شدند. pH و EC بیوچار در نسبت خاک به آب ۱ به ۱۰ اندازه‌گیری شد. آنالیز بیوچار تولید شده در جدول ۱ آورده شده است. پس از فرایند پیرولیز، بیوچارها از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شدند. خاک آلوده به سرب با نسبت‌های ۱ درصد و ۵ درصد وزنی از هریک از اصلاح‌کننده‌ها به خوبی مخلوط گردید و همراه با خاک شاهد (۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب و بدون تیمار با اصلاح‌کننده) به مدت ۳ ماه در گلدان‌های پلاستیکی در شرایط رطوبت معادل ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و تحت شرایط ثابت گلخانه‌ای نگهداری شد. پس از ۱۲ هفته از شروع آنکوباسیون، از هر تیمار، نمونه‌های ۵۰ گرمی برداشته شد و زیست فراهمی سرب توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی همانند DTPA (۳۷) و EDTA (۳۴) اندازه‌گیری شد. پس از برداشت ۵۰ گرم، در خاک باقیمانده ۵ عدد بذر ذرت (*Zea mays L*) قرار داده شد و پس از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به ۳ عدد تنک گردید. گیاهان به مدت ۱۲ هفته در شرایط ثابت گلخانه‌ای و در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شدند. گیاهان پس از ۱۲۰ روز برداشت شدند. ریشه‌ها و اندام هوایی به طور جداگانه در پاکت قرار گرفتند. ویژگی‌های رویشی اندازه گرفته شده در این آزمایش، شامل سطح برگ و وزن خشک ریشه و اندام هوایی است. گیاهان پس از جدا شدن از ناحیه طوقه به دو قسمت ریشه و اندام هوایی تفکیک شدند. ریشه‌ها و اندام

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اصلاح کننده‌های مورد مطالعه

Table 1- Selected physical and chemical properties of soil and amendments studied

پارامتر	واحد	خاک	پومیس	لیکا	زئولیت	بنتونیت	بیوچار ۴۲۰°C	بیوچار ۶۴۰°C
Parameter	Unit	Soil	Pumice	Leca	Zeolite	Bentonite	Biochar 420°C	Biochar 640°C
pH		7.2	7.2	11.5	8.2	8.1	7.4	8.3
EC	dS m ⁻¹	0.68	2.6	4.7	0.8	4.5	7.9	9.3
Clay رس	%	27.5	-	-	-	-	-	-
Silt سیلت	%	57.5	-	-	-	-	-	-
Sand شن	%	15	-	-	-	-	-	-
Textural class کلاس بافت خاک	-	Silt loam	-	-	-	-	-	-
Bulk density چگالی	g cm ⁻³	1.47	-	-	-	-	-	-
CEC	cmol ₊ kg ⁻¹	19.8	28	26.8	33.4	24.9	66.1	67.3
CCE	%	5.2	2.13	7.93	4.96	6.13	3.2	0.966
Organic carbon کربن آلی	%	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	38.4	30.5
Total nitrogen نیتروژن کل	%	0.13	-	-	-	-	-	-
P فسفر	mg kg ⁻¹	14.6	-	-	-	-	-	-
K پتاسیم	mg kg ⁻¹	257	-	-	-	-	-	-
Pb سرب	mg kg ⁻¹	1500 ^a	4.6	4.1	5.2	4.3	2.1	1.3

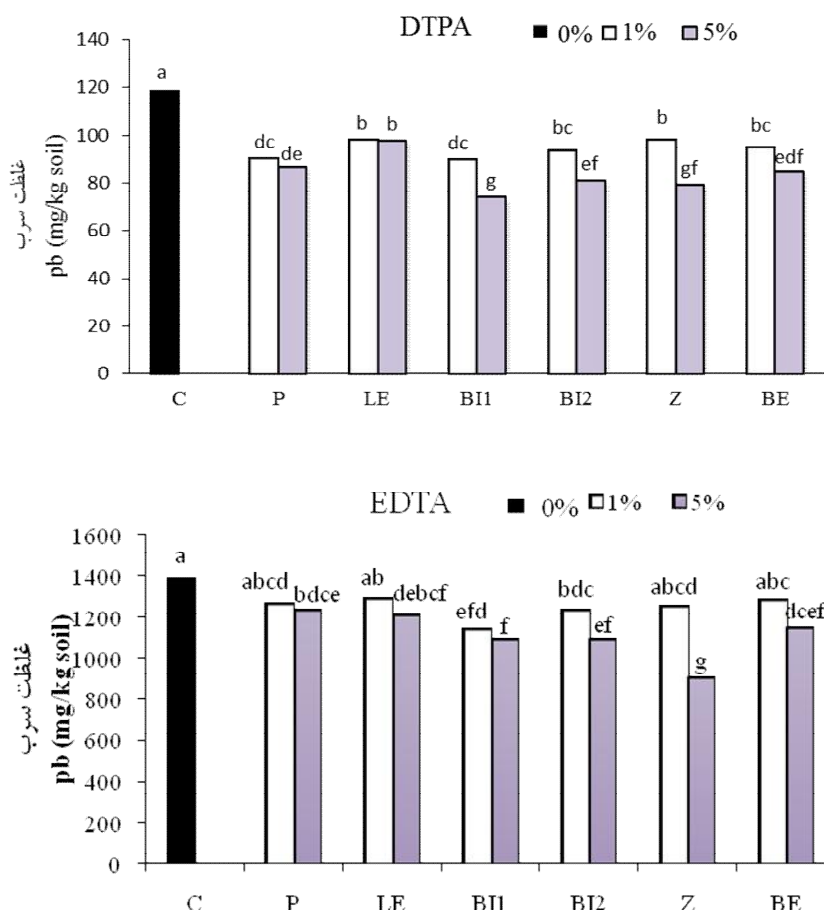
CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، CCE: کربنات کلسیم معادل، ^a مقدار سرب کل خاک آلوده، (-): اندازه‌گیری نشده استCEC: cation exchange capacity, CCE: calcium carbonates equivalent, ^a Total amount of lead contaminated soil, (-): not measured

زئولیت، لیکا، بنتونیت و پومیس حلالیت فلزات را با افزایش جذب سطحی و یا رسوب کاهش می‌دهند که جذب سطحی به شدت وابسته به pH است (۶۴). کاربرد اصلاح کننده‌های آلی (بیوچار ۴۲۰ و ۶۴۰) و اصلاح کننده‌های معدنی (لیکا، زئولیت و بنتونیت) سبب افزایش معنی‌دار pH خاک در مقایسه با تیمار شاهد شدند (جدول ۲). افزایش pH خاک توسط اصلاح کننده‌ها یکی از روش‌های اصلی تثبیت سرب در خاک‌ها است (۶، ۳۳ و ۴۳). تجزیه اصلاح کننده‌های آهکی سبب آزاد شدن یون‌های هیدروکسیل OH⁻ و افزایش pH خاک می‌شود و باعث کاهش حلالیت سرب می‌شود که احتمالاً به علت تشکیل Pb(OH)₂ در pH ~ ۸ است (۳۸). گو و همکاران (۲۲) نشان دادند که بیوچارها می‌توانند از طریق جذب سطحی و رسوب، سرب را تثبیت و در نتیجه آن گونه‌های محلول سرب به شکل گونه-

بیشترین کاهش غلظت سرب عصاره‌گیری شده با DTPA مربوط به تیمار بیوچار ۶۴۰ در سطح ۵ درصد است که ۳۷/۷۱ درصد نسبت به شاهد کمتر بود. همچنین کاربرد اصلاح کننده‌های آلی (بیوچار ۴۲۰ و ۶۴۰) و سطح ۵ درصد اصلاح کننده‌های معدنی (پومیس، لیکا، زئولیت و بنتونیت) سبب کاهش معنی‌دار غلظت سرب عصاره‌گیری شده با EDTA در مقایسه با تیمار شاهد شدند. بیشترین کاهش غلظت سرب عصاره‌گیری شده با EDTA مربوط به سطح ۵ درصد تیمار زئولیت است که ۳۴/۴ درصد نسبت به شاهد کمتر بود. نتایج این مطالعه با نتایج مندز و همکاران (۴۷)، لو و همکاران (۴۰) و فلت و همکاران (۱۹) مطابقت داشت. زئولیت، لیکا، بنتونیت و پومیس ممکن است به علت pH بالا و کلسیم کربنات معادل بالا، سبب کاهش غلظت سرب عصاره‌گیری شده با DTPA شوند (جدول ۱).

سرب در حضور بیوچار انجام گرفته است. لو و همکاران (۴۱) اثر دو نوع بیوچار که از کاه برنج و بامبو تولید شده بودند را بر جذب سرب در خاک آلوده بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بیوچار تهیه شده از کاه برنج در جذب سرب موثرتر بوده است. میزان سرب عصاره گیری شده با EDTA بیشتر از DTPA بود (شکل ۱). هردو عصاره گیر EDTA و DTPA دارای لیگاندهای آلی هستند که قادر به تشکیل کمپلکس‌های قوی با فلزات هستند (۶۱). برخلاف DTPA، عصاره گیر EDTA قادر به استخراج فلزات پیوند یافته با کربنات‌ها و مواد آلی نیز می‌باشد. بنابراین، توانایی بالاتری در استخراج نسبت به DTPA دارد (۵۱). مک گراث (۴۶) نیز بیان می‌کند که EDTA قادر به فلزات پیوند یافته با کربنات‌ها است لکن DTPA بدلیل بافر شدن با CaCl_2 و تری اتانول آمین انحلال کربنات کلسیم به حداقل می‌رسد.

های پایدارتر همانند هیدروکسی پیروموفایت تغییر شکل دهند. در طی تولید بیوچار، مواد آلی پیرولیز و مقدار کربنات افزایش می‌یابد و دامنه وسیعی از گروه‌های عاملی همانند COO^- و O^- در سطح بیوچار ایجاد می‌شود (۳۲)، بنابراین پس از پیرولیز، بیوچارها به مواد قلبایی تبدیل می‌شوند که با اضافه شدن به خاک، pH خاک را افزایش می‌دهند و بارهای سطحی منفی ایجاد می‌شود که کاتیون‌ها می‌توانند جذب شوند (۷۴). مطالعه حاضر نشان داد که اثر بیوچار روی تثبیت فلزات سنگین در خاک ممکن تحت تاثیر شرایط پیرولیز و مقادیر کاربرد بیوچار قرار گیرد. از آنجایی که بیشتر بیوچارها دارای سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل، pH بالا و برخی از نمک‌های محلول هستند، آن‌ها می‌توانند به طور قابل توجهی حلالیت فلزات سنگین در خاک را از طریق جذب سطحی و رسوب کاهش دهند (۷۴ و ۷۶). زانگ و همکاران (۷۶) از بیوچار برای تثبیت سرب و فلزات سنگین در خاک استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان حذف



شکل ۱- پتانسیل زیست فراهمی سرب در خاک اصلاح نشده شاهد (C) و خاک‌های اصلاح شده با پومیس (P)، لیکا (LE)، بیوچار تهیه شده در دمای ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد (BI1)، بیوچار تهیه شده در دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد (BI2)، زئولیت (Z) و بنتونیت (BE) اندازه‌گیری شده توسط

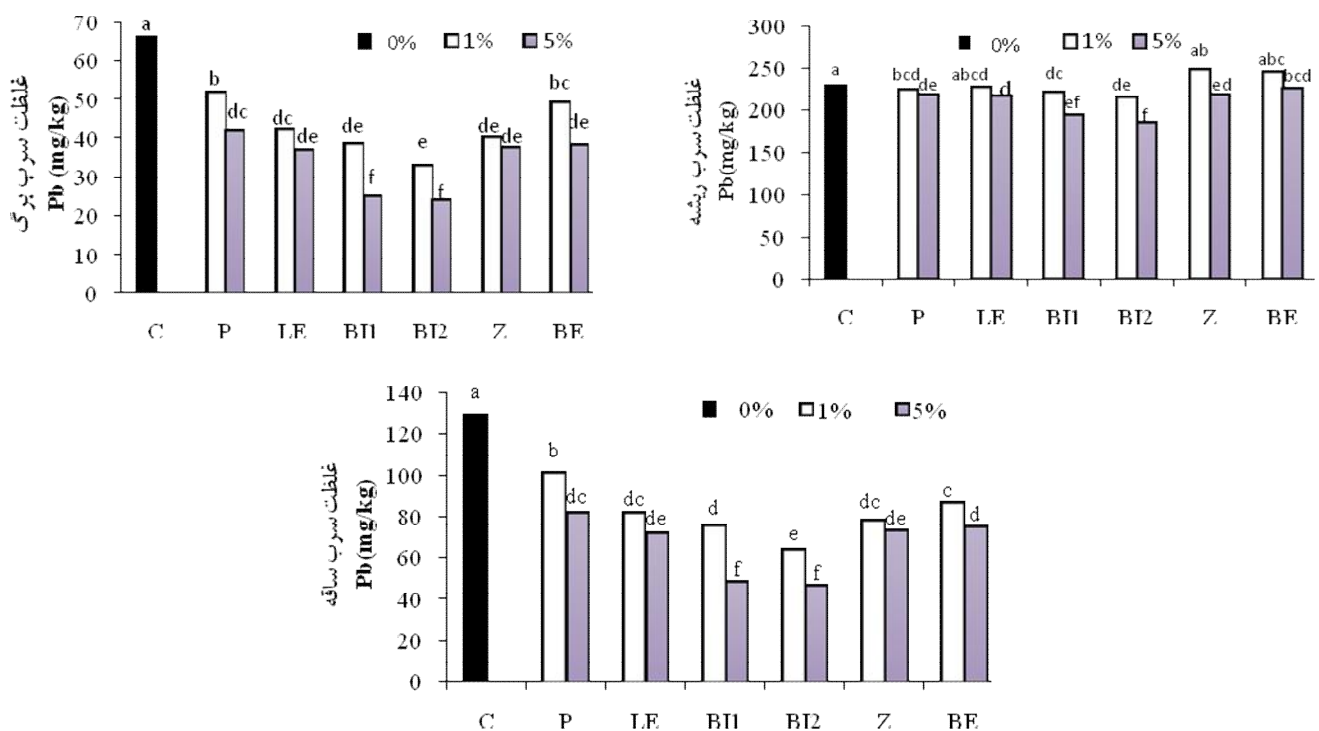
دو عصاره‌گیر DTPA و EDTA

Figure 1- Pb potential bioavailability in non-amended (C) soil and soils amended with pumice (P), leca (LE), biochar 640°C (BI1), biochar 420°C (BI2), zeolite (Z), bentonite (BE) assessed by DTPA and EDTA extractions

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر غلظت سرب در گیاه

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که همه تیمارها به طور معنی‌داری غلظت سرب را در برگ و ساقه گیاه ذرت نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۲). همچنین با افزایش مقدار اصلاح‌کننده‌ها در خاک از ۱ درصد به ۵ درصد مقدار سرب در برگ و ساقه گیاه کاهش معنی‌داری یافت. سطح ۵ درصد تیمار بیوپچار ۴۲۰ و بیوپچار ۶۴۰ بیشترین تاثیر کاهشی را در غلظت سرب در برگ و ساقه گیاه ذرت داشت. چنان که غلظت سرب در برگ گیاه با کاربرد این تیمارها به ترتیب با حدود ۶۳ درصد و ۶۲ درصد از ۶۶ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ترتیب به ۲۴ و ۲۴/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش به طور معنی‌داری یافت. همچنین کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوپچار ۴۲۰ و ۶۴۰)، سطح ۵ درصد اصلاح‌کننده‌های معدنی (پومیس، لیکا، زئولیت و بنتونیت) و سطح ۱ درصد پومیس سبب کاهش معنی‌دار غلظت سرب ریشه گیاه ذرت در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۲).

بیشترین کاهش غلظت سرب در ریشه گیاه مربوط به تیمار بیوپچار ۴۲۰ در سطح ۵ درصد است که ۱۸/۸۶ درصد نسبت به شاهد کمتر است. سبری و همکاران (۶۴) کاربرد زئولیت، بنتونیت و بیوپچار بر غلظت سرب در اندام هوایی گیاه کلزا را بررسی و گزارش کردند که کاربرد بیوپچار و بنتونیت غلظت سرب در گیاه را به ترتیب ۶۲/۷ و



شکل ۲- اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف بر تجمع زیستی سرب در ساقه، برگ و ریشه گیاه ذرت

Figure 2- Effect application of different amendments on Pb bioaccumulation in the shoots, leaves and roots of maize plant

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر پارامترهای رشدی گیاه

اثر تیمارهای مورد مطالعه بر پارامترهای رشدی گیاه همانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در جدول ۲ نمایش داده شده است. همه تیمارها به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ گیاه را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۲). بیشترین افزایش در مقدار وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ گیاه در سطح ۵ درصد تیمار بیوچار ۴۲۰ مشاهده شد که به ترتیب ۶۳۴ و ۳۶۶ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافتند. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (بیوچار ۴۲۰ و بیوچار ۶۴۰)، اصلاح-کننده‌های معدنی (پومیس، لیکا، زئولیت) و سطح ۵ درصد بنتونیت وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد برگ گیاه را به‌طور معنی‌داری

نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۲). بیشترین افزایش در مقدار وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه مربوط به تیمار بیوچار ۴۲۰ در سطح ۵ درصد است که به ترتیب ۴۷۳ و ۱۶۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. سطح ۵ درصد تیمار بیوچار ۶۴۰ بیشترین اثر افزایشی را بر تعداد برگ گیاه نسبت به تیمار شاهد نشان داد. افزایش در رشد و بیوماس گیاه ذرت در اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف می‌تواند به علت کاهش غلظت سرب و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌ها باشد (شکل ۲ و ۳). احمد و همکاران (۷) اثر کاربرد بیوچار بر بیوماس گیاه ذرت را بررسی و گزارش کردند که کاربرد این مواد بیوماس گیاه را به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح شاهد افزایش داد.

جدول ۲- اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف بر pH و پارامترهای رشدی و وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت
Table 2- Effect of different amendments on soil pH and plant growth parameters and biomass of maize plant

تیمار	سطح	pH	وزن خشک	(گرم بر گلدان)	ارتفاع ساقه	تعداد برگ	شاخص سطح برگ
treatment	Level		Weight (g/pot)	Dry	Plant height	Number of leaf	Leave area index
	%		biomass	Root	(cm)		(cm ² /pot)
شاهد							
control	0	7.25 ^f	3.28 ^f	0.923 ^h	46.54 ^f	4.33 ^e	810.8 ⁱ
بیوچار ۴۲۰							
Biochar 420	1	7.31 ^e	17.89 ^{bc}	2.16 ^e	103.08 ^b	6 ^{dc}	1530 ^b
بیوچار ۴۲۰							
Biochar 420	5	7.312 ^e	24.14 ^a	5.29 ^a	124.79 ^a	7.44 ^b	3783 ^a
بیوچار ۶۴۰							
Biochar 640	1	7.53 ^d	13.12 ^d	1.62 ^{gf}	99.5 ^{bc}	6.94 ^{bc}	2535 ^{ef}
بیوچار ۶۴۰							
Biochar 640	5	7.7 ^c	19.45 ^b	3.96 ^b	120 ^a	8.66 ^a	3435 ^b
زئولیت							
Zeolite	1	7.53 ^d	12.89 ^d	2.96 ^d	99.08 ^{bc}	7 ^{bc}	2977 ^{cd}
زئولیت							
Zeolite	5	7.69 ^c	19.68 ^b	3.55 ^{bc}	97.64 ^{bc}	7 ^{bc}	2453 ^{ef}
بنتونیت							
Bentonite	1	7.52 ^d	9.1 ^e	1.17 ^{gh}	59.154 ^f	5 ^{de}	1215 ^h
بنتونیت							
Bentonite	5	7.68 ^c	17.13 ^c	3.15 ^{dc}	92.154 ^{dbc}	7 ^{bc}	2415 ^{ef}
پومیس							
Pumice	1	7.27 ^{ef}	12.15 ^d	1.41 ^{gh}	77.77 ^e	6.66 ^{bc}	1908 ^g
پومیس							
Pumice	5	7.29 ^{ef}	16.73 ^c	2.05 ^{ef}	82.05 ^{de}	6.88 ^{bc}	2272 ^f
لیکا							
Leca	1	7.93 ^b	13.57 ^d	1.48 ^g	91.16 ^{dbce}	7 ^{bc}	2685 ^{ed}
لیکا							
Leca	5	8.24 ^a	16.9 ^c	2.74 ^d	89 ^{dec}	7.33 ^b	3021 ^c

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

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص سبزیگی (SPAD)

نتایج نشان داد، همه تیمارها (به جز سطح ۱ درصد تیمارهای پومیس و بنتونیت) اثر معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بر رنگدانه‌های فتوسنتزی همانند کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید داشتند (جدول ۳). بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل مربوط به تیمار بنتونیت در سطح ۵ درصد است که به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۶ و ۱۰۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار نشان دادند. بیشترین غلظت کارتنوئید در سطح ۱ درصد تیمار بیوچار ۴۲۰ مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار شاخص سبزیگی برگ مربوط

به تیمار بیوچار ۶۴۰ در سطح ۵ درصد بود که ۱۲۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. افزایش در رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص سبزیگی ممکن است به دلیل افزایش عملکرد گیاه و کاهش غلظت سرب در برگ‌ها باشد (۳). چرا که افزایش غلظت سرب در گیاه مانع سنتز کلروفیل می‌شود. سرب با جلوگیری از جذب آهن و منیزیم مانع سنتز کلروفیل در گیاه می‌شود (۶۷). باروانا و همکاران (۱۰) کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی همانند کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و شاخص سبزیگی را با افزایش غلظت سرب مشاهده کردند.

جدول ۳- اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف بر رنگدانه‌های فتوسنتزی [کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید] و شاخص سبزیگی گیاه ذرت

Table 3- Effect application of different amendments on photosynthetic pigments [Chl a, b, total Chl and carotenoids], and SPAD value of maize plant.

تیمار	سطح	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	شاخص سبزیگی
		میلی گرم بر گرم ماده خشک	میلی گرم بر گرم ماده خشک	میلی گرم بر گرم ماده خشک	میلی گرم بر گرم ماده خشک	
treatment	Level	Chl a mg g ⁻¹ FW	Chl b mg g ⁻¹ FW	Total chl mg g ⁻¹ FW	carotenoids mg g ⁻¹ FW	SPAD value
شاهد						
Control	0	2.18 ^g	1.07 ^g	3.27 ^h	7.31 ⁱ	3.48 ^h
بیوچار ۴۲۰						
Biochar 420	1	3.81 ^b	1.9 ^b	5.326 ^b	12.813 ^a	5.1 ^{ecd}
بیوچار ۴۲۰						
Biochar 420	5	3.39 ^c	1.73 ^c	5.14 ^c	12.126 ^b	6.64 ^b
بیوچار ۶۴۰						
Biochar 640	1	3.02 ^d	1.49 ^d	4.52 ^{de}	9.74 ^f	4.64 ^{egf}
بیوچار ۶۴۰						
Biochar 640	5	3.48 ^c	1.77 ^c	5.32 ^c	11.09 ^d	7.98 ^a
زئولیت						
Zeolite	1	2.98 ^d	1.49 ^d	4.53 ^d	10.49 ^e	4.75 ^{egf}
زئولیت						
Zeolite	5	3.36 ^b	1.91 ^b	5.75 ^b	10.51 ^e	5.195 ^{ecd}
بنتونیت						
Bentonite	1	2.26 ^g	1.11 ^g	3.4 ^h	8.29 ^h	3.59 ^h
بنتونیت						
Bentonite	5	4.37 ^a	2.21 ^a	6.61 ^a	11.49 ^c	5.341 ^{dc}
پومیس						
Pumice	1	2.21 ^g	1.1 ^g	3.34 ^h	8.12 ^h	4.52 ^g
پومیس						
Pumice	5	2.51 ^f	1.24 ^f	3.77 ^g	9.09 ^g	5.01 ^{egfd}
لیکا						
Leca	1	2.82 ^e	1.44 ^{de}	4.33 ^{ef}	9.76 ^f	4.6 ^{gf}
لیکا						
Leca	5	2.77 ^e	1.38 ^e	4.19 ^f	9.92 ^f	5.6 ^c

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

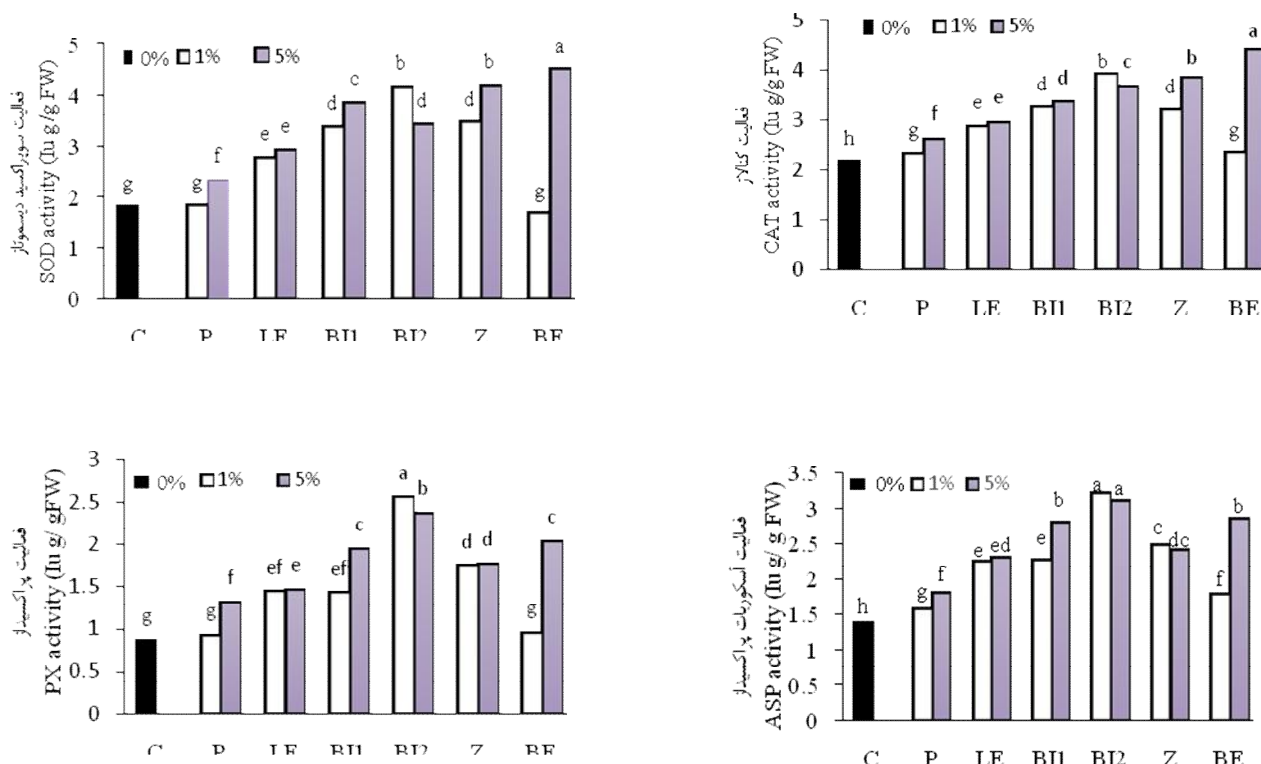
Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)

۱۲۳ درصد نسبت تیمار شاهد افزایش یافت.

افزایش فعالیت آنزیم‌ها در حضور اصلاح‌کننده‌ها ممکن است به دلیل کاهش غلظت سرب در برگ‌ها باشد چرا که افزایش غلظت فلزات سنگین سبب تولید و تجمع رادیکال‌های آزاد و رادیکال سوپر اکسید (ROS) می‌شود که باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (۶۶). ROS می‌تواند لیپیدها، پروتئین‌ها، رنگدانه‌ها و اسیدهای نوکلئیک غشاء را از بین ببرد و گیاه برای جلوگیری از اثرات نامطلوب استرس اکسیداتیو یک سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در سلول‌ها ایجاد می‌کند (۱۲). گیاهانی که در معرض سرب قرار می‌گیرند به دلیل فعالیت نامناسب سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب ایجاد آسیب‌های اکسیداتیو می‌شوند (۴۹). سیستم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یکی از مکانیسم‌های مثبت در گیاهان است. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان نشان‌دهنده تشکیل ROS است.

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر فعالیت آنزیم‌ها

اثر تیمارهای مورد مطالعه بر فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT، PX و ASP در شکل ۳ نمایش داده شده است. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که همه تیمار (به جز سطح ۱ درصد تیمار پومیس و بنتونیت) اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT و PX در برگ گیاه ذرت نسبت به تیمار شاهد دارند (شکل ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های SOD و CAT در سطح ۵ درصد بنتونیت مشاهده شد. چنانکه با کاربرد این تیمار فعالیت آنزیم‌های SOD و CAT به ترتیب ۱۴۷ و ۱۰۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. سطح ۱ درصد بیوجار ۴۲۰ بیشترین فعالیت آنزیم PX را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. چنانکه فعالیت آنزیم PX با کاربرد این تیمار حدود ۱۹۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. تمامی تیمارها به طور معنی‌داری فعالیت آنزیم ASP را در برگ گیاه نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم ASP مربوط به تیمار بیوجار ۴۲۰ در سطح ۱ درصد است که



شکل ۳- کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (PX) و آسکوربات پراکسیداز (ASP) در برگ گیاه ذرت

Figure 3- Application of different amendments on activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (PX) and ascorbate peroxidase (ASP) in leaves of maize plant

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد کاربرد اصلاح‌کننده آلی و معدنی در خاک آلوده به سرب مقدار سرب عصاره‌گیری شده با EDTA و DTPA را که شاخصی از زیست‌فراهمی عنصر می‌باشد، کاهش دادند. همین‌طور اصلاح‌کننده‌ها با تثبیت سرب، غلظت سرب را در برگ، ساقه و ریشه گیاه ذرت کاهش دادند. بنابر نتایج این مطالعه تیمارهای اعمال شده سبب افزایش معنی‌دار پارامترهای رشدی گیاه همانند وزن خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و شاخص سطح برگ شد. بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح ۵ درصد تیمار بنتونیت و بالاترین غلظت کارتئوئید در بیوجار ۴۲۰ مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار شاخص سبزی‌نگی برگ مربوط به تیمار بیوجار ۶۴۰ در سطح ۵ درصد بود. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی گیاه همانند SOD، CAT، PX و ASP در اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی (به استثنای سطح ۱ درصد تیمارهای پومیس و بنتونیت) به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود.

SOD اولین خط دفاعی سلول در برابر ROS است و سریعاً رادیکال سوپر اکسید را به هیدروژن پراکسید و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌کند و به دنبال آن هیدروژن پراکسید توسط پرکسیداز و کاتالاز و یا در کلروپلاست به وسیله آسکوربات پراکسیداز به مولکول آب و اکسیژن تبدیل می‌شود (۴۳). سیچو و همکاران (۶۹) با بررسی میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاه *Coronopus didymus* با غلظت‌های ۵۰۰، ۹۰۰، ۱۸۰۰ و ۳۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک نشان دادند که در همه تیمارها میزان فعالیت آنزیم افزایش، ولی با افزایش غلظت سرب میزان فعالیت آنزیم کاهش می‌یابد. کاهش فعالیت آنزیم در غلظت‌های بالا احتمالاً به دلیل افزایش تولید H_2O_2 در سلول، غیر فعال شدن آنزیم توسط H_2O_2 و یا اتصال سرب به جایگاه فعال آنزیم می‌باشد و در نتیجه فعالیت آنزیم کاهش می‌یابد.

منابع

- 1- Abbaspour A., Calabash M., Hajj Rassouli S., and Golchin A. 2005. Investigation of contamination of Iranian agricultural soils with Cd and Pb. 10TH Iranian soil science congress, 1:543-545.
- 2- Abedi-Koupai J., Mollaei R., and Eslamian S. 2015. The effect of pumice on reduction of cadmium uptake by spinach irrigated with wastewater. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 15: 208-214.
- 3- Adrees M., Ali S., Iqbal M., Bharwana A., Siddiqi Z., Farid M., Ali Q., Saeed R., and Rizwan M. 2015. Mannitol alleviates chromium toxicity in wheat plants in relation to growth, yield, stimulation of anti-oxidative enzymes, oxidative stress and Cr uptake in sand and soil media. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122:1-8.
- 4- Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments; Biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. Springer-Verlag. New York.
- 5- Aebi H. 1984. Catalase in vitro. *Methods Enzymol*, 105:121-126.
- 6- Ahmad M., Hashimoto Y., Moon D.H., Lee S.S., and Ok Y.S. 2012. Immobilization of lead in a Korean military shooting range soil using eggshell waste: an integrated mechanistic approach. *Journal. Hazard. Mater*, 209-210:392-401.
- 7- Ahmad M., Lee S.S., Lim J.E., Lee S.E., Cho J.S., Moon D.H., Hashimoto Y., and Ok Y. 2014. Speciation and phytoavailability of lead and antimony in a small arms range soil amended with mussel shell, cow bone and biochar: EXAFS spectroscopy and chemical extractions. *Chemosphere*, 95:433-441.
- 8- Arienzo M., Adamo P., and Cozzolino V. 2003. The potential of *Lolium perenne* for revegetation of contaminated soil from a metallurgical site. *Science of the Total Environment*, 319:13-25.
- 9- Barzin M., Kheirabadi H., and Ephriunei M. 2015. Investigation of contamination of some heavy metals in surface soils of Hamedan province using pollution indices *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 72: 69-79.
- 10- Bharwana S.A., Ali A., Farooq M.A., Iqbal N., Hameed A., Abbas F., and Ahmad M.S. 2014. Glycine betaine-induced lead toxicity tolerance related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes suppressed lead uptake and oxidative stress in cotton. *Turkish Journal of Botany*, 38:281-292.

- 11- Bremener J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-area. Methods of soil analysis. Pt- 2. Chemical and microbiological properties. In: Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (Eds.), Agronomy Monograph 9. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- 12- Briat J.F. 2002. Metal ion activated oxidative stress and its control. In: Inze, D., Montagu, M. (Eds.), Oxidative Stress in Plants. Taylor and Francis, London.
- 13- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Methods of Soil Analysis. Part II. Black, C.A. (Ed). American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- 14- Chen M., and Ma L. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. Soil Science Society of America Journal, 65:499–510.
- 15- Chirakkara R.A., and Reddy K.R. 2015. Biomass and chemical amendments for enhanced phytoremediation of mixed contaminated soils. Ecological Engineering, 85:265–274.
- 16- Cui L., Pan G., Li L., Bian R., Liu X., Yan J., Quan G., Ding C., Chen T., Liu Y., Yin C., Wei C., Yang Y., and Hussain Q. 2016. Continuous immobilization of cadmium and lead in biochar amended contaminated paddy soil: A five-year field experiment. Ecological Engineering, 93:1–8.
- 17- Day, P.R. 1955. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A. (Ed), Method of soil analysis. Part I. Agronomy 9, Soil Science Society. America. Madison, WI.
- 18- Dilek Demirezen Y., and Parlak K.U. 2011. Changes in proline accumulation and antioxidative enzyme activities in *Groenlandia densa* under cadmium stress. Ecological Indicators, 11:417-423.
- 19- Fellet G., Marchiol L., Delle Vedove G., and Peressotti A. 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere, 83:1262–1267.
- 20- Garcia-Sanchez A., Alastuey A., and Querol X. 1999. Heavy metal adsorption by different minerals: Application to the remediation of polluted soils. Science of the Total Environment, 242:179-188.
- 21- Golchin A. 2003. Industrial activities and contamination of agricultural soils with heavy metals. 8TH Iranian soil science congress, 2:776-779.
- 22- Gu H.H., Zhan S.S., Wang S.Z., Tang Y.T., Chaney R.L., Fang X.H., Cai X.D., and Qiu R.L. 2012. Silicon-mediated amelioration of zinc toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Plant Soil, 350: 193–204.
- 23- Gupta P.K. 2000. Soil, Plant, Water and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India.
- 24- Hamzeh M. 2006. Geochemical and environmental markers in the urban area of Kerman. Thesis M.Sc. degree, Shahid Bahonar University of Kerman and the International Center for Advanced Technology and Science, pp 387.
- 25- Houben D., Evrard L., and Sonnet P.H. 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). Biomass & Bioenergy, 57:196- 204.
- 26- Jafari Haghighi M., 2003. Methods of soil analysis, sampling and analysis of important physiochemical properties with emphasis on theory and application principles. Nedaye Zoha Publication.
- 27- Jazayeri S.H., Hayati Ashtiani M., Ashrafizadeh S.N., Ghannadi Maragheh M., and Nozad Golikand A. 2010. Heavy Metal Removal from Synthetics Wastes by Natural and Acid-Activated Bentonites. Journal of Nuclear Science and Technology, 51:18-27. (in Persian with English abstract)
- 28- Judy Z., and Movahedi Naeini S.A.R. 2007. Effects of leca, zeolite and compost on soil moisture and evaporation. Journal Agriculture Science Natural Resource, 14 (2). (in Persian with English abstract)
- 29- Kabata-Pendias A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL.
- 30- Karhu K., Mattila T., Bergström I., and Regina K. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – results from a short-term pilot field study. Agriculture Ecosystem Environmental, 140 (1):309–313.
- 31- Keller C., Marchetti M., Rossi L., and Lugon-Moulin N. 2005. Reduction of cadmium availability to tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants using soil amendments in low cadmium contaminated agricultural soils: A pot experiment. Plant Soil, 276:69-84.
- 32- Kim H.S., Kim K.R., Kim H.J., Yoon J.H., Yang J.E., Ok Y.S., Owens G., and Kim K.H. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. Environmental Earth Science, 74:1249–1259.

- 33- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. P. 225-246. In: Methods of soil analysis (part II) Chemical and microbiological properties, Page et al. (Ed.). American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
- 34- Kosson D.S., Van der Sloot H.A., Sanchez F., and Garrabrants A.C. 2002. An integrated framework for evaluating leaching in waste management and utilization of secondary materials. *Environmental engineering science*, 19:159–204.
- 35- Lasat M.M. 2002. Phytoextraction of toxic metals – A review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 31:109–120.
- 36- Lim J.E., Ahmad M., Usman A.R.A., Lee S.S., Jeon W.T., Oh S.E., Yang J.E., and Ok Y.S. 2013. Effects of natural and calcined poultry waste on Cd, Pb and As mobility in contaminated soil. *Environmental Earth Science*, 69:11–20.
- 37- Lindsay W.L., and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn, and Cu. *Soil Science Society of American Journal*, 42:421-428.
- 38- Lindsay W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons Inc., USA.
- 39- Lone M.I., Zhen P.J., Stoffella E., and Yang X. 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9: 210-220.
- 40- Lu H., Zhang W., Yang Y., Huang X., Wang S., and Qiu R. 2012. Relative distribution of Pb²⁺ sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Water Research*, 46:854–862.
- 41- Lu K., Yang X., Shen J., Robinson B., Huang H., Liu D., Bolan N., Pei J., and Wang H. 2014. Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to *Sedum plumbizincicola*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191:124–132.
- 42- Malakootian M., Nouri J., and Hossaini H. 2009. Removal of heavy metals from paint industry's wastewater using Leca as an available adsorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6 (2):183-190.
- 43- Marschner H. 1997. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. University of Hohenheim, Germany.
- 44- Mc Lean E.O. 1982. Soil PH and lime requirement. P. 192-224. In: Methods of soil analysis (part II) Chemical and microbiological properties, Page et al. (Ed.). American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
- 45- McBride M.B. 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, Inc., New York.
- 46- McGrath D. 1996. Application of single and sequential extraction procedures to polluted and unpolluted soils. *The Science of the Total Environment*, 178:37-44.
- 47- Méndez A., Gómez A., Paz-Ferreiro J., and Gascó G. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*, 89:1354–1359.
- 48- Minami M., and Yoshikawa H. 1979. A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. *Clinica Chimica Acta*, 92:337–342.
- 49- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Science*, 7: 405–410.
- 50- Nakano Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiol*, 22:867–880.
- 51- Menzies N.W., Donn M.J., and Kopittke P.K. 2007. Evaluation of extractants for estimation of the phytoavailable trace metals in soils. *Environmental Pollution*, 145:121-130.
- 52- Ngo T., and Lenhoff M. 1980. A sensitive and versatile chromogenic assay for peroxidase and peroxidase-coupled reactions. *Analytical Biochemistry*, 105:389–397.
- 53- Ok Y.S., Lee S.S., Jeon W.T., Oh S.E., Usman A.R.A., and Moon D.H. 2011. Application of eggshell waste for the immobilization of cadmium and lead in a contaminated soil. *Environmental Geochemistry Health*, 33:31–39.
- 54- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorous. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. Part 2, second Eds, Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 55- Padmavathiamma P.K., and Li L.Y. 2010. Phytoavailability and fractionation of lead and manganese in a contaminated soil after application of three amendments. *Bioresource Technology*, 101:5667–5676.

- 56- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. 2nd ed. ASA. Madison, WI, USA.
- 57- Panuccio M.R., Sorgona A., Rizzo M., and Cacco G. 2009. Cadmium adsorption on vermiculite, zeolite and pumice: Batch experimental studies. *Journal Environmental Management*, 90:364-374.
- 58- Park J.H., Choppala G.K., Bolan N.S., Chung J.W., and Chuasavathi T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil*, 348:439-451.
- 59- Porra R.J., Thompson W.A., and Kriedemann P.E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimistry Biophys Acta*, 975:384-94.
- 60- Puga A.P., Melo L.C., Abreu C.A., Coscione A.R., and Paz-Ferreiro J. 2016. Leaching and fractionation of heavy metals in mining soils amended with biochar. *Soil & Tillage Research*, 164:25-33.
- 61- Quevauviller P.H., Lachicab M., Barahonab E., Rauretc G., Ured A., Gomeze A., and Muntauf H. 1996. Interlaboratory comparison of EDTA and DTPA procedures prior to certification of extractable trace elements in calcareous soil. *The Science of the Total Environment*, 178:127-132.
- 62- Razmjoo S. 1997. Manual of analysis of fruit and vegetable products. 9th. ed. Tata MC Grow Hill, New Delhi.
- 63- Sabir M., Ozturk M., Hakeem K., and Memurt A. 2015. Soil remediation and plants. Prospects and Challenges, P, 752.
- 64- Sabry M., Shaheen M., and Rinklebe J. 2015. Impact of emerging and low cost alternative amendments on the immobilization and phytoavailability of Cd and Pb in a contaminated floodplain soil. *Ecological Engineering*, 74:319-326.
- 65- Sajidu S.M.I., Persson I., Masamba W.R.L., and Henry E.M.T. 2008. Mechanisms of heavy metal sorption on alkaline clays from Tundulu in Malawi as determined by EXAFS. *Journal Hazard Material*, 158:401-409.
- 66- Schutzendubel A., Nikolova P., Rudolf C., and Polle A. 2002. Cadmium and H₂O₂ induced oxidative stress in *Populus canescens* roots. *Plant Physiol Biochemistry*, 40:577-584.
- 67- Sharma P., and Dubey R.S. 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 17(1): 35-5.
- 68- Siamardi S.J., Rezaei Kahkha M.R., Moghaddam A.S., and Noori R. 2014. Survey of Heavy Metals Concentration (Fe ,Ni ,Cu ,Zn ,Pb) in Farmland Soils of Sistan Central Part. *Journal of Environmental Health Engineering*, 1: 46-53.
- 69- Sidhu G.P.S., Singh H.P., Batish D.R., and Kohli R.K. 2016. Effect of lead on oxidative status, antioxidative response and metal accumulation in *Coronopus didymus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105:290-296.
- 70- Uchimiya M., Lima I.M., Klasson K.T., and Wartelle L.H. 2010. Contaminant immobi-lization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organicmatter. *Chemosphere*, 80 (8):935-940.
- 71- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination degtijarf method for determination for role organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.
- 72- Weis J.S., and Weis P. 2004. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environmental International*, 30:685-700.
- 73- Yang X.E., Long X.X., Calvert D.V., and Stofella P.J. 2004. Cadmium tolerance and hyper accumulation in a new Zn hyper accumulating plant species (*Sedium alfredii* Hance). *Plant Soil*, 259:181-189.
- 74- Yuan J.H., Xu R.K., and Zhang H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource Technology*, 102:3488-3497.
- 75- Zhang R.H., Li Z.G., Liu X.D., Wang B.C., Zhou G.L., Huang X.X., Lin C.F., and Wang A.H. 2017. Immobilization and bioavailability of heavy metals in greenhouse soils amended with rice straw-derived biochar. *Ecological Engineering*, 98:183-188.

- 76- Zhang X., Wang H., He L., Lu K., Sarmah A., Li J., Bolan N.S., Pei J., and Huang H. 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science Pollution Research*, 20:8472–8483.
- 77- Zheng R.L., Cai C., Liang J.H., Huang Q., Chen Z., Huang Y.Z., Arp H.P.H., and Sun G.X. 2012. The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb As in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Chemosphere*, 89:856–862.



Immobilization of Lead in a Calcareous Contaminated Soil Using Organic and Inorganic Amendments

S. Sefidgar shahkolaie^{1*} - M. Baranimotlagh² - F. Khormali³ - E. Dordipour⁴

Received: 02-10-2017

Accepted: 24-01-2018

Introduction: Soil pollution with heavy metals have become a global concern because of its damaging effects on the environment, including human health, toxicity in plants and long-term effects on soil fertility. Heavy metals stress in plants is characterized by decrease in photosynthesis, nutrient uptake, damaging of roots and finally plant death. Lead (Pb) is found to be the most dangerous heavy metal, responsible for reduced soil fertility and elevated environmental pollution. Lead toxicity causes the inhibition of seed germination and exerts adverse effects on growth and metabolic processes of plants, which retards plant and crop production. The overproduction of reactive oxygen species (ROS) is the best indicator for secondary stress, which results in a number of toxic effects on biochemical processes in many plant cells. The overproduction of ROS due to Pb stress brings about changes in cellular membrane permeability, which in turn damages organelles such as nuclei, mitochondria, and chloroplasts in plant cells which decreased plant growth and yield. Chemical stabilization is an in situ remediation method that uses inexpensive amendments to reduce contaminant availability in polluted soil. The aim of this study was to investigate the immobilization of lead in a calcareous contaminated soil using two types of biochar as organic and Pumice, Leca, Zeolite and Bentonite as inorganic amendments.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of organic amendments (biochar 640°C, and biochar 420°C) and inorganic amendments (Pumice, Leca, Zeolite and Bentonite) on Pb stabilization in a contaminated soil (1500 mg/kg), a greenhouse experiment using maize plant was carried out. This experiment was conducted in a completely randomized design consisting of 6 types of amendments (Pumice, Leca, Zeolite, Bentonite, Biochar 420°C, and Biochar 640°C) and at 1% and 5% levels of each amendment (12 amendments plus 1 control). The experimental treatments were incubated for 3 months. At the end of incubation time, the potential bioavailability of Pb in non-amended and amended soils was assessed by chemical extractions, as: extraction with DTPA, with ammonium acetate and with ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). After the end of incubation time, the pots were transferred to a greenhouse and in each pot five maize seeds were planted and then reduced to three seedlings in each pot after germination. After 3 months, all the plants were harvested. The Pb concentration in each plant, its biomass, its chlorophyll and its antioxidant enzyme activities levels were analyzed. All statistical analyses were performed using SAS software. Means of different treatments were compared using LSD ($P \leq 0.05$) test.

Results and Discussion: The results indicated that the addition of amendments to soils reduced the concentration of Pb extracted with DTPA and EDTA. The 5% biochar 640 had the greatest reduction effect on DTPA-extractable Pb. The smallest concentration of Pb in the leaves and root of maize plant was observed in treated soil with organic amendments (biochar 640°C, and biochar 420°C) and treated with 5% zeolite, respectively. The highest increase in plant growth parameters like SPAD value, leaf area, plant height, number of leaves per plant, dry biomass yield and dry matter of roots were observed in organic amendments compared to the control. The application of 5% amendments in soil caused a significant increase in plant height and number of leaves as compared to control. The increase in growth and biomass of *zea mays* L. under various amendments might be due to decreased bioavailable Pb concentrations in soil amended which may be attributed to reduced Pb toxicity through improvement of soil fertility. Also, the application of amendments resulted in a significant increase in antioxidant enzyme activities such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (PX), and ascorbate peroxidase (ASP) in maize plants compared to the control. The increase of leaves enzyme activities with addition amendments may be due to a lower Pb accumulation in leaves because excess Pb generates free radicals and reactive oxygen species (ROS) those causes oxidative stress in plants.

Conclusions: The results indicated that the application of amendments were successful in lowering the

1, 2, 3 and 4- PhD Student, Associate Professor, Professor and Associate Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan
(* - Corresponding Author Email: S.sefidgar16@gmail.com)

potential bioavailability of Pb in the soils. The 5% biochar 640 treatment had the greatest reduction effect on extractable Pb. The application of amendments decreased the uptake and accumulation of Pb in maize plants, via the reduction of DTPA- extractable Pb. The amendments also significantly increased leaves antioxidant enzyme activities and photosynthetic pigments compared to the control.

Keywords: Antioxidant enzyme activities, Bioavailability, Lead, Maize, Remediation



ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس

مجید بصیرت^{۱*} - حسن حقیقت نیا^۲ - سید مجید موسوی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

با استفاده از روش‌های تشخیص چندگانه^۴ و تجزیه آماری چند متغیره^۵ وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب فارس مطالعه شد. برای این منظور تعداد ۸۰ باغ پرتقال رقم والنسیا انتخاب و ۳۰ درخت از هر باغ انتخاب و نشانه‌گذاری شدند. در فصل مناسب با انجام نمونه‌برداری از درخت‌های انتخاب شده، غلظت عناصر در نمونه‌های گیاهی تعیین و در فصل برداشت، میانگین عملکرد هر باغ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ۱۱ باغ جزء گروه عملکرد زیاد و ۶۹ باغ دارای عملکرد کم بودند و میانگین عملکردهای مطلوب، ۱۱۳ کیلوگرم بر درخت، به عنوان عملکرد هدف تعیین شد. از میانگین اعداد بدست آمده عناصر غذایی برای جامعه‌ی با عملکرد بالا، غلظت‌های مطلوب ۱۰ عنصر مورد بررسی به دست آمد که شامل نیتروژن $18 \pm 3/0$ درصد، فسفر $0/17 \pm 0/0$ درصد، پتاسیم $12 \pm 1/37$ درصد، کلسیم $78 \pm 3/32$ درصد، منیزیم $0/36 \pm 0/0$ درصد، منگنز $35 \pm 3/35$ میلی گرم در کیلوگرم، روی $3/2 \pm 17/3$ میلی گرم در کیلوگرم، آهن $3/7 \pm 75$ میلی گرم در کیلوگرم، مس $44/1 \pm 7/81$ میلی گرم در کیلوگرم و بور $4/19 \pm 76$ میلی گرم در کیلوگرم بود. با مقایسه با اعداد مرجع به دست آمده برای باغات با عملکرد مطلوب، بیش از ۵۰ درصد باغات مورد ارزیابی مقادیر نیتروژن، کلسیم و منگنز آنها کمتر از عدد مرجع به دست آمده بود و غلظت بور در گروه باغات با عملکرد بالا بیش از ۵۰ درصد کمتر از باغات با عملکرد پایین بود که نشان‌دهنده محدودیت این عنصر در گیاه برای عملکرد است. همچنین، نتایج تجزیه آماری چندمتغیره و تجزیه به مولفه‌های اصلی^۶ نشان داد که عناصر نیتروژن، کلسیم، آهن و روی به ترتیب بیشترین اثر را بر تغییرات عملکرد داشتند.

واژه‌های کلیدی: اعداد مرجع، پرتقال، تشخیص چندگانه، عناصر غذایی

مقدمه

با تجزیه خاک سطحی از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. اما از آنجایی که نبود اعداد مرجع، که بتوان با استفاده از آن نتایج تجزیه برگ را با لحاظ مجموعه‌ی بیشتری از عوامل مهم تأثیرگذار برهم، تفسیر نمود، تحت شرایط آگرواکولوژیکی مناطق مختلف از محدودیت‌های مهم محسوب می‌شود لذا به منظور تشخیص نیازهای غذایی محصولات باغی، ضرورت ایجاب می‌کند که در گام نخست اقدام به برآورد اعداد مرجع نمود. از محدودیت‌های اعداد مرجع این است که معمولاً این اعداد عمومی بوده و دامنه بزرگی دارند که این موضوع چالشی مهم در تفسیر نتایج و تصمیم‌گیری می‌باشد. به علاوه، نیاز به برآورد اعداد مرجع منطقه‌ای به دلیل برهم‌کنش‌های اتفاق افتاده میان عناصر و ترکیبات شیمیایی خاک و نیز تفاوت عملکرد درختان و روش مدیریتی رایج در هر منطقه، ضرورت دارد (۸). در این شرایط است که می‌توان اطمینان حاصل کرد که پاسخ‌های گیاهی دقیق‌تر بررسی شده و ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نیز کارایی بهتری خواهد داشت. از طرفی همچنین، شرایط و عوامل متعددی میانگین غلظت عناصر در برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد که مهمترین آنها عبارتند از: مدیریت اعمال شده، نوع رقم، مرحله رشد، روش و

تعیین و مطالعه‌ی وضعیت گیاه بویژه در درختان میوه، معمولاً بر اساس نتایج آزمون گیاه و توجه به این اصل که مقدار یک عنصر معین در گیاه معیاری از فراهمی آن عنصر از طریق خاک است، انجام می‌پذیرد (۲۷) چرا که بر اساس گزارش اسمیت و همکاران (۲۵)، استفاده از نتایج تجزیه گیاه برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای، در مقایسه

۱- استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

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

۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

۳- دانش‌آموخته دکترا، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.67597

4 - Compositional Nutrients Diagnosis (CND)

5 - Multivariate Statistical Analysis

6 - Principal Component Analysis (PCA)

تجزیه چند متغیره می‌توان درک صحیحی از وضعیت تغذیه‌ای در یک منطقه پیدا کرد و با استفاده از داده‌ها می‌توان نه تنها محدودیت‌های ناشی از کمبود یا بیش بود عناصر غذایی را شناسایی کرد بلکه می‌توان تفسیر دقیق‌تری از وضعیت موجود ارائه داد تا روش‌های اصلاحی کاراتری را بکارگرفت. بنابراین، هدف از این مطالعه تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب فارس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، تعداد ۸۰ باغ پرتقال رقم والنسیا که از لحاظ عملکردی باهم تفاوت داشتند، در جنوب ایران (منطقه‌ی داراب در استان فارس) انتخاب گردید. در هر باغ ۳۰ درخت با سن و رقم یکسان علامت‌گذاری و در زمان نمونه‌برداری برگ در اواسط تیرماه از شاخه‌های ۴ ماهه رشد سال جاری که بدون بار بودند، نمونه‌برداری برگ انجام شد. به این صورت که از هر ۳۰ درخت انتخاب شده در هر باغ یک نمونه‌ی مرکب برگ از محل شاخه‌های بدون بار از جهات مختلف تهیه و برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی، آماده‌سازی (شامل شستشو با آب مقطر، خشک شدن در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در آون و سپس آسیاب شدن) نمونه‌ها انجام گرفت. با استفاده از روش‌های استاندارد تجزیه‌های آزمایشگاهی نیتروژن کل (۱۵)، فسفر (۱۸)، پتاسیم (۱۰) اندازه‌گیری شدند. عناصر روی، منگنز، آهن و مس پس از تهیه خاکستر از نمونه در کوره با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال هضم و عصاره توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکینز قرائت گردید (۱). عنصر بور به روش آزمونین-اچ با دستگاه اسپکتروفتومتری مورد سنجش قرار گرفت (۹). در زمان برداشت میزان عملکرد میوه‌ی هر باغ بر اساس متوسط عملکرد کل هر درخت که از آن نمونه‌ی مرکب برگ تهیه شده بود، تعیین گردید.

روش تشخیص چندانگان اولین بار توسط پرنس و دافیر (۱۹) ارائه شد. در این روش کل غلظت عناصر غذایی در گیاه به عنوان یک متغیر (S_d) به علاوه‌ی یک بخش باقیمانده (R_d) در نظر گرفته می‌شود که در آن d نماینده‌ی تعداد عناصر غذایی در معادله و R_d بیانگر مقدار باقیمانده است (۸). مجموع معادله برابر ۱۰۰ و بر حسب درصد بیان می‌گردد. R_d سایر عناصر غذایی باقیمانده و اندازه‌گیری نشده است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۲).

$$S_d = [(N, P, K, \dots, R_d): N > 0, P > 0, K > 0, \dots, R_d > 0 \quad N + P + K + \dots + 100 \quad (1)$$

$$R_d = 100 - (N + P + K + \dots) \quad (2)$$

میانگین هندسی عناصر غذایی با رابطه ۳ نشان داده می‌شود:

$$G = [N, P, K, \dots, R_d]_{d+1}^{\frac{1}{d+1}} \quad (3)$$

نسبت لگاریتم طبیعی عناصر از طریق روابط ذیل محاسبه

پراکنش نمونه‌های گرفته شده، روش‌های استاندارد تجزیه نمونه، مقادیر استاندارد عناصر و تفسیر نتایج به‌دست آمده (۱۱ و ۱۶). به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان از روش‌های مختلف تفسیر نتایج تجزیه گیاه مانند غلظت بحرانی^۱، دامنه کفایت^۲، سیستم تلفیقی تشخیص و توصیه^۳، انحراف از حد بهینه^۴ و تشخیص چندانگان به بهره‌جسته می‌شود (۱۹ و ۲۰) که هر کدام محدودیت‌ها و مزایای مختص به خود را دارند. برای مثال، در مناطقی نظیر کشور ایران که مصرف کود در آن نامتعادل است روش سیستم تلفیقی تشخیص و توصیه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (۸ و ۲۶). در این روش شاخص هر عنصر غذایی میانگینی از نسبت‌های دو عنصری‌اند ولی در سامانه‌ی تشخیص چندانگان وضعیت هر عنصر غذایی نسبت به میانگین هندسی کلیه عناصر محاسبه و اثرات متقابل یک عنصر نسبت به تمامی عناصر سنجیده می‌شود (۱۳ و ۲۹). مهمترین محدودیت روش‌های تشخیص وضعیت تغذیه‌ای نبود اعداد مرجع می‌باشد. در روش تشخیص چندانگان به داده‌ی کمتری نسبت به روش‌های دیگر نیاز است پس تعداد نمونه‌برداری در منطقه‌ی مورد مطالعه تا حد امکان کاهش می‌یابد (۸) در این روش همچنین، عوامل محدودکننده بر حسب عملکرد واقعی گروه‌بندی می‌شود نه بر اساس عملکرد قابل پیش‌بینی و بنابراین سهم عنصر محدودکننده به تفکیک در عملکرد مشخص می‌گردد. همچنین، در این روش تفکیک گروه‌های عملکردی مطلوب با دقت زیاد صورت می‌پذیرد. در روش تشخیص چندانگان یک ضریب تبیین بین غلظت عنصر و عملکرد بدست می‌آید که بیانگر برتری نسبی این روش نسبت به روش‌های دیگر است (۸). با استفاده از این روش، چاکرال‌حسینی و همکاران (۶) دامنه‌ی غلظت مطلوب عناصر برای برخی از باغات پرتقال در منطقه‌ی گرمسیر و نیمه گرمسیر (استان کهگیلویه و بویراحمد)، به منظور حصول عملکرد مطلوب را برای نیتروژن $2/38 \pm 0/329$ درصد، فسفر $0/17 \pm 0/235$ درصد، پتاسیم $1/73 \pm 0/173$ درصد، کلسیم $3/02 \pm 0/415$ درصد، منیزیم $0/27 \pm 0/04$ درصد، منگنز $11/44 \pm 38/21$ میلی‌گرم در کیلوگرم، روی $2/52 \pm 16/38$ میلی‌گرم در کیلوگرم، آهن $31/57 \pm 77/7$ میلی‌گرم در کیلوگرم، مس $7/63 \pm 1/04$ میلی‌گرم در کیلوگرم و بور $29/24 \pm 98/54$ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کردند. به کارگیری روش تشخیص چندانگان عناصر غذایی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای محصولات دیگر نظیر ذرت (۱۲)، چغندر قند (۸ و ۷)، انگور (۵) و پسته (۴) نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور کلی، با استفاده از روش‌های

1- CVA: Critical Value Approach

2- SRA: Sufficiency Range Approach

3- DRIS: Diagnosis and Recommendation Integrated System

4- DOP: Deviation from optimum percentage

می‌شود:

$$Z_i = \log[x_i / g(x)] \quad (۴)$$

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), \quad V_P = \ln\left(\frac{P}{G}\right), \quad V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), \dots, V_{Rd} = \ln\left(\frac{R_d}{G}\right) \quad (۵)$$

$$V_N + V_P + V_K + \dots + V_{Rd} = 0 \quad (۶)$$

در روابط فوق، V_N بیانگر نسبت لگاریتم طبیعی برای نیتروژن نسبت به کل عناصر می‌باشد و برای سایر عناصر نیز بطور مشابه محاسبه می‌گردد. رابطه‌ی ۶، درستی محاسبات را تأیید می‌کند. براساس این تعریف، مجموع ترکیبات گیاهی بر مبنای عدد ۱۰۰ است و مجموع نسبت لگاریتم طبیعی عناصر با احتساب مقدار لگاریتم طبیعی باقیمانده ترکیبات (R_d) برابر صفر خواهد بود. V_X برای عناصری مانند $N, P, K, \dots$ و R_d شکل بیانی از وضعیت و نسبت عناصر غذائی در گیاه بوده که مقدار آن در جامعه‌ی با عملکرد بالا بیانگر غلظت مطلوب برای تأمین عملکرد بالا می‌باشد و به عنوان اعداد مرجع در این روش محسوب می‌گردند. این پارامتر برای عناصر مختلف معمولاً با $V_N^*, V_P^*, V_K^*, V_{Rd}^*$ نشان داده می‌شود. در نتیجه اگر غلظت هر عنصر غذائی گیاه مورد مطالعه را با غلظت ایده‌آل یا همان اعداد روش تشخیص چندانگانه، استاندارد شود شاخص عناصر غذائی روش تشخیص چندانگانه یا (I_N) بدست خواهد آمد که برای عناصر $N, P, K, \dots$ و R_d به شرح ذیل محاسبه می‌شوند.

$$I_N = \frac{V_N - V_N^*}{SD_N^*} \quad (۷)$$

در این روابط $SD_N^*, SD_P^*, SD_K^*, V_{Rd}^*, V_K^*, V_P^*, V_N^*$ در این روابط SD_{Rd}^* به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتم طبیعی عناصر غذائی هستند که به عنوان اعداد مرجع CND محسوب می‌شوند. V_N, V_P, V_K و V_{Rd} نسبت لگاریتمی مربوط به نمونه‌ی مطالعاتی می‌باشند. I_N, I_P, I_K و I_{Rd} به ترتیب شاخص عناصر غذائی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر باقیمانده هستند. سپس غلظت یک عنصر نسبت به میانگین هندسی کل عناصر و ترکیبات با استفاده از رابطه‌ی $I_{zi} = (Z_i - z_i) / S_{zi}$ محاسبه می‌گردد (۱۹). شاخص تعادل عناصر غذائی با این روش از طریق رابطه ۸ قابل محاسبه است. که در این معادله r^2 مجموع مربعات شاخص‌های عناصر غذائی بوده و همیشه می‌تواند اعداد صفر و بیشتر را به خود اختصاص دهد. از نظر تئوری هر اندازه r^2 به عدد صفر نزدیک‌تر شود عناصر غذائی در شرایط متعادل‌تری خواهند بود.

$$r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + \dots + I_{Rd}^2 \quad (۸)$$

بنابراین برای هر نمونه‌ی مشخص گیاهی می‌توان وضعیت عناصر غذائی را بررسی کرد. با توجه به اینکه شاخص‌های عناصر غذائی، متغیری مستقل و نرمال^۱ هستند بنابراین مجموع این

شاخص‌ها یعنی r^2 از یک توزیع مربع کای با درجه آزادی $d+1$ تبعیت می‌کند (۲۲). برای تمایز جامعه‌ی عملکرد به دو گروه مطلوب و نامطلوب می‌توان بر اساس ترسیم تابع تجمعی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذائی اقدام نمود. ابتدا تابع عملکرد-عناصر غذائی را ترسیم نموده و برای تعیین نقاط عطف منحنی^۲ می‌توان گروه‌های عملکردی را با دقت از مشتق یک تابع درجه ۳ تفکیک نمود (۱۴). سپس برآورد عملکرد حد واسط براساس روش توابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عناصر شرکت داده شده در معادله مورد محاسبه قرار گرفت. در گام بعدی میانگین اعداد در جامعه‌ی با عملکرد بالا بعنوان اعداد مرجع عناصر غذائی قرار می‌گیرند که در واقع عملکرد حدواسط در نقطه‌ی عطف منحنی تابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی طبیعی عنصر غذائی مربوطه می‌باشد. علاوه بر روش تشخیص چندانگانه، در این مطالعه همچنین با استفاده از رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام و روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی عناصر مهم تأثیرگذار بر عملکرد تعیین و قابلیت روش تشخیص چندانگانه عناصر غذائی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تجزیه واریانس داده‌ها نیز از نرم افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

معادلات ریاضی مدل تشخیص چندانگانه‌ی عناصر غذائی در محیط نرم‌افزار اکسل وارد گردید و با وارد کردن داده‌های عناصر غذائی ۸۰ باغ مورد مطالعه، شاخص‌های عناصر غذائی به روش گام به گام تعیین شد (۵، ۱۲، ۱۳ و ۱۴).

برای تعیین عملکرد حدواسط و تمایز گروه‌های عملکردی کم و زیاد ارتباط بین عملکرد درختان و مقادیر تجمعی نسبت واریانس هر عنصر غذائی یعنی $F_i^c(V_N), F_i^c(V_P), F_i^c(V_K), F_i^c(V_{Ca}), F_i^c(V_{Cu}), F_i^c(V_{Fe}), F_i^c(V_{Zn}), F_i^c(V_{Mn}), F_i^c(V_{Mg})$ و $F_i^c(V_B)$ محاسبه و ترسیم گردید که بصورت ۱۱ معادله درجه ۳ برای ۱۰ عنصر و یک قسمت باقیمانده (R_d) برازش داده شد (جدول ۱). نقاط عطف منحنی‌ها برای ۱۰ عنصر غذائی و ترکیبات باقیمانده برای رقم پرتقال مورد مطالعه (والنسیا) بر حسب کیلوگرم در درخت به ترتیب به صورت زیر محاسبه شدند:

$$F_i^c(V_P) = 100/0.2, F_i^c(V_N) = 82/33$$

$$F_i^c(V_{Mg}) = 144/0.1, F_i^c(V_{Ca}) = 110/66, F_i^c(V_K) = 134/16$$

$$F_i^c(V_{Fe}) = 124/86, F_i^c(V_{Zn}) = 126/00, F_i^c(V_{Mn}) = 130/00$$

$$F_i^c(R_d) = 98/14, F_i^c(V_B) = 108/88, F_i^c(V_{Cu}) = 110/00$$

درجه ۳ (R^2) برای کلیه عناصر معنی‌دار بود. عملکرد میوه به مقدار

کیلوگرم در درخت برای رقم والنسیا که معادل حدود ۴۵ تن در هکتار می‌باشد، مقدارهای V_{Cu}^* , V_{Fe}^* , V_{Zn}^* , V_{Mn}^* , V_K^* , V_P^* , V_N^* به عنوان اعداد مرجع معرفی گردید (جدول ۲). بر این اساس، غلظت‌های بهینه‌ی عناصر مذکور نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

۱۱۳ کیلوگرم در درخت بعنوان عملکرد حدواسط برای تفکیک دو گروه عملکرد کم و زیاد محاسبه گردید. در نتیجه از مجموع ۸۰ باغ مورد مطالعه تعداد ۱۱ باغ در گروه عملکرد بالا و ۶۹ باغ در گروه عملکرد پایین قرار گرفتند. با توجه به اینکه غلظت عناصر در جامعه‌ی عملکرد بالا بعنوان اعداد مرجع و حد بهینه‌ی عناصر غذایی قرار می‌گیرند (۲۱)، در نتیجه با در نظر گرفتن عملکرد حد واسط ۱۱۳

جدول ۱- برآورد عملکرد حد واسط با روش توابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عناصر غذایی

Table 1- Estimation of the intermediate yield through the variance cumulative functions of nutrients logarithmic ratio

Nutrients عناصر غذایی	R ²	$F_i^c(V_x) = aY^3 + bY^2 + cY + d$	Determined yield(kg tree ⁻¹) عملکرد تعیین شده
N	0.984	$y = -0.000x^3 + 0.049x^2 - 4.529x + 134.7$	82.33
P	0.989	$y = 2E-05x^3 + 0.006x^2 - 1.953x + 120.0$	100.01
K	0.982	$y = -4E-05x^3 + 0.016x^2 - 2.180x + 99.77$	134.16
Ca	0.975	$y = -0.000x^3 + 0.033x^2 - 3.359x + 120.1$	110.66
Mg	0.990	$y = -5E-05x^3 + 0.021x^2 - 2.988x + 136.8$	144.01
Mn	0.953	$y = -4E-05x^3 + 0.015x^2 - 1.935x + 86.10$	130.00
Zn	0.985	$y = -5E-05x^3 + 0.018x^2 - 2.446x + 114.7$	126.00
Fe	0.987	$y = -8E-05x^3 + 0.029x^2 - 3.481x + 134.7$	124.16
Cu	0.983	$y = -8E-05x^3 + 0.026x^2 - 3.113x + 132.7$	110.00
B	0.982	$y = -3E-05x^3 + 0.009x^2 - 1.180x + 52$	108.88
قسمت باقیمانده Residual fraction	0.955	$y = -9E-05x^3 + 0.026x^2 - 2.745x + 103.0$	98.14

کاهش می‌یابد و در مابین این بازه، تعادل تغذیه‌ای افزایش می‌یابد. عبارت دیگر، ممکن است هم در گروه عملکردهای بالا و هم در گروه عملکرد پایین با عدم تعادل تغذیه‌ای در درختان مواجه باشیم. و این مسئله یکی از چالش‌های تغذیه‌ای گیاه است. چرا که در باغات با عملکرد بالا به دلیل مصرف کود بیش از حد، اثرات متقابل عناصر غذایی به شکل منفی مطرح می‌باشد.

ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال منطقه‌ی مورد مطالعه

در این مطالعه با استفاده از غلظت مطلوب به‌دست آمده برای عناصر غذایی (جدول ۲) عنصر نیتروژن در مرتبه‌ی اول سپس کلسیم در مرتبه‌ی دوم از نظر درصد فراوانی کمبود در باغات قرار داشتند. از مقایسه میانگین غلظت‌های گروه‌های عملکردی پایین و بالا مشاهده می‌شود که در باغات مورد مطالعه بیش‌بود بور مهمترین عامل متمایزکننده‌ی گروه‌های عملکرد بالا و پایین است و اختلاف میانگین غلظت بور در گروه عملکرد پایین حدود ۲ برابر گروه عملکرد بالاست (جدول ۴) بر اساس این بررسی حدود ۶۲ درصد از باغات، میزان غلظت بور آنها بیشتر از شاخص مطلوب به‌دست آمده (۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) بود.

ارتباط شاخص تعادل عناصر غذایی (I²) با عملکرد پرتقال

در این روش مشابه با روش دریس، شاخص تعادل تغذیه‌ای از جمع قدر مطلق کلیه عناصر غذایی (IK, IP, IN, ...) به‌دست می‌آید که رابطه‌ی معکوسی با میزان عملکرد دارد (۸ و ۱۴). مقدار بحرانی به روش آماری کیت-نلسون (۱۶) محاسبه و مقدار آن حدود ۱۱۳ کیلوگرم بر درخت بدست آمد. تحلیل این نتایج نشان می‌دهد برای عملکردهای ۱۱۳ کیلوگرم به بالا مقدار I² از ۳۵ به طرف صفر میل می‌کند. دامنه‌های بحرانی ارائه شده در این جدول را می‌توان به عنوان یک «دامنه‌ی کفایت» برای شاخص‌های عناصر غذایی در نظر گرفت که اعداد خارج از این دامنه بیانگر وضعیت بحرانی و داخل دامنه نشانه‌ی وضعیت خوب و بسنده است. مثلاً شاخص بحرانی ۲/۹۱ برای فسفر در دامنه‌ی ۳/۸۰+ تا ۳/۸۰- قرار می‌گیرد که بیانگر وضعیت عادی این عنصر برای پرتقال است در حالی که، در روش دریس منفی بودن یک شاخص بیانگر کمبود آن عنصر برآورد می‌شود (۲۹). بطورکلی، بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۳ مشاهده می‌شود که شاخص I² برای عناصر مورد مطالعه در دامنه‌ی پایین و بالای بحرانی بدست آمده که نشان می‌دهد تعادل غذایی برای این عناصر در باغات وجود دارد (۱۹). شکل (۱) نشان دهنده‌ی رابطه‌ی عملکرد در دو گروه عملکرد بالا و پایین با شاخص تعادل عناصر غذایی است و نشان می‌دهد تقریباً در باغات با عملکرد بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در درخت و کمتر از ۵۰ کیلوگرم در درخت تعادل عناصر

جدول ۲- اعداد مرجع برای عناصر غذایی مربوط به میانگین عملکردهای مطلوب باغات مورد مطالعه به روش تشخیص چندگانه

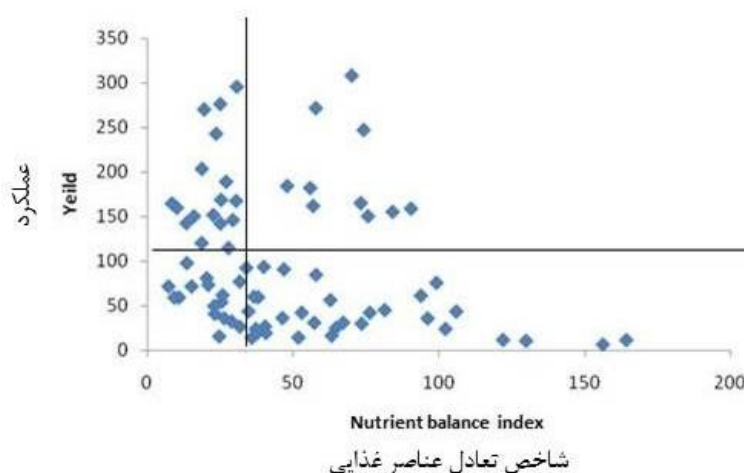
Table 2- The reference norms for the nutrients related to the average of optimum yields of the studied orchards by using the CND method

عنصر غذایی Nutrient	انحراف معیار Standard deviation	میانگین عملکردهای مطلوب Average of optimum yields	میانگین عملکردهای پایین Average of low yields	اعداد مرجع تشخیص چندگانه Reference norms of compositional diagnosis	انحراف معیار Standard deviation	متوسط اعداد مرجع Average of V_x norms
N	0.186	3.00	2.28	V_N^*	0.142	3.47
P	0.018	0.17	0.17	V_P^*	0.153	0.59
K	0.122	1.37	1.47	V_K^*	0.118	2.69
Ca	0.788	3.32	3.11	V_{Ca}^*	0.187	3.55
Mg	0.076	0.36	0.42	V_{Mg}^*	0.133	1.34
Mn	3.352	23.40	23	V_{Mn}^*	0.547	-0.275
Zn	2.305	17.36	23	V_{Zn}^*	0.162	-3.687
Fe	7.734	75.53	89	V_{Fe}^*	0.138	-3.983
Cu	1.440	7.81	9.2	V_{Cu}^*	0.156	-4.788
B	19.60	76.24	131	V_B^*	0.377	-2.52
	0.186			V_{Rd}^*	0.100	6.89

جدول ۳- شاخص عناصر غذایی و دامنه‌ی کفایت و بحرانی برای ۱۰ عنصر غذایی در باغات مورد مطالعه

Table 3- Nutrients index and the range of sufficiency and critical for the 10 elements in the studied orchards

شاخص عناصر غذایی Nutrients index	حد بالای بحرانی The upper critical level	حد پایین بحرانی The lower critical level	شاخص عناصر غذایی Nutrients index I^2_x	عملکرد بحرانی Critical yield ¹ Kg tree ⁻¹
I^2_N	10.38	-10.38	9.32	82.3
I^2_P	3.80	-3.80	2.91	100.0
I^2_K	13.03	-13.03	10.55	134.1
I^2_{Ca}	1.46	-1.46	1.19	110.6
I^2_{Mg}	3.05	-3.05	1.52	144.0
I^2_{Mn}	2.29	-2.29	1.44	130.0
I^2_{Zn}	8.91	-8.91	4.92	126.0
I^2_{Fe}	77.50	-77.50	60.35	124.1
I^2_{Cu}	5.32	-5.32	1.85	110.8
I^2_B	0.73	-0.73	0.26	108.8
I^2_{Rd}	1.50	-1.50	1.28	



شکل ۱- رابطه بین عملکرد (کیلوگرم بر درخت) و شاخص تعادل عناصر غذایی (r^2) برای پرتقال رقم والنسیا

Figure 1- the relationship between yield (Kg tree⁻¹) and nutrient balance index (r^2) for the Valencia orange

این نتایج با دیگر گزارش‌ها در ارتباط با بیش بود بور در منطقه مطابقت دارد (۶). در حالی که اعداد مرجع بر اساس نتایج روش تشخیص چندگانه در بازه‌ی کوچکتری ارائه گردیده است و دقت بیشتری برای تفسیر نتایج دارد (جدول ۳). روزان و همکاران (۲۳) در برزیل برای عملکرد بیش از ۹۲ کیلوگرم به ازای هر درخت برای ۴ رقم پرتقال اعداد مرجعی از غلظت عناصر غذایی را در گیاه به دست آوردند. این اعداد مرجع در برخی عناصر تقریباً مشابه و برای برخی عناصر کمی متفاوت بودند. به طور مثال برای رقم هاملین^۱ غلظت بدست آمده برای نیتروژن ۲/۸۶، فسفر ۰/۲، پتاسیم ۱/۶۳، کلسیم ۳/۴۷، منیزیم ۰/۴۷ درصد و برای بور ۹۵، مس ۳۱، روی ۳۲، منگنز ۵۲ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک بود در حالی که برای رقم والنسیا این ارقام برای نیتروژن ۲/۷۹، فسفر ۲/۰، پتاسیم ۱/۴۸، کلسیم ۳/۸۴، منیزیم ۰/۵۲ درصد و برای بور ۱۰۷، مس ۶۷، روی ۵۱، منگنز ۹۵ و آهن ۲۲۸ میلی گرم در کیلوگرم بود. آنها اظهار داشتند مقادیر عناصر کم مصرف به دلیل مصرف سموم قارچکش بالا بوده است. در این تحقیق نیز میزان غلظت مطلوب پتاسیم برای رقم والنسیا کمتر از ارقام دیگر بود.

کمبود نیتروژن در ۶۸ درصد باغات مطالعه شده، کمبود کلسیم در ۵۲ درصد و کمبود منگنز در ۳۹ درصد باغات به ترتیب دارای بیشترین فراوانی کمبود در بین عناصر بودند. برای مقایسه از مقادیر غلظت عناصر حاصل از اعداد مرجع غلظت مطلوب در جدول ۲ استفاده شد. این نتایج با یافته‌های صمدی و مجیدی (۲۴) مشابهت داشته است. آنها خاطر نشان کردند که مصرف زیاد کودهای پتاسیمی و بالا بودن پتاسیم در اراضی تحت کشت انگور موجب به هم خوردن تعادل کلسیم و منیزیم در گیاه شده به طوری که کلسیم منفی ترین شاخص دریس را نشان داد. همچنین در باغات انگور این مناطق بالا بودن فسفر موجب کاهش غلظت عناصر ریزمغذی شده است (۲۴). نتایج چاکرال‌حسینی و همکاران (۶) در باغات پرتقال رقم والنسیا در خاک‌های به شدت آهکی جنوب ایران نشان داد که همه‌ی باغات با عملکرد پایین دچار نامتعادلی در تغذیه بوده و کمبود کلسیم شایع می‌باشد. بر اساس تحقیقات چاکرال‌حسینی و همکاران (۶) بر روی باغات پرتقال در جنوب غرب ایران به روش CND دامنه‌ی کیفیت غلظت عناصر غذایی برگ پرتقال رقم والنسیا برای عملکرد ۱۵ تن در هکتار نشان داد که نیتروژن $2/38 \pm 0/32$ درصد، فسفر $0/17 \pm 0/03$ درصد، پتاسیم $1/73 \pm 0/23$ درصد، کلسیم $3/02 \pm 0/41$ درصد، منیزیم $0/27 \pm 0/04$ درصد، منگنز $38/21 \pm 11$ میلی گرم در کیلوگرم، روی $16/3 \pm 3/52$ میلی گرم در کیلوگرم، آهن $77/7 \pm 31$ میلی گرم در کیلوگرم، مس $7/63 \pm 1/04$ میلی گرم در کیلوگرم، بور

98 ± 29 میلی گرم در کیلوگرم، برای پرتقال والنسیا در منطقه جنوب غرب (باشت، گچساران و چرام) کشور بدست آمد. با توجه به پایین بودن غلظت منیزیم، منگنز و روی و گستره‌ی کمبود این عناصر شاید دلیل پایین بودن عملکرد باغات در منطقه جنوب غربی باشد.

در این آزمایش عدد مرجع بور برای پرتقال والنسیا ۷۶ میلی گرم در کیلوگرم ماده‌ی خشک بدست آمده است. اما مقایسه میانگین غلظت دو گروه عملکرد بالا و پایین در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که اختلاف میانگین غلظت عناصر در دو گروه عملکرد بالا و پایین در رقم والنسیا در بور می‌باشد (جدول ۴). مقادیر متوسط غلظت منگنز در هر دو گروه برای رقم والنسیا مشابه می‌باشد اما این مقدار بسیار کمتر از مقادیر ارجاع شده در منابع مختلف برای غلظت مناسب منگنز برای پرتقال رقم والنسیا است (۱۹). اما به نظر می‌رسد منگنز تأثیر چندانی در کاهش عملکرد نداشته است. به نظر می‌رسد با توجه به شدت و فراوانی بیش بود غلظت بور در گیاه، بور عامل مهمتری نسبت به سایر عناصر در کاهش میانگین عملکرد باغات منطقه باشد. با توجه به این که ۶۸ درصد باغات با عملکرد پایین و ۵۲ درصد باغات دارای عملکرد پایین به ترتیب نیتروژن و کلسیم کافی نداشتند و با توجه به اثری که نیتروژن و کلسیم در کاهش اثر سمیت بور در گیاه به دلیل ایجاد رقت سلولی و نقش کلسیم در متابولیسم بور دارد (۲۸)، بتوان توضیح داد علی‌رغم سطح قابل توجه غلظت نیتروژن و کلسیم در گیاه (جدول ۲ و ۴) غلظت‌های بالاتری از این عناصر در گیاه مورد نیاز می‌باشد. این نتایج همچنین بعداً با روابط آماری - ریاضی دیگر نیز مورد تأیید قرار گرفت (معادله ۹).

ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای به روش تجزیه به عامل‌ها

روش تجزیه علیت و تجزیه به مولفه‌های اصلی روش مناسبی برای تشریح علت تغییرات یک عامل در یک سیستم می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعه‌ی رگرسیونی فاکتورهای مورد مطالعه در حقیقت با جداسازی و تفکیک نقش سایر عوامل اثرگذار بویژه رابطه‌ی میان عناصر، اثر مستقیم عنصر مورد نظر بر متغیر تابع (در اینجا عملکرد) را ارائه می‌کند. بطور کلی، در روش تجزیه چند متغیره تجزیه به مولفه اصلی و فرعی می‌توان نشان داد که کدام عنصر در مقابل کدام عنصر قرار گرفته است و دارای اثرات متقابل مثبت و یا منفی بر یکدیگر است. در این مطالعه با استفاده از رگرسیون چند متغیره گام به گام، میانگین عملکرد به عنوان متغیر تابع و غلظت عناصر به عنوان متغیر مستقل، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد که نیتروژن و کلسیم بیشترین اثر مثبت و آهن و روی بیشترین اثر منفی را بر عملکرد داشتند و به عنوان موثرترین عناصر تغذیه‌ای بر تغییرات عملکرد از بقیه‌ی عناصر تفکیک شدند (جدول ۶) که این نتیجه به

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی در دو گروه عملکرد بالا و پایین

Table 4- mean comparison of nutrients concentration in high yielding and low yielding groups

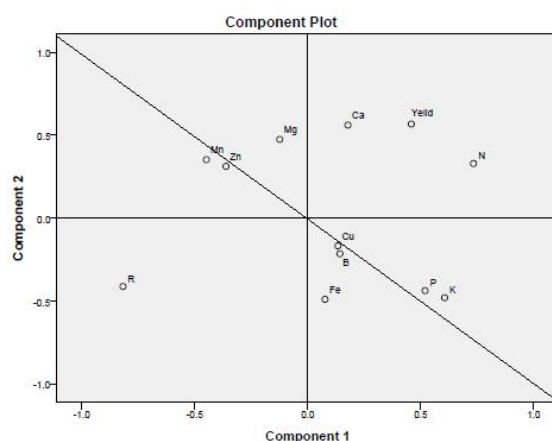
عملکرد متوسط Average yield		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Kg tree ⁻¹		%					mg kg ⁻¹				
Valencia orange	High=113	3.00	0.17	1.37	3.32	0.36	75	23	17	7.8	76
پرتقال والنسیا	Low=43	2.28	0.17	1.47	3.10	0.40	89	23	23	9.2	131

موقعیت مولفه‌ی عناصر در نمودار نشان می‌دهد که هر چه مولفه‌ی عنصر به عملکرد نزدیک‌تر باشد تأثیرگذاری آن بر عملکرد بیشتر و هر چه دورتر باشد کمتر خواهد بود. این نتایج با نتایج فوق در جدول ۴ تطابق دارد و نشان می‌دهد که در باغات منطقه‌ی مورد مطالعه نیتروژن و کلسیم بیشترین نزدیکی را به شاخص عملکرد در نمودار نشان می‌دهند و بور و آهن نیز در مقابل عملکرد قرار گرفته‌اند (شکل ۲ و معادله‌ی ۹).

صورت معادله‌ی ۹ نیز ارائه شده است. اثر منفی عامل روی در معادله ۹ شاید به دلیل اثر رقابتی که در جذب منگنز دارد وارد معادله شده است:

$$Y = 77.61/0.14 Fe - 89.33/9.83 Ca - 24.633N + 10.415 + 55.313 \quad (9)$$

در شکل ۲ مربوط به نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی، عناصر کلسیم و نیتروژن و پس از آن منیزیم فاصله‌ی نزدیک و مثبتی با عملکرد دارند و بالعکس آهن و بور در ناحیه‌ی مقابل و بیشترین فاصله را با مولفه‌ی عملکرد دارند. موقعیت مولفه‌ی عملکرد نسبت به



شکل ۲- نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی عناصر غذایی و رابطه‌ی آنها با عملکرد حاصل شده در باغات پرتقال
Figure 2- The Principal Component Analysis (PCA) curve of nutrients and their relationship with the obtained yield of the orange orchards

تغییرات داده‌ها را در بر گرفت، دارای ضرائب بزرگ و منفی برای عناصری نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم و دارای ضرائب بزرگ و مثبت برای عناصر آهن، منگنز، روی، مس و بور می‌باشد (جدول ۵) که می‌توان آن را عامل عناصر کم‌مصرف نام‌گذاری کرد. عامل دوم که ۸/۲۰ درصد از تغییرات داده‌ها را در بر می‌گیرد دارای ضریب بزرگ و مثبت برای عملکرد می‌باشد که می‌توان آن را عامل عملکرد نام‌گذاری کرد. عامل سوم که ۵/۸۶ درصد از تغییرات داده‌ها را در بر می‌گیرد دارای ضریب بزرگ و مثبت برای کلسیم می‌باشد و به نام عامل کلسیم نام‌گذاری می‌شود. عامل چهارم که ۱/۷۱ درصد از تغییرات داده‌ها را در بر می‌گیرد دارای ضریب بزرگ و مثبت برای

در این مطالعه همچنین نتایج تجزیه به عامل‌ها به روش مولفه‌های اصلی بر روی صفت مورد مطالعه، پنج عامل اصلی را تفکیک نمود (جدول ۵). این پنج عامل به ترتیب ۸۱/۷۵، ۸/۲۰، ۵/۸۶، ۱/۷۱، و ۱/۱۲ درصد و در مجموع ۹۸/۶۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تبیین کردند. هر چه میزان واریانس عاملی بیشتر باشد، به اعتبار آن عامل در تفسیر تغییرات داده‌ها افزوده می‌شود. میزان اشتراک نیز بخشی از واریانس یک متغیر است که به عامل‌های مشترک مربوط می‌شود و هر چه بیشتر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر در برآورد واریانس متغیر مربوطه می‌باشد. با مشاهده ضرائب عامل‌ها مشخص است که عامل اول که بیشترین حجم (۸۱/۷۵ درصد) از

افزایش فسفر بالای خاک در کنار درصد بالای آهک خاک (بیشتر از ۹۲ درصد فراوانی بیش بود آهک خاک) می‌تواند منجر به کمبود عناصر میکرو به خصوص منگنز، روی و آهن در گیاه گردد. از سوی دیگر درصد بالایی از باغات دارای پتاسیم زیاده از مطلوب می‌باشند که این موضوع خود موجب رقابت با کلسیم و منیزیم در گیاه می‌گردد. کمبود شایع کلسیم در باغات پرتقال جنوب می‌تواند احتمالاً علاوه بر زیادی پتاسیم خاک علت دیگری نظیر بالا بودن ضریب هدایت الکتریکی خاک داشته باشد چنانکه حدود ۳۰ درصد باغات دچار شوری زیاد و ۵۶ درصد شوری متوسط دارند (جدول ۷). با توجه به بیش بود غلظت بور در باغات با عملکرد پایین و فراوانی پتاسیم و شوری در باغات مورد مطالعه به نظر می‌رسد افزایش غلظت کلسیم در گیاه برای عملکرد مطلوب توجه علمی کافی فراهم می‌کند.

عناصر نیتروژن و پتاسیم می‌باشد و می‌توان آن را عامل نیتروژن نامگذاری کرد. و در نهایت عامل پنجم که ۱/۱۲ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین می‌کرد، ضرائب صفات مورد بررسی کوچک و اختلاف ناچیزی با هم داشتند (جدول ۵). به‌طور کلی بر اساس نتایج تجزیه به عامل‌ها (جدول ۵)، تجزیه رگرسیونی (جدول ۶) و نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی (شکل ۲) عناصر نیتروژن، کلسیم، آهن و بور بیشترین نقش را در تعیین عملکرد باغات مورد مطالعه نشان می‌دهند.

ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک و عناصر غذایی در باغات پرتقال

در توجه وضعیت عناصر غذایی گیاه در باغات منطقه‌ی جنوب با مراجعه به نتایج تجزیه خاک (جدول ۷) مشاهده می‌شود که کربن آلی خاک‌ها پایین است. و تقریباً نیمی از باغات میزان فسفر بالایی دارند.

جدول ۵- نتیجه تجزیه به عامل‌ها به روش مولفه‌های اصلی برای صفات مورد بررسی

Table 5- Factors analysis result through principle components method for the studied traits

Traits	Components Matrix				
	Components				
	1	2	3	4	5
yield	0.166	0.898	-0.375	-0.142	-0.072
N	-0.835	0.315	-0.177	0.359	0.203
P	-0.897	-0.183	-0.216	-0.169	0.186
K	-0.922	-0.039	-0.020	0.207	-0.240
Ca	-0.436	0.449	0.772	-0.033	0.062
Mg	-0.982	0.011	0.035	-0.063	0.019
Fe	0.998	0.024	0.017	0.045	0.005
Mn	0.998	0.024	0.017	0.045	0.005
Zn	0.998	0.024	0.017	0.045	0.005
Cu	0.998	0.024	0.017	0.045	0.005
B	0.998	0.025	0.016	0.046	0.005
R	0.998	0.014	0.011	0.036	0.002

جدول ۶- نتایج تجزیه رگرسیونی اثر عناصر بر عملکرد

Table 6- The results of nutrients effect regression analysis on the yield

عنصر غذایی	ضریب رگرسیونی	خطای استاندارد	Beta	t	معنی‌داری
Nutrient	Regression coefficient	Standard error			Sig.
N	99.804	32.704	1.648	3.052	0.003
Ca	70.503	32.856	1.224	2.146	0.036
Fe	-8800.242	2292.52	-0.327	-3.839	0.000
Zn	-6409.287	3616.774	-0.157	-1.772	0.081

باغات منطقه می‌باشد. بیش‌بود بور نیاز درختان را به غلظت‌های بالاتری از نیتروژن و کلسیم توجه می‌کند و از طریق مکانیسم‌های شناخته شده موجب کاهش اثرات منفی بور در درختان می‌گردد. علاوه بر این، معادله رگرسیونی نشان داد غلظت آهن و روی در گیاه رابطه منفی با عملکرد داشته و برعکس نیتروژن و کلسیم رابطه مثبت با عملکرد نشان داده است (شکل ۲). اثر مثبت نیتروژن و کلسیم شاید به دلیل اثر رقت سلولی باشد که این دو عنصر بر کاهش سمیت بور

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان داد که ۱۳ درصد از باغ‌های مورد ارزیابی در گروه با عملکرد مطلوب و ۸۶ درصد آنها در گروه با عملکرد نامطلوب تقسیم‌بندی شدند که نشان دهنده وضعیت نامتعادل تغذیه‌ای در منطقه می‌باشد. بیش بود بور در گروه با عملکرد پایین تقریباً دو برابر باغات با عملکرد بالاست (جدول ۴). این مسئله نشان می‌دهد که غلظت بالای بور در گیاه مهمترین عامل محدودکننده در عملکرد

هم در هر دو گروه عملکردی، بالا می‌باشد (جدول ۴). بنابراین رقابت کاتیونی احتمالاً موجب کاهش غلظت منگنز در نمونه‌ها شده است (حدود ۳۹ درصد باغات کمبود منگنز نشان داشتند). روش‌های تجزیه آماری چند متغیره می‌توانند تحلیل دقیق‌تری از وضعیت تغذیه‌ای ارائه دهند.

دارند. فراوانی کمبود منگنز در باغات مورد مطالعه احتمالاً به دلیل بالا بودن غلظت آهن و یا رقابت روی در گیاه باشد (معادله ۹) اگرچه غلظت آهن فراهم در خاک در نمونه‌ها بالا نیست اما میانگین غلظت روی در خاک باغات تقریباً بالا و در حدود ۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. (جدول ۷) اما تجزیه رگرسیونی و تجزیه مولفه اصلی نشان داد آهن رابطه منفی با عملکرد داشته است و غلظت آن در گیاه

جدول ۷- نتایج تجزیه خاک‌های باغات مورد مطالعه
Table 7- the results of soils analysis in the studied orchards

صفت مورد بررسی	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف معیار	Abundance percentage			
					Very deficiency ¹	Deficiency ²	sufficiency ³	High ⁴
trait	minimum	maximum	average	Deviation criteria	خیلی کمبود	کمبود	کفایت	زیاد
Organic carbon (%)	0.1	1.9	0.8	0.4	36	33	26	5
P*	2	44	17	13	21	23	10	46
K*	23	1107	380	233	3	21	13	64
Fe*	1.5	5	3.4	1	21	74	5	0
Zn*	0.1	24	2.2	4	5	21	38	36
Mn*	2.5	14.6	8.4	3	0	79	13	8
Cu*	0.2	1.3	0.5	0.3	8	46	38	8
Calcite (%)	12.9	82	61	15.5	0	0	8	92
Salinity (dS m ⁻¹)	0.8	7.1	4.4	1.4	-	15	56	28

1- organic carbon (<0.5), P (<5), K (<90), Fe (<2.5), Zn (<0.25), Mn (<2), Cu (<0.25), calcite (<5), salinity (-); 2- organic carbon (0.5-10), P (5-10), K (90-180), Fe (2.5-5), Zn (0.25-0.5), Mn (2-4), Cu (0.5-0.25), calcite (5-10), salinity (<2); 3- organic carbon (1-1.5), P (10-15), K (180-240), Fe (5-7.5), Zn (1-0.7), Mn (4-6), Cu (1-0.5), calcite (10-25), salinity (2-6); 4- organic carbon (>1.5), P (>15), K (>240), Fe (>7.5), Zn (>1), Mn (>6), Cu (>1), calcite (>25), salinity (>6); *mg kg⁻¹.

۱- کربن آلی (<0.5)، فسفر (<5)، پتاسیم (<90)، آهن (<2.5)، روی (<0.25)، منگنز (<2)، مس (<0.25)، آهنک (<5)، شوری (-)؛ ۲- کربن آلی (0.5-10)، فسفر (5-10)، پتاسیم (90-180)، آهن (2.5-5)، روی (0.25-0.5)، منگنز (2-4)، مس (0.5-0.25)، آهنک (5-10)، شوری (<2)؛ ۳- کربن آلی (1-1.5)، فسفر (10-15)، پتاسیم (180-240)، آهن (5-7.5)، روی (1-0.7)، منگنز (4-6)، مس (1-0.5)، آهنک (10-25)، شوری (2-6)؛ ۴- کربن آلی (>1.5)، فسفر (>15)، پتاسیم (>240)، آهن (>7.5)، روی (>1)، منگنز (>6)، مس (>1)، آهنک (>25)، شوری (>6dS/m)؛ * میلی‌گرم در کیلوگرم

در منطقه وجود دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اعداد مرجع برای غلظت‌های مطلوب عناصر غذایی بسته به شرایط منطقه متغیر بوده و بیش‌بود بیش از حد یک عنصر می‌تواند علاوه بر اعداد مرجع، تفسیر نتایج را تغییر داده و به نظر می‌رسد شناخت بیشتری به منظور مصرف هدفمندتر کود در اختیار قرار دهد. به نظر می‌رسد در شرایط بیش‌بود بور، نیاز به کلسیم و نیتروژن در گیاه افزایش می‌یابد که این موضوع خود زمینه‌ی تحقیقات آتی را رقم می‌زند.

این نتایج نشان می‌دهد تغذیه نیتروژن و کلسیم احتمالاً نتیجه مثبتی در کاهش سمیت بور داشته و اثر منفی آنرا کاهش می‌دهد. به نظر می‌آید که عدم تعادل تغذیه‌ای یعنی بیش‌بود بور، آهن و روی در گیاه موجب اختلال در تعادل تغذیه‌ای سایر عناصر شده است به طوری که کمبود نیتروژن، کلسیم و منگنز را رقم زده است. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که شرایط خاک تأثیر زیادی بر روی مقادیر اعداد مرجع عناصر غذایی دارد و احتمالاً عوامل محدودکننده

منابع

- 1- Association of official analytical chemists (AOAC). 1990. In: K. Helrich. (eds.), Official Methods of Analysis. 15th Edition. Published by the Association of Official Analytical Chemists, INC.
- 2- Aitchison J. 1988. Statistical analysis of compositional data. Chapman and Hall, New York.
- 3- Ross S.M. 1987. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. John Wiley & Sons, New York.
- 4- Basirat M. 2014. Introducing the compositional nutrient diagnosis method to determinate the nutritional status of pistachio orchards. In: Proceedings of the national congress of scientific approaches in the green gold industry, pistachio, 17-18 Dec., Islamic Azad University, Damghan Branch, NCSAPI01_107: (COI). (in Persian)
- 5- Basirat M., Daryashenas A., and Akhyani A. 2015. Reference norms determination for nutrients in the grape leaf (Shahrودي cultivar). Iranian journal of soil researches, 1 (1). (in Persian with English abstract)
- 6- Chakerolhosseini M.R., Khorasani R., Fatovat A., and Basirat M. 2015. Determining the reference norms and limitations of nutrient elements on orange by using the Compositional Nutrient Diagnosis method. Journal of soil

- management and sustainable production, 6(3): 161-172. (in Persian with English abstract)
- 7- Daryashenas A., and Pak Nejad A. 2005. Determining the DRIS standard norms for the autumn sown sugar beet in Khuzestan province. In: Proceedings of the 9th Iranian soil science congress, 28-31 Aug., University of Tehran, Karaj. (in Persian)
- 8- Daryashenas A., and Saghafi K. 2011. Compositional Nutrient Diagnosis (CND) for sugar beet. *Iranian Journal of Soil Researches*, 25(1). (in Persian with English abstract)
- 9- Emami A. 1996. Methods of Plant Analysis. Publications of the Soil & Water Research Institute, Karaj, Iran (in Persian).
- 10- Helmke P.H., and Spark D.L. 1996. Potassium, P 551-574. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loppert, R.H., Soltanpour, P.N., M.A. Tabataai, C.T. Johnston, and M.E. Summer. (eds.), Methods of soil analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
- 11- Kenworthy A.L. 1983. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. p. 381-392 in L.M. Walsh and J.D. Beaton (eds.) Soil testing and plant analysis. Revised edition, 5th Printing, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 12- Khiari L., Parent L.E., and Tremblay N. 2001a. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. *Agronomy Journal*, 93:809-814.
- 13- Khiari L., Parent L.E., and Tremblay N. 2001b. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*, 93:815-819.
- 14- Khiari L., Parent L.E., and Tremblay N. 2001c. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*, 93:802-808.
- 15- Kjeldahl J. 1883. A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22, 366-382. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>.
- 16- Malakouti M.J. 2008. The comprehensive method of diagnostic and urgency of optimum fertilizers application for the sustainable agriculture. Publications of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (in Persian)
- 17- Nelson L.A., and Anderson R.L. 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. p. 19-38. In M. Stelly (ed.) Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. ASA Spec. Publ. 29. ASA, Madison.
- 18- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture. United States Government. Print Office, Washington, D. C.
- 19- Parent L.E., and Dafir M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117:239-242
- 20- Parent L.E., Cambouris A.N., and Muhawenimana A. 1994. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. *Soil Science Society of American Journal*, 58:1432-1438.
- 21- Parent L.E., and Khiari L. 2003. The compositional nutrient diagnosis of onions .xxxvi international horticultural congress : Toward ecologically sound fertilization strategies for field vegetable production. <http://www.actahort.org>.
- 22- Ross S.M. 1987. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. John Wiley & Sons. New York.
- 23- Rozane D., Junior D.M., Parent S., Natalei W., and Parent L.E. 2011. Compositional meta-analysis of Citrus varieties in the state of São Paulo Brazil. The 4th International workshop on compositional data analysis.
- 24- Samadi A., and Majidi A. 2010. Norms establishment of the diagnosis and recommendation integrated system and its comparison with the deviation from optimum percentage method in a white grape. *Iranian Journal of Soil Researches*, 24(2). (in Persian with English abstract)
- 25- Smith G.S., Asher G.J., and Clark C.J. 1997. Kiwifruit Nutrition diagnosis of nutritional disorders. Originally published 1985 ISBN 0-9597693-0-7, revised 1987, republished for HortNET 1997.
- 26- Soltanpour P.N., Malakouti M.J., and Ronaghi A. 1995. Comparison of diagnosis and recommendation in integrated system and nutrient sufficiency range for corn. *Soil Science Society of American Journal*, 59:10. 133-139.
- 27- Tisdale S.L., Nelson W.L., and Beaton J.D. 1993. Soil fertility and fertilizer. Macmillan USA. 648 page.
- 28- Turan M.A., Taban N., and Taban S. 2009. Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of Boron and Calcium in cell wall of wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37 (2), 99-103.
- 29- Walworth J.L., and Sumner M.E. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). *Advances in Soil Science*, 6:149-188.

Evaluation and Determination of the Nutritional Status of *Valencia Orange* Orchards in South of Fars Province

M. Basirat^{1*} - H. Haghighatnia² - S. M. Mousavi³

Received: 09-10-2017

Accepted: 17-01-2018

Introduction: Fertilizer recommendation in orchards based on soil testing is not accurate because findings showed that there is not significant correlation between nutrients concentration in the soil and plant. Therefore, studying the nutritional status in orchards is usually based on the plant testing. In order to evaluate the nutritional status of plants, different methods, such as Compositional Nutrients Diagnosis (CND), Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS), Deviation from Optimum Percentage (DOP), Critical Value Approach (CVA) and Sufficiency Range Approach (SRA) were used. In the CND method, a determination coefficient measured which is considered as the relative superiority of this method to the others. Generally, through the CND method, a correct perception on nutritional status of plants may be obtained.

Materials and Methods: The nutritional status of orange orchards, *Valencia* cultivar, in south of Fars province (Darab town) was studied using the compositional nutrient diagnosis and multivariate statistical analysis methods. For this, 80 orange orchards, *Valencia* cultivar were selected and 30 trees in each orchard were signed. Plant samples were taken from the selected trees in the proper session and concentration of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu and B were measured using the standard methods. Then the average yield was measured at harvest. Based on the CND method, total concentration of the nutrients in the plant was considered as a variable (S_d) plus a residual portion (R_d) that "d" is defined as the number of nutrients in the equation and R_d is defined as the residual value. Which sum of the equation equals 100 and it is based on percent. The residual/un measured nutrients and estimated by using the equation of " $R_d = 100 - (N+P+K+...)$ ". Thereafter, by using the standard equations, which they were perfectly explained and presented in the material and methods section, the geometric mean of nutrients, nutrients index, nutrient balance index, and average yield and finally the reference norms were determined. In addition to the CND method, by using the Multivariate Statistical Analysis and Principal Component Analysis methods, the effective and important nutrients in the yield were determined and also, ability of the CND method was evaluated. The SPSS software was used for variance analysis the data.

Compositional nutrient diagnosis (CND) analysis and multivariate analysis methods are used to study the nutritional diagnosis of Valencia orange orchards in south of Fars province. 80 *valencia* orange orchards were selected in the region and in each of them, 30 uniform trees were marked and sampled were taken in proper time and referenced method. Leaf elemental compositions and mean yield also were measured from selected trees for each orchard. Data analysis divided all orchards into two low and high yield groups.

Results and Discussion: The results showed that 11 orchards were as high yielding group and 69 orchards were as low yielding group and the average of optimum yields, 113 Kg tree^{-1} , was determined as the yield goal. By using the average of measured nutrients norms for the high yielding community the concentration of the 10 studied elements was obtained which comprised: N 3.00 ± 0.18 ; P 0.17 ± 0.01 ; K 1.37 ± 0.12 ; Ca 3.32 ± 0.78 ; Mg 0.36 ± 0.07 ; Mn 23 ± 3.35 ; Zn 17.3 ± 2.3 ; Fe 75 ± 7.3 ; Cu 7.81 ± 1.44 ; B 76 ± 19.4 . Through comparison with the obtained reference norms of optimum yielding orchards, more than 50% of the studied orchards had lower N, Ca and Mn content than the obtained norm and B concentration in the high yielding group was more than 50% less than the low yielding group. Generally, the results of Multivariate Statistical Analysis and Principal Component Analysis showed that N, Ca, Fe and Zn had the highest effect in changes of yield.

Conclusion: Results of this work showed that 13% of the studied orchards were in the high yielding group

1- Assistant Professor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

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

2- Assistant Professor Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran

3- PhD Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran

and 86% of them were in the low yielding group which shows the imbalance nutritional condition in the studied region. The positive effect of N and Ca on the yield may be due to the dilution effect which these nutrients can reduce the B toxicity. Abundance of Mn deficiency in the studied orchards may be due to the high concentration of Zn and Fe in the plants and antagonistic relations may be considered as the main reason. Multivariate statistical analysis methods may be used as an important tool to study the nutritional conditions of plants. Dominant percentage of the studied orchards showed low yield which may be due to the B toxicity which probably N and Ca application may be all eviated the negative effect of this element.

Keywords: Compositional nutrient diagnosis, Nutrients, Orange, Reference norms

جداسازی و شناسایی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما برای استفاده در کود میکروبی فسفاتی

بهمن خوشرو^۱ - محمدرضا ساریخانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

در فرمولاسیون کودهای میکروبی فسفاتی که غالباً به فرم گرانوله تهیه می‌شوند از باکتری‌های حل‌کننده فسفات استفاده می‌شود. از جمله محدودیت‌های تولید این نوع کود، از بین رفتن باکتری‌ها در فرایند تهیه و خشک نمودن گرانول‌ها می‌باشد. بر این اساس در این تحقیق اقدام به جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما شد و تحمل دمایی و توانایی انحلال فسفات (از منابع سنگ فسفات و تری‌کلسیم فسفات) در باکتری‌های بومی جدا شده از خاک، مورد ارزیابی قرار گرفت. از پنج باکتری (جدایه‌های RPS4، RPS6، RPS7، RPS8 و RPS9) با قابلیت تولید هاله شفاف تنها دو باکتری (RPS7 و RPS9) قادر به تحمل دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت بودند. در محیط اسپریر جامد حاوی تری‌کلسیم فسفات، باکتری RPS9 و RPS7 به ترتیب با دارا بودن مقادیر ۲/۶۰ و ۲/۲۷ برای نسبت (HD/CD) بعد از گذشت ۱۲ روز، قدرت بالایی در امر انحلال فسفات معدنی نامحلول داشتند. میزان انحلال فسفات کم‌محلول در روش کمی نیز برای دو باکتری RPS9 و RPS7 به ترتیب ۵۳۱/۸ و ۳۲۴/۱ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. نتایج زنده‌مانی باکتری‌ها نیز نشان داد که زنده‌مانی جمعیت میکروبی در حالت بدون تیمار دمایی تا ۶ ماه و در حالت تیمار دمایی به ۴ ماه کاهش یافت. شناسایی مولکولی RPS9 و RPS7 حاکی از آن بود که هر دو جدایه متعلق به گونه *Pantoea agglomerans* هستند.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد گیاه، زنده‌مانی، فرمولاسیون کودهای میکروبی، مقاومت دمایی

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن به عنوان عنصر غذایی حیاتی برای گیاهان و ریزجانداران محسوب می‌شود. فرم‌های معدنی این عنصر در خاک به صورت ترکیب با کلسیم، آهن آلومینیوم و فلئوئور است در حالی که فرم‌های آلی آن غالباً به شکل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و فیتین یافت می‌شود (۶). فسفر در خاک‌ها به دو شکل آلی و معدنی به مقدار فراوان و در محدوده ۴۰۰-۱۲۰۰ mg/kg وجود دارد (۱۸). اما غلظت فسفات محلول در خاک معمولاً خیلی پایین بوده و در سطح ۱ mg/kg یا کمتر می‌باشد. بنابراین در غالب خاک‌ها از نظر مقدار کل فسفر مشکلی وجود ندارد بلکه فراهمی و در دسترس بودن آن مشکل می‌باشد (۲۷). علی‌رغم بالا بودن فسفر کل خاک‌ها، دسترسی آن برای گیاه کم است و قسمت عمده فسفر خاک به همراه کاتیون‌های

فلزی رسوب کرده و از دسترس گیاه خارج می‌شود و به همین سبب نیز استفاده از کودها چندان نتیجه‌بخش نیست (۱۷). بر خلاف نیتروژن، منابع تولیدکننده فسفر تجدیدپذیر نیستند و این منابع تا چند دهه دیگر به اتمام می‌رسند، از طرف دیگر آلودگی‌های روزافزون ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی فسفاتی به خصوص آلودگی آن‌ها به عنصر سنگین کادمیم، ضرورت یافتن جایگزین مناسب برای رهاسازی فسفات‌های تجمع یافته در خاک را ایجاب می‌کند، بنابراین یافتن راه‌حل‌های مناسب برای رفع این مشکلات ضروری است (۱۲). اهمیت یافتن جایگزینی مناسب برای رهاسازی فسفات‌های تجمع یافته در خاک زمانی بیشتر احساس می‌شود که بر این امر واقف گردیم که منابع فسفاتی موجود در خاک قابلیت تامین فسفات مورد نیاز گیاهان برای تولید بهینه آن‌ها را تا ۱۰۰ سال دارا می‌باشد (۴). بنابراین کافی است که این منبع عظیم فسفر را به صورتی برای گیاه قابل جذب و استفاده نمود. یکی از راه‌های عملی برای استفاده از فسفر تجمع پیدا کرده در اراضی، بکارگیری کودهای زیستی فسفات‌ها می‌باشد. این نهادهای زیستی در واقع حاوی ریزجانداران ریزوسفری محرک رشد گیاه هستند که از طریق فرآیندهای ویژه‌ای می‌توانند

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*) نویسنده مسئول:

(Email: rsarikhani@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.68306

صورت گرفته است، لذا در این تحقیق به این جنبه‌ها پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما

ابتدا بر روی خاک‌های نمونه‌برداری شده تیمار دمایی ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت اعمال شد (فرض آزمایش بر آن است که در فرایند تولید کود میکروبی چنین دمایی در این مدت زمانی باعث ایجاد تنش دمایی و خشکی شود) و سپس سری‌های رقت از آن‌ها تهیه شد. از چهار رقت پایانی (10^{-6} ، 10^{-7} ، 10^{-8} ، 10^{-9}) در ۲ تکرار به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر بر روی محیط جامد اختصاصی Sperber انتقال داده شد. بعد از گسترده نمودن سوسپانسیون میکروبی از رقت‌های مورد نظر در محیط کشت اسپربر جامد و ظاهر شدن کلنی‌ها، غربالگری و جداسازی باکتری‌ها انجام شد. توجه به مقاومت به تیمار دمایی اولیه و در ادامه توانایی رشد در محیط اسپربر جامد، انحلال فسفات کم محلول (تشکیل هاله شفاف)، فنوتیپ و ریخت کلنی باکتری‌ها، موارد مورد توجه در جداسازی باکتری‌ها بود (۷).

اعمال تیمار دمایی

ارزیابی تحمل دمایی (تیمار دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت) باکتری‌ها در سه مرحله انجام گرفت، الف: تیمار دمایی اولیه روی خاک‌های نمونه‌برداری شده به منظور غربالگری باکتری‌های مقاوم به دما، ب: کشت خالص باکتری (در این حالت از هر جدایه کشت خالصی تهیه شد و سپس کشت نقطه‌ای از آن در محیط اسپربر جامد تهیه شد و در شرایط فوق گرماگذاری شد)؛ ج: باکتری افزوده شده به بستر (پس از تأمین جمعیت میکروبی اولیه مناسب (10^6 CFU/g) در بستر میکروبی در شرایط فوق گرماگذاری شد و در ادامه شمارش جمعیت میکروبی و زنده‌مانی ارزیابی شد (۷).

تهیه کود میکروبی فسفاتی

به منظور تهیه کود میکروبی فسفاتی پودری برای آزمایش، به شرح زیر اقدام شد. برای تهیه بستر اولیه جهت افزودن مایه تلقیح باکتریایی از بستر پایه سنگ فسفات (با آنالیز: P_2O_5 : $36/5 \pm 1\%$ ، SiO_2 : $3/7 \pm 1\%$ ، Fe_2O_3 : $50 \pm 4\%$ ، CaO : $3/5 \pm 1\%$ ، CL : $0/18 \pm 0/3\%$ ، F : $3 \pm 1\%$ ، SO_3 : $0/5\%$ ، MgO : $1 \pm 0/5\%$ ، Cd : 10 ± 5 ppm)، باگاس و گوگرد استفاده شد. این اجزاء به ترتیب به نسبت ۴۵:۳۰:۱۵ مخلوط شدند. پس از اختلاط ترکیب فوق، به ۹۰ گرم از این ترکیب ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد تا رطوبت اولیه

حلالیت ترکیبات فسفر رسوب کرده در خاک را افزایش داده و بدین صورت بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین نمایند (۲۳). کودهای زیستی یکی از مهم‌ترین اجزاء کشاورزی آلی و پایدار محسوب می‌شوند که استفاده صحیح از آن‌ها می‌تواند ضمن افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، کاهش مصرف بعضی از انواع کودهای شیمیایی و در نتیجه حفظ محیط زیست را نیز به دنبال داشته باشد (۲۰). گزارش‌های متعددی وجود دارد که توانایی سوبه‌های مختلف باکتریایی را برای انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول همچون تری‌کلسیم فسفات، دی‌کلسیم فسفات، دی‌هیدروکسی آپاتیت و خاک فسفات، نشان می‌دهد (۹، ۱۱ و ۲۱). استفاده از ریزجانداران خاکزی که توانایی انحلال فسفات‌ها و تبدیل آن به فسفر محلول را دارند، یکی از راه‌های مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌ها است (۱ و ۵). تعداد زیادی از ریزجانداران در شرایط آزمایشگاهی توانایی انحلال فسفات نامحلول را نشان داده‌اند (۲، ۱۴ و ۲۲). این دسته از ریزجانداران گرچه فسفر را در ساختار سلولی خود به خدمت می‌گیرند، ولی بخشی از آن که در محیط آزاد شده است در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین فسفر موجود در زیست‌توده‌ی میکروبی که به شکل غیرمتحرک می‌باشد نیز به صورت بالقوه قابل استفاده برای گیاهان می‌باشد (۳).

کودهای میکروبی نوعی از کودهای زیستی هستند که در آن بر بستری از مواد آلی - معدنی، از ریزجانداران مفید بهره برده می‌شود. یکی از کودهای میکروبی مهم، کود میکروبی فسفاتی می‌باشد که با توجه به اهمیت فسفر به عنوان یکی از عناصر غذایی پر مصرف برای محصولات کشاورزی، استفاده از آن مورد توجه است (۱۴). کود میکروبی فسفاتی ممکن است به صورت پودری یا گرانوله استفاده شود که در فرایند گرانول‌سازی، پس از اختلاط اجزاء تشکیل‌دهنده از حرارت (۵۰-۴۰ درجه سلسیوس) جهت خشک نمودن کود تولیدی استفاده می‌شود، همچنین در این نوع کود به دلیل دارا بودن رطوبت اندک (حدود ۴ درصد) شرایط برای بقا باکتری نامناسب است. چنین شرایطی باعث از بین رفتن باکتری‌های افزوده شده به بستر خواهد شد. لذا در این پژوهش جداسازی، ارزیابی و شناسایی باکتری‌های کارآمد حل‌کننده فسفات با ماندگاری بالا و مقاوم به دما مد نظر قرار گرفت، تا علاوه بر اندازه‌گیری‌های انحلال فسفات در محیط اسپربر جامد و مایع در حضور منابع فسفات کم‌محلول (سنگ فسفات و تری‌کلسیم فسفات)، تحمل دمایی، تراکم جمعیت باکتری و ماندگاری آن در بستر تهیه شده سنجیده شود. ضرورت دستیابی به یک گونه میکروبی کارآمد با زمان ماندگاری بالا و قابلیت کاربرد به عنوان کودهای میکروبی فسفاتی گرانوله موضوع این تحقیق است و ضرورت پرداختن به آن احساس می‌شود. در حال حاضر این نوع از باکتری‌ها کمتر در دسترس می‌باشند و تحقیقات اندکی در این زمینه

آزمون کمی توان حل‌کنندگی فسفات معدنی نامحلول

در این مرحله برای بررسی دقیق‌تر مقدار حل‌کنندگی فسفات هر باکتری با سه تکرار در محیط کشت اسپرر مایع کشت شد. ارلن‌های حاوی محیط مایع تلقیح شده و نمونه شاهد در شیکر انکوباتور در تاریکی و با دمای ۲۸ درجه سلسیوس با شیک ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۱۴۴ ساعت قرار گرفتند. سوسپانسیون‌ها در دور ۵۰۰۰rpm و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. در این مرحله سلول‌های باکتری، ذرات معلق و فسفات نامحلول به کمک سانتریفیوژ از سوسپانسیون جمع‌آوری و مقدار فسفر محلول در مایع صاف رویی به روش وانادات-مولیدات اندازه‌گیری شد (۲۱). آزمون انحلال فسفات در حضور هر دو منبع فسفر (تری‌کلسیم فسفات و سنگ فسفات) به صورت جداگانه بررسی شد.

شناسایی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما

برخی از ویژگی‌های شکل‌شناسی و بیوشیمیایی جدایه‌ها به کمک رنگ‌آمیزی گرم و تست‌های بیوشیمیایی اکسیداز و کاتالاز مورد بررسی قرار گرفتند. برای شناسایی مولکولی باکتری‌ها به روش 16S rRNA از آغازگرهای عمومی 27F و 1492R خریداری شده از شرکت ژن فناوری استفاده شد (جدول ۱). برنامه PCR به کار رفته دارای ۳۰ چرخه بود که در دستگاه ترموسایکلر Flexigene انجام گرفت. این چرخه‌ها شامل، یک چرخه نخستین با دمای ۹۵ درجه سلسیوس برای ۴ دقیقه، در ادامه دمای ۹۴ درجه سلسیوس برای ۱ دقیقه، دمای ۵۳ درجه سلسیوس (دمای پیوند آغازگر) برای ۱ دقیقه و دمای فراوان شدن ۷۲ درجه سلسیوس برای ۱ دقیقه بود که در پایان یک چرخه اضافی دمای ۷۲ درجه سلسیوس برای ۱۰ دقیقه نیز اعمال شد. یادآور می‌شود که برای انجام PCR از تک کلنی باکتری‌ها بهره‌گیری شد و بدین گونه از استخراج DNA ژنومی باکتری چشم پوشی شد. ابتدا ۳۰ میکرولیتر آب دیونیزه استریل را داخل تیوب ۰/۲ میلی‌لیتری ریخته، سپس لوپ مستقیم استریل شده در شعله را به کلنی تماس داده و به داخل آب انتقال داده، سپس به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه در آب جوشانده شد تا DNA باکتری در محلول آزاد شود. با فراهم نمودن سایر اجزاء PCR تنها ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون حاوی DNA به آن انتقال داده شد. نوارهای پدیدار شده (نزدیک ۱۵۰۰ جفت باز) پس از ران شدن محصول PCR بر روی ژل آگاروز و اطمینان از تکثیر باند مورد نظر، بقیه DNA تکثیر شده از قطعه رمزکننده 16S rRNA جهت توالی‌یابی مورد استفاده قرار گرفت. پس از توالی‌یابی نمونه‌ها، توالی‌های مورد نظر در پایگاه اطلاعاتی NCBI^۳، BLAST-n^۴ شدند و به بررسی یافته‌های آن‌ها پرداخته شد

تأمین شود، سپس از کشت باکتری‌های مورد استفاده در آزمایش، مقدار ۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری (تقریباً 10^8 CFU/ml) برداشته و پس از رقیق‌سازی آن با آب مقطر استریل به مقدار ۱۰ برابر، باکتری به بستر مرطوب افزوده و مخلوط شد، به این صورت جمعیت اولیه در بستر کود میکروبی تقریباً برابر با 10^7 CFU/g شد (۸).

شمارش تعداد باکتری و بررسی زنده‌مانی باکتری

با توجه به اینکه برآورد و شمارش میکروبی به عنوان یکی از پارامترهای مهم در کودهای میکروبی مورد بررسی قرار می‌گیرد، لذا کود میکروبی تهیه شده به دو صورت مورد شمارش میکروبی قرار گرفت: الف: نیمی از کود میکروبی تهیه شده، با حفظ شرایط اولیه در دمای معمولی نگهداری شد و ب: نیم دیگر پس از تحمل دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت، تعیین جمعیت شد. برای مشخص نمودن جمعیت میکروبی، ابتدا سری‌های رقت تهیه شد و از رقت‌های پایانی (10^{-6} ، 10^{-5} ، 10^{-4} و 10^{-3}) در ۲ تکرار به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر بر روی محیط اسپرر جامد انتقال داده شد (۱۳). برای تهیه اولین رقت (10^{-1}) ۱۰ گرم از کودهای میکروبی تهیه شده به ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل افزوده شد و سایر رقت‌ها تا رقت 10^{-6} در لوله‌های حاوی ۹ میلی‌لیتر آب مقطر استریل با انتقال ۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون میکروبی تهیه شد. شمارش جمعیت در زمان شروع آزمایش (صفر)، ۲، ۴ و ۶ ماه بعد از تلقیح بر روی نمونه‌ها انجام گرفت.

آزمون نیمه‌کمی توان حل‌کنندگی فسفات معدنی نامحلول

برای انجام این آزمون از ۲ نوع محیط کشت Sperber (۲۶) استفاده شد که در آنها از منابع فسفر نامحلول متفاوت یعنی تری‌کلسیم فسفات و سنگ فسفات به عنوان تنها منبع فسفر به صورت جداگانه استفاده شده بود. برای دو باکتری یک ظرف پتری در نظر گرفته و سطح هر پتری به شش قسمت مساوی تقسیم شد، مرکز هر قسمت با ۵ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری تلقیح گردید، ظروف پتری تلقیح شده درون انکوباتور با دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شدند. تمامی پلیت‌ها در سه نوبت ۳، ۵، ۷ و ۱۲ روز پس از تلقیح از انکوباتور خارج شده و قطر کلنی رشد یافته^۱ (CD) و نیز قطر هاله شفاف^۲ (HD) حاصل از انحلال فسفات به دقت اندازه‌گیری شد، متوسط نسبت قطر هاله به قطر کلنی (HD/CD) در روز دوازدهم برای هر جدایه محاسبه گردید (۲۴).

3- National center for biotechnological information
4- Basic local alignment search tool (for Nucleotide)

1- Colony Diameter
2- Halo Diameter

جدول ۱- آغازگرهای عمومی برای تکثیر 16S rRNA باکتری‌ها

Table 1- General primers for amplification of bacterial 16S rRNA

نام آغازگرها Primers name	توالی آغازگر Primer sequence	دمای پیوند Annealing temperature
27F	5' AGAGTTTGATCCTGGCTCAG 3'	Tm:53
1492R	5' AAGGAGGTGATCCAGCCGCA 3'	

نتایج و بحث

غربالگری دمایی و انحلال فسفات کم محلول

از نمونه خاک‌های مورد بررسی، ۹ کلنی باکتری با فنوتیپ مختلف بر روی محیط جامد اسپربر قادر به رشد بودند که از میان آن‌ها تنها ۵ باکتری قادر به تشکیل هاله شفاف (جدایه‌های RPS4،

RPS6، RPS7، RPS8 و RPS9) بودند (شکل ۱). از بین این ۵ جدایه نیز بعد از کشت به روش نقطه‌گذاری در محیط اسپربر جامد و اعمال تیمار دمایی، تنها دو باکتری RPS7 و RPS9 قادر به رشد و زنده‌مانی تحت دمای ۵۵ درجه سلسیوس بمدت ۱۶ ساعت بودند.



شکل ۱- تصویری از غربالگری باکتری‌های حل‌کننده فسفات با توجه به ایجاد هاله شفاف در اسپربر جامد

Figure 1- Screening of phosphate solubilizing bacteria which produced halo zone in solid Sperber medium

توان حل‌کنندگی فسفات نامحلول باکتری‌های بکاررفته در کودهای میکروبی

آزمون نیمه‌کمی توان حل‌کنندگی فسفات معدنی نامحلول

اندازه‌گیری قطر هاله شفاف حاصل از انحلال فسفات معدنی

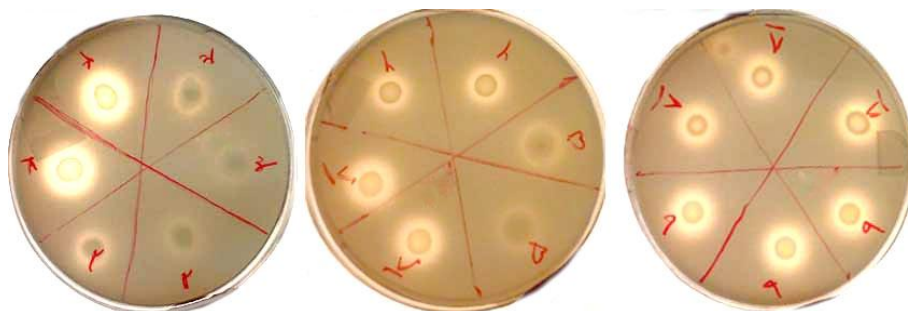
نامحلول از دو منبع فسفات کم‌محلول (تری‌کلسیم‌فسفات و سنگ فسفات) و محاسبه متوسط نسبت قطر هاله به قطر کلونی (HD/CD) مشخص کرد که بین جدایه‌ها از نظر تشکیل هاله تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس توان انحلال فسفات نامحلول توسط باکتری‌های بکار رفته در کودهای میکروبی

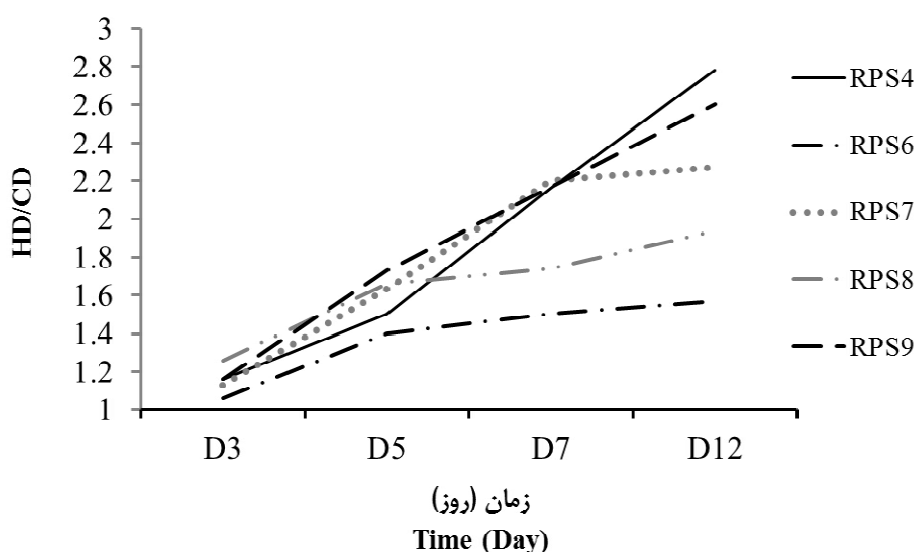
Table 2- Analysis of variance of insoluble phosphate dissolution capacity by bacteria used in microbial fertilizers

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares
باکتری Bacteria	4	0.589**
زمان Time	3	3.189**
باکتری * زمان Bacteria * Time	12	0.162**
خطا Error	40	0.008
ضریب تغییرات (%) (%) Coefficient of variation	8.16	

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$)
Significant at 1% level ($P < 0.01$)



شکل ۲- تشکیل هاله توسط جدایه‌های باکتریایی در محیط اسپربر جامد
Figure 2- Formation of halo by bacterial isolates in solid Sperber medium



شکل ۳- توان حل‌کنندگی فسفات معدنی نامحلول توسط جدایه‌های باکتریایی در محیط اسپربر جامد
Figure 3- Insoluble phosphate dissolution capacity by bacterial isolates in solid Sperber medium

آزمون کمی قدرت حل‌کنندگی فسفات معدنی نامحلول

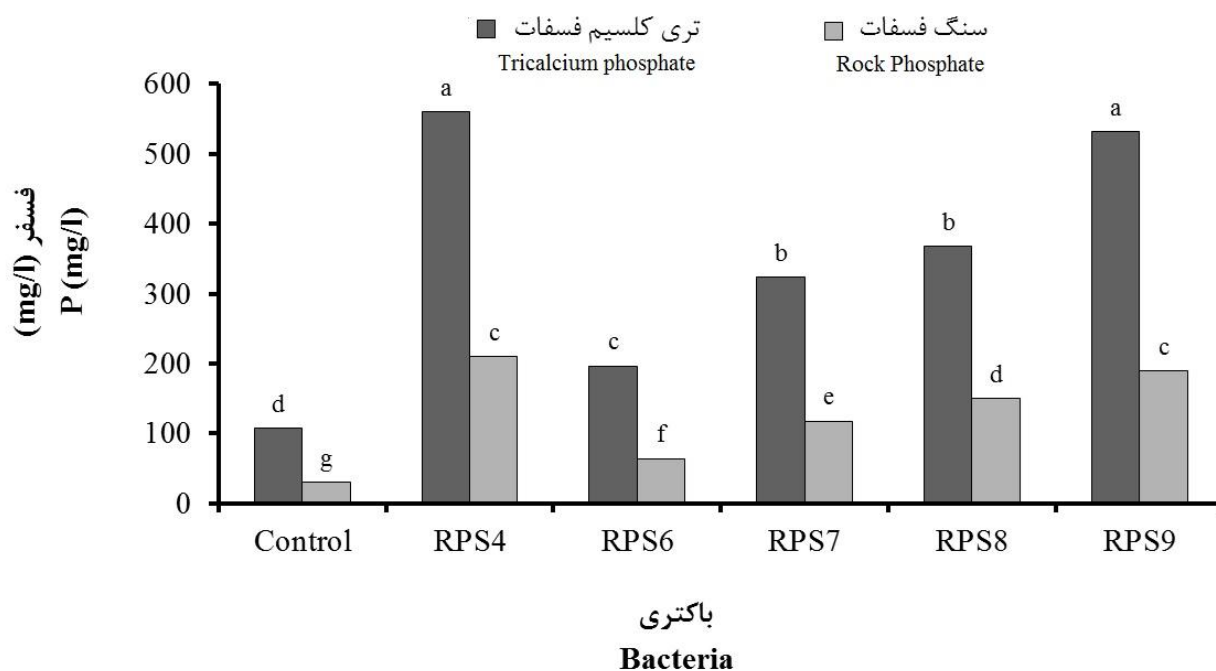
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اولاً بین دو منبع فسفات کم‌محلول و ثانیاً بین باکتری‌ها از نظر انحلال فسفات تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد (جدول ۳). در محیط اسپربر تری‌کلسیم فسفات مایع، باکتری RPS4 و RPS9 به ترتیب با دارا بودن مقدار ۵۵۹/۷ و ۵۳۱/۸ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین مقدار حل‌کنندگی را از خود نشان دادند و باکتری‌های RPS7 و RPS8 در رتبه بعدی قرار داشتند (شکل ۴). باکتری RPS6 دارای کمترین مقدار حل‌کنندگی فسفات نامحلول بود (۱۹۶/۶ mg/l). همین روند در حضور سنگ فسفات هم دیده شد. گرچه سنگ فسفات به عنوان منبع فسفر مورد استفاده در فرمولاسیون کود میکروبی فسفاتی می‌باشد اما نتایج آزمایش نشان داد که باکتری‌ها به میزان بالاتری قادر به انحلال فسفر از تری‌کلسیم فسفات هستند.

در محیط اسپربر حاوی تری‌کلسیم فسفات، باکتری RPS4، RPS7 و RPS9 به ترتیب با دارا بودن مقدار نسبت ۲/۷۸، ۲/۶۰ و ۲/۲۷ بعد از گذشت ۱۲ روز، قدرت بالایی در امر انحلال فسفات معدنی نامحلول داشتند و دو باکتری RPS6 و RPS8 به ترتیب با دارا بودن نسبت‌های ۱/۹۴ و ۱/۵۷، در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۳). شکل ۲ توان تشکیل هاله در محیط اسپربر جامد را نشان می‌دهد. در محیط کشت سنگ فسفات هیچ هاله‌ای مشاهده نشد. در یک مطالعه که برای جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات در زمین‌های کشاورزی هند (منطقه اوتاراکنند) صورت گرفت، از ۸ ایزوله رشد کرده در محیط جامد Pikovskaya حاوی تری‌کلسیم فسفات، ۳ جدایه دارای نسبت HD/CD بالای ۴ بودند و بالاترین مقدار حل‌کنندگی فسفر در روش کمی نیز در بین این جدایه‌ها ۳۰۵/۴۹ μg/ml بود (۱۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس توان حل کنندگی فسفات نامحلول توسط باکتری‌های بکار رفته در کودهای میکروبی

Table 3- Analysis of variance of insoluble phosphate dissolution capacity by bacteria used in microbial fertilizers

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
Sources of variation	Degree of freedom	Mean of squares
باکتری	5	162964.153**
Bacteria		
منبع فسفات	1	2647199.702**
Source of phosphate		
باکتری * منبع فسفات	5	59049.316**
Bacteria * Phosphate		
خطا	24	469.802
Error		
ضریب تغییرات (%)	18.50	
(%) Coefficient of variation		

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$)Significant at 1% level ($P < 0.01$) **

شکل ۴- مقایسات میانگین توان انحلال فسفات معدنی نامحلول جدایه‌ها در محیط اسپربر مایع

Figure 4- Mean comparisons of insoluble inorganic phosphate dissolution capacity of isolates in liquid Sperber medium

لیتر دارای بیشترین توان انحلال فسفر بود. توان حل کنندگی فسفات جدایه‌های ذکر شده به روش کمی در محدوده ۷۷/۱۵-۶۰۶/۴ میلی گرم بر لیتر بود (۹)، سلطانی و همکاران (۲۵) با بررسی ۹۰ نمونه خاک ریزوسفری گندم، تعداد ۲۵ جدایه *Pseudomonas* و ۴۴ جدایه *Flavobacterium* را جداسازی و خالص نمودند. بنا به گزارش آن‌ها، توانایی حل کنندگی فسفات این جدایه‌ها در محیط کشت اسپربر، با استفاده از منبع تری کلسیم فسفات و بعد از ۱۲۰ ساعت از ۱۲۹/۹ تا

در پژوهشی چهار نوع کود زیستی رایج در کشور شامل بارور ۲، بیوسوپرفسفات، سوپرنیتروپلاس و نیتروکسین مورد بررسی قرار گرفت و جدایه‌های مورد استفاده در آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی از نظر انحلال فسفات معدنی به روش کیفی و کمی ارزیابی شدند. در ویژگی انحلال فسفات معدنی از منبع تری کلسیم فسفات به دو روش کیفی و کمی، جدایه Ba1 از بارور ۲ با ایجاد بیشترین نسبت قطر هاله شفاف به قطر کلنی (۳/۲) و انحلال فسفات به مقدار ۶۰۶/۴ میلی گرم بر

۳۸۶/۱ میکروگرم در میلی‌لیتر متغیر بود.

بررسی زنده‌مانی باکتری‌ها در کود میکروبی

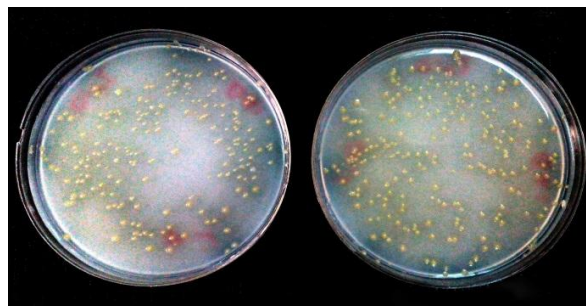
با توجه به این که کود میکروبی تهیه شده به دو صورت مورد شمارش میکروبی قرار گرفت لذا نتایج بخش تیمار دمایی کودهای میکروبی فسفاتی نشان داد که از میان باکتری‌های مورد آزمایش، فقط باکتری‌های RPS7 و RPS9 در اثر تیمار دمایی زنده ماندند. در بخش دمای معمولی جدول تجزیه واریانس بررسی تعداد جمعیت میکروبی فعال و نیز زنده‌مانی باکتری‌ها در زمان‌های صفر، دو ماه، چهار ماه و شش ماه پس از تلقیح، در محیط اسپرر نشان داد که اثر زمان بر روی زنده‌مانی باکتری‌های بکاررفته در کودهای میکروبی بین زمان‌های مورد نظر کاملاً معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). در شمارش جمعیت میکروبی اولیه (زمان صفر) در دمای معمولی، همه باکتری‌های بکاررفته در بسترهای میکروبی دارای جمعیت قابل قبولی بودند (شکل ۵)، در بررسی تعداد جمعیت میکروبی در بستر اولیه، باکتری‌های RPS4، RPS6، RPS7، RPS8 و RPS9 به ترتیب با

جمعیت‌های ۳/۶، ۳/۵، ۳/۵، ۳/۷ و ۳/۵ CFU/g ($\times 10^6$)، بعد از چهار ماه به ترتیب دارای جمعیت‌های ۴/۶، ۶/۳، ۹/۶، ۷/۴ و ۸/۶ ($\times 10^5$) و در ماه ششم دارای جمعیت‌های به ترتیب ۳/۹، ۳/۸، ۱۲/۳، ۷/۴ و ۹/۲ ($\times 10^4$) بودند که به نظر می‌رسد این مدت زنده‌مانی برای باکتری‌های مورد آزمایش مطلوب باشد (شکل ۶). در شمارش جمعیت فعال کودهای میکروبی تحت تیمار دمایی، نتایج نشان داد که جمعیت اولیه بستر میکروبی (در زمان صفر) افت ۱۰ برابری نسبت به بستر بدون تیمار دمایی داشته، به‌طوری‌که جمعیت فعال در کودهای میکروبی RPS7 و RPS9 (تیمارهای مقاوم به دما) در زمان صفر به‌ترتیب ۴/۵ و ۴/۳ ($\times 10^5$) بوده، در ماه چهارم به‌ترتیب دارای جمعیت ۱۲/۲ و ۸/۳ ($\times 10^4$) و در ماه ششم به‌ترتیب در دارای جمعیت ۶/۵ و ۴/۳ ($\times 10^3$) بودند و علی‌رغم این که جمعیت میکروبی RPS9 و RPS7 در تیمارهای غیردمایی ۶ ماه قادر به زنده‌مانی می‌باشند ولی مشاهده گردید که در تیمارهای دمایی این زنده‌مانی عملاً به ۴ ماه کاهش می‌یابد (شکل ۷).

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس تعداد جمعیت میکروبی فعال و زنده‌مانی باکتری‌ها در زمان‌های صفر، دو ماه، چهار ماه و شش ماه پس از تلقیح
Table 4- Analysis of variance of active microbial populations and bacterial survival at zero, two, 4 and 6 months after inoculation

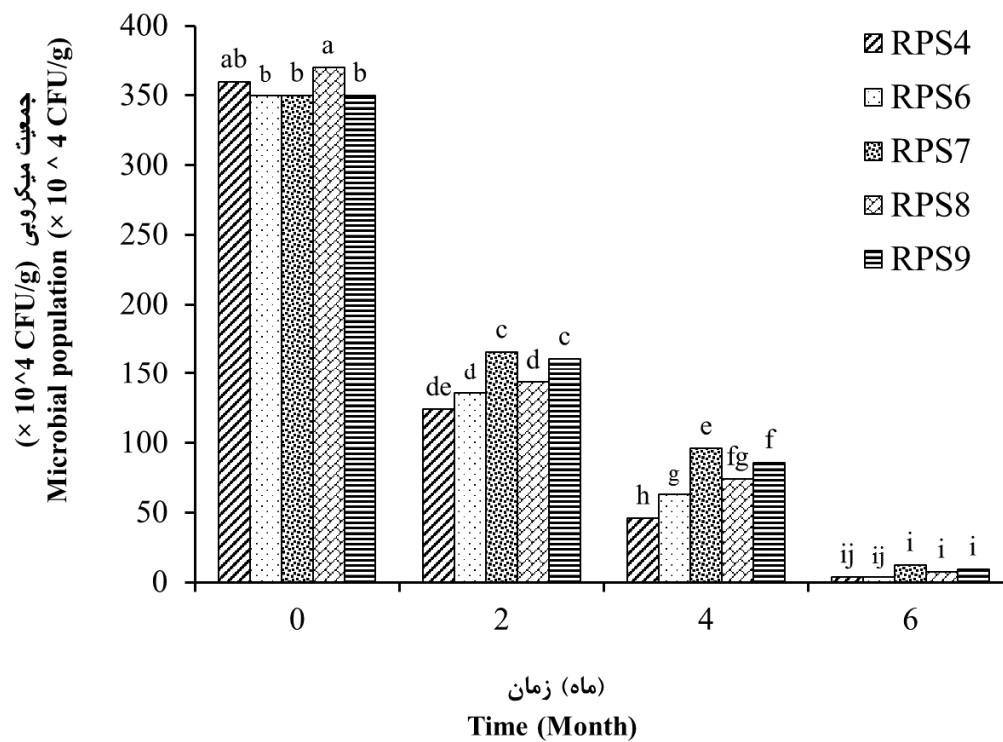
منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares
باکتری Bacteria	4	719.007**
زمان Time	3	232400.097**
باکتری * زمان Bacteria * Time	12	280.450**
خطا Error	20	3.835
ضریب تغییرات (%) (%) Coefficient of variation	11.59	

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$)
Significant at 1% level ($P < 0.01$)

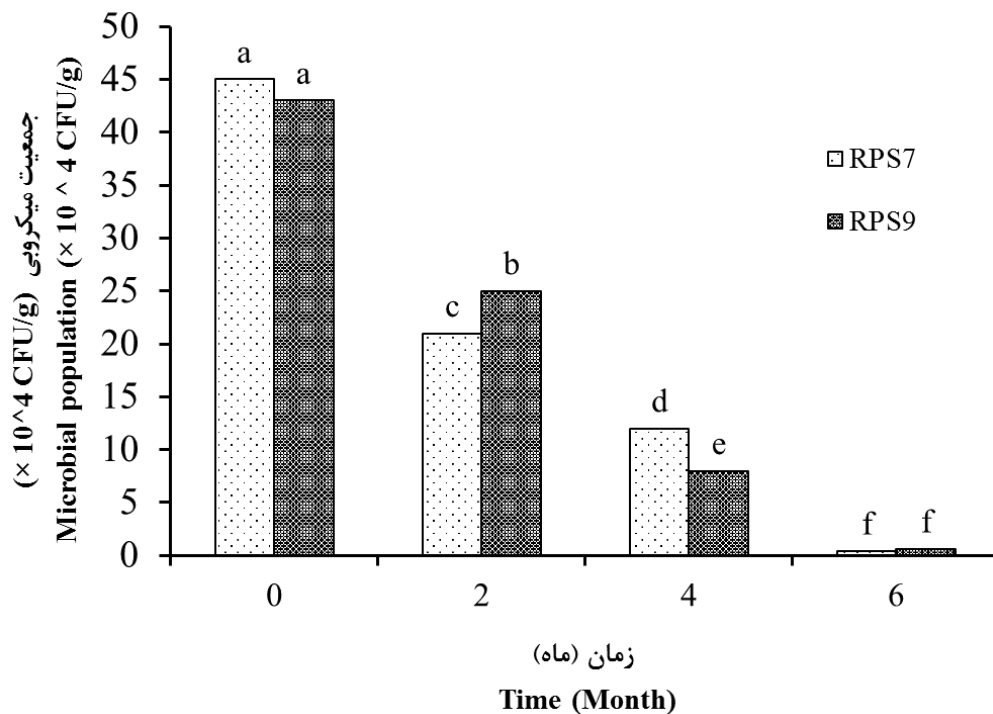


شکل ۵- جمعیت میکروبی مورد شمارش در کودهای میکروبی

Figure 5- Counting of microbial population in microbial fertilizers



شکل ۶- زنده‌مانی و شمارش جمعیت باکتری در کودهای میکروبی (بدون اعمال تیمار دمایی) در زمان‌های مختلف
Figure 6 - Viability and population counting of bacteria in microbial fertilizers (stored at room temperature, without temperature treatment) at different times



شکل ۷- زنده‌مانی و شمارش جمعیت میکروبی در کودهای میکروبی (با اعمال تیمار دمایی) در زمان‌های مختلف
Figure 7 - Viability and population counting of bacteria in microbial fertilizers (by applying temperature treatment) at different times

جنس *Pantoea* هستند. برای شناسایی گونه این باکتری‌ها از رنگ آمیزی گرم و تست‌های بیوشیمیایی استفاده گردید (جدول ۵ و ۶). نتیجه شناسایی یک باکتری جدا شده از ورمی‌کمپوست که توان حل‌کنندگی فسفات کم‌محلول از منبع تری‌کلسیم فسفات را داشت مشخص کرد که این باکتری متعلق به *Bacillus flexus* می‌باشد (۱۹).

لذا بایستی توجه شود که باکتری‌های مقاوم به دما با وجود این که در تیمار غیردمایی دارای زنده‌مانی قابل قبولی می‌باشند ولی جمعیت آن‌ها در اثر تیمار دمایی (در مرحله خشک کردن گرانول‌های کود میکروبی) بعد از چند ماه (۴ ماه) به زیر حالت استاندارد می‌رسد.

نتایج شناسایی

نتایج شناسایی مولکولی باکتری‌ها به روش 16S rRNA نشان داد که هر دو باکتری مقاوم به دما (RPS7 و RPS9) متعلق به

جدول ۵- رنگ آمیزی گرم جدایه‌ها

Table 5- Gram stain of isolates

ایزوله	نوع گرم	شکل و اندازه
Isolate	Gram type	Shape and size
RPS7	گرم منفی	کوکسی تا میله‌ای ریز
RPS9	گرم منفی	کوکسی تا میله‌ای ریز

جدول ۶- نتایج شناسایی بیوشیمیایی ایزوله‌های میکروبی بکار رفته در کودهای میکروبی

Table 6- Results of biochemical identification of microbial isolates used in microbial fertilizers

ایزوله	اکسیداز	کاتالاز	نیتрат رداکتاز
Isolate	Oxidase	Catalase	Nitrate reductase
RPS7	-	+	+
RPS9	-	+	+

نتیجه نهایی شناسایی مولکولی و بیوشیمیایی باکتری‌ها در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- نتایج شناسایی نهایی ایزوله‌های میکروبی بکار رفته در کودهای میکروبی

Table 7 - Final results of identification of microbial isolates used in microbial fertilizers

ایزوله	نتیجه شناسایی
Isolate	Identification result
RPS7	<i>Pantoea agglomerans</i> RPS7
RPS9	<i>Pantoea agglomerans</i> RPS9

نتیجه‌گیری

بررسی توانایی انحلال فسفر کم‌محلول (روش کمی و نیمه کمی) دارای نتایج مشابهی بودند. بطوری‌که در هر دو آزمایش باکتری‌های RPS4 و RPS9 از نظر انحلال فسفر دارای مقادیر بالایی نسبت به سایر باکتری‌ها و تیمار کنترل (شاهد) بودند. در شمارش جمعیت میکروبی و بررسی زنده‌مانی باکتری‌ها، نتایج بخش تیمار دمایی کودهای میکروبی فسفاتی نشان داد که از میان باکتری‌های مورد آزمایش، فقط باکتری‌های RPS9 و RPS7 قادر به تحمل تیمار دمایی اعمال شده بودند و در این شرایط زنده ماندند. در شمارش جمعیت میکروبی اولیه (زمان صفر) در دمای معمولی، همه باکتری‌های بکار رفته در بسترهای میکروبی دارای جمعیت قابل قبولی بودند و نتایج نشان داد که همه باکتری‌های مورد آزمایش بعد از چهارماه دارای جمعیتی معادل 10^5 و در ماه ششم دارای جمعیت

این آزمایش با هدف بررسی توانایی باکتری‌های بکاررفته در کودهای میکروبی از نظر انحلال فسفر کم محلول (بصورت نیمه کمی و کمی) در دو محیط کشت با منابع مختلف فسفر، شمارش جمعیت میکروبی و بررسی زنده‌مانی باکتری‌ها در مدت زمان صفر، دو ماه، چهار ماه و شش ماه بعد از تلقیح باکتری‌ها در بسترهای تولید شده انجام گرفت. نتایج بررسی‌های آزمایش انحلال فسفر کم‌محلول در شرایط نیمه کمی و کمی و در محیط اسپربر نشان داد که اولاً تفاوت معنی‌داری بین منابع مختلف فسفر توسط باکتری‌های حل‌کننده وجود دارد و انحلال بیشتر فسفر از منبع تری‌کلسیم فسفات در مقایسه با سنگ فسفات به دست آمد. ثانیاً دو روش انجام گرفته برای

با وجود اینکه تیمار RPS4 دارای بالاترین قدرت حل‌کنندگی بود ولی چون تحمل دمایی ندارد، لذا استفاده از این باکتری در این فرمولاسیون مناسب نیست زیرا ماندگاری و بقاء باکتری نامناسب است. با توجه به یافته‌های این تحقیق استفاده از باکتری حل‌کننده فسفات و مقاوم به دما *Pantoea agglomerans* RPS9 که به تازگی جداسازی و شناسایی شده است برای تولید کود میکروبی گرانوله در صنعت می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. البته ناگفته نماند که آزمایش‌های بیشتری در خصوص اثربخشی این فرمولاسیون با استفاده از این باکتری‌ها در کشت‌های گیاهی بایستی انجام گیرد تا بتوان در مورد بکارگیری این باکتری‌ها در کود میکروبی تصمیم گرفت.

۱۰^۴ بودند که بنظر می‌رسد این مدت زنده‌مانی برای باکتری‌های مورد آزمایش مطلوب می‌باشد. در شمارش جمعیت میکروبی فعال کودهای میکروبی تحت تیمار دمایی، نتایج نشان داد که جمعیت اولیه بستر میکروبی (در زمان صفر) کاهش ۱۰ برابری نسبت به بستر بدون تیمار دمایی داشته و علی‌رغم این که جمعیت میکروبی RPS9 و RPS7 در تیمارهای بدون اعمال تیمار دمایی، ۶ ماه قادر به زنده‌مانی می‌باشند ولی مشاهده گردید که در تیمارهای دمایی این زنده‌مانی عملاً به ۴ ماه کاهش می‌یابد. لذا باکتری‌های RPS9 و RPS7 با وجود این که در شرایط عادی دارای زنده‌مانی قابل قبولی می‌باشند ولی در اثر تیمار دمایی جمعیتشان بعد از ۴ ماه به زیر حالت استاندارد می‌رسد که در مرحله دمایی گرانوله کردن کود میکروبی باید به این نکته توجه کرد.

منابع

- 1- Aliasgharzad N. 1997. Microbiology and soil biochemistry (translation). First Edition. Tabriz University Press.
- 2- Bashan Y., Kamnev A.A., de Bashan L.E. 2013. A proposal for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 49:1-2
- 3- Fageria N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. USA. New York.
- 4- Goldstein A.H. 1986. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical prospective and future prospects. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1: 51-57.
- 5- Heydarian Z., and Sarikhani M.R. 1390. Growth promoting bacteria (PGPR) a promising approach to sustainable agriculture. 1th Specialized Conference on Strategies for Achieving Sustainable Agriculture. 5-6th of June, Ahvaz, Iran.
- 6- Khan M.S., Zaidi A., and Wani P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 29-43
- 7- Khoshru B. Sarikhani, M.R., and Ebrahimi M. 2017. Isolation of temperature resistant phosphate solubilizing bacteria for use in phosphatic microbial fertilizer. The 15th Congress of Soil Science. 6-8 September. Isfahan. Iran
- 8- Khoshru B., Sarikhani, M.R., and Aliasgharzad N. 2017. Application and Non-Application of Sulfur in the Formulation of *Pseudomonas fluorescens* Phosphatic Microbial Fertilizer on Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 27(3):119-136
- 9- Khoshru B., Sarikhani, M.R., Aliasgharzad N., and Zare P. 2015. Assessment the important PGPR features of isolates used in biofertilizers Barvar2, Biosuperphosphate, Supernitroplus and Nitroxin. *Applied Soil Research*, 3(1): 39-52
- 10- Khoshru B., Sarikhani, M.R., and Aliasgharzad N. 2015. Molecular and biochemical identification of the bacterial isolates used in common biofertilizers in Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 25(4.2): 13-26
- 11- Malboobi M.A., Owlia P., Behbahani M., Sarokhani E., Moradi S., Yakhchali B., Deljou A., and Morabbi Heravi K. 2009. Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. *The World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 25: 1471-1477
- 12- Matthews S., and Adzhar M.S. 2016. Application of phosphate solubilising microorganisms to increase the solubilisation of rock phosphates in soil. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 44(1), pp.9-18.
- 13- Motsara M.R., and Roy R.N. 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. Rome.
- 14- Nazery P., Kashani A., Khavazi K., and ardekani M.R. 2010. the effect of microbial bio-fertilizers containing phosphorus on the quantity and quality of white beans. National Conference of Water, Soil, Plant Science & Agricultural Machinery in IAU Dezful Branch.
- 15- Nobahar A., Sarikhani M.R., and Chalabianlou N. 2017. Buffering Capacity Affects Phosphorous Solubilization Assays in Rhizobacteria. *Rhizosphere*, 4: 119-125
- 16- Pande A., Pandey P., Mehra S., Singh M., and Kaushik S. 2017. Phenotypic and Genotypic Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria and Their Efficiency on the Growth of Maize (*Zea mays*). *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 5: 929-938
- 17- Paul E.A. 2007. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. 3ed Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier.

- 18-Rodriguez H., Fraga R., Gonzalez T., and Bashan Y. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growthpromoting bacteria. *Plant Soil*, 287: 15-21.
- 19-Saikrithika S., Krishnaswamy V.G., and Sujatha B. 2016. A Study on Isolation of Phosphate Solubilizing Bacterial (PSB) Strain from Vermicomposted Soil and Their Phosphate Solubilizing Abilities. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 7(2), pp.526-535.
- 20-Salimpur S., Khvazi K., Nadian H., and Miransari M. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) Using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Australian Journal of Crop Science*, 4(5):330-334.
- 21-Sarikhani M.R., Khoshru B., and Oustan S. 2016. Efficiency of Some Bacterial Strains in Potassium Release from Mica and Phosphate Solubilization under In Vitro Conditions. *Geomicrobiology Journal*, 33(9).832-838.
- 22-Selvi K.B., Paul J.J.A., Vijaya V., and Saraswathi K. 2017. Analyzing the Efficacy of Phosphate Solubilizing Microorganisms by Enrichment Culture Techniques. *Biochemistry & Molecular Biology Journal*.
- 23-Shakeela S., Padder S.A., and Bhat Z.A, 2017. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria associated with medicinal plant *Picrorhiza Kurroa*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), p.157.
- 24-Son H.J., Park G.T., Cha M.S., and Heo M.S. 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novelsalt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. *Bioresource Technology*, 97: 204-210.
- 25-Soltani E.A., Salehrastin N., Khavazi K., Asadi Rahmani H., and Abbaszadeh P. 2008. Separating and study of plant growth promoting (PGP) in some *Pseudomonas fluorescent* native Iranian soil. *Journal of Soil and Water Sciences*, 21(2): 278.
- 26-Sperber J.I. 1958. Solution of apatite by soil microorganisms producing organic acids. *Australian Journal of Agricultural Research*, 9: 782-787.
- 27-Zhang J., Wang P., Fang L., Zhang Q.A., Yan C. and Chen J. 2017. Isolation and Characterization of Phosphate-Solubilizing Bacteria from Mushroom Residues and their Effect on Tomato Plant Growth Promotion. *Polish Journal of Microbiology*, 66(1), pp.57-65.



Isolation and Identification of Temperature Resistant Phosphate Solubilizing Bacteria for Use in Phosphatic Microbial Fertilizer

B. Khoshru¹ - M.R. Sarikhani^{2*}

Received: 10-10-2017

Accepted: 17-01-2018

Introduction: Application of chemical and organic carrier and its integration with useful microorganisms including phosphate solubilizing bacteria (PSB) has facilitated production of phosphate microbial fertilizers (PMFs), which are used in granular or powder form. One of the major limitation of these biofertilizers is decline or loss of PSB viable cell in the granule preparation process. Accordingly, in this study, isolation of temperature resistant phosphate solubilizing bacteria was performed and temperature tolerance and ability to dissolve phosphate from rock phosphate (RP) and tricalcium phosphate (TCP) sources were evaluated.

Materials and Methods: Firstly, each soil samples incubated for 16 hours at 55 °C, then dilution series were prepared and 100 µl of four final dilutions (10⁻⁶, 10⁻⁷, 10⁻⁸, and 10⁻⁹) were used to spread on Sperber solid medium. After spreading the microbial suspensions from the dilutions in the Sperber solid culture medium and the appearance of colonies, screening based on the resistance to soil temperature treatment and, subsequently, the ability to grow in a solid Sperber solid medium and dissolution of low solubility phosphate (formation of transparent halo), was done to isolate PSB. In order to prepare PMF, each of screened PSB were cultured in NB, and then 1 ml of overnight culture was mixed with 9 ml sterile distilled water and added to the basal formulation of rock phosphate (45 g), bagasse (30 g) and sulfur (15 g) with initial temperature of 20 °C. Temperature treatments (55 °C for 16 hours) of bacteria were performed in three steps: a) on sampled soils, b) pure-culture of bacteria and c) bacteria added to the carrier. Microbial population in provided microbial fertilizer was counted in two ways a) half of the microbial fertilizer was kept at normal temperature by maintaining the initial conditions, b) another half after the temperature applied (55 °C for 16 hours). The semi-quantitative and quantitative test of insoluble inorganic phosphate solubility was performed by isolates in solid and liquid Sperber medium. The 16S rRNA molecular method was used to identify the isolated bacteria by general primers 27F and 1492R.

Results and Discussion: Five bacteria (RPS4, RPS6, RPS7, RPS8, RPS9) out of nine isolated bacteria were able to solubilize mineral phosphate (TCP and RP) but only two isolates (RPS7 and RPS9) were resistant to temperature (55 °C for 16 h). In tricalcium phosphate medium, the RPS9 and RPS7 bacteria had a high ability to solubilize insoluble inorganic phosphate with average of 2.60 and 2.27 for a ratio of (HD / CD) after 12 days, respectively. There was no halo in Sperber medium containing rock phosphate. The amount of solution in the quantitative methods was also obtained to be 563.8 and 324.1 mg / l for RPS9 and RPS7 bacteria, respectively. The prepared microbial fertilizer was counted in two ways (a): half of the sample fertilizer was kept at normal temperature by maintaining the initial conditions; (b): after the maintaining temperature at 55 °C for 16 hours, the population of other half was determined. During counting the initial microbial population (zero time) at normal temperature, all bacteria used in microbial carrier had an acceptable population. During examining the population of microbial in the initial carrier, RPS4, RPS6, RPS7, RPS8 and RPS9 bacteria were 3.6, 3.5, 3.6, 3.5, 3.6 and 3.5 (×10⁶ CFU/g), respectively. After 4 months the populations were 4.6, 6.3, 9.6, 7.4 and 8.6 (×10⁵) and in the 6th month, the populations were 3.9, 3.8, 12.3, 4.7 and 9.2 (×10⁴) seeming to be favorable for the tested bacteria. It seems that this survival time for the tested bacteria is desirable. During counting active population of temperature treated microbial fertilizers, the initial population of the microbial carrier (at zero time) decreased 10 times with respect to the non-treated carrier. Active population of RPS9 and RPS7 (temperature-resistant treatments) in the zero time was 4.5 and 4.3 (×10⁵), respectively. Although the RPS9 and RPS7 microbial populations were able to survive in non- temperature treatments for 6 months, it was observed that in the treatment, this viability practically reduced to 4 months. Molecular identification of the isolates RPS7 and RPS9 revealed that they belonged to *Pantoea agglomerans*.

1 and 2- PhD Student and Associate Professor of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

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

Conclusions: According to the findings of this research, using phosphate solubilizing bacteria and temperature resistant *Pantoea agglomerans* RPS9, recently isolated and identified, can be considered to industrially produce granular microbial fertilizers. It is worth mentioning that further studies are required to be carried out on the effectiveness of this formulation with these bacteria in farms.

Keywords: Formulation of microbial fertilizers, PGPR, Thermal tolerance, Viability



کارایی بنتونیت و شلتوک برنج طبیعی و اصلاح شده در ناپویاسازی کادمیم و پیامد آن بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک

سمانه عبدالرحیمی^۱ - نسرين قربانزاده^{۲*} - حسن رمضانپور^۳ - محمد باقر فرهنگي^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰

چکیده

افزایش فعالیت‌های کشاورزی و به دنبال آن رهاسازی آلاینده‌ها از سامانه‌های کشاورزی و همچنین گسترش صنایع سبب ورود یون‌های فلزهای سنگین از جمله کادمیم به محیط زیست می‌شود. کاربرد جاذب‌ها از روش‌های مناسب برای ناپویاسازی فلزهای سنگین در خاک‌های آلوده می‌باشند. این پژوهش با هدف بررسی پیامد جاذب‌های طبیعی و اصلاح شده در ناپویاسازی کادمیم در خاک آلوده و پیامد آن بر برخی ویژگی‌های زیستی و شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل بنتونیت (B)، بنتونیت اصلاح شده با آهن (B-Fe)، بنتونیت اصلاح شده با منگنز (B-Mn)، بنتونیت اصلاح شده با آهن و منگنز (B-Fe Mn)، شلتوک برنج (RH)، شلتوک برنج اصلاح شده با اسید فسفریک (RH-P)، هر کدام در دو سطح ۲ و ۵ درصد و تیمار شاهد بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تنفس پایه میکروبی و فعالیت آنزیم فسفاتاز در تیمار RH-P 5% به ترتیب به ۲/۶ و ۲/۲۵ برابر تیمار شاهد رسید. تنفس برانگیخته با سوسترا و فعالیت آنزیم اوره‌آز در تیمار RH-P 5% بیشترین مقدار بود. فعالیت آنزیم دهیدروژناز نیز در تیمارهای RH-P 5% و B-FeMn 2 و 5% بیشترین مقدار را نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که مقدار کادمیم محلول و تبدیلی با افزودن جاذب‌ها کاهش یافت و در تیمار RH-P 5% نسبت به شاهد ۲/۵ برابر کاهش مشاهده شد. شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک نیز که از شاخص‌های سلامت و کیفیت خاک می‌باشند در حضور جاذب‌ها بهبود یافتند، به گونه‌ای که سهم متابولیک در تیمارهای همراه با جاذب بنتونیت و شلتوک برنج بیشترین مقدار بود. بنابراین کاربرد جاذب‌ها می‌تواند یکی از راه کارهای مدیریتی موثر برای ناپویاسازی کادمیم و بهبود شرایط زیستی خاک باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم اوره‌آز، تنفس میکروبی، جاذب، شاخص اکوفیزیولوژیک

مقدمه

مطرح می‌باشد. بنابراین برای مهار آسیب‌های زیست‌محیطی ایجاد شده از روش‌های مختلف پالایش منابع آب و خاک بهره‌گیری می‌شود. کادمیم از جمله عناصر پرخطر محسوب می‌شود که از طریق پساب‌های صنعتی صنایع باتری‌سازی، باتری‌های قابل شارژ و نیمه‌هادی‌ها وارد محیط زیست شده و می‌تواند در بدن ماهی‌ها و دیگر موجودات آبی، گیاهان و دام‌ها تجمع یافته و به بدن انسان انتقال یابد (۳۹). بنابراین پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم در راستای سلامتی انسان، امری بسیار مهم و اجتناب‌ناپذیر است. فرآیندهای گوناگونی مانند رسوب شیمیایی، تبادل یونی و اسمز معکوس برای حذف فلزهای سنگین گزارش شده‌اند که مشکل اساسی این روش‌ها پرهزینه بودن آن‌ها است (۲۵). یکی از روش‌های پالایش خاک‌های آلوده، تثبیت یا ناپویاسازی آلاینده‌ها در خاک توسط جاذب‌ها است. در این روش غلظت کل آلاینده در خاک تغییر نمی‌کند، بلکه تنها بخش فعال آلاینده در خاک کاهش می‌یابد (۱۹).

زیست‌بوم‌های مختلف پیوسته با مقادیر زیادی از مواد شیمیایی پرخطر با ساختارها و سطوح مختلف سمیت آلوده می‌شوند. بنابراین سلامت انسان با مصرف غذا و آب آلوده در معرض خطر قرار می‌گیرد. فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی انجام شده توسط بشر و بقایای ناشی از جنگ‌افزارها از منابع عمده آلودگی می‌باشند (۲۹). افزایش فعالیت‌های کشاورزی که جهت برآورده کردن نیازهای افزایش جمعیت می‌باشد رهاسازی آلاینده‌ها از سامانه‌های کشاورزی را سبب می‌شود که به عنوان یکی از عوامل افت کیفیت و سلامت خاک و آب

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

(*) - نویسنده مسئول: (Email: nasrin.ghorbanzadeh@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.67895

شلتوک برنج ساختار سطحی نامنظم و متخلخل پیدا می‌کند. منافذ باز و حفره مانند روی سطح شلتوک برنج اصلاح شده با اسید فسفریک ورود آلودگی را به داخل حفره‌های آن تسهیل و سرعت جذب را افزایش می‌دهد. این پژوهشگران همچنین بیان کردند که طیف‌سنجی فلوروسانس پرتو ایکس^۵ شلتوک برنج تیمار شده با اسید فسفریک افزایش نسبی در مقدار عناصر سدیم، سیلیسیم و فسفر و کاهش در مقدار عناصر پتاسیم و کلسیم در مقایسه با شلتوک برنج طبیعی دارد. برای حذف آلودگی فلزهای سنگین از آب‌های آشامیدنی، جاذب شلتوک برنج اصلاح شده با اسید فسفریک بهتر از نوع اصلاح نشده گزارش شده زیرا جاذب‌های اصلاح نشده می‌توانند مشکلات بیشتری مانند گنجایش جذب پایین و بالا بودن اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و بیوشیمیایی (BOD) ایجاد کنند (۳۸). بنابراین با توجه به فراوانی شلتوک برنج به عنوان یک محصول فرعی در کشاورزی و هزینه اندک تهیه آن به خصوص در استان گیلان و همچنین فراوانی کانی رسی بنتونیت در ایران، این پژوهش با هدف کاهش مقدار کادمیم در فاز محلول و تبدیلی خاک آلوده در شرایط آزمایشگاهی در حضور این دو جاذب طراحی و اجرا شد. با توجه به این که ویژگی‌های زیستی خاک شاخصی از سلامت و کیفیت خاک می‌باشند، و به سرعت به تغییرها و تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند و از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی حساس‌ترند، در این پژوهش پس از اعمال جاذب‌ها به بررسی برخی ویژگی‌های زیستی و شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک پرداخته شد تا پیامد حذف آلودگی بر سلامت خاک نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. فرض شد که با اصلاح بنتونیت به وسیله آهن و منگنز و همچنین شلتوک برنج با اسید فسفریک که جاذب‌های قوی برای کادمیم محسوب می‌شوند، می‌توان کادمیم را از بخش قابل دسترس خاک خارج کرده و ویژگی‌های زیستی خاک را بهبود بخشید.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی جاذب‌ها

کانی بنتونیت از شرکت زرین‌خاک قاین مشهد تهیه و به منظور حصول اطمینان از خلوص آنبا دستگاه پراش سنج پرتو ایکس^۶ (زیمنس مدل D5000) آنالیز شد. به منظور اصلاح رس بنتونیتو تهیه^۳ نوع بنتونیت اصلاح شده با آهن، منگنز و آهن- منگنز، در ابتدا بنتونیت خام به مدت ۲۴ ساعت رتاس با محلول ۰/۳ مولار کلرید سدیم (نسبت ۱ به ۶/۵ فاز جامد به مایع) قرار گرفت. فاز جامد توسط سانتریفیوژ در ۴۰۰۰rpm و به مدت ۱۰ دقیقه از فاز مایع جدا و دردمای ۸۰ درجه

در میان مواد جاذب، کانی‌های رسی مختلف برای ناپویاسازی فلزها در خاک کاربرد دارند. بنتونیت به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد مانند سطح ویژه بسیار بالا، هزینه کم تهیه و دسترسی آسان و گنجایش تبادل کاتیونی بالا به عنوان ماده‌ای موثر جهت جذب فلزهای سنگین در خاک‌های آلوده شناسایی شده است (۱۵).

رس‌های اصلاح شده نسبت به رس‌های طبیعی آب‌گریز بوده و به عنوان جاذب‌های بسیار خوب برای جذب انواع مختلف های آلی و غیرقطبی شناخته شده‌اند (۱۰). اصلاح ویژگی‌های کیفی رس‌ها با دو روش جانمایی^۱ که از مهم‌ترین مراحل پیلارد^۲ کردن رس است و فعال‌سازی با اسید انجام می‌شود. جانمایی، وارد کردن یک گونه‌ی مهمان در فضای بین لایه‌ای کانی رسی با حفظ ساختار آن است. رس‌های پیلارد شده با اکسیدهای فلزی به دلیل بالا بودن پایداری حرارتی، سطح ویژه‌ی بالا و فعالیت کاتالیستی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. واژه‌های جانمایی و پیلارد کردن مترادف و هم‌معنی هم به کار می‌روند. اگرچه به نظر می‌رسد که رس‌های جانمایی شده پایداری کمتری دارند. در حالی که رس‌های پیلارد شده به سبب تشکیل در شرایط دمایی بالا و ایجاد ستون‌هایی در فضای بین‌لایه‌ای آن‌ها پایداری بیشتری دارند (۷ و ۳۱).

تیمار کانی‌های رسی با اسیدهای غیرآلی نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این تیمارها اغلب می‌توانند کاتیون‌های تبدیلی را با یون‌های H^+ و Al^{3+} و دیگر کاتیون‌های موجود در هر دو مکان‌های هشت وجهی و چهار وجهی جایگزین کنند (۷). کانی رسی بنتونیت خام دارای ویژگی قلبیایی بوده و با اصلاح این کانی با آهن سه ظرفیتی ویژگی اسیدی به خود می‌گیرد (۹).

علاوه بر کانی‌های رسی، منابع ارزان و قابل دسترس طبیعی دیگر نیز از جمله کربن فعال، زغال سنگ، کک، چوب، ساقه گیاه آفتابگردان و شلتوک برنج^۳ برای حذف کادمیم و دیگر فلزهای سنگین و سمی از محلول‌های آبی مناسب گزارش شده‌اند (۱). شلتوک برنج به طور عمده از پروتئین خام (۳۰٪)، لیگنین (۲۰٪)، همی سلولز (۲۵٪) و سلولز (۳۵٪) تشکیل شده است، که به دلیل داشتن چندین گروه عامل، سیلیکات آمورف و ساختار فیبری برای تثبیت کاتیون‌های فلزی مانند سرب و مس دو ظرفیتی مناسب می‌باشد (۳۵). ژانگ و همکاران (۴۰) گزارش نمودند که تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ شلتوک برنج طبیعی و اصلاح شده با اسید فسفریک تفاوت‌هایی را دارا هستند. در سطح شلتوک برنج طبیعی ساختمان منظم وجود دارد که بعد از اصلاح با تیمار اسیدی،

1- Intercalation

2- Pillaring

3- Rice Husk

4- Scanning electron micrographs

5- X-Ray fluorescence

6- X-Ray Diffraction

گلخانه‌ای (دمای حدود ۲۵-۲۴ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. پس از طی زمان انکوباسیون ویژگی‌های زیستی خاک شامل تنفس میکروبی پایه (۳)، تنفس برانگیخته با سوبسترا (۲)، کربن زیست‌توده میکروبی از روش گازدهی با کلروفرم (تدخین- انکوباسیون) (۱۷) در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم دهیدروژناز خاک به روش اندازه‌گیری تغییر شکل سوبسترای ۳،۵-تری فیل تترازولیم کلراید به ۵، ۱-۲ تری فیل فورمازان (۳۳)، فعالیت آنزیم فسفاتاز به روش رنگ‌سنجی p- نیتروفنل (۳۲) و فعالیت آنزیم اوره‌از به روش تعیین آمونیوم با روش تقطیر بخار (۲۳) در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سهم متابولیکی (qCO_2)، از تقسیم تنفس پایه (مقدار CO_2-C به دست آمده از یک روز تنفس میکروبی بر حسب میلی گرم در کیلوگرم خاک) بر مقدار کربن زیست توده میکروبی محاسبه شد (۲). قابلیت دسترسی به کربن از تقسیم تنفس پایه (مقدار CO_2-C به دست آمده از یک روز تنفس میکروبی بر حسب میلی گرم در کیلوگرم خاک در روز) بر تنفس بر انگیخته با سوبسترا (مقدار CO_2-C به دست آمده بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم خاک در روز) محاسبه شد (۱۱). سهم میکروبی نیز از تقسیم کربن زیست توده میکروبی به کربن آلی خاک به دست آمد که شاخص مناسبی از وضعیت توزیع کربن فعال خاک بین بخش زنده و غیر زنده است و کیفیت کربن خاک را بیان می‌کند (۳).

آنالیز آماری

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل بنتونیت (B)، بنتونیت اصلاح شده با آهن (B-Fe)، بنتونیت اصلاح شده با منگنز (B-Mn)، بنتونیت اصلاح شده با آهن و منگنز (B-Fe Mn)، شلتوک برنج (RH)، شلتوک برنج اصلاح شده با اسید فسفریک (RH-P) هر کدام در دو سطح ۲ و ۵ درصد تیمار شاهد (C) بودند. نتایج به دست آمده از تمامی آزمایش‌ها در بخش‌های مختلف با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی با یکدیگر با آزمون توکی در سطح ۵ درصد انجامو برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. مقدار شن، سیلت و رس خاک مورد آزمایش به ترتیب ۶۳/۱۵، ۲۱/۵ و ۱۵ درصد بود. مقدار کادمیم کل در این خاک توسط دستگاه جذب اتمی به روش شعله قابل تشخیص نبود. برخی از ویژگی‌های شیمیایی دو جاذب بنتونیت و شلتوک برنج در جدول ۲ نشان داده شده است.

سلسیوس خشک شد. سپس رس اشباع شده با کلرید سدیم به مدت ۲۴ ساعت در تماس با محلول‌های یک مولار کلرید آهن ($6H_2O.FeCl_3$)، کلرید منگنز ($MnCl_2.6H_2O$) و مخلوط (۱:۱) آن‌ها ($MnCl_2.6H_2O + FeCl_3.6H_2O$) قرار گرفت (نسبت ۱ به ۶/۵ فاز جامد به مایع) و بر روی شیکر دوار قرار داده شد و سپس با سانتریفوژ کردن فاز جامد از مایع جدا شد. فاز جامد جدا شده با آب مقطر شستشو داده شد و این فرآیند تا حذف کامل کلرید ادامه یافت. سپس فاز جامد در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شد و به منظور همگن‌سازی از الک ۰/۰۷ میلی‌متر عبور داده شد (۱۸).

شلتوک برنج از شالی کوبی واقع در شهرستان رودسر تهیه و پس از خرد شدن از الک ۰/۲ میلی‌متر عبور داده شد. به منظور رفع آلودگی‌های احتمالی، شلتوک برنج چندین بار با آب مقطر شسته و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت خشک و نگهداری گردید (۱). برای تهیه شلتوک برنج اصلاح شده، به ۵ گرم از شلتوک خشک شده، ۵۰۰ میلی‌لیتر از محلول یک مولار H_3PO_4 افزوده شد و در دمای آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر (۱۵۰ rpm) قرار داده شد. سپس مخلوط از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد و بخش جامد با آب مقطر تا ثابت شدن pH به ۶/۸ شستشو داده شد. پس از شستشو، جاذب اصلاح شده در آون (دمای ۸۰ درجه سلسیوس) به مدت ۴ ساعت خشک و در دمای آزمایشگاه در ظروف در بسته نگهداری شد (۴۰).

برخی از ویژگی‌های جاذب‌های بنتونیت و شلتوک برنج شامل pH (۲۸)، گنجایش تبادل کاتیونی با روش استات آمونیوم (۲۶) و کربن آلی شلتوک برنج به روش اکسیداسیون تر (۶ و ۲۷) اندازه‌گیری شدند.

آماده‌سازی و آلوده کردن نمونه‌های خاک

یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از بخش کلاچای شهرستان رودسر استان گیلان نمونه‌برداری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه و هوا خشک کردن، برای آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۵)، pH و EC (در عصاره‌ی اشباع) (۲۸)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۶ و ۳۷)، گنجایش تبادل کاتیونی با روش استات آمونیوم (۲۶) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱۶) اندازه‌گیری شدند. خاک هوا خشک با پودر نمک کلرید کادمیم ($CdCl_2.5H_2O$) به مقدار ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آلوده شد. خاک آلوده به کادمیم با نسبت‌های ۲ درصد و ۵ درصد از هر یک از جاذب‌های بنتونیت و شلتوک برنج طبیعی و اصلاح شده، همراه با خاک شاهد (بدون تیمار با بنتونیت و شلتوک برنج طبیعی و اصلاح شده) به مدت ۲ ماه در گلدان‌های پلاستیکی در شرایط رطوبت معادل ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و در شرایط ثابت

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده
Table1- Some physical and chemical characteristics of the study soil

بافت texture	کربنات‌های کلسیم معادل Calcium carbonates equivalent (g.Kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (g.Kg ⁻¹)	کادمیم کل Total cadmium (mg.Kg ⁻¹)	گنجایش تبادل کاتیونی Cationexchange capacity (CEC) (cmol _c .Kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ECe) (μS.cm ⁻¹)	بی‌اچ (pH)	ویژگی‌های خاک Soil characteristics
Sandy loam	100	19.8	ND	33.32	580	7.5	

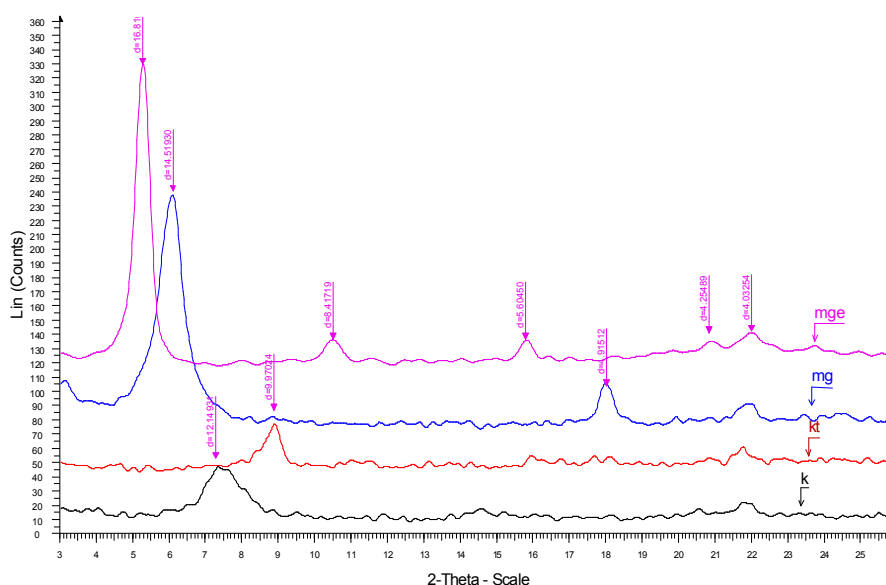
ND (Not Determined): غیر قابل تشخیص توسط دستگاه جذب اتمی

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی جاذب‌ها
Table 2- Some chemical characteristics of adsorbents

کربن آلی Organic carbon (g.Kg ⁻¹)	گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) Cation exchange capacity (cmol _c .kg ⁻¹)	بی‌اچ (pH)	ویژگی جاذب Adsorbent characteristics
-	83.11	8.34	بنتونیت Bentonite
468	15.40	5.30	شلوک برنج Rice husk

بنتونیت خالص است که ماده اصلی آن مونت‌موریلونیت بوده و همچنین دارای مقاداری رس‌های دیگر نیز به صورت ناخالصی می‌باشد (۸ و ۲۴).

شکل ۱ طیف‌های XRD بنتونیت طبیعی را نشان می‌دهد. چنانچه در شکل ۱ نشان داده می‌شود با توجه به قله ۱۶/۸ در تیمار Mge و شدت آن در این تیمار می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۹۵٪



شکل ۱- طیف‌های XRD بنتونیت طبیعی. Mge: تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، Mg: تیمار اشباع با منیزیم، Kt: تیمار اشباع با پتاسیم در

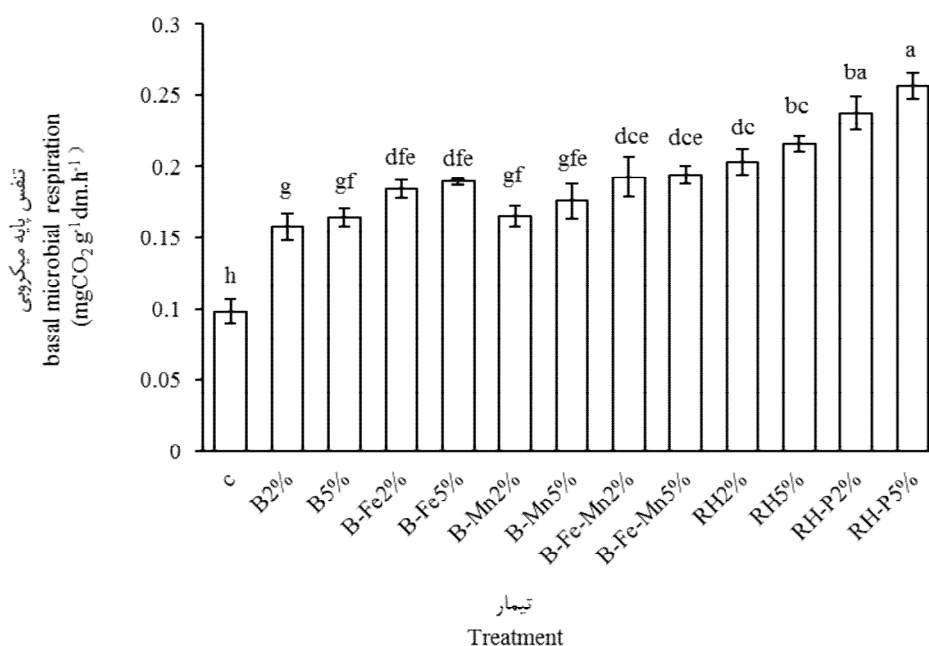
حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس، K: تیمار اشباع با پتاسیم

Figure 1- XRD spectra of natural bentonite. Mge: Mg and ethylene glycol-saturated, Mg: Mg-saturated, Kt: K-saturated at 550°C, and K: K-saturated treatments

ویژگی‌های زیستی خاک

وسيله‌ی مقدار ماده‌ی آلی خاک و شدت فعالیت‌های زیستی قابل توجیه است. به عبارت دیگر، تجمع مواد آلی بیشتر در خاک بر جمعیت‌های میکروبی خاک نیز اثر می‌گذارد و سبب افزایش پتانسیل فعالیت‌های میکروبی در خاک می‌شود (۱۳). از این رو افزودن شلتوک برنج به خاک سبب افزایش کربن آلی شده و فعالیت‌های میکروبی خاک را افزایش داده است. بنابراین، مقدار تنفس خاک با افزودن جاذب شلتوک برنج بالا رفته است. اندرسون (۴) تنفس پایه میکروبی یا معدنی شدن کربن آلی خاک را شاخص مهمی در ارزیابی فعالیت جمعیت میکروبی کل خاک عنوان کرد. این شاخص نه تنها بیانگر وضعیت فعالیت میکروبی خاک است، بلکه مشخص‌کننده‌ی روند تعادل و چگونگی تجزیه‌ی ماده‌ی آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه‌ی برخی عناصر غذایی در خاک نیز می‌باشد. از این رو در خاک شاهد به دلیل تجمع بیشتر غلظت کادمیم فعالیت جمعیت میکروبی کل خاک و در نتیجه‌ی آن تنفس پایه‌ی خاک نیز مقدار کمتری را نشان می‌دهد.

مقدار تنفس پایه میکروبی پس از گذشت ۲ ماه انکوباسیون در خاک آلوده به کادمیم در تیمارهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. افزودن بنتونیت و همچنین بنتونیت اصلاح شده به خاک آلوده به کادمیم سبب افزایش تنفس پایه نسبت به تیمار شاهد شد و مقدار افزایش تنفس با افزایش سطح ماده جاذب اگرچه بیشتر بود اما تفاوت چشم‌گیری ($P > 0.05$) نشان نداد. افزودن بنتونیت اصلاح شده با مخلوط اکسید آهن و منگنز به عنوان جاذب آلودگی سبب بهبود مقدار تنفس میکروبی پایه در خاک آلوده شده است. در مقایسه دو جاذب با یکدیگر، پیامد جاذب شلتوک برنج به ویژه شلتوک اصلاح شده با فسفر بر بهبود تنفس میکروبی خاک بیشتر بود و در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت آماری چشم‌گیری ($P \leq 0.05$) داشت. به طوری که تنفس پایه میکروبی در تیمار RH-P 5% به ۲/۶ برابر تیمار شاهد رسید. افزایش تنفس میکروبی در تیمارهای مختلف تا حد زیادی به



شکل ۲- پیامد تیمارهای مختلف بر مقدار تنفس میکروبی پایه در خاک آلوده به کادمیم. بودن حداقل یک حرف مشترک در روی ستون‌ها در تمامی شکل‌ها نشان دهنده نبود تفاوت آماری چشم‌گیر در سطح ۵٪ است. نوارهای خطا انحراف از معیار می‌باشند (n=3)

Figure2- Effect of different treatments on basal microbial respiration in cadmium contaminated soil.

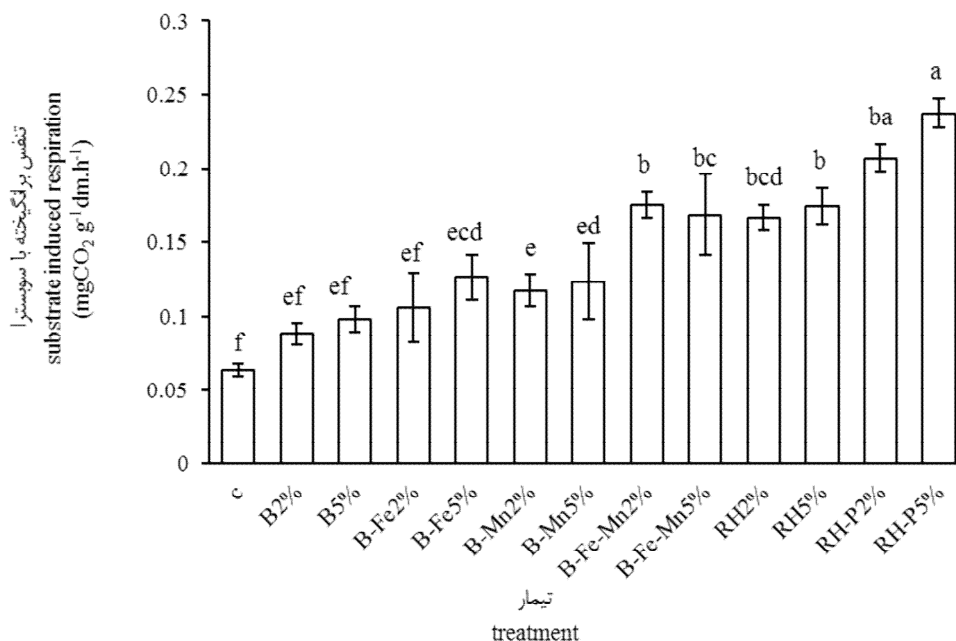
In all figures, different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ (Tukey method) and error bars are deviations from the criteria (n=3)

برنج به خاک آلوده و کم شدن غلظت آلودگی و در نتیجه‌ی آن افزایش جمعیت فعال میکروبی خاک در تیمارهای مذکور مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا افزایش یافت. مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا در تیمارهای ۵٪ و RH-P2 بیشترین مقدار را داشت و با تیمار شاهد

در شکل ۳ مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا در خاک آلوده در حضور تیمارهای مختلف نشان داده شده است. تنفس برانگیخته (ناشی از سوبسترا) شاخص بسیار مهمی از جمعیت فعال میکروبی خاک است (۴) و به همین دلیل با افزودن جاذب‌ها به ویژه شلتوک

دیده شد که اصلاح با بنتونیت و شلتوک برنج سبب افزایش فعالیت ریزجانداران خاک شد. لندی و همکاران (۲۲) گزارش کردند که فلزهای سنگین با ایجاد کمپلکس با سوبسترای مورد نیاز آنزیم‌ها و خارج نمودن سوبسترا از دسترس ریزجانداران، سبب کاهش تنفس خاک می‌شوند. بیشتر بودن مقادیر تنفس میکروبی برانگیخته با سوبسترا احتمالاً به این دلیل است که تیمار شلتوک برنج کادمیم بیشتری را به عنوان عامل محدود کننده متابولیسم میکروبی جذب و ناکارآمد کرده و لذا تنفس برانگیخته افزایش یافته است.

تفاوت آماری چشم‌گیری ($P \leq 0.05$) را نشان داد. مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا در تیمارهای B2% و B5% و همچنین در تیمار B-Fe2% اگرچه نسبت به تیمار شاهد مقدار بیشتری داشت ولی تفاوت آماری چشم‌گیری ($P > 0.05$) را نشان نداد. از آن‌جا که تنفس پایه ممکن است افزون بر آلودگی خاک تحت تاثیر عوامل دیگر مانند ماده آلی خاک نیز باشد، تنفس برانگیخته با سوبسترا بهتر می‌تواند پیامد تیمارها بر پویایی جامعه میکروبی خاک را نشان دهد. بنابراین با افزودن ماده ساده تجزیه شونده مانند گلوکز به خاک آلوده،



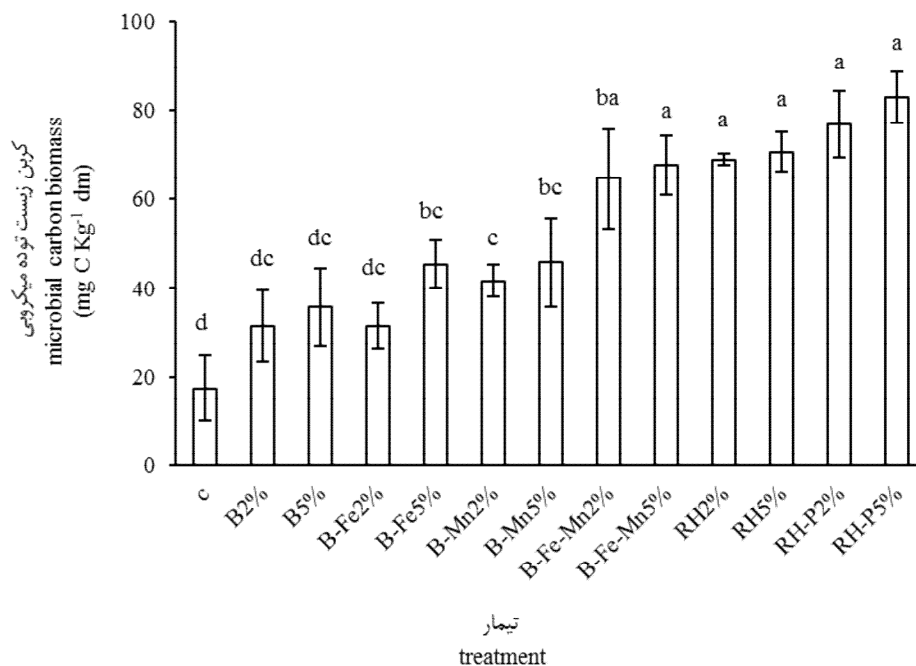
شکل ۳- پیامد تیمارهای مختلف بر مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا در خاک آلوده به کادمیم

Figure3- Effect of different treatments on substrate induced respiration in cadmium contaminated soil

این دلیل باشد که هر قدر کربن آلی خاک بالا باشد شرایط مناسب‌تری برای ریزجانداران فراهم شده و زیست‌توده میکروبی خاک نیز افزایش می‌یابد (۱۴).

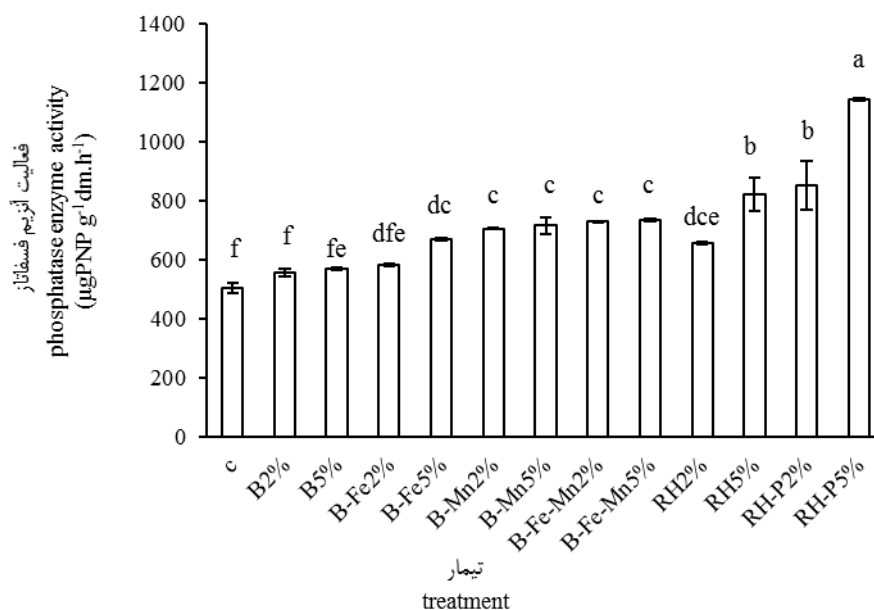
مقدار فعالیت آنزیم فسفاتاز در تیمار RH-P5% بیشترین مقدار بود و نسبت به تیمار شاهد ۲/۲۵ برابر افزایش نشان داد (شکل ۵). همچنین فعالیت این آنزیم در تیمارهای B2% و B5% و B-Fe 2% اگرچه نسبت به شاهد بیشتر بود ولی تفاوت آماری چشم‌گیری ($P > 0.05$) با آن نشان نداد (شکل ۵). به طور کلی مقدار آنزیم فسفاتاز در تیمار شاهد به دلیل دارا بودن آلودگی بیشتر نسبت به تیمارهای همراه با بنتونیت و شلتوک برنج کمتر بود و تیمارهای بنتونیت و شلتوک برنج به خصوص تیمارهای اصلاح شده سبب بهبود فعالیت این آنزیم در خاک شده است.

کربن زیست‌توده میکروبی خاک کارکرد ویژه‌ای در تجزیه مواد آلی، چرخه عناصر و پایداری زیست‌بوم دارد و به غلظت آلاینده‌ها در خاک حساس است (۳۰). کربن زیست‌توده میکروبی در تمامی تیمارها به جز تیمارهای B2% و B5% و B-Fe2% اختلاف افزایشی چشم‌گیری را با تیمار شاهد نشان داد (شکل ۴) که دلیل این امر می‌تواند جذب کادمیم توسط جاذب‌ها و همین‌طور بهبود شرایط خاک برای افزایش رشد میکروب‌ها باشد. کاظم‌علیلو و رسولی صدقیانی (۲۱) نیز گزارش نمودند که کربن زیست‌توده میکروبی در حضور غلظت‌های مختلف کادمیم در خاک کاهش یافت اما مقدار کاهش زیست‌توده میکروبی در رازوسفر به دلیل بهبود شرایط برای رشد میکروب‌ها کمتر بود. افزودن شلتوک برنج طبیعی و اصلاح شده پیامد مثبت بیشتری نسبت به سایر تیمارها نشان داد که این امر می‌تواند به



شکل ۴- پیامد تیمارهای مختلف بر مقدار کربن زیست توده میکروبی در خاک آلوده به کادمیم

Figure 4- Effect of different treatments on microbial carbon biomass in cadmium contaminated soil

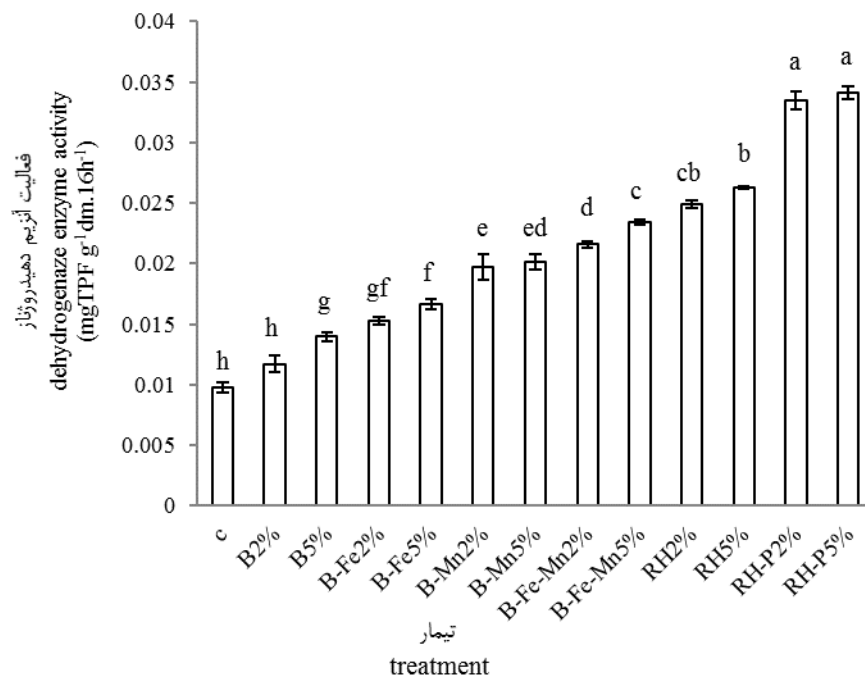


شکل ۵- پیامد تیمارهای مختلف بر فعالیت آنزیم فسفاتاز در خاک آلوده به کادمیم

Figure 5- Effect of different treatments on phosphates enzyme activity in cadmium contaminated soil

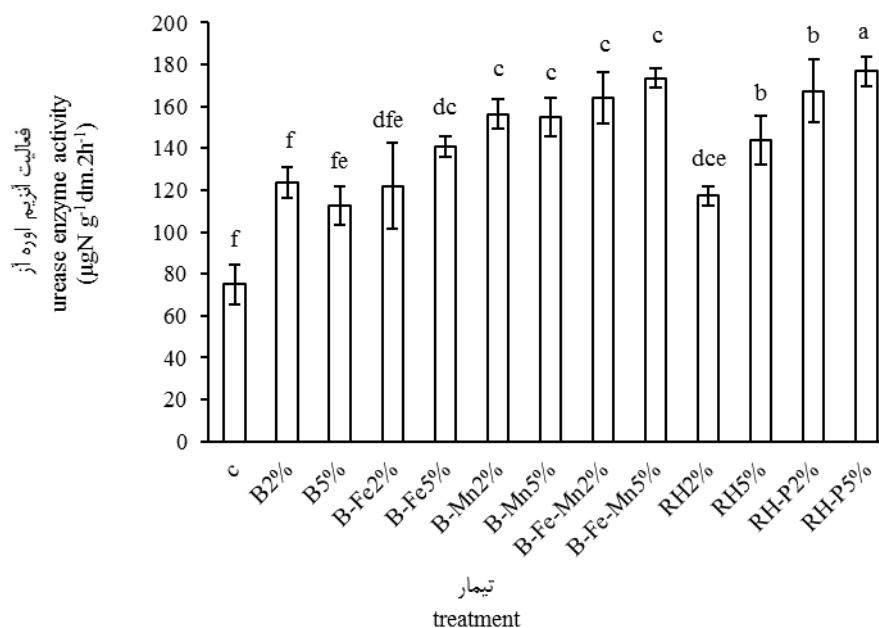
برنج به ویژه اصلاح شده آن‌ها بر افزایش فعالیت این آنزیم پیامد مثبتی داشتند که این امر می‌تواند به سبب کاهش آلودگی در خاک تحت تاثیر این تیمارها باشد. فعالیت آنزیم اوره‌آز نیز در همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۷). بیشترین فعالیت آنزیم اوره‌آز در تیمارهای ۵% و RH-P 2 دیده شد.

فعالیت آنزیم دهیدروژناز در تیمارهای ۵% RH-P و ۵% B- در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت. همچنین مقدار فعالیت این آنزیم در تیمار B-Fe ۵% زیاد بود ولی در تیمار B 2% با تیمار شاهد تفاوت آماری چشم‌گیری ($P > 0.05$) نشان نداد (شکل ۶). در تیمار شاهد به دلیل بالا بودن غلظت کادمیم نسبت به سایر تیمارها، فعالیت این آنزیم پایین بود و تیمارهای بنتونیت و شلتوک



شکل ۶- پیامد تیمارهای مختلف بر فعالیت آنزیم دهیدروژناز در خاک آلوده به کادمیم

Figure 6- Effect of different treatments on dehydrogenase enzyme activity in cadmium contaminated soil



شکل ۷- پیامد تیمارهای مختلف بر فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک آلوده به کادمیم

Figure 7- Effect of different treatments on urease enzyme activity in cadmium contaminated soil

غلظت آلاینده کادمیم در حضور اصلاح کننده‌ها باشد. فلزهای سنگین می‌توانند فعالیت آنزیم را به وسیله‌ی واکنش با ترکیب سوپسترا-آنزیم، تخریب پروتئین آنزیم و واکنش با مکان‌های فعال آن کاهش

همان‌طور که در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ دیده می‌شود فعالیت سه آنزیم اندازه‌گیری شده (فسفاتاز، دهیدروژناز و اوره‌آز) در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت، که به نظر می‌رسد عامل آن کاهش

کادمیم می‌باشد.

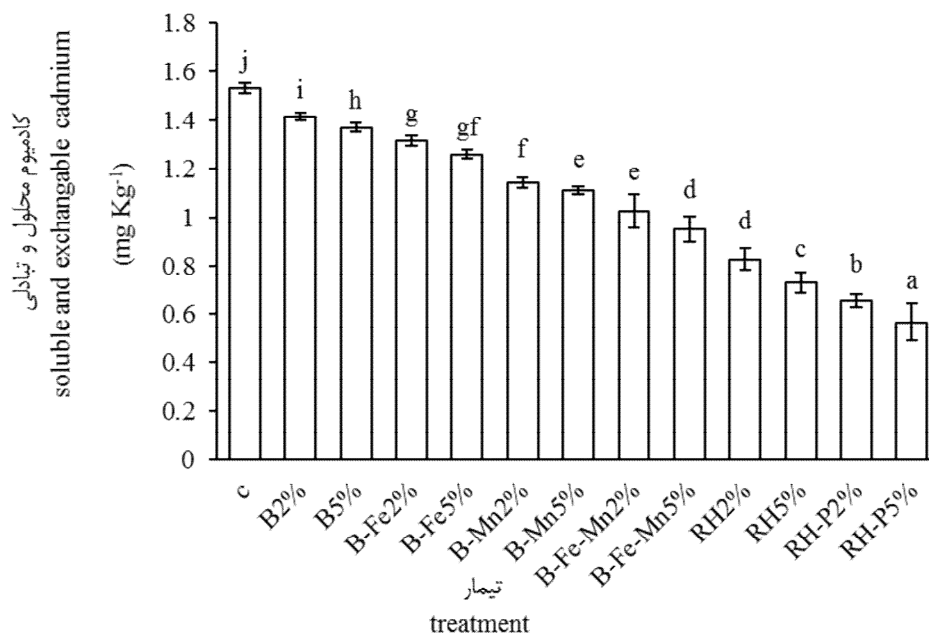
پژوهش‌ها نشان داده است که شلتوک برنج اصلاح شده پتانسیل جذب بیشتری برای فلزهای کادمیم، سلیسیم و سرب در مقایسه با شلتوک برنج اصلاح نشده داشته است (۱۳). تیمارهای بنتونیت اصلاح شده با آهن و منگنز بر ناپویاسازی کادمیم تا حدودی به یک اندازه بوده و تفاوت آماری چشمگیری ($P > 0.05$) را نشان نمی‌دهد. رس‌های اصلاح شده با اکسیدهای فلزی نیز به دلیل سطح ویژه بالا در جذب فلزها از اهمیت زیادی برخوردار هستند. این رس‌های پیلارد شده قادر به جلوگیری از روی هم افتادن فضاهای بین لایه‌ای می‌شوند و لایه‌ها را به شکل ستون باز نگه می‌دارند و در نتیجه فضای بین لایه‌ای را شکل داده و جذب فلزی مانند کادمیم از محلول خاک را افزایش می‌دهند (۷). تاثیر در نتیجه مقدار پویایی کادمیم در تیمارهای بنتونیت و شلتوک برنج به ویژه در شکل اصلاح شده این تیمارها کاهش یافته است که این امر خود می‌تواند شاهدهی بر ادعای موثر بودن این تیمارها در کاهش آلودگی در بخش قابل دسترس باشد. کاهش بیشتر مقدار کادمیم در شلتوک برنج اصلاح شده با اسید فسفریک احتمالا به سبب غلظت‌های بیشتر سلیسیم و سدیم به راحتی تبادل پذیر در نوع اصلاح شده است. اصلی‌ترین گروه‌ها در شلتوک برنج اصلاح شده هیدروکسیل، کربونیل و هیدروکربیل هستند که این گروه‌ها جذب سطحی یون‌های فلزی را افزایش می‌دهند (۴۰).

شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک

جدول ۳ برخی از شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک شامل سهم متابولیک، سهم میکروبی و قابلیت دسترسی به کربن را نشان می‌دهد. اندرسون و دامش (۲) بیان کردند که شاخص سهم متابولیک برای مطالعه پیامد تنش ناشی از آلودگی‌های مختلف بر نیاز انرژی ریزجانداران خاک به کار می‌رود. لندی و همکاران (۲۲) گزارش کردند که ریزجانداران خاک در شرایط تنش به ازای هر واحد سوسترای اضافه شده، کربن کمتری را صرف تشکیل زیست‌توده‌ی جدید می‌کنند و اغلب آن را برای تامین انرژی لازم برای ادامه‌ی حیات به کمک تنفس مصرف می‌کنند. با توجه به جدول ۳ با اعمال تیمارهای شلتوک برنج به خاک آلوده به کادمیم مقدار سهم متابولیکی کاهش یافت که این امر به سبب زیاد بودن مقدار کربن آلی تیمار شلتوک برنج است که با افزودن این تیمار به خاک مقدار کربن آلی خاک نیز افزایش پیدا کرد و به دنبال آن سوسترای آلی مورد نیاز ریزجانداران خاک نیز افزایش یافت. سهم میکروبی در تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها کمتر شد. سهم میکروبی با آلوده شدن خاک کاهش می‌یابد (۲۱).

دهند. کادمیم علاوه بر این که مهار کننده‌ی آنزیم است می‌تواند پیامدهای زیان‌آوری بر ساختار غشاء و عملکرد آنزیم با اتصال به لیگاندهایی مانند فسفات و گروه‌های سیستیل و هیستیدیل پروتئین داشته باشد (۳۶). تان و همکاران (۳۴) کاهش فعالیت دهیدروژناز و فسفاتاز قلیایی را در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم و همچنین کیزیلکایا و همکاران (۲۰) کاهش فعالیت اوره‌آز را در خاک آلوده به فلزهای سنگین گزارش کردند. همچنین علت کم بودن فعالیت آنزیمی در خاک با آلودگی بیشتر (تیمار شاهد) می‌تواند کاهش جمعیت یا فراوانی ریزجانداران و باکتری‌های خاک باشد. کم بودن فراوانی ریزجانداران در خاک آلوده به کادمیم را می‌توان به تخریب DNA و RNA، مهار سنتز پروتئین، جلوگیری از فرایندهای آنزیمی، مهار تقسیم سلولی به وسیله‌ی فلزهای سنگین و در نهایت آسیب رسانی به سلول و فرایندهای سلولی ریزجانداران نسبت داد (۲۱). با افزودن جاذب‌های بنتونیت به خاک آلوده به کادمیم مقدار فعالیت این آنزیم‌ها افزایش نشان داد. افزایش آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز که از آنزیم‌های خارج یاخته‌ای هستند را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که این آنزیم‌ها به وسیله‌ی کانی رسی (بنتونیت) افزوده شده به خاک جذب و نگهداری می‌شوند و در نهایت فعالیت بیشتری نشان می‌دهند (۲۰). همچنین در تیمارهایی که جاذب شلتوک برنج به خاک آلوده به کادمیم اضافه شده مقدار فعالیت این آنزیم‌ها افزایش یافت که علت آن این است که رابطه‌ی مثبتی بین این آنزیم‌ها (وره‌آز و فسفاتاز) با مقدار ماده‌ی آلی خاک وجود دارد (۱۲). بنابراین مقدار این آنزیم‌ها در تیمارهای همراه با شلتوک برنج مقدار بیشتری را نشان داد. دهیدروژناز از آنزیم‌های درون سلولی می‌باشد (۲۵) که فعالیت آن به شدت به اندازه‌ی جامعه‌ی ریزجانداران خاک وابسته است (۳۴). فعالیت این آنزیم در خاک، شاخصی برای سیستم زیستی اکسایش و کاهش محسوب می‌شود و به نوعی نشان‌دهنده‌ی تعداد کلی ریزجانداران است و می‌تواند مقیاس مناسبی برای اندازه‌گیری شدت متابولیسم میکروبی در خاک باشد (۳۲). بنابراین با افزودن این جاذب‌ها آلودگی کادمیم کاهش یافته و با کاهش آلودگی کادمیم شرایط خاک بهبود یافته و برای فعالیت ریزجانداران خاک مناسب می‌شود و در نتیجه اندازه‌ی جامعه‌ی ریزجانداران خاک افزایش پیدا کرده و فعالیت این آنزیم نیز افزایش می‌یابد.

مقدار کادمیم در فاز محلول و تبادلی در تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر بود و تفاوت آماری چشمگیری ($P \leq 0.05$) را نشان داد (شکل ۸). مقدار کادمیم محلول و تبادلی در تیمار ۵٪ RH-P کمترین مقدار و نسبت به تیمار شاهد ۲/۵ برابر کاهش داشت. همچنین کاهش مقدار کادمیم در فاز محلول و تبادلی در تیمارهای بنتونیت و به ویژه تیمارهای بنتونیت اصلاح شده با آهن و منگنز مشاهده شد که نشان دهنده‌ی پیامد مثبت این تیمارها در ناپویاسازی



شکل ۸- پیامد تیمارهای مختلف بر کادمیم محلول و تبادلی در خاک آلوده به کادمیم

Figure 8- Effect of different treatments on soluble and exchangeable cadmium in cadmium contaminated soil

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که کادمیم با غلظت ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم نقش سمی و بازدارنده بر فعالیت‌های زیستی خاک دارد و افزودن جاذب‌های بنتونیت و شلتوک برنج به ویژه به شکل اصلاح شده سبب ناپویاسازی کادمیم و به دنبال آن بهبود ویژگی‌های زیستی و شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک شده است. افزایش فعالیت میکروبی خاک در نتیجه افزودن این جاذب‌ها فعالیت‌های آنزیمی خاک را نیز افزایش داد. افزودن جاذب‌های بنتونیت طبیعی در سطوح ۲ و ۵ درصد تا حدودی مقدار کادمیم را در بخش محلول و تبادلی کاهش دادند ولی با اصلاح این کانی رسی با آهن و یا منگنز و همچنین آهن و منگنز به صورت مخلوط با هم در سطوح ۲ و ۵ درصد مقدار کادمیم در فاز محلول و تبادلی خاک کمتر شد. البته تیمار این کانی رسی با آهن در مقایسه با بنتونیت تیمار نشده (طبیعی) تفاوت آماری چشمگیری را نشان نداد و این امر در تیمارهای اصلاح شده با منگنز نیز مشاهده شد. در تیمارهایی که از مواد اصلاحی آهن و منگنز به صورت مخلوط با هم استفاده شد وضعیت بهتری در ناپویاسازی کادمیم ایجاد کرد که در هر دو سطح تقریباً با هم مشابه بود. با توجه به این امر توصیه می‌شود از بنتونیت اصلاح شده با آهن و منگنز به صورت مخلوط با هم استفاده شود که به دلیل تفاوت نداشتن بین دو سطح و با توجه به صرفه اقتصادی بهتر است از این تیمار در سطح ۲ درصد استفاده شود.

بنابراین در خاک شاهد به دلیل مقدار بیشتر آلودگی و کاهش فعالیت ریزجانداران خاک و به دنبال آن کاهش تنفس میکروبی خاک شاخص سهم میکروبی کاهش یافت. مقدار شاخص قابلیت دسترسی به کربن در حضور جاذب‌ها به ویژه جاذب شلتوک برنج کمتر از تیمار شاهد می‌باشد (جدول ۳). دلیل کاهش قابلیت دسترسی به کربن در تیمار شلتوک برنج کم بودن صورت کسر یعنی تنفس پایه نسبت به مخرج آن یعنی تنفس برانگیخته با سوبسترا است. اگرچه در تیمارهایی که مقدار آلودگی کمتر است مقدار تنفس پایه و تنفس برانگیخته با سوبسترا افزایش یافت ولی این افزایش در تنفس پایه در مقایسه با تنفس برانگیخته کمتر بود که این امر شاید به این دلیل باشد که در تیمارهایی که جاذب‌ها به آن اعمال شده با کم شدن آلودگی و بهبود شرایط خاک و همچنین افزایش سوبسترای کربن آلی مورد نیاز ریزجانداران، جمعیت میکروبی فعال خاک نیز افزایش یافته و از این رو مقدار افزایش تنفس برانگیخته در مقایسه با تنفس پایه خاک بیشتر بوده است.

بیشتر بودن مقدار این شاخص در تیمار شاهد نشان می‌دهد مقدار تنفس پایه در مقایسه با تنفس برانگیخته بیشتر بوده که به نظر می‌رسد که اگرچه در تنفس برانگیخته سوبسترای گلوکز به خاک افزوده شده ولی برای ریزجانداران فعال خاک به سهولت قابل دسترس نبوده‌است و فلز سنگین سبب ایجاد تاخیر در رشد نمایی میکروب‌های فعال خاک شده است (۱۹).

جدول ۳- پیامد تیمارها بر برخی از شاخص‌های اکوفیزیولوژیکی خاک مطالعه شده

Table 3- The Effects of treatments on some ecophysiological indexes of studied soil

تیمارها Treatments	قابلیت دسترسی به کربن Carbon availability	سهم میکروبی Microbial quotient	سهم متابولیک Metabolic quotient
شاهد (Control)	0.06 ^{bac}	13.88 ^c	8.16 ^a
بنتونیت طبیعی ۲٪ B2%	0.07 ^a	21.20 ^{bac}	5.01 ^{ba}
بنتونیت طبیعی ۵٪ B5%	0.06 ^{ba}	21.43 ^{bac}	4.59 ^{ba}
بنتونیت- آهن ۲٪ B-Fe2%	0.07 ^a	17.02 ^{bc}	5.86 ^{ba}
بنتونیت- آهن ۵٪ B-Fe5%	0.06 ^{bac}	23.9 ^{bac}	4.16 ^{ba}
بنتونیت- منگنز ۲٪ B-Mn2%	0.05 ^{bac}	20.58 ^{bac}	3.97 ^{ba}
بنتونیت- منگنز ۵٪ B-Mn5%	0.05 ^{bac}	20.69 ^{bac}	3.83 ^{ba}
بنتونیت- آهن+منگنز ۲٪ B-Fe+Mn2%	0.04 ^c	28.29 ^a	2.98 ^b
بنتونیت- آهن+منگنز ۵٪ B-Fe+Mn5%	0.04 ^{bc}	26.84 ^{ba}	2.87 ^b
شلتوک برنج ۲٪ RH2%	0.05 ^{bc}	26.46 ^{ba}	2.95 ^b
شلتوک برنج ۵٪ RH5%	0.05 ^{bc}	24.99 ^{bc}	3.06 ^b
شلتوک برنج- اسید فسفریک ۲٪ RH-H ₃ PO ₄ 2%	0.04 ^{bc}	23.84 ^{bac}	3.09 ^{ba}
شلتوک برنج- اسید فسفریک ۵٪ RH-H ₃ PO ₄ 5%	0.04 ^c	23.85 ^{bac}	3.09 ^{ba}

 میانگین‌های با حروف غیرمشترک در هر ستون دارای اختلاف چشم‌گیر ($P \leq 0.05$) هستند

 The means with dissimilar letters in each columns are significantly different at $P < 0.05$

این جاذب‌ها می‌تواند یکی از راه‌کارهای مدیریتی ارزان قیمت، موفق و موثر برای ناپویاسازی کادمیم در خاک بوده و بنابراین خطر جذب گیاهی، شستشو و ورود کادمیم به سفره‌های آب زیرزمینی و چرخه‌ی غذایی را کاهش دهد.

افزودن جاذب‌های شلتوک برنج و همچنین شلتوک برنج اصلاح شده با فسفر در هر دو سطح ۲ و ۵ درصد در مقایسه با جاذب بنتونیت (طبیعی و اصلاح شده) به مقدار بیشتری سبب ناپویاسازی کادمیم شد که ارجحیت آن را نسبت به جاذب بنتونیت نشان می‌دهد. لذا کاربرد

منابع

- 1- Ajmal M., Rao R.A.K., Anwar Sh., Ahmad J., and Ahmad R. 2003. Adsorption studies on rice husk: removal and recovery of Cd (II) from wastewater, *Bioresource Technology*, 86: 147-149.
- 2- Anderson T.H. and Domsch K.H. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories, *Soil Biology and Biochemistry*, 22(2): 251-255.
- 3- Anderson T.H., and Domsch K.H. 1993. The metabolic quotient from CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 393-395.
- 4- Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, Page A.L., and Miller, R.H. (Eds.), American Society of Agronomy Madison, 831-871.
- 5- ASTM D 422 (American Society for Testing and Materials), 2007, Standard test method for particle-size analysis of soil, *Annual Book of ASTM Standards*, 2-7 pp.
- 6- Bao S.D. 2005. *Soil Agricultural Chemistry Analysis*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 257-270.
- 7-Bhattacharyya K.G. and Gupta S.S. 2008. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and

- montmorillonite: A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 140(2): 114–131.
- 8- Borchardt, G. 1989. Minerals in Soil Environments, SSSA Book Series, Smectites. vol. 1, pp. 675-727.
 - 9- Brigatti M.F., Galan E. and Theng B.K.G. 2006. Structures and mineralogy of clay minerals, *Developments in Clay Science*, 1: 19-86.
 - 10- Cruz-Guzmán M., Celis R., Hermosin M.C., Koskinen W.C., Nater E.A. and Cornejo J. 2006. Heavy metal adsorption by montmorillonites modified with natural organic cations, *Soil Science Society of America Journal*, 70(1): 215–221.
 - 11- Cheng W., Coleman D.C., Carroll C.R. and Hoffman C.A. 1993. In situ measurement of root respiration and soluble c concentrations in the rhizosphere, *Soil Biology and Biochemistry*, 25(9): 1189- 1196.
 - 12-Doelman P. and Haanstra L. 1989. Short and long term effects of heavy metals on phosphatase activity in soils: An ecological dose response model approach, *Biology and fertility of soils*, 8: 235-241.
 - 13- Ebrahimzad S.A., Asgharzad N.A. and Najafi N.A. 2013. Influence of some soil ecophysiological indexes on land use change in the Seddouz plain (Naghdeh - West Azerbaijan), *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4): 133-149. (In Persian with English abstract).
 - 14- Gianfreda L. and Rao M.A. 2004. Potential of extra cellular enzymes in remediation of polluted soils: a review, *Enzyme and Microbial Technology*, 35: 339–354.
 - 15- Hartley W. and Lepp N. 2008. Remediation of arsenic contaminated soils by CaO application, evaluated in terms of plant productivity, arsenic and phytotoxic metal uptake, *Science of the Total Environment*, 390: 35-44.
 - 16- Horváth B., Opara-Nadi O., and Beese F. 2005. A simple method for measuring the carbonate content of soils, *Soil Science Society of America journal*, 69: 1066–1068.
 - 17- Jenkinson D.S., and Ladd J.N. 1981. Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover. In E. A. Paul, and J. N. Ladd (Eds.), *Soil Biochemistry*. vol. 5, pp. 415-471.
 - 18- Jimenez-Cedillo M.J., Olguín M.T., Fall C.H., and Colín A. 2011. Adsorption capacity of iron- or iron manganese-modified zeolite-rich tuffs for As(III) and As(V) water pollutants, *Applied Clay Science*, 54(3): 206-216.
 - 19- Kumpiene J., Ore S., Renella G., Mench M., Lagerkvist A. and Maurice C. 2006. Assessment of zerovalent iron for stabilization of chromium, copper, and arsenic in soil, *Environmental Pollution*, 144(1): 62-69.
 - 20- Kizilkaya R., Askin T., Bayrakli B. and Saglam M. 2004. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals, *European Journal of Soil Biology*, 40: 95-102.
 - 21- KazemAlilo S., RasuoliSedghiyani M.H. 2013. Evaluation of some biological indices of soil in presence of microorganisms stimulating plant growth and soil cadmium contamination, *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 44(1): 57-68. (In Persian)
 - 22- Landi L., Renella G., Moreno J.L., Flachini L. and Nannipieri P. 2000. Influence of cadmium on the metabolic quotient, L: D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity; microbial biomass ratio under laboratory conditions, *Biology and Fertility of Soils*, 32: 8–16.
 - 23- Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen-inorganic forms. In: Sparks D.L., editor. *Methods of Soil Analysis*, Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Ser. 5. Soil Science Society of America; Madison, WI. pp. 1123–1184.
 - 24- Moore D.M., Reynolds R.C. 1997. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, pp. 378.
 - 25- Neto A.F.A., Vieira M.G.A. and Silva M.G.C. 2012. Cu(II) adsorption on modified bentonitic clays: different isotherm behaviors in static and dynamic systems, *Materials Research*, 15(1): 114-124.
 - 26- Page, A.L., R.H. Miller, D.R. Keeney. 1992. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Methods Soil Sci. Soc. Am. Agron. Monograph, 2nd ed., vol. 9, pp. 325–340.
 - 27- Qiang L., Xu-lai Y. and Xi-feng Z. 2008. Analysis on chemical and physical properties of bio-oil pyrolyzed from rice husk, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82: 191-198.
 - 28- Sparks D.L., Page A., Helmke P. and Loeppert R.H. 1996. *Methods of Soil Analysis*. Part 3-Chemical methods, Soil Science Society of America. Inc.
 - 29- Schutz T., Dolinska S. and Mockovciakova A. 2013. Characterization of bentonite modified by manganese oxides, *Universal Journal of Geoscience*, 1(2): 114–119.
 - 30- Shirzadeh N., Aliasgharzad N. and Najafi N. 2013. Changes in carbonation, ecophysiological identifiers, base and induced respiration soil in incubation with different lead levels, *Journal of Water and Soil Science*. 23(2): 111-124. (In Persian with English abstract).
 - 31- Ionescu C., Hoeck V. and Simon V. 2011. Effect of the temperature and the heating time on the composition of an illite-rich clay: an XRPD study, *Study of. University Babes-Bolyai Physics*, 56(2): 70.
 - 32- Tabatabai M.A. and Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity, *Soil Biology Biochemistry*, 1: 301–307.
 - 33- Tabatabai M.A. 1982. Soil enzymes *Methods of soil analysis*. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 539–579.
 - 34- Tan X., Liu Y., Yan K., Wang Z., Lu G., He Y. and He W. 2007. Differences in the response of soil dehydrogenase activity to Cd contaminated are determined by the different substrates used for its determination, *Soil Science*, 169:

- 324-332.
- 35- Vieira M.G.A., Almeida Neto A.F., Dasilva M.G.C., Carneiro C.N. and Melo Filho A.A. 2014. Adsorption of lead and copper ions from aqueous effluents on rice husk ash in a dynamic system, *Brazilian Journal of chemical engineering*, 31(2): 519–529.
- 36- Vig K., Megharaj M., Sethunathan N. and Naidu R. 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review, *Advances in Environmental Research*, 8: 121-135.
- 37- Walkley A. and A.I. Black. 1934. Examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration method, *Soil Science*, 34: 29–38.
- 38- Wan Ngah W.S. and Hanafiah M.A.K.M. 2008. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review, *Bioresource Technology*, 99: 3935-3948.
- 39- Wu P., Wu W., Li S., Xing N., Zhu N., Li P., Wu J., Yang C. and Dang, Z. 2009. Removal of Cd^{2+} from aqueous solution by adsorption using Fe-montmorillonite, *Journal of Hazardous Materials*. 169(1): 824–830.
- 40- Zhang Y., Zheng R., Zhao J., Ma F., Zhang Y. and Meng Q. 2014. Characterization of H_3PO_4 treated rice husk adsorbent and adsorption of copper (II) from aqueous solution. *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International Volume*, Article ID 496878, 8 pages.



Efficiency of Natural and Modified Bentonite and Rice Husk on Immobilization of Cadmium and Its Effect on Some Biological Properties of Soil

S. Abdulrahimi¹ - N. Ghorbanzadeh^{2*} - H. Ramezanpuor³ - M.B. Farhangi⁴

Received: 06-11-2017

Accepted: 20-01-2018

Introduction: Rapid development of industrialization, heavy metal and radionuclide contaminants from industrial activities have posed a major threat to the environment owing to their toxicity, non-biodegradability and persistent accumulation. So various ecosystems are continuously contaminated with high levels of high-risk chemicals with different structures and levels of toxicity. Cadmium is one of the high-risk elements that enters the environment and can accumulate in the body of fish and other aquatic organisms, plants and livestock and be transferred to the human body. Therefore, the remediation of contaminated soils with cadmium in order to protect human health is very important. One method for remediation of pollutants is immobilization of them in the soil by adsorbents. Among the adsorbents, bentonite has been identified for its unique properties, including high surface area and cation exchange capacity and adsorptive affinity for organic and inorganic ions, low cost and ease of access. If the physical and chemical properties of natural bentonites are improved by a special modification process, the adequate supplies for environmental purposes can be obtained. Among the biosorbents, rice husk has also been reported to be suitable for adsorption of cadmium and other heavy metals. This research was designed with the aim of decreasing the amount of cadmium in the soluble and exchangeable phase of a polluted soil under laboratory conditions in the presence of bentonite and rice husk. Considering that biological properties of the soil are an indicator of soil health and quality, so, after application of adsorbents, biological properties and some soil ecophysiological indices were also investigated.

Materials and Methods: The experiment was done with 13 treatments and 3 replications in a completely randomized design. Treatments were bentonite (B) and modified bentonite with iron (B-Fe), manganese (B-Mn), iron and manganese together (B-Fe-Mn), rice husk (RH), modified rice husk with phosphoric acid (RH-P) in two levels (2 and 5%) and control treatment (without adding adsorbent). Modification of bentonite was done with iron chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), manganese chloride ($\text{MnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and a mixture of $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{MnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Some of the characteristics of bentonite and rice husk adsorbents including pH, electrical conductivity, cation exchange capacity and organic carbon were measured. The contaminated soil with CdCl_2 was treated with adsorbents and incubated for 2 months under constant lab conditions. After the incubation time, soil biological properties such as basal respiration, substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), activity of some enzymes and also some ecophysiological indexes were measured.

Results and Discussion: The results showed that the basal respiration, SIR, MCB, activity of phosphatase, dehydrogenase and urease were less in the control treatment. The basal respiration and phosphatase activity in RH-P 5% treatment were 2.6 and 2.25 times more than those in the control, respectively. SIR and urease activity were highest in RH-P 5% treatment. The application of adsorbents to contaminated soil reduced soluble and exchangeable cadmium fraction. The lowest amount of soluble and exchangeable fraction of cadmium was in RH-P 5% treatment that showed 2.5 times reduction in comparison to control. In other words, immobilization of cadmium from these fractions improved soil conditions and caused increasing of biological soil properties and activity of microorganisms. The metabolic quotient was higher in the control treatment, probably due to lower microbial content, and decreased by adding adsorbents. Microbial quotient in control treatment was lower than other treatments which prove again the lower biomass carbon of control treatment. Carbon availability that is the ratio of basal respiration to SID, also was more in control in comparison to other treatments, perhaps due to the suppress or inhibition of dormant or zymogenous microbes by cadmium in the control treatment which can be stimulated to growth in the SIR experiment.

Conclusions: The results of this study revealed that cadmium with concentration of 30 mg kg⁻¹ has a toxic and inhibitory effect on the microbial activity of the soil. The addition of bentonite and rice husk adsorbents in particular modified form reduced mobility of cadmium and thus improved the biological properties of the soil

1, 2, 3 and 4- M.Sc. Student, Assistant Professor, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Iran, Respectively

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

and also had a positive effect on ecophysiological indexes.

The use of these adsorbents can be a cost effective, succeeded, and operative management strategy for immobilization of cadmium in contaminated soils that reducing the risk of plant reclamation, washing and entry into groundwater and food cycle.

Keywords: Adsorbente, Ecophysiological index, Enzyme activity, Microbial respiration

ارتباط بین ویژگی‌های خاک و پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف اراضی منطقه بردسیر استان کرمان

سحر طاق‌دیس^۱ - محمد هادی فرپور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

چکیده

ویژگی‌های مغناطیسی خاک بازتابی از برهمکنش‌های پیچیده شیمیایی، زمین‌شناسی و زیستی موجود در آن می‌باشد. بنابراین، آگاهی از عوامل موثر بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک به درک و تفسیر هرچه بهتر نتایج کمک می‌کند. هدف از انجام این مطالعه، بررسی اثر کاربری‌های مختلف و نوع پوشش گیاهی بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های سطحی و ارتباط بین مقادیر آنها با ویژگی‌های خاک بود. چهار نوع کاربری شامل زراعی، مرتع پوشش‌دار، مرتع تخریب‌شده و دیم‌رهاشده در منطقه مطالعاتی انتخاب شد که دارای شرایط اقلیمی، توپوگرافی و مواد مادری مشابه و تا حد امکان نزدیک به یکدیگر بودند. در مجموع ۶۰ نمونه مرکب خاک سطحی (۱۵-۰ سانتی‌متر) برداشت گردید. میانگین میزان χ_{lf} در نمونه‌های خاک سطحی $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ $69.5/8$ محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین میانگین مقادیر χ_{lf} در کاربری‌های مختلف بود. مقدار میانگین χ_{lf} اندازه‌گیری شده به ترتیب در مرتع با پوشش مناسب، مرتع تخریب‌شده، دیم رهاشده و زراعی کاهش یافت. مقادیر محاسبه شده χ_{fd} در محدوده (۰/۵۲-۱/۷۳)٪ نشان‌دهنده حضور ذرات چند حوزه‌ای به ارث رسیده از مواد مادری آذرین به عنوان منشاء اصلی پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مطالعاتی بود. تغییرات اکثر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در کاربری‌های مختلف از لحاظ آماری معنی‌دار گردید. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی و درصد شن وجود داشت. در حالی که میان داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی، سیلت و کربنات کلسیم همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده گردید. نتایج نشان داد که نوع کاربری و پوشش گیاهی با تاثیر بر ویژگی‌ها و فرایندهای تشکیل خاک، می‌تواند تشکیل و تجمع کانی‌های مغناطیسی خاک را تحت تاثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: ایران مرکزی، پارامترهای مغناطیسی، زمین زراعی، مرتع، مغناطیس خاک

مقدمه

مگنیت، گنوتیت، لپیدوکروسیت و هماتیت فراوان‌ترین اکسیدهای فلزی در اکثر خاک‌ها می‌باشند (۴۲). مگنیت (Fe_3O_4) و مگنیت ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) به عنوان شناخته‌شده‌ترین کانی‌های فری مغناطیس موثر در ایجاد خصوصیات مغناطیسی خاک و منبع اصلی پذیرفتاری مغناطیسی به شمار می‌روند (۲۷). اکسیدهای آهن در خاک محصول ذاتی فرایندهای اصلی خاکساز بوده و منعکس‌کننده برهمکنش‌های پیچیده شیمیایی، زمین‌شناسی و زیستی میان مواد مادری، اجزای خاک (کانی‌ها، موادالی، موجودات زنده و ...) و فاکتورهای بیرونی (اقلیم، دما، بارش، زمان و توپوگرافی) می‌باشند (۲۲).

سنگ شناسی مواد مادری یکی از عوامل بسیار تاثیرگذار بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشد (۲۸ و ۶). کانی‌های مغناطیسی لیتوژنیک اغلب در ذرات درشت خاک (شن و سیلت) یافت شده و به ارث رسیده از سنگ مادری می‌باشند. این نوع از کانی‌ها به دلیل سطح ویژه کم و پایداری زیاد تمایل کمی به هوابدگی دارند (۴۱).

امروزه مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی در خاک عمدتاً معطوف به تعیین ژئوشیمی ترکیبات آهن، آلودگی خاک و گیاهان، فرسایش خاک، کاربری اراضی، مطالعات زمین آماری و پهنه‌بندی اراضی شده است (۳۷). مغناطیس توسط یکسری نیروی‌های ذاتی و یا انرژی‌های خلق شده توسط الکترون‌های موجود در اتم‌ها ایجاد می‌گردد (۱۱). توان مغناطیسی شدن مواد در پاسخ به یک میدان مغناطیسی را پذیرفتاری مغناطیسی می‌نامند (۱۱ و ۳۳). میزان پذیرفتاری تابعی از ترکیب، مقدار، شکل و اندازه بلورهای موجود در انواع کانی‌های مغناطیسی است (۳۰ و ۴۹). اکسیدهای آهن خصوصاً مگنیت،

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(*) نویسنده مسئول: Email: farpoor@uk.ac.ir

در ایران عمدتاً معطوف به مطالعات ژنتیکی، آلودگی خاک، تشکیل و تکامل خاک و همچنین نقش توپوگرافی و فرسایش بر روی پذیرفتاری مغناطیسی و تغییرات آن شده است. کاربری‌های مختلف اراضی نقش مهمی در خصوصیات مغناطیسی خاک‌ها دارند و در مطالعات انجام گرفته تاکنون عمدتاً به نقش فلزات سنگین و آلاینده‌ها بر روی پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف پرداخته شده است. توجه به نوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی و تاثیرات آنها بر روی ویژگی‌های خاکی و پذیرفتاری مغناطیسی خاک بسیار کم‌رنگ بوده است و انجام مطالعاتی در این زمینه به عنوان یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی و ویژگی‌های خاکی ضروری می‌نماید، از این رو این مطالعه با اهداف ۱- تعیین تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های سطحی در کاربری‌های مختلف و ۲- تعیین ارتباط بین مقادیر پذیرفتاری و ویژگی‌های خاک انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی اطراف روستای ماهونک زیبا از توابع شهرستان بردسیر در استان کرمان می‌باشد. منطقه مطالعاتی در عرض جغرافیایی ($29^{\circ}55'$ تا $29^{\circ}59'$) شمالی و طول جغرافیایی ($56^{\circ}16'$ تا $56^{\circ}24'$) شرقی واقع گردیده است. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۲۰۰۰ متر، میانگین دمای سالیانه $14/6^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد و متوسط میزان بارش ۱۷۱ میلی‌متر است (۷). رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب نیمه‌خشک (sub aridic) و مزیک می‌باشد (۴). منطقه مطالعاتی بر روی دشت‌های آبرفتی با مواد مادری آذرین از نوع آندزیت، توف آتشفشانی و داسیت قرار گرفته است (۱۹).

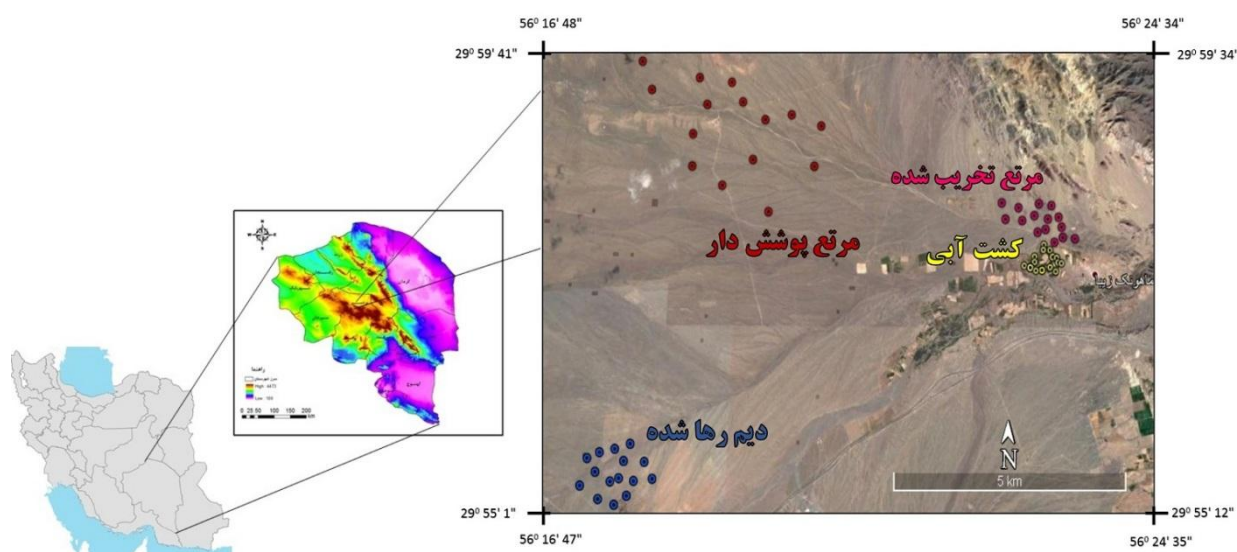
نمونه برداری

چهار کاربری مختلف شامل زراعی (کشت آبی)، مرتع با پوشش مناسب، مرتع تخریب شده و دیم رها شده در منطقه مورد مطالعه شناسایی گردید. از هر کاربری تعداد ۱۵ نمونه مرکب خاک سطحی از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری به صورت تصادفی انتخاب و جمع‌آوری گردید. در مجموع از چهار کاربری ذکر شده تعداد ۶۰ نمونه خاک جمع‌آوری و جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی به آزمایشگاه منتقل شدند. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده را به تفکیک نوع کاربری نمایش می‌دهد.

دی جنگ و همکاران، پذیرفتاری مغناطیسی بالاتری را در خاک‌های تشکیل شده از سنگ‌های آذرین و آتشفشانی در مقایسه با خاک‌های تشکیل شده از سنگ‌های رسوبی مشاهده نمودند (۱۰). لو مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی را در خاک‌های چین برای مواد مادری مختلف به این ترتیب گزارش نمود: سنگ‌های آذرین بازی (بازالت، آندزیت، گرانودیوریت) < سنگ‌های آذرین خنثی و اسیدی (گرانیت)، سنگ‌های دگرگونی < سنگ‌های رسوبی (سنگ آهک) (۲۵). Szuszkiewicz و همکاران مقادیر پذیرفتاری در محدوده $m^3 kg^{-1}$ 110.51×10^{-8} - 2530 را برای سنگ بستر تشکیل شده از ماسه سنگ، بازالت و سرپانتین گزارش نمودند و بیان کردند که فرآیندهای هوادیدگی و خاکساز می‌تواند منجر به ایجاد روند افزایشی و یا کاهش در مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی گردند (۴۵).

از دیگر عوامل موثر در پذیرفتاری مغناطیسی اقلیم، شرایط آب و هوایی و نوع پوشش گیاهی را می‌توان نام برد (۵ و ۲۶). دما و بارش دو عامل مهم در افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های سطحی می‌باشند (۲۵). لو و همکاران (۲۴) در تحقیقی با هدف بررسی تاثیر نوع پوشش گیاهی بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های چین گزارش کردند که گیاهان C4 نسبت به گیاهان C3 توانایی بسیار بالاتری در افزایش مقدار پذیرفتاری خاک داشته‌اند. کاربری اراضی مختلف بر توزیع و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی تاثیرگذار است و در خصوصیات آن منعکس می‌گردد (۲۸). افشاری و همکاران (۱) منطقه وسیعی از خاک‌های اطراف زنجان با کاربری‌های مختلف (شهری، صنعتی، کشاورزی و مرتع) و مواد مادری متفاوت را بررسی و بیشترین مقدار میانگین پذیرفتاری خاک را برای اراضی شهری با مقدار $m^3 kg^{-1}$ $467/13 \times 10^{-8}$ گزارش کردند. وفایی زاده و همکاران (۴۷) در پژوهشی به منظور بررسی اثرات کاربری اراضی و موقعیت شیب بر تغییرات برخی ویژگی‌های خاک های اراضی تپه‌ماهوری یاسوج نشان دادند که پذیرفتاری مغناطیسی در جنگل طبیعی بیشترین مقدار را داشته و پس از آن به ترتیب جنگل تخریب شده و زمین زراعی قرار گرفتند که در کلیه کاربری‌ها با افزایش شیب مقدار پذیرفتاری مغناطیسی کاهش یافت. تغییر کاربری اراضی نیز بر روی پذیرفتاری مغناطیسی خاک موثر می‌باشد. به طوری که تفاوت‌های معنی‌داری در میانگین پذیرفتاری‌های مغناطیسی کاربری‌های مختلف وجود دارد. خاک‌های تحت کشت اغلب دارای مقادیر متوسط پذیرفتاری مغناطیسی کمتری نسبت به خاک‌های با پوشش طبیعی هستند (۲۱ و ۳۱).

بیش از یک دهه از کاربرد پذیرفتاری مغناطیسی در ایران به عنوان یک تکنیک ارزان، ساده، سریع و غیر مخرب در مطالعات خاکشناسی می‌گذرد. مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی در سالهای اخیر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری در دشت آبرفتی به تفکیک کاربری اراضی
Figure 1- Location of the study area indicating sampling points on alluvial plain in different land uses

مطالعات آزمایشگاهی

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی پس از هواخشک شدن، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. پهاش و هدایت الکتریکی خاک به ترتیب در گل و عصاره اشباع توسط دستگاه‌های pH و EC متر مدل Jenway اندازه‌گیری گردید. درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۳۸)، مواد آلی به روش والکی و بلک (۴۸)، گچ به روش استون (۳۴) و بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۸) اندازه‌گیری شد.

پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها (%) در دو فرکانس پائین (۴۶/۰، ۴۶/۰ kHz) و بالا (۴۶/۰، ۴۶/۰ kHz) با استفاده از دستگاه مغناطیس سنس مدل Bartington MS2 Dual Frequency Sensor دارای حسگر MS2B در دو تکرار اندازه‌گیری شد. پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (%/Hz) با استفاده از فرمول (۱) به عنوان شاخصی از توسعه فرآیندهای خاکساز و بازتابی از اندازه ذرات فری مغناطیس محاسبه گردید (۱۱).

$$\%fd = \frac{(f_{hf} - f_{lf})}{f_{lf}} \times 100 \quad \text{فرمول (۱)}$$

که در آن f_{lf} پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس پائین (۴۶/۰، ۴۶/۰ kHz) و f_{hf} پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا (۴۶/۰، ۴۶/۰ kHz) می‌باشد. تعیین ضریب همبستگی پارامترها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 و تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت. همچنین مقایسه میانگین متغیرها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 رسم گردیدند.

نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌های مورد مطالعه

توصیف آماری متغیرهای مغناطیسی و برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در محدوده خشتی تا قلیایی و دارای کمترین ضریب تغییرات در میان پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد. از سوی دیگر، هدایت الکتریکی خاک‌ها دارای میانگین مقدار ۱/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بود و دارای ضریب تغییرات بالایی است. کمترین مقدار مواد آلی اندازه‌گیری شده در کاربری دیم رهاشده (۲/۲۶٪) و بیشترین مقدار آن در کاربری زراعی (۲/۱۵٪) مشاهده گردید. مقدار کربنات کلسیم با ضریب تغییرات ۱۲/۳۷٪ در کاربری مرتع تخریبی کمترین مقدار و در کاربری زراعی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. نمونه خاک‌های مورد مطالعه فاقد گچ بودند و به همین دلیل در نتایج و تجزیه و تحلیل‌های آماری ارائه نشده است. بافت خاک در کاربری‌های مورد مطالعه شن لومی تا لوم شنی بدست آمد.

کمترین مقدار f_{lf} در کاربری زراعی با مقدار ۱۳۴/۸، بیشترین مقدار آن برابر با $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ در مرتع با پوشش خوب و میانگین کل مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی $695/83 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ می‌باشد که میزان بسیار بالایی را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). سرمست و همکاران در مطالعه خود بر روی چند خاک‌رخ در یک برش طولی از جیرفت تا کهنوج با مواد مادری آذرین مقادیر

χ_{lf} را در محدوده $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \times 2.370 - 1.933$ برای خاک‌ها گزارش نمودند و مقادیر بالای χ_{lf} در خاک‌های جوان و کم‌تر مادری آذرین نسبت دادند (۴۰).

هوادیده را به حضور کانی‌های مغناطیسی اولیه به ارث رسیده از مواد

جدول ۱- خلاصه‌ای از وضعیت آماری متغیرهای مورد مطالعه
Table 1- Statistic status summarize of the study variables

ویژگی‌های خاک Soil properties	واحد Unit	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	چولگی Skew	کشیدگی Kurt	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation
EC	dS m^{-1}	0.37	7.35	1.49	2.03	5.15	1.37	91
pH	-	7	8.1	7.69	-0.28	-0.31	0.26	3.58
OM	%	0.26	2.15	0.85	0.87	-0.06	0.49	25.91
CaCO_3	%	8	24	14.97	0.78	0.74	3.08	12.37
Sand	%	52	88	77.03	-1.17	0.93	8.17	5.48
Silt	%	5.2	39.2	16.15	1.19	0.54	8.2	23.84
Clay	%	3.2	11.6	6.82	0.64	-0.1	2.09	24.56
χ_{lf}	$10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	134.8	1778.9	695.83	1.22	1.29	321.1	21.31
χ_{hf}	$10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	133.45	1767.9	688.71	1.23	1.34	318.53	21.48
χ_{fd}	%	0.52	1.73	1.04	0.41	-0.05	0.27	28.24

OM: مواد آلی خاک (Organic matter)، CaCO_3 : کربنات کلسیم معادل χ_{lf} (Calcium carbonate equivalent) پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس پایین
 χ_{hf} (Low Frequency Magnetic Susceptibility): پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس بالا (High Frequency Magnetic susceptibility)، χ_{fd} پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (Frequency Dependent Magnetic Susceptibility)

کانی پس از قرارگیری در محیط خاک تحت فرآیندهای پدوژنیکی قرار گرفته و کانی‌های فری مغناطیس ثانویه از جمله مگنتیت در اندازه رس و مگمیت را به وجود می‌آورد (۴۲). کانی مگمیت غالباً تشکیل یافته از مگنتیت تحت تاثیر فرآیندهای اکسیداسیون و تغییر شکل می‌باشد که عواملی از قبیل نوع پوشش گیاهی، کاربری زمین و توپوگرافی با اثر بر شرایط خاکی (زهکشی، ساختمان خاکی و خصوصیات شیمیایی) در تشکیل این کانی موثر می‌باشند (۵). کانی‌های فری مغناطیس ثانویه اندازه کوچکتری نسبت به کانی‌های فری مغناطیس اولیه (به ارث رسیده) داشته ولی می‌توانند به صورت پوشش بر روی انواع ذرات خاک حضور داشته باشند (۱۷).

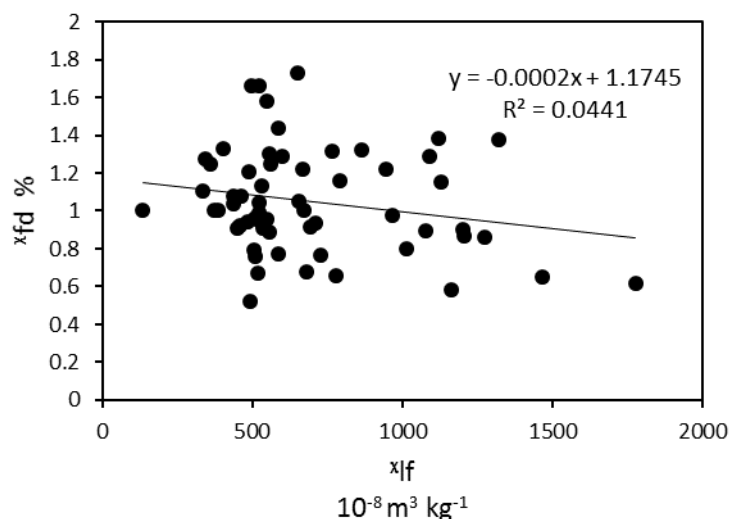
علیرغم بالا بودن مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری شده در خاک‌ها مقادیر χ_{fd} خاک پایین می‌باشد. مقادیر پذیرفتاری اندازه‌گیری شده در فرکانس پایین و بالا بسیار به هم نزدیک می‌باشند. پایین بودن χ_{fd} در نمونه‌های خاک سطحی نشان می‌دهد که تاثیر منشا پدوژنیکی و ذرات سوپر پارامغناطیس ($< 0.2 \mu\text{m}$) در نمونه‌های خاکی کم است (۱۱). مقادیر اندازه‌گیری شده χ_{fd} در محدوده $1.73 - 0.52\%$ با میانگین مقدار 1.04% محاسبه گردید (جدول ۱). شکل (۲) درصد پذیرفتاری وابسته به فرکانس را در مقابل پذیرفتاری فرکانس پایین نشان می‌دهد که می‌تواند به درک تفاوت میان اندازه ذرات و حالت حوزه کمک کند. نمونه‌ها دارای مقادیر χ_{lf} بالا و χ_{fd} کمتر از 2% هستند. دیرینگ بیان داشت که 5%

خاک‌های سطحی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نوع آبرفتی بوده و مواد مادری غالباً از نوع سنگ آذرین آندزیت، توف و داسیت می‌باشند که می‌توان مقادیر بالای پذیرفتاری در کلیه خاک‌های مورد مطالعه را به دلیل حضور کانی‌های مغناطیسی اولیه به ارث رسیده از مواد مادری دانست. فرآیندهای فرسایش و رسوب در خاک‌های آبرفتی غالب بوده و در نتیجه باعث می‌شود که این نوع خاک‌ها تحت تاثیر مواد مادری مجاور که از نوع آذرین و دارای کانی‌های مغناطیسی فراوان هستند قرار بگیرند (۱). تغییر شکل درجای اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن غیرفری مغناطیس و تبدیل آنها به ریزبلورهای فری مغناطیس می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش و بالا رفتن پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های سطحی عنوان گردد (۳۶).

وفور کانی‌های فری مغناطیس در خاک سطحی یک خصوصیت معمول در اغلب خاک‌های جهان می‌باشد (۳۲، ۴۳ و ۳). بالا بودن میزان پذیرفتاری مغناطیسی در خاک سطحی در شرایط طبیعی و عدم آلودگی می‌تواند ناشی از نوع بستر خاک‌ها از جمله موادی با منشا آتشفشانی و سنگ‌های آذرین باشد (۴۶ و ۱۶). مگنتیت و مگمیت از عمده‌ترین کانی‌های موثر در میزان پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشند (۳۲ و ۴۳). باور بر این است که مگنتیت کانی مغناطیسی به ارث رسیده از مواد مادری می‌باشد. این نوع از کانی‌ها معمولاً در ذرات درشت خاک (شن و سیلت) یافت می‌شوند. این

خاک‌های مورد بررسی x_{fd} در محدوده ۰ تا ۳٪ داشته که نشان‌دهنده وفور ذرات چند حوزه‌ای و به ارث رسیده از مواد مادری می‌باشد. بر این اساس ذرات فری‌مغناطیس خاک‌های مورد مطالعه اغلب در گروه ذرات چند حوزه‌ای با قطر بیش از ۱۱۰ میکرومتر و ذرات تک حوزه‌ای به ارث رسیده از مواد مادری قرار می‌گیرند.

$x_{fd} <$ برای نمونه‌های فاقد ذرات سوپرپارامغناطیس رایج است و اغلب ذرات با اندازه بزرگتر از ۰/۳ میکرون دارای مقادیر x_{fd} بین صفر تا ۲ درصد هستند (۱۱). کریمی و همکاران (۲۳) در پژوهشی بر روی تاثیر مواد مادری و کاربری اراضی بر روی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی بیان نمودند که در حدود ۷۰ درصد از



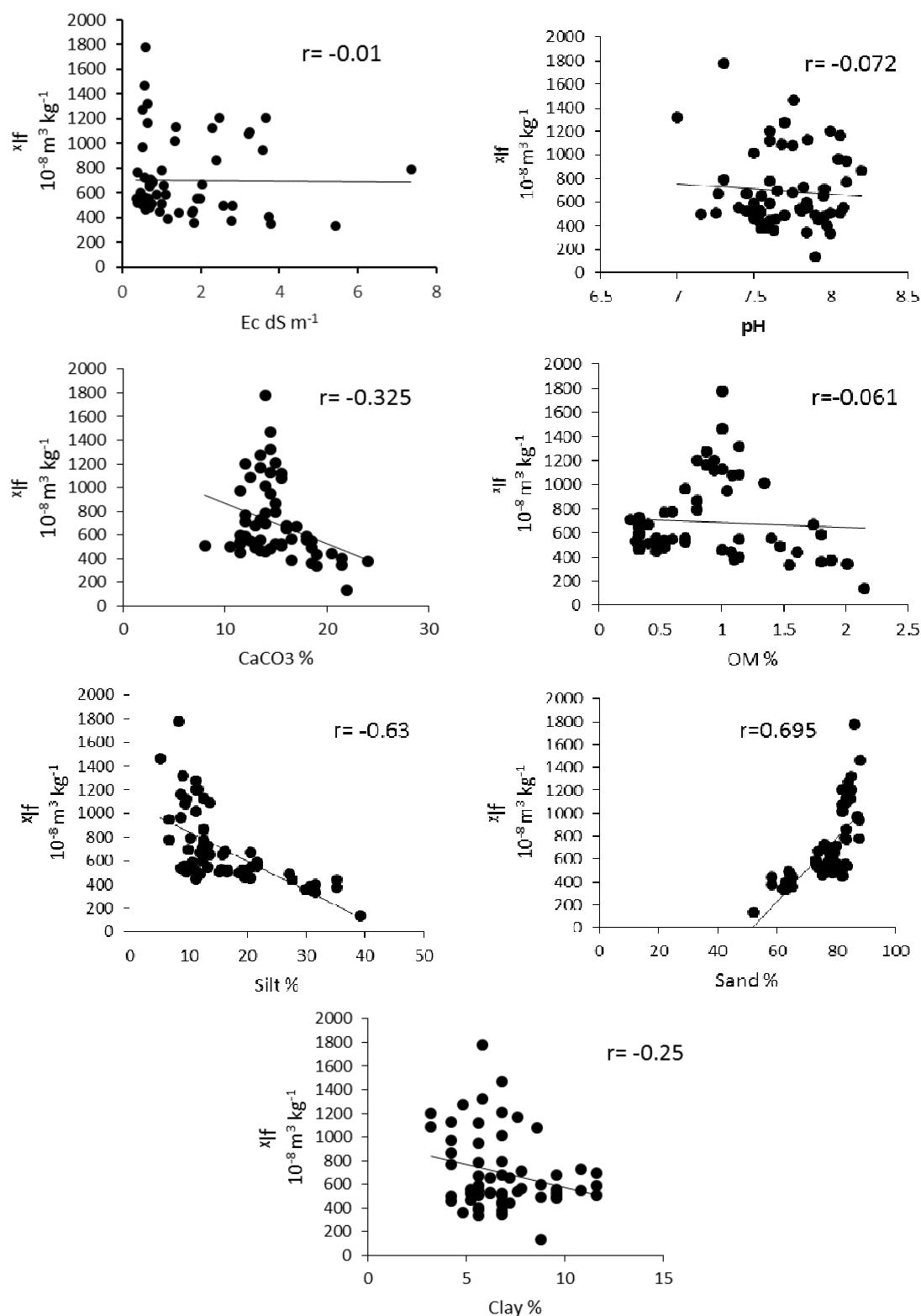
شکل ۲- نمودار شماتیک پراکنش مقادیر x_{lf} در برابر x_{fd}

Figure 2- Schematic diagram of x_{lf} values distributed versus x_{fd}

فری‌مغناطیس به ارث رسیده همانند مگنتیت اغلب در ذرات سیلت، شن و ذرات درشت‌تر از ترکیبات فری‌مغناطیس پدوژنیک وجود دارند (۳۵). از طرفی همبستگی منفی و معنی‌داری میان x_{lf} و CaCO_3 دیده شد (جدول ۲). کربنات کلسیم، آب، موادآلی و گچ از جمله مواد دیامغناطیس موجود در خاک هستند (۲). در مطالعه حاضر همبستگی منفی میان مقدار EC، pH، مواد آلی و مقدار رس با x_{lf} وجود دارد (جدول ۲، شکل ۳). این یافته‌ها با نتایج سرمست و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد (۴۰). حسینی و همکاران در مطالعه خود بر روی بررسی شاخص‌های تکامل خاک برش طولی کرمان- بافت همبستگی مثبت و معناداری میان پذیرفتاری مغناطیسی و درصد شن و همبستگی منفی و معناداری با درصد سیلت گزارش نمودند و آن را نشان دهنده تاثیر سنگ‌شناسی موادمادری و منعکس کننده اهمیت مواد مغناطیسی به ارث رسیده از سنگ بستر در حد و اندازه شن بیان کردند (۲۰). دنکوب و همکاران در مطالعه خود بر روی خاک‌های منطقه اصفهان همبستگی منفی و معنی‌داری میان EC، pH و مواد آلی بدست آورند و گزارش کردند که این همبستگی منفی را می‌توان به دلیل دیامغناطیس بودن این مواد و اثر رقت آنها بر کانی‌های مغناطیسی خاک دانست (۸).

ارتباط میان پارامترهای مغناطیسی و ویژگی‌های خاک

ضرایب همبستگی میان پارامترهای مغناطیسی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۲) و ارتباط میان پذیرفتاری مغناطیسی فرکانس پائین و ویژگی‌های خاک به صورت شماتیک در شکل (۳) نمایش داده شده‌است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین داده‌های حاصل از مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و درصد شن و همبستگی منفی و معناداری با درصد سیلت وجود دارد (جدول ۲، شکل ۳). بیشترین مقدار همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و مقدار شن بدست آمد. مقدار سیلت نیز در مرتبه دوم از نظر میزان همبستگی با پذیرفتاری مغناطیسی قرار گرفت. این یافته‌ها بیان می‌دارد که با افزایش درصد شن میزان پذیرفتاری مغناطیسی افزایش یافته است که نشان از اهمیت ذرات مگنتیت و بلورهای کانی‌های مغناطیسی اولیه به ارث رسیده از مواد مادری در اندازه شن خاک دارد که پذیرفتاری ذرات ریز و حاصل از فرآیندهای پدوژنیک را در درجات بعدی اهمیت قرار داده‌است (شکل ۳) (۳۵). دجنگ و همکاران (۹) در مطالعه خود بیان کردند که پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های با زهکشی مناسب با افزایش محتوای شن خاک افزایش یافته است. کانی‌های



شکل ۳- ارتباط میان χ_f و برخی از خصوصیات خاک‌ها

Figure 3- Relationship between magnetic susceptibility (χ_f) and selected soil properties.

جدول ۲- ضریب همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 2- Correlation coefficient among magnetic parameters and physicochemical properties of the studied soils

	EC	pH	OM	CaCO ₃	Sand	Silt	Clay
χ_{lf}	-0.010 ^{ns}	-0.072 ^{ns}	-0.061 ^{ns}	-.325*	.695**	-.630**	-0.25 ^{ns}
χ_{hf}	-0.011 ^{ns}	-0.071 ^{ns}	-0.061 ^{ns}	-.324*	.695**	-.629**	-0.248 ^{ns}
χ_{fd}	0.163 ^{ns}	-0.103 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.031 ^{ns}	-0.106 ^{ns}	0.142 ^{ns}	-0.142 ^{ns}

OM: مواد آلی خاک (Organic matter)، CaCO₃: کربنات کلسیم معادل (Calcium carbonate equivalent) χ_{lf} : پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس پایین
 χ_{hf} : پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس بالا (High Frequency Magnetic susceptibility)، χ_{fd} : پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (Frequency Dependent Magnetic Susceptibility)

*معنی داری در سطح احتمال ۵٪، **معنی داری در سطح احتمال ۱٪

*Significant (p<0.05), ** Significant (p<0.01)

تاثیر کاربری اراضی بر پارامترهای مغناطیسی

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری حاکی از وجود تفاوت معنادار ($P < 0.05$) بین میانگین مقدارهای χ_{lf} در کاربری‌های مختلف می‌باشد که در جدول (۳) نشان داده شده‌است. از طرفی مقایسه میانگین‌ها در خاک‌های کاربری‌های مرتع تخریب شده و دیم رها شده تفاوت معناداری نشان نداد. مقدار میانگین χ_{lf} مشاهده شده به ترتیب در مرتع با پوشش مناسب، مرتع تخریب شده، دیم رها شده و زراعی کاهش یافت. در شکل (۴ الف) بازه تغییرات مقادیر پذیرفتاری در هر کاربری به تفکیک نشان داده شده‌است. خاک‌های کشت شده به طور معنی داری میانگین پذیرفتاری کمتری نسبت به کاربری‌هایی با پوشش طبیعی دارند. وفایی‌زاده و همکاران نیز نتایج مشابهی گزارش کردند (۴۷). کاربری زراعی تحت کشت آبی می‌باشد. نوع آب آبیاری و کوددهی می‌تواند بر مقدار کربنات کلسیم و نمک‌های موجود در خاک تاثیرگذار باشد. زیادتیر بودن مقدار آهک و نمک‌های محلول در کاربری زراعی نسبت به سایر کاربری‌ها را می‌توان به عنوان یکی از عوامل موثر در کمتر بودن مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در این خاک‌ها دانست. خاک‌های مرتع پوشش دار، مرتع تخریبی و دیم رها شده برخلاف خاک‌های زراعی دارای مقدار آهک و هدایت الکتریکی کمتری می‌باشند. وجود آهک و نمک‌های محلول در خاک به عنوان مواد دیامغناطیس باعث رقیق شدن کانی‌های مغناطیسی در خاک می‌گردند (۲۹). همچنین شرایط اقلیمی و وجود باران‌های فصلی و فصول خشک می‌تواند شرایط را برای تبدیل اکسیدهای آهن کمتر مغناطیسی به اکسیدهای فری‌مگنتیت فراهم آورد. به نظر می‌رسد که آبیاری اراضی موجب کاهش دوره‌های خشک و مرطوب بودن خاک و کاهش تبدیل اشکال غیرمغناطیس به مغناطیسی آهن می‌گردد. دیرینگ و همکاران در مطالعه خود بر روی خاک‌های انگلیس پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری را در اراضی مرتعی نسبت به زمین‌های زراعی گزارش کردند (۱۲). فرآیند تغییر و تبدیل کانی‌ها در حضور مواد آلی تقویت می‌شود.

بلندل و همکاران گزارش کردند محدوده کربن آلی (۶/۷-۲٪) در شرایط زهکشی مناسب، ژئومورفولوژی پایدار، رطوبت کافی و حضور موجودات زنده می‌تواند در افزایش تشکیل کانی‌های مغناطیسی خاک موثر واقع شود (۵). خاک‌های مرتعی و زراعی بیشترین مقدار میانگین مواد آلی را دارا می‌باشند و خاک‌های مرتع تخریب شده و دیم رها شده در رده‌های بعدی قرار دارند (جدول ۳). در شرایط زهکشی مناسب، حضور کربن آلی به عنوان دهنده الکترون و باکتری‌های موثر در تشکیل کانی‌های مغناطیسی همانند مگنتوتاتیک می‌تواند در تشکیل آهن پدوژنیک موثر باشد که این شرایط در منطقه ریزوسفر و در کاربری غیر زراعی بیشتر مشاهده می‌گردد (۵۰). با توجه به مقادیر مواد آلی خاک‌های مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل‌های آماری می‌توان حضور مواد آلی را در کاربری مرتع پوششی نسبت به سایر کاربری‌ها یک عامل مثبت در نظر گرفت. مختاری و همکاران در مطالعات خود بر روی تاثیر نوع کاربری و موقعیت زمین‌نما بیان کردند که تفاوت معناداری در میانگین پذیرفتاری کاربری‌های مختلف وجود دارد، خاک‌های کشت شده و خاک‌هایی که تحت تاثیر دخالت‌های انسانی قرار می‌گیرند به طور معنی داری پذیرفتاری مغناطیسی کمتری نسبت به کاربری‌هایی که با پوشش گیاهی طبیعی پوشیده شده‌اند دارند و دلیل آن را افزایش میزان فرسایش خاک و هدررفت کانی‌های مغناطیسی و تغییر در میزان مواد دیامغناطیس و عناصر غذایی عنوان نمودند (۳۱). سدیکی و همکاران کاربری اراضی را به عنوان یک عامل کلیدی موثر بر پراکندگی پذیرفتاری مغناطیسی در پروفیل خاک عنوان کردند (۳۹).

میانگین پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در کاربری‌های مختلف اختلاف معناداری نشان نداد (جدول ۳). میانگین χ_{fd} در خاک‌های سطحی زراعی ۱/۰۵، مرتعی ۱، مرتع تخریب شده ۱/۰۸ و دیم رها شده ۱/۰۵ بدست آمد که بیشترین مقدار در خاک‌های مرتع تخریب شده و کمترین مقدار در خاک‌های زراعی مشاهده شد (شکل ۴ ب).

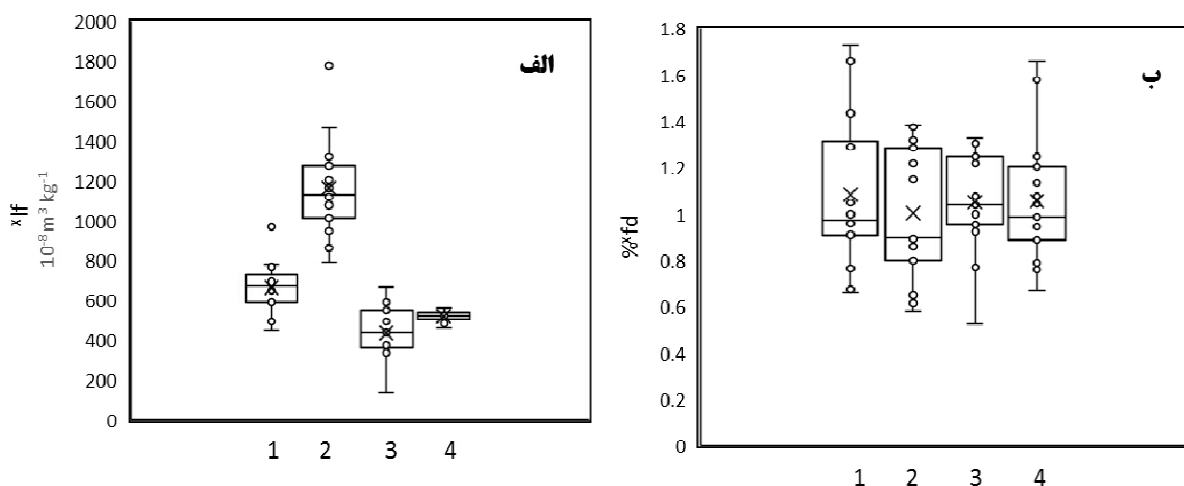
جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف در عمق ۰-۱۵ سانتی متر در منطقه مورد مطالعه

Table 3- Mean comparison of soil properties in different land uses at 0-15 cm depth in the studied region

متغیر	واحد	زراعی	مرتج با پوشش مناسب	مرتج تخریب شده	دیم رهاشده
Variable	Unit	Farmland	Well covered pasture	Degraded pasture	Degraded dryland farm
EC	dS m ⁻¹	2.373 ^a	2.253 ^a	0.805 ^a	0.565 ^a
pH	-	7.66 ^a	7.69 ^a	7.7 ^a	7.73 ^a
OM	%	1.52 ^a	0.98 ^b	0.5 ^c	0.39 ^c
CaCO ₃	%	19.1 ^a	14.23 ^b	12.76 ^c	13.8 ^{bc}
Sand	%	65.5 ^c	84.22 ^a	79.94 ^b	78.44 ^b
Silt	%	28.29 ^a	10.05 ^c	12.57 ^{bc}	13.68 ^b
Clay	%	6.2 ^b	5.72 ^b	7.48 ^a	7.88 ^a
χ_{lf}	10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹	435.61 ^c	1164.04 ^a	664.11 ^b	519.57 ^b
χ_{hf}	10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹	431.07 ^c	1152.7 ^a	657.4 ^b	514.06 ^c
χ_{fd}	%	1.05 ^a	1.00 ^a	1.08 ^a	1.05 ^a

اعداد با حروف مشابه در یک ردیف فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند.

Numbers followed by the same letter in each row are not significantly different.



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای پذیرفتاری مغناطیسی (الف) و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (ب) در کاربری‌های مختلف. (۱) مرتج تخریب شده ۲. مرتج با پوشش مناسب ۳. زراعی ۴. دیم رهاشده

Figure 4-Box plot of magnetic susceptibility (a) and frequency dependent magnetic susceptibility (b) in different land uses, 1) degraded pasture 2) well covered pasture 3) farmland 4) degraded dryland farm

خاک‌های مورد مطالعه را حدود ۵۶/۷٪ و گیاهان C3 ۱۲/۵٪ گزارش کردند. فرآیندهای رهاسازی و تجمع اکسیدهای آهن در طول تجزیه گیاهان توسط دانشمندان مختلفی مورد توجه قرار گرفته است (۱۳). ذرات اکسیدهای آهن رهاشده از گیاهان عمدتاً در محدوده ۰/۱-۱ میکرومتر قرار دارد که در محدوده ذرات تک حوزه و یا شبه تک حوزه قرار می‌گیرند (۱۵ و ۱۴). در خاک‌های مرتعی با پوشش مناسب، پوشش گیاهی عمدتاً شامل علف شور، درمنه، قیچ، شور سفید و خارخسک بوده که با توجه به مطالعات SU و همکاران این گیاهان در گروه گیاهان C4 قرار می‌گیرند (۴۴). در حالی که خاک‌های زراعی عمدتاً پوشش گیاهی از نوع گیاهان C3 شامل گندم، جو و یونجه

نوع کاربری و پوشش گیاهی نقش موثری در برهم‌کنش موجودات زنده و کانی‌ها دارند که تعیین کننده ماهیت و اندازه ریزوسفر است (۵). علاوه بر آن، نوع پوشش گیاهی بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک موثر می‌باشد. لو و همکاران (۲۴) با بررسی مقدار ترکیبات آهن در ۲۲ گونه گیاهی مختلف شامل گیاهان C3 و C4 مقدار Fe₂O₃ در گیاهان C4 را ۲ تا ۴ برابر بیشتر از گیاهان C3 و پذیرفتاری مغناطیسی این گیاهان را ۴ تا ۵ برابر بیشتر گزارش نمودند و بیان کردند که ریزوسفر گیاهان C3 و C4 توانایی متفاوتی در افزایش خصوصیات مغناطیسی خاک و ترشح ترکیبات مختلف آهن دارد. آنها توان گیاهان C4 در افزایش پذیرفتاری

اقلیمی، مواد مادری و توپوگرافی یکسان واقع گردیده‌اند و کاربری‌های مورد مطالعه تا حد امکان در مناطق نزدیک به یکدیگر انتخاب شده‌اند که می‌توان نقش کاربری اراضی و تاثیرات آن بر خصوصیات خاکی و پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها را بهتر درک نمود. مهم‌ترین نتایج مطالعه حاضر به این شرح است:

۱. مقادیر بالای χ_{lf} خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً منشأ یافته از مواد مادری آذرین می‌باشند.
۲. کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشد.
۳. تغییرات χ_{lf} خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً تحت تاثیر نوع کاربری، پوشش گیاهی و خصوصیات خاکی قرار دارند.
۴. بیشترین میزان χ_{lf} در خاک‌های مرتع پوششی مشاهده گردید که در ادامه به ترتیب مرتع تخریبی، دیم رها شده و زراعی قرار دارد. بالاتر بودن مقدار میانگین پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مرتع پوششی به عنوان یک کاربری دست نخورده با پوشش طبیعی و با توجه به بالاتر بودن میانگین درصد شن، نوع پوشش گیاهی (گیاهان C4) و کمتر بودن محتوای کربنات کلسیم قابل توجه است.

داشتند. با توجه به دخالت‌های انسانی و چرای دام در کاربری‌های مرتع تخریب شده و دیم رها شده، این مناطق فاقد پوشش گیاهی بودند. بنابراین، گیاهان C4 موجود در خاک‌های مرتعی با پوشش مناسب را می‌توان به عنوان یکی از عوامل احتمالی موثر بر افزایش پذیرفتاری خاک‌های سطحی منطقه در نظر گرفت. این نتایج با نتایج بین و همکاران مطابقت دارد (۵۱).

مقادیر میانگین درصد اندازه ذرات شن در کاربری مرتعی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و به ترتیب در مرتع تخریبی، دیم رها شده و زراعی کاهش یافته است (جدول ۳). با توجه به منشأ پذیرفتاری مغناطیسی که بخش اعظمی از آن در منطقه متوجه ذرات در اندازه شن می‌باشد، می‌توان یکی دیگر از دلایل بالاتر بودن میانگین پذیرفتاری در خاک‌های مرتعی و به دنبال آن روند مرتع تخریبی < دیم رها شده < زراعی را توجیه نمود.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف روشن نمودن عوامل موثر بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک انجام پذیرفت. خاک‌های مورد مطالعه در شرایط

منابع

- 1- Afshari A., Khademi H., and Ayoubi S.H. 2015. Lithological and anthropogenic factors affecting magnetic properties of calcareous soils in Zanjan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(3): 73-88. (in Persian with English abstract)
- 2- Alekseev A., Alekseeva T., Sokolowska Z., and Hajnos M. 2002. Magnetic and mineralogical properties of different granulometric fractions in the soils of the Lublin Upland Region. *International Agrophysics*. 16 (1): 1-6.
- 3- Armstrong A., Quinton J., and Maher B. 2012. Thermal enhancement of natural magnetism as a tool for tracing eroded soil. *Earth Surf. Process. Landforms*, 37, 14e20.
- 4- Banaie M.H. 2001. Map of Iran soils moisture and temperature regimes. Soil and Water research institute. Tehran. Iran.
- 5- 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. Review*, 95: 158-188.
- 6- Camargo L.A., Júnior J.M., Pereira G.T., and Bahia, A.S.R.D.S. 2014. Clay mineralogy and magnetic susceptibility of Oxisols in geomorphic surfaces. *Science Agriculture*. 71 (3), 244-256.
- 7- Climate-data for cities worldwide. 2012. www.climate-data.org.
- 8- Dankoub Z., Ayoubi S., Khademi H., and Sheng-Gao L.U. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use. *Pedosphere*, 22: 33-47.
- 9- De Jong E., Kozak L.M., and Rostad H.P.W. 2000. Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewan soils. *Canadian journal of soil science*. 80(1): 135-142.
- 10- De Jong E., Pennock D.J., Nestor P.A. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. *Catena*, 40 (3): 291-305.
- 11- Dearing J. 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. Chi Publishing, Kenilworth, England.
- 12- 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. *Journal of International Geophysics*, 127: 728-734.
- 13- Dickinson C.H. 1974. Decomposition of litter in soil, in *Biology of Plant Litter Decomposition* (eds. Dickinson C. H., Pugh, G. J. F.), London: Academic Press, 633-658.
- 14- Dunlop D. J. 1981. The rock magnetism of fine particles, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 26: 1-26.

- 15- Evans M.E., and McElhinny M.W. 1969. Investigation of the origin of stable remanence in magnetite-bearing igneous rocks. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 21: 757-773.
- 16- Fassbinder J.W.E., Gorka T. 2009. Beneath the desert soil - archaeological prospecting with caesium magnetometer. In: Reindel, M., Wagner, G.A. (Eds.), *New Technologies for Archaeology. Multidisciplinary Investigations in Palpa and Nasca, Peru*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, pp: 49-69.
- 17- Fine P., Singer M.J., La Ven R., Verosub K., and Southard R.J. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. *Geoderma*, 44:287-306.
- 18- Gee G.W. 2002. Particle size analysis. In: Jacobe H. D., and Clarke GT(ed), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. SSSA. Madison, WI. Pp: 201-214.
- 19- Geological survey and mineral exploration of Iran. 1995. Chahargonbad map 1:100000. Tehran map publication.
- 20- Hosseini S.S., Esfandiarpour Boroujeni I., Farpoor M.H., and Karimi A.R. 2015. Comparison of different soil development indices along Kerman-Baft transect. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(2): 1-22. (in Persian with English abstract)
- 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. *Soil Science*, 163(9): 726-738.
- 22- Jordanova N. 2017. *Soil magnetism. Application in pedology, environmental science and agriculture*. ISBN: 978-0-12-809239-2. 450p
- 23- Karimi A., Haghnia G.H., Ayoubi Sh., Safari, T. 2017. Impacts of geology and land use on magnetic susceptibility and selected heavy metals in surface soils of Mashhad plain, northeastern Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 138: 127-134.
- 24- Lü H., Liu D., Liu T. 2001. The effect of C3 and C4 plants for the magnetic susceptibility signal in soils. *Sci. China Ser. D Earth Sci*, 44 (4): 318-325.
- 25- Lu S. 2000. Lithological factors affecting magnetic susceptibility of subtropical soils, Zhejiang Province, China. *Catena*, 40 (4): 359-373.
- 26- Lu S.G., Chen D.J., Wang S.Y., and Liu Y.D. 2012a. Rock magnetism investigation of highly magnetic soil developed on calcareous rock in Yun-Gui Plateau, China: evidence for pedogenic magnetic minerals. *Journal of Applied Geophysics*, 77: 39-50.
- 27- Lu S.G., Zhu L., and Yu J.Y. 2012b. Mineral magnetic properties of Chinese paddy soils and its pedogenic implications. *Catena*, 93: 9-17.
- 28- Magiera T., Strzyszczyk Z., Kapicka A., and Petrovsky E. 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*, 130 (3): 299-311.
- 29- Marwick B. 2005. Element concentrations and magnetic susceptibility of Anthrosols: indicators of prehistoric human occupation in the inland Pilbara, Western Australia. *Journal of Archaeological Science*, 32: 1357-1368.
- 30- Michel F.M., Barrón V., Torrent J., Morales M.P., Serna C.J., Boily J.F., Liu Q., Ambrosini A., Cismasu A.C., and Brown Jr., G.E. 2010. Ordered ferrimagnetic form of ferrihydrite reveals links among structure, composition, and magnetism. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 107 (7): 2787-2792.
- 31- 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.
- 32- Mullins, C. E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – a review. *Journal of Soil Science*, 28: 223-246.
- 33- Nafeh M.H., and Brused M.K. 1985. *Electricity and Magnetism*. John Wiley Sons, Inc.
- 34- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Agron. Monogr. vol. 9*. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 181-196.
- 35- Oades J. M., and Townsend W. N. 1963. The detection of ferromagnetic minerals in soils and clays. *Journal of Soil Science*, 14: 179-187.
- 36- Owliaie H., Adhami E., Chakerhosseini M., Rajaei M., and Kasraian A. 2009. Evaluation of magnetic susceptibility source using CBD treatment and micro CT-scan images in some soils of Fars Province. *Journal of Water and Soil Science*, 12 (46): 773-788.
- 37- Owliaie H.R., and Enjavinejad M. 2016. *Soil Magnetism. Agricultural education and research publication*. P280. (in Persian)
- 38- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis, Second edition. Part2: Chemical and Biological Properties*. Soil Sci. Soc. AM. J. Inc. Publisher.
- 39- Sadiki A., Faleh A., Navas A., and Bouhlassa S. 2009. Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco. *Earth Surf. Process. Landforms*, 34: 2057-2069.
- 40- Sarmast M., Farpoor M.H., and Esfandiarpour I. 2017. Magnetic susceptibility of soils along a lithotoposequence in southeast Iran. *Catena*, 156: 252-262.
- 41- Schaetzl R., Anderson A. 2009. *Soils Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, UK, ISBN. 978-0-521-81201-6.

- 42- Schwertmann U., and Taylor R.M. 1989. Iron oxides. P. 379-438. In: Dixon, J.B. and S.B. Weed, (eds.), Minerals in soil environment. Soil Science Society of America, Madison, USA.
- 43- Stanjek H., Fassbinder J. W. E., Vali H., Wägele H. and Graf W. 1994. Evidence of biogenic greigite (ferrimagnetic Fe₃ S₄) in soil. Eur. J. Soil Sci, 45: 97–103.
- 44- Su P., Xie T.T., and Zhou Z. 2011. C4 plant species and geographical distribution in relation to climate in the desert vegetation of China. Sciences in Cold and Arid Regions, 3(5): 0381–0391.
- 45- Szuszkiewicz M., Łukasik A., Magiera T., Mendakiewicz M. 2016. Combination of geo-pedo- and technogenic magnetic and geochemical signals in soil profiles - diversification and its interpretation: a new approach. Environmental Pollutant, 214: 464–477.
- 46- Tucker P.M. 1952. High magnetic effect of lateritic soil in Cuba. Geophysics. 17:753-775.
- 47- Vafaiezhadeh R., Ayoubi SH., Mosadeghi M.R., and Yousefifard M. 2016. Slope and Land Use Changing Effects on Soil Properties and Magnetic Susceptibility in Hilly Lands, Yasouj Region. Journal of Water and Soil, 30 (2): 632-642. (in Persian with English abstract)
- 48- Walkey A., and Black I. A. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science, 37: 29-38.
- 49- Xia D., Jin M., Liu X., Chen F., Ma J., Zhao H., Wang X., and Wei H. 2007. A preliminary study on the magnetic signatures of modern soil in Central Asia. Front. Earth Sci. 1 (3): 275–283.
- 50- Yang P., Mao R., and Shao H. 2009. An investigation on magnetic susceptibility of hazardous saline-alkaline soils from the contaminated Hai River Basin, China. Journal of Hazardous. Materials, 172: 494-497.
- 51- Yin L. J., Li M. R. 1997. A study on the geographic distribution and ecology of C4 plant in China, Acta Ecological Sinica (In Chinese with English abstract), 17: 350-363.



Magnetic Susceptibility Related to Soil Properties in Different Land Uses of Bardsir Region, Kerman Province

S. Taghdis¹ – M. H. Farpoor^{2*}

Received: 01-01-2018

Accepted: 26-02-2018

Introduction: Soil magnetic properties reflect the complex chemical, geological and biological interactions occur in the soil. Thus, knowledge about the factors affecting soil magnetic properties helps better understanding and interpreting the results. The lithogenic magnetic minerals are often found in the coarse soil fractions (sand and silt) and they have inherited from parent rocks. Weathering and soil formation factors may lead increasing or decreasing of magnetic susceptibility. Climate and vegetation type are among the other factors affecting magnetic susceptibility too. Amount and distribution of magnetic susceptibility may also be affected by land use. The main objective of this research was to study the effect of different land uses and vegetation types on the magnetic susceptibility of topsoil related to soil properties.

Materials and Methods: The study area was located in MahoonakeZiba around the Bardsir region, Kerman Province. The moisture and temperature regimes of the study area were sub aridic and mesic, respectively. The study area is located in the alluvial plain with igneous parent material originated from andesite, volcanic tuff, and dacite. Four land uses including farmland, well-covered pasture, disturbed pasture and degraded dryland farm with similar climate, topography, and parent material were selected. Overall, 60 complex surface samples were collected from the depth of 0-15 cm. The physicochemical analyses were done on the samples after that the soils were air dried, crushed, and passed through a 2 mm sieve. The soils magnetic susceptibility (χ) in low (0.46 kHz) and high (4.6 kHz) frequencies were measured using the Bartington MS2 dual frequency sensor in two replications. The frequency depended magnetic susceptibility (χ_{fd} %) was calculated as a development index of soil forming factors reflecting ferrimagnetic particle sizes.

Results and Discussion: The pH of studied soils were in the range of neutral to alkaline and had the lowest coefficient of variance between measured parameters. The average of soil EC was 1.76 dS/m with a high coefficient of variance. The lowest amount of organic matter was in land use of degraded dryland farm (0.26 %) and the highest was in farmland (2.15 %). The lowest amount of calcium carbonate with the coefficient of variance 12.37 % measured in the degraded pasture and its maximum was in the farmland. The loamy sand and sandy loam textural classes were found in the area under study. The minimum and maximum amounts of χ_{lf} were determined in farmland ($134.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) and well-covered pasture ($1778.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$), respectively and the relatively high mean value was $695.83 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. The topsoil of the study area was formed on alluvial deposits with a parent material originated from igneous andesite, tuff and dacite rocks. The high values of magnetic susceptibility of all soils under study could be attributed to the existence of initial magnetic minerals inherited from the parent material. The statistical analysis revealed a significant difference among χ_{lf} values ($p < 0.05$). The average measured χ_{lf} values decreased in the order of well-covered pasture, disturbed pasture, degraded dryland farm, and farmland. The cultivated soils showed significantly lower magnetic susceptibility values compared to natural vegetative land uses. The type of irrigation water and fertilization could have affected calcium carbonate and salt contents of soils. The lower amounts of magnetic susceptibility observed in soils were attributed to the higher amounts of calcium carbonate and salts. It seems that irrigation has led to decrease of soil wetting-drying periods which in turn decreased transformation of nonmagnetic to magnetic forms of minerals. The calculated χ_{fd} in the range of 0.52 to 1.73 percent indicated the presence of multidomain particles induced from igneous parent materials as the main source of magnetic susceptibility in the studied area. The variability of most measured soil properties determined in different land uses was statistically significant. There was a significant positive correlation between magnetic susceptibility and sand content. On the other hand, a significant negative correlation among magnetic susceptibility, silt and calcium carbonate contents were

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

(* - Corresponding Author Email: farpoor@uk.ac.ir)

observed. Besides, the kind of vegetation cover affects the amount of soil magnetic susceptibility. In the well-covered pasture, the vegetation is usually C4 type. While, the farmland soils were usually covered by C3 plants including wheat, barley, and alfalfa. According to human-induced erosion and over grazing in degraded pasture and dryland, very scarce vegetation was found. Therefore, it seems that C4 plants present in soils of well-covered pasture played a role in increasing the topsoil magnetic susceptibility in this land use.

Conclusion: The results showed that, type of land use and vegetation cover have caused the formation and accumulation of soil magnetic minerals by affecting soil forming processes and changing the soil properties.

Keywords: Central Iran, Magnetic parameters, Farmland, Pasture, Soil magnetism

پایش و پیش‌بینی حدی دما و تاثیر آن بر روی کشاورزی مطالعه موردی: توت فرنگی استان کردستان

سامان فشخورانی^{۱*} - محمد سلیقه^۲ - مهری اکبری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی دماهای حدی استان کردستان، پیش‌بینی آن و تاثیری که بر عملکرد توت‌فرنگی خواهد گذاشت، می‌باشد، به این منظور ضمن اخذ داده‌های میانگین دمای روزانه، میانگین حداکثر و حداقل دما، دمای حداکثر مطلق، دمای حداقل مطلق و بررسی پتانسیل دمایی منطقه، درجه حرارت‌های بحرانی برای توت فرنگی تعیین و تاریخ وقوع آن و طول دوره رشد محاسبه گردید. داده‌های عملکرد توت فرنگی نیز اخذ و تاثیر دماهای حدی و تاریخ وقوع با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن محاسبه گردید. در نهایت جهت بررسی اثر تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل SDSM تحت سناریوی rcp2.6، از سناریوهای CMIP5 داده‌های آینده در بازه‌های زمانی ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ تولید شد. همچنین در نرم افزار SMADA احتمال وقوع دماهای حدی در دوره بازگشت‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد تاریخ‌های وقوع دماهای دی نوسان زیادی نداشته و آخرین دمای حدی (حداقل دمای مور نیاز برای آغاز رشد توت فرنگی) گرایش به زودرس بهار (نسبت به میانگین تاریخ‌های وقوع زودتر رخ می‌دهد) و رخداد اولین دماهای حدی (حداکثر دمای مناسب برای رشد توت فرنگی) در اواخر تیر بصورت زودرس تابستانه (نسبت به میانگین تاریخ‌های وقوع زودتر رخ می‌دهد) می‌باشد و فصل رشد تقریباً کوتاه (چهار ماهه) برای توت فرنگی در فضای باز شاهد خواهیم بود. دمای حداقل، بیشترین تاثیر را در فروردین و دمای حداکثر بیشترین تاثیر را در تیر دارد. بالاترین میزان همبستگی بین میانگین ماهانه دما و عملکرد ماهانه توت فرنگی مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خرداد می‌باشد. داده‌های شبیه سازی شده نشان می‌دهد در فصل رشد شاهد افزایش یک تا دو درجه‌ای دما و زودرس شدن دمای حداقل بهار و دمای حداکثر تابستانه خواهیم بود. بنابراین با توجه به پتانسیل دمایی منطقه، پیشنهاد می‌شود در برنامه‌ریزی‌های مربوطه کشت زود هنگام و زودرس شدن توت فرنگی در دستور کار قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل SDSM، پتانسیل دمایی، دوره رشد

مقدمه

فیزیولوژیکی در آن بوجود می‌آید که ممکن است مانع از رشد بهینه گیاه شود. بنابراین گیاهان برای رشد بهینه به محدوده دمایی خاصی احتیاج دارند و خارج شدن از این محدوده بعنوان یک تنش محسوب میشود. برای مثال دمای ۴ درجه سانتیگراد باعث سیاه شدن برگ‌های نوعی ریحان (*Ocimum × citriodourum*) شد که علت آن را فعالیت زیاد پراکسیدازها و پلیفنل اکسیداز دانستند. (۲۳) در پژوهشی برای انتخاب رقم مناسب توت فرنگی جهت کشت در فضای آزاد در استان کردستان، با بررسی یازده صفت مورفولوژیکی، فنولوژیکی، عملکرد اجزا و عملکرد میوه طی کاشت دوازده رقم توت فرنگی بر روی یک پشته با فواصل یک متری به این نتیجه رسیدند که رقم کوبین الیزا به دلیل سازگاری خوب با شرایط آب و هوایی و خاک استان کردستان و نیز داشتن عملکرد بالا میتواند جایگزین مناسبی برای رقم محلی کردستان باشد. (۳۰). این سیاه شدن در برگ‌های بالغ بیشتر از برگ‌های جوان بود. محدوده دمای بحرانی کاهو در شب ۳ تا

تاثیر عوامل آب و هوایی بر روی محصولات کشاورزی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشد، بنابراین اگر در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی نسبت به نقش عوامل و عناصر جوی آگاهی کافی وجود نداشته باشد توفیق چندانی حاصل نخواهد شد، زیرا ثابت شده است که در بیشتر موارد، بازده کم محصولات کشاورزی نتیجه عدم حفظ و ناتوانی در ایجاد شرایط متعادل جوی است. تنش‌های دمایی از مهمترین عوامل محدودیت رشد گیاهان میباشند. در اکثر گیاهان وقتی گیاه در معرض فرین‌های دمایی قرار گیرد، تغییرات

۱، ۲، ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استادان گروه آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی تهران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Samanfashkhorani65@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v32i1.67964

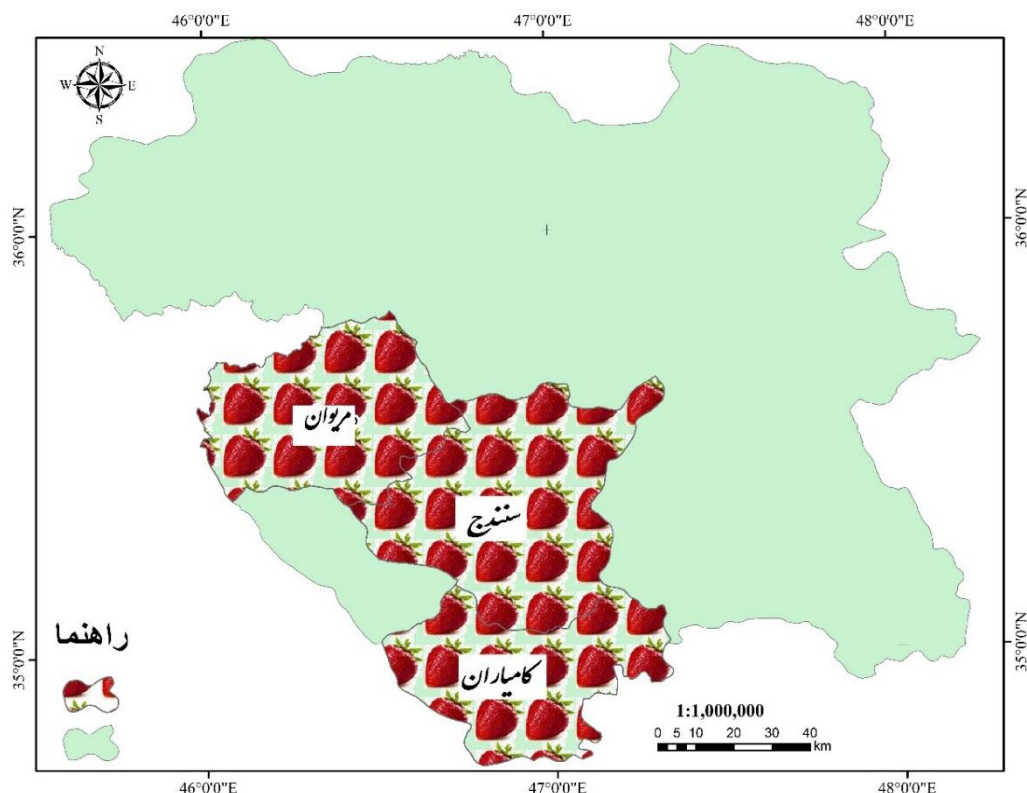
(تولید سالانه بیش از چهل هزار تن و حدود ۸۰ درصد کل تولید سالانه توت فرنگی در کشور) باعث شد تا تحقیقی در زمینه تاثیر تنش‌های دمایی بر محصول توت فرنگی استان انجام شود بلکه نتایج تحقیق کمکی در حل مسائل مربوطه باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی و پایش حدی دما، در استان کردستان با توجه به اینکه قسمت جنوب غرب استان کردستان و بالاخص سه شهرستان سنندج، مریوان و کامیاران در زمینه تولید توت فرنگی بیشتر از سایر شهرستان‌های استان فعالیت داشته و در حدود ۹۰ درصد کل تولید توت فرنگی استان به ویژه در زمینه تولید در فضای باز را به عهده دارند. بنابراین این منطقه به عنوان منطقه اصلی پژوهش در نظر گرفته شد (شکل ۱) و داده‌های مربوط به دما و تولید توت فرنگی در این منطقه زمینه اصلی این پژوهش را تشکیل میدهد. لازم به ذکر است استان کردستان با مساحتی بالغ بر ۲۸۲۰۳ کیلومتر مربع (معادل ۱/۷ درصد مساحت کل کشور) در غرب کشور ایران و در مجاورت خاک عراق واقع شده است، از شمال به استانهای آذربایجان غربی و زنجان از غرب به کشور عراق از جنوب به استان کرمانشاه و از شرق به استان همدان و قسمتی دیگر از استان زنجان محدود می‌شود. شهرستان سنندج مرکز استان کردستان است.

با توجه به اینکه در این پژوهش کشت توت فرنگی در فضای باز مورد توجه است و اینکه ایستگاه‌های هواشناسی در این شهرستان‌ها به لحاظ نزدیکی بعد مسافت به مزارع، ارتفاع از سطح آب‌های آزاد و طول و عرض جغرافیایی میتوانند مبین شرایط دمایی در فضای باز مزارع باشند. بنابراین آمار روزانه دمای سه شهرستان سنندج، مریوان و کامیاران را در جداول اکسل قرار داده و بررسی کافی بودن سال‌های آماری، توسط کنترل دقیق داده‌ها بر روی آنها انجام گرفت و نقص‌های اندک آماری موجود در دوره مطالعاتی با روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها اصلاح گردید. سپس همگنی داده‌ها با فرمول موکاس (*MOCKUS*) و ران تست کنترل شد. پس از کنترل داده‌ها و بررسی پتانسیل دمایی منطقه مورد مطالعه به تعیین دماهای حداقل و حداکثر مورد نیاز توت فرنگی برای رشد که با توجه به رجوع به جهاد کشاورزی استان کردستان و مرکز تحقیقات توت فرنگی و مشاوره با کارشناسان این سازمان از جمله مصاحبه با آقای محمد سرسیفی که تحقیقات بسیاری در مورد توت فرنگی انجام داده اند و دمای حداقل ۵ درجه سانتیگراد و حداکثر ۳۵ درجه سانتیگراد را برای محصول توت فرنگی در استان کردستان را اعلام کردند، بنابراین در این پژوهش نیز از این درجه حرارت‌ها استفاده شد.

۱۲ درجه سانتیگراد و در روز ۱۷ تا ۲۸ درجه است. دماهای خارج از این محدوده باعث به گل رفتن، کاهش تشکیل سر و تلخی کاهو میشود (۳۱). در مورد گوجه فرنگی نیز تنش سرما باعث کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه ای مخصوصا در گیاهان دارای کمبود عناصر غذایی میشود (۲۷). (۷) میزان خسارت گل‌های توت فرنگی بر اثر یخبندان را به روش غربال‌گیری ارزیابی کردند. آنها گل‌های توت فرنگی را در معرض دماهای پایین قرار داده و فلورسانس کلروفیل را در همه تیمارها اندازه گیری کردند. میزان فلورسانس کلروفیل متغیر در همه ژنوتیپ‌ها وقتی گل‌ها در ۳- درجه سانتیگراد نگهداری شدند، قدری کاهش پیدا کرد. این کاهش کم در بیشتر ارقام مقاوم به سرما معنی‌دار نبود، اما در بسیاری از ارقام حساس به سرما رابطه معنی‌داری مشاهده شد. (۱۲) به پیش بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی استان چهارمحال و بختیاری پرداخت که در نهایت به این نتیجه رسید که روند تغییرات زمان وقوع سردهای مضر حرارتی برای دوران سرمای بهاره از یک روند صعودی و برای دوران یخبندان پاییزه از یک روند نزولی پیروی میکند. (۱۱) به بررسی درجه حرارت تحمل به سرمای ارقام مختلف برنج در مرحله جوانه‌زنی پرداخت. نتایج حاصل از تعیین شاخص حساسیت نسبت به تنش برای ارقام مورد مطالعه از نظر صفات درصد جوانه زنی نشان داد که ارقام مورد بررسی از نظر مقاومت و حساسیت به سرما اختلاف زیادی دارند. (۳۰) طی مطالعه ای بر روی روند رخداد یخبندان دیر رس بهاره، زود رس پاییزه، طول دوره یخبندان و تعداد روزهای یخبندان با هدف کاهش خسارت‌های کشاورزی در چند نمونه اقلیمی ایران (تبریز، تهران، زاهدان، شیراز، کرمانشاه و مشهد) به طور کلی به این نتیجه رسیدند که جز در مورد تبریز و زاهدان، طول دوره ای که گیاه به دور از ریسک مواجه شدن با یخبندان میتواند به رشد و توسعه بپردازد، افزایش یافته و همچنین جز در زاهدان، تعداد روزهای یخبندان در مابقی ایستگاه‌ها دچار کاهش شده است (۲۲) به مدلسازی خسارت یخبندان بهاره درختان میوه (محصول سیب) در مکان‌دشت مشهد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین ضریب همبستگی میان خطر خسارت یخبندان با دمای حداقل و به میزان ۰/۸۶۷ می‌باشد. در زمینه تاثیر تنش‌های دمایی بر زراعت، پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته، این موضوع و خسارات فراوان ناشی از تنش‌های دمایی که سالانه گریبانگیر محصولات زراعی استان کردستان میشود (خسارت ۵۰ تن محصولات باغی استان کردستان در سال ۹۴، با ارزش ریالی ۲۴۴ میلیارد تومان به دلیل سرمای دیر رس بهاره) نشان دهنده اهمیت موضوع تاثیر دماهای حدی بر کشاورزی منطقه می‌باشد. همچنین با توجه به جایگاهی که میوه استراتژیک توت فرنگی در استان کردستان دارد



شکل ۱- نقشه محدوده تولید توت فرنگی در استان کردستان
Figure 1- Map of Strawberry Production Range in Kurdistan Province

دمای حدی (دمای حداکثر تابستانه) روزشمار شده و طول فصل رشد مشخص گردید. در مرحله بعد جهت محاسبه همبستگی میزان تولید توت فرنگی با دماهای حدی و تاریخ وقوع دماهای حدی و همچنین محاسبه همبستگی میزان تولید توت فرنگی در هر سال با طول فصل رشد توت فرنگی در آن سال، آمار میزان تولید این گیاه از سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان اخذ گردید که متأسفانه به علت اینکه توت فرنگی میوه‌ای نسبتاً جدید بوده و از تولید عمده آن در استان کردستان زمان زیادی نمی‌گذرد و از اوایل دهه هشتاد تولید این میوه در سازمان جهاد کشاورزی و تحقیقات توت فرنگی استان کردستان ثبت شده است، لذا با توجه به این موضوع که آمار معتبر موجود در سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان در مورد میزان تولید و سطح زیر کشت توت فرنگی از سال ۱۳۸۱ به بعد موجود می‌باشد، بنابراین آمار ۱۵ ساله میزان تولید این میوه در سطح استان تهیه شد و میزان همبستگی محاسبه و در جداولی تهیه گردید. در این زمینه از روش های آماری همچون ضریب چولگی برای بررسی توزیع نرمال داده‌های مربوط به تاریخ وقوع دماهای حدی و از ضریب همبستگی اسپیرمن (رتبه‌ای) برای بررسی رابطه دماهای حدی و عملکرد توت‌فرنگی استفاده شد، این ضریب همبستگی به این دلیل انتخاب گردید که داده‌های مربوط به تاریخ وقوع دمای حدی باید تبدیل شود

تاریخ وقوع آنها و در نهایت تعیین طول فصل رشد این گیاه پرداخته شد. در واقع آخرین تاریخی که در آن درجه حرارت حداقل ۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ روز پیاپی در ابتدای فصل رویش و اولین تاریخی که در آن دمای حداکثر ۳۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ روز پیاپی در پایان فصل رشد توت فرنگی به ثبت رسیده است، استخراج شود. در این مورد با توجه به اینکه پس از رجوع به مرکز تحقیقات توت فرنگی و مصاحبه با کارشناسان این مرکز به خصوص راهنمایی‌های آقای دکتر محمد سرسیفی که سالها بر روی توت فرنگی تحقیق کرده اند، دمای مورد نیاز برای آغاز رویش توت فرنگی دمای حداقل ۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد که معمولاً این مقدار دما در ماه‌های اسفند و فروردین رخ می‌دهد و رشد توت فرنگی در فضای باز نیز در ماه‌های اسفند و فروردین می‌باشد، بنابراین ماه‌های اسفند و فروردین به منظور بررسی اولین رخداد دمای حداقل بهار و همین‌طور با توجه به اینکه دمای ۳۵ درجه سانتیگراد به عنوان حداکثر دمای مناسب برای رشد و نمو توت فرنگی در نظر گرفته شد و این مقدار دما به طور معمول در ماه‌های تیر و مرداد رخ میدهد بنابراین ماه‌های تیر و مرداد برای بررسی اولین رخداد حداکثر دمای مورد نیاز گیاه توت فرنگی انتخاب و مبنای کار قرار داده شدند و حفاصل بین تاریخ آخرین دمای حدی (دمای حداقل بهار) و اولین

و یا اینکه دمای ۳۵ درجه سانتیگراد با وجود اینکه بازدهی منفی در عملکرد توت فرنگی دارد، اما در محاسبات همبستگی معمول مثبت محاسبه میشود، بنابراین این داده‌ها نسبت به ارزشی که دارند رتبه بندی و سپس بر حسب رتبه‌ای که دارند همبستگی آنها محاسبه شود. از ضریب تعیین برای بررسی توانمندی و اعتبار خط رگرسیون و از خط روند برای بررسی گرایش داده‌های دمایی استفاده شد. در نهایت پس از محاسبه میزان همبستگی طول فصل رشد و میزان عملکرد و همچنین محاسبه همبستگی تاریخ و میزان دمای حداقل و حداکثر رخ داده با میزان تولید توت فرنگی و تعیین اینکه دمای حداکثر و حداقل و تاریخ وقوع این دماها تا چه میزان بر روی تولید توت فرنگی تاثیر داشته است، با آگاهی نسبت به این موضوع که دماهای حدی چه تاثیری در میزان تولید توت فرنگی دارند، به منظور پیش بینی دمای حداقل و حداکثر استان کردستان در آینده براساس سناریوی *rcp26* از سناریوهای اقلیمی *CMIP5* در بازه‌های ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ داده‌های شبیه سازی شده تولید و خلاصه شدند. لازم به ذکر است در این پژوهش از نرم افزارهای آماری همچون اکسل (*Excell*) و اس پی اس اس (*Spss*) برای برازش داده‌ها و بررسی رابطه آنها و از روش ریزمقیاس نمایی در نرم افزار اس دی اس ام (*SDSM*) برای پیش بینی وضعیت اقلیمی آینده و از نرم افزار اس مادا (*SMADA*) برای برآورد احتمال دوره بازگشت درجه حرارت‌های تنش زا و تاریخ وقوع آنها استفاده گردید.

نتایج و بحث

داده‌های دمایی (دمای حداقل، دمای حداکثر و میانگین دما) منطقه مورد مطالعه (سنندج، مریوان و کامیاران) از زمان بدو تاسیس هر ایستگاه تا سال ۱۳۹۵ از سازمان هواشناسی استان، اخذ و کارهای ابتدایی بر روی آنها انجام گرفت. آزمون کافی بودن تعداد سالهای آماری، مشخص نمود که دوره آماری ۱۵ سال برای تجزیه و تحلیل دماهای بحرانی کافی است، بنابراین یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹۰-۱۳۷۶) به عنوان جامعه آماری نمونه انتخاب گردید تا بین میانگین آمار دراز مدت و میانگین جامعه نمونه و همچنین میان تک تک سال های آماری موجود با جامعه نمونه مقایسه به عمل آید. نتایج آزمون ران تست نشان داد که تمام داده های مربوط به روز شمار کردن تاریخ وقوع دماهای بحرانی و طول فصول رشد در ایستگاه سنندج همگن بوده و به همگن سازی آنها نیازی نیست. سپس تاریخ رخداد فرین‌های دمایی مشخص شد و با روزشمار کردن فاصله میان این دو تاریخ، طول دوره رشد محاسبه گردید. آزمون های نرمال بودن داده های مربوط به اعداد روز شمار تاریخ وقوع اولین و آخرین دمای بحرانی و نیز طول فصل رشد ایستگاه سنندج ثابت کرد که اعداد مذکور از توزیع نرمال پیروی می کنند و نمودار توزیع نرمال براساس

آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مشخص کرد که اعداد روزشماری شده تاریخ وقوع دمای بحرانی و طول فصول رشد در تمامی سالهای مورد مطالعه (از سالی به سال دیگر) در ایستگاه سنندج تقریباً دارای توزیع نرمال هستند. خط روند نیز نشان داد بین تاریخ های وقوع اولین و آخرین فرین‌های دمایی با زمان (سال) در ایستگاه سنندج ارتباطی ضعیف و منفی وجود داشته و روند زمان از سالی به سال دیگر، در نوسان رخداد آنها مؤثر نبوده است. محاسبات مربوط به ضریب چولگی ایستگاه سنندج در مورد تاریخ وقوع دماهای بحرانی و طول فصل رشد (جدول ۱) چوله‌های تقریباً متقارنی را نشان میدهد و در سالهای مورد مطالعه، نخستین دماهای بحرانی در تاریخ های تقریباً مساوی نسبت به تاریخ میانگین به دست آمده (۲۹ اسفند)، رخ داده‌اند و به نسبت بسیار کمی چوله به چپ گرایش دارد، یعنی تقریباً تعداد بیشتری از تاریخ های رخداد اولین دماهای بحرانی قبل از تاریخ میانگین رخ داده‌اند و اکثراً در اسفندماه رخ داده‌اند. همچنین در مورد آخرین دمای بحرانی نیز چولگی ضعیف و مثبت نشان دهنده تقسیم رخداد فرین‌های دمایی واپسین به نسبت تقریباً مساوی نسبت به تاریخ میانگین به دست آمده (۲۳ تیر) می‌باشد. ضریب چولگی طول فصل رشد نیز بسیار ضعیف و نشان دهنده تقارن تعداد روزهای رشد نسبت به میانگین به دست آمده (۱۱۶ روز) است. بنابراین در کل شاهد نوسان زیادی در تاریخ های رخداد دمای فرین و طول فصل رشد نمی‌باشیم. ضریب چولگی ضعیف منفی مربوط به اعداد تاریخ وقوع اولین دماهای بحرانی، نشان می دهد که اغلب فرین های دمایی بهاره در طی دوره آماری انتخاب شده در این ایستگاه، بیشتر گرایش به سوی فرین های زودرس بهاره داشته (اواخر اسفند) و کمتر به صورت دمای بحرانی دیر رس بهاره ظاهر شده اند. به عبارت دیگر خاتمه تاریخ وقوع آخرین دمای بحرانی بهاره این ایستگاه اکثراً زود انجام گرفته و بارها در اسفند اتفاق افتاده است. همچنین محاسبات نشان میدهد ضرایب چولگی در مریوان و کامیاران نیز ضعیف بوده و نسبت به میانگین خود حالت متقارنی را نشان میدهند.

جهت بررسی تاثیر زمان وقوع دماهای حدی بر روی میزان عملکرد سالانه توت فرنگی، داده‌های مربوط به تاریخ وقوع آخرین دمای حدی بهاره و اولین دمای حدی تابستانه با عملکرد سالانه توت فرنگی در منطقه مورد مطالعه مقایسه شد. برای این کار ابتدا داده‌های مربوط به تاریخ وقوع دماهای حدی رتبه بندی گردید به طور مثال به داده‌ای که مربوط به تاریخ وقوع دمای حدی در اواخر فروردین بود و تاثیر منفی بر رشد توت فرنگی داشت ارزش کمتر و به تاریخی که در اوایل اسفند رخ داده بود و خسارتی به رشد توت فرنگی وارد نمیکرد ارزش و رتبه بالاتری تعلق گرفت. به همین صورت داده‌های عملکرد توت فرنگی نیز بنابه میزان عملکردی که داشته اند ارزش دهی شدند و همبستگی اسپیرمن (رتبه‌ای) آنها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که همبستگی تاریخ وقوع دمای حداقل بهاره بر روی عملکرد سالانه

توت فرنگی به ترتیب برای سنندج، مریوان، کامیاران ۰۰/۳۲۵، ۰۰/۳۴۳، عملکرد توت فرنگی به ترتیب برای سنندج، مریوان، کامیاران ۰۰/۱۶، ۰۰/۴۲۵، و همبستگی تاریخ وقوع نخستین دمای حدی تابستانه و ۰۰/۱۲، ۰۰/۲۲ می‌باشد.

جدول ۱- ضریب چولگی و میزان نوسان تاریخ‌های وقوع دماهای فرین ایستگاه سنندج
Table 1- Kurtosis and swing rate of date of the temperatures at the station of Sanandaj

متغیر ها Variables	میانگین Average	میزان نوسان swing rate	ضریب چولگی coefficient of kurtosis
اولین دمای بحرانی (first critical temperature)	29 اسفند March 29	از 6 اسفند تا 29 فروردین March 6 to March 29	-0.071
آخرین دمای بحرانی (last critical temperature)	23 تیر July 23	از 8 تیر تا 2 مرداد July 8 to August 2	0.048
تعداد روزهای طول فصل رشد (days of growing)	116.5 روز 116.5 days	از 97 روز تا 147 روز From 97 days to 147 days	0.011

جدول ۲- میزان همبستگی تاریخ وقوع آخرین دمای حداقل (تاریخی که در آن برای آخرین بار در آن سال زراعی، حداقل دمای مورد نیاز توت فرنگی رخ داده و از آن پس دما بالاتر از حداقل مورد نیاز بوده و توت فرنگی می‌تواند رشد کند) و عملکرد توت فرنگی سالانه در سنندج

Table 2- Correlation between the date of occurrence of the latest minimum temperature and annual strawberry production in Sanandaj

سال‌ها years	رتبه تاریخ آخرین دمای حداقل Date of last minimum temperature rating	تاریخ آخرین دمای حداقل Date of last minimum temperature	رتبه میزان عملکرد Performance rating	سطح کشت Under cultivation (ha)
1381	3	1.11	3	1500
1382	3	1.10	3	1530
1383	1	1.29	2	1560
1384	4	1.7	4	1620
1385	9	12.6	5	1625
1386	3	1.10	3	1620
1387	8	12.15	7	1358
1388	7	12.28	6	1300
1389	7	12.28	2	1310
1390	10	12.8	6	1300
1391	8	12.25	7	1310
1392	6	1.1	8	1410
1393	7	12.29	10	1450
1394	7	12.25	10	1600
1395	7	12.21	10	1650

می‌باشد. همچنین میزان همبستگی تاریخ وقوع نخستین دمای حدی تابستانه و میانگین ماهانه دمای تیر ماه نیز محاسبه گردید که ضریب آن برای سنندج، مریوان و کامیاران به ترتیب ۰۰/۰۵، ۰۰/۰۳ و ۰۰/۰۶ به دست آمد. این نتایج در واقع می‌تواند نشان دهنده عدم تاثیر تاریخ وقوع دمای حدی بر روی میانگین دمای ماهانه باشد، بطوریکه بیشترین ضریب همبستگی فقط مابین تاریخ رخداد دمای حدی بهار و میانگین دمای فروردین ماه به دست آمده است و در سایر ماه‌ها تاریخ‌های وقوع، تاثیر چندانی بر میانگین ماهانه دما ندارد.

برای بررسی تاثیر زمان وقوع دماهای حدی بر روی میانگین ماهانه دمای هوا، داده‌های تاریخ وقوع آخرین دمای حدی بهار و اولین دمای حدی تابستانه را با میانگین دمای ماهانه ماه‌های فصل رشد توت فرنگی (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر) مقایسه و میزان همبستگی آنها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که همبستگی تاریخ وقوع دمای حداقل بهار بر روی میانگین ماهانه دمای فروردین ماه به ترتیب برای سنندج، مریوان، کامیاران ۰۰/۳۵، ۰۰/۱۷، ۰۰/۱۶، بر روی میانگین ماهانه دمای اردیبهشت به ترتیب ۰۰/۰۹، ۰۰/۰۲، ۰۰/۰۵ و بر روی میانگین ماهانه دمای خرداد به ترتیب ۰۰/۲۱، ۰۰/۰۸، ۰۰/۰۱

جدول ۳- ضریب همبستگی تاریخ وقوع آخرین دمای بحرانی (تاریخی که در آن برای آخرین بار در آن سال زراعی، حداقل دمای مورد نیاز توت فرنگی رخ داده و از آن پس دما بالاتر از حداقل مورد نیاز بوده و توت فرنگی میتواند رشد کند) و میانگین دمای ماهانه ماه فروردین سنندج

Table 3- Correlation coefficient of the occurrence date of the last critical temperature and average monthly temperature of March of Sanandaj

سالها	رتبه آخرین دمای بحرانی Date of last minimum temperature rating	تاریخ آخرین دمای حداقل Date of last minimum temperature	میانگین دمای فروردین Average April Temperature
1381	3	1.11	10.0
1382	3	1.10	11.0
1383	1	1.29	10.5
1384	4	1.7	11.3
1385	10	12.6	12.6
1386	3	1.10	9.9
1387	8	12.15	14.4
1388	7	12.28	9.4
1389	7	12.28	12.3
1390	10	12.8	11.8
1391	8	12.25	12.1
1392	5	1.1	11.7
1393	6	12.29	11.6
1394	6	12.25	11.2
1395	6	12.21	11.5

حداکثر مطلق و عملکرد توت فرنگی به ترتیب برای سنندج، مریوان و کامیاران در فروردین ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۵، در اردیبهشت ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱، در خرداد ۰/۰۹۱، ۰/۰۸۷، ۰/۰۱۷، و در تیرماه ۰/۱۸۸، ۰/۲، ۰/۱۷۸ میباشد. این نتایج میتواند نشان دهنده این موضوع باشد که دمای حداقل مطلق، بیشترین تاثیر را بر روی عملکرد توت فرنگی در فروردین ماه و دمای حداکثر مطلق بیشترین تاثیر را در تیر ماه دارد و بالعکس کمترین تاثیر دمای حداقل مطلق در تیر ماه و کمترین تاثیر دمای حداکثر مطلق در فروردین و اردیبهشت مشاهده می شود.

به منظور بررسی تاثیر دمای حداقل مطلق بر روی عملکرد توت فرنگی در استان کردستان، داده های دمای حداقل مطلق ماهانه در ماه های طول فصل رشد این محصول (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر) در منطقه (سنندج، مریوان و کامیاران) را با میزان عملکرد توت فرنگی منطقه در ماه های طول فصل رشد مقایسه و میزان همبستگی آنها محاسبه گردید. نتایج نشان داد همبستگی دمای حداقل مطلق و عملکرد توت فرنگی به ترتیب برای سنندج، مریوان و کامیاران در فروردین ۰/۱۱۰، ۰/۲۴۸، ۰/۱۷۳، در اردیبهشت به ترتیب ۰/۱۸۴، ۰/۱۳۸، ۰/۱۱۴، در خرداد به ترتیب ۰/۰۶۹، ۰/۰۱۳، ۰/۰۵۳، و در تیرماه ۰/۰۲۴، ۰/۰۰۱، ۰/۰۴۸ میباشد. همچنین همبستگی دمای

جدول ۴- همبستگی حداقل دمای ماهانه ماه فروردین سنندج با عملکرد توت فرنگی

Table 4- Correlation of minimum monthly temperature of March of Sanandaj with strawberry performance

سال	دمای حداقل مطلق فروردین	عملکرد توت فرنگی (کیلوگرم)	سطح زیر کشت (هکتار)
years	April minimum temperature	Performance of strawberry (kg)	Under cultivation (ha)
1381	-1.6	351	75
1382	-1	351	70
1383	-0.6	360	75
1384	2.8	405	40
1385	-0.2	414	40
1386	0.8	414	12
1387	-1	394	11
1388	1.6	390	10
1389	-0.5	270	15
1390	-0.4	300	10
1391	0.6	420	100
1392	-5	450	200
1393	-5	480	150
1394	-1,6	480	22
1395	-1	480	50

عملکرد توت فرنگی پرداخته شد به ترتیبی که بیشترین بازدهی عملکرد، بالاترین رتبه (رتبه ۱۰) و کمترین بازدهی عملکرد نیز کمترین ارزش (رتبه ۱) تعلق گرفت و سپس میزان همبستگی اسپیرمن (رتبه‌ای) آنها محاسبه گردید. نتیجه محاسبات نشان می‌دهد همبستگی میانگین ماهانه دما و میزان عملکرد ماهانه توت فرنگی در فروردین برای شهرهای سنندج، مریوان و کامیاران به ترتیب ۰/۲۰۳، ۰/۲۵۵، ۰/۴۴۵، در اردیبهشت ۰/۳۰۳، ۰/۴۵۱، در خرداد ۰/۶۲۷، ۰/۶۴۹، ۰/۵۴۱ و در تیر ماه ۰/۱۸۷، ۰/۱۸۵ و ۰/۱۸۵ می‌باشد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر میانگین ماهانه دما بر روی عملکرد ماهانه توت فرنگی در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های اردیبهشت و خرداد و کمترین تاثیر میانگین دما بر عملکرد توت فرنگی در تیر ماه می‌باشد.

جهت بررسی تاثیر میانگین دمای ماهانه بر روی عملکرد توت فرنگی در منطقه، داده‌های میانگین دمای ماهانه مربوط به ماه‌های طول فصل رشد توت فرنگی (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر) از سازمان هواشناسی اخذ و میزان همبستگی آن با عملکرد ماهانه توت فرنگی در طول فصل رشد محاسبه گردید. برای این کار داده‌ها به ترتیب میزان تاثیرگذاری که بر روی عملکرد توت فرنگی دارند ارزش دهی و رتبه‌بندی (۱ تا ۱۰) شدند به طور مثال چون بهترین عملکرد توت فرنگی در میانگین دمای ۱۸ درجه سانتیگراد می‌باشد به بازه دمایی که این درجه حرارت را شامل می‌شود (۱۷ درجه تا ۱۹ درجه سانتیگراد) رتبه ۱۰ و به بازه‌های دمایی که تاثیر گذاری کمتری دارند ارزش کمتری تعلق گرفت. پس از رتبه بندی میانگین دمای ماهانه در طول سال‌های مورد مطالعه، به رتبه بندی و ارزش دهی میزان

جدول ۵- ضریب همبستگی اسپیرمن میانگین دمای ماهانه فروردین و میزان عملکرد سالانه توت فرنگی در سنندج
Table 5- Spearman correlation coefficient The average monthly temperature of April and annual yield of strawberry in Sanandaj

سال‌ها years	رتبه میانگین دمای فروردین April average rating	رتبه میزان عملکرد Performance rating	سطح زیر کشت Under cultivation (ha)
1381	2	2	1500
1382	2	2	1530
1383	2	2	1560
1384	3	3	1620
1385	4	3	1625
1386	2	3	1620
1387	6	3	1358
1388	2	2	1300
1389	4	2	1310
1390	3	2	1300
1391	4	4	1310
1392	3	3	1410
1393	3	3	1450
1394	3	3	1600
1395	3	3	1650

بازگشت ۴ ساله رخ خواهد داد. همچنین با احتمال ۹۵ درصد و در دوره بازگشت ۲۰ ساله آخرین تاریخ وقوع دمای حداقل بهار در سنندج ۲۳ فروردین، در مریوان ۱۹ فروردین و در کامیاران ۱۲ فروردین می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، زودترین روز احتمال وقوع آخرین دمای حداقل بهار ۱۳ اسفند در سنندج و کامیاران می‌باشد که این درجه حرارت نسبت به میانگین به دست آمده در دوره مشاهداتی (۲۹ اسفند) ۱۶ روز زودتر رخ می‌دهد و در واقع احتمالاً دمای حداقل بهار در آینده به صورت زودرس بهار رخ خواهد داد. همچنین زودترین تاریخ رخداد اولین دمای حداکثر تابستانه نیز در مریوان ۱۱ تیر می‌باشد که با توجه به میانگین دوره مشاهداتی (۲۳ تیر) نشان دهنده احتمال زودرس شدن اولین دمای حدی می‌باشد.

محاسبه تاریخ وقوع آخرین دمای حدی (حداقل بهار) به لحاظ زمان شروع دوره رشد گیاه توت فرنگی و تاریخ وقوع اولین دمای حدی (حداکثر تابستانه) به عنوان زمان خاتمه دوره رشد توت فرنگی بسیار مهم می‌باشد. بدین منظور پس از بررسی و تعیین تاریخ وقوع دماهای حدی، با استفاده از نرم افزار SMADA در صد احتمال وقوع درجه حرارت‌های حدی در دوره‌های بازگشت متفاوت با روش نرمال در ایستگاه‌های منتخب محاسبه گردید و نتایج حاصله در ۶ و ۷ نشان داده شد.

بر اساس جدول ۶ احتمال وقوع آخرین دمای حدی در دوره آماری مورد بررسی با استفاده از روش نرمال برای ایستگاه‌ها منتخب استان کردستان با احتمال ۷۵ درصد در شهرستان سنندج ۱۰ فروردین، در مریوان ۹ فروردین و در کامیاران ۲ فروردین در دوره

جدول ۶- درصد احتمال تاریخ وقوع اولین دمای بحرانی

Table 6- Percentage probability of the occurrence date of the first critical temperature

درصد احتمال وقوع Likelihood of occurrence		% 10	% 20	% 50	% 70	% 75	% 90	% 95	% 99
دوره بازگشت Return period		1ساله 1 years	1ساله 1 years	2ساله 2 years	3ساله 3 years	4ساله 4 years	10ساله 10 years	20ساله 20 year	100ساله 100 years
تاریخ وقوع Date of occurrence	SANANDAJ	jul/12	jul/18	jul/25	jul/28	jul/29	jul/31	aug/1	aug/3
	MARIVAN	jul/11	jul/13	jul/17	jul/21	jul/22	jul/25	jul/27	/31jul
	KAMYARAN	jul/13	/15jul	jul/21	/2jul	jul/25	jul/28	jul/31	jul/۵

جدول ۷- درصد احتمال تاریخ وقوع آخرین دمای بحرانی

Table 7- Percentage probability of the occurrence date of the last critical temperature

درصد احتمال وقوع Likelihood of occurrence		10%	20%	50%	70%	75%	90%	95%	99%
دوره بازگشت Return period		1ساله 1 years	1ساله 1 years	2ساله 2 years	3ساله 3 years	4ساله 4 years	10ساله 10 years	20ساله 20 years	100ساله 100 years
تاریخ وقوع Date of occurrence	SANANDAJ	Mar/13	Mar/19	Apr/1	Apr/8	Apr/10	Apr/18	Apr/23	Apr/31
	MARIVAN	/18Mar	Mar/23	Apr/1	Apr/7	Apr/9	Apr/15	Apr/19	Apr/26
	KAMYARAN	Mar/13	Mar/18	Mar/26	Apr/1	Apr/2	Apr/8	Apr/12	Apr/18

سطحی و ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال که بیشترین ارتباط را با داده‌های مشاهداتی داشتند، انتخاب گردید. در مرحله بعد براساس سناریوی *rcp26* از سناریوهای اقلیمی *CMIP5* داده‌های آینده را در بازه‌های ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ تولید شده و خلاصه شدند. بر اساس داده‌های تولید شده توسط مدل برای دمای حداکثر در فصل سرد شاهد کاهش و در بهار و تابستان شاهد افزایش دما خواهیم بود، برای مثال میانگین حداکثر دمای مربوط به ماه ژانویه در دوره ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ به ترتیب ۱.۲۸۷ و ۱.۵۵۲ درجه سانتیگراد نسبت به دوره مشاهداتی دچار کاهش خواهد شد. همچنین در ماه مه میانگین حداکثر دما در دوره ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ به ترتیب ۲.۱۹۸ و ۲.۱ درجه سانتیگراد نسبت به دوره مشاهداتی دچار افزایش خواهد شد.

بر اساس داده‌های تولید شده توسط مدل برای دمای حداقل نیز همانند دمای حداکثر که قبلاً بررسی شد، در فصل‌های پاییز و زمستان شاهد افت دما و در بهار و تابستان شاهد افزایش دما خواهیم بود، برای مثال میانگین حداقل دمای مربوط به ماه نوامبر در دوره ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ به ترتیب ۱/۷۸ و ۱/۷۸۱ درجه سانتیگراد نسبت به دوره مشاهداتی دچار کاهش خواهد شد. همچنین در ماه ژوئن میانگین حداقل دما در دوره ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ به ترتیب ۱/۶۹۴ و ۱/۲۱۶ درجه سانتیگراد نسبت به دوره مشاهداتی دچار افزایش خواهد شد.

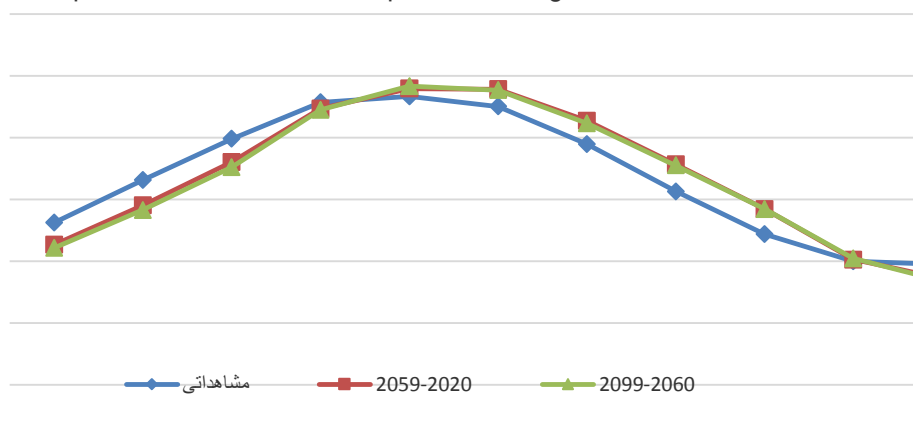
به منظور پیش بینی وضعیت دماهای حدی منطقه در آینده و مقایسه آن با وضعیت کنونی دمای حدی با استفاده از مدل *SDSM* برای ریز مقیاس نمایی داده‌های بزرگ مقیاس ابتدا یک رابطه مناسب بین متغیرهای بزرگ مقیاس (*NCEP*) و داده‌های مشاهداتی جهت تعمیم ایجاد شد. در این مرحله بمنظور کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل *SDSM*، داده‌های مربوط به بازه زمانی ۱۹۶۱-۱۹۷۵ جهت کالیبراسیون مدل و داده‌های بازه زمانی ۱۹۷۶-۱۹۹۰ جهت اعتبار سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد داده‌های دوره پایه دمای حداقل و حداکثر با داده‌های تولید شده در دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰ از لحاظ میانگین و انحراف معیار دارای شباهت نسبی بوده و اختلاف داده‌های تولید شده با داده‌های تولید شده بسیار ناچیز می‌باشد، به طور مثال میانگین حداقل دما در دوره پایه ۵.۴۲۱ و در دوره تولید شده ۵.۴۵۳ می‌باشد، بنابراین متوجه شدیم که مدل قابلیت اطمینان دارد. داده‌های ورودی *SDSM* در کل به دو دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های مشاهداتی (شامل بارش روزانه، دمای حداکثر و حداقل روزانه) و داده‌های بزرگ مقیاس *NCEP* و *GCM* به دست آمده از نزدیکترین شبکه جهانی به منطقه مورد مطالعه (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). برای برقراری ارتباط میان داده‌های مشاهداتی و مولفه‌های بزرگ مقیاس به روش آزمون و خطا برای دمای حداقل سه مولفه میانگین دما در ارتفاع ۲ متری، رطوبت ویژه سطحی و رطوبت ویژه در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال و برای دمای حداکثر، سه مولفه میانگین دما در ارتفاع ۲ متری، رطوبت ویژه

جدول ۸- مقایسه داده‌های میانگین دمای حداکثر پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و داده‌های تولید شده (۲۰۲۰-۲۰۵۹ و ۲۰۶۰-۲۰۹۹)

Table 8- Comparison of the average maximum temperature of the base (1961-2005) and the produced data (2059-2020 and 2060-2099)

ماه‌ها month	دوره مشاهداتی Observation period	2059-2020	2099-2060
jan	15.437	14.15	13.885
feb	14.745	13.6	13.379
mar	15.002	15.14	15.236
apr	17.203	19.226	19.232
may	20.66	22.858	22.76
jun	24.477	26.373	26.164
jul	27.528	28.919	28.847
aug	28.344	28.966	29.162
sep	27.858	27.36	27.253
oct	24.907	23.034	22.623
nov	21.586	19.535	19.15
dec	18.126	16.353	16.084

نمودار مقایسه دمای مشاهداتی با داده های تولید شده
Comparison of observation temperature with generated data

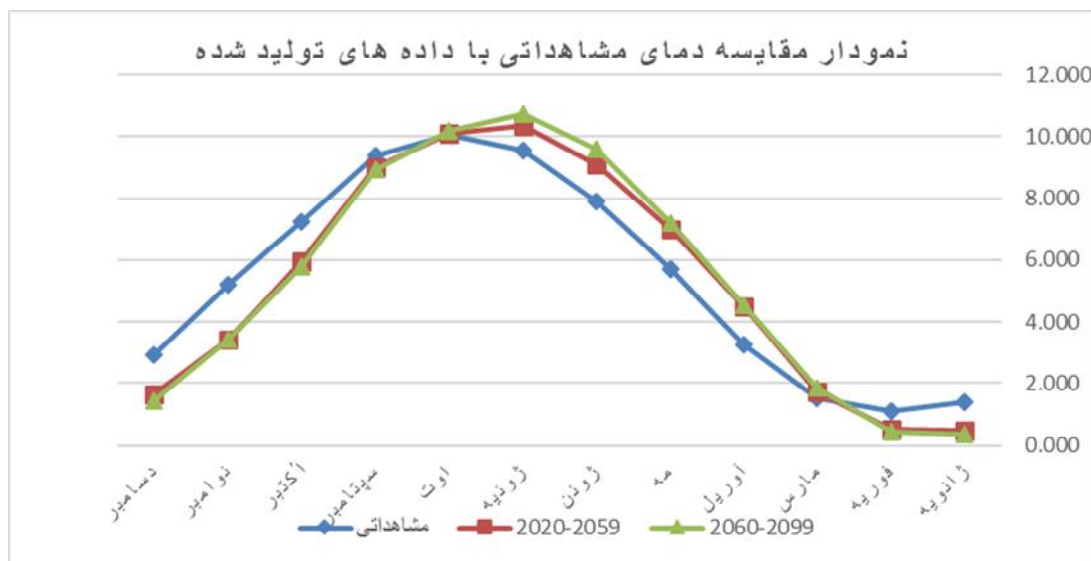


شکل ۲- نمودار مقایسه دمای مشاهداتی و دمای شبیه سازی شده
Fig 2- Comparison of temperature and simulated temperature

جدول ۹- مقایسه داده‌های میانگین دمای حداکثر پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و داده‌های تولید شده (۲۰۲۰-۲۰۵۹ و ۲۰۶۰-۲۰۹۹)

Table 9- Comparison of the average maximum temperature of the base (1961-2005) and the produced data (2059-2020 and 2060-2099)

ماه‌ها month	دوره مشاهداتی Observation period	2059-2020	2099-2060
jan	1.397	0.484	0.375
feb	1.093	0.529	0.446
mar	1.536	1.721	1.857
apr	3.244	4.486	4.527
may	5.713	6.998	7.186
jun	7.89	9.106	9.584
jul	9.554	10.329	10.695
aug	10.064	10.103	10.178
sep	9.403	9.001	8.93
oct	7.239	5.942	5.805
nov	5.198	3.418	3.417
dec	2.942	1.646	1.457



شکل ۳- نمودار مقایسه دمای مشاهداتی و دمای شبیه سازی شده

Fig. 3- Comparison of the observed temperature and simulated temperature

نتیجه گیری

در تحقیق (۲۳) دمای ۴ درجه سانتیگراد دمایی مخرب و عامل سیاه شدن برگ ریحان اعلام شد، همچنین در تحقیق (۳۰) نیز محدوده دمایی ۳ تا ۱۲ درجه سانتیگراد در شب و محدوده ۱۷ تا ۲۰ درجه سانتیگراد محدوده مورد نیاز کاهو اعلام شد و دماهای خارج از این محدوده خسارتبار توصیف شد که در این تحقیق نیز محدوده دمایی ۵ درجه تا ۳۵ درجه سانتیگراد به عنوان محدوده مورد نیاز توت فرنگی برای رشد اعلام شد که دمای خارج از این محدوده موجب خسارت در عملکرد توت فرنگی میشود. در تحقیق (۱۲) سرردهای مضر حرارتی برای سرمای بهاره با روند صعودی پیش بینی شده و یخبندان پاییزه نیز با روند نزولی پیش بینی شده که این تحقیق نیز موید این موضوع میباشد و طبق پیش بینی انجام شده دمای حداقل بهاره دچار افزایش و دمای حداقل پاییزه با کاهش روبرو خواهد بود. همچنین تحقیق (۳۰) بیان کرد طول دوره‌ای که گیاه بدون ریسک مواجهه با یخبندان میتواند به رشد خود ادامه دهد نسبت به گذشته دچار افزایش شده است که در این تحقیق نیز در جدول (۱) هم مشاهده میشود به این نتیجه رسیدیم که توت فرنگی به طور متوسط از ۲۹ اسفند تا ۲۳ تیر به دور از ریسک دمایی رشد خواهد کرد. در نهایت با توجه به این موضوع که میزان تاثیر تاریخ آخرین رخداد

منابع

- Ahmadi M., Lashgari H., Kaikhosravi Q., Azadi M. 2015. Analysis of Temperature Indicators in Detecting the Climate Change of the Great Khorasan, Geographic Quarterly, Thirteenth Year, 45, 53-75.
- Alexander L. V., Zhang X., T. C. Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research, 111,

دمای حدی (دمای حداقل بهاره) بر روی تعداد روزهای طول فصل رشد بیشتر بوده بنابراین میتوان نتیجه گرفت آخرین دمای حدی بر روی طول فصل رشد و نهایتاً میزان محصول دهی توت فرنگی تاثیر بیشتری دارد، این موضوع توسط نتایج میزان همبستگی تاریخ وقوع دمای حداقل بهاره و میزان عملکرد سالانه توت فرنگی در منطقه نیز قابل تایید است. نتایج مربوط به بررسی تاثیر دمای حداقل و حداکثر مطلق بر روی عملکرد توت فرنگی نیز نشان میدهد که دمای حداقل مطلق، بیشترین تاثیر را بر روی عملکرد توت فرنگی در فروردین ماه و دمای حداکثر مطلق بیشترین تاثیر را در تیر ماه یعنی آغاز و پایان فصل رشد دارند و به شکل دیررس و زودرس شدن موجب اختلال در رشد رویشی و زایشی توت فرنگی شده و خسارتی را بر این محصول وارد میکند. بر اساس داده‌های تولید شده توسط مدل برای دمای حداقل و حداکثر در فصل رشد توت فرنگی (بهار و تابستان) شاهد افزایش دما خواهیم بود. این افزایش دما میتواند به شکل زودرس شدن دمای حداقل بهاره و دمای حداکثر تابستانه ظاهر شود، این موضوع همچنین در بررسی احتمال دوره بازگشت دماهای حدی نیز مشاهده شد و احتمال زودرس شدن دماهای حدی مشاهده شد با علم به این موضوع باید تمهیداتی اندیشیده شود تا از خسارت‌های احتمالی جلوگیری شود.

- D05109, doi: 2005, JD006290.
- 3- Alijani B., Mahmodi P., Salighe M., Rigi chahi A. 2011. Study of Minima and Annual Maxima of Temperature in Iran, Geographical Quarterly, Twenty sixth Year, 3, 101-122.
- 4- Alijani B., Spatial Analysis of Critical Temperature and Critical Rainfall in Iran, Applied Geosciences Research Journal, Volume 17, 20, 9-30.
- 5- Bradford K.J., Hsiao, T.C. 1982. Physiological response to moderate stress. In: Lange, O.I.,
- 6- Bustani M., Sahari M.A., Hamidi esfahani Z. 2002. Effect of Low Degree Cooling on Vitamin C and Quality Characteristics of Frozen Strawberries (Iranian Kurdistan Cultivar), Journal of Agricultural Engineering, Third Period, 12, 17-30.
- 7- Deell Y.R., Kooten, O.V., Prang, R.K., Murr, D.P. 1999. Applications of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology. Hort. Rev. 23, 69-107.
- 8- Eshghi S., tafasoli bandari E. 2006. Changes in photosynthesis and vegetative growth during flowering period of strawberry cultivar Kordestan, Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, seventh period, 1, 33-44.
- 9- IPCC (2007). Executive summary of the Intergovernmental Panel on Climate Change, February 2007, www.ipcc.com.
- 10- Kamkar B., Nozari nejad M., Zainali E., Soltani A. 2015. Quantification of Suckler Herb Germination Reaction to Temperature and Water Potential Using Nonlinear Models, to Agricultural Crop, Period 17, 1, 229-240.
- 11- Karbalaee M., 2004. Study of temperature and duration of cold tolerance of different varieties of rice in germination stage Research project. Rice Research Institute of the country.
- 12- Khalaji M. 2001. Forecast of late spring and late autumn cold weather for a number of crops and gardens in Chaharmahal and Bakhtiari province. Nahal and bazr, period 17, 2, 126-139.
- 13- Klein Tank A. M., K'onnen G. P. 2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. J. Climate , 16 ,3665–3680.
- 14- Mahdavi B., Effect of temperature and salinity on germination and seedling growth of two varieties of Mashk, Seed Research Journal, Fourth Year, 4, 60-69.
- 15- Marashi H., Kamali Q., Kochaki A., Nasiri mahalati M. 2006. Investigating the Effect of Climate Change on Iran's Agricultural Climatic Indices, Journal of Agricultural Science and Technology, Volume Twenty, 7, 71-82.
- 16- Moberg A., & Jones P. D. 2005. Trends In Indices For Extremes In Daily Temperature and Precipitation In Central And Western Europe 1901–99. Int. J. Climatology, 25, 1149–1171.
- 17- Mohammad vand E., Kochaki A., Nasiri mahalati M., Shahdi komle A. 2014. The response of germination of two species of spruce to temperature and light period with an emphasis on invasion capability in newly arrived species, Iranian Journal of Crop Sciences, Forty-fifth period, 4, 639-648.
- 18- Mudelsee M. B., ornge M., Tetzlaff, G., Gr unewald, U. 2003. No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. Natural , 425, 166–169.
- 19- New M., Todd M., Hulme M., Jones P. 2001. Precipitation measurements and trends in the Twentieth Century. Review Article. Int. J. Climatology, 21, 1889–1922
- 20- Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology. Physiological Plant Ecology. II. Water relations and carbon assimilation. New York, Berlin, Heidelberg: Springer. pp, 263–324.
- 21- Qorbani KH., Valizae E. 2014. Investigation of the Effects of Ice Falls and Spares in Agriculture Under Climate Change, Journal of Soil and Soil Conservation Studies, Volume 21,4, 197-214.
- 22- Rahimi M., 2010. Modeling the risk of damage to spring frost of fruit trees. Case study: Apple crop, plain location Mashhad, Iranian Journal of Field Crops Research, Vol. 9, No. 2, 2011, 273-284.
- 23- Ranjbar A., Rabiei V., Karami F. 2014. Evaluation of suitable strawberry cultivar for outdoor cultivation in Kurdistan province, Journal of Crops of Seed and Plant, Volume 2-30, 3,351-355.
- 24- Roosta H.R., Schjoerring J.K. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber (*Cucumis sativus* L., cv. Styx) plants. J. Plant Nutri. 30, 1933-1951.
- 25- Rusta H., Sajadinia, A. 2010. Investigating effects of cold stress on green basil, purple basil, tomato and lettuce using chlorophyll fluorine technique, Journal of Environmental Tensions in Crop Sciences, Vol 3, 1, 1-8.
- 26- Seppanen M.M. 2000. Characterize of freezing tolerance in *Solanum commersonii* (dun.) with special reference of the relationship between and oxidative stress. University of Helsinki, Department of Production, Section of Crop Husbandry. 56, 4-44.
- 27- Smillie R.M., Hethrington S.E. 1983. Stress tolerance and stress-induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence in vivo. Plant Physiol. 72, 1043-50.
- 28- Starck Z., Niemyska B., Bogdan J., Akour Tawalbeh R.N. 2000. Response of tomato plants to chilling stress in association with nutrient or phosphorus starvation. Plant Soil 226, 99–106.
- 29- Varshavian V., Ghahreman N., Khalili A., Hajam S. 2007. The study of the late flood event, the early fall, the ice free period and the number of frost days to reduce agricultural damage in several climatic samples, Agricultural

- research, Volume 7, 4, 39-48.
- 30- Wien H.C. 1995. The Physiology of Vegetable Crops. UK. Cab International. 651p.
- 31- Wongsheree, T., Ketsa, S., Wouter, G., van Doorn, W.G., 2009. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum×citriodourum*) leaves. Postharvest Bio. Tech. 51, 91-96.
- 32- Xavier M., Thierry A., Rein A., Cathy K., Vojtich L., Francois L., Franco M., Isabelle C. 2007. Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. Tree Physiology, 27, 817-825.
- 33- Yamada M., Hidaka T., Fukamachi H. 1996. Heat tolerance in leaves of tropical fruit crop as measured by chlorophyll fluorescence. Sci. Hortic. 67, 39-48.

Monitoring and Prediction of the Extent of Temperature and Its Impact on Agriculture in Kurdistan Province, Case study: Strawberry in Kurdistan Province

S. Fashkhorani^{1*} - M. Salique² - M. Akbary³

Received: 04-12-2017

Accepted: 20-01-2018

Introduction: The effect of climate factors plays an important role on agricultural products. In this case, there is not enough knowledge about the role of climatic elements in agricultural planning, therefore, there would not be much achievements because it is proved that in most cases, the low yield of agricultural products is the result of not keeping and being unable to create a balanced climate. Temperature stresses are one of the most important factors in plant growth. In most plants, when the plant is exposed to extreme temperatures, physiological changes may prevent optimal plant growth. Therefore, plants need a specific temperature range for optimum growth and stepping outside of range is considered as a stress. Strawberries are generally herbaceous plants that are one of the most sedentary, dense, isolated petals without stems, more or less articulate with lower leaves and narrow stolon that are sensitive to temperature stresses. This temperature fluctuation causes major annual damage. Therefore, this study was carried out to investigate the extreme temperatures in the strawberry growing area in Kurdistan province (Sanandaj-Marivan-Kamyaran) and the effect of these stressful temperatures on strawberry yield, as well as future temperature prediction and future effects were investigated.

Methods and Approaches: In this study, the average daily temperature, maximum daily temperature and minimum daily temperature during the years 1381-1395 were obtained from Iran Meteorological Organization and the occurrence date of the last temperature (spring minimum temperature) for strawberry (5°C), which is actually the date of the beginning of the strawberry growth period. Also, the date of occurrence of the first stress temperature (maximum summer temperature) for strawberry (35°C) and the length of growth period of strawberry were estimated in the studied years. Data from the production and yield of strawberries were collected from the Jihad Agriculture Organization in Kurdistan province during this 15-year period. In order to study the effect of extreme temperature and the occurrence date of this temperature on the yield of strawberry, using Spearman correlation coefficient (SPSS), correlation between severe temperature and strawberry yield was calculated. Finally, in order to investigate the effect of climate change on the maximum and minimum temperature data in the future, using the SDSM model under the rcp26 scenario, CMIP5 climate scenarios were produced in the 2050-2020 and 2099-2099 periods.

Results and Discussion: The results indicated that the date of the extreme temperature did not change much and the latter extreme temperatures have tended to be more prevalent in the spring. The onset of the first extreme temperatures is also early in the summer of late July and we see an almost short (four-month) growth season for the growth of outdoor strawberries. Minimum temperature has the greatest effect on the yield of strawberries in April and the maximum temperature has the greatest impact in July. This issue is justified by the unfavorable temperature for growing strawberries and low yields in these months. The highest correlation between monthly average temperature and monthly yield of strawberries is in May and June. The simulated future data shows that in the months of the growing season (spring and summer), the temperature increases one to two degrees and the early minimum temperature and the maximum summer temperature will be lower than the base period.

Conclusion: The results of the correlation calculation between the date of the last event and the first critical temperature indicate a weak correlation, and it can be concluded that the occurrence of the first and the last extreme temperatures does not affect each other. The results of the study of the effect of the monthly average temperature on the monthly yield of strawberries in May and June showed that the average daily temperature of 12 to 25°C , especially 17 to 20°C , is higher on strawberries. Temperature higher and lower than this range (12 to 25°C) reduces or stops growth. According to the data produced, the final temperature (minimum spring temperature) occurs a little earlier, and strawberries begin to grow in early March, but this could be risky and a sudden cold time causes a lot of damage. The maximum summer temperatures are also higher. This is true

1, 2, 3- Ph.D. in Agriculmatology and Professors of Department of Climatology, Kharazmi University of Tehran
(*-Corresponding Author Email: Samanfashkhorani65@gmail.com)

especially in June, when strawberries have the highest yield, it is not good and it stops plant growth. The strawberry growth season is expected to begin in March and end in June. Therefore, measures should be taken to prevent possible damage by raising awareness of the subject.

Keywords: Growth period, SDSM model, Temperature potential

ارزیابی تجربی روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای تابش فعال فتوسنتز و شدت تابش کل خورشید

علی اکبر سبزی پرور^{۱*} - علی کریمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

چکیده

تحقیقات نشان می‌دهد که تغییرات قابل ملاحظه شدت تابش فعال فتوسنتز (PAR) می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد کمی و کیفی گیاهان داشته باشد. این پراسنج متأسفانه به دلایل اقتصادی و فنی به‌ندرت در ایران اندازه‌گیری می‌گردد و در ایستگاه‌های تابش سنجی کشور صرفاً تابش کل خورشیدی (TSR) پایش می‌گردد. هدف از این تحقیق بررسی روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای TSR با شدت تابش لحظه‌ای PAR تحت چهار شرایط مختلف جوی (آسمان صاف، بخشی ابری، تمام ابری، و همه شرایط) می‌باشد. به همین منظور مؤلفه‌های تابش ذکرشده و دیگر پارامترهای هواشناسی حداقل به تعداد چهار نوبت در روز به طور همزمان از فروردین تا آخر بهمن ۱۳۹۵ در ایستگاه هواشناسی دانشگاه بوعلی سینای همدان اندازه‌گیری گردید. نتایج تحقیق نشان داد که یک رابطه رگرسیونی خطی بین تابش TSR با تابش PAR برقرار می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی این روابط که برای مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استخراج گردید، تحت تأثیر شرایط آسمان (مقدار ابرناکی) قرار داشت، به‌طوری‌که با افزایش مقدار ابر مقدار ضریب همبستگی کاهش یافت. در این پژوهش همچنین نسبت بین تابش PAR با تابش TSR استخراج گردید. نتایج نشان داد که مقدار نسبت PAR/ TSR نیز تابع شرایط ابرناکی ایستگاه است. بررسی نسبت PAR/ TSR در مقیاس فصلی و سالانه نشان داد که با افزایش ابرناکی این نسبت نیز افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در مقیاس سالانه نسبت تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل از آسمان صاف به آسمان تمام ابری به ترتیب از ۴۳۰/۴۸۹٪ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تأثیر ابرناکی، کسر تابش PAR/ TSR، شرایط مختلف جوی. همدان

مقدمه

خورشیدی (۸۰۰-۱۰۰۰ $\text{kWh/m}^2/\text{yr}$) کمتر از نصف متوسط تابش در کشور ایران است. با توجه به مساحت ایران (حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع)، کل مقدار تابش در ایران حدود ۳/۳ میلیون ترا وات ساعت در سال می‌باشد که سیزده برابر کل انرژی مصرفی در ایران است؛ بنابراین شناخت مکان‌های مناسب جهت به‌کارگیری انرژی‌های نو همچون انرژی خورشید الزامی می‌باشد. بیابان‌های ایران از جمله نقاطی هستند که دارای پتانسیل انرژی خورشیدی بالایی می‌باشند. کمالی و مرادی (۵) نشان دادن تابش خورشید یکی از عوامل غیرزنده اکوسیستم است که نقش مهمی در غذا سازی تولیدکننده‌ها دارد. درباره اثر نور بر رشد گیاهان مطالعات فراوانی انجام شده است. کمبود نور بر شکل بیرونی گیاه و سرعت رشد طولی آن تأثیر می‌گذارد. گیاهی که در تاریکی می‌روید معمولاً ساقه‌ای بلند و باریک دارد و برگ‌ها گسترش نمی‌یابد. در این شرایط برگ‌ها و ساقه‌ها هر دو فاقد کلروفیل خواهند بود. اگر چنین گیاهی در معرض نور قرار بگیرد، رشد طولی ساقه‌اش کاهش می‌یابد. اگر همان نوع گیاه در نور پرورش یابد تنومند شده و برگ‌های آن کاملاً سبز و

خورشید یکی از منابع اصلی و بزرگ برای کره خاکی بوده و به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم روی فعل‌وانفعالات پدیده‌های فیزیکی آن مؤثر می‌باشد. تابش خورشید در رشد نباتات زندگی انسان و حیوانات نقش مهمی داشته و در کشاورزی و صنعت به وجود نور بیش‌ازپیش نیاز پیدا می‌شود. تابش خورشید یکی از متغیرهای مهم اقلیمی است و انرژی لازم برای همه پدیده‌های سطح زمین را فراهم می‌کند به‌طوری‌که گرمای آن باعث ایجاد فرآیندهای بسیاری بر سطح زمین می‌شود. تاجیک و همکاران (۷) نشان دادن که میزان تابش خورشید در ایران (۲۰۰۰ $\text{kWh/m}^2/\text{yr}$) یکی از بزرگ‌ترین مقادیر در جهان است. به‌عنوان مثال در آلمان، میزان تابش سالانه

۱ و ۲- استاد هواشناسی گروه مهندسی علوم آب و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
(Email: swsabzi@basu.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

باند تابش کل خورشیدی را به عنوان تابعی از شاخص ابر، عمق نوری آئروسول، آب قابل بارش، کل ستون ازن و زاویه اوج خورشیدی بیان می کند. در این تحقیق آب قابل بارش و عمق نوری آئروسول از داده های زمینی چهار منطقه از محیط گرمسیری تایلند و شاخص ابر و کل ستون ازن از داده های ماهواره ای OMI/AURA و MTSAT-IR به دست آمد. برای ارزیابی دقت این مدل از انحراف جذر میانگین مربعات (RMSD)^۴ که برابر ۷.۹-۷.۳ درصد، اختلاف انحراف میانگین (MBD) که برابر ۳.۵ تا ۴.۵ درصد و ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۹۶ برآورد شد استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که این مدل به دلیل اینکه اثرات آئروسول هایی که در جو باعث پراکندگی و جذب تابش خورشیدی می شوند را شامل می شود دارای خطای کمتری در مقایسه با مدل های دیگر است.

اهداف پژوهش

هدف از این تحقیق صرفاً بررسی همبستگی آماری بین شدت تابش کل خورشیدی (Total Global Solar Radiation-TSR) و شدت تابش فعال فتوسنتز (PAR) می باشد. با این هدف که با استخراج روابط تجربی بین PAR-TSR در مواقعی که ابزار اندازه گیری تابش PAR در دسترس نیست، بتوان با استفاده از دستگاه سنجش TSR که معمولاً در دسترس است، شدت تابش PAR را برآورد نمود (لازم به ذکر است که در اغلب ایستگاه های تابش سنجش کشور تابش TSR توسط دستگاه پیرانومتر اندازه گیری می گردد).

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه: در این تحقیق اندازه گیری مؤلفه های تابش در استان همدان، ایستگاه هواشناسی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام گردید. این ایستگاه با موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۷/۹۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸/۸۹ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۸۵۱ متر از سطح دریا در یک محوطه باز در داخل دانشگاه بوعلی سینا در جنوب غربی شهر همدان قرار دارد (شکل ۱). شهرستان همدان با وسعتی حدود ۴۱۱۸ کیلومتر مربع، از خط الرأس رشته کوه های الوند تا مرزهای شرقی استان کشیده شده است. اقلیم همدان با توجه به اقلیم بندی کوپن جزء مناطق سرد و نیمه خشک محسوب می شود.

بزرگ می شود. یکی از مهم ترین زمینه های کاربردی تابش خورشیدی، بخش کشاورزی می باشد. فتوسنتز پدیده فتوبیولوژیکی است که توانایی گیاهان در تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی را به نمایش می گذارد. در حقیقت، در صورتی که آب، مواد غذایی و دما برای رشد مناسب باشند، رشد گیاهان و در نتیجه میزان محصول به طور مستقیم به تابش فعال فتوسنتزی (PAR)^۱ وابسته می شود. با توجه به اهمیت تابش PAR در کشاورزی متأسفانه در ایران در اکثر ایستگاه های هواشناسی به دلیل پرهزینه بودن این دستگاه و مقرون به صرفه نبودن، از مؤلفه های تابش تنها تابش کل (TSR)^۲ استفاده می شود.

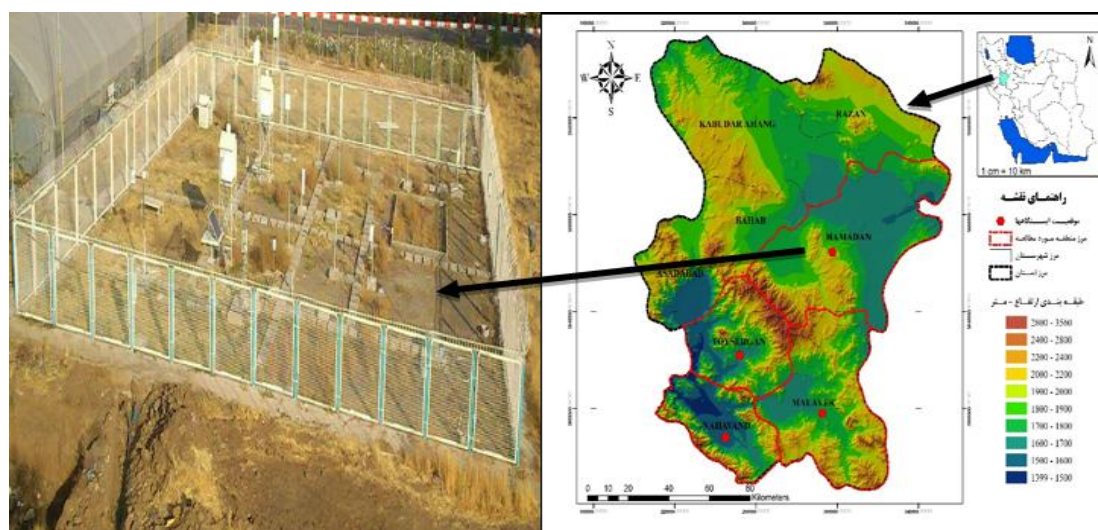
جکویزد و همکاران (۳) به بررسی تابش فعال فتوسنتزی و رابطه آن با تابش کل خورشیدی در حوزه مدیریتانه شرقی پرداختند. در این مطالعه داده های ساعتی تابش فعال فتوسنتزی (H_{PAR}) و تابش خورشیدی (H_{SW}) به مدت دو سال برداشت گردید. این داده ها برای به دست آوردن تغییرات زمانی H_{PAR} و تعیین وابستگی آن ها مورد استفاده قرار گرفتند. دامنه تغییرات فصلی نسبت H_{PAR}/H_{SW} از ۰/۴۵۶ تا ۰/۴۵۱ (در زمستان) با میانگین سالانه ۰/۴۵۴ متغیر بود. آن ها دریافتند که این نسبت در مقیاس روزانه بین ۰/۴۵۴ تا ۰/۴۶۷ و در مقیاس ساعتی بین ۰/۴۶۰ تا ۰/۵۰۱ متغیر است که به ترتیب مربوط به شرایط آسمان صاف تا کاملاً ابری است. اسکیدو و همکاران (۲) به مدل کردن کسرهای ساعتی و روزانه UV، PAR و NIR^۳ به تابش کل تحت شرایط آسمان مختلف در بوتاکاچو برزیل پرداختند. آن ها چندین مدل تجربی مربوط به UV، PAR و NIR با تابش کل ارائه دادند و نشان دادند که پیش بینی مدل های تجربی برای مقادیر ساعتی و روزانه صحیح می باشد. در این مدل ها از ۵ سال داده در سال های ۲۰۰۵-۲۰۱۰ استفاده کردند. برای به دست آوردن مقادیر روزانه و ساعتی مؤلفه های خورشید از داده های سال های ۲۰۰۴-۲۰۰۱ و از داده های سال ۲۰۰۵ برای اعتبارسنجی استفاده نمودند. در این تحقیق مقادیر ساعتی و روزانه UV، PAR و NIR همبستگی خطی با مقادیر ساعتی و روزانه تابش کل نشان داد. زیاولی و همکاران (۹) به پیش بینی تابش فعال فتوسنتزی از تابش کل در ایالات متحده پرداختند. در این پژوهش از داده هایی با طول دوره آماری سه سال (۲۰۰۹-۲۰۱۱) استفاده شد. آن ها دریافتند که شاخص شفافیت جو قادر است به عنوان نمایه ای برای پیش بینی PAR و یک جایگزین ترکیبی از کسر پخش شده در آسمان روشن بکار برده شود. جان جای و همکاران (۴) مدلی برای نسبت تابش فعال فتوسنتزی به باند تابش کل خورشیدی با استفاده از داده های زمینی و ماهواره ای در منطقه گرمسیری ارائه دادند. این مدل نسبت تابش فعال فتوسنتزی به

1- Photosynthetic Active Radiation

2- Total Solar Radiation

3- Near-infrared

4- Root-mean-square deviation



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه مورد مطالعه

Figure 1- Geographical location of the study site

۳۸۰ الی ۷۵۰ نانومتر می‌باشد. عملکرد بهینه این دستگاه در دمای بین ۱۰- الی ۷۰ درجه سلسیوس است.

روش انجام پژوهش

اندازه‌گیری روزانه داده‌های تابش PAR توسط دستگاه تابش سنج PAR، روزانه حداقل به تعداد چهار نوبت تقریباً در ساعات ۸:۰۰، ۱۰:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۶:۰۰ به وقت محلی در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان از تاریخ ۹۵/۱/۱۷ تا ۹۵/۱۱/۳۰ (۲۰۱۶/۰۴/۰۵) انجام گردید. هم‌زمان با اندازه‌گیری این داده‌ها، تابش کل خورشیدی (TSR) نیز از لاگر (واقع‌نگار) ژئونیکا موجود در ایستگاه هواشناسی این دانشکده یادداشت گردید. در این پژوهش از رگرسیون خطی ساده و نمایی برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است به‌طوری‌که در آن به بررسی رابطه یک متغیر مستقل (پیش‌بین) و یک متغیر وابسته پرداخته شده است. متغیر تابش کل (TSR) به‌عنوان متغیر مستقل و متغیر تابش فعال فتوسنتز (PAR) به‌عنوان متغیر وابسته استفاده شد. پس از تعیین متغیر مستقل و وابسته، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ۷۰ درصد داده‌ها برای تعیین روابط رگرسیونی و ۳۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی دقت روابط به‌دست‌آمده در نظر گرفته شد. پس از تعیین ۷۰ درصد و ۳۰ درصد داده‌ها توسط نرم‌افزار spss از نرم‌افزار Excel برای تعیین روابط رگرسیونی و ارزیابی دقت روابط به‌دست‌آمده استفاده شد.

تقسیم‌بندی شرایط آسمان

با توجه به مقدار ابرناکی آسمان، داده‌ها در چهار گروه آسمان

داده‌های مورد استفاده

داده‌های لحظه‌ای اندازه‌گیری شده تابش TSR توسط لاگر (واقع‌نگار) ژئونیکا موجود در ایستگاه هواشناسی؛ داده لحظه‌ای اندازه‌گیری شده تابش PAR توسط ادوات ساخت شرکت لوترون در ایستگاه هواشناسی؛ داده‌های هواشناسی نظیر مقدار ابرناکی، نوع ابر، وضعیت ابر و میدان دید که هم‌زمان با داده‌های تابش در ایستگاه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد.

ادوات تابش‌سنجی مورد استفاده در پژوهش

لاگر ژئونیکا (Geonica Data Logger): نام علمی سنسور تابش‌سنج این دستگاه پیرانومتر و مدل آن LPO2 است. شدت تابش قابل اندازه‌گیری توسط این سنسور بین صفر تا ۲۰۰۰ وات بر مترمربع است و گستره طیف اندازه‌گیری آن بین طول‌موج‌های ۳۰۵ تا ۲۸۰۰ نانومتر و عملکرد بهینه آن در دمای بین ۴۰- تا ۸۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

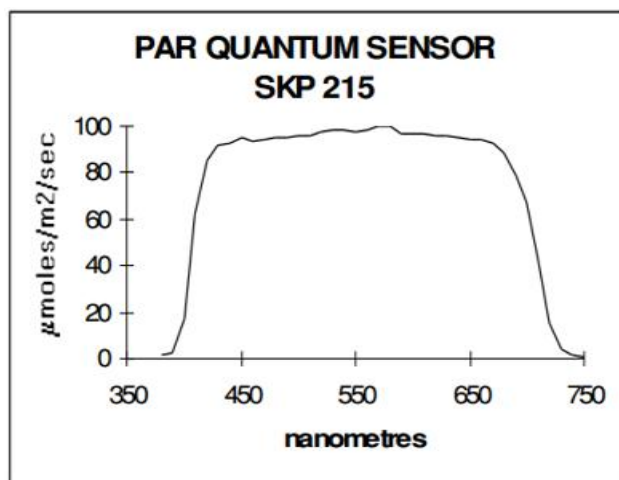
این دیتالاگر به‌صورت خودکار پارامترهای هواشناسی را هر ده دقیقه یک‌بار ثبت می‌کند که زمان اندازه‌گیری می‌تواند به کمتر یا بیشتر از آن تنظیم شود. دستگاه ساخت کشور اسپانیا و دارای دقت بالایی است.

دستگاه تابش‌سنج فعال فتوسنتزی (PAR): شدت تابش قابل اندازه‌گیری توسط این دستگاه بین صفر تا mols/sec/m^2 است و گستره طیف اندازه‌گیری آن بین طول‌موج‌های ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است.

می‌شود). طبق استاندارد سازمان هواشناسی کل کشور تقسیم‌بندی ابرناکی آسمان برحسب واحد اکتا، بر طبق زیر گزارش می‌گردد.

الف- ابرناکی صفر تا ۲ اکتا به‌عنوان آسمان صاف،
ب- ابرناکی ۳ تا ۶ اکتا به‌عنوان آسمان قسمتی ابری،
ج- ابرناکی ۷ تا ۸ اکتا به‌عنوان آسمان تمام ابری،

صاف (Clear sky)، آسمان قسمتی ابری (Partly cloudy sky)، آسمان تمام ابری (Overcast) و آسمان تحت تمام شرایط (All sky) قرار گرفته‌اند. در تقسیم‌بندی شرایط آسمان از واحد اکتا (Okta) استفاده می‌شود که آسمان بالای سر به ۸ قسمت تقسیم می‌شود (در هر واحد اکتا حدود ۱۲/۵ درصد از آسمان توسط ابر اشغال



شکل ۲: نمای ظاهری و پاسخ طیفی تابش سنج فعال فتوسنتزی مورد استفاده در پژوهش (شرکت ELE).

Figure 2- The instrument appearance and the spectral response of the photosynthetic active radiation as used in the research

تجزیه و تحلیل فصلی داده‌ها با توجه به اینکه تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده در آسمان تمام ابری کم می‌باشد بنابراین در تجزیه و تحلیل فصلی به تجزیه و تحلیل آسمان تمام ابری پرداخته نشده است و تجزیه و تحلیل آسمان صاف، قسمتی ابری و تمام شرایط انجام گرفته و روابط رگرسیونی آن‌ها استخراج گردیده است. در تجزیه و تحلیل ماهانه روابط با توجه به کم بودن تعداد داده‌ها فقط تجزیه و تحلیل آسمان تمام شرایط انجام گرفته است.

تعداد داده‌های اندازه‌گیری در فصل بهار ۴۲۴ داده (۲۰۴ داده در شرایط آسمان صاف و ۲۱۰ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری)، در فصل تابستان ۴۴۲ داده (۳۰۷ داده در شرایط آسمان صاف و ۱۳۵ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری)، در فصل پاییز ۳۳۱ داده (۱۶۱ داده در شرایط آسمان صاف و ۱۷۲ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری)، در فصل زمستان ۲۴۰ داده (۸۶ داده در شرایط آسمان صاف و ۱۵۴ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری) و در مقیاس سالانه که شامل تمام داده از فروردین تا آخر بهمن می‌باشد ۱۴۲۹ داده (۷۵۷ داده در شرایط آسمان صاف، ۵۵۷ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری و ۱۱۵ داده در شرایط آسمان تمام ابری) می‌باشد. چارت روش انجام کار در شکل ۳ نمایش داده شده است.

در این پژوهش به دلیل حساسیت زیاد تابش UV به مقدار ابرناکی آسمان، از تقسیم‌بندی زیر استفاده شده است.

آسمان صاف: در آسمان صاف، آسمان از صفر اکتا تا یک اکتا ابری است.

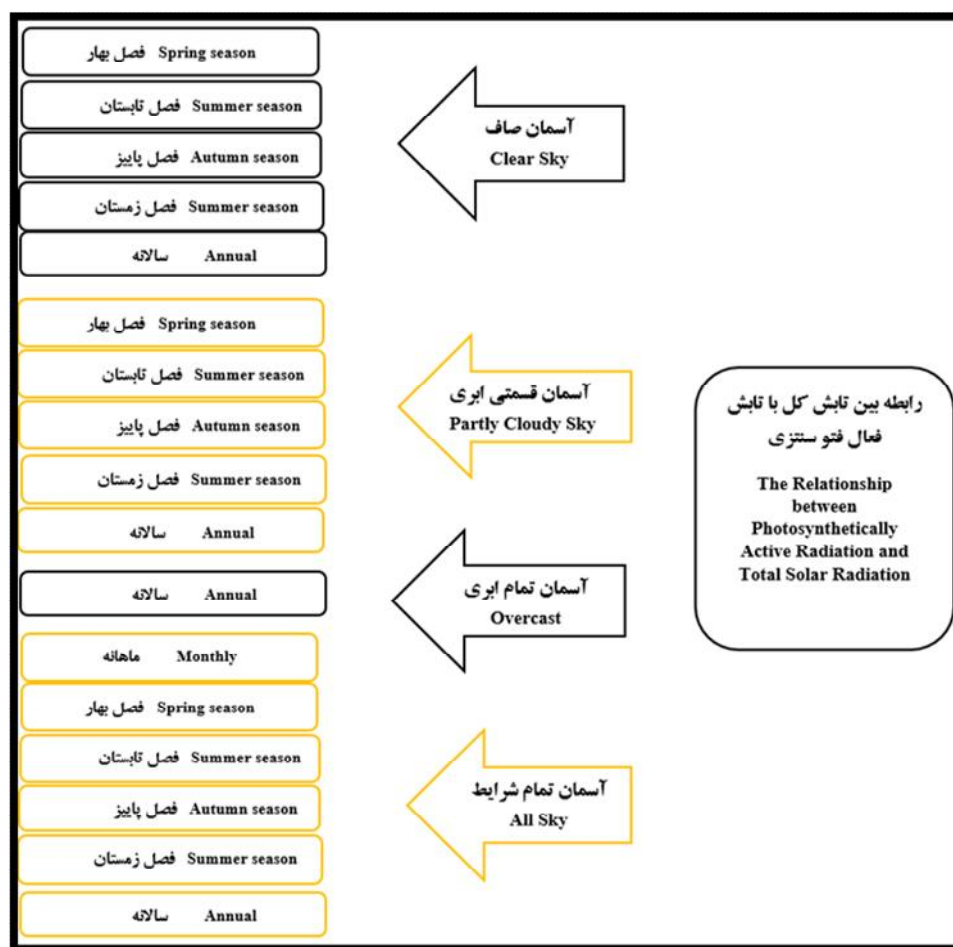
آسمان قسمتی ابری: در آسمان قسمتی ابری، آسمان از ۲ تا ۷ اکتا دارای پوشش ابر است.

آسمان تمام ابری: در آسمان تمام ابری، آسمان ۸ اکتا ابری است.

آسمان تمام شرایط: در این گروه پوشش ابری آسمان ۰ تا ۸ اکتا می‌باشد و دربرگیرنده تمام حالات آسمان یعنی آسمان صاف، قسمتی ابری و تمام ابری می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه ارائه شده است. در تجزیه و تحلیل سالانه که شامل تمام داده‌ها (۱۱ ماه اندازه‌گیری) می‌باشد با توجه به شرایط آسمان (صاف، قسمتی ابری، تمام ابری و تمام شرایط) داده‌ها در چهار گروه آسمان صاف (Clear Sky)، آسمان قسمتی ابری (Partly Cloudy Sky)، آسمان تمام ابری (Overcast) و تمام شرایط (All-Sky) قرار گرفتند که برای هر کدام از شرایط روابط رگرسیونی مجزا استخراج گردید. در



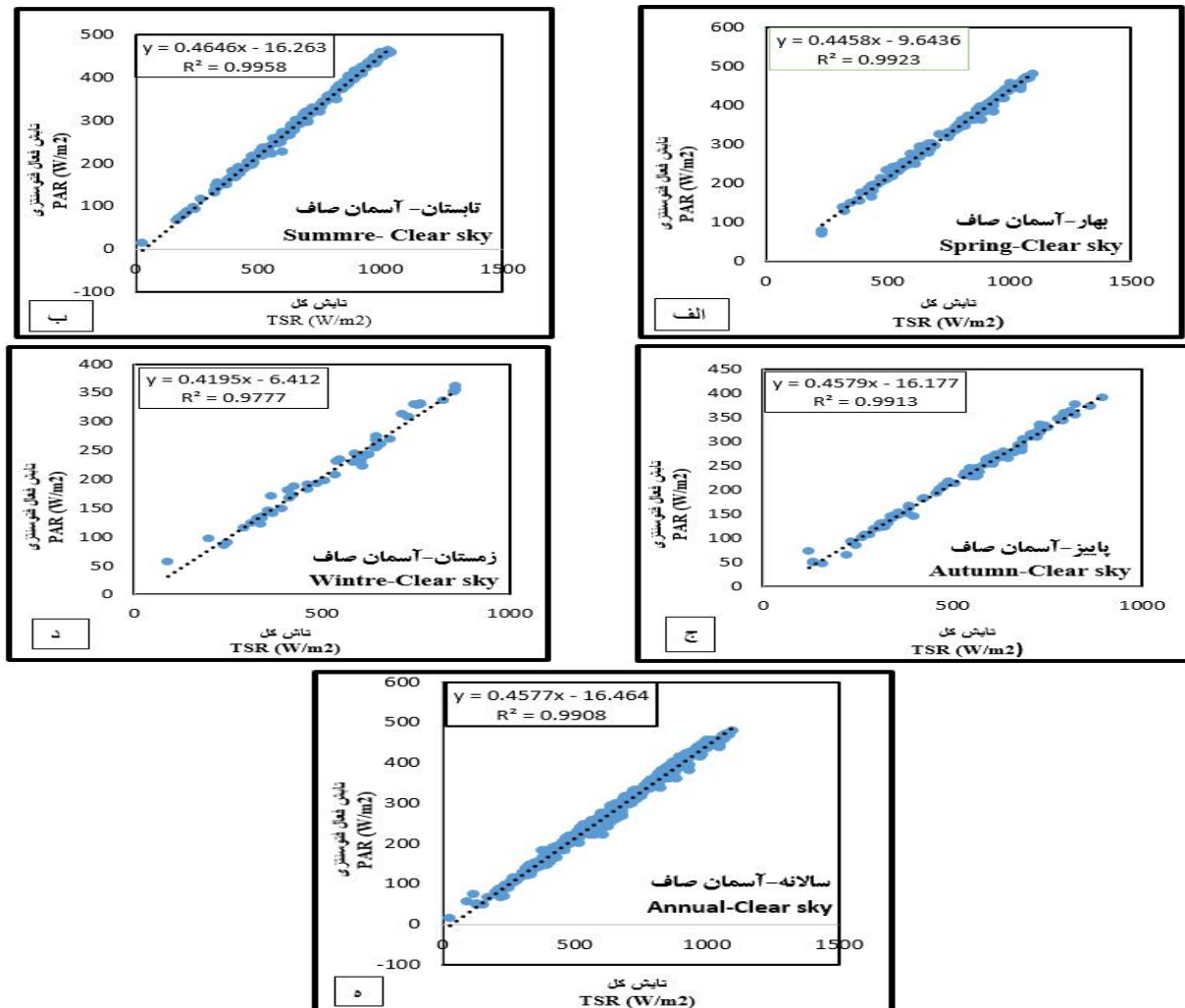
شکل ۳- خلاصه روش تحلیل داده‌ها
Figure 3- Summary of data analysis method

اعتبار سنجی روابط رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در شرایط آسمان صاف
با توجه به جدول اعتبارسنجی (جدول ۱) رابطه خطی که در تمام فصول و در مقیاس سالانه بین تابش کل و تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد تغییر بسیار کمی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که اختلاف مقدار آماره‌های خطا سنجی آن‌ها بسیار ناچیز می‌باشد.

بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان قسمتی ابری
تجزیه و تحلیل روابط بین تابش TSR با PAR در گروه آسمان قسمتی ابری در فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل ۵ (الف الی ه) یک رابطه رگرسیونی خطی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد.

بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی
در بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی که در چهار گروه آسمان صاف، قسمتی ابری، تمام ابری و تمام شرایط انجام شده است با توجه به مقادیر $P\text{-value} < 0.01$ می‌توان نتیجه گرفت که شیب خط رگرسیون در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد.

بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان صاف
تجزیه و تحلیل روابط بین TSR با PAR در گروه آسمان صاف در فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل ۴ (الف الی ه) و آماره‌های خطا سنجی (جدول ۱) بین تابش TSR و PAR یک رابطه خطی وجود دارد که بهترین برازش آن در فصل تابستان می‌باشد.



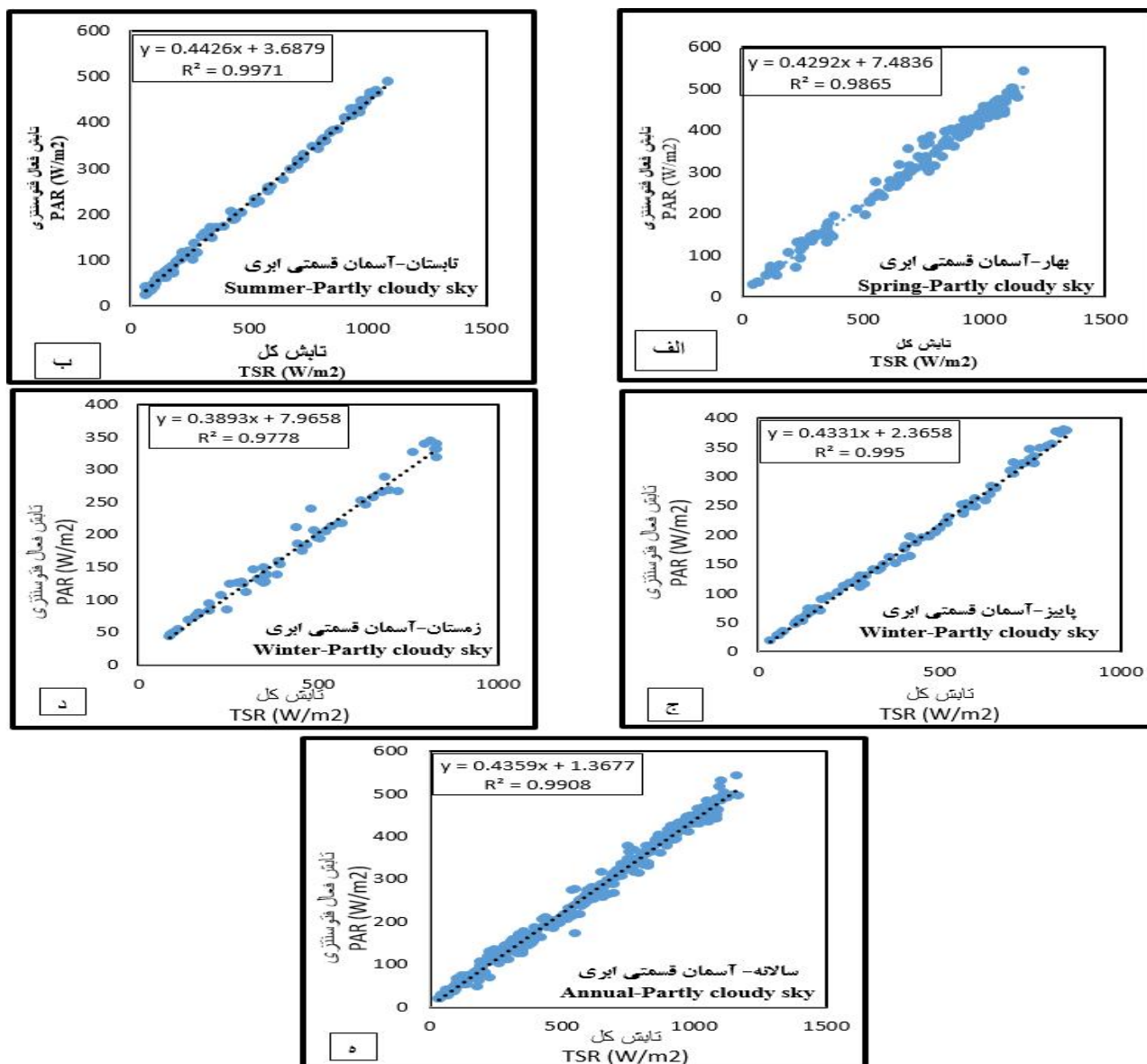
شکل ۴- بهترین روابط برازش بین PAR و TSR در مقیاس‌های زمانی مختلف تحت شرایط Clear Sky (الف الی ه)

Figure 4- The best fitting relations between TSR and PAR at different time scales under Clear Sky conditions

جدول ۱- خلاصه نتایج آماری همبستگی‌های فصلی و سالانه بین TSR با PAR برای شرایط Clear Sky

Table 1- Summary of seasonal and annual statistical correlations between TSR and PAR for Clear Sky conditions

مقیاس زمانی Time scale	روابط بین TSR با PAR در شرایط آسمان صاف Relationships between TSR and PAR in clear sky conditions	RMSE ($W.m^{-2}$)	MAE ($W.m^{-2}$)	MBE ($W.m^{-2}$)	MPE (%)	R^2	میانگین داده‌ها PAR ($W.m^{-2}$) PAR Average ($W.m^{-2}$)
بهار Spring	PAR= 0.4458*TSR-9.6436	6.91	4.82	-0.52	-0.17	0.992	336.5
تابستان Summer	PAR= 0.4646*TSR-16.263	7.04	5.07	-0.75	-0.78	0.995	306.4
پاییز Autumn	PAR= 0.4579*TSR-16.177	6.64	5.41	1.33	0.62	0.991	243.6
زمستان Winter	PAR=0.4195*TSR-6.412	11.56	10.23	2.51	1.49	0.977	224.5
سالانه Annual	PAR=0.4577*TSR-16.464	9.95	7.51	-0.27	-0.28	0.990	291.8



شکل ۵- بهترین روابط برازش TSR با PAR در مقیاس‌های زمانی مختلف تحت شرایط Partly Cloudy Sky (الف الی ه)
Figure 5- The best fitting relations between TSR and PAR at different time scales under Partly Cloudy Sky condition

بررسی رابطه تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان تمام ابری

تجزیه و تحلیل رابطه بین TSR با PAR در گروه آسمان تمام ابری در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودار شکل ۷ یک رابطه خطی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در آسمان تمام ابری وجود دارد و این شکل بهترین برازش این رابطه را نشان می‌دهد.

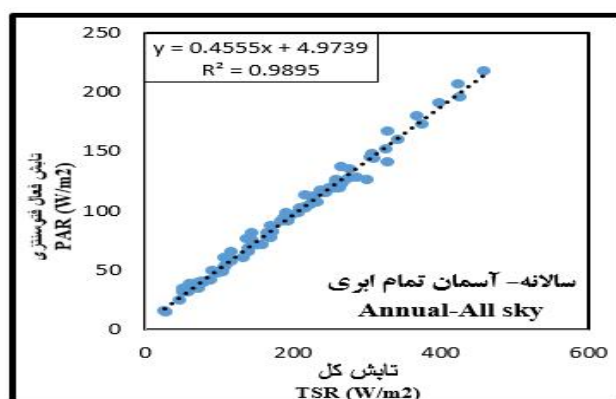
اعتبار سنجی روابط رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در شرایط آسمان قسمتی ابری

با توجه به جدول اعتبارسنجی (جدول ۲) رابطه خطی که در تمام فصول و در مقیاس سالانه بین تابش کل و تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد در فصل تابستان دارای کمترین مقدار آماره‌های خطا سنجی به‌طوری‌که $RMSE=8.42$ ، $MAE=7.19$ و $R^2=0.997$ می‌باشد و این نشان می‌دهد که بهترین برازش خطی در آسمان قسمتی ابری در فصل تابستان بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد.

جدول ۲- خلاصه نتایج آماری همبستگی‌های فصلی و سالانه روابط بین PAR با TSR برای شرایط Partly Cloudy Sky

Table 2- : Seasonal and annual statistical correlations between TSR and PAR for partly cloudy conditions

Time scale	Relationships between TSR and PAR in Partly Cloudy Sky conditions	PAR TSR					R^2	(W.m ⁻²) PAR PAR Average (W.m ⁻²)
		RMSE (W.m ⁻²)	MAE (W.m ⁻²)	MBE (W.m ⁻²)	MPE (%)			
Spring	PAR= 0.4292*TSR+7.4836	16.07	12.08	0.02	2.02	0.986		323
Summer	PAR=0.4426*TSR+3.6879	8.42	7.19	2.19	1.40	0.997		241.3
Autumn	PAR= 0.4331*TSR+2.3658	9.75	7.39	2.79	0.69	0.995		176.4
Winter	PAR=0.3893*TSR+7.9658	12.53	7.94	0.04	0.52	0.977		170.41
Annual	PAR=0.4359*TSR+1.3677	14.59	10.83	1.41	0.39	0.990		247.1



شکل ۷- بهترین رابطه برازش PAR با TSR در مقیاس سالانه تحت شرایط Overcast

Figure 7- The best fitting relations between TSR and PAR for annual time scale under overcast conditions

که مشاهده می‌شود مقدار آماره‌های خطا سنجی این رابطه بسیار کم می‌باشد که نشان می‌دهد یک رابطه رگرسیونی خطی خوبی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد.

اعتبار سنجی رابطه رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در شرایط آسمان تمام ابری جدول اعتبار سنجی (جدول ۳) رابطه تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی را در شرایط آسمان تمام ابری نشان می‌دهد. همان‌طور

جدول ۳- خلاصه نتایج آماری همبستگی سالانه بین تابش PAR با TSR برای شرایط Overcast

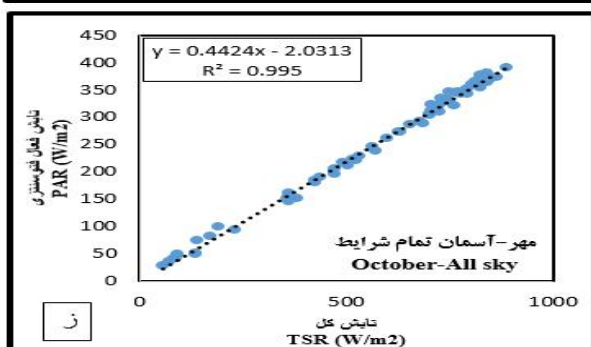
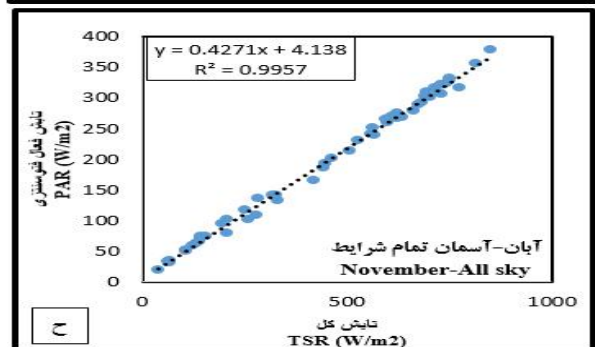
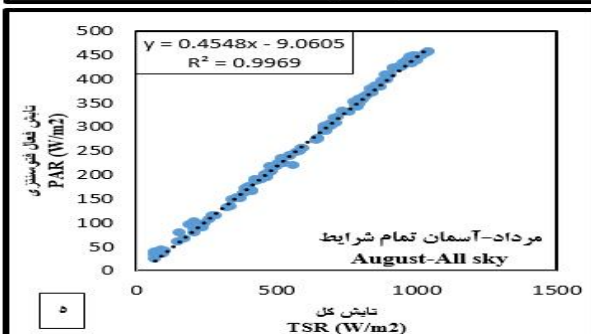
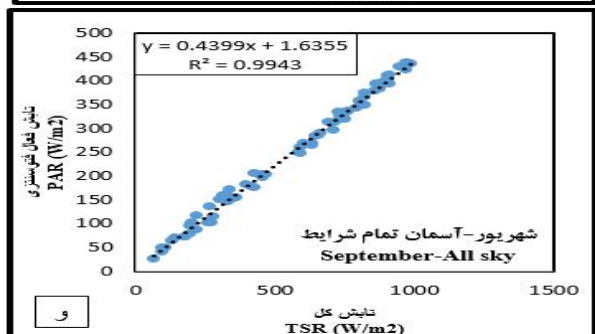
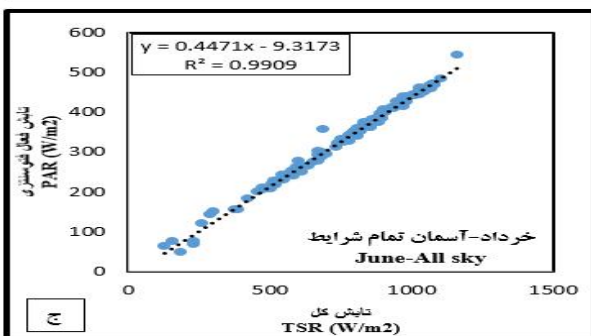
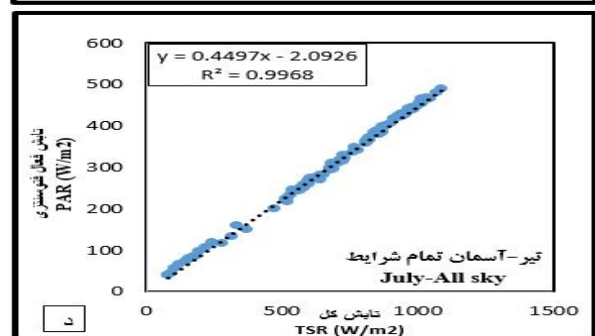
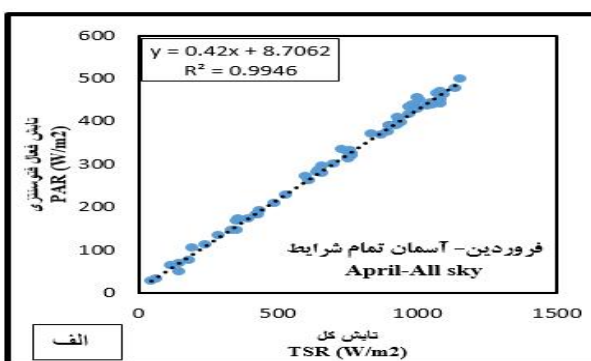
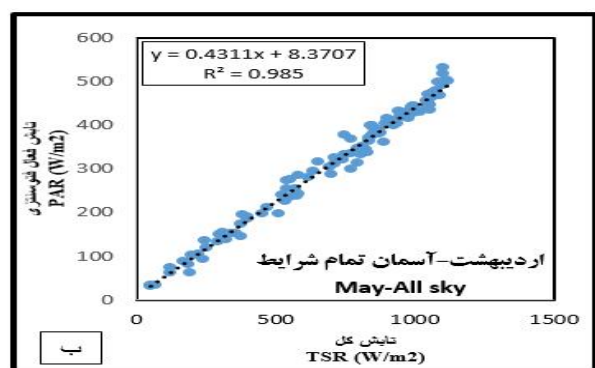
Table 3- Annual statistical correlation between TSR and PAR for Overcast conditions

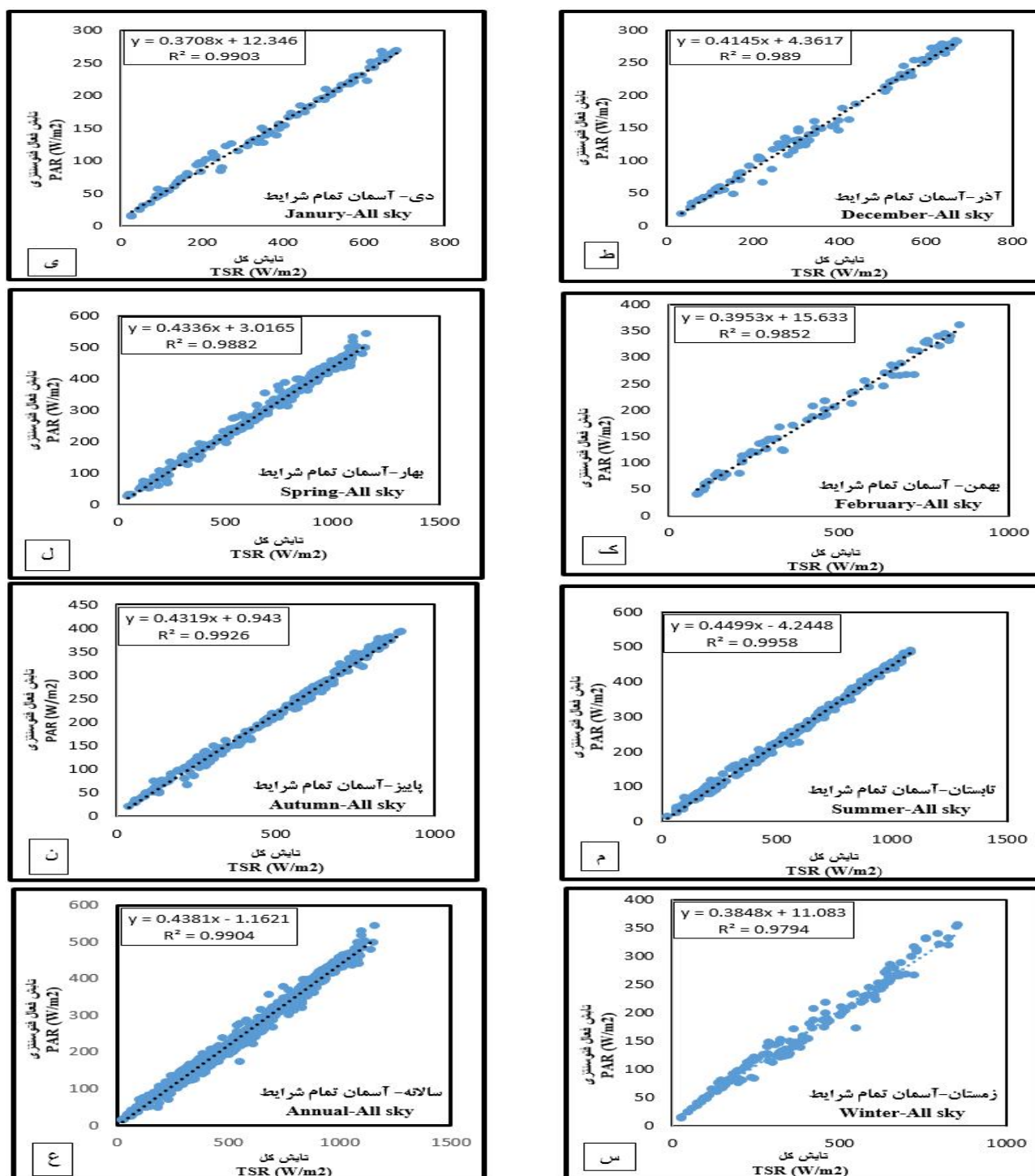
Time scale	Relationships between TSR and PAR in Overcast conditions	PAR TSR					R^2	(W.m ⁻²) PAR PAR Average (W.m ⁻²)
		RMSE (W.m ⁻²)	MAE (W.m ⁻²)	MBE (W.m ⁻²)	MPE (%)			
Annual	PAR=0.4555*TSR+4.9739	4.86	3.69	0.79	2.52	0.989		91.8

یک روابط خطی می‌باشند که با تغییر ماه‌ها و فصول این روابط تغییر بسیار کمی را نشان می‌دهند که می‌توان نتیجه گرفت که پراکندگی (Scattering) که توسط ابرها و آئروسول‌ها و جذب (Absorption) که توسط ابرها انجام می‌گیرد روی طول موج تابش فعال فتوسنتزی تأثیر خیلی کمی را دارند.

بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان تمام شرایط

تجزیه و تحلیل روابط بین TSR با PAR در گروه آسمان تمام شرایط در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل ۸ روابط بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی





شکل ۸- بهترین روابط برازش بین تابش TSR با PAR در دوره‌های زمانی مختلف تحت شرایط All Sky (الف الی ح)
Figure8- The best fitting relations between TSR with PAR in different time periods under All Sky conditions

که رابطه بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی با تغییر ماه‌ها و فصول تغییر بسیار کمی می‌کند به طوری که رابطه PAR با TSR در ماه تیر $RMSE=7.43$ ، $MAE=6.32$ و $R^2=0.996$ می‌باشد و در ماه بهمن که ابرناکی افزایش می‌یابد $RMSE=14.29$

اعتبار سنجی روابط رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در آسمان تمام شرایط
با توجه به آماره‌های خطا سنجی جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت

$MAE=11.43$ و $R^2=0.985$ می‌باشد که اختلاف بسیار کم بین آماره‌های خطا سنجی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- خلاصه نتایج آماری همبستگی‌های ماهانه، فصلی و سالانه بین تابش TSR با PAR برای شرایط All Sky

Table 4- Summary of monthly, seasonal and annual statistical correlations between TSR and PAR for all sky conditions

مقیاس زمانی Time scale	رابطه بین PAR و TSR در شرایط آسمان تمام ابری Relationships between TSR and PAR in All Sky conditions	RMSE ($W.m^{-2}$)	MAE ($W.m^{-2}$)	MBE ($W.m^{-2}$)	MPE (%)	R^2	میانگین داده‌ها PAR ($W.m^{-2}$) PAR Average ($W.m^{-2}$)
فروردین April	$PAR = 0.42 \cdot TSR + 8.7062$	10.56	8.11	1.96	0.94	0.994	311
اردیبهشت May	$PAR = 0.4311 \cdot TSR + 8.3707$	14.55	10.76	1.91	2.19	0.985	316.6
خرداد June	$PAR = 0.4471 \cdot TSR - 9.3173$	7.00	5.05	0.18	-0.57	0.990	336.8
تیر July	$PAR = 0.4497 \cdot TSR - 2.0926$	7.43	6.32	0.41	0.02	0.996	312.4
مرداد August	$PAR = 0.4548 \cdot TSR - 9.0605$	8.10	5.64	1.06	-0.97	0.996	228
شهریور September	$PAR = 0.4399 \cdot TSR + 1.6355$	9.33	8.05	0.93	1.29	0.994	253.2
مهر October	$PAR = 0.4424 \cdot TSR - 2.0313$	8.23	6.24	-0.01	-1.23	0.995	254.4
آبان November	$PAR = 0.4271 \cdot TSR + 4.138$	8.85	7.13	-0.14	0.70	0.995	197.5
آذر December	$PAR = 0.4145 \cdot TSR + 4.3617$	8.44	5.13	-0.72	-1.20	0.989	164.4
دی January	$PAR = 0.3708 \cdot TSR + 12.346$	10.39	7.30	0.04	0.07	0.990	146.3
بهمن February	$PAR = 0.3953 \cdot TSR + 15.633$	14.29	11.43	-2.57	0.01	0.985	189.6
بهار Spring	$PAR = 0.4336 \cdot TSR + 3.0165$	12.00	9.13	2.28	1.16	0.988	324.6
تابستان Summer	$PAR = 0.4499 \cdot TSR - 4.2448$	7.58	6.28	0.25	0.21	0.995	286.2
پاییز Autumn	$PAR = 0.4319 \cdot TSR + 0.943$	8.66	7.03	0.49	-0.38	0.992	199.9
زمستان Winter	$PAR = 0.3848 \cdot TSR + 11.083$	13.65	10.09	-6.02	-2.61	0.979	167.3
سالانه Annual	$PAR = 0.4381 \cdot TSR - 1.1621$	11.93	9.15	-0.14	-0.45	0.990	258.2

در بوتاکاچو برزیل پرداختند و نشان دادن که بین PAR با مقادیر ساعتی و روزانه تابش کل یک همبستگی خطی وجود دارد سازگار می‌باشد.

نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل

در این تحقیق نسبت بین مؤلفه تابش خورشیدی یعنی PAR به

در بررسی روابط بین تابش PAR با TSR با توجه به نمودارها و آماره‌های خطا سنجی نتایج نشان می‌دهند که یک رابطه خطی بین تابش PAR با TSR وجود دارد. این رابطه خطی با افزایش ابرناکی در ماه‌ها و فصل‌ها از همبستگی آن کاسته می‌شود. این نتایج با نتایج اسکیدو و همکاران (۲) که به مدل کردن کسرهای ساعتی و روزانه UV، PAR و NIR به تابش کل تحت شرایط آسمان مختلف

بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت ماهانه

با توجه به جدول ۵ در بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت ماهانه مشخص گردید که بیشترین مقدار نسبت PAR به TSR در ماه تیر و کمترین مقدار آن در ماه بهمن به ترتیب ۰/۴۴۸ و ۰/۴۰۷ است.

تابش کل (TSR) به صورت ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی ماهانه این نسبت به دلیل کم بود داده فقط در آسمان تمام شرایط این بررسی صورت گرفته است. در بررسی فصلی، این نسبت در شرایط آسمان صاف، آسمان قسمتی ابری و آسمان تمام شرایط و در بررسی سالانه، این نسبت‌ها در شرایط آسمان صاف، آسمان قسمتی ابری، آسمان تمام ابری و آسمان تمام شرایط مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۵- نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل (ماهانه)

Table 5- The ratio of photosynthetic active radiation to total solar radiation (monthly)

شرایط آسمان Conditions of the sky	ماه	PAR/TSR
آسمان تمام شرایط All Sky	April	0.447
آسمان تمام شرایط All Sky	May	0.447
آسمان تمام شرایط All Sky	June	0.433
آسمان تمام شرایط All Sky	July	0.448
آسمان تمام شرایط All Sky	August	0.437
آسمان تمام شرایط All Sky	September	0.444
آسمان تمام شرایط All Sky	October	0.443
آسمان تمام شرایط All Sky	November	0.444
آسمان تمام شرایط All Sky	December	0.435
آسمان تمام شرایط All Sky	January	0.426
آسمان تمام شرایط All Sky	February	0.407

مانند PAR و UV دارد و این باعث افزایش نسبت‌ها از آسمان صاف به ابری می‌شود. بطوری که در فصول مختلف در آسمان تمام شرایط در فصل تابستان با ۰/۴۴۳ بیشترین می‌باشد و در مقیاس سالانه نسبت PAR به TSR از آسمان صاف به آسمان قسمتی ابری و آسمان تمام ابری به ترتیب از ۰/۴۳۰ به ۰/۴۴۴ و ۰/۴۸۹ افزایش می‌یابد و در آسمان تمام شرایط این نسبت ۰/۴۴۰ می‌باشد.

بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت فصلی و در مقیاس سالانه

بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت فصلی، فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان و در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به جدول ۶ در بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در فصول سال و در مقیاس سالانه مشخص گردید که نسبت PAR به TSR از آسمان صاف به آسمان قسمتی ابری افزایش می‌یابد که این افزایش به دلیل افزایش ابرناکی آسمان می‌باشد. ابرناکی آسمان جذب بیشتری در طول موج‌های بلند تابش خورشیدی مانند تابش فروسرخ نسبت به طول موج‌های کوتاه

جدول ۶- نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل (PAR/TSR) در فصول مختلف و مقیاس سالانه

Table 6- The ratio of photosynthetic active radiation to total solar radiation (PAR / TSR) in seasonal and annual time scales

شرایط آسمان Conditions of the sky	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter	سالانه Annual
آسمان صاف Clear Sky	0.431	0.438	0.424	0.406	0.430
آسمان قسمتی ابری Partly Cloudy Sky	0.444	0.454	0.447	0.442	0.444
آسمان تمام ابری Overcast	-	-	-	-	0.489
آسمان تمام شرایط All Sky	0.440	0.443	0.440	0.435	0.440

رگرسیونی بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل گردید، که ۷۰ درصد داده‌ها برای تعیین روابط رگرسیونی (در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد) و ۳۰ درصد جهت ارزیابی دقت روابط به‌دست‌آمده استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS23 و EXCEL نتایج زیر حاصل شدند:

در تجزیه و تحلیل ماهانه، فصلی و سالانه داده‌ها مشخص گردید که یک رابطه رگرسیونی خطی بین PAR با TSR وجود دارد و با تغییر ماه‌ها که با تغییر ابرناکی همراه است این روابط خطی تغییر می‌کنند. نتایج نشان داد که بهترین برازش در ماه تیر و مرداد است و در ماه آبان تا بهمن به علت افزایش ابرناکی از مقدار همبستگی کاسته می‌شود.

بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در مقیاس فصلی و سالانه نشان داد که با افزایش ابرناکی این نسبت نیز افزایش می‌یابد. به طوری که در مقیاس سالانه نسبت تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل از آسمان صاف به آسمان تمام ابری به ترتیب از ۰/۴۳۰ به ۰/۴۸۹ افزایش می‌یابد.

در بررسی نسبت بین مؤلفه تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در مقیاس ماهانه، فصلی، سالانه مشخص شد که این نسبت در آسمان صاف به آسمان ابری به دلیل جذب شدن بیشتر طول موج‌های بلند تابش خورشیدی نسبت به طول موج‌های کوتاه افزایش می‌یابد. که این نتایج با نتایج آلدوس و همکاران (۱) در جنوب شرقی اسپانیا، پاپانوا و همکاران (۶) در آتن، جکوبز و همکاران (۳) در حوزه مدیترانه شرقی و یودو و آرو (۸) در نیجریه که به بررسی نسبت PAR به TSR پرداختند سازگار می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش روابط رگرسیونی بین تابش فعال فتوسنتزی و تابش کل لحظه‌ای در اقلیم سرد و نیمه‌خشک همدان مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های روزانه مؤلفه‌های تابش خورشید حداقل به تعداد چهار نوبت در روز به مدت ۱۱ ماه از فروردین تا آخر بهمن ۱۳۹۵ در ایستگاه هواشناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام گردید. پس از اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها اقدام به تعیین روابط

منابع

- 1- Alados I., Foyo-Moreno I.Y., and Alados-Arboledas L. 1996. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78(1-2), pp.121-131.
- 2- Escobedo J.F., Gomes E.N., Oliveira A.P., and Soares J. 2009. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, 86(3), pp.299-309.
- 3- Jacovides C.P., Tymvios F.S., Asimakopoulou D.N., Theofilou K.M., and Pashiardes S. 2003. Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 74(3), pp.227-233.
- 4- Janjai S., Wattan R., and Sripradit A. 2015. Modeling the ratio of photosynthetically active radiation to broadband global solar radiation using ground and satellite-based data in the tropics. *Advances in Space Research*, 56(11), pp.2356-2364.
- 5- Kamali Gh.A., and Moradi E. 2005. *Sun Radiation Principles and Applications in Agriculture and New Energy*. Ferdowsi University of Mashhad Printing and Publishing.
- 6- Papaioannou G., Papanikolaou N., and Retalis D. 1993. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theoretical and Applied Climatology*, 48(1), pp.23-27.

- 7- Tajek E., Rezai A.A., Abkar A., Alavipanah S.k., Jahantab Z., and Rahmati A.R. 2015. Estimate the total instantaneous solar short wavelength using the Modus satellite imagery(Case study: Central regions of Iran). Remote Sensing and Geographic System in Natural Resources, Sixth year, the first number.
- 8- Udo S.O., and Aro, T.O. 1999. Global PAR related to global solar radiation for central Nigeria. Agricultural and Forest Meteorology, 97(1), pp.21-31.
- 9- Yu X., Wu Z., Jiang W., and Guo X. 2015. Predicting daily photosynthetically active radiation from global solar radiation in the Contiguous United States. Energy Conversion and Management, 89: 71-82.



Experimental Evaluation of Regression Relations of Instantaneous Photosynthetically Active Radiation (PAR) and Total Solar Radiation (TSR)

A.A. Sabziparvar^{1*} - A. Karimi²

Received: 01-01-2018

Accepted: 26-02-2018

Introduction: Exposure of human, animal and plants to sunlight has a major role for their growth. One of the most important applications of solar radiation is the agricultural sector. Photosynthesis is a photobiological phenomenon that depicts the ability of plants to convert light energy into chemical energy. In fact, if we provide suitable water and temperature, plant growth and consequently crop yields are directly dependent on photosynthetic active radiation (PAR). Regarding the importance of monitoring of PAR flux in agriculture, unfortunately, in most meteorological stations, this parameter is not routinely measured, as its determination is a costly process.

Materials and Methods: In this study, the radiation parameters were measured in a meteorological station located at the faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University in Hamedan. The station has a geographical position of 34 degrees and 47.91 minutes North latitude, 48 degrees and 28.98 minutes Eastern longitude and 1851 meters above sea level in an open space land inside the university campus (Hamedan, Iran). The climate of Hamedan is cold and semi-arid. Geonica Data Logger (GDL) and the PAR detector as radiation devices were used in this study. The scientific name Pyronometer light sensor which is connected to GDL is LPO2 (Hukseflux). The sensitivity of the sensor is between zero to 2000 watts per square meter, and its spectral response ranges from 305 to 2800 nm. The intensity of the irradiance measured by the PAR device is from zero to 2000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{sec})$ and its spectral response covers 380 nm to 750 nm. The method used in this work was to measure daily PAR data from a PAR device (ELE) at least four times a day at a local time from April 2016 to February 2017. At the same time, the TSR data was also recorded by the Geonica Logger in nearby meteorological site. In this study, simple linear regression and exponential regression were employed to investigate the relationship between the TSR data (independent variable, predictors) and the PAR variable (a dependent variable). Using SPSS software, 70% of the data was used to construct the regression relationships and the remainder for evaluating the accuracy of the obtained relationships. Due to the different weather conditions, the measured data are divided into four groups: Clear Sky, Partly Cloudy Sky, Overcast, and All Condition (All sky). To report the cloudiness, Okta unit is used parts (e.g. each Okta corresponds to about 12.5% cloud coverage).

Results and Discussion: The analysis of regression relationship between TSR and PAR in the clear sky, partly cloudy sky, overcast and all sky was performed for monthly, seasonal and annual scales. There was a linear relationship between TSR and PAR fluxes. This linear relationship decreased with increasing cloudiness for both monthly and seasonal scales. These results were compared with those of Escobedo et al. (2009) who modeled hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. Our findings were also in good agreement with their results, as they also observed a linear correlation between PAR and TSR fluxes at Botucatu. Moreover, the ratio between PAR and TSR was determined for all time scales. Our results showed that the highest and lowest ratio of PAR /TSR occurs in July (0.448) and February (0.407), respectively. On seasonal and annual scales, the ratio PAR /TSR increased as the sky conditions changed from the clear sky to the cloudy sky, mainly because of the effect of cloudiness. Cloudy sky absorbs longer wavelength radiation of solar spectrum (such as infrared radiation) as compared with short wavelengths (such as PAR and UV). This increases the radiation proportions from the clear sky to the cloudy sky. Our results are in good agreement with the results of Alados et al. (southeast Spain), Papaioannou et al. (Athens), Jacovides and et al. (Eastern Mediterranean basin) and Udo and Aro in central Nigeria who examined the PAR/TSR ratio.

Conclusion: In the present study, the following results were achieved:

In monthly, seasonal and annual time scales, there was a linear regression relationship between PAR and TSR varying with the change in clouds cover. The best correlations were observed in June and July, but the

1 and 2- Professor in Meteorology and Graduate M.Sc student of Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*-Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)

correlation coefficients decreased from October to February (autumn and winter) due to the increased cloudiness.

The PAR/TSR ratio in the seasonal time scale showed an increment as the cloud cover increased. On annual scale, the ratio of photosynthetic active radiation (PAR) to total global irradiance (TSR) increased from 0.430 in clear sky to 0.489 in overcast condition.

Keywords: Atmospheric conditions, Effect of cloudiness, Hamedan, Radiation fraction PAR/TSR

Contents

The Effect of Non-Equilibrium Coefficients on Sediment Transport in Rivers Using Numerical Model	11
S. Mohamadi - R. Ghobadian- S.M. Kashefipour	
Assessment of Accuracy of CTRAN/W and SEAWAT Models for Prediction of Saltwater Wedge Under Intruding and Receding Conditions	27
H. Ahmadi- M. Hemmati- M. Motalebian	
The Impacts of Climate Variability on Spatiotemporal Water Footprint of Tomato Production in The Hormozgan	43
O. Bazrafshan- Z. Gerkani Nezhad Moshizi	
The Effect of Layered Double Hydroxide with Phosphate as the Interlayer Anion on the Availability of Phosphorus in a Calcareous Soil	57
H. Hatami - A. Fotovat- A. Halajnia	
Effect of Fertilizer Type and its Source on Nutrients Distribution in Kiwifruit Leaves and Fruit	72
F. Hassanzade Naranjboni - R. Ebrahimi-B. Moradi- T. Raesi	
Comparing Different Statistical Models and Pre-processing Techniques for Estimation of Soil Particles Using VNIR/SWIR Spectrum	85
M. Tayebi- M. Naderi- J. Mohammadi- M. Hosseini Zadeh	
Assessing the Performance of Digital Mapping Approaches for the Qualitative Land Suitability Evaluation (A Case Study: Shahrekord Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province)	99
Z. Mosleh- M. H. Salehi- A. Jafari- A. Mehnatkesh- I. Esfandiarpour Borujeni	
The Effect of Cytokinin and Auxin Hormones on the Distribution and Accumulation of Chlorine and Some Macroelements in Different Sectors of Maize in Different Planting Patterns in Saline Condition	112
D. Davani - M. Nabipour - H. Roshanfekr Dezfouli	
The Response of Selected Soil Quality Indices and Crop Yield to Integrated Management of Tillage and Cover Cropping in <i>Cucurbita pepo</i> Cultivation	126
E. Esfandiary Ekhlasi- M. Nael- M. Sheklabadi- J. Hamzei- A.A. Safari Sinigani	
Immobilization of Lead in a Calcareous Contaminated Soil using Organic and Inorganic Amendments	142
S. Sefidgar Shahkolaie - M. Baranimotlagh - F. Khormali - E. Dordipour	
Evaluation and Determination the Nutritional Status of Valencia Orange Orchards in South of Fars Province	154
M. Basirat - H. Haghighatnia - S. M. Mousavi	
Isolation and Identification of Temperature Resistant Phosphate Solubilizing Bacteria for Use in Phosphatic Microbial Fertilizer	167
B. Khoshru - M.R. Sarikhani	
Efficiency of Natural and Modified Bentonite and Rice Husk on Immobilization of Cadmium and Its Effect on Some Biological Properties of Soil	183
S. Abduolrahimi - N. Ghorbanzadeh- H. Ramezani- M.B. Farhangi	
Magnetic Susceptibility Related to Soil Properties in Different Land Uses of Bardsir Region, Kerman Province	197
S. Taghdis – M. H. Farpoor	
Monitoring and Prediction of the Extent of Temperature and its Impact on Agriculture in Kurdistan Province Case study: Strawberry in Kurdistan Province	212
S. Fashkhorani- M. Saliqe- M. Akbary	
Experimental Evaluation of Regression Relations of Instantaneous Photosynthetically Active Radiation (PAR) and Total Solar Radiation (TSR)	228
A.A. Sabziparvar - A. Karimi	

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 32

No. 2

2018

Published by: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Manager in Charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editor in Chief: Fotovat, A. (Soil Science) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Alizadeh, A.	Irrigation and Drainage	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Astaraei, A. R.	Soil Science	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Fotovat, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghaemi, A.A.	Irrigation and Drainage	Assoc. Prof., Shiraz University
Kamali, Gh.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Islamic Azad University, Tehran
Khormali, F.	Soil Science	Prof., Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan
Kiani, A.R.	Irrigation and Drainage	Prof., Agricultural and Natural Resources Res. Center of Golestan Province
Lakzian, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mahdian, M.H.	Irrigation and Drainage	Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Mosaedi, A.	Irrigation and Civil Eng.	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mousavi Baygi, M	Agricultural Meteorology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Oustan, Sh.	Soil Science	Assoc. Prof., Tabrzi University
Sanaei-Nejad, S.H.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad, Press.

Address: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775- 1163

Fax: +98 511 8787430

E-Mail: jsa3@um.ac.ir

Web Site: <http://jm.um.ac.ir>

Journal of Water and Soil is published bimonthly (six issues per year).