نشریه علمی

آب و خاک

(علوم و صنایع کشاورزی)

دانشگاه فردوسی مشهد

جلد ۳۳ شماره ۳

سال ۱۳۹۸

شاپا: ۴۷۵۷-۲۰۰۸

شماره پیاپی ۶۵

عنوان مقالات

نشریه علمی آب و خاک جلد ۳۳ شماره ۳ سال ۱۳۹۸

Water and Soil Vol.33 No.3 2019

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 33 No. 3

2019

Water and Soil

(Agricultural Science and Technology)

ISSN:2008-4757

Contents

آب و خاک

(علوم و صنایع کشاورزی)

با شماره پروانه 21/2015 مورخه1368/4/11 و درجه علمی– پژوهشی شماره 26524 تاریخ 1373/10/19 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد 33 شماره 3 مرداد – شهریور سال1398

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد **چاپ:** چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

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

این نشریه درپایگاههای 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

مقاله‌های این شماره در سایت http://jm.um.ac.ir به صورت کامل نمایه شده است.

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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۳۸۹-۳۷۹

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 379-389

ارزیابی روش‌های مستقیم و مدل‌های کامپیوتری در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس در مزارع نیشکر

رضا مزارعی[1]*- عبدعلی ناصری[2]- امیر سلطانی محمدی [3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱

چکیده

یکی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی یک سیستم آبیاری، تعیین پارامتر نفوذ است که می‌تواند منجر به افزایش عملکرد یک سیستم آبیاری شود. در این تحقیق، پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس با دو دسته از روش‌های مختلف از جمله روش مستقیم (روش‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی- خروجی) و مدل‌های کامپیوتری (مدل کامپیوتری SIPAR_ID و IPARM) تعیین گردید و با نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. مطالعات مزرعه‌ای به‌منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، در مزارع تحت کشت نیشکر سلمان فارسی در تابستان و پائیز سال ۱۳۹۶ در نه جویچه به طول ۱۰۰ و عرض ۱/۸۳ متر و شیب ۰/۰۴ درصد تحت سه دبی اسمی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه در سه نوبت آبیاری صورت گرفت. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی دقت تخمین پارامترهای نفوذ از سه شاخص حجم آب نفوذ یافته به منطقه ریشه، زمان پیشروی و حجم رواناب استفاده گردید. جهت شبیه‌سازی شاخص‌های ارزیابی در هر روش، از نرم‌افزار WinSRFR استفاده گردید. مطابق نتایج این تحقیق، روش مستقیم دونقطه‌ای الیوت-واکر در تخمین زمان پیشروی با میانگین RMSE، MAE و RE به ترتیب ۱۰/۵۲، ۱۴/۹۱ و ۱۰/۱ درصد، حجم آب نفوذ یافته به ترتیب با میانگین ۹/۶، ۷/۳۶ و ۷/۸ درصد، حجم رواناب خروجی به ترتیب با میانگین ۸/۸، ۸/۷ و ۱/۲ درصد، از عملکرد بسیار قابل قبولی برخوردار بود. همچنین دیگر روش مستقیم (روش ورودی-خروجی) به ترتیب با میانگین ۱۱/۴ و ۶/۸ درصد برای حجم آب نفوذ یافته و ۱/۶ و ۰/۳ درصد برای حجم رواناب مقدار شاخص‌های آماری RMSE و RE را تخمین زد که نشان از دقت بالای این روش در تخمین این دو شاخص عملکرد بود، هرچند که این روش با میانگین ۲۵/۱۱ و ۲۷/۲ درصد توانایی شبیه‌سازی زمان پیشروی را با دقت مناسب نداشت. از سوی دیگر نتایج مدل‌های کامپیوتری نشان داد که مدل IPARM با میانگین MAE و RE برابر با ۲۳/۳۸، ۱۵/۵ درصد زمان پیشروی، ۲۰/۰۲ و ۲۶/۷ درصد حجم آب نفوذ یافته و ۱۱/۸۱ و ۱/۸ درصد حجم رواناب را تخمین زد، که در مقایسه مدل SIPAR_ID از عملکرد بهتری برخوردار بود. در حالت کلی هرچند که مدل‌های کامپیوتری در تخمین پارامترهای نفوذ از عملکرد قابل قبولی برخوردار بودند اما روش‌های مستقیم به دلیل استفاده از داده‌های ورودی بیشتر و استفاده از داده‌های تمامی مراحل آبیاری از عملکرد بهتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: پارامتر نفوذ، روش دونقطه‌ای، روش ورودی-خروجی، IPARM، SIPAR_ID

مقدمه

امروزه بیش از ۹۰ درصد از اراضی فاریاب در سطح دنیا به روش سطحی آبیاری می‌شوند. توجه به مدیریت انواع روش‌های آبیاری از جمله آبیاری سطحی و اصلاح و بهبود عملکرد آن‌ها در استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب در این روش‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. نفوذ یکی از پارامترهای مهم و بسیار تأثیرگذار در یک سیستم آبیاری سطحی ازجمله سیستم آبیاری جویچه‌ای است (۱۵). به‌منظور افزایش عملکرد، بهینه‌سازی مصرف آب و طراحی مناسب یک سیستم آبیاری سطحی، شناخت و بررسی پارامتر نفوذ در خاک امری ضروری است (۸). سرعت وارد شدن آب در خاک یا به‌عبارتی‌دیگر سرعت نفوذ آب در خاک از نظر آبیاری اهمیت زیادی دارد، زیرا تعیین‌کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره کردن مقدار مشخصی آب در داخل خاک است. پارامتر نفوذ علاوه بر تعیین مقدار آب وارد شده به داخل خاک، روی جبهه پیشروی و پسروی آب در سطح زمین نیز تأثیرگذار است (۱۴). روش‌های مختلفی برای برآورد ویژگی‌های نفوذ آب در خاک وجود دارد. مهم‌ترین و جدیدترین

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، استاد و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: reza.mazarei1372@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.74330

روش‌های تخمین پارامترهای نفوذ، استفاده از داده‌های پیشروی است که شرایط دینامیکی نفوذ آب در خاک را نیز در نظر می‌گیرند (۱۱). روش‌های دونقطه‌ای الیوت–واکر، روش ورودی–خروجی، استفاده از مدل‌های IPARM و SIPAR_ID ازجمله این روش‌ها می‌باشند که به‌منظور تعیین پارامترهای نفوذ از روش معکوس استفاده می‌کنند.

کمالی و ابراهیمیان (۸) از چهار روش دونقطه‌ای الیوت–واکر، بهینه‌سازی چند سطحی، SIPAR_ID و IPARM به‌منظور تعیین پارامترهای نفوذ در شرایط کشت گیاه ذرت درون جویچه‌ای استفاده نمودند. نتایج نشان داد که دو روش بهینه‌سازی چند سطحی و IPARM با متوسط خطای نسبی کمتر از دو درصد دارای بهترین عملکرد هستند. ابراهیمیان (۳) نیز در تحقیق خود از دو مدل IPARM و INFILT و روش دونقطه‌ای الیوت و واکر برای برآورد پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف–لوئیس در آبیاری جویچه‌ای معمولی، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر استفاده نمود که نتایج نشان از دقت بالاتر مدل IPARM در مقایسه با دو روش دیگر داشت. همچنین ابراهیمیان و همکاران (۲) در تحقیق خود نشان دادند که روش دونقطه‌ای الیوت–واکر در تخمین پارامترهای نفوذ در دو روش آبیاری جویچه‌ای و نواری دارای دقت قابل قبولی است. مروج الاحکامی و همکاران (۹) نیز در تحقیق خود نشان دادند که روش بهینه‌سازی چند سطحی در مقایسه با روش دونقطه‌ای در تخمین ضرایب معادله نفوذ دارای دقت بالاتری است. همچنین مروج الاحکامی و همکاران (۱۰) به‌منظور برآورد پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ از دو روش موازنه حجم و بهینه‌سازی چند سطحی استفاده کردند که نتایج نشان از دقت بالاتر روش بهینه‌سازی چند سطحی در مقایسه با روش موازنه حجم داشت.

گیاه نیشکر به دلیل تولید شکر و همچنین موارد جانبی از جمله تولید الکل، کاغذ، علوفه دامی و ... از جمله مهمترین و پر درآمدترین محصولات کشاورزی تحت کشت در خوزستان می باشد. همچنین با توجه به شرایط خاص و طراحی خاص مزارع نیشکر کشت و صنعت خوزستان از جمله طول و عرض بالا و شیب بسیار کم در جویچه های مورد کشت، تعیین پارامترهای نفوذ از جمله مهمترین و مشکلترین پارامترهای طراحی می باشد. در این تحقیق به‌منظور برآورد دقیق پارامترهای نفوذ، دو دسته از روش های پرکاربرد در تخمین پارامترهای نفوذ کوستیاکف–لوئیس از جمله روش مستقیم (شامل روش های دونقطه ای الیوت–واکر و ورودی–خروجی) و مدل‌های کامپیوتری (از جمله IPARM و SIPAR_ID) ارزیابی شد. همچنین به منظور استفاده از مدل SIPAR_ID در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف–لوئیس استفاده از ضریب تعدیل مورد بررسی قرار گرفت. کارایی این روش‌ها در برآورد سه شاخص زمان پیشروی، حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه و حجم رواناب خروجی بررسی گردید و با مقادیر متناظر خود در شرایط مزرعه‌ای مقایسه گردید. در نهایت توانایی روش‌های مختلف در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف–لوئیس در مزارع تحت کشت نیشکر تحت سه دبی اسمی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه در جویچه‌هایی با عرض بالا و شیب کم مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معادله نفوذ کوستیاکف –لوئیس یکی از پرکاربردترین معادلات تخمین میزان نفوذ در آبیاری سطحی است که برای طیف وسیعی از خاک‌ها مناسب است (۶).

$$z = kt^{\alpha} + f_0 t \qquad (1)$$

که در آن Z عمق نفوذ تجمعی برحسب (m^3m^{-1})، t زمان برحسب دقیقه، f_0 سرعت نفوذ نهایی برحسب ($m^3m^{-1}min^{-1}$)، K ضریب معادله نفوذ برحسب ($m^3m^{-1}min^a$) و α بدون بعد می‌باشند.

روش دونقطه‌ای: این روش نخستین بار توسط الیوت و واکر (۴) برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف–لوئیس در مزارع شیب‌دار پیشنهاد گردید. اساس آن معادله پیوستگی و رابطه نمایی مرحله پیشروی است. در این روش، آب نفوذ یافته به جویچه در حالت طبیعی جریان آب در جویچه، با در نظر گرفتن زبری، شکل هندسی و محیط خیس جویچه اندازه‌گیری می‌گردد و معادله نفوذ حاصله بیانگر متوسط خصوصیات نفوذپذیری جویچه خواهد بود. داده‌های موردنیاز این روش منحنی پیشروی آب در جویچه، دبی ورودی و خروجی و هم‌چنین سطح مقطع هندسی جویچه می‌باشند. در این روش در ابتدا با استفاده از روش ورودی–خروجی مقدار فرصت نفوذ نهایی با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌گردد:

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \qquad (2)$$

که در آن Q_{in} و Q_{out} دبی‌های ورودی و خروجی برحسب متر مکعب بر دقیقه و L طول جویچه مورد آزمایش برحسب متر، می‌باشند. سپس با توجه محیط، مساحت سطح مقطع جویچه، عمق آب اندازه‌گیری شده در جویچه و با استفاده از رگرسیون توانی می‌توان فاکتورهای سطح ($\gamma_1 \gamma_2 \sigma_1 \sigma_2$) را تعیین نمود. پارامترهای k و a با استفاده از موقعیت و زمان مشخص از دونقطه از زمان پیشروی و با استفاده از روابط (۳) و (۴) تعیین می‌شود:

نقطه انتهایی زمین:

$$Q_0 t_L = \sigma_y A_0 L + \sigma_z K t_L^a L + \frac{f_0 t_L L}{(1+r)} \qquad (3)$$

نقطه وسط زمین:

$$Q_0 t_{0.5L} = \frac{\sigma_y A_0 L}{2} + \frac{\sigma_z K t_{0.5L}^a L}{2} + \frac{f_0 t_{0.5L} L}{2(1+r)} \qquad (4)$$

$$\alpha = \frac{\log(V_L / V_{0.5L})}{\log(t_L / t_{0.5L})} \quad (۵)$$

$$k = \frac{V_L}{\sigma_z t_L^{\alpha}} \quad (۶)$$

که در آن‌ها:

$$V_L = \frac{Q_0 t_L}{L} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_L}{1+r} \quad (۷)$$

$$V_{0.5L} = \frac{Q_0 t_{0.5L}}{0.5L} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_{0.5L}}{1+r} \quad (۸)$$

Q_0 جریان ورودی برحسب مترمکعب بر دقیقه، فاکتور سطحی شکل (حدود ۰/۷۷)، t_L و $t_{0.5L}$ و V_L و $V_{0.5L}$به ترتیب زمان پیشروی برحسب دقیقه و حجم آب نفوذ کرده برحسب متر مکعب در فاصله L و L۰٫۵ از ابتدای زمین برحسب متر می‌باشند.

روش ورودی-خروجی: در این روش تمام طول جویچه به‌عنوان یک نفوذسنج در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌شود که در اواخر آبیاری خاک به سرعت نفوذ پایه رسیده است. در این روش دبی ورودی و خروجی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن این مشخصات می‌توان میزان نفوذ در واحد طول جویچه را تعیین نمود (۱۵).

مدل SIPAR_ID: این مدل تحت ویندوز و برای تخمین ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی پیشنهاد شده است. این مدل برای تخمین ضرایب از معادله بیلان حجم و روش حل معکوس استفاده کرده و از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور به حداقل رساندن اختلاف مرحله پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده استفاده می‌کند. ورودی‌های این مدل شامل هیدروگراف ورودی، فاز پیشروی، شیب کف مزرعه، پارامترهای هیدرولیکی و هندسی و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف است. این مدل توانایی تحلیل حساسیت و عدم قطعیت نتایج خروجی را نیز دارا است (۱۲). همچنین در این تحقیق به منظور افزایش دقت این مدل در تخمین پارامترهای نفوذ سه ضریب تعدیل (φ) برابر با ۰، ۰/۵ و ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

مدل IPARM: این مدل ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس را بر اساس معادله بیلان حجمی برآورد می‌کند. در این مدل، علاوه بر اطلاعات مرحله پیشروی، از اطلاعات مرحله ذخیره نیز برای برآورد ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌شود. ورودی‌های مدل شامل فاز پیشروی، هیدروگراف ورودی و خروجی، پارامترهای سطح مقطع، شیب و ضریب زبری مانینگ می‌باشند (۵).

روش تحقیق

به منظور ارزیابی عملکرد روش‌ها، از اطلاعات آزمایش‌های صحرایی آبیاری جویچه‌ای در مزارع نیشکر استان خوزستان استفاده گردید. آزمایش‌های صحرایی در مزرعه R5-22 واقع در زمین‌های کشت و صنعت سلمان فارسی واقع در جنوب شرقی اهواز در سه نوبت آبیاری متفاوت در ۲۴ شهریور، ۱۰ مهر و ۱۰ آبان ۱۳۹۶ در زمین تحت کشت گیاه نیشکر، انجام شد. داده‌های مورد نیاز به‌منظور تعیین معادله نفوذ کوستیاکف -لوئیس در جویچه هایی به طول ۱۰۰ متر، عرض ۱/۸۳ متر و شیب ۰/۰۴ درصد با شرایط مرزی انتها باز، در سه تکرار و تحت سه دبی اسمی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه برداشت شد. در این تحقیق تعداد ۱۸ جویچه در نظر گرفته شد که نه جویچه آن برای آزمایش و نه جویچه دیگر به‌عنوان جویچه‌های حائل مورد استفاده قرار گرفت که در نوبت اول آبیاری به دلیل عدم تسطیح مناسب سه جویچه انتهایی حذف گردید. ضمن تعیین هیدروگراف ورودی و خروجی توسط فلوم W.S.C تیپ دو، زمان پیشروی و پسروی در ایستگاه‌هایی به فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری شد. در این تحقیق به‌منظور تعیین ضریب زبری مانینگ از مدل کامپیوتری SIPAR_ID استفاده گردید (۱۳). همچنین با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR زمان پیشروی، رواناب خروجی و حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه با استفاده از پارامترهای نفوذ تخمین زده شده توسط روش های مختلف، شبیه سازی و با مقادیر مزرعه ای مقایسه گردید. داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای برای سه نوبت آبیاری در جدول (۱) ارائه گردیده است.

تحلیل آماری

به‌منظور مقایسه روش‌های مختلف تعیین معادله نفوذ با یکدیگر و بررسی میزان دقت مدل‌ها در برآورد پارامترهای نفوذ، میزان حجم آب نفوذ یافته تخمین زده‌شده توسط هر مدل با مقدار نفوذ اندازه‌گیری شده در مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت. به‌منظور تعیین حجم آب نفوذ یافته در سطح زمین از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید. در نهایت به‌منظور مقایسه حجم آب نفوذی پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های مختلف در مقایسه با حجم آب نفوذ یافته مزرعه‌ای از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2)، خطای نسبی (RE) و ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) استفاده گردید:

$$RE = \frac{P - O}{O} \times 100 \quad (۹)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (O-P)^2}{N}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۱۰)$$

$$MAE \; \frac{1}{N} \sum \frac{|O-P|}{O} \quad (۱۱)$$

که در آن، P مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل، O مقدار مزرعه‌ای و N تعداد داده‌های مورد استفاده می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات داده‌های مزرعه‌ای
Table 1- Field data characteristics

	شماره جویچه Furrow NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	دبی Discharge (L/sec)	1	1.5	2	1	1.5	2	1	1.5	2
آبیاری اول First irrigation	ضریب زبری Roughness coefficient	0.216	0.1251	0.0174	0.1153	0.025	0.0675	--	--	--
	حجم آب ورودی Inflow Volume (m^3)	50.75	63.99	85.68	57.35	71.15	94.91	--	--	--
	رواناب خروجی Runoff Volume (m^3)	8.79	6.57	6.6	13.34	8.29	13.39	--	--	--
	زمان پیشروی Advance time (min)	254	170	140	273	182	157	--	--	--
	زمان قطع جریان Cutoff time (min)	913	772	696	1053	873	827	--	--	--
آبیاری دوم Second irrigation	ضریب زبری Roughness coefficient	0.1753	0.0274	0.0369	0.163	0.09	0.1084	0.1155	0.1284	0.0528
	حجم آب ورودی Inflow Volume (m^3)	60.65	70.39	84.16	74.51	121.9	149.97	94.95	71.66	82.36
	رواناب خروجی Runoff Volume (m^3)	14.52	14.3	9.07	9.55	35.44	21.97	13.65	7.31	14.67
	زمان پیشروی Advance time (min)	270	189	153	153	273	262	390	238	131
	زمان قطع جریان Cutoff time (min)	0.1753	820	780	1390	1310	1230	1751	856	749
آبیاری سوم Third irrigation	ضریب زبری Roughness coefficient	0.961	0.0388	0.026	0.1236	0.094	0.0533	0.0777	0.063	0.023
	حجم آب ورودی Inflow Volume (m^3)	122.57	76.77	121.7	135.81	94.15	119.88	94.67	87.14	112.94
	رواناب خروجی Runoff Volume (m^3)	15.55	8.33	10.95	11.21	7.28	11.11	12.3	9.56	12.19
	زمان پیشروی Advance time (min)	9530	250	180	810	271	177	495	218	154
	زمان قطع جریان Cutoff time (min)	2300	994	1095	2040	1150	1174	1720	1060	1100

نتایج و بحث

پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف لوئیس با استفاده از روش‌های دونقطه‌ای، ورودی-خروجی و دو مدل IPARM و SIPAR_ID در سه نوبت آبیاری تعیین گردید که نتایج آن در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه گردیده است. برخلاف IPARM دیگر مدل کامپیوتری توانایی تخمین سرعت نفوذ نهایی را نداشته و به همین دلیل سرعت نفوذ نهایی در این مدل با استفاده از روش وروی-خروجی تعیین شد. بنا به گزارش باتیستا و همکاران (۲۰۰۹) به منظور کاهش سرعت نفوذ نهایی تحت شرایط طبیعی مزرعه باید از ضریب تعدیل استفاده نمود که در این تحقیق علاوه بر ضریب پیشنهادی باتیستا و همکاران (۲۰۰۹) که برابر با ۰/۵ بود، دو ضریب تعدیل ۰ و ۱ نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از سه ضریب تعدیل مورد ارزیابی قرار گرفت که خلاصه نتایج این بررسی در جدول‌های (۳) و (۴) ارائه گردیده است. در تخمین پارامتر مدل IPARM با مقادیری در حدود (۰/۰۲-۰/۸۲) و روش ورودی-خروجی با محدوده (۰/۹۸-۰/۶۱) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین نوسانات هستند. سرعت نفوذ نهایی در هر چهار روش تقریباً معادل یکدیگر و در حدود (۰/۰۰۱۱۱-۰/۰۰۰۲۱) است. مدل SIPAR_ID به دلیل عدم تخمین سرعت نفوذ نهایی مقدار ضریب k را با نوسان بیشتری در مقایسه با روش‌های دیگر تخمین می‌زند و همچنین مقدار ضریب را با محدوده (۰/۹۷-۰/۴۴) بیشتر از روش‌های دیگر تخمین می‌زند.

به‌طورکلی فرآیند توزیع آب در مزرعه در شرایط طبیعی به‌صورت ماندگار نیست که بنا به این امر باید مقدار سرعت نفوذ نهایی در خاک کاهش یابد. همچنین بعد از گذشت مدت‌زمانی خاص نرخ سرعت نفوذ در خاک به مقدار ثابت می‌رسد. از این‌روی مدل SIPAR_ID به دلیل عدم توانایی برآورد سرعت نفوذ نهایی، توانایی تخمین پارامترهای نفوذ را با دقت بالا ندارد. بنا به دلایل فوق باتیستا و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور کاهش نرخ سرعت نفوذ نهایی از ضریب تعدیل استفاده نمودند. در این تحقیق به‌منظور بررسی ضریب تعدیل مناسب مقادیر ۰ و ۰/۵ و ۱ استفاده گردید. نتایج مربوط به تخمین پارامترهای نفوذ توسط مدل SIPAR_ID با استفاده از مقادیر مختلف

سرعت نفوذ نهایی (f_0) در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده است. طبق جدول ۵ دو شاخص آماری RE و R^2 حاصل از Z_3 به ترتیب ۱۶/۶۳ و ۴۶ درصد می‌باشد که در مقایسه با دو روش دیگر مقدار حجم آب نفوذ یافته در جویچه را با دقت بالاتری تخمین زد که نشان از دقت بالاتر Z_3 در مقایسه با Z_1 و Z_2 دارد. این در حالی است که سیاری و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور استفاده از مدل SIPAR_ID در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان از دقت مناسب این روش در تخمین پارامترهای نفوذ داشت. همچنین نی و همکاران (۲۰۱۴) از در تخمین پارامترهای نفوذ استفاده نمودند. شرایط فیزیکی متفاوت از جمله دلایل تأثیرگذار بر مقدار سرعت نفوذ نهایی است. به‌گونه‌ای که طول و عرض جویچه های مورداستفاده در تحقیق سیاری و همکاران (۲۰۱۷) به ترتیب برابر با ۷۲، ۰/۷ متر و شیب ۰/۰۰۶۱ و در تحقیق نی و همکاران (۲۰۱۴) طول و عرض جویچه ها به ترتیب ۷۰ و ۰/۹۵ متر و شیب ۰/۰۰۵ بوده است، درحالی‌که جویچه‌های آزمایشی در این تحقیق طول عرض به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۱/۸۳ متر و شیب جویچه برابر با ۰/۰۴ درصد بود. در حالت کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ضریب تعدیل بالاتر منجر به افزایش دقت مدل SIPAR_ID در تخمین حجم آب نفوذ یافته در خاک می‌گردد.

زمان پیشروی

زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده با چهار روش مختلف تخمین پارامتر نفوذ، در شکل ۱ نشان داده‌شده است. نتایج شکل ۱ نشان داد که در تمامی نوبت‌های آبیاری، چهار روش تخمین پارامترهای نفوذ مقدار زمان پیشروی آب در سطح جویچه را در مقایسه با مقدار مزرعه‌ای کمتر تخمین زده‌اند. روش دونقطه‌ای الوت-واکر در مقایسه با دیگر روش‌ها در تخمین زمان پیشروی نزدیک‌ترین برآورد را نسبت به مقدار واقعی داشت و از عملکرد بهتری برخوردار بود. همچنین مدل کامپیوتری IPARM به دلیل استفاده از داده‌های ورودی بیشتر در مقایسه با مدل SIPAR_ID، از عملکرد بهتری در شبیه سازی زمان پیشروی برخوردار بود.

روش ورودی-خروجی در مقایسه با دیگر روش‌های تخمین پارامترهای نفوذ از دقت پائین تری برخوردار بود. مقادیر NRMSE، MAE و RE و R2 تخمین زمان پیشروی توسط چهار روش مختلف در شکل ۲ نشان داده‌شده است. حداقل مقدار NRMSE زمان پیشروی مربوط به روش دونقطه‌ای الیوت-واکر و سپس مدل کامپیوتری SIPAR_ID می باشد که به ترتیب برابر با ۱۰/۵۳ و ۱۷/۱۹ درصد بودند.

جدول ۲- پارامترهای نفوذ

Table 2- Infiltration Parameters

	شماره جویچه Furrow NO.	روش دونقطه ای Two point method			روش ورودی-خروجی Inflow-outflow method			مدل IPARM IPARM model		
		a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)	a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)	a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)
آبیاری اول First irrigation	1	0.43	0.008	0.000049	0.88	0.000413	0.00049	0.28	0.0012	0.00051
	2	0.13	0.0343	0.0008	0.94	0.000443	0.0008	0.27	0.0093	0.00069
	3	0.19	0.0478	0.00111	0.98	0.000568	0.00111	0.65	0.0062	0.00058
	4	0.22	0.0291	0.00046	0.85	0.00044	0.00046	0.03	0.051	0.00046
	5	0.11	0.0603	0.00081	0.93	0.00042	0.00081	0.48	0.007	0.00055
	6	0.27	0.0357	0.00101	0.92	0.000686	0.00101	0.41	0.011	0.00084
آبیاری دوم Second irrigation	1	0.34	0.0176	0.0004	0.61	0.0029	0.0004	0.51	0.0086	0.00066
	2	0.08	0.0766	0.00072	0.88	0.0006	0.00072	0.02	0.009	0.00053
	3	0.25	0.0347	0.00106	0.92	0.0006	0.00106	0.03	0.045	0.0011
	4	0.29	0.0381	0.00057	0.89	0.0004	0.00057	0.65	0.0033	0.00021
	5	0.5	0.0168	0.00061	0.79	0.0012	0.00061	0.38	0.015	0.00058
	6	0.64	0.0108	0.001	0.92	0.0007	0.001	0.7	0.012	0.00095
	7	0.42	0.0168	0.0005	0.87	0.0005	0.0005	0.3	0.0071	0.00043
	8	0.22	0.038	0.00077	0.95	0.0008	0.00077	0.82	0.0023	0.00061
	9	0.35	0.0224	0.00103	0.92	0.0007	0.00103	0.01	0.035	0.00104
آبیاری سوم Third irrigation	1	0.47	0.0168	0.00051	0.92	0.00033	0.00051	0.22	0.033	0.00049
	2	0.21	0.0503	0.00079	0.94	0.0004	0.00079	0.21	0.023	0.00064
	3	0.43	0.0212	0.00111	0.94	0.0006	0.00111	0.4	0.01	0.00091
	4	0.52	0.0167	0.00049	0.85	0.00073	0.00049	0.5	0.012	0.00034
	5	0.55	0.009	0.00082	0.95	0.00039	0.00082	0.19	0.013	0.00076
	6	0.31	0.0361	0.00109	0.96	0.00046	0.00109	0.1	0.012	0.00092
	7	0.49	0.0165	0.0005	0.94	0.00028	0.0005	0.23	0.024	0.00048
	8	0.22	0.0404	0.0008	0.94	0.00043	0.0008	0.22	0.039	0.00036
	9	0.17	0.0165	0.00108	0.96	0.00051	0.00108	0.21	0.027	0.00083

جدول ۳- پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس توسط مدل SIPAR_ID

Table 3- Parameters of the Kostiakov-Lewis Equation by SIPAR_ID

شماره جویچه Furrow NO.		مدل SIPAR_ID SIPAR_ID Model			
		a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)	$0.5f_0$ ($m^3.m^{-1}.min$)
آبیاری اول First irrigation	1	0.48	0.0088	0.000487	0.000243
	2	0.67	0.0049	0.0008	0.0004
	3	0.75	0.0058	0.00111	0.000556
	4	0.88	0.0013	0.000458	0.000229
	5	0.59	0.0071	0.000806	0.000403
	6	0.48	0.0053	0.001015	0.000507
آبیاری دوم Second irrigation	1	0.60	0.0049	0.000396	0.000198
	2	0.56	0.0098	0.000724	0.000362
	3	0.73	0.0039	0.001059	0.000529
	4	0.98	0.0005	0.000572	0.000286
	5	0.81	0.0027	0.000608	0.000304
	6	0.96	0.0016	0.000998	0.000499
	7	0.70	0.0038	0.000501	0.00025
	8	0.78	0.0028	0.00077	0.000385
	9	0.88	0.0019	0.001026	0.000513
آبیاری سوم Third irrigation	1	0.98	0.00064	0.000512	0.000256
	2	0.99	0.00083	0.000794	0.000397
	3	0.62	0.0088	0.001107	0.000553
	4	0.68	0.0063	0.000494	0.000247
	5	0.64	0.0065	0.00082	0.00041
	6	0.62	0.0071	0.001094	0.000547
	7	0.79	0.0025	0.0005	0.00025
	8	0.79	0.0029	0.0008	0.0004
	9	0.46	0.018	0.00108	0.00054

جدول ۴- تخمین حجم آب نفوذ یافته توسط مدل SIPAR_ID

Table 4- Estimation of infiltration volume by SIPAR_ID

شاخص آماری Statistical indicators	$Z_1=kt^a$	$Z_2=kt^a+f_0t$	$Z_3=kt^a+0.5\ f_0t$
RE	-48.65	-24.64	16.63
R^2	0.31	0.42	0.46

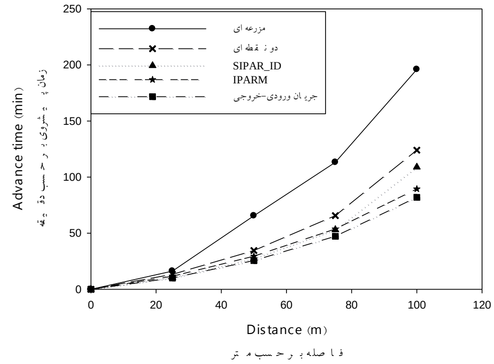
از سوی دیگر دو شاخص آماری MAE و RE در تخمین زمان پیشروی نشان از دقت بالای روش دونقطه‌ای الیوت-واکر (به ترتیب ۱۴/۹۱ و ۱۰/۱ درصد) سپس مدل IPARM (به ترتیب ۲۳/۳۸ و ۱۵/۵ درصد) داشتند. مقدار NRMSE زمان پیشروی تخمین زده‌شده توسط روش ورودی-خروجی (۲۵/۱۱ درصد) نشان از دقت پائین و عدم توانایی این روش در تخمین زمان پیشروی دارد.

در حالت کلی، روش دونقطه‌ای الیوت-واکر به دلیل بررسی فازهای مختلف آبیاری و در نظر گرفتن شرایط مختلف مزرعه‌ای در تخمین زمان پیشروی از عملکرد بالاتری نسبت به دیگر روش‌های موردبررسی برخوردار بود. همچنین مدل کامپیوتری IPARM به دلیل استفاده از داده‌های مختلف (ازجمله فاز پیشروی، هیدروگراف ورودی، رواناب خروجی) دارای عملکرد قابل قبولی بود. سیاری و همکاران (۲۰۱۷)، کمالی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در تحقیقات خود نتایج مشابهی ارائه نمودند.

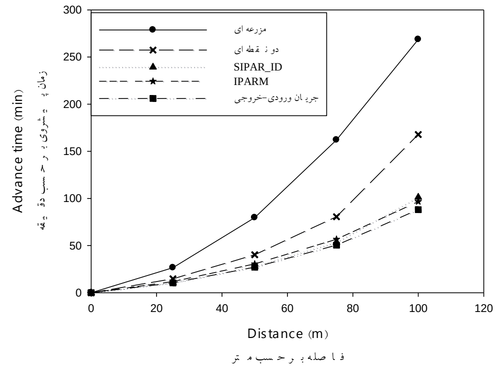
حجم رواناب

نتایج مربوط به تخمین حجم رواناب توسط چهار روش مختلف در شکل ۳ ارائه‌شده است. مطابق شکل ۳، مقدار RE در روش‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی-خروجی به ترتیب برابر با ۱/۲ و ۰/۳ درصد بوده است که نشان از دقت بسیار بالای این دو روش در تخمین حجم رواناب در مقایسه با شرایط مزرعه‌ای دارد. همچنین شاخص‌های آماری NRMSE، MAE و R2 حجم رواناب مربوط به روش ورودی-خروجی به ترتیب برابر با ۱/۶، ۱/۹۹ و ۹۸ درصد، NRMSE، MAE و R2 روش دونقطه‌ای الیوت-واکر به ترتیب ۸/۸، ۸/۷ و ۹۹ درصد می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای روش دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی-خروجی می باشد. همچنین، متوسط

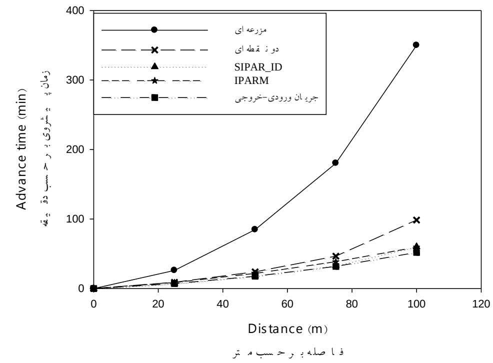
NRMSE برای دو مـدل کـامپیوتری IPARM و SIPAR_ID بـه ترتیب ۲۸ و ۱۲/۸ درصد حاصل شد.



(الف)



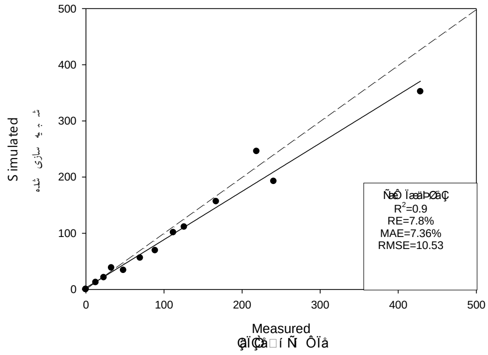
(ب)



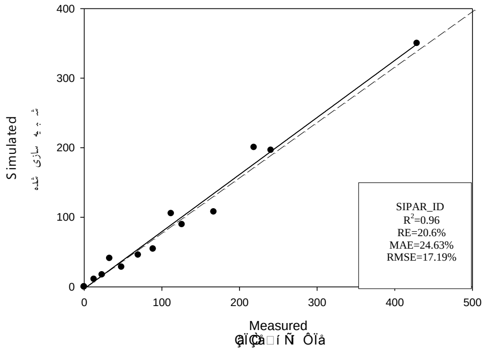
(ج)

شکل ۱- زمان پیشروی شبیه‌سازی شده (الف: آبیاری اول، ب: آبیاری دوم، ج: آبیاری سوم)

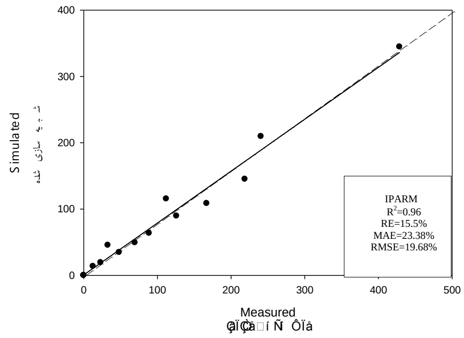
Figure 1- Simulated advance time (a: First irrigation, b:Second irrigation, c: Third irrigation)



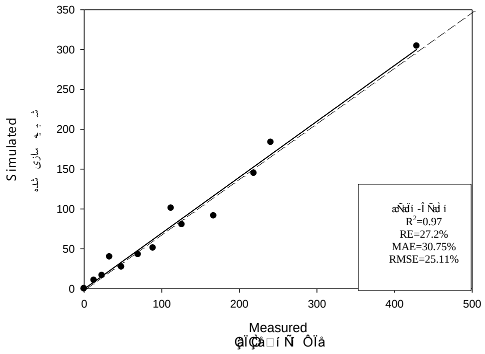
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۲- ارزیابی زمان پیشروی (الف: روش دو نقطه‌ای، ب: مدل SIPAR_ID، ج: مدل IPARM، د: روش ورودی-خروجی)

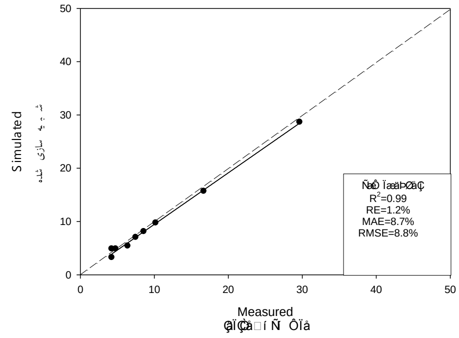
Figure 2- Evaluation of advance time (a: Two Point Method, b: SIPAR_ID Model, c: IPARM Model, d: Inflow-outflow Method)

همچنین متوسط RE ،MAE و R2 در مدل IPARM به ترتیب ۱۱/۸۱، ۱/۸ و ۹۳ درصد، مدلSIPAR_ID به ترتیب ۱۵/۱۴، ۲/۲ و ۹۹ درصد برآورد کرد که این مقادیر نشان داد مدل‌های کامپیوتری IPARM و SIPAR_ID در برآورد پارامترهای نفوذ از دقت قابل قبولی برخوردار هستند اما در مقایسه با روش‌های مستقیم عملکرد ضعیف‌تری دارند. وضعیت فیزیکی زمین ازجمله شیب، ضریب زبری مانینگ و پوشش گیاهی متفاوت در نوبت‌های مختلف آبیاری (به دلیل رشد گیاه نیشکر و تردد ماشین‌آلات کشاورزی در سطح مزرعه) منجر به تفاوت زمان پیشروی آب در سطح مزرعه و توزیع آب در خاک و درنهایت ایجاد پراکنش در حجم رواناب خروجی از مزرعه گردید. از سوی دیگر به دلیل ماهیت مدل‌های کامپیوتری و پیش‌فرض‌های ثابت، مدل‌های کامپیوتری توانایی شبیه‌سازی شرایط مزرعه‌ای را به‌صورت کامل نداشته که این امر خود منجر به کاهش دقت شبیه‌سازی گردیده است.

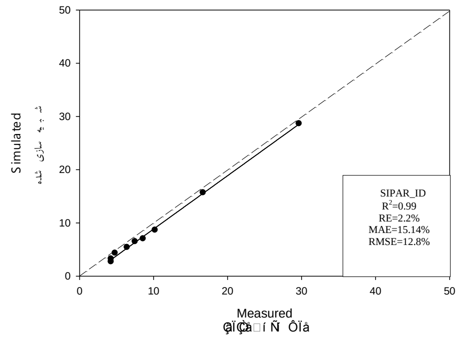
در حالت کلی، روش‌های مستقیم تخمین پارامترهای نفوذ (مانند روش دونقطه‌ای و ورودی-خروجی) در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری در تخمین حجم رواناب خروجی از عملکرد بهتری برخوردار بودند. عوامل متعددی منجر به افزایش دقت روش‌های مستقیم در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری خواهد گردید. ازجمله این عوامل، بررسی فازهای مختلف آبیاری در روش‌های مستقیم در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری است. همچنین مدل‌های کامپیوتری مختلف مانند SIPAR_ID از تعداد محدودی داده به‌منظور تخمین پارامترهای نفوذ استفاده می‌کند که این امر منجر به کاهش دقت به مقدار اندک در تخمین پارامترهای نفوذ می‌گردد. از سوی دیگر، مدل‌های کامپیوتری به دلیل استفاده آسان و صرفه‌جویی در وقت و هزینه در تخمین پارامترهای نفوذ، راهکاری مناسب به‌منظور تخمین پارامترهای نفوذ می‌باشند، هرچند که در مقایسه با روش‌های مستقیم از دقت کمتری برخوردار هستند که این مقدار کاهش قابل توجه نمی‌باشد.

حجم آب نفوذ یافته

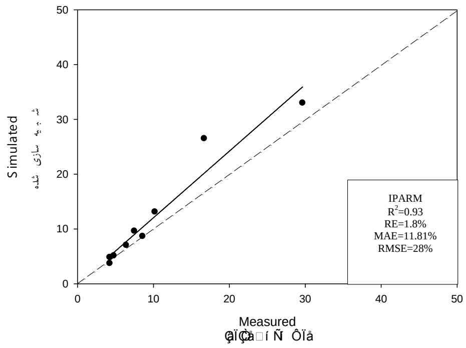
نتایج تخمین حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه با استفاده از روش‌های مختلف تعیین پارامتر نفوذ در شکل ۴ ارائه گردیده است. نتایج حاصل از شکل ۴ نشان داد که حداقل مقدار NRMSE توسط روش دونقطه‌ای الیوت-واکر برآورد گردید (۹/۶ درصد) سپس دیگر روش مستقیم (روش ورودی-خروجی) با میانگین ۱۱/۴ درصد بهترین عملکرد را در تخمین حجم آب نفوذ یافته داشت. بررسی میانگین RE ،MAE و R2 در بررسی روش‌های مستقیم تخمین حجم آب نفوذ یافته، نتایج مشابهی را ارائه نمود. با توجه به MAE ،NRMSE، RE و R2، مدل SIPAR_ID با مقادیر ۱۹، ۱۴/۹۴، ۱۹/۹ و ۸۴ درصد در مقایسه با مدل IPARM از عملکرد بالاتری در تخمین حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه داشت.



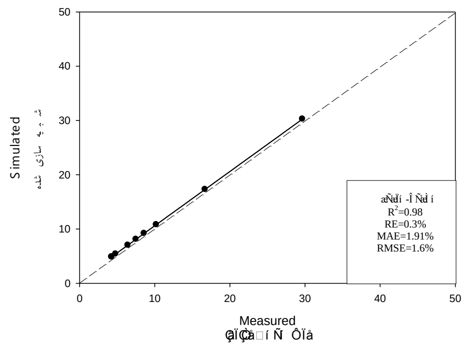
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

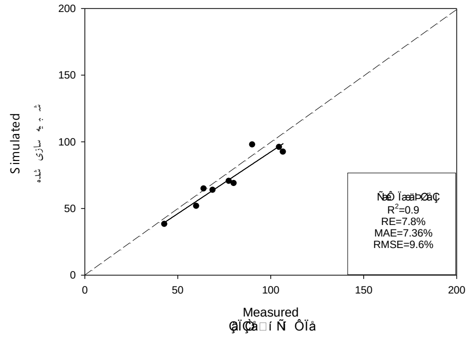
شکل ۳- ارزیابی حجم رواناب (الف: روش دو نقطه‌ای، ب: مدل SIPAR_ID، ج: مدل IPARM، د: روش ورودی-خروجی

Figure 3- Evaluation of Runoff Volume (a: Two Point Method, b: SIPAR_ID Model, c: IPARM Model, d: Inflow-outflow Method)

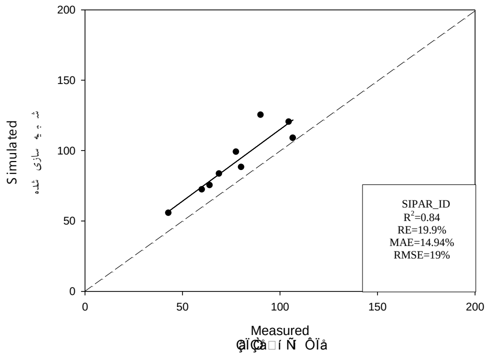
با توجه به این امر کـه روش ورودی-خروجـی و دونقطـه‌ای کـه دارای رابطه نزدیک‌تری با داده‌های مزرعه‌ای می‌باشند و همچنین به دلیل اینکه بـرای تعیـین پارامترهـای نفـوذ از حـل مسـتقیم اسـتفاده می‌نمایند، بنا بـر گـزارش باتیسـتا و همکـاران (۱) دقـت بـالاتری در شبیه‌سازی دارند و نوسانات کمتری در مقایسه با دو مدل کـامپیوتری دارند. نتایج شکل ۴ نشان داد که، پراکنش میان داده ای اندازه‌گیـری شده و شبیه‌سازی شده حجم آب نفوذ یافته در سطح مزرعه نسبت به خط ۱:۱ شدید می‌باشد به گونه‌ای که تعدادی از داده‌های در پـائین و تعدادی در بالای این خط قرار دارند، که ایـن امـر منجـر بـه کـاهش شاخص‌هـای آمـاری از جملـه R2 گردیـد. مشـابه بـا حجـم روانـاب مهمترین عامل تاثیر گذار بر مقـدار حجـم آب نفـوذ یافتـه در سـطح مزرعه شرایط توپوگرافی زمین می‌باشد. این در حالی است که، نتـایج نقشه‌برداری در سطح مزرعه نشان از تفاوت شیب در نیمه دوم زمـین داشت که این امر خود عاملی بـر توزیـع غیریکنواخـت آب در سـطح جویچه بود. از سوی دیگر وجود پیش‌فرض‌هـای ثابـت در مـدل‌هـا و عدم تطبیق با شرایط طبیعی زمین منجر به کاهش دقت شـبیه‌سـازی توسط مدل‌های کامپیوتری مـی‌گـردد. در حالـت کلـی، بـا توجـه بـه شاخص‌های آماری، روش‌های مسـتقیم تخمـین پارامترهـای نفـوذ و حجم آب نفوذ یافته در مقایسه با مدل‌هـای کـامپیوتری، دارای دقـت بالاتری هستند. دقت و عملکـرد پـائین‌تـر در مـدل‌هـای کـامپیوتری مربوط به داده‌هـای ورودی آن‌هـا اسـت. بـه‌صـورت نمونـه در مـدل IPARM به‌منظور تعیین هیدروگراف ورودی از میـانگین آن اسـتفاده گردید. هماننـد نتـایج تحقیقـات پیشـین مـدل‌هـای SIPAR_ID و IPARM توانایی بالایی در تخمین پارامترهای نفوذ داشـتند، هرچنـد که روش‌های مستقیم تخمین پارامتر نفوذ از دقت بـالاتری برخـوردار بودند (۲، ۳، ۶، ۸ و ۱۳).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

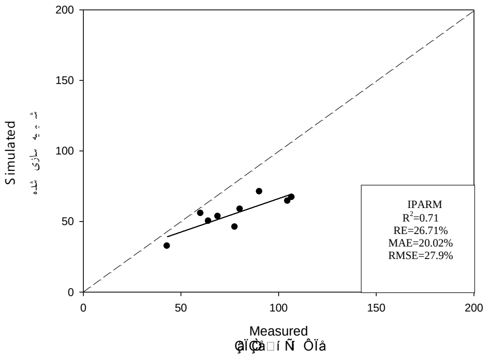
در ایـن تحقیـق، بـه منظـور تخمـین پارامترهـای نفـوذ معادلـه کوستیاکف-لوئیس از دو دسته روش‌های پرکاربرد شـامل روش‌هـای مسـتقیم (دو نقطـه‌ای الیـوت-واکـر و وردی-خروجـی) و مـدل‌هـای کامپیوتری (SIPAR_ID و IPARM) استفاده گردید. ارزیـابی‌هـا در سه نوبت آبیاری و در نه جویچه با سه دبی مختلـف صـورت گرفـت. نتایج نشان داد کـه روش دونقطـه‌ای الیـوت-واکـر و روش ورودی-خروجـی بـا حـداقل میـانگین NRMSE در مقایسـه بـا مـدل‌هـای کامپیوتری عملکرد بسیار خوبی در تخمین پارامترهـای نفـوذ داشـتند. نتایج این تحقیق نشان داد تمامی روش‌های مورد استفاده در تخمـین زمان پیشروی از عملکرد قابل قبولی برخوردار شد، هرچند روش‌هـای مستقیم در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری عملکرد بهتری داشت.



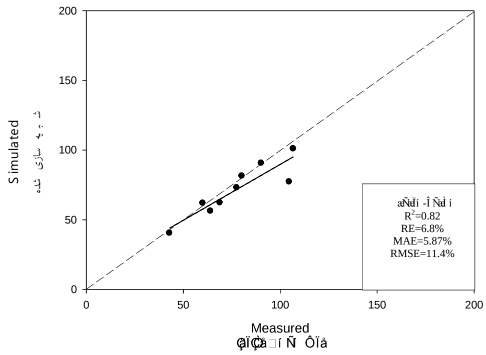
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ٤- ارزیابی حجم آب نفوذ یافته در جویچه (الف: روش دو نقطه ای، ب: روش وردی-خروجی، ج: مدل SIPAR_ID، د: مدلIPARM)

Figure 4- Evaluation of Infiltrated Volume (a: Two Point Method, b: SIPAR_ID Model, c: IPARM Model, d: Inflow-outflow Method)

با توجه به نتایج این تحقیق، روش‌های دو نقطه‌ای الیبوت–واکر و ورودی–خروجی، با میانگین NRMSE برابر با ۹/۶ و ۱۱/۴ درصد در تخمین حجم آب نفوذ یافته و ۸/۸ و ۱/۶ درصد در تخمین حجم رواناب خروجی، در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری از عملکرد بهتری برخوردار بودند. مقایسه نتایج مدل‌های کامپیوتری نشان داد، مدل کامپیوتری IPARM علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی، در تخمین پارامترهای نفوذ از داده‌های سایر مراحل آبیاری نیز استفاده می‌نماید که به همین دلیل در مقایسه با مدل SIPAR_ID در برآورد زمان پیشروی، حجم آب نفوذ یافته و رواناب از عملکرد بهتری برخوردار بود که میانگین شاخص آماری RE مدل IPARM با مقادیر ۱۵/۵، ۲۶/۷ و ۱/۸ درصد در برآورد زمان پیشروی، حجم آب نفوذ یافته و رواناب، نشان از دقت مناسب‌تر این مدل داشت. در حالت کلی، نتایج تمامی روش‌های مورد استفاده نشان از عملکرد مطلوب آنها در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف–لوئیس داشت. این در حالی است که روش‌های مستقیم به دلیل درجه بالاتری از ارتباط با شرایط طبیعی مزرعه ای و استفاده از تمامی مراحل مختلف آبیاری از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار بودند، هرچند که مدل کامپیوتری IPARM نیز به دلیل دقت قابل قبول و کاربردوست بودن از جمله مدل‌های مناسب در تخمین پارامترهای نفوذ می‌باشد. در نهایت به دلیل توپوگرافی نامناسب در مزارع نیشکر و شرایط خاص مزارع آنها توصیه می‌شود به منظور تخمین پارامترهای نفوذ از روش‌های مزرعه‌ای از جمله روش دونقطه‌ای الیوت–واکر استفاده گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله تشکر ویژه خود را از تمامی کارکنان شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی به‌خصوص مهندس صابوری بزرگوار به‌پاس تمامی زحمات و حمایت بی‌دریغشان اعلام می‌دارند.

منابع

1- Bautista E., Clemmens A.J., and Strelkoff T.S. 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR .Agricultural Water Management 96(7): 1146–1154.
2- Ebrahimian H., Liaghat A., GhanbarianAlavijeh B., and Abbasi F. 2010. Evaluation of various quick methods for estimating furrow and border infiltration parameters. Irrigation Science 28: 479-488.
3- Ebrahimian H. 2014. Soil Infiltration Characteristics in Alternate and Conventional Furrow Irrigation using Different Estimation Methods. Korean Society of Civil Engineers 18(6): 1904-1911.
4- Elliot R.L., and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans of the ASAE, 25(2): 396-400.
5- Gillies M.H., and Smith R.J. 2005. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. Irrigation Science 24(1): 25-35.
6- Hanson B.R., Prichard T.L., and Schulbach H. 1993. Estimating furrow infiltration. Agricultural Water Management 24(4): 281–298.
7- Kamali P., Ebrahimian H., and Verdinejad V.R. 2015. Evaluation and comparison of multilevel optimization method and IPARM model to estimate infiltration parameters in furrow irrigation. Journal of Water and Irrigation Management 5(1): 43-54. (In Persian)
8- Kamali P., and Ebrahimian H. 2017. Comparison and evaluation of different methods for inverse estimation of the infiltration equation parameters in vegetated furrows. Journal of Soil and Water Research 48(1): 39-48.
9- Moravejalahkami B., Mostafazadeh-Fard B., Heidarpour M., and Abbasi F.2009. Furrow infiltration and roughness prediction for different furrow inflow hydrographs using a zero-inertia model with a multilevel calibration approach. Biosystems Engineering 103(3): 374–381.
10- Moravejalahkami B., Mostafazadeh-Fard B., Heidarpour M., and Abbasi F. 2012. Comparison of Multilevel Calibration and Volume Balance Method for Estimating Furrow Infiltration. Irrigation and Drainage Engineering 138(8): 781-777.
11- Rezaverdinejad V., Ahmadi H., Hemmati M., and Ebrahimian H. 2016. Evaluation and Comparison of Different Approaches of Infiltration Parameters Estimation under Different Furrow Irrigation Systems and Inflow Regimes. JWSS. 20(76): 161-176.
12- Rodriguez J.A., and Martos J.C. 2010. SIPAR_ID: freeware for surface irrigation parameter identification. Environment Model Software 25: 1487–1488.
13- Sayari S., Rahimpour M., and Zounemat-Kermani M. 2017. Numerical modeling based on a finite element method for simulation of flow in furrow irrigation. Paddy and Water Environment 15(4): 879-887.
14- Walker W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Journal of Irrigation Drainage Engineering 131(2): 129–136.
15- Walker W.R., and Skogerboe G.V. 1987. The theory and practice of surface irrigation. Logan, Utah, Chapter 8, Vol. Balance field design, 81-87.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 379-389

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۳۸۹-۳۷۹

Evaluation of Direct Methods and Computer Models in Estimating the Infiltration Parameters of the Kostiakov-Lewis Equation in Sugarcane Fields

R. Mazarei[1*]- A.A. Naseri[2]- A. Soltani Mohammadi[3]

Received: 10-09-2018
Accepted: 11-06-2019

Introduction: Surface irrigation systems are the oldest and common irrigation method. Surface irrigation is of low cost and energy requirements compared to sprinkler and drip irrigation systems. In general, a main large number of fields' data is needed to show the farm average condition. Infiltration parameters are one of the most important parameters in surface irrigation systems and it has led to increase the irrigation systems efficiency, especially since the characteristics of infiltration vary with time and place. The modified kostiakov-lewis equation is one of the most useful infiltration equations in surface irrigation. In the current study, the infiltration parameters of the modified kostiakov-lewis equation were determined with two sets of usual methods including direct methods such as two-point Elliot and Walker and Input-Output, computer models such as SIPAR_ID and IPARM. Finally, the results were compared with the results of field experiments.

Materials and Methods: The current field was irrigated three times from 14 September to 31 October 2016 at the R 5-22 farm located in Salman Farsi Agro-Industry sugarcane fields with age of Raton 2. To collect the required data, the fields experiments were conducted on nine furrows of 250 m in length, 1.83m in space and 0.04% in slope, which all furrows were irrigated under three events and three inflow (1, 1.5 and 2 l/s), and fields' data were obtained from experimental measurements during summer and autumn2016 at sugarcane fields of Salman Farsi Agro-Industry %. In the current study, the inflow rate and runoff were measured by W.S.C type 1 and 2 and all furrows divided into 10 stations. The advane time and infiltrated depth were measured at each stations. In this study 18 furrows were considered, nine furrows were used for testing and the other furrows had buffer roles. The furrows were irrigated by closed-end method. In this study, three indicators of infiltrated volume in the root zone, advance time and runoff volume were used to evaluate the accuracy of estimation of infiltration parameters. Surface irrigation model: WinSRFR 4.1.3 was used to simulate irrigation phases and infiltration value in each method. In this study, zero inertia model was used for simulation.

Results and Discussion: Results of this study showed that using the direct methods to estimate the infiltration parameters in WinSRFR 4.1.3 software improves the simulation process significantly. The results of the Two- Point and Input-Output method were showed a little difference with the results of the WinSRFR 4.1.3 software in simulation of the closed-end furrow irrigation process with sugarcane cultivated in furrows. The direct methods for infiltration parameters in furrow irrigation showed more accuracy than computer models in advance time , runoff and infiltrated water volumes. According to the results of this study, the Two-Point method in estimation of advance time with mean of RMSE, MAE and RE of 10.52, 14.91 and 10.1%, infiltrated water volume with mean of RMSE, MAE and RE of 9.6, 7.36 and 7.8 and runoff volume with mean of RMSE, MAE and RE of 8.8%, 8.7% and 1.2%, had a very acceptable performance. Also, the RMSE and RE values of other direct method (input-output method) were 11.4% and 6.8% for infiltrated water volume, respectively, and 1.6 and 0.3% for runoff volume, respectively, shows that this method has high accuracy in estimating these two performance indicators although this method with an average of 25.11% and 27.2% was not able to accurately simulate advance time. On the other hand, the results of computer models showed that the IPARM model with the average mean absolute error and relative error was 23.33, 15.5% of the advance time, 20.02 and 26.7% of the infiltrated volume and 11.81% and 1.8% estimated runoff volume, which was better than the SIPAR_ID model. Although computer models had acceptable performance in estimating infiltration parameters, direct methods performed better due to the use of more input data and data from all stages of irrigation. In general results of this study were showed that, if the direct methods for infiltration equations used Instead of the computers models in the designing, simulation and evaluation of the furrow irrigation systems, increased the accuracy of results to significantly and will improve and increase irrigation performance indicators.

Kewwords: Infiltration parameter, Inflow-outflow method, IPARM, SIPAR_ID, Two-point method

---

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor and Associate Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Respectively.
(*- Corresponding Author Email: reza.mazarei1372@gmail.com)

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 391-404

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۰۴-۳۹۱

تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر توزیع رطوبت خاک در باغات پسته در یک خاک لوم شنی (مطالعه موردی: سمنان)

حسین دهقانی سانیج[1*] - حمیدرضا حاجی‌آقا بزرگی[2] - علی‌اصغر قائمی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

چکیده

شناخت تغییرات جبهه رطوبتی خاک یک شاخص مهم در مدیریت و طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات جبهه‌ی رطوبتی خاک برای رژیم‌های مختلف آبیاری در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ پسته، در یک خاک لوم شنی در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان انجام شد. تیمارهای پژوهش شامل سه رژیم آبیاری منطبق بر مدیریت زارع (I_1)، نیاز آبی (I_2) و نیاز آبی و آبشویی (I_3) بود و تغییرات جبهه‌ی رطوبتی در عمق‌های مختلف خاک در زمان قبل و بعد از آبیاری و در مراحل مختلف رشد بررسی شد. در سامانه آبیاری مورد مطالعه افزایش سطوح رژیم آبیاری منجر به افزایش میزان رطوبت در محیط ریشه شد و بیشترین مقدار برابر با ۱۶/۶ درصد در رژیم آبیاری I_3 و در زمان بعد از آبیاری مشاهده شد. در رژیم آبیاری I_1 میزان آب آبیاری به اندازه‌ای بود که حرکت رطوبت به سمت بالای قطره‌چکان‌ها در قبل و بعد از آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که رطوبت در عمق ۷۵ سانتی‌متری خاک نسبت به عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر دارای افزایش معنی‌داری بود که به تجمع بیشتر ریشه‌های مصرف‌کننده آب در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری نسبت داده شد. رژیم آبیاری I_3 و عمق ۷۵ سانتی‌متری با مقدار ۱۹/۳ درصد بیشترین مقدار رطوبت را دارا بود که موجبات نفوذ عمقی را نیز فراهم می‌کند. بالاترین مقدار رطوبت (۲۲/۵ درصد) در رژیم آبیاری I_3 و در عمق ۷۵ سانتی‌متر و بعد از آبیاری و کم‌ترین مقدار رطوبت (۱۰/۵ درصد) در رژیم آبیاری I_1 در عمق ۲۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری نشان داده شد.

واژه‌های کلیدی: جبهه رطوبتی، زمان آبیاری، عمق خاک، قطره‌ای زیرسطحی، نیاز آبشویی

مقدمه

ایجاد رطوبت یکنواخت و کافی در منطقه توسعه ریشه گیاه به منظور تولید محصول خوب یکی از چالش برانگیزترین مسائل مربوط به آبیاری است که در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، با توجه به قرارگیری قطره‌چکان‌ها در زیر سطح خاک، بیشتر مورد توجه می‌باشد. ایجاد رطوبت یکنواخت در خاک در برنامه‌ریزی و مدیریت یک سامانه آبیاری نیز در تحویل مقدار کافی آب به گیاه نقش مهمی دارد. باتوجه به اینکه استفاده از سامانه‌های آبیاری با راندمان پخش آب بالا مثل آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به عنوان یک راهکار برای کاهش تلفات آب توصیه می‌شود، طراحی این نوع سامانه آبیاری باید به‌گونه‌ای انجام گیرد که آب در محیط ریشه به طور یکنواخت و به اندازه کافی توزیع گردد. برای دستیابی به این امر باید از نحوه توزیع آب در خاک در شرایط مزرعه به خوبی اطلاع داشت، چرا که به استفاده از آب در مقادیر مناسب و توزیع آن در زمان و مکان مناسب کمک می‌کند (۱۰). توزیع رطوبتی خاک به عوامل زیادی از جمله بافت خاک، رطوبت اولیه خاک، دبی قطره‌چکان‌ها، فاصله قطره‌چکان‌ها، هدایت هیدرولیکی خاک و حجم آب کاربردی بستگی دارد (۴، ۱۹ و ۲۸). مطالعات زیادی در خصوص بررسی توزیع رطوبتی خاک در محیط آزمایشگاه انجام شده است. در تحقیقی که به منظور اندازه‌گیری توزیع رطوبت و بررسی الگوهای توزیع رطوبت خاک تحت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی در یک خاک شنی گزارش شد که در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، توزیع رطوبت در خاک و یکنواختی آن تا حد زیادی تحت تأثیر فاصله بین قطره‌چکان‌ها و لترال‌ها قرار داشت و توزیع رطوبت خاک تحت استفاده از فاصله قطره‌چکان ۳۰ سانتی متر بهتر از ۵۰ سانتی‌متر

۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir)
۲ و ۳- کارشناس ارشد آبیاری زهکشی و دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v0i0.78773

نتیجه داد، اما در سیستم قطره‌ای زیرسطحی، نصب قطره‌چکان‌ها برای بسیاری از محصولات و سبزیجات، در عمق ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک و با فاصله قطره‌چکان‌های ۳۰ سانتی‌متر، محل فعالیت منطقه ریشه می‌باشد که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب بویژه در خاک های شنی می‌شود (۴). در تحقیق دیگری نیز که به منظور بررسی دینامیک و مدل‌سازی توزیع رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شد مشابه با تحقیق پیشین مشاهده شد که در اعماق نصب قطره‌چکان ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک بیش‌ترین مقدار رطوبت قابل استفاده برای گیاه تجمع یافته بود (۲۲). در پژوهش‌های دیگری که براساس بررسی الگوی مناسب توزیع رطوبت خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شده بود نیز، عمق کارگزاری ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای قطره‌چکان‌ها را برای خاک‌های شنی و دیگر خاک‌ها پیشنهاد کردند (۵ و ۲۹). مطالعاتی که در زمینه بررسی توزیع رطوبت خاک در شرایط میدانی انجام شده است دامنه موضوعات مورد بررسی را فراتر برده است و علاوه بر فاکتورهای هیدرولیکی و بافت خاک، تأثیر پارامترهای زیادی را از جمله رژیم‌های مختلف آبیاری، سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان توزیع رطوبت خاک مورد بررسی قرار داده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق دهقانی‌سانیج و همکاران (۹) اشاره کرد که حداکثر توزیع رطوبت حجمی در یک خاک شنی تحت سه رژیم آبیاری (ET_c، ET_c ۱/۲ و ET_c ۱/۴) در فاصله شعاعی ۱۰ سانتی‌متری از قطره‌چکان‌ها و در عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک در رژیم آبیاری ET_c ۱/۴ مشاهده شد و همچنین شروع آبیاری در قبل از ظهر بسته به رشد گیاه به منظور هماهنگ شدن حداکثر میزان رطوبت با حداکثر تبخیر و تعرق پیشنهاد شد. تحقیقات دیگری نیز گزارش کردند که الگوی توزیع رطوبت خاک تحت تاثیر بافت خاک قرار دارد و در شرایطی که قطره‌چکانها در عمق ۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک نصب شده باشند، در خاک لومی و رسی بعد از مدت زمان ۸ ساعت و ۴۵ دقیقه توزیع رطوبت در سطح خاک ظاهر می‌گردد ولی در این مدت زمان در خاک‌های لوم‌شنی و شنی رطوبت در سطح خاک مشاهده نشد و به زمان بیشتری نیاز دارد (۶). در راستای همین تحقیقات نیز مشاهده شد اگرچه توزیع بهتر و بیشتر جبهه رطوبتی خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی، اغلب وابسته به برخی از درصدهای ترکیب بافت خاک (از جمله: درصد شن و ماسه، سیلت و رس) است اما مرطوب شدن خاک‌های لایه‌ای می‌تواند بسیار متفاوت با خاک های با بافت یکنواخت باشد (۸ و ۲۹). توزیع جبهه رطوبتی خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط مزرعه و برای زراعت‌های مختلف ردیفی نیز بطور محدودتری بررسی شده است (۱۸). تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، پروفیل رطوبتی بزرگتری در یک خاک لوم‌شنی در عمق ۳۵ سانتی‌متری نسبت به عمق‌های ۵ و ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک مشاهده شد و در نتیجه آن، تولید بیشتر محصول ذرت گزارش شد (۱۱). همچنین در تحقیق دیگری نیز که به بررسی توزیع رطوبت خاک تحت تاثیر مدیریت آبیاری پرداخته شد بیانگر کاهش میزان رطوبت خاک در لایه¬های سطحی خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی در ماه¬های تابستان در باغ مرکبات در منطقه راجستان هند بود (۷). میزان آبدهی قطره‌چکان‌ها نیز بر الگوی توزیع رطوبت خاک تاثیرگزار بود و تحقیقات نشان داد که با افزایش آبدهی قطره چکان¬ها در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، توزیع رطوبت خاک به صورت افقی نسبت به عمودی بیشتر است (۲۰ ، ۲۱ و ۲۳). محققان همچنین الگوی توزیع رطوبتی را با فواصل مختلف قطره‌چکان‌ها مورد بررسی قرار دادند و یافته‌های آن‌ها نشان داد که مقدار تجمع رطوبت خاک در فاصله‌های کمتر قطره‌چکان‌ها بیشتر است و این نتایج در جهت افزایش جبهه رطوبتی خاک در منطقه ریشه و بهبود رطوبت خاک و بهره‌وری میزان آب کاربردی پیشنهاد شده است (۲۷). زمان در توزیع الگوی رطوبتی خاک نیز نقش مهمی دارد و در تحقیقی که به منظور بررسی توزیع رطوبت خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته انجام شد این عامل اثر خود را نشان داد و بیش‌ترین مقدار رطوبت در زمان بعد از آبیاری در اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار و در محل نصب قطره‌چکان‌ها مشاهده شد و همچنین میزان رطوبت در زیر قطره‌چکان‌ها بیش‌تر از میزان رطوبت در بالای قطره‌چکان‌ها بود (۲۵). تحقیقات دیگری نیز مبنی بر متاثر بودن دور آبیاری و پوشش مالچ بر توزیع املاح و رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های پسته گزارش شد. تاثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داد که دور آبیاری کوتاه‌تر در مقایسه با دور آبیاری طولانی‌تر باعث ذخیره رطوبتی بیشتر و تجمع کمتر نمک در منطقه توسعه ریشه می‌شود (۲۴). در تحقیق دیگری مشابه با تحقیق قبلی گزارش شد استفاده از مالچ پلاستیکی در سامانه های آبیاری قطره‌ای درختان پسته علاوه بر افزایش قابل توجه تولید پسته و دو برابر شدن بهره‌وری آب، رطوبت خاک در محدوده ریشه درختان به طور معنی‌داری افزایش و تنش شوری و خشکی نیز کاهش می‌یابد (۲۶). نتایج حاصل از تحقیقات بیانگر آن است که اگرچه سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند آب را در محیط ریشه در اختیار گیاهان قرار دهد، لیکن شاخص‌های طراحی و تصمیم‌ها و توانمند-های مدیریتی نقش مهمی در توزیع رطوبت در خاک و تامین نیاز رطوبتی موردنیاز دارند. سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشور بیشتر در باغات پسته مورد تایید و توسعه یافته است. لیکن بازدیدها و بررسی‌ها حاکی از آن است که مسایل مدیریت آبیاری در باغات پسته چندان توسعه نیافته و بیشتر متکی بر تجربه بهره‌برداران و شرایط مزرعه از نظر منبع آب و شوری آب و خاک می‌باشد. لذا مطالعات مزرعه‌ای و در شرایط بهره‌برداری برای ارتقاء شاخص‌های طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته ضرورت دارد. در

این پژوهش برای ارتقای شاخص‌های مدیریت آبیاری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته، تغییرات جبهه‌ی رطوبتی در عمق‌های مختلف خاک و در بین دو لترال یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و در طول فصل کشت مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۲ –۱۳۹۱ در باغ پسته در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان انجام شد. این باغ حدود ۱۰۰ هکتار وسعت داشت که قسمتی از آن با درختان مسن و مابقی با نهال‌های جوان پوشیده شده بود و مجهز به سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ایستگاه هواشناسی بود. تحقیق حاضر در مساحتی حدود ۲ هکتار از این باغ که دارای درختان پسته با سن تقریبی ۱۰ سال بود انجام گرفت. این قطعه به سه قسمت تقسیم شد و سه تیمار مدیریت آبیاری در آن‌ها اعمال شد. فاصله درختان بر روی ردیف ۳ متر و بین ردیف ۷ متر بود. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به مدت ۳ سال در باغ اجرا شده بود و مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، با توجه به عمق نصب لوله‌های قطره‌چکان‌دار و محدوده توسعه ریشه در باغات پسته (۱۵)، نمونه‌گیری از اعماق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و ۷۵-۵۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. برخی مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Physicochemical properties of the studied soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	جرم مخصوص ظاهری خاک Bd (gr /cm^3)	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی FC (%)	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم PW (%)
0-25	لوم شنی Sandy loam	6	81	13	1.62	11.85	4.39
25-50	لوم شنی Sandy loam	4	77	19	1.56	11.97	5.12
50-75	لوم شنی Sandy loam	4	81	15	1.55	12.88	5.52

آب آبیاری باغ از طریق دو حلقه چاه تأمین می‌شد که آبدهی هر یک حدود ۶-۵ لیتر بر ثانیه بود. آب این چاه‌ها در استخر با گنجایش ذخیره حدود ۱۶۰۰-۱۵۰۰ مترمکعب جمع‌آوری و توسط پمپ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مستقر در باغ پمپاژ می‌شد. سیستم پمپاژ مجهز به سیستم فیلتراسیون از نوع اسکن فیلتر بود. نمونه‌برداری‌هایی از دو حلقه چاه نیز جهت تعیین خصوصیات شیمیایی آن به لحاظ بررسی کل املاح محلول در آب TDS، EC، PH، کلسیم، سدیم، منیزیم انجام گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و کیفی آب آبیاری

Table 2- Chemical and qualitative properties of the irrigation water

چاه Well	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^{+}	پتاسیم K^{+}	کربنات CO_3^{-2}	کلر Cl^{-}	کربنات هیدروژن Hco_3	سولفات SO_4^{-2}	نسبت جذب سدیم SAR	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	مواد جامد محلول در آب TDS	شاخص اشباع لانژیلر LSI
					Meq / l						ds / m	Mg / l	
1	27.2	17.9	42.2	0.62	-	49	2.25	35.8	8.88	7.16	7.95	5070	0.36
2	26.3	16.8	24.1	0.51	-	27.5	2.65	37.05	5.2	7.17	6.10	3890	0.43

بر طبق نمونه‌برداری‌های برداشت شده برای هرکدام از چاه‌های ۱ و ۲ مقدار pH به ترتیب برابر ۷/۱۶ و ۷/۱۷ و مقدار EC برابر ۷/۹۵ و ۶/۱۰ دسی‌زیمنس‌بر متر به‌دست آمد. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ تجهیز شده به قطره‌چکان‌های ساخت شرکت یورودریپ (PC2) داخل خط (inline) به فاصله ۸۰ سانتی‌متر و با آبدهی ۲/۲۶ لیتر در ساعت بود که در عمق ۴۰ سانتی‌متری نصب

گردیده بود.

آبیاری باغ مورد مطالعه، از ابتدای فروردین سال ۹۲ به روش متداول در مزرعه انجام شد ولی از ۹۲/۲/۲۵ لغایت ۹۲/۷/۳۰ در جهت رسیدن به اهداف تحقیق سه رژیم آبیاری در قطعه آزمایشی اعمال گردید که به شرح زیر می‌باشند:

رژیم آبیاری I_1 – دراین رژیم، آبیاری طبق مدیریت زارع صورت گرفت و حجم آب داده شده، زمان آبیاری و دور آبیاری آن ثبت گردید.

رژیم آبیاریI_2 – در این رژیم، از داده‌های بهنگام هواشناسی مزرعه (داده های روزانه) برای محاسبه تبخیروتعرق (روش پنمن – مانتیث اصلاح شده و پیشنهادی فائو (PMF-56)) استفاده شد و نیاز آبیاری محاسبه شد. دور آبیاری قطعه آزمایش همان دور آبیاری تیمار I_1 بود و تنها ساعت آبیاری با توجه به تغییر میزان آب آبیاری تغییر کرد.

رژیم آبیاری I_3 — برابر با مجموع نیاز آبیاری (I_2) و آب آبشویی بود ($LR+I_2$).

برای محاسبه حجم آب مصرفی در رژیم دوم آبیاری، تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o) با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی و با روش پنمن- مانتیث اصلاح شده و پیشنهادی فائو (PM) تعیین گردید (۱)، سپس با استفاده از ضریب گیاهی (K_c) برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان، تبخیروتعرق گیاه مطابق رابطه (۱) بدست آمد:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (۱)$$

در این رابطه ET_c: تبخیر و تعرق روزانه گیاه (mm/day)، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/ day)، K_c: ضریب گیاهی روزانه برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان، که در این مطالعه از مقادیر K_c پیشنهادی پسته برای سمنان توسط فرشی و همکاران (۱۲) استفاده گردید که این مقادیر برای مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب به صورت ۰/۴، ۰/۶–۰/۴، ۰/۶و ۰/۶–۰/۴۵ می‌باشد.

عمق خالص آب آبیاری (d_n) براساس ET_c و با احتساب سطح سایه‌انداز درختان (براساس شرایط مزرعه ۴۳ درصد تعیین گردید) و دور آبیاری (یک روز درمیان) محاسبه شد (۱۷). عمق ناخالص آبیاری (dg) بر حسب (mm) از رابطه‌ی (۲) به دست آمد:

$$dg = \frac{dn}{Ea} \quad (۲)$$

در این رابطه Ea: راندمان آبیاری مورد انتظار در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی۹۰ درصد فرض و در محاسبه عمق ناخالص آبیاری اعمال شد. به منظور اطمینان از یکنواختی پخش آب در مزرعه از شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و یکنواختی پخش آب در مزرعه (DU) استفاده شد (معادله ۳ و ۴). اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه CU و DU در تاریخ ۱۰ خرداد در مزرعه اندازه‌گیری و با استفاده از معادلات ۳ و ۴ مقدار آنها به ترتیب ۹۶/۷ و ۹۵/۱ درصد بدست آمد که عالی درجه‌بندی می‌شود (۱۳):

$$CU = 100 \times \left(1 - \frac{\sum|Q_i - Q_{ave}|}{\sum Q_i}\right) \quad (۳)$$

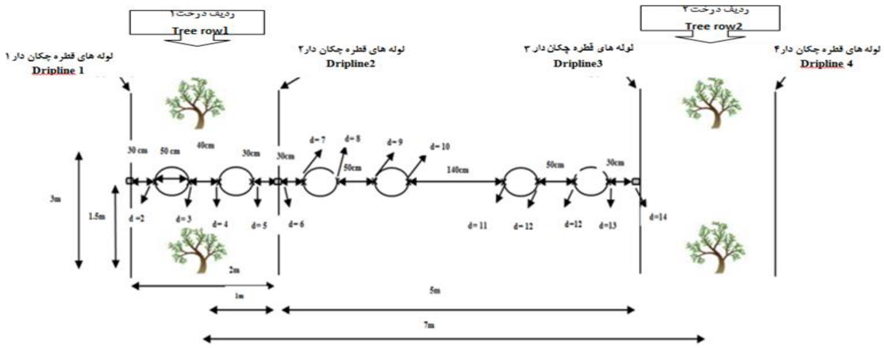
$$DU = (1.6\, CU - 60) \quad (۴)$$

برای کلیه تیمارها کنتور حجمی نصب شده بود. برای تیمار ۲ و۳ میزان آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال گردید. برای کلیه تیمارها کنتور حجمی نصب شده بود. برای تیمار ۲ و۳ میزان آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال گردید. حجم کل مقدار آب آبیاری در تیمارهای رژیم آبیاری I_1، I_2 و I_3 به ترتیب برابر ۶۲۵۴/۲۹، ۹۲۹۰/۷۹ و۱۰۶۸۲/۲۴ متر مکعب در هکتار بوده است که مقدار ۲۲۵ و ۱۳۹۳ مترمکعب در هکتار آن آب آبشویی در تیمار I_1 و I_3 بوده است.

بر اساس استاندارد فائو ۲۹ (۳) سطح تحمل درختان پسته به شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب برابر با ۱/۱ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. لذا با توجه به کیفیت آب آبیاری، اعمال آبشویی بر اساس سطح تحمل شوری درختان پسته ممکن نبود. بر همین اساس و با توجه به شرایط منبع آب در مزرعه، ۱۵ درصد به عنوان آبشویی اعمال گردید

اندازه‌گیری رطوبت

هدف از آبیاری و بخصوص آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، توزیع مناسب‌تر رطوبت در خاک و محیط ریشه در طول فصل آبیاری است. به منظور پایش تغییرات جبهه رطوبتی در خاک، میزان رطوبت خاک در قبل و بعد از آبیاری در دوره‌های رشدگیاه به ترتیب شامل دوره اولیه رشد (Initial)، توسعه و پیشرفت (Development)، فصل میانی (Mid season)، فصل نهایی: (Late season) با نمونه‌گیری وزنی وزنی قبل و بعد از آبیاری به ترتیب بین دو لوله قطره‌چکان‌دار مربوط به ردیف درختان (با حفر دو چاله به قطر ۵۰ سانتی‌متر در ردیف درختان (ردیف درخت ۱) بین دو لوله قطره‌چکان‌دار ۱ و ۲ در وسط دو درخت به فاصله ۱/۵ متری از تنه درخت) و به فاصله ۳۰ سانتی‌متری از هر لوله قطره‌چکان‌دار)، روی لوله‌های قطره‌چکان‌دار (در روی لوله‌های قطره‌چکان‌دار شماره ۱ و ۲ و ۳، در فاصله ۱/۵ متری از تنه درخت (به سمت درخت بعدی روی همان ردیف درخت) در اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری و خارج از لوله‌های قطره‌چکان‌دار (با حفر دو چاله به قطر ۵۰ سانتی‌متر، به فاصله ۳۰ سانتی‌متری خارج از لوله‌های قطره‌چکان‌دار ۲ و ۳ (به سمت ردیف کناری درختان) و در راستای وسط دو تنه درخت برداشت شد (شکل ۱).



شکل ۱- الگوی محل نمونه‌گیری‌ها

Figure 1- Pattern of sampling locations

○: چاله نمونه‌گیری حفر شده توسط مته تراکتور به قطر ۵۰ سانتی‌متر

×= محل نمونه‌گیری‌های دستی در اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر از سطح خاک

نتایج و بحث

عمق ناخالص آب آبیاری (d_g)، تعرق گیاه (T_d) و حجم آب مصرفی (G_i)

میزان عمق ناخالص آب آبیاری (dg) با دور آبیاری یک روز در میان (F) و همچنین میزان نیاز آبی گیاه پسته (T_d) برای هر سه رژیم آبیاری در شکل ۲ ارایه شده است. بر اساس تبخیر و تعرق برآورد شده برای درختان پسته، درخت‌های تحت رژیم آبیاری I_1 شاهد کم‌آبیاری در تمامی دوره‌های رشد گیاه بودند. به عبارتی کل درختان باغ به‌طوریکسان شاهد مدیریت کم آبیاری ناآگاهانه توسط کشاورز بودند. در رژیم آبیاری I_1 در تاریخ‌های ۹ تیر، ۴ مرداد و ۵ شهریور ماه به ترتیب برابر با ۱۰۱، ۱۲۷ و ۱۵۹ روز بعد از اولین آبیاری، آبشویی‌های با عمق‌های ۷/۲، ۷/۲ و ۸/۱ میلی‌متر اعمال شد. آبشویی‌ها بدین‌صورت اعمال گردید که از یک نوبت آبیاری قبل از موعد این آبشویی‌ها صرف‌نظر شده و در موعد آبشویی حجم آب وارد شده به خاک در حدود ۲ برابر افزایش یافته است. در رژیم آبیاری I_2 در تمامی رویدادهای آبیاری عمق آب آبیاری از مجموع میزان تعرق گیاه در دو روز قبل از موعد آبیاری کمی بیشتر دیده می‌شود که این اختلاف کم به خاطر اعمال کردن مقدار یکنواختی توزیع آب (Eu) می‌باشد. در رژیم آبیاری I_3 به علت اعمال ضریب آبشویی ۱۵ درصد، در تمامی موارد میزان عمق ناخالص آب آبیاری (d_g) مربوط به هر موعد آبیاری، از میزان عمق ناخالص آب آبیاری اعمال شده در رژیم آبیاری I_2، ۱۵ درصد بیشتر است.

بررسی روند تغییرات پروفیل رطوبتی

پیشروی جبهه‌ی رطوبتی قبل و بعد از آبیاری

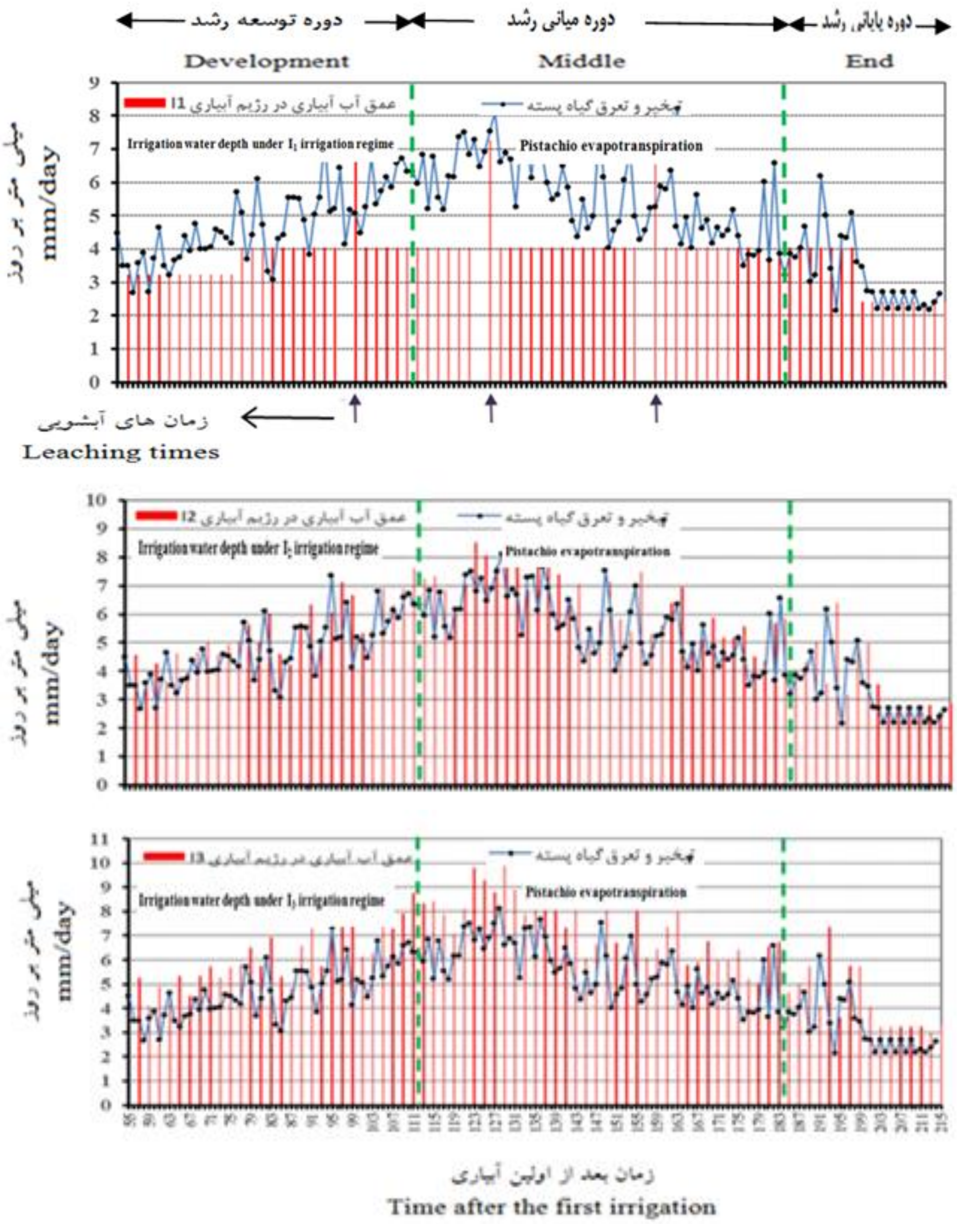
به‌منظور نشان دادن تغییرات رطوبتی قبل و بعد از آبیاری در سه رژیم آبیاری مورد آزمایش در دوره‌های توسعه، میانی و مرحله پایانی دوره رشد پسته، تغییرات رطوبتی درحد فاصل بین لوله قطره‌چکان‌دار ۱و ۲ برای هر یک از روزهای این دوره‌ها رسم گردیده است. محور افقی نماینده فاصله از تنه درخت سمت چپ (با توجه به شکل ۱) (درواقع نقطه صفر تنه درخت می‌باشد) و محور عمودی بیانگر عمق خاک می‌باشد و دایره‌های تعبیه شده در عمق ۴۰ سانتی‌متری بیانگر محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها است. به عنوان نمونه برای بررسی پیشروی رطوبت و چگونگی توزیع آب قبل و بعد از آبیاری در دوره توسعه رشد، روز ۵ و ۶ تیر (۹۷ و ۹۸ روز پس از اولین آبیاری) ارائه شده است. همانطور که در اشکال ۳ و ۴ مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار رطوبت، بعد از آبیاری اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار در محل نصب قطره‌چکان‌ها می‌باشد و میزان رطوبت در زیر قطره‌چکان‌ها بیش‌تر از میزان رطوبت در بالای قطره‌چکان‌ها است که با نتایج سیاری و همکاران (۲۵) و خلیلی و همکاران (۱۶) منطبق می‌باشد.

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که از بین سه رژیم مورد آزمایش، بیش‌ترین میزان رطوبت موجود در خاک متعلق به رژیم I_2 و I_3 بوده است که تقریباً مشابه هم هستند و از طرفی با توجه به اینکه میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی در خاک مورد مطالعه مطابق جدول ۱ حدوداً ۱۲ درصد حجمی می‌باشد لذا در رژیم I_1 شاهد کم‌آبیاری هستیم چراکه حتی ۲۴ ساعت بعد از آبیاری میزان رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی نرسیده است (شکل ۴).

مقدار رطوبت در اطرف محل کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان‌دار بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. همچنین میزان رطوبت در زیر عمق کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان‌دار نسبت به بالای این عمق دارای مقدار بیشتر رطوبت بود، که سایر پژوهش‌ها نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند (۲ و ۲۵).

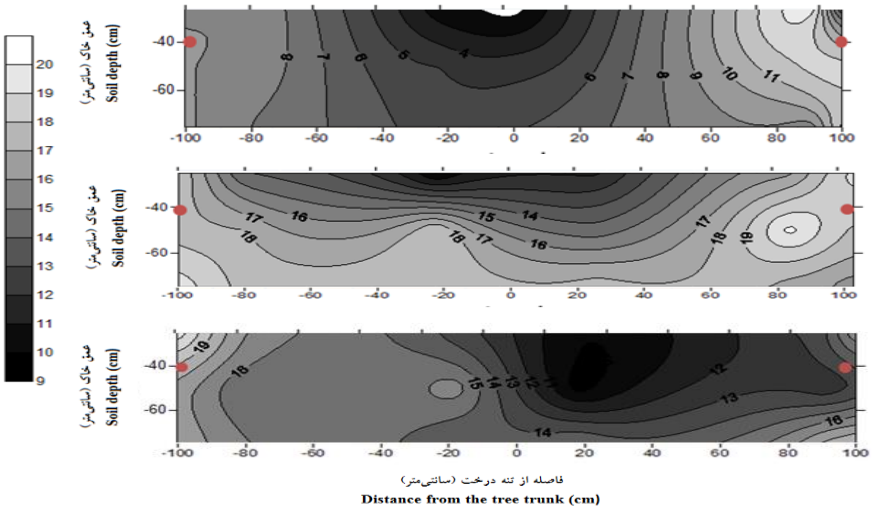
فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار

باتوجه به نتایج پروفیل رطوبتی حد فاصل لوله‌های قطره‌چکان‌دار نصب شده در مزرعه محل آزمایش به دلیل تشکیل پروفیل رطوبتی پیوسته در بین لوله‌های قطره‌چکان‌دار مجاور هم (لوله‌های قطره‌چکان‌دار ۱ و ۲ که فاصله آن‌ها از یکدیگر ۲ متر می‌باشد) در شرایط تأمین نیاز ناخالص، فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار برای این مزرعه مناسب تشخیص داده شد. بررسی نتایج ارائه شده در شکل‌های ۳ و ۴ نشان‌دهنده آن است که برای رژیم آبیاری اول پروفیل رطوبتی پیوسته‌ی مناسبی تشکیل نشده است. دلیل آن نامناسب بودن فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار مجاور هم از یکدیگر نبوده و نشان از کم بودن حجم آب وارد شده به مزرعه در دوره توسعه رشد تشخیص داده شد.



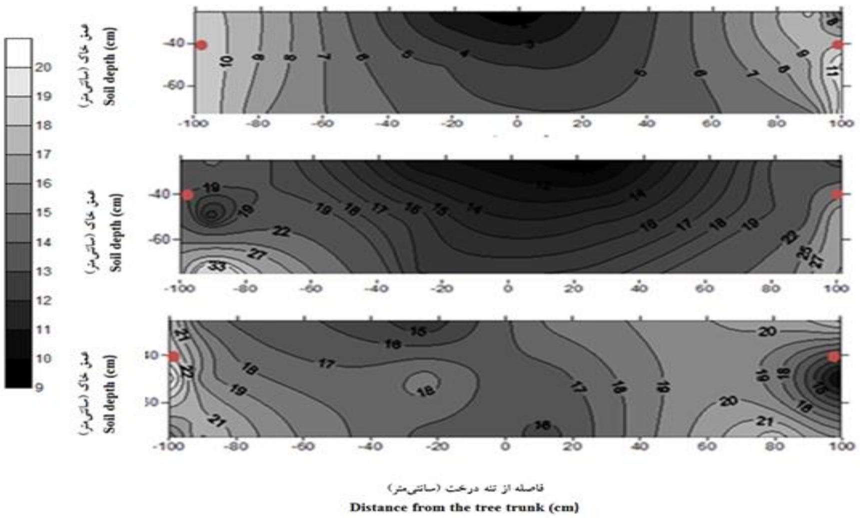
شکل ۲- میزان عمق ناخالص آب آبیاری برای دور آبیاری یک روز در میان و میزان تبخیر و تعرق روزانه گیاه پسته در سه رژیم آبیاری I_1 و I_2 و I_3

Figure 2- Gross depth of irrigation water for one day in between irrigation interval and daily evapotranspiration rate of pistachio in three irrigation regimes I_1, I_2 and I_3



شکل ۳- توزیع درصد رطوبت قبل از آبیاری ۵ تیر ماه (۹۷ روز پس از اولین آبیاری) در سه رژیم آبیاری I_1 و I_2 و I_3

Figure 3- Distribution of moisture content after irrigation, July 5th (97 days after first irrigation), in three irrigation regimes I_1, I_2 and I_3



شکل ٤- توزیع درصد رطوبت بعد از آبیاری، ٦ تیر ماه (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) در سه رژیم آبیاری I_1 و I_2 و I_3

Figure 4- Distribution of moisture content after irrigation, July 6th (98 days after first irrigation), in three irrigation regimes I_1, I_2 and I_3

بررسی اثر مستقل و متقابل رژیم‌های آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان رطوبت

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای طرح بر میزان رطوبت نشان داد که اختلافات بین عمق خاک ، رژیم آبیاری قبل و بعد آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت در سطح ۱ درصد گذاشت (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل دوطرفه رژیم آبیاری در قبل و بعد آبیاری بر میزان رطوبت در سطح ۱درصد معنی‌دار بوده است، اثر متقابل دوطرفه عمق خاک در قبل و بعد از آبیاری نیز در سطح ۱ درصد بر میزان رطوبت اختلاف معنی‌دار گذاشت. همچنین اثر متقابل سه‌طرفه عمق خاک ، رژیم آبیاری و قبل و بعد از آبیاری بر میزان رطوبت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس میزان رطوبت خاک بر پایه اطلاعات سه زمان نمونه‌گیری (۹۷-۹۸ روز بعد از اولین آبیاری، ۱۵۱-۱۵۲ روز بعد از اولین آبیاری و ۲۰۷-۲۰۸ روز بعد از اولین آبیاری)

Table 3- Variance analysis of soil moisture ratio based on three time of sampling (97-98 days after the first irrigation (Developement), 151-152 days after the first irrigation (middle) and 207-208 days after the first irrigation (Later)

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی df	رطوبت Moisture (%)
تکرار Rep	2	1.020^{**}
زمان (قبل-بعد از آبیاری) Time (before and after irrigation)	1	160.797^{**}
خطا Error	2	0.174
رژیم آبیاری Regime irrigation	2	76.248^{**}
عمق خاک Soil depth	2	53.268^{**}
عمق خاک* رژیم آبیاری Regime irrigation* Soil depth	2	4.376^{**}
رژیم آبیاری*زمان (قبل-بعد از آبیاری) Regime irrigation* Time (before and after irrigation)	2	22.472^{**}
عمق خاک * زمان (قبل-بعد از آبیاری) Soil depth* Time (before and after irrigation)	4	4.460^{**}
عمق خاک *رژیم آبیاری* زمان (قبل-بعد از آبیاری) Soil depth * Regime irrigation* Time (before and after irrigation(	8	2.065^{**}
خطا Error	28	0.279
ضریب تغییرات CV٪		9.5

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح ۵٪ و ns غیر معنی‌دار

**Significant level 1%,* Significant level 5%, ns: Non-significant

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان رطوبت بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری دارای افزایش معنی‌داری بوده است و تیمار زمان بعد از آبیاری با اختصاص مقدار ۱۶/۳ درصد در رده‌بندی دانکن در گروه آماری a قرار گرفت (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار رطوبت در زمان بعد از آبیاری و در اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار و در محل نصب قطره‌چکان‌ها نیز توسط دیگر محققات نیز گزارش شده است (۲۵). همچنین با افزایش سطوح رژیم آبیاری میزان رطوبت به طور معنی‌داری افزایش یافته است و رژیم آبیاری I_3 با داشتن بیشترین مقدار برابر با ۱۶/۶ درصد بالاترین رتبه را به خود اختصاص داد. با توجه به مقایسه میانگین‌های اثر مستقل عمق خاک بر میزان رطوبت نیز مشاهده شد که بین عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر از نظر میزان رطوبت تفاوت معنی‌داری به وجود نیامده است، اما عمق ۷۵ سانتی‌متر نسبت به این اعماق دارای افزایش معنی‌داری بوده است که می‌تواند به علت آن الگوی توزیع ریشه درختان پسته و مصرف آب در زیر سطح خاک باشد. میزان آب آبیاری در هر نوبت به زیر ۵۰ سانتی‌متری حرکت کرده و در آنجا نیز بطور کامل جذب نشده است (جدول ۳). این یافته اهمیت مدیریت آبیاری برای توجه به توزیع آب در محیط ریشه را مورد تاکید قرار می‌دهد. کاهش میزان رطوبت خاک در لایه‌های سطحی خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی در باغ مرکبات در منطقه راجستان هند نیز گزارش شده است (۷).

به‌طور کلی نتایج مقایسه میانگین اثر مستقل تیمارها بر میزان رطوبت نشان داد که در طول دوره نمونه‌گیری میزان رطوبت بعد از آبیاری بیش‌تر از میزان رطوبت قبل از آبیاری بوده است و از بین رژیم‌های آبیاری بیش‌ترین میزان رطوبت به رژیم آبیاری I_3 و کم‌ترین میزان رطوبت متعلق به رژیم I_1 و در عمق ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک می‌باشد. بررسی اثرات متقابل دوطرفه رژیم‌های آبیاری و عمق خاک بر میزان رطوبت نیز نشان داد که در سطح رژیم آبیاری I_1 بین عمق‌های خاک ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر و همچنین ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر از لحاظ میزان رطوبت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر نسبت به عمق خاک ۲۵ سانتی‌متر افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر مستقل زمان(قبل وبعد از آبیاری)، رژیم آبیاری و عمق خاک بر میزان رطوبت

Table 4- Averages comparison of independent effects of time (before and after irrigation), irrigation regime and soil depth on moisture

	تیمارها Treatments							
	زمان Time		رژیم آبیاری Irrigation regime			عمق خاک Soil depth		
صفت مورد بررسی Characteristic examined	قبل آبیاری Before irrigation	بعد آبیاری After irrigation	I_1	I_2	I_3	25	50	75
رطوبت Moisture (%)	12.9^{a}	16.3^{b}	12.5^{c}	14.7^{b}	16.6^{a}	13.3^{b}	13.9^{b}	16.6^{a}

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level.

در رژیم آبیاری I_2 و I_3 بین اعماق خاک ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر از لحاظ میزان رطوبت اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است، اما عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر نسبت به اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر میزان رطوبت را به طور معنی‌داری افزایش داده است. بر طبق نتایج مقایسه میانگین می‌توان گفت که رژیم آبیاری I_3 و عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر با مقدار ۱۹/۳ درصد در رده‌بندی دانکن بالاترین رتبه را به خود اختصاص داد که نسبت به سایر ترکیبات رژیمی دارای افزایش معنی‌داری بوده است. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در زمان آبیاری نیز نشان داد که در رژیم آبیاری I_1 تفاوت معنی‌داری بین قبل و بعد از آبیاری از لحاظ میزان رطوبت وجود ندارد، اما در سطوح رژیم آبیاری I_2 و I_3 میزان رطوبت بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری به صورت معنی‌داری افزایش یافته است و همچنین بالاترین میزان رطوبت در رژیم آبیاری I_3 با مقدار ۱۹/۵ درصد و بعد از آبیاری مشاهده شده است. اثرات متقابل عمق خاک و زمان آبیاری نیز نشان داد که میزان رطوبت بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری در تمامی سطوح اعماق خاک مورد بررسی افزایش معنی‌داری داشته است، که بالاترین میزان رطوبت به عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر با مقدار ۱۸/۸ درصد و بعد از آبیاری اختصاص داشته است که نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌دار بوده است (جدول ۵).

در جدول ۶ اثر متقابل سه‌طرفه رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر سه رژیم آبیاری میزان رطوبت بعد از آبیاری در تمامی عمق‌های خاک بیش‌تر از مقدار رطوبت قبل از آبیاری است، به جز عمق ۲۵ سانتی‌متر در رژیم I_1 که در آن اختلاف معنی‌داری بین قبل و بعد آبیاری مشاهده نشده است. این نتیجه حاکی از آن است که در رژیم آبیاری I_1 میزان آب آبیاری به اندازه‌ای است که حرکت رطوبت به سمت بالای محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها زیاد نمی‌باشد تا اختلاف معنی‌داری در قبل و بعد از آبیاری ایجاد کند. بیش‌ترین مقدار رطوبت متعلق به رژیم I_3 در عمق ۷۵ سانتی‌متر و بعد از آبیاری و کم‌ترین مربوط به رژیم I_1 در عمق ۲۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری می‌باشد. با توجه به ظرفیت زراعی خاک محل آزمایش نیز مشاهده می‌شود که رطوبت تحت رژیم I_1 در عمق ۲۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری کمتر از رطوبت در حد ظرفیت زراعی می‌باشد و حاکی از تشکیل پروفیل پیوسته رطوبتی با رطوبت پایین در رژیم آبیاری I_1 در نتیجه کم‌آبیاری در این دوره می‌باشد و رطوبت بیشتر از حد ظرفیت زراعی تحت رژیم I_3 در عمق ۷۵ سانتی‌متر و بعد از آبیاری نشان داد که میزان رطوبت در محیط ریشه بطور متوسط در حد مناسبی بود. همچنین نتایج نشان داد که میزان رطوبت قبل و بعد از آبیاری در رژیم I_3 نسبت به دو رژیم دیگر بیش‌تر دست‌خوش تغییر شده است. نتایج حاکی از آن است که رژیم آبیاری I_3 بیش از نیاز ناخالص آب به خاک وارد می‌کند که با نفوذ به عمق ۷۵ سانتی‌متری موجبات نفوذ عمقی را فراهم می‌کند.

توانایی رژیم‌های آبیاری در تأمین رطوبت کافی در مراحل رشد پسته

با توجه به اینکه حساس‌ترین دوره رشد پسته دوره توسعه می‌باشد و آب کافی در این دوره بر کیفیت و کمیت محصول، تأثیر بسزایی دارد (۱۴). لذا بررسی شرایط رطوبتی در دوره‌های مختلف خصوصاً دوره توسعه حائز اهمیت است. شکل‌های ۳ و ۴ مبین این مطلب است که رژیم آبیاری I_1 در دوره توسعه (قبل و بعد از آبیاری) با کم‌آبی مواجه بوده است ولی رژیم‌های I_2 و I_3 با کم‌آبی مواجه نبودند. بنابراین تشکیل پروفیل پیوسته رطوبتی با رطوبت پایین در رژیم آبیاری I_1 نتیجه کم‌آبیاری در این دوره بوده و نمی‌توان آن را به نامناسب بودن فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار نسبت داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو طرفه رژیم آبیاری و عمق خاک، رژیم¬های آبیاری و زمان، عمق خاک و زمان بر میزان رطوبت

Table 5- Comparison of bilateral interactions effects of irrigation regimes and soil depth, irrigation regime and time, soil depth and time on the ratio of moisture

اثرات متقابل Interactions effects	تیمارها Treatments		رطوبت Moisture (%)
رژیم آبیاری و عمق خاک Regime irrigation and soil depth	I_1	25	10.9^{e}
		50	12.7^{de}
		7	13.8^{cd}
	I_2	25	14.1^{cd}
		50	13.5^{cd}
		75	16.6^{b}
	I_3	25	15^{bc}
		50	15.3^{bc}
		75	19.3^{a}
رژیم آبیاری در زمان (قبل- بعد از آبیاری) Regime irrigation and time (before and after irrigation)	I_1	قبل از آبیاری Before irrigation	11.7^{d}
		بعد از آبیاری After irrigation	13.2^{cd}
	I_2	قبل از آبیاری Before irrigation	13.2^{cd}
		بعد از آبیاری After irrigation	16.2^{b}
	I_3	قبل از آبیاری Before irrigation	13.6^{c}
		بعد از آبیاری After irrigation	19.5^{a}
عمق خاک در زمان (قبل- بعد از آبیاری) Soil depth and time (before and after irrigation)	25	قبل از آبیاری Before irrigation	12.1^{c}
		بعد از آبیاری After irrigation	14.6^{b}
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	12.2^{c}
		بعد از آبیاری After irrigation	15.5^{b}
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	14.3^{b}
		بعد از آبیاری After irrigation	18.8^{a}

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1%

تجمع رطوبت در عمق ۷۵-۵۰ سانتیمتری از سطح خاک حتی در شرایط کم آبیاری تیمار I_1 حاکی از آن است که مدت زمان آبیاری در رژیم‌های آبیاری مورد مطالعه مناسب نمی‌باشد. برای ارتقای مدیریت آبیاری لازم است دور آبیاری کاهش یابد تا ساعت آبیاری در هر نوبت کاهش یابد یابد یا آبیاری بصورت پالسی انجام شود و توزیع مناسب‌تری از رطوبت را در پروفیل خاک داشته باشیم.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای ارتقاء شاخص‌های طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته، ، تغییرات جبهه‌ی رطوبتی در عمق‌های مختلف خاک و در بین دو لترال یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در باغ‌های پسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد میزان رطوبت در زیر قطره‌چکان‌ها بیش‌تر از میزان رطوبت در بالای قطره‌چکان‌ها بود که باید در عمق نصب لوله‌های قطره چکان‌دار مورد توجه قرار گیرد. در رژیم آبیاری I_1 میزان آب آبیاری به اندازه‌ای است که حرکت رطوبت به سمت بالای محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها زیاد نمی‌باشد تا اختلاف معنی‌داری در قبل و بعد از آبیاری ایجاد کند.

تغییرات رطوبت در مراحل رشد پسته نشان داد که گیاه پسته تحت رژیم آبیاری I_1 در دوره توسعه رشد با کم‌آبی مواجه بود. با توجه به ظرفیت زراعی خاک محل آزمایش، در دو رژیم آبیاری I_2 و I_3 میزان رطوبت در محیط ریشه بطور متوسط در حد مناسبی بود. میزان رطوبت در دو زمان قبل و بعد از آبیاری در رژیم آبیاری I_3 نسبت به دو رژیم دیگر بیش‌تر دست‌خوش تغییر شده بود، که ناشی از افزایش عمق آب آبیاری به واسطه آب آبشویی بود.

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه‌طرفه رژیم‌های آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان رطوبت

Table 6- Comparison of three-way interactions effects of irrigation regimes, soil depth and time (before and after irrigation) on the ratio of moisture

رژیم آبیاری Irrigation regime	عمق خاک Soil depth	زمان (قبل و بعد از آبیاری) (Time (before and after irrigation	رطوبت Moisture (%)
I_1	25	قبل از آبیاری Before irrigation	10.5[j]
		بعد از آبیاری After irrigation	11.4[ij]
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	12[hi]
		بعد از آبیاری After irrigation	13.3[fg]
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	12.7[gh]
		بعد از آبیاری After irrigation	14.9[de]
I_2	25	قبل از آبیاری Before irrigation	12.8 [gh]
		بعد از آبیاری After irrigation	15.4[de]
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	12.7[gh]
		بعد از آبیاری After irrigation	14.4 [ef]
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	14.2[ef]
		بعد از آبیاری After irrigation	19.0 [b]
I_3	25	قبل از آبیاری Before irrigation	13.0[fg]
		بعد از آبیاری After irrigation	17.1[c]
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	11.8[hi]
		بعد از آبیاری After irrigation	18.9[b]
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	16.1 [cd]
		بعد از آبیاری After irrigation	22.5[a]

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1%

نتایج نشان‌دهنده نفوذ عمقی به پایین ۷۵ سانتی‌متری عمق خاک نیز بود. عمق ۷۵ سانتی‌متر نسبت بـه اعمـاق ۲۵ و ۵۰ سـانتی‌متـری دارای افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت بود که می‌توانـد بـه علـت تجمع بیشتر ریشه‌های مصرف‌کننده آب در عمق ۰-۵۰ سانتی‌متـری از سطح خاک و الگوی مصرف آب در این ناحیه باشـد باشـد. تجمـع رطوبت در عمق ۷۵-۵۰ سانتیمتری از سطح خاک حتی در شرایط کم آبیاری تیمار I_1 حاکی از آن است که مـدیریت آبیـاری در رژیـم‌هـای آبیاری مورد مطالعه مناسب نمی‌باشد و لازم است مدت آبیاری و زمان آبیاری با توجه به مراحل رشد و الگوی توزیـع ریشـه پیشـنهاد شـود. افزایش عمق آب آبیاری به واسطه آبشویی باید تمرکز بر عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری داشته باشد.

تشکر و قدردانی

اطلاعات ارائه شده در این مقاله نتایج پروژه پژوهشـی بـا عنـوان "شاخص‌های طراحی، اجرا و مدیریت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ارزیابی آن در باغات سمنان" می‌باشد که با حمایت مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به اجرا رسیده اسـت. همچنـین از شـرکت بنیز تجهیز که بستر ایـن پـژوهش را در مزرعـه الگـویی آن شـرکت فراهم کرده است و همکاری صمیمانه و دلسوزانه مدیر مزرعه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. No, 56. FAO, Rome.
2- Amali S., Rolston D.E., Foltun A.E., Hanson B.R., Phen C.J., and Oster I.D. 1999. Soil water variabilityunder subsurface drp irrigation and furrow irrigation. Journal of Irrigation Science 17(4): 151-155.
3- Ayers R.S., and Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture (Vol. 29). Rome: Food and Agric Organization of the United Nations.
4- Badr A.E., and Aburab M.E. 2013. Soil moisture distribution patterns under surface and subsurface drip irrigation systems in sandy soil using neutron scattering technique. Journal of Irrigation Science 31: 317-332.
5- Battam M.A., Sutton B.G., and Boughton D.G. 2003. Soil pits as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems. Journal of Irrigation Science 22: 135-141.
6- Ben-Gal A., Lazorovitch N., and Shani U. 2004. Subsurface drip irrigation in gravelfilled cavities. Vadose Zone Journal 3: 1407-1413.
7- Beniwal R.K., Soni M.L., Yadava N.D., Prakash C., and Talwar H.S. 2006. Effect of irrigation scheduling on moisture and salt distribution and growth of Kagji lime under drip irrigation in arid Rajasthan. Annals of Arid Zone 45(2): 169.
8- Cote C.M., Bristow K.L., Charlesworth P.B., Cook F.J., and Thorburn P.J. 2003 Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. Journal of Irrigation Science 22: 143–156.
9- Dehghanisanij H., Agassi M., Anyoji H., Yamamoto T., Inoue M., and Eneji A.E. 2006. Improvement of saline water use under drip irrigation system. Journal of Agricultural Water Management 85: 233–242.
10- Dos Santos L.N., Matsura E.E., Gonçalves I.Z., Barbosa E.A., Nazário A.A., Tuta N.F., Elaiuy M.C., Feitosa D.R., and de Sousa A.C. 2016. Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: Evaluating two installation depths of emitters and two water qualities. Journal of Agricultural Water Management 170: 91-98.
11- Douh B., Boujelben A., Khila S., and Mguidiche A.B.H. 2013. Effect of subsurface drip irrigation system depth on soil water content distribution at different depths and different times after irrigation. Larhyss Journal 13: 7-16.
12- Farshi A.A., Shariati M.H., Jarollahi R., Ghaemi M.H., Shabifar M., and Tolaei M.M. 1997. Estimated water requirement major plants agricultural and horticultural of country. Soil and Water Research Institute, Publication of Agriculture Education in Karaj, 394p. (In Persian)
13- Ghassemzadeh Mojaveri F. 1990. Evaluation of irrigation systems of farms. Mashhad: Astan Quds Razavi. Bhnshr company, 329p. (In Persian)
14- Goldhamer D.A., and Beede R. 1993. Result of four years of regulated deficit irrigation on deep rooted pistachio trees. CalifirniaPistachio Industry Annual Report Crop.
15- Hosseini Fard S.J., Insight M.N., Sedaghati V., and Akhiani A. 1396. Integrated management of soil fertility and plant nutrition pistachio tree. National Pistachio Research Institute. 101 p.
16- Khalili M., Haha Jaribi A., Akbar M., and Zacharyna M. 1391. Determine the moisture profile in underwater drip irrigation. Master's Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
17- Kosari H. 2009. Evaluation of soil surface energy balance to estimation of evapotranspiration and its components in surface and sub-surface drip irrigation systems. Irrigation and Drainage Master's thesis, University of Tehran. (In Persian with English abstract)

18- Lamm F.R. 2016. Cotton, tomato, corn, and onion production with subsurface drip irrigation: A review. Transactions of the ASABE 59(1): 263-278.
19- Lamm F.R., and Camp C.R. 2007. Managing the Challenges of Subsurface Drip Irrigation. Elsevier Publications 473-551.
20- Li J., Zhang J., and Rao M. 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. Journal of Agricultural Water Management 67: 89–104.
21- Mondal P., Biswas R.K., Tewari V.K., Kundu K., and Manisha B. 2007. Investigation on soil wetting patterns of low cost drip irrigation system developed in India. Trends in Applied Sciences Research 2(1): 45-51.
22- Patel N., and Rajput T.B.S. 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. Journal of Agricultural Water Management 95: 1335-1349.
23- Ragheb H.M.A., Gameh M.A., Ismail S.M., and Abou Al-Rejal N. A. 2011. Water distribution patterns of drip irrigation in sandy calcareous soil as affected by discharge rate and amount of irrigation water. J. King Abdulaziz University Meteorolical Envirnment 22(3): 141.
24- Saifi A., Mirlatifi S.M., Dehghanisanij H., and Torabi M. 1393. Effect of irrigation interval on distribution of moisture and salinity in pistachio gardens under underlying drip irrigation conditions (Case study: Sirjan city, Kerman province). Irrigation and Drainage Journal of Iran 8(4): 786-799.
25- Sayyari N., Ghahraman B., and Davari K. 2007. Investigation of soil moisture distribution under subsurface drip irrigation system in pistachio gardens (case study: Rafsanjan with saline water). Water, Soil and Plant Research in Agriculture 6: 65-77.
26- Sedaghati N., Alizadeh A., Ansari H., and Hosseinifard S.J. 2016. Study of Changes in Soil Moisture and Salinity under Plastic Mulch and Drip Irrigation in Pistachio Trees. Journal of Nuts 7 (1): 21-33.
27- Shan Y., Wang W., and Wang C. 2011. Simulated and measured soil wetting patterns for Overlap zone under double points sources of drip irrigation. African Journal of Biotechnology 10(63): 13744-13755.
28- Singh D.K., Rajput T.B.S., Sikarwar H.S., Sahoo R.N., and Ahmad T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. Journal of Agricultural Water Management 83(1): 130-134.
29- Thorburn P.J., Cook F.J., and Bristow K.L. 2003. Soil-dependent wetting from trickle emitters: implications for system design and management. Journal of Irrigation Science 22(3): 121-127.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 391-404

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۳۹۱-۴۰۴

The Effect of Different Irrigation Regimes under Subsurface Drip Irrigation System on Soil Moisture Distribution in Pistachio Orchard

H. Dehghanisanij[1*]- H. Haji Agha Bozorgi[2]- A.A. Ghaemi[3]
Received: 28-01-2019
Accepted: 10-06-2019

Introduction: Creating a uniform and adequate moisture in the root zone is one of the most challenging issues in irrigated lands. Use of irrigation systems with high water efficiency, such as sub-surface drip irrigation is recommended as a solution to reduce water losses. Information on soil moisture variation is an important factor for managing and designing a subsurface drip irrigation system. This study was conducted to evaluate the soil moisture variation for different irrigation regimes in a pistachio orchards equipped by a subsurface drip irrigation system (SDI).

Materials and Methods: This study was carried out in a two-hectare of 10 years old pistachio orchard located in Semnan province, Iran (located at 35°28′ N, 53°12′E and elevation of 1160 m above sea level) during the 2012-2013 growing season. The climate of the studied area is hot desert having an average annual precipitation of approximately 110 mm. Daily meteorological data such as the temperature, relative humidity, wind speed, rainfall, and solar radiation were collected from a meteorology station in farm. The soil was sandy loam textured with average field capacity and permanent wilting point of 12.23 and 5.01%, respectively. Subsurface drip irrigation system was equipped by EuroDrip Company emitters (PC2), inline, to a distance of 80 cm and with a discharge of 26.2 Lit/ hr installed at a depth of 40 cm. In this study, a factorial experiment in split plot design was used with three replications. Three irrigation treatments i.e. control (I1), Irrigation based on irrigation requirement (I2) and I2 plus leaching requirement (I3), and changes in the moisture front were investigated by weight sampling between two drip lines, between the trees rows, on the drip line and out of the drip line of each row, before and after irrigation and in development, middle and late season.

Results and Discussion: For the evaluated irrigation systems, increased levels of irrigation regime resulted in increased moisture content in the root zone. The higher average soil moisture (16.6 %) was measured after irrigation under I3. The I1 irrigation regime did not significantly change the soil moisture content in upper part of emitters before and after irrigation event. Average soil moisture content at different depths showed that the soil moisture content in 75 soil depth was significantly higher than that in 25 and 50 cm soil depth, which can be attributed to higher root water uptake by root in 0-50 cm soil depth. Bilateral impact of irrigation regimes and soil depth showed higher soil moisture content (19.3%) under I3 and 75 cm soil depth which may lead to deep percolation. Bilateral impact of irrigation regimes, soil depth, and time before and after irrigation event also resulted in higher soil moisture content (22.5 %) in 75 cm soil depth after irrigation under I3. The lowest soil water content (10.5 %) was measured in 25 soil depth before irrigation under I1.

Conclusion: The results of this study showed that I2 and I3 irrigation regimes did not show water shortage during growth season (before and after irrigation), but the I1 irrigation regime caused water scarcity. Therefore, the formation of continuous moisture profiles with low moisture in I1 irrigation regime was caused as a result of low irrigation during this period. Accumulation of moisture at depth of 50-75 cm from the soil surface, even under low irrigation conditions I1 irrigation regime, implies that irrigation time is not suitable for irrigation regimes. In general, in order to improve the irrigation management, it is necessary to reduce the irrigation intervals and have a more appropriate distribution of moisture in the soil profile.

Keywords: Irrigation time, Leaching requirement, Moisture front, Soil depth, Subsurface drip irrigation

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. P.O.Box 31585-845.
(*- Corresponding Author Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir)
2- and 3- Master of Science (M.Sc) and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۱۷-۴۰۵

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 405-417

بررسی کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد با استفاده از شاخص آلودگی Liou و تحلیل مؤلفه اصلی

رسول زمانی احمدمحمودی[1*]- احسان فتحی[2]- سمیرا بیاتی[3]- پونه قربانی دشتکی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۳

چکیده

رودخانه یک اکوسیستم پویا است که علاوه بر اهمیتی که در صنعت، کشاورزی و شرب دارد، تحت تأثیر فعالیت‌های مختلف قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه ارزیابی کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص آلودگی Liou و انتخاب مهم‌ترین پارامترها بر اساس تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی می‌باشد. در این مطالعه ۷ پارامتر کیفی آب شامل دما، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، نیتروژن آمونیاکی، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد معلق و پتانسیل هیدروژن در طول رودخانه در ۷ ایستگاه انتخابی به مدت شش ماه از فروردین تا شهریور سال ۱۳۹۵ با استفاده از روش‌های استاندارد سنجش آب و فاضلاب مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که کیفیت آب طی مدت پژوهش در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در تمامی ماه‌ها طبق شاخص آلودگی Liou در طبقه کیفیت خوب بوده است. همچنین طبق تکنیک آماری تحلیل مؤلفه اصلی دو مؤلفه به‌عنوان مؤلفه اصلی معرفی شدند. نتایج تحقیق نشان داد که پارامترهای اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد معلق در بعضی از ایستگاه‌ها در محدوده استاندارد و در برخی دیگر بیش از حد استاندارد بودند. علاوه بر این نتایج مطالعه نشان داد که کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد در طی ماه‌های مختلف تغییرات چندانی نداشت و کیفیت آب خوب بود. این پژوهش، سودمندی و کارایی تکنیک آماری چند متغیره تحلیل مؤلفه اصلی و استفاده از شاخص‌ها را به منظور مدیریت مؤثر کیفیت آب سطحی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: استان چهارمحال و بختیاری، پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب، شاخص آلودگی رودخانه، منابع آب

مقدمه

استفاده بهینه و حفاظت از منابع آب در جهت کمی و کیفی این منابع، از اصول توسعه پایدار هر کشور محسوب می‌شود. رودخانه‌ها مهم‌ترین منابع آبی برای تأمین نیازهای کشاورزی، صنعتی و رفاهی هستند (۲۲). با گذشت زمان و افزایش جمعیت، استفاده از منابع آبی و دخل و تصرف غیر طبیعی افزایش یافته است و سبب تغییر کیفیت آب رودخانه‌ها شده است (۳۰). بنابراین آگاهی از کیفیت آب در برنامه ریزی، توسعه و حفاظت منابع آبی امری ضروری به نظر می‌رسد. فرآیندهای طبیعی همچون بارش، فرسایش و هوازدگی مواد، شیمی اتمسفر، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و انحلال مواد آلی (۳۶) و عوامل انسانی از قبیل فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی (۲۵) کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از آنجا که آسیب‌پذیری آب‌های سطحی به دلیل دسترسی آسان برای دفع پساب‌ها نسبت به آب‌های زیرزمینی بیش‌تر است، با تجزیه و تحلیل مرتب داده‌های کیفی رودخانه‌ها ضمن استفاده از این منابع برای مصارف مختلف، می‌توان شیوه‌های مدیریتی صحیح و مناسبی را اجرا نمود (۲۲). به دلیل اهمیت آب و مسائل مربوط به آن، تاکنون شاخص‌های زیست محیطی زیادی توسط سازمان‌ها و مؤسسات مختلف ارائه شده است. به‌طوری‌که در دهه آخر قرن بیستم، تلاش‌های زیادی در زمینه ایجاد و یا بهبود شاخص‌های کنترل کیفیت آب ایجاد شده است (۳۲). استفاده از شاخص آلودگی آب Liou از جمله روش‌های بسیار ساده به منظور بررسی شرایط کیفی آب است. به طوری که با افزایش آلودگی، عدد این شاخص افزایش می‌یابد (۳۳ و ۲۳). شاخص آلودگی Liou یا شاخص آلودگی رودخانه (PRI[5]) توسط لیو و همکاران (۱۷) در سال ۲۰۰۳ در تایوان توسعه یافت. این شاخص جهت تعیین سلامت رودخانه بوده و در آن بر اساس منحنی‌های دسته‌بندی از

۱ و ۲- به ترتیب استادیار گروه شیلات و محیط زیست و دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
(*- نویسنده مسئول: Email: rasoolzamani@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.79102

5- River pollution index

پیش تعیین شده، به پارامترهای انتخاب شده امتیاز استانداردی داده می‌شود. PRI شامل چهار پارامتر اکسیژن محلول (DO[1])، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD[2])، کل مواد جامد معلق (TSS[3]) و نیتروژن آمونیاکی (NH3_N) است (۱۷). PCA یکی از تکنیک‌های چند متغیره آماری است که به منظور کاهش تعداد ورودی‌ها در زمانی که حجم داده‌ها زیاد باشد، استفاده می‌شود و می‌تواند تغییرات جامعه را به خوبی توصیف کند (۲۰ و ۲۱). در سال‌های اخیر از روش‌های آماری چند متغیره به طور گسترده در موضوعات مرتبط با منابع آب، هیدرولوژی و محیط زیست استفاده شده است. اخیراً، روش PCA به منظور کاهش تعداد متغیرهای ورودی و تفسیر بهتر نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت آب، توسعه یافته است (۲۴). از جمله مطالعات صورت گرفته با این روش می‌توان به منطقه‌بندی بارندگی زمستانه در ناحیه جنوب مرکزی ایران (۱۹)، شناسایی الگوهای مکانی و زمانی، پهنه‌بندی رژیم‌های دمایی ماهانه (۱۲) و برآورد تبخیر–تعرق مرجع در استان کرمان (۳۱) اشاره نمود. در زمینه بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها نیز مطالعات متعددی در سراسر جهان انجام شده است. حسین‌زاده و همکاران (۱۳) به بررسی کیفیت آب رودخانه آیدوغموش در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص آلودگی Liou پرداختند. ایشان پارامترهای فیزیکوشیمیایی را در هشت ایستگاه مختلف از رودخانه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها براساس شاخص‌های NSFWQI و Liou نشان داد که بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای کیفیتی متوسط هستند. همچنین نتایج هر دو روش برای ارزیابی کیفیت آب هم‌پوشانی داشت. امین‌پور شیانی و همکاران (۱) به بررسی کیفیت آب رودخانه گازرودبار را با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص آلودگی Liou پرداختند. در این تحقیق نمونه‌برداری ۱۲ ماهه از پنج ایستگاه صورت گرفت. طبق نتایج شاخص NSFWQI آب این رودخانه در رده کیفی متوسط و طبق شاخص Liou در رده کیفی اندکی آلوده قرار گرفت. ایشان بیان کردند که علت اصلی کاهش کیفیت آب این رودخانه، تخلیه زباله‌ها و فاضلاب‌های خانگی، روستایی و شهری، زهاب‌های کشاورزی، فضولات حیوانی و دبی پایین رودخانه بوده است. سامانتری و همکاران (۲۹) کیفیت آب رودخانه‌های Mahanadia و Athavabanki در هندوستان را با استفاده از شاخص NSFWQI مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج بدست آمده از این شاخص کیفیت آب به دلیل فعالیت‌های انسانی و صنایع کاهش یافته بود. فان و همکاران (۱۰)، با استفاده از روش PCA خصوصیات آب و الگوی مکانی کیفیت آب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق واریانس کل داده‌های شمال و غرب رودخانه را به ترتیب ۸۵/۲۵ و ۸۹/۲۵ درصد کل نشان داد. ژانگ (۱۴) با استفاده از شاخص آلودگی آب رودخانه، کیفیت آب منطقه تفریحی حوضه رودخانه تامسوی را ارزیابی نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که بخش بالادست رودخانه برای همه‌ی فعالیت‌های تفریحی مانند شنا دارای کیفیت خوب، ولی آب در بخش‌های میانی و پایین‌دست دارای کیفیت بد و غیرقابل استفاده بود. در زمینه بررسی کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد می‌توان به تحقیق فتحی و همکاران (۱۱) اشاره نمود که با استفاده از شاخص کیفیت آب NSFWQI، کیفیت آب این رودخانه ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در فصل تابستان کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری بین رده متوسط و خوب بوده است. در مطالعه حاضر کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد با استفاده از شاخص آلودگی آب Liou و تحلیل مؤلفه اصلی بررسی می‌شود و پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر کیفیت آب با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی تعیین خواهد شد تا در مطالعات بعدی یا در اقدامات اجرایی آینده اقدام مناسب توسط ارگان‌ها یا سازمان‌های ذیربط انجام شود.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

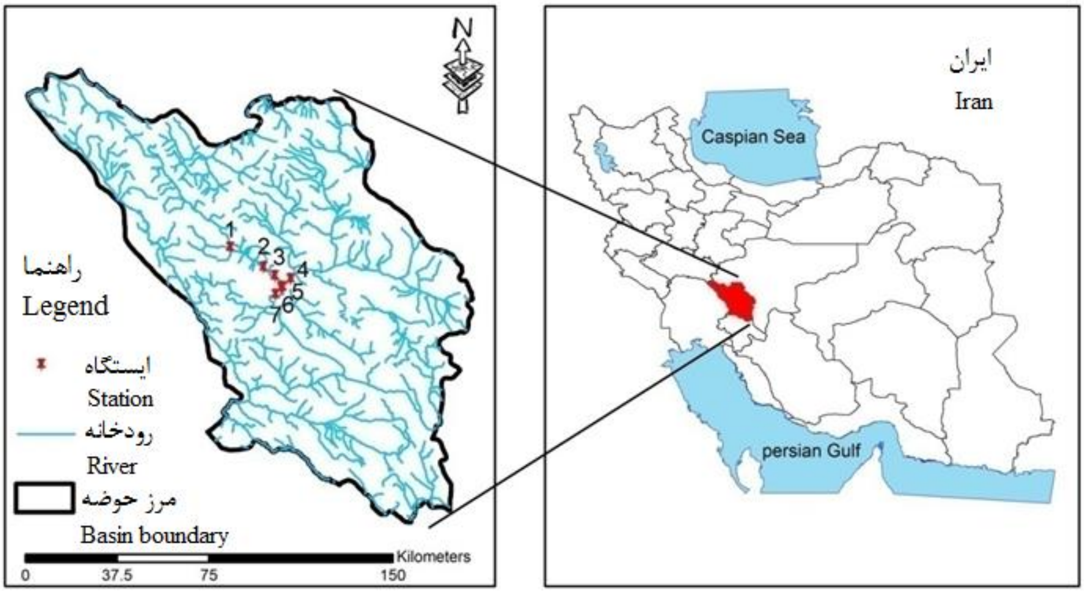
رودخانه مورد مطالعه در حوضه بهشت‌آباد با مساحتی برابر ۳۸۶۶ کیلومتر مربع در محدوده بین '۳۶ °۵۰ تا '۴۵ °۵۱ طول شرقی و '۲۸ °۳۱ تا '۵۶ °۳۲ عرض شمالی و در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. محیط حوضه برابر ۳۸۹/۶۱ کیلومتر و ارتفاع متوسط آن برابر ۲۳۱۷/۲۸ متر می‌باشد. به منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز در بررسی وضعیت و کیفیت آب رودخانه مورد مطالعه در حوضه بهشت‌آباد نمونه‌برداری از فروردین تا شهریور سال ۱۳۹۵ در ۷ ایستگاه انجام شد. انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب با توجه به بررسی‌های انجام شده و پیمایش طول رودخانه به منظور بررسی تغییرات وضعیت رودخانه از نظر سرعت آب، دبی، توپوگرافی، توجه به مکان ورود آلاینده‌ها و با در نظر گرفتن موقعیت روستاها، کارگاه‌های پرورش ماهی، پل‌ها، شاخه‌های فرعی ورودی به رودخانه انجام شد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در رودخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش کار

در این مطالعه برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد، میزان اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، کل مواد جامد معلق و نیتروژن آمونیاکی به منظور محاسبه شاخص آلودگی Liou، به همراه

1- Dissolved Oxygen
2- Biological Oxygen Demand
3- Total Suspended Solids

سه پارامتر پتانسیل هیدروژن، هدایت الکتریکی و دمای آب برای ۷ ایستگاه اندازه‌گیری شد. پارامترهای T، EC، pH و DO در محل نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه پرتابل HACH مدل HQ40d اندازه‌گیری شد و دیگر پارامترها جهت سنجش به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری شده در رودخانه بهشت‌آباد

Figure 1- The location map of sampling stations in the Beheshtabad River

نمونه‌برداری از آب رودخانه به مدت شش ماه از فروردین تا شهریور سال ۱۳۹۵ و به‌صورت ماهیانه در ۷ ایستگاه انتخابی انجام شد. بدین منظور از ظروف پلی‌پروپیلنی که قبلاً با اسید نیتریک و آب مقطر شستشو شده، استفاده شد. ظروف نمونه‌برداری سه بار با آب رودخانه آب‌کشی و سپس به میزان ۴ لیتر نمونه آب در هر ایستگاه جمع‌آوری شد. بعد از جمع‌آوری، نمونه‌ها برای جلوگیری از تجزیه میکروبی در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. BOD، NH3_N و TSS با استفاده از روش‌های استاندارد سنجش آب و فاضلاب به ترتیب مطابق با دستورالعمل‌های شماره 5210 B، 4500-NH3 B و 2540 D اندازه‌گیری شدند (۲).

محاسبه شاخص Liou

شاخص آلودگی Liou شامل ۴ پارامتر اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، مواد جامد معلق و نیتروژن آمونیاکی می‌باشد (۱۷). مقدار عددی شاخص Liou با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شود (۳۴ و ۳۵). در جدول شماره ۱ وضعیت کیفیت آب رودخانه‌ها طبق مقدار عددی این شاخص و مقادیر اختصاص داده شده به هر پارامتر مشاهده می‌شوند (۳۵).

$$WQI = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} I_i \qquad (۱)$$

که در این رابطه I_i مقدار مربوط به هر زیرشاخص (پارامترهای کیفی مورد بررسی) می‌باشد.

تحلیل مؤلفه اصلی

تحلیل مؤلفه اصلی از روش‌های آماری چند متغیره است که در مواقع مواجهه با حجم وسیعی از اطلاعات با کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله، به تفسیر بهتر اطلاعات کمک می‌نماید (۶). به منظور اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عامل اصلی از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. در ابتدا داده‌ها برای ورود به PCA در محیط نرم‌افزار SPSS بر اساس فرمول مربوط استاندارد شدند.

در گام بعد، تناسب جامعه آماری برای انجام PCA به وسیله آزمون KMO[1] سنجیده شد و به منظور بهبود روابط بین ورودی‌ها و عامل‌های اولیه و نیز تفکیک بهتر آن‌ها جهت عضویت در عامل‌ها، از دوران Varimax استفاده شد (۲۱، ۲۴ و ۲۷). در PCA یک ماتریس همبستگی تشکیل می‌شود و در ادامه مؤلفه‌هایی که بخش کوچکی از تغییرات جامعه را پوشش می‌دهند، کنار گذاشته می‌شوند.

1- Kaiser-Meyer-Olkin

جدول ۱- طبقه‌بندی هر پارامتر بر اساس مقدار آن و مقدار اختصاص داده‌شده طبق شاخص Liou (۳۵)

Table 1- Classification of each parameter based on its value and assigned value according to Liou index (35)

پارامتر کیفی Quality parameter	مقدار پارامتر Parameter value	مقدار اختصاص داده‌شده طبق شاخص Liou Assigned value according to Liou index	مقدار شاخص Liou Value of Liou index	وضعیت کیفیت آب Status of water quality
DO	>6.5	$I_{DO}=1$	<2	خوب Good
	4.6-6.5	$I_{DO}=3$		
	2-4.5	$I_{DO}=6$		
	<2	$I_{DO}=10$		
BOD	<3	$I_{BDO}=1$	2-3	اندکی آلوده Slightly polluted
	3-4.9	$I_{BDO}=3$		
	5-15	$I_{BDO}=6$		
	>15	$I_{DO}=10$		
TSS	<20	$I_{DO}=1$	3.1-6	نسبتاً آلوده Relatively polluted
	20-49	$I_{DO}=3$		
	50-100	$I_{DO}=6$		
	>100	$I_{DO}=10$		
NH3_N	<0.5	$I_{DO}=1$	>6.1	بسیار آلوده Very polluted
	0.5-0.99	$I_{DO}=3$		
	1-3	$I_{DO}=6$		
	>3	$I_{DO}=10$		

انتخاب ماتریس همبستگی و استانداردسازی به این معنـی اسـت که صرف‌نظر از بزرگی داده‌هـای واقعـی، هـر یـک از متغیرهـا دارای اهمیت یکسان باشند. برای رسیدن به این هدف باید به جـای مقـادیر هر یک از متغیرها، مقادیر متغیر استاندارد شده آن‌ها را بـه روش زیـر انجام داد (۲۶).

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (۲)$$

که در رابطه فوق z متغیر استاندارد شده، x مقدار متغیـر و μ و σ نیز به ترتیب میانگین و انحراف معیار متغیرها می‌باشـند. در گـام بعـد تعداد عامل‌های اصلی که قادر باشند توصیف جامعی از متغیرها داشته باشند، تعیین می‌شوند و متغیرها با توجه به میزان همبسـتگی بـا ایـن مؤلفه‌ها، در زیرگروه آن‌ها قرار می‌گیرند. در نهایت، از روی بیشینه بار عاملی، متغیرهای اصلی در هر مؤلفه تعیین می‌شوند (۱۶).

نتایج و بحث

نتایج مربوط به مقدار شاخص Liou در ایستگاه‌هـای مختلـف در طی مدت پژوهش در جدول ۲ مشاهده مـی‌شـود. طبـق ایـن جـدول مقدار عددی شاخص Liou در ایستگاه شماره ۴ در مـاه فـروردین در رده اندکی آلوده قرار دارد ولی مقدار شاخص در بقیه ایستگاه‌ها کمتـر از دو می‌باشد که نشان‌دهنده کیفیت خوب آب از نظر این شـاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. بـا افـزایش مقـدار اکسـیژن محلـول، مقدار عددی شـاخص آلـودگی Liou، کـاهش و بـا افـزایش مقـادیر آمونیاک، اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی و جامدات معلق، مقدار عـددی این شاخص افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در این شـاخص کـاهش مقدار اکسیژن محلول و افزایش دیگر پارامترهای مذکور، آلـودگی آب و مقادیر عددی بالاتر شاخص را نشان می‌دهند (۱۳).

جدول ۲- مقادیر شاخص آلودگی Liou در ایستگاه‌های مختلف رودخانه بهشت‌آباد

Table 2- The Values of Liou Pollution Index in different stations of the Beheshtabad River

شماره ایستگاه Station number	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
1	1.5	1.5	1	1	1	1
2	1.5	1	1	1	1	1
3	1.5	1	1	1	1	1
4	2	1.5	1.5	1	1	1.5
5	1.5	1	1.5	1	1	1.5
6	1.5	1	1	1	1	1
7	1.5	1	1	1	1	1
میانگین Mean	1.57	1.14	1.14	1	1	1.14

جدول ۳ مقایسه‌ای از شاخص Liou را در رودخانه مورد مطالعه با رودخانه‌های مختلف دنیا بر اساس میانگین هر ماه در طی مدت پژوهش نشان می‌دهد. مطابق این جدول، بر اساس مقدار شاخص Liou کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد در تمام ۶ ماه مورد مطالعه در محدوده کیفی خوب قرار دارد. همچنین مقدار شاخص Liou در رودخانه بهشت‌آباد در مقایسه با رودخانه گازرودبار مقدار کمتری دارد. کیفیت آب رودخانه گازرودبار بر اساس مقدار شاخص Liou در محدوده اندکی آلوده قرار دارد که علل اصلی کاهش کیفیت آب رودخانه گازرودبار تخلیه زباله و فاضلاب‌های خانگی، فضولات حیوانی و دبی پایین رودخانه بیان شده است (۱). علاوه‌بر این مقدار شاخص Liou در منطقه مورد مطالعه نسبت به رودخانه‌های خارج از کشور ذکر شده در جدول مقدار بیش‌تری دارد که کیفیت بهتر آب این رودخانه‌ها را نسبت به رودخانه بهشت‌آباد نشان می‌دهد.

جدول ۳- میانگین شاخص Liou در رودخانه بهشت‌آباد در مقایسه با رودخانه‌های مختلف

Table 3- The average of index in the Beheshtabad River compared to different rivers

منبع Reference		مقدار شاخص Liou Value of Liou index	رودخانه River
مطالعه حاضر This study	فروردین April	1.57	بهشت‌آباد Beheshtabad
	اردیبهشت May	1.14	
	خرداد June	1.14	
	تیر July	1	
	مرداد August	1	
	شهریور September	1.14	
امین‌پورشیانی و همکاران (۱) Aminpour Shiani et al.		2-3	گازرودبار Gazroudbar
افندی و واردیانتو (۸) Effendi and Wardiatno		0.56-0.78	Ciambulawung
افندی (۷) Effendi		0.73-0.89	River Cihideung, River Ciapus, and Lake

جهـت تعیـین مهـم‌تـرین پارامترهـای کیفیـت آب رودخانـه‌ی بهشت‌آباد، میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در هر ایستگاه و در ۶ ماه اندازه‌گیری شده که در جدول ۴ ارائه شده است. سپس با اسـتفاده از PCA مهم‌ترین پارامترها تعیین شدند (جدول ۵).

جدول ٤- میانگین پارامترهای کیفی آب سطحی در ایستگاه‌های مختلف رودخانه بهشت‌آباد

Table 4- The average of surface water quality parameters in different stations of the Beheshtabad River

ایستگاه Station	DO (mg/lit)	BOD_5* (mg/lit)	NH_3 N (mg/lit)	TSS (mg/lit)	T (°c)	pH	EC(µs/cm)
1	9.15	1.16	0.25	15.41	12.28	8.17	312.3
2	8.92	0.96	0.21	16.1	12.37	8.26	440.7
3	9.32	1.76	0.28	16.36	13.28	8.28	460.7
4	9.17	1.86	0.33	14.59	13.3	8.845	676/8
5	9.3	1.95	0.3	13.55	15.16	8.54	672
6	9.2	1.36	0.32	14.83	14.93	8.47	512.2
7	9.25	1.11	0.24	16.15	14.09	8.46	544.3

* اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی پنج روزه

5-day Biological Oxygen Demand

همانطور که در جـدول ۵ مشـاهده مـی‌شـود PCA، ۷ مؤلفـه را معرفی کرده که مؤلفه اول و دوم، مؤلفه‌های اصلی بوده و در مجمـوع ۷۸/۵۶ درصد تغییرات ویژه یا واریانس کل را بیان می‌کنـد. مؤلفـه‌ی اول ۵۷/۲۶ درصد از کـل واریـانس را نشـان مـی‌دهـد و بـه عنـوان مهم‌ترین عامل توجیه‌کننده تغییرات کیفیـت آب معرفـی مـی‌شـود و شامل پارامترهای DO، NH3_N، BOD_5، EC، TSS و pH اسـت. مؤلفه دوم ۲۱/۳ درصد از کـل واریـانس را نشـان مـی‌دهـد و شـامل پارامتر دما است. محمد و همکاران (۱۸) در ارزیابی پارامترهای کیفیت آب در رودخانه کلانگ در مالزی با استفاده از تجزیـه و تحلیـل چنـد متغیره آماری اقدام به نمونه‌بـرداری از ۲۰ ایسـتگاه و انـدازه‌گیـری ۷ پارامتر کیفی نمودند و به این نتیجـه رسـیدند کـه روش‌هـای آمـاری اطلاعات سودمندی برای ارزیابی و تفسیر داده‌های کیفیـت آب بـرای نظارت و مدیریت بر منابع آب ارائه می‌نمایند. بـوزا دانیـو و همکـاران (۴) در مطالعه‌ای کیفیت آب سطحی رودخانه ابرو در اسـپانیا در یـک دوره ۲۴ سـاله، ۳۴ پـارامتر را در ۱۳ ایسـتگاه بـه صـورت ماهانـه بـا استفاده از PCA بررسی کردند و به این نتیجـه رسـیدند کـه عوامـل انسانی، زمین شناسی عامل اصلی تغییرات کیفیت آب رودخانه هستند.

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی برای پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در رودخانه مورد مطالعه

Table 5- The results of principal component analysis for measured parameters in studied river

پارامتر Parameter	مؤلفه Component	
	1	2
DO	0.7	0.03
BOD_5	0.72	-0.56
NH3_N	0.71	-0.56
TSS	-0.63	0.57
T	0.23	0.96
pH	0.93	0.09
EC	0.89	-0.1
واریانس	57.26%	21.3%

جـدول ۶ مقـادیر پارامترهـای انـدازه‌گیـری شـده در رودخانـه بهشت‌آباد را در مقایسه با استاندارد آلـودگی آب‌هـای سـطحی نشـان می‌دهد. یکی از پارامترهای مهم کیفی آب از دیدگاه بهره‌برداری، pH است و معمولاً طبق جدول ۶ مقدار بهینه آن در محدوده ۶/۵ تـا ۹/۵ قرار دارد. محدوده تغییرات pH آب در رودخانه بهشت‌آبـاد در تمـامی ایستگاه‌ها، در محدوده بهینه ۶/۵ تا ۹/۵ قرار داشت. در این تحقیق در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به دلیل افـزایش بارنـدگی و همچنـین افزایش جریان آب رودخانه ناشی از ذوب برف، مقدار DO بالاست که بر اساس جدول ۶ در محدوده استاندارد قرار دارد. بیش‌تـرین کیفیـت آب از لحاظ BOD در ماه اردیبهشت و بدترین کیفیت در مـاه خـرداد

مشاهده شد. طبق جدول ۶ بررسی کیفیت آب از نظر BOD در ایستگاه‌ها نیز نشان داد که در ماه فروردین ایستگاه یک، در ماه خرداد ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ در ماه تیر ایستگاه‌های ۱، ۳، ۵ و ۶، در ماه مرداد ایستگاه های ۶ و ۷ و در ماه شهریور ایستگاه ۳، ۴ و ۵ کیفیت آب نسبتاً آلوده و در بقیه ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف و در تمامی ایستگاه‌ها در ماه اردیبهشت کیفیت آب بسیار خوب است. در مطالعه صباحی و همکاران (۲۸) در زمینه بررسی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان، مقدار افزایشی در پارامترهای کیفی آب مانند BOD، COD، فسفات و نیترات مشاهده شد. آن‌ها فعالیت‌های کشاورزی را به‌عنوان دلیل اصلی افزایش نسبی پارامترهای ذکر شده معرفی کردند. همچنین بهار و همکاران (۳) در رابطه بین کیفیت آب و کاربری اراضی در رودخانه کوچکی در ژاپن اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های آب در ۲۴ مکان کردند و نشان دادند که مناطق مسکونی، توسعه‌ی شهرنشینی، مناطق صنعتی و کشاورزی باعث تغییر در پارامترهای کیفی آب و درنتیجه تغییر کیفیت آب می‌شوند.

میزان استاندارد EC طبق این جدول بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد (۱۵). طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده در رودخانه مورد مطالعه میزان EC در دو ماه اول یعنی فروردین و اردیبهشت در تمامی ایستگاه‌ها در حد استاندارد است. در ماه خرداد ایستگاه‌های ۴ و ۵، در ماه‌های تیر و مرداد، ایستگاه‌های ۴ تا ۷ و در ماه شهریور، ایستگاهای ۲ تا ۷ بیش از این استاندارد بودند. از دلایل این امر می‌توان به کارگاه‌های پرورش ماهی، آلاینده‌های صنعتی و تشکیلات زمین‌شناسی اشاره کرد. در بقیه ایستگاه‌ها کیفیت آب از نظر هدایت الکتریکی در محدوده مجاز می‌باشد.

جدول ٦- استاندارد آلودگی آب‌های سطحی بر اساس منابع مختلف

Table 6- The Standard of surface water pollution based on different sources

پارامتر Parameter	مقدار در رودخانه Value in river	محدوده استاندارد Standard range		منبع Reference
pH		6.5-9.5		بوید و گوتیر (۵) Boyd and Gautier
DO (mg/lit)	7.8-10.4	>5		بوید و گوتیر (۵) Boyd and Gautier
BOD_5 (mg/lit)	0-3.7	0-2	بسیار پاکیزه Very clean	سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا (۹) Environmental Protection Agency (EPA)
		2-5	نسبتاً آلوده Slightly polluted	
		>5	شدیداً آلوده Very polluted	
NH3_N (mg/lit)	0.07-0.42	–		–
TSS (mg/lit)	4.5-45	–		–
EC (μs/cm)	295-969	150-500		کلی و همکاران (۱۵) Kelly et al.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه وضعیت کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص آلودگی Liou به مدت ۶ ماه از فروردین تا شهریور سال ۱۳۹۵ بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که طبق شاخص آلودگی Liou، کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد در طی ماه‌های مختلف تغییرات چندانی نداشت و کیفیت آب خوب بود. همچنین آنالیز مؤلفه‌های اصلی در اولویت‌بندی اهمیت هر کدام از پارامترها در آلودگی نقش مثبتی ایفا می‌کند، به‌طوری‌که پارامترهای مهم‌تر را در مؤلفه اول و پارامترهای کم اهمیت‌تر را به ترتیب در مؤلفه‌های بعدی قرار می‌دهد، از طرفی دیگر سنجش پارامترهای فیزیکوشیمیایی نیز جهت مطالعات کیفی آب نیز مهم می‌باشند. این پژوهش، سودمندی و کارایی تکنیک‌های آماری چند متغیره تحلیل مؤلفه اصلی و شاخص آلودگی آب و سنجش پارامترها را برای تحلیل و تفسیر مجموعه‌ای از داده‌های پیچیده، ارزیابی کیفیت آب و فهم مکانی کیفیت آب را برای مدیریت مؤثر کیفیت آب سطحی نشان می‌دهد. که این نه‌تنها امکان استفاده نسل‌های آتی را امکان پذیر می‌کند بلکه مدیریت منابع آب را براساس توسعه پایدار دچار اختلال نمی‌کنند.

منابع

1- Aminpour Shiani S., Mohammadi M., Khaledian M.R., and Mirroshandel A. 2016. Water quality evaluation of Gazroudbar river using NSFWQI and Liou indices. Journal of Wetland Ecobiology 8(1): 63-74. (In Persian)
2- APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
3- Bahar M.M., Ohmori H., and Yamamuro M. 2008. Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of Central Japan. Limnology 9(1): 19-26.
4- Bouza-Deano R., Ternero-Rodriguez M., and Fernandez-Espinosa A.J. 2008. Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain). Journal of Hydrology 361(3): 227-239.
5- Boyd C.E., and Gautier D. 2000. Effluent composition and water quality standards. Advocate 3: 61-66.
6- Camdevyren H., Demyr N., Kanik A., and Keskyn S. 2005. Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll-a in reservoirs. Ecological Modelling 181: 581-589.
7- Effendi H. 2015. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. Procedia Environmental Sciences 33: 562-567.
8- Effendi H., and Wardiatno R.Y. 2015. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province,Based on Pollution Index and NSF-WQI. Procedia Environmental Sciences 24: 228-237.
9- Environmental Protection Agency (EPA). 1996. Quality Criteria for Waters, Washington, DC.
10- Fan X., Cui B., Zhao H., Zhang Z., and Zhang H. 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. Procedia Environmental Sciences 2: 1220-1234.
11- Fathi E., Zamani-ahmadmahmoodi R., and Zare Bidaki R. 2018. Water quality assessment of Beheshtabad River at the intersection of Shalamzar Spring with Koohrang River. Journal of Environment and Water Engineering 4(2): 178-183. (In Persian with English abstract)
12- Gayoor H., and Montazarei M. 2005. Classification of temperature regime of Iran using PCA and CA. Geography and Development Iranian Journal 2(4): 21-34. (In Persian)
13- Hoseinzadeh E., Khorsandi H., Rahimi N., Hoseinzadeh S., and Alipour M. 2013. Evaluation of Aydughmush water quality by national sanitation foundation oundation water quality (NSFWQI) and Liou pollution indices. URMIA Medical Journal 24(2): 156-162. (In Persian with English abstract)
14- Jang C.S. 2016. Using probability-based spatial estimation of the river pollution index to assess urban water recreational quality in the Tamsui River watershed. Environmental Monitoring and Assessment 188(1): 36.
15- Kelly T.R., Herida J., and Mothes J. 1998. Sampling of the Mackinaw River in central Illinois for physicochemical and bacterial indicators of pollution. Trans Ill State AcadSci 91: 145-154.
16- Lausch A., and Herzog F. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. Ecological Indicators 2(1-2): 3-15.
17- Liou S.M., Lo S.L., and Hu C.Y. 2003. Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. Water Research 37(6): 1406-1416.
18- Mohamed I., Othman F., Ibrahim A.I, AlaaEdin M.E., and Yunus R. 2015. Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin, Malaysia. Environmental Monitoring and Assessment 187(1): 1-12.
19- Nazemosadat S.M.J., Baigi B., and Amin S. 2003. Application of the principal component analysis for the regionalization of winter precipitation over Boushehr, Fars and Kohgiloye and Boyerahmad provinces. Journal of Water and Soil Science 7(1): 61-72. (In Persian)
20- Noori R., Abdoli M.A., Jalili Ghazizade M., and Samieifard R. 2009. Comparison of neural network and principal component-regression analysis to predict the solid waste generation in Tehran. Iranian Journal of Public Health 38(1): 74-84.
21- Noori R., Khakpour A., Omidvar B., and Farokhnia A. 2010. Comparison of ANN and principal component analysis-multivariate linear regression models for predicting the river flow based on developed discrepancy ratio statistic. Expert Systems with Applications 37(8): 5856-5862.
22- Nosrati K., Derafshi K.H, Gharechahi S., and Rahimi K.H. 2011. Assessment of surface water quality of Haraz-Gharesou watershed using with multivariate techniques. Journal of Earth Science Researches 2(5): 41-55. (In Persian)
23- Oram B. 2011. Calculating NSF Water Quality Index (WQI). Wilkes University Center for Environmental Quality Geo Environmental Sciences and Engineering Department.
24- Ouyang Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. Water Research 39(12): 2621-2635.
25- Papatheodorou G., Demopouloua G., and Lambrakis N. 2006. A long-term study of temporal hydro chemical data in a shallow lake using multivariate statistical techniques. Ecological Modeling 193: 759-776.
26- Pasha Zanoosi H. 2014. Practical Statistics for Environmental and Biological Scientists John Townend. Jahad Daneshgahi Publisher, Mazandaran Branch, Iran.

27- Riitters K.H., Oneill R.V., Hunsaker C.T., Wickham J.D., Yankee D.H., Timmins S.P., Jones K.B., and Jackson B.L. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. Landscape Ecology 10(1): 23-39.
28- Sabahi H., Faizi M., Veisi H., and Asilan K.S. 2010. Study on the influence of agricultural activities on water quality of Sikan. Environmental Sciences 7(4): 23-30. (In Persian with English abstract)
29- Samantray P., Mishra B.K., Panda C.R., and Rout S.P. 2009. Assessment of water quality index in Mahanadiand Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip area, India. Journal of Human Ecology 26(3): 153-161.
30- Sanchez E., Colmenarejo M.F., Vicente J., Rubio A., Garcia M.G., Travieso L., and Borja R. 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Ecological Indicators 7(2): 315-328.
31- Seifi A., Mirlatifi S.M., and Riahi H. 2011. Developing a combined model of multiple linear regression- principal component and factor analysis (MLR-PCA) for estimation. Journal of Water and Soil 24(6): 1186-1196. (In Persian with English abstract)
32- Shamsaie A., Oreei S., and Sarang A. 2004. The comparison of water indices and zoning quality in Karoon and Dez rivers. Journal of Water and Wastewater 16(3): 39-48. (In Persian)
33- Sheykhestani N. 2001. Explanation of surface water quality indices, and their applications in evaluation of quality vulnerability and interpolation of rivers. MSc Thesis in Environmental engineering. Iran University of Science Technology. (In Persian).
34- Shih C.H., Chu T.J., Kuo Y.Y., Lee Y.C., Tzeng T.D., and Chang W.T. 2010. Environmental pre-evaluation for eco-leisure: A case study of a restored stream system in Hofanchuken creek of Taipei county,Taiwan. Journal Environment Engineering Management 20(2): 99-108.
35- Terrado M., Barcelo D., Tauler R., Borrell E., and Campos S.D. 2010. Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. TrAC Trends in Analytical Chemistry 29(1): 40-52.
36- Yidana S.M., Ophori D., and Banoeng-Yakubo B. 2008. A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data-The Ankobra Basin, Ghana. Journal of Environmental Management 86: 80-87.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 405-417

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۱۷-۴۰۵

Water Quality Assessment of the Beheshtabad River Using Liou Pollution Index and Principal Component Analysis

R. Zamani-Ahmadmahmoodi[1*]– E. Fathi[2]- S. Bayati[3]- P. Ghorbani-Dashtaki[4]

Received: 25-02-2019
Accepted: 15-05-2019

Introduction: Surface water, especially rivers, are the important sources for drinking water, agricultural and industrial uses. These reservoirs are easily affected by pollution and various activities. The vulnerability of surface water is greater than that the groundwater. Therefore, the importance of water quality evaluation, especially for drinkable water, has increased due to the reduction in its quality and quantity in recent years. Optimal use and conservation of water resources in terms of quantity and quality are the principles of sustainable development of any country. Water quality indices are among the useful tools in water quality assessment and management. The aim of this study was to evaluate the water quality of the Beheshtabad River in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran by using the Liou Pollution Index and selecting the most important parameters based on Principal Component Analysis (PCA).

Materials and Methods: In this study, 7 water quality parameters including temperature, dissolved oxygen, biological oxygen demand, ammonia nitrogen, electrical conductivity, total suspended solids, and potential hydrogen were measured by standard methods along the river in 7 selected stations for 6 months (April to September 2016). Some of these parameters were measured at the sampling site and others in the laboratory. Then, the values of the Liou Pollution Index were calculated to evaluate the water quality of the Beheshtabad River in different stations. In this study, SPSS software was used to analyze the principal component. In the next step, the appropriateness of the statistical universe was assessed using the Kaiser-Meyer-Olkin test.

Results and Discussion: The results of this study showed that the water quality was good during the study period at sampling stations\, according to the Liou Pollution Index. The value of Liou Pollution Index was in the slightly polluted class in March in station 4. Then, the average of Liou Pollution Index in the Beheshtabad River was compared to different rivers. The result showed that the average of Liou Pollution Index in the studied river is higher than rivers outside Iran. In addition, according to the statistical technique of PCA, two components were introduced as the main component. The first component expressed 57.26% of the total variance and included dissolved oxygen, ammonia nitrogen, biological oxygen demand, electrical conductivity, total suspended solids and potential hydrogen parameters. The second component, temperature, expressed 21.3% of the total variance. Furthermore, the result of comparing the measured quality parameters with the standard value of surface water showed that biological oxygen demand, electrical conductivity, and total suspended solids parameters in some stations were within the standard range and in some others were higher, which indicated a negative result. The best and worst water quality in terms of biological oxygen demand was observed in May and June, respectively. The electrical conductivity in April and May in all stations was within the standard range. However, electrical conductivity was higher than the standard level in June in stations 4 and 5, higher again in July and August in stations 4 to 7, and higher as well in September in stations 2 to 7. The fish farming workshops, industrial pollution and geological survey may be the reasons. The value of potential hydrogen in all of the stations was within the standard range of 6.5 to 9.5. The value of dissolved oxygen was high because of increasing rainfall and stream flows due to the snow melting.

Conclusion: The results of this study showed that the water quality in the Beheshtabad River did not change during the last 6 months (April to September 2016), and water quality was good. In addition, PCA plays an important role in prioritizing the importance of each parameter in the pollution. Therefore, PCA places more important parameters in the first component and less important parameters in the subsequent, respectively. On the other hand, the measurement of physicochemical parameters is important for the study of water quality. This

1 and 2- Assistant Professor of Fisheries and Environmental Sciences and Former Graduate Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University
(*- Coressponding Author Email: rasoolzamani@yahoo.com)
3- Former Graduate Student of Water Resourses, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
4- Former Graduate Student of Environmental Science, Department of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University

research demonstrates the usefulness and efficiency of the multivariate statistical technique of PCA and the use of indicators for effective management of surface water quality. Therefore, using water resources in the future is possible, and does not endanger their management based on sustainable development.

Keywords: Chaharmahal and Bakhtiari Province, Physicochemical parameters of water, River pollution index, Water resources

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 417-430

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۳۰-۴۱۷

بررسی تأثیر پر مرغ، ورمی کمپوست و هومات پتاسیم بر روی خصوصیات فیزیکی خاک

محمدرضا دلالیان[1]*- فاطمه ذبیحی[2]- انورالسادات پاک نژاد[3]- مینا خوشخوان[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۲

چکیده

یکی از راهکارهای اصلی بهبود شرایط فیزیکی خاک‌های تحت کشت، اضافه کردن اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به خاک می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سه نوع ماده اصلاحی شامل هومات‌پتاسیم، پرمرغ و ورمی‌کمپوست با درصدهای وزنی متفاوت بر روی خصوصیات فیزیکی خاک و در سطوح مختلف رطوبتی در شرایط مزرعه (تحت کشت گندم) اجراء گردید. طرح به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مواد اصلاح‌کننده به طور یکنواخت تا عمق ۱۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط و تیمارهای رطوبتی اعمال شد. قبل و بعد از آزمایش از کرت‌ها نمونه‌برداری به عمل آمد. پارامترهای فیزیکی شامل: جرم مخصوص ظاهری (Bd)، رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)، پایداری خاکدانه‌های مرطوب (WAS)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_S)، مقاومت فروروی (PR)، شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_i)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و بعد فراکتالی جرمی خاکدانه‌ها (D_m) محاسبه گردید. نتایج نشان داد مصرف موادآلی موجب کاهش Bd (۸۹٪) و افزایش PWP، FC (۸۷٪ و ۹۱٪) K_s و WAS (۳/۷ و ۲/۵ برابر) می‌گردد. با افزایش سطوح رطوبتی و مقدار ماده‌آلی بخصوص هومات پتاسیم، میزان S_i کاهش یافت (۱۰۱٪). PR با افزایش سطوح رطوبتی کاهش یافت. بر خلاف انتظار با افزایش میزان ماده‌آلی، D_m و MWD کاهش یافت. مواد آلی در زمان‌های طولانی‌تر و در رطوبت‌های بالا موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد. با توجه به تأثیر مثبت مواد آلی بر بسیاری از پارامترهای فیزیکی خاک، این مواد بخصوص پرمرغ بعلت ارزان‌تر و دردسترس بودن، برای اصلاح خاک‌ها پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه‌ها، رطوبت خاک، ساختمان خاک، کودهای آلی، مواد اصلاح کننده

مقدمه

تخریب ساختاری خاک عموماً در اثر کاهش مواد آلی به سبب فعالیت‌های غیراصولی در امر کشاورزی به وجود می‌آید (۱۶). خاک های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، اکثراً دارای ماده آلی کمتر از یک درصد می‌باشد که منجر به تشکیل خاکدانه‌های ضعیف و ناپایداری ساختمان خاک در این مناطق گردیده است (۱۷ و ۳۶). از مشکلات عمده خاک‌های تحت کشت در کشور می‌توان به تخریب ساختمان و کاهش مواد آلی خاک در نتیجه عدم رعایت عملیات مناسب خاک‌ورزی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مصرف کم کودهای آلی نام برد. یکی از روش‌های مدیریتی برای حفظ و ثبات کشاورزی پایدار، افزودن مواد آلی است (۳).

مواد آلی از یک طرف شدت جایگزینی کلسیم محلول به جای سدیم تبادلی را افزایش داده و از طرف دیگر به دلیل بهبود شرایط ساختمان و افزایش نفوذپذیری خاک، تخلیه سدیم را سریع‌تر می‌کند (۴۱ و ۴۳). اگرچه نفوذ کُند آب از ویژگی‌های خاک‌های ریزبافت است، اما گزارشاتی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد در خاک‌های درشت بافت با ماده آلی ناچیز، به علت پایداری کم خاکدانه‌ها در آب و متلاشی شدن آنها طی آبیاری‌های متوالی، منافذ خاک مسدود گردیده و در نتیجه نفوذ آب به خاک کاهش می‌یابد (۲ و ۸). براساس گزارش بائور و بلک (۹) در اثر افزودن کربن آلی به خاک، رطوبت FC نسبت به PWP بیشتر افزایش یافته و منجر به افزایش ظرفیت آب قابل استفاده می‌گردد. نیامانگارا و همکاران (۲۷) گزارش کردند که در اثر اضافه کردن ۳۷/۵ تن در هکتار کود دامی به یک خاک شنی، پایداری خاکدانه‌ها در آب و ظرفیت نگهداری آب در فاصله مکش‌های ۵ تا ۲۰ کیلوپاسکال (آب سهل‌الوصول) به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین مواد آلی با افزایش کربن آلی خاک باعث افزایش فعالیت موجودات زنده به خصوص کرم‌های خاکی شده و در نتیجه باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود (۴). نتایج مطالعات برخی محققان مانند کای و وندن بایگارت (۲۰) و تجادا و گنزالز (۳۹)

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب استادیار و دانش آموختگان کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mdalalian@iaut.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.72579

نشان می‌دهد که با کاربرد مواد آلی جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. این پژوهشگران دریافتند که ماده آلی به عنوان عامل سیمانی کننده عمل کرده و در هم آوری ذرات برای تشکیل خاکدانه های مقاوم ضروری است.

مواد آلی را می‌توان در شکل‌های مختلفی به خاک اضافه نمود، اما تأثیر هر یک بر روی خصوصیات فیزیکی خاک متفاوت خواهد بود. هومات پتاسیم نمکی پتاسیمی از اسید هیومیک است. اسید هیومیک و نمک‌های آن از منابع طبیعی مختلف مانند: خاک، هوموس، پیت، لیگنیت و ذغال سنگ استخراج می‌شود (۳۶). افزودن هومات پتاسیم، به طور معنی‌داری باعث افزایشMWD و پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های اسیدی و قلیایی می‌شود . این به دلیل ماهیت ماندگاری طولانی ساختمان شیمیایی آن است که آنها را نسبت به تخریب خاکدانه ها توسط میکروارگانیسم های خاک، مقاوم تر می‌کند (۱۹). چنی و سویفت (۱۲) نتیجه گرفتند که استفاده از اسید هومیک در دوره‌های بلندمدت باعث شکل‌گیری خاکدانه‌های پایدار می‌گردد. پر مرغ حاوی اکثر عناصر غذایی و کراتین می‌باشد که می‌تواند گزینه مناسبی برای اصلاح خاک هم از نظر شیمیایی و هم از نظر فیزیکی باشد (۳۸). پرمرغ به آسانی از طریق مرغداری‌ها و کشتارگاه‌ها قابل دسترس و ماده‌ای بسیار ارزان می‌باشد. متأسفانه مقادیر قابل توجهی از این محصول با سوزاندن یا دفن کردن از بین می‌رود. لذا در صورت تأثیر مثبت بر روی خصوصیات فیزیکی خاک می‌تواند به صورت انبوه در مزارع به عنوان کود دامی مورد استفاده قرار گیرد. مصرف پیوسته پرمرغ در دراز مدت نه تنها به طرق مختلف بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر مثبت دارد بلکه تخلخل خاک را نیز به حد مطلوبی می‌رساند (۳۴). ورمی‌کمپوست متشکل از ورمی (کرم خاکی) و کمپوست (کود آلی) به معنای نوعی کود آلی است که از فعالیت کرم خاکی و عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدگی از دستگاه گوارش گونه‌هایی از کرم‌های خاکی و دفع این مواد از بدن کرم ، حاصل می‌شود (۲۳). این کود کاملا ارگانیک، سازگار با محیط زیست، دارای قدرت جذب آب بالا، دارای ارزش غذایی زیاد، نوعی آفت کش بیولوژیکی، فاقد هر نوع آلودگی و یا بیماری برای انسان می‌باشد. وجود خلل و فرج فراوان در این کمپوست موجب پوک شدن خاک، افزایش ظرفیت تهویه، زهکشی و نگهداری آب در خاک می‌گردد (۶). آزرمی و همکاران (۷) تأثیر ورمی‌کمپوست بر روی خصوصیات فیزیکی خاک را مطالعه کردند. نتایج نشان دهنده افزایش تخلخل کل و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک بود. با توجه به اینکه تاکنون تأثیر ماده آلی پرمرغ بر روی خصوصیات مختلف خاک مورد بررسی قرار نگرفته و با عنایت به اینکه بیشتر خاک‌های زراعی با مشکل ساختمان مواجه هستند، فلذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر اضافه کردن مواد اصلاح کننده پر مرغ و مقایسه آن با هومات پتاسیم و ورمی‌کمپوست با درصدهای متفاوت وزنی و در شرایط رطوبتی مختلف خاک بر روی بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت کشت گندم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

جهت انجام تحقیق، قطعه زمینی به مساحت ۵۰۰ متر مربع از اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی واقع در طول جغرافیایی E "۳۵,۰۱ ` ۵۸ $^{o}$۳۷ و عرض جغرافیایی N "۵۱,۳۶ ` ۲ ^{o}۴۶ و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا واقع در منطقهٔ خسروشهر انتخاب گردید. این منطقه جزء مناطق نیمه خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد می‌باشد. میانگین حداکثر درجه حرارت در ماه‌های تیر–مرداد (July)$^{\circ}$C ۳۲/۳ و میانگین حداقل درجه حرارت در ماه‌های دی–بهمن (January) $^{\circ}$C ۳/۳- و مقدار بارندگی سالانه آن حدود ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. اجرای آزمایش از اواخر فروردین ماه سال ۱۳۹۵ (19 April- 2016) آغاز و تا شهریور ماه همان سال (22 July- 2016) ادامه پیدا کرد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک، اقدام به تهیه نمونه‌های بهم نخورده و همچنین نمونه‌های مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری از خاک محل گردید.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۷ تیمار در ۳ تکرار اجراء شد. فاکتور اول شامل سه نوع ماده آلی (هومات پتاسیم، ورمی‌کمپوست و پر مرغ)، فاکتور دوم شامل سه سطح مقدار ماده آلی(۰٪، ۲/۵٪ و ۵٪ وزنی) و فاکتور سوم شامل سه سطح رطوبتی (FC ۰/۵، FC ۰/۷ و FC ۰/۹) بود. جهت آماده سازی، زمین مورد نظر شخم زده و سپس دیسک زده شد. سپس زمین مورد نظر به تعداد ۸۱ عدد کرت (۲۷ تیمار در۳ تکرار) به ابعاد ۱×۱ متر کادر بندی گردید. به منظور جلوگیری از تداخل آب کرت‌ها با یکدیگر، بین آنها یک متر فاصله در نظرگرفته شد. پس از آماده شدن کرت‌ها، مواد آلی هر یک با مقادیر مذکور با خاک کرت‌های مربوطه تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک به طور یکنواخت مخلوط گردید. برای کشت، از بذر گندم بهاره (رقم شیرودی) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. کشت به صورت ردیفی، ردیف‌های محصور با کرت‌ها با دست انجام گرفت. کود براساس آزمون خاک و توصیه‌های منطقه‌ای به فرمول کودی $N_{120}P_{80}K_{80}$ اعمال شد. نیمی از کود ازته هنگام کشت و نیم دیگر آن به هنگام ساقه‌رفتن به صورت سرک مصرف گردید. پس از کشت، کلیه تیمارها یک نوبت به طور یکنواخت تا عمق یک متری بر اساس رطوبت موجود در خاک به هنگام آبیاری و تا رسیدن به رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری شد. کنترل رطوبت خاک کرت‌ها در طول دوره تحقیق به صورت وزنی و همچنین با استفاده از تانسیومتر انجام گردید. پس از برداشت محصول، جهت تعیین میزان محصول (کاه و دانه) به آزمایشگاه

منتقل گردید. همچنین به منظور ارزیابی تغییرات برخـی خصوصـیات فیزیکی خاک، از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری کلیـه تیمارهـا، نمونـه های بهم نخورده از خاک تهیه گردید.

پارامترهای فیزیکی شامل: جرم مخصوص ظاهری خاک (Bd) با استفاده از استوانک‌های مخصوص با قطر ۷/۶ و ارتفاع ۴/۲ سانتی‌متر، رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، پایـداری خاکدانـه‌هـای مرطـوب (WAS) به روش کمپر و روسنا (۲۳)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_S) به روش مزرعه‌ای تک حلقه رینولدز اندازه‌گیری شد (۳۰). بـه منظـور تعیین مقاومت خاک (PR)[1]، شاخص مخـروط بـا اسـتفاده از دسـتگاه فروسنج[2] الکترونیکی با مخروط استاندارد به زاویـهٔ رأس ۶۰ درجـه و قطر اسمی ۱۱/۲۸ میلی‌متر (سطح مخروط یـک سـانتی‌متـر مربـع) و سرعت نفوذ دستی بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه تعیـین گردیـد (۵). بـا توجه به رابطهٔ مستقیم کمیـت شـاخص مخـروط بـا رطوبـت خـاک، همزمان با اندازه‌گیری این کمیت، رطوبت خاک نیز اندازه‌گیـری شـد. مقدار رطوبت هنگام اندازه‌گیری مقاومت خاک ۲۲٪ وزنی بود.

برای بدست آوردن شیب منحنی رطوبتی در نقطـه عطـف[3] (S_i) داده‌های منحنی رطـوبتی خـاک (مکـش‌هـای ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوپاسکال) به نرم افزار RETC وارد و پـس از تخمـین پارامترهـای معادله ونگنوختن (۴۲)، S_i از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$S_i = -n(\theta_s - \theta_r)[1+\frac{1}{m}]^{-(1+m)} \qquad (۱)$$

در معادله فوق θ_s و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع و باقیمانده ($cm^3.cm^{-3}$)، m و n پارامترهـای تجربـی هسـتند. بـرای محاسـبه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) ابتدا خاک هوا خشک از الـک ۶/۳۵ میلی‌متر عبور داده شده و مقدار ۲۰۰ گرم از این خاک در سری الک‌ها با شماره‌های ۴، ۶، ۱۰، ۱۶، ۳۰ و ۷۰ با قطر منافذ بـه ترتیـب ۴/۷۶، ۳/۳۶، ۲، ۱/۲۰، ۰/۵۹۵ و ۰/۲۱ میلـی‌متـر ریختـه شـد و در دستگاه شیکر به مدت ۵ دقیقه در حالت خشک غربال گردید، سـپس MWD از رابطه ۲ (۲۱) محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{n}^{i=1} X_i W_i \qquad (۲)$$

که در آن، X_i متوسط قطر روزنه‌های دو غربال متـوالی (الـک i ام و i-1 ام) بر حسب میلی‌متر و W_i نسبت وزنی خاکدانه‌هـای باقیمانـده در غربال i ام به وزن کل خاکدانه‌هاست. برای تعیـین بعـد فراکتـالی جرمی[4] (D_m) خاکدانه‌هـا، از مـدل بیـرد و همکـاران (۱۰) (رابطـه ۳) استفاده شد.

$$M_S(d \le d_i) = c d_i^{3-D_m} \qquad (۳)$$

در رابطه ۳، $M_S(d\le d_i)$ جرم تجمعی خاکدانه‌ها با قطر کوچکتر از d_i و c ثابت است. $3-D_m$ برای هر نمونه خاک برابر است با شیب خط رگرسیون رسم شده بـین $\log M_S(d\le d_i)$ در محـور Y و $\log (d_i)$ در محور X.

تجزیه‌های آماری از طریق به کارگیری نرم‌افزار SPSS، مقایسـه میانگین‌ها با آزمون دانکن و رسـم نمودارهـا بـا نـرم‌افـزار EXCEL صورت گرفت.

نتایج و بحث

برخی از خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده اسـت. نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف (مقـدار ماده آلی، نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی) بر روی خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در خاک در جدول ۲ آمده است.

همانطور که از نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) بر می‌آیـد، در صفت جرم مخصوص ظاهری خاک (Bd)، اثرات اصلی نـوع مـاده آلی و مقدار ماده آلی هریک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر دوگانه نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی در سـطح احتمـال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر دوگانه نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی (شـکل ۱) نشـان داد کمتـرین مقـدار Bd در تیمـار پرمرغ در تمـام سـطوح رطـوبتی و تیمـار ورمـی‌کمپوسـت در سـطح رطوبتی ۰/۹FC بود ($1/31 gr.cm^{-3}$). نتایج نشان دهندهٔ تـأثیر مثبـت پرمرغ و ورمی‌کمپوست در سطح رطوبتی نزدیک به ظرفیـت زراعـی (۰/۹FC و ۰/۷ FC) در کـاهش Bd خـاک اسـت. همچنـین مقایسـه میانگین اثر اصلی مقدار ماده آلی (شکل۲) نشان داد با افزایش میـزان مصرف مواد آلی ، Bd کاهش می یابد. بطوریکه کمتـرین مقـدار Bd ($1/25\ gr.\ cm^{-3}$) در تیمار ۵ درصد وزنی ماده آلی می‌باشـد. تجـادا و گنزالز (۴۰) نتیجه گرفتند که مصرف هر چهار نوع کود آلی (کمپوست ضایعات‌پنبه، کمپوست ضایعات‌زیتون، لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری) موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. میرزایی تالارپشتی و همکاران (۲۶) نیز کاهش ۱۴ درصدی جـرم مخصـوص ظاهری خاک را در اثر مصرف کود ورمی کمپوسـت گـزارش نمودنـد. پرمرغ بعلت دارابودن درصد بالایی از کـراتین (۹۱ درصـد) و تخلخـل بالا، دارای خواص مکانیکی عالی و مقاوم در برابر تخریـب فیزیکـی- شیمیایی محیط است. بعبارتی در داخل خاک به آرامی تجزیه شـده و اثر خود را بر خاک تحمیل می کنـد. از طرفـی خصوصـیات بافـت آن موجب تأثیر بیشتر این ماده بر روی بهبود خصوصیات فیزیکـی خـاک های سنگین خواهد بود. فلـذا در داخـل خـاک موجـب ایجـاد منافـذ درشت‌تر شده، درنتیجه وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابـد. ورمی کمپوست که دارای خلل و فرج فراوانی اسـت، از طـرف دیگـر ایجاد خاکدانه‌سازی در خاک را افزایش داده که ایـن عوامـل موجـب کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (۳۳).

1- Penetration Resistance
2- Penetrometer
3- Retention curve slope at inflection point
4- Mass-size Fractal Dimension

جدول ۱- برخی خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1- Chemical and physical properties of the studied soil

عمق Depth (cm)	EC_e (dS/m)	pH	SAR	Bd ($gr.cm^{-3}$)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	کلاس بافت خاک Soil texture	PWP (%)	FC (%)
0-30	5.20	7.90	7.11	1.35	23	25	52	لوم رسی شنی	۱۱/۲۲	۲۴/۰۰

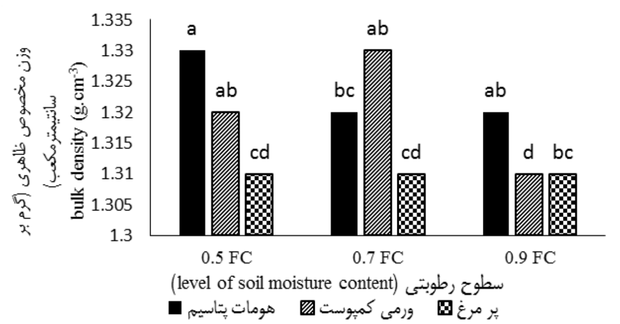
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص های اندازه‌گیری شده در خاک

Table 2- The variance analysis of different treatments on measured parameters of studied soil

منابع تغییر Sources	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares								
		Bd	FC	PWP	K_s	WAS	PR	S_i	MWD	D_m
بلوک	2	$^{**}0.002$	$^{ns}0.222$	$^{ns}0.351$	$^{*}0.009$	$^{ns}0.007$	$^{*}0.047$	$^{ns}0.000$	$^{ns}0.007$	$^{ns}0.003$
نوع ماده آلی	2	$^{**}0.001$	$^{**}2.834$	$^{ns}0.353$	$^{**}0.039$	$^{**}1.983$	$^{**}0.263$	$^{**}0.006$	$^{ns}0.132$	$^{*}0.116$
مقدار ماده آلی	2	$^{**}0.137$	$^{**}55.748$	$^{**}0.378$	$^{**}21.738$	$^{**}31.604$	$^{**}1.004$	$^{**}0.002$	$^{*}0.137$	$^{ns}0.078$
سطوح رطوبتی	2	$^{ns}0.000$	$^{**}1.157$	$^{ns}0.479$	$^{**}0.510$	$^{**}3.421$	$^{**}0.086$	$^{**}0.004$	$^{ns}0.085$	$^{**}0.205$
نوع ماده آلی × مقدار ماده آلی	4	$^{ns}0.000$	$^{**}0.971$	$^{ns}0.308$	$^{**}0.040$	$^{**}0.427$	$^{*}0.032$	^{ns} 0.00	$^{*}0.107$	$^{ns}0.036$
نوع ماده آلی × سطوح رطوبتی	4	$^{**}0.001$	$^{*}0.436$	$^{ns}0.064$	$^{*}0.005$	$^{**}0.082$	$^{ns}0.006$	$^{**}0.001$	$^{**}0.193$	$^{**}0.152$
مقدار ماده آلی × سطوح رطوبتی	4	$^{ns}0.000$	$^{ns}0.228$	$^{ns}0.163$	$^{**}0.121$	$^{**}0.355$	$^{ns}0.021$	$^{ns}0.00$	$^{ns}0.080$	$^{**}0.172$
نوع ماده آلی × مقدار ماده آلی× سطوح رطوبتی	8	$^{ns}0.000$	$^{ns}0.111$	$^{ns}0.258$	$^{**}0.130$	$^{**}0.221$	$^{ns}0.001$	^{ns} 0.00	$^{**}0.114$	$^{**}0.121$
اشتباه آزمایشی	52	0.000	0.150	0.240	0.002	0.015	0.001	0.00	0.037	0.032
ضریب تغییرات (درصد)		0.995	1.518	4.268	2.557	3.156	13.848	0.99	15.63	4.44

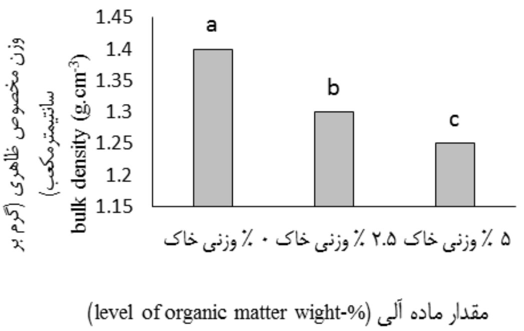
ns, *, ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

**, *, ns are significant (P<0.01), (P<0.05) and non-significant respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی بر روی Bd

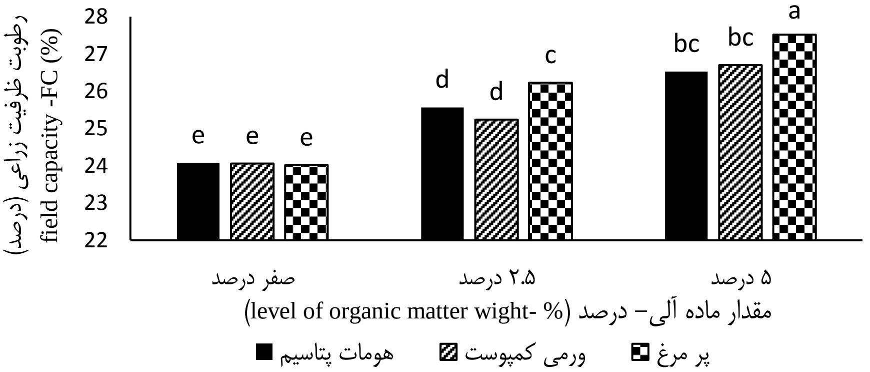
Figure 1- Mean comparison of interaction effect of the type of organic matter and the level of soil moisture content on Bd



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار ماده آلی بر روی Bd

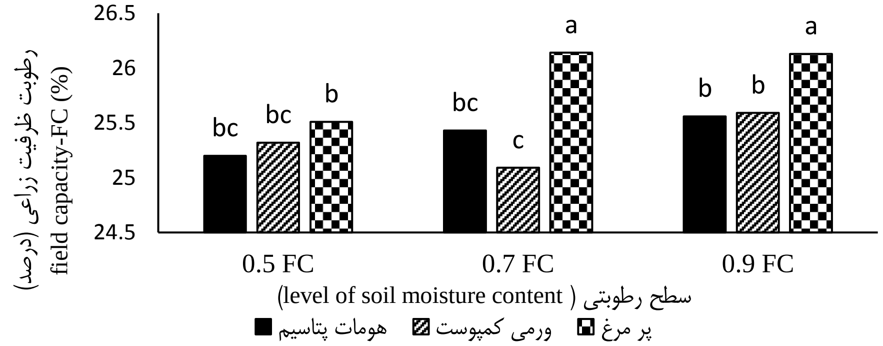
Figure 2- Mean comparison of main effect of the level of organic matter weight on Bd

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) در صفت رطوبت حد ظرفیت زراعی (FC)، اثرات اصلی نوع ماده آلی، مقدار ماده آلـی و سطوح رطوبتی هریک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بـود. اثـر متقابل دوگانه نوع ماده آلی و مقدار ماده آلی در سـطح احتمـال یـک درصد و اثر متقابل دوگانه نوع ماده آلی و سـطوح رطـوبتی در سـطح احتمال پنج درصد نیز معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه نوع ماده آلی و مقدار ماده آلی (شکل ۳) نشان داد بیشترین مقدار FC (FC= ۲۷/۵۲ %) در تیمار ۵٪ وزنی پرمرغ و کمتـرین آن (FC= ۲۴/۰۸%) در تیمارهای بدون مصرف مواد آلی (شـاهد) بـود. ایـن نتیجـه نشانگر اثر مثبت مصرف پر مرغ بر روی افـزایش FC اسـت. مقایسـه میانگین اثر متقابل دوگانه نوع ماده آلی و سطوح رطـوبتی (شـکل ۴) نشان داد که بیشترین مقدار FC (FC= ۲۶/۱۴%) در تیمار پرمـرغ در سطوح رطوبتی ۰/۹FC و ۰/۷ FC بود که نشان‌دهنده این اسـت کـه ماده آلی پر مرغ در سطوح بالای رطوبتی تأثیر بیشتری بر روی



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دوجانبه (نوع ماده آلی × مقدار ماده آلی) بر FC خاک

Figure 3- Mean comparison of interaction effect of the type of organic matter and the level of organic matter weight on FC



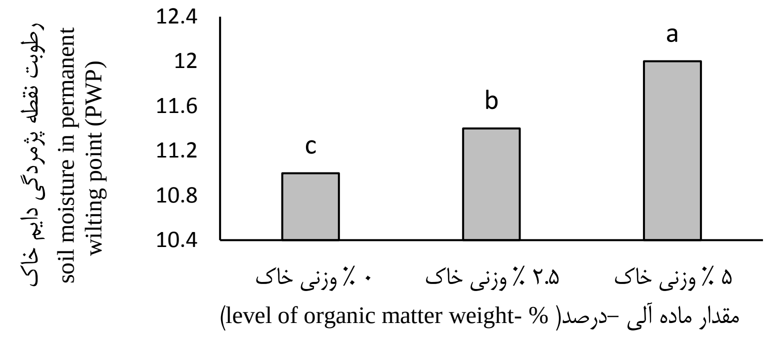
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل دوجانبه (نوع ماده آلی × سطوح رطوبتی) بر FC خاک

Figure 4- Mean comparison of interaction effect of the type of organic matter and the level of soil moisture content on FC

افزایش FC خاک دارد. همانطور که در بخش قبلی توضیح داده شد، پر مرغ بعلت ساختار کراتینه خود، مانند اسفنج عمل کرده و موجب افزایش تخلخل خاک و در نتیجه جذب رطوبت بیشتر، در نتیجه موجب افزایش ظرفیت زراعی (FC) خاک می‌گردد (۳۴). براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت رطوبت نقطه پژمردگی دائم خاک (PWP)، تنها اثر اصلی مقدار ماده آلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین (شکل ۵) اثر مقدار ماده آلی نشان داد بیشترین مقدار PWP در سطح ۵ درصد ماده آلی و کمترین مقدار آن در سطح صفر درصد بود. این نتیجه حاکی از آنست که با افزایش میزان ماده آلی، PWP خاک افزایش یافت. در واقع با افزایش میزان ماده آلی در خاک، خاکدانه سازی و در پی آن تخلخل خاک افزایش یافته و در نتیجه میزان PWP خاک افزایش می‌یابد. همانطور که از نتایج جدول تجزیه واریانس بدست می‌آید، نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی تأثیری بر روی PWP خاک نداشت.

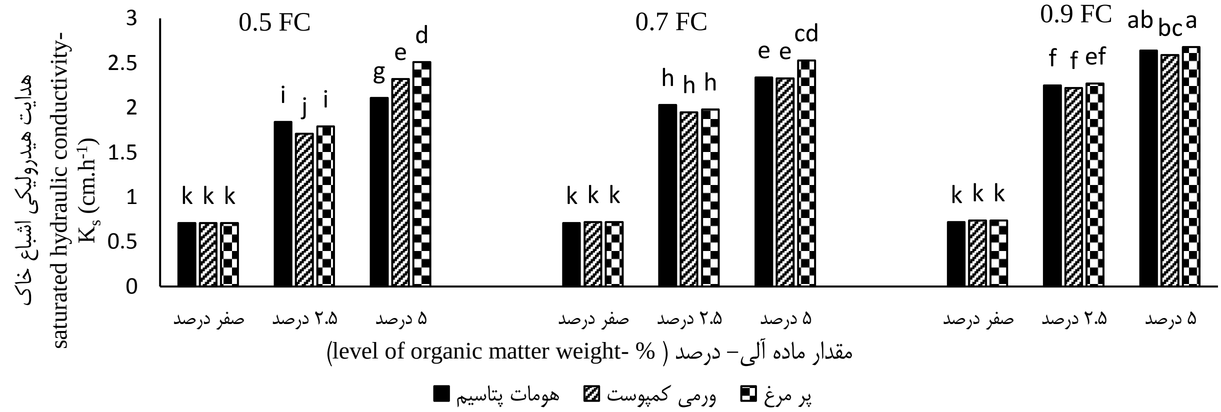
امرسون (۱۵) در تحقیقی نتیجه گرفت که با افزایش میزان ماده آلی، مقدار رطوبت در نقطه FC و PWP افزایش می‌یابد. بایور و بلک (۹) و بویوکاس (۱۱) نیز گزارش نمودند که افزایش رطوبت FC و PWP در اثر افزودن مواد آلی، در خاک‌های درشت‌بافت بیشتر از خاک‌های ریزبافت می‌باشد.

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s)، اثرات اصلی نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی هر یک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دوگانه نوع ماده آلی با مقدار ماده آلی، مقدار ماده آلی با سطوح رطوبتی هر یک در سطح احتمال یک درصد و نوع ماده آلی با سطوح رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل سه‌گانه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار ماده آلی بر رطوبت نقطه پژمردگی خاک

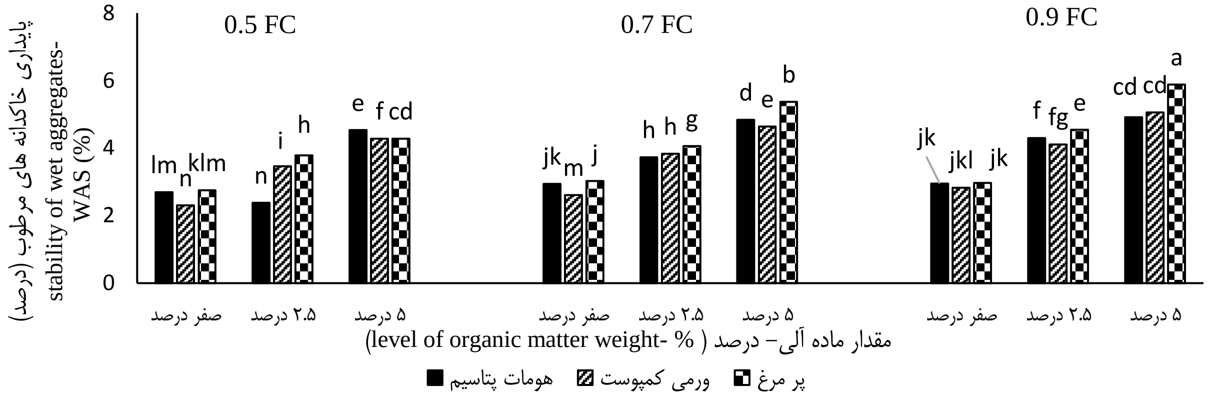
Figure 5-Mean comparison of main effect of the level of organic matter weight on PWP



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s)

Figure 6- Mean comparison of interactive effect of the type of organic matter, the level of organic matter weight and the level of soil moisture content on soil saturated hydraulic conductivity (K_s)

مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی (شکل ۶) نشان داد که بیشترین مقدار K_s، در تیمارهای ۵ درصد وزنی پرمرغ و هومات پتاسیم هرکدام در سطح رطوبتی FC ۰/۹ (۲/۶۸ cm.h^{-1} و ۲/۶۴ به ترتیب) و کمترین مقادیر آن (۰/۷۱ cm.h^{-1}) در تیمارهای بدون مصرف مواد آلی (صفر درصد وزنی) در تمام سطوح رطوبتی بود. بنابراین نتایج نشانگر تأثیر مثبت پرمرغ و هومات پتاسیم با درصد وزنی بالا و سطح رطوبتی FC ۰/۹ بر روی افزایش K_s خاک است. پر مرغ به دلیل بافت کراتینه و فیبری که دارد، موجب ایجاد منافذ درشت، افزایش تخلخل و کاهش تراکم خاک گردیده، در نتیجه هدایت هیدرولیکی افزایش می‌یابد. هومات پتاسیم نیز به دلیل خاصیت چسبندگی که دارد، با اتصال ذرات خاک و افزایش خاکدانه‌سازی و به تبع آن بهبود ساختمان خاک، موجب افزایش K_s گردیده است. سرباز رشید و همکاران (۳۲) نیز تأثیر مثبت پرمرغ و هومات پتاسیم بر روی افزایش K_s خاک را گزارش نمودند. محققین مختلف افزایش K_s خاک را در اثر اضافه کردن کودهای دامی گزارش کرده‌اند (۳۶، ۴ و ۳۲). براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت پایداری مرطوب خاکدانه‌ها (WAS) اثرات اصلی و متقابل تمام تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی (شکل ۷) نشان داد بیشترین مقدار WAS در تیمار ۵ درصد وزنی پرمرغ در سطح رطوبتی FC ۰/۹ و کمترین آن در تیمارهای بدون مصرف ماده آلی در تمام سطوح رطوبتی بود. این نتیجه بیانگر آنست که با افزایش میزان مصرف ماده آلی و همچنین افزایش سطح رطوبتی، درصد پایداری خاکدانه‌ها در هر سه نوع ماده آلی افزایش یافته است، که در ماده آلی پرمرغ این افزایش بیشتر بوده است. این مسئله را می‌توان به افزایش تخلخل در اثر استفاده از ماده آلی پرمرغ و حرکت مطلوب آب و هوا در خاک نسبت داد. افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌های مرطوب در اثر اضافه کردن مواد آلی به خاک توسط محققین مختلف (۲۷، ۳۸ و ۲۸) گزارش شده است، اما در این راستا نوع خاک، نوع ماده آلی، عوامل پیوندی و ... نیز تأثیرگذار است (۲۸).

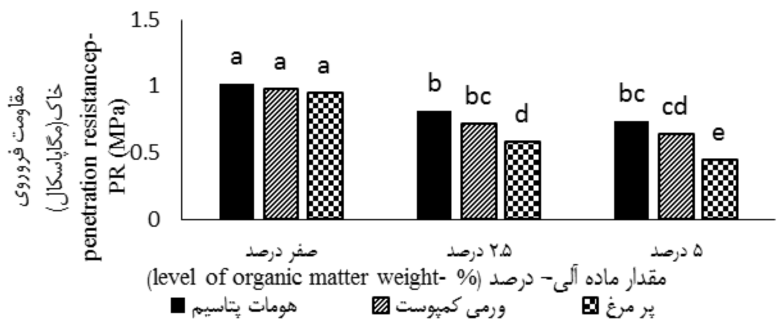


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر سه جانبه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی بر WAS

Figure 7- Mean comparison of interactive effect of the type of organic matter, the level of organic matter weight and the level of soil moisture content on stability of wet aggregates (WAS)

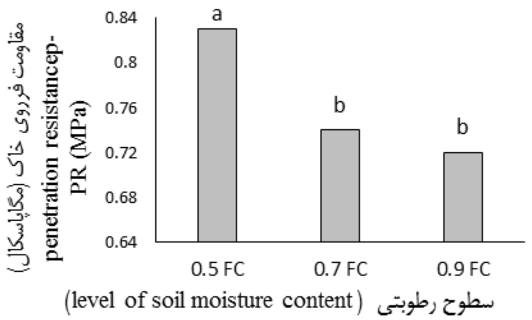
براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت مقاومت فروروی خاک (PR) اثرات اصلی نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دوگانه نوع و مقدار ماده آلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه نوع و مقدار ماده آلی (شکل ۸) بر روی PR خاک نشان داد که تیمارهای بدون مصرف ماده آلی بیشترین مقاومت را در مقابل فروروی نشان داده و تیمار ۵ درصد وزنی پرمرغ کمترین مقاومت را در مقابل فروروی داشته است، که نشانگر تأثیر مثبت استفاده از مواد آلی بخصوص پرمرغ بر کاهش مقدار PR خاک است. پرمرغ بعلت کراتینه بودن و ایجاد تخلخل در خاک، موجب بهبود خواص مکانیکی خاک، من‌جمله کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و به تبع آن کاهش مقاومت در برابر نفوذسنج می‌گردد (۳۴). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح رطوبتی (شکل ۹) نشان داد که کمترین PR خاک در تیمار رطوبتی ۰/۹ FC بوده است، که نشانگر تأثیر مثبت آبیاری سبک با تعداد دفعات بیشتر آبیاری بر کاهش PR خاک است. نگهداری رطوبت مزرعه نزدیک به FC باعث افزایش فعالیت میکروبی و در نتیجه افزایش کارآیی ماده آلی در افزایش تهویه و خاکدانه‌سازی و در نتیجه افزایش حالت الاستیسیته خاک و کاهش مقاومت فروروی آن می گردد. تأثیر مثبت افزودن مواد آلی در کاهش مقاومت فروروی خاک توسط محققین مختلف (۱ و ۲۹) گزارش شده است. اما این تأثیر بویژه در خاک‌های رسی که عملیات کشاورزی در آن‌ها در رطوبت-های زیاد و کم مشکل است، باعث سهولت مدیریت خاک می‌گردد (۲۹).

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) در خصوص شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_i) اثر متقابل نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی و اثر اصلی مقدار ماده آلی هریک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی (شکل ۱۰) نشان داد که با افزایش سطوح رطوبتی، مقادیر قدر مطلق S_i (اعداد شیب منحنی رطوبتی منفی می باشد، جهت رسم نمودار از مقادیر قدر مطلق استفاده شده است) افزایش می‌یابد، در واقع مقادیر S_i کاهش یافته است.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل دو جانبه نوع ماده آلی و مقدار ماده آلی بر شاخص PR خاک

Figure 8- Mean comparison of interaction effect of the type of organic matter and the level of organic matter weight on PR

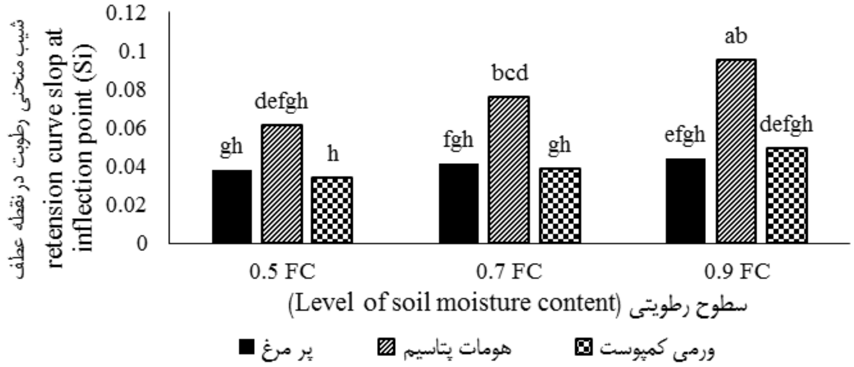


شکل ۹- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح رطوبتی بر شاخص PR خاک

Figure 9- Mean comparison of main effect of the level of soil moisture content on PR

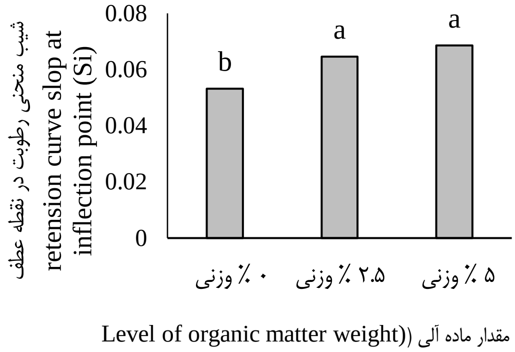
از طرفی در ماده آلی هومات پتاسیم، این تغییرات بیشتر به چشم می‌آید. هومات پتاسیم بعلت افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک موجب کاهش مقادیر S_i شده است. مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار ماده آلی (شکل ۱۱) نشان داد که با افزایش مقدار ماده آلی، میزان S_i کاهش می یابد. لازم به ذکر است که هر چه S_i خاکی کمتر باشد، آن خاک از لحاظ فیزیکی در شرایط بهتری قرار دارد. مقادیر میانگین S_i بدست آمده از ۲۷ تیمار مورد آزمایش در محدوده ۰/۰۳۴ تا ۰/۱۱۴۵ بود که بر اساس طبقه‌بندی دکستر (۱۳) که کلاس‌های $S_i<$ ۰/۰۲ خیلی ضعیف، S_i بین۰/۰۲ تا ۰/۰۳۵ ضعیف و $S_i>$ ۰/۰۳۵ خوب را برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک‌ها پیشنهاد کرد، خاک مورد آزمایش پس از اعمال تیمارها (اضافه کردن مواد آلی) در محدوده کلاس خوب قرار گرفته است. امامی و همکاران (۱۴) نتیجه گرفتند که بین S_i با بعضی از ویژگی‌های زود یافت خاک مانند درصد ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، درصد رطوبت اشباع و درصد سیلت در خاک‌های غیر شور، شور و شور سدیمی همبستگی معنی‌دار مثبت و بین S_i با نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد شن و وزن مخصوص ظاهری همبستگی معنی‌دار منفی وجود دارد. در واقع با افزایش جرم مخصوص ظاهری میزان تخلخل میکرو و بافتی افزایش یافته و در نتیجه S_i کاهش می‌یابد.

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) اثر اصلی مقدار ماده آلی در سطح احتمال ۵ درصد، اثر دوگانه نوع ماده آلی و مقدار ماده آلی در سطح احتمال ۵ درصد، اثر دوگانه نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سه‌گانه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌گانه نشان داد که بیشترین مقدار MWD در تیمار شاهد هومات پتاسیم و رطوبت ۰/۵FC و کمترین مقدار آن در تیمار پر مرغ ۵ درصد وزنی و رطوبت ۰/۵FC حاصل شد. بر خلاف انتظار با افزایش میزان مصرف ماده آلی، MWD کاهش یافته است. مواد آلی با اتصال ذرات خاک و خاکدانه‌سازی، خاکدانه‌های بزرگتری را تشکیل داده و این امر موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌گردد (۲۵). لی و شائو (۲۴) در تحقیقی نشان دادند که استفاده از کودهای حیوانی به طور معنی‌داری، MWD را افزایش می‌دهد، اما استفاده از بقایای گیاهی در ابتدا باعث کاهش MWD گردید، اما با گذشت زمان MWD افزایش یافت. در این تحقیق نیز به علت اینکه پس از چند ماه اضافه کردن مواد آلی به خاک، تأثیر آن‌ها بر روی خاک بررسی شده است، این نتیجه حاصل گردیده است.



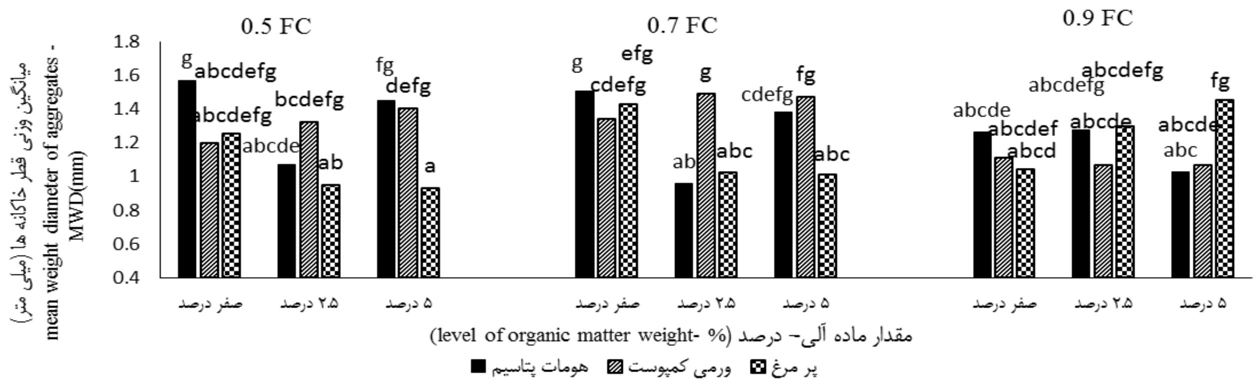
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی بر روی S_i

Figure 10- Mean comparison of interaction effect of the type of organic matter and the level of soil moisture content on S_i



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار ماده آلی بر روی S_i

Figure 11- Mean comparison of main effect of the Level of ograinc matter weight on S_i

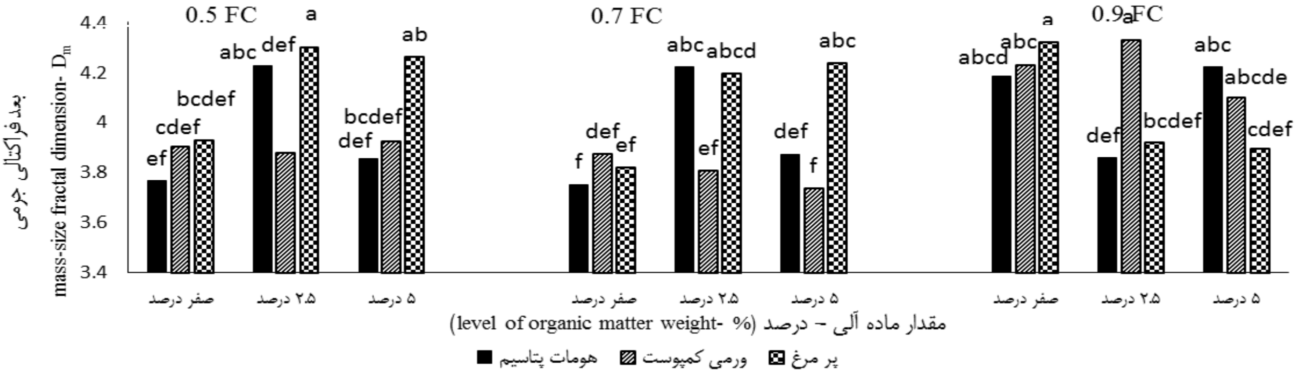


شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی خاک برروی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)

Figure 12- Mean comparison of interactive effect of the type of organic matter, the level of organic matter weight and the level of soil moisture content on MWD

در واقع مواد آلی فرصت کافی برای تجزیه و تأثیرگذاری بر روی خاکدانه‌های خاک را نداشته‌اند. از طرفی همانطور که گفته شد پرمرغ به علت ساختار کراتینه خود، دارای پایداری حرارتی بالا و مقاوم در برابر تخریب‌های فیزیکی- شیمیایی محیط می‌باشد، در نتیجه تأثیر آن بر روی خاک نیازمند زمان طولانی‌تر می‌باشد. ایمبوفه و همکاران (۱۸ و ۱۹) گزارش نمودند که کاربرد هومات پتاسیم باعث بهبودی پایداری خاکدانه‌ها گردیده و MWD را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت بعد فراکتالی جرمی (D_m) اثرات اصلی نوع ماده آلی در سطح احتمال پنج درصد، سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد و اثر دوگانه نوع ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطوح احتمال یک درصد، اثر مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌گانه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌گانه نشان داد که در رطوبت‌های پایین (۰/۵FC و ۰/۷FC) با افزایش درصد وزنی ماده آلی اضافه شده (بخصوص پرمرغ)، بر خلاف انتظار مقادیر D_m افزایش یافته است، اما در رطوبت‌های بالا (۰/۹FC) با افزایش درصد وزنی ماده آلی، مقادیر D_m کاهش یافته است. در واقع پر مرغ بعلت خاصیت کراتینه و دیر تجزیه‌پذیر بودن آن، جهت تأثیر بر روی خصوصیات فیزیکی خاک بخصوص خاکدانه‌ها، نیازمند زمان طولانی تر و رطوبت‌های نزدیک ظرفیت مزرعه‌ای می‌باشد. در مورد هومات پتاسیم، تقریباً در تمام سطوح رطوبتی و در ۲/۵ درصد وزنی ماده آلی، مقادیر D_m کاهش یافته است. لازم به یادآوری است که هرچه D_m کمتر باشد، پایداری خاکدانه‌ها بیشتر است.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر سه جانبه نوع ماده آلی، مقدار ماده آلی و سطوح رطوبتی خاک بر روی بعد فراکتالی جرمی (Dm)

Figure 13- Mean comparison of interactive effect of the type of organic matter, the level of organic matter weight and the level of soil moisture content on Dm

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر سه نوع ماده اصلاحی از جمله پر مرغ، ورمی‌کمپوست و هومات پتاسیم بر روی خصوصیات فیزیکی خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مصرف مواد آلی موجب کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (۸۹٪)، افزایش حد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک (۸۷٪ ، ۹۱٪)، افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌های مرطوب (۳/۷ و ۲/۵ برابر) گردید. بعبارت دیگر موجب بهبود شرایط فیزیکی خاک گردیده است. با افزایش سطوح رطوبتی و مقدار ماده آلی اضافه شده، میزان S_i کاهش یافت. (۱۰۱٪) از بین مواد آلی مصرفی، هوامت پتاسیم تأثیر بیشتری بر روی کاهش S_i داشت. مقاومت فروروی خاک نیز با افزایش سطوح رطوبتی کاهش یافت. بر خلاف تصور با افزایش میزان مصرف ماده آلی، MWD کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در رطوبت‌های پایین، بر خلاف انتظار با افزایش ماده آلی اضافه شده، D_m افزایش یافته است، اما در رطوبت های بالا با افزایش ماده آلی، مقادیر D_m کاهش یافته است. بنابراین در زمان‌های طولانی‌تر و در رطوبت‌های بالا بایستی انتظار داشت تا اضافه کردن مواد آلی موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها گردد. با توجه به تأثیر مثبت مواد آلی بخصوص پرمرغ بر بسیاری از پارامترهای فیزیکی خاک، این ماده برای اصلاح و حاصلخیزی خاک منطقه پیشنهاد می‌گردد. برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد که تأثیر پر مرغ، هومات پتاسیم و ورمی‌کمپوست بر روی خصوصیات شیمیایی خاک و همچنین در خاک‌هایی با بافت مختلف مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

1- Aggelides S.M., and Londra P.A. 2000. Effects of compost produced from town wasted and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. Bioresource Technology 71: 253-259.
2- Ajwa H.A., and Trout T.J. 2006. Polyacrylamid and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. Soil Science Society. American Journal 70:643-650.
3- Allison F.E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevir. Newyork.
4- Arriaga F.J., and Lowery B. 2003. Soil physical properties and crop productivity of an eroded soil amended with cattle manure. Soil Science. Copyright @ by Lippincott Williams. Inc.0038-075X/03/16812:888-898.
5- ASAE standard S 313.2.1995. Soil cone penetrometer Agricultural Engineering Year Book. P 683.
6- Atiyeh R.M., Lee S., Edwards C.A., Aroncon N.Q., and Metzger J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earth worm processed organic wastes on plant growth. Bioresour. Technol. 84: 7-14.
7- Azarmi R., Torabi M., and Didar R. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato field. African Journal of Biothecnology 7: 2397-2401.
8- Bagarllo V., and Sgroi A. 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydrolic conductivity at the surface of a sandy loam soil. Soil Tillage Research 44: 283-294.
9- Bauer A., and Bluck A.L. 1992. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. Soil Science. American Journal 56: 248-254

10- Bird N.R.A., Perrier E., and Rieu M. 2000. The water retention function for a model of soil structure with pore and solid fractal distribution. Europ J Siol Sci. 51: 55-63.
11- Bouyoucos G.J. 1993. Effected of organic matter on waterholding capacity and the wilting point of mineral soils. Soil Science 47: 377-383.
12- Chaney K., and Swift R.S. 1986. Studies on aggregate stability: II. The effect on Humic substances on the stability of re-formed soil aggregates. Soil Science Journal 37: 337-343.
13- Dexter A.R. 2004. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory, Geoderma, 120:227-239.
14- Emami H. 2009. Determination of some hydraulic and mechanical properties using Soil Physical Quality Index (Si), Ph.D. Thesis, Department of Soil Science, Agricultural Faculty, Tehran University, Iran. (In Persian)
15- Emerson W.W. 1995. Water retention, organic carbon and soil texture. Australian Journal of soil Research 17: 45-56.
16- Grandy A.S., Porter G., and Erich M.S. 2002. Organic amendment and rotation crop effects on three covery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. Soil Science Society of American Journal 66: 1311-1314.
17- Hajabbasi M.A., and Hemmet A. 2000. Tillage impact on aggregate stability and crop productivity in a clay loam soil in central Iran. Soil and Tillage Research 56: 205-212.
18- Imbufe A.U., Patti A.F., Surapaneni A., and. Jackson W.R. 2004. Effects of brown coal derived materials on pH and electrical conductivity of an acidic vineyard soil. http:// www. Regional. Org. au.
19- Imbufe A.U., Patti A.F., Burrow D., Jackson W.R., and Milner A.D. 2005. Effects of potassium Humate on aggregate stability of two soils from Victoria. Australian Journal. Geoderma 125: 321-330.
20- Kay B.D., and Van Den Baygaurt A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil Tillage Research 66: 107-118.
21- Kemper W. D., and Chepil W.S. 1965. Size distribution of aggregates. Pp: 499-510. In Black CA (ed.) Methods of Soil Analysis. Part1, Physical and Mineralogical Properties. 1 st edition. ASA, Madison. WI.
22- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Size distribution of aggregates. In: Klute, A. Ed, Method of soil Analysis. Part 1, (2 ed.). Agron. Monogr. Vol 9. ASA-SSSA. Madison. WI.PP: 425-442.
23- Krishnamoorthy R.V., and Vajranabhaiah S.N. 1986. Biological activity of earthworm casts: an assessment of plant growth promotor leves in the casts. Proceeding of the India Acrlemy of Sciences (Animal Science) 95: 341-351.
24- Li Y.Y., and Shao M.A. 2006. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the loess plateau of china. Arid Environments 64: 77-96.
25- Mamedov A.I., Beckmann S., Huang C., and Levy G.J. 2007. Aggregate stability as affected by polyacrylamid molecular weight, soil textureand water quality. SSSA J. 71(6): 1909-1918.
26- Mirzaee Talarposhti R., Kambodia J., Sabahi H., and Mahdavi Damgani A. 2009. Effect of organic fertilizers on physicochemical properties of soil and production of tomato dry matter. Iranian Journal of Agricultural Research 7(1): 257-267. (In Persian with English abstract)
27- Nyamangara J., Gotosa J., and Mpofu S.E. 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. Soil Tillage Research 62: 157-162.
28- Neyshabouri M.R., Mirzajani M., and Oustan Sh. 2013. The effect of polyacrylamide and organic matter on three structural stability indexes in fine and medium soil texture with different wet and dry cycles, Journal of Water and Soil Science 22(4): 161-172. (In Persian with English abstract)
29- Ohu J.O., Ekwue E.I., and Folorunso D.A. 1994. The effect of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from northern Nigeria. Soil Technolgy 7: 155-162.
30- Reynolds W.D., Elrick D.E. 1990. Ponded infiltration from a single ring. I. Analysis of steady flow. Soil Science Society American Journal 54: 1233-1241.
31- Safadoost A., Mosaddeghi M.R., Mahboobi A.A., Nouroozi A., and Asadian G. 2007. Effect of short-term tillage and manure on structural properties of soil. J.sci.and Tech. Agriculture and Natural Resource41: 91-100 (In Persian).
32- Sarbazrashid S., Dalalian M.R., and Darbandi S. 2014. Effect of potassium humate and feather with leaching on physical and chemical specifications of saline-sodic soils, M.Sc. Thesis. Department of Soil Science, Agriculture College of Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (In Persian)
33- Sadegi S., Eslahi N., and Dadashian F. 2015. Recycling chicken feather fibers for the production of absorbent porous keratin foam. The 10th National Conference on Textile Industry of Iran, Isfahan, Faculty of Textile Engineering, Isfahan University of Technology (In Persian).
34- Schoenau J.J. 2006. Benefits of long-term application of manure. Advance in Pork Production 17: 153-158.
35- Sebahattin A., and Necdet C. 2005. Effects of different levels and application times of humic asid on root and leaf yield and yield components of forage Turnip (*Brassica rapa* L.) Agronomy Journal 4: 130-133.
36- Shirani H., Hajabbasi M.A., Afyuni M., and Hemmat A. 2002. Effect of farmyard and tillage systems on soil

physical properties and corn yield in central Iran. Soil Tillage Research. 68:101-108.
37- Sloan D.R., Kidder G., and Jacobs R.D. 2003. Poultry manure as a fertilizer. University of Floria Journal. Htt://edis.ifas.ufl.edu.
38- Tajik F., Rahimi H., and Pazira E. 2003. Effect of electrical conductivity and sodium adsorption ratio of water on aggregate stability in soils with different organic matter content. Journal Agriculture Science Technology 5: 67-75.
39- Tejada M., and Gonzalez J.L. 2006. Crushed cotton gincompost on soil biological properties and rice yield. Europ. Journal Agronomy 25: 22-29.
40- Tejada M., and Gonzalez J.L. 2007. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. Soil and Tillage Research 93: 197-205
41- Vance W.H., Tisdell J.M., and Mckenzie B.M. 1998. Residual effects of surface application of organic matter and calcium salts on the sub-soil of a red-brown earth. Australian Journal of Experimental Agriculture 38: 595-600.
42- Van Genuchten M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.
43- Walker D.J., and Bernal M.P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. Biores. Thechnol. 99: 396-403.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 417-430

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۳۰-۴۱۷

Investigating the Impact of Chicken Feather, Vermicompost and Potassium Humate on the Physical Properties of Soil

M.R. Dalalian[1*]- F. Zabihi[2]- A.S. Paknejad[3]- M. Khoshkhan[4]

Received: 09-06-2018
Accepted: 02-06-2019

Introduction: Destruction of soil structure and reduction of soil organic matter are major problems of cultivated soils which result from improper tillage operations, excessive consumption of chemical fertilizers and low consumption of organic and green fertilizers. One method for maintaining sustainable agriculture is to add organic and inorganic amenders. By producing resistant aggregates, organic matters improve soil structure and enhance soil permeability, FC moisture and water availability capacity. Furthermore, through enhancing organisms' activities, especially earthworms, organic matters improve soil hydraulic conductivity and reduce bulk density. Organic matters may be added to soil through different way, however, the effect of each one on the soil's physical properties is different. Chicken feather (CF) is readily available through henhouses and slaughterhouses, however, significant amounts of CF are destroyed by burning and burying them. Potassium Humate (PH) is a potassium salt from humic acid. Humic acid is extracted from various natural sources such as humus, peat, lignite and coal. Vermicompost (VC) is a compost which is produced by a non-thermal process. The impact of CF on different soil properties has not been studied yet. Accordingly, we investigated the impact of adding differing weight percentages of three types of amenders (PH, CF and VC) on the physical properties of soil under wheat cultivation at different moisture levels.

Materials and Methods: The experiment was conducted in factorial form based on randomized complete block design with 27 treatments in three replications. The first factor included the above-mentioned amenders; the second factor included three weight levels of these amenders (0%, 2.5% and 5%); the third factor included three moisture levels (0.5FC, 0.7FC and 0.9FC). The amenders were uniformly mixed with the soil up to the depth of 10 cm; then, wheat seeds were planted and moisture treatments were carried out during the growth period (from late April 2016 to September 2016). The soil moisture of the plots was controlled during the experiment period using the gravimetric method. For investigating the changes in the soil's physical properties, samples (disturbed and undisturbed) were taken from the plots before and after the experiment. The following physical parameters were measured: bulk density (BD), soil moisture in field capacity (FC), permanent wilting point (PWP), wet aggregate stability (WAS), saturated hydraulic conductivity (K_S), penetration resistance (PR), retention curve slope at inflection point (S_i), mean weight diameter of aggregates (MWD) and mass-size fractal dimension of aggregates (D_m). Statistical analysis was done by SPSS software and means were compared via Duncan test. Tables and graphs were generated by Excel software.

Results and Discussion: Variance analysis and means comparison indicated that using amenders reduced bulk density for 89%. Reduced bulk density was caused by high keratin (91%) in CF, high porosity and the production of coarse pores in soil. On the other hand, VC with many pores led to increased aggregation and reduced bulk density.

Results revealed that consuming CF increased soil moisture to field capacity (FC) (87%). CF had more significant impacts on increasing FC at high moisture levels. Thanks to its keratin structure, feather operates like a sponge which enhances soil porosity; hence, it absorbs more moisture and improves FC. Furthermore, results indicated that increasing the amounts of amenders led to increased soil moisture in PWP (91%). By increasing the amount of amenders in soil, aggregation and soil porosity increased which led to enhanced PWP.

Large amounts of CF, PH and soil moisture (0.9FC) resulted in 3.7 times enhancement of K_s. CF led to the production of large soil pores and reduced soil density which resulted in improved soil structure and increased K_s. Thanks to its adhesion properties, PH increased K_s.

Increasing the amount of amenders and the level of soil moisture in all three types of organic matters (especially CF) caused the 2.5 times enhancement of WAS.

The results revealed that increasing soil moisture and amenders led to reduced S_i (101%). Given all three types of amenders, PH had the highest impact on the reduction of S_i. Moreover, soil penetration resistance (PR) was reduced as a function of increasing the soil moisture level.

1, 2, 3 and 4- Assistant Professor and M.Sc. Graduated in Soil Science Department of Soil, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mdalalian@iaut.ac.ir)

Contrary to the expectation, MWD was reduced as a result of increasing amenders. Furthermore, it was found that, given little soil moisture, increasing the amount of amenders resulted in increased D_m; however, given high soil moisture, increasing the amount of amenders led to decreased D_m. Thus, it should be noted that adding amenders improved the stability of aggregates over long time periods and at high soil moisture levels.

Conclusion: One major strategy for improving soil physical and chemical properties is using modifiers, especially organic matters. In this study, we investigated the impact of chicken feather on physical properties of soil and compared its effect with those of potassium humate and vermicompost under different levels of soil moisture and wheat cultivation.

The results indicated that consuming amenders resulted in reduced Bd but increased FC, PWP, K_s and WAS. In other words, it improved physical properties of soil. Moreover, S_i decreased as a result of increasing soil moisture and organic matters. Among the three types of amenders, potassium humate had the highest impact on reducing S_i. PR was reduced as a function of increasing soil moisture. However, increasing organic matter led to decreased MWD. Furthermore, it was unexpectedly found that, given low soil moisture, D_m increased as a result of increasing the organic matters weight. Nevertheless, in high levels of soil moisture, D_m decreased as a function of increasing organic matter. Thanks to positive impacts of organic matters (especially CF which is cheaper and more accessible than other amenders) on soil's physical properties, they are highly recommended for soil improvement. Regarding future studies, investigation of the effect of these amenders on soil chemical properties under different soil textures is suggested.

Keywords: Amenders, Organic fertilizers, Soil moisture, Soil structure, Stability of aggregates

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 431-443

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۴۳-۴۳۱

اثر متقابل رهاسازی اراضی و شرایط اقلیمی بر ذخایر ماده آلی در ذرات اولیه خاک در مراتع مناطق استپی

سمیرا سالاری[۱]- مهدی پژوهش[۲]*- پژمان طهماسبی[۳]- فرزانه نیکوخواه[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

چکیده

اگرچه مطالعات زیادی در خصوص اثر رهاسازی اراضی کشاورزی انجام گرفته است ولی اطلاعات بسیار کمی در خصوص تأثیر شرایط آب و هوایی بر احیاء زمین‌های کشاورزی بعد از رهاسازی آن‌ها وجود دارد. به همین منظور در این مطالعه اثر متقابل رهاسازی اراضی کشاورزی و شرایط اقلیمی بر ذخایر ماده آلی ذرات اولیه خاک مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در سه تکرار از دو منطقه با شرایط بارندگی متفاوت شامل مناطق حفاظت‌شده شیدا و خرگوش در استان چهارمحال و بختیاری از چهار کاربری مرتع، اراضی کشاورزی و اراضی رها شده زراعی در توالی زمانی ۱۵-۱۰ و ۴۰-۱۵ سال، تهیه و میزان توزیع کربن و نیتروژن در اجزای مختلف ذرات اولیه خاک تعیین گردید. نتایج نشان داد که کشت و کار در اراضی بکر بسته به موقعیت اقلیمی می‌تواند اثرات مثبت و منفی بر اکوسیستم‌های طبیعی داشته باشد. به تبع در منطقه شیدا با وجود میزان بارندگی و وضعیت خوب پوشش طبیعی مراتع کشت و کار در اراضی بکر اثرات منفی در جهت کاهش ماده آلی داشته است. در حالی که در منطقه خرگوش با وجود میزان بارندگی اندک و کیفیت پایین مراتع، کشت و کار اثرات سوء ای نداشته است. در کلیه کاربری‌های مدیریتی مقدار کربن و نیتروژن به ترتیب در ذرات رس، سیلت و شن بیشتر بود. رهاسازی اراضی کشاورزی و مراتع در منطقه خرگوش تأثیری بر غلظت کربن و نیتروژن سه جزء شن، سیلت و رس نداشت اما در منطقه شیدا افزایش زمان رهاسازی کربن اجزای شن و سیلت را افزایش داد ولی تأثیری بر کربن جزء رس نداشت. نتایج نشان داد رهاسازی اراضی کشاورزی بسته به شرایط آب‌وهوایی هر منطقه جهت استقرار مجدد پوشش گیاهی و افزایش ترسیب کربن خاک می‌تواند اثرات متفاوت و بالقوه‌ای بر احیای کربن مراتع داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ذرات اولیه خاک، رهاسازی اراضی کشاورزی، کربن آلی و نیتروژن کل، مراتع بدون کشت و کار

مقدمه

اراضی مرتعی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی جهت ترسیب کربن به شمار می‌روند و مدیریت این اراضی از مهم‌ترین عوامل انسانی مؤثر بر تغییرات کربن آلی خاک شناخته شده است (۳۲). در سال‌های متمادی بسیاری از اراضی مرتعی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی به اراضی کشاورزی تغییر کاربری یافته‌اند که بسته به نوع مدیریت اراضی و عملیات خاک‌ورزی باعث کاهش ذخیره کربن خاک شده است. رها کردن اراضی کشاورزی و توقف عملیات خاک‌ورزی احتمال دارد راهکاری مناسب برای برگرداندن و احیای پوشش گیاهی طبیعی و در نتیجه افزایش ذخیره کربن آلی خاک و کاهش غلظت CO_2 اتمسفری باشد (۲۸). انجام فعالیت‌های کشاورزی و در نتیجه رهاسازی این اراضی در توالی زمانی مختلف می‌تواند پیامدهای زیادی بر عملکرد اکوسیستم داشته باشد (۲۳). در واقع می‌توان گفت اکوسیستم‌های زراعی نیز نقش قابل‌توجهی در تعادل گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن دارند که بیش‌تر آن به اقدامات مدیریتی برمی‌گردد (۱). با به‌کارگیری این اقدامات مدیریت زراعی با حداقل خاک‌ورزی و یا رهاسازی اراضی کشاورزی هدر رفت کربن کاهش‌یافته و با تقویت ترسیب کربن و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، بیلان آن مثبت می‌شود (۳۱ و ۲۳)، یا بر افزایش ذخایر کربن آلی اثرگذار نبوده و تأثیر کشت و کار سابق بر مراتع برای بیش از یک قرن همچنان ادامه دارد (۳۵) و یا بسته به وضعیت مرتع تأثیر منفی

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۲ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: drpajoohesh@gmail.com)
۴- استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.72947

بر محیط و مسائل اقتصادی و اجتماعی می‌گذارد (۳۰).

بررسی وضعیت کربن آلی خاک به ویژه در اجزای مختلف خاک که خیلی سریع‌تر از کربن کل به تغییر کاربری اراضی عکس‌العمل نشان می‌دهد امری ضروری است. روش‌های مختلفی جهت جزء بندی مواد آلی خاک وجود دارد از جمله این روش‌ها، روش‌های فیزیکی (بر اساس چگالی یا اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک) و روش‌های شیمیایی (بر اساس میزان انحلال در آب، اسید و باز، حلال‌ها و محلول‌های نمکی) می‌باشد (۳۳). تفکیک فیزیکی ماده آلی از روش‌های ویژه و منحصر بفردی است که جهت مقایسه و مطالعه ساختار و عملکرد اجزای تشکیل دهنده ماده آلی خاک (ذرات درشت بقایای آلی گیاهی تا مواد معدنی و هوموسی شده) بسیار مؤثر و کاربردی است (۳۷). در این راستا، به دلیل نادیده گرفتن نقش مواد معدنی در پویایی مواد آلی و مشخص نبودن وظایف اجزا، روش‌های شیمیایی کمتر مورد استفاده قرار گرفته و روش‌های تفکیک فیزیکی به‌طور روز افزونی مورد استقبال قرار گرفته‌اند (۲۴). بر این اساس جداسازی فیزیکی مواد آلی بر اساس ذرات اولیه خاک (شامل شن، سیلت و رس) می‌تواند ابزار مفیدی برای برآورد پویایی و خصوصیات ساختاری ماده آلی خاک‌های مختلف باشد که از کانی‌های مختلف و متفاوتی ساخته شده‌اند (۲۰ و ۱۴). طبق تحقیقات کریستنسن (۱۰) و لورنز و همکاران (۱۹) کربن موجود در مواد آلی جزء سیلت و رس به ترتیب شامل ترکیبات حلقوی و C- آلکیل بیشتری بوده و نسبت به تجزیه میکروبی و تغییرات مدیریتی خاک و تغییر کاربری اراضی نسبتاً مقاوم بوده و دیرتر واکنش نشان می‌دهند؛ اما مواد آلی موجود در بخش شن اغلب درشت بوده که به صورت تازه و نیمه تجزیه شده است. نتایج تحقیقات بسیاری نشان می‌دهد که توزیع کربن خاک با تغییر اندازه ذرات تغییر می‌کند (۳۴ و ۱۳) و خاک‌های با میزان رس بیشتر پتانسیل کربن آلی بیشتری نسبت به خاک‌های با میزان رس کمتر دارند و قسمت بیشتر کربن خاک در بخش رس ذخیره شده است (۷ و ۱۷) و غنی شدن کربن خاک در ذرات با اندازه رس رخ می دهد (۲۵). همچنین با افزایش اندازه ذرات، نسبت C/N افزایش یافته و مواد آلی در جزء شن و سیلت دارای C/N بالاتر و کربن آلی در جزء رس از C/N کمتری نسبت به کل خاک برخوردار می‌باشند (۱۲، ۳۶ و ۹)؛ و جزء سبک ماده آلی (جزء شن) به تغییر مدیریت کشاورزی بسیار حساس‌تر است (۱۶).

با وجود تحقیقات بسیار در مورد اثر تغییر کاربری اراضی و عملیات کشاورزی بر توزیع ماده آلی خاک در انواع اکوسیستم‌ها، اثر متقابل رهاسازی اراضی و شرایط اقلیمی به عنوان یک عامل مدیریتی کارآمد جهت ترمیم اراضی کشاورزی تخریب شده بر ذخیره کربن اجزای مختلف کمتر مورد توجه و بحث قرار گرفته است. در مطالعه ژانگ و همکاران (۳۹) روی تأثیر اراضی تحت کشت طولانی مدت با شخم و بدون شخم، کشت کوتاه مدت بدون شخم بر محتوای کل مخزن کربن و نیتروژن آلی خاک و اجزای کربن خاک مشاهده نمودند که افزایش محتوای کربن آلی خاک از ذرات رس به سمت ذرات درشت در هر سه کشت تبعیت می‌کند و محتوای کربن خاک در بخش رس (۵۵/۸ درصد) و در بخش سیلت (۳۷/۲ درصد) و در بخش شن (۷ درصد) از محتوای کل کربن خاک بود. با توجه به نقش مراتع در میزان ذخیره سازی و ترسیب کربن، رهاسازی اراضی تحت کشت در این مراتع، می‌تواند راهکار مناسبی برای ترمیم خاک این مراتع در ایران باشد. به‌هرحال، علاوه بر اطلاعات خیلی ناچیزی در مورد تغییرات کربن آلی و نیتروژن کل پس از رهاسازی اراضی تحت کشت در مراتع خشک و نیمه‌خشک ایران وجود دارد. به نظر می‌رسد بررسی توزیع کربن در اجزای مختلف ذرات اولیه خاک در مقایسه با کربن کل خاک اثر کشت و کار طولانی مدت و رهاسازی اراضی کشاورزی در توالی زمانی را آشکارتر سازد. چنین اطلاعاتی ممکن است جهت ارزیابی انعطاف‌پذیری خاک برای ترمیم و تعیین زمان مناسب برای بهبود قابل توجه خاک، مفید واقع شود؛ بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه میزان و توزیع اجزای کربن و نیتروژن به کمک تفکیک فیزیکی خاک بر اساس اندازه ذرات اولیه خاک، پس از رهاسازی اراضی کشاورزی و مقایسه آن با ذرات خاک اراضی تحت کشت و بدون کشت دو منطقه حفاظت‌شده با شرایط اقلیمی متفاوت در استان چهارمحال و بختیاری انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور بررسی اثرات مدیریت مختلف اکوسیستم‌های مرتعی بر اجزای فیزیکی ماده آلی خاک، سه کاربری شامل ۱) اراضی تحت کشت و کار به‌طور دائم (کشت گندم)، ۲) اراضی رهاشده (اراضی کشاورزی که در توالی زمانی ۱۵-۱۰ و ۱۵-۴۰ سال رها شده‌اند)، ۳) مراتع دائمی بدون کشت به عنوان مبنا در مجاور آن‌ها در دو منطقه از استان چهارمحال و بختیاری (منطقه شیدا و منطقه ایستگاه مرتعداری سد زاینده‌رود (به نام خرگوش) انتخاب و نمونه‌برداری گردید. این مناطق دارای اقلیم متفاوتی بوده به‌طوری‌که منطقه خرگوش (´۵۰°۴۱ طول جغرافیایی و ´۳۲°۴۳ عرض جغرافیایی) با متوسط بارندگی سالانه (۳۳۰ میلی‌متر) و متوسط دمای سالانه (C˚ ۱۰/۹۵) نسبت به منطقه شیدا (´۴۵°۵۰ طول جغرافیایی و ´۴۱°۳۲ عرض جغرافیایی) با متوسط بارندگی سالانه (۴۶۲ میلی‌متر) و متوسط دمای سالانه (C˚ ۹/۲) از میزان بارندگی کمتر و دمای بیشتری برخوردار است. پوشش طبیعی در اراضی بکر مرتعی در منطقه خرگوش از بوته، گراس، شبه گراس و فورب می‌باشد. اراضی زراعی از تغییر کاربری همین اراضی مرتعی به وجود آمده و کشت و کار محصولاتی نظیر گندم بیش از پنجاه سال در این اراضی قدمت دارد که بخش‌های از

این اراضی تخریب‌شده در حدود ۴۰ سال تحت قرق کامل از هرگونه چرای دام و کشت و کار بوده است. اراضی بکر مرتعی در منطقه شیدا چندین سال جهت حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری آن، تحت قرق دام و به منطقه حفاظت‌شده تبدیل شده است بنابراین از پتانسیل خوبی در تولید گیاهان علوفه‌ای برخوردار است. پوشش طبیعی در منطقه شیدا بوته‌ای و علفی شامل گون[1]، شکر تیغال[2]، علف پشمکی[3]، جو وحشی[4]، کاسنی[5] و آویشن[6] می‌باشد. اراضی زراعی حداقل به مدت ۳۰ سال تحت کشت گندم به‌صورت دیم قرار داشته است.

روش انجام کار

نمونه برداری در هر کدام از مناطق مورد بررسی، چهار نوع مدیریت شامل ۱- اراضی مرتعی دست‌نخورده و بکر و بدون سابقه کشت و کاری و عملیات خاک‌ورزی، ۲- اراضی رها شده ۱۵-۱۰ ساله کشاورزی و حفاظت‌شده، ۳- اراضی رها شده ۴۰-۱۵ ساله کشاورزی و حفاظت‌شده و ۴- اراضی زراعی و شخم‌خورده مورد مطالعه قرار گرفت. نحوه انتخاب مکان نمونه‌برداری در هر کدام از مناطق طوری انتخاب شد که مناطق از لحاظ ویژگی‌های ظاهری خاک، پستی‌وبلندی (توپوگرافی)، مواد مادری و شیب یکسان باشند. نمونه‌های مورد بررسی در طول ترانسکت (۳ ترانسکت در هر مدیریت) و با استقرار پلات های (۳ پلات در طول هر ترانسکت) نمونه‌برداری انجام گرفت. مکان پلات‌ها به نحوی انتخاب گردید که کلیه شرایط موجود یکسان باشد. پس از استقرار پلات‌ها اقدام به نمونه برداری از خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری گردید؛ و در نهایت خاک هر ۳ پلات موجود با یکدیگر ترکیب و جمعاً ۲۴ نمونه مرکب به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۳)، درصد کربن آلی به روش والکی- بلاک اکسایش تر با اسیدسولفوریک و تیتراسیون برگشتی با سولفات فرو آمونیاکی (۲۲) اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های خاک بر اساس اندازه ذرات اولیه خاک با استفاده از دستگاه اولتراسونیک (۴ و ۱۵) جداسازی گردید. در مرحله اول درصد فراوانی اجزای سازنده خاک به روش هیدرومتر و با استفاده از هگزا متا فسفات سدیم ۵ درصد تعیین گردید. در مرحله دوم از همان خاک مرحله اول بدون اضافه کردن مواد شیمیایی و ۱۶ ساعت شیک شدن با طول ۵۰ حرکت چرخشی توسط دستگاه اولتراسونیک به ۳ ذره اصلی تفکیک شد. پس از جداسازی ابتدا مواد آلی شناور و درشت از سطح خاک جمع‌آوری و سپس جز شن با عبور از الک ۰/۰۵۳ میلی‌متری از سایر اجزا جدا و در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت دو روز آون خشک و سپس توزین گردید. سپس مابقی محتویات را درون سیلندر ۱ لیتری ریخته و به وسیله هیدرومتر و بدون استفاده از کالگون درصد سیلت و رس خاک محاسبه شد. در مرحله سوم مقدار رس حاصل از مراحل ۱ و ۲ مقایسه شد. در صورت مساوی نبودن مقدار رس بدست آمده از این دو روش، مدت زمان فراصوت برای آن خاک تغییر یافت (در صورتی که مقدار رس مرحله اول بیشتر از مرحله دوم بود. زمان اولتراسونیک افزایش یافت و برعکس) تا مرحله‌ای که مقدار رس حاصل از دو مرحله تقریباً برابر باشد؛ که در این مرحله زمان مناسب فراصوت مورد نظر مشخص شد. در مرحله چهارم پس از یافتن زمان مناسب برای تمامی نمونه‌ها اولتراسونیک را انجام داده و مواد آلی شناور و جزء شن توسط الک جدا شدند، مابقی محتویات درون یک سیلندر ۱ لیتری ریخته و با آب مقطر به حجم رسانده و با استفاده از قانون استوکس و به روش رسوبگذاری پس از گذشت ۸ ساعت، ۸ سانتی‌متر روی سیلندر که حاوی ذرات رس است سیفون شدند و رس حاصله از هر نمونه درون ظروف پلاستیکی ریخته شد. سیلندر مجدداً به حجم رسانده شد و این عمل تا شفاف شدن محلول درون سیلندر که به‌منزله جداسازی رس است تکرار شد. ذرات باقیمانده در سیلندر ذرات سیلت هستند که به ظرفی جداگانه منتقل شدند. اجزای حاصل از خاک شامل مواد آلی درشت بزرگ‌تر از ۵۳ میکرومتر و شن (ذرات با اندازه ۵۳-۲۰۰۰ میکرومتر) و سیلت (ذرات با اندازه ۲-۵۳ میکرومتر) در آون ۵۵ درجه سلسیوس خشک شدند؛ و ذرات رس (با اندازه کمتر از ۲ میکرومتر) نیز با منجمد کردن خشک گردیدند (۶). در آخر پس از خشک شدن کامل ذرات، مقدار کربن آلی و نیتروژن کل در هر جزء از ذرات برحسب واحد گرم بر کیلوگرم فرکشن (جزء) بیان گردید؛ و سرانجام نسبت کربن به نیتروژن و ضریب غنای کربن و نیتروژن نیز از نسبت گرم کربن و نیتروژن در کیلوگرم فرکشن (جزء) به گرم کربن و نیتروژن در کیلوگرم کل خاک روی نمونه‌های تفکیک شده بر اساس اندازه ذرات (۷۲ جزء) محاسبه شد (۱۰).

تجزیه و تحلیل آماری روی داده‌های جمع‌آوری شده به صورت طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن چهار نوع کاربری و دو منطقه متفاوت با استفاده از تجزیه واریانس دوطرفه انجام گردید. تجزیه واریانس منابع مستقل و مقایسه میانگین‌ها اثرات اصلی و متقابل تیمارها در سطح ۰/۰۵ یا آزمون دانکن و با استفاده نرم‌افزار SPSS.۲۰ و همچنین رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

1- *Astragalus maassoumii*
2- *Echinops ritrodes*
3- *Bromus tectorum*
4- *Hordeum bulbosum*
5- *Cichorium intybus*
6- *Thymus serpyllum*

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر منطقه بر شاخص‌های کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن معنی‌دار (۰/۰۰۱ >P) است. به‌طوری‌که متوسط مقدار کربن و نسبت کربن به نیتروژن به ترتیب در منطقه خرگوش (۴/۸۸ و ۹/۹۸ گرم بر کیلوگرم) کمتر از میزان آن در منطقه شیدا (۱۳/۵ و ۲۶/۰۶ گرم بر کیلوگرم) می‌باشد (جدول ۱). درحالی‌که میزان نیتروژن کل خاک در دو منطقه مطالعاتی تفاوت معنی‌دار نداشت (۰/۰۵ <P، جدول ۱). بسته به موقعیت اقلیمی منطقه شیدا به دلیل میزان بارش بیشتر نسبت به منطقه خرگوش و پوشش گیاهی مناسب‌تر و با تراکم بهتر، از میزان کربن آلی و نسبت C/N بیشتری برخوردار است.

تحلیل آماری مشخص نمود که انجام فعالیت‌های زراعی در اراضی بکر، بسته به وضعیت مراتع در منطقه خرگوش سبب افزایش اندک مقدار کربن آلی (۶/۷۸ میلی‌گرم بر گرم خاک)، نیتروژن کل (۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم خاک) و نسبت کربن به نیتروژن (۱۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم خاک) کل خاک گردیده است اما میزان افزایش هر کدام از شاخص‌های مذکور (کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت کربن به نیتروژن) با میزان آن‌ها در اراضی بکر اختلاف قابل‌توجهی نداشتند، درحالی‌که در منطقه شیدا اراضی مرتعی از بیشترین میزان کربن آلی برخوردار بودند و میزان این شاخص‌ها (کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت کربن به نیتروژن) به ترتیب ۳/۴، ۲/۵ و ۱/۳ برابر در نتیجه انجام فعالیت‌های زراعی در اراضی بکر کاهش یافته است.

جدول ۱- تجزیه واریانس (آماره F) و مقایسه میانگین (n=۳) برخی خصوصیات اولیه خاک در انواع کاربری‌ها در دو منطقه خرگوش و شیدا

اعداد داخل پرانتز مقادیر SE را نشان می‌دهند.

Table 1- Analysis of variance (F statistical) and comparison of mean (n = 3) some of soil characteristics in different types of land uses in two regions of khargosh and sheida

The numbers in brackets represent the values of Std.Error (SE).

نوع کاربری Land use	بافت خاک Soil texture	کربن آلی Organic carbon (mg/g soil)	نیتروژن کل Total nitrogen (mg/g soil)	نسبت کربن به نیتروژن C/N
		خرگوش		
CR0	رسی Clay	6.78 (1.16)^{a}	0.58 (0.04)^{a}	11.59 (0.83)^{a}
AR15	لوم رسی شنی Sandy clay loam	2.44(0.41)^{b}	0.31(0.01)^{b}	7.8(0.7)^{b}
AR40	لوم رسی شنی Sandy clay loam	5.56(0.95)^{a}	0.55(0.05)^{a}	10.03(0.48)^{a}
UR	لوم رسی شنی Sandy clay loam	4.57(0.82)^{ab}	0.45(0.06)^{ab}	10.49(0.71)^{a}
		شیدا		
CR0	لومی رسی Clay loam	7.32(0.87)^{c}	0.31 (0.01)^{c}	23.54(1.57)^{b}
AR15	لومی رسی Clay loam	9.85(0.13)^{bc}	0.41 (0.02)^{bc}	24.03(0.24)^{b}
AR40	لومی رسی Clay loam	11.97 (0.92)^{b}	0.47 (0.02)^{b}	25.22 (0.65)^{b}
UR	لومی رسی Clay loam	24.86(1.71)^{a}	0.8(0.09)^{a}	31.45(1.05)^{a}
		Analysis of variance (F statistical) (آماره F) نتایج تجزیه واریانس		
منطقه Area		155.4***	0.73^{ns}	277.25***
کاربری اراضی Land use		31.8***	12.1***	4.82*
منطقه × کاربری Land use× area		35.57***	16.57***	3.7*

*** ۰/۰۰۱ > ρ، ** ۰/۰۱ > ρ، * ۰/۰۵ > ρ و ns غیر معنی‌دار. اثر اراضی تحت کشت و کار (CR0)، رهاسازی اراضی کشاورزی در ۱۵-۱۰ سال (AR15) و ۴۰-۱۵ سال (AR40) و اراضی مرتع (UR). برای هر منطقه میانگین‌ها با حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن بین مدیریت‌های مختلف می‌باشد.

*** ρ <0.001, ** ρ <0.01, * ρ < 0.05 and ns Non-significant. The effect of cultivated land (CR0), the release of agricultural land in 15-10 years (AR15) and 15-40 years (AR40) and unchanged lands (UR). For each area, averages with different letters in each column indicate a significant difference at a probability level of 0.05 based on the Duncan test between different plowing management.

کیو و همکاران (۲۶) کاهش میزان ماده آلی خاک در اثر عملیات کشت و شخم در اراضی بکر گزارش دادند. این محققین دلایل کاهش ذخایر کربن آلی در اثر عملیات کشت و کار را به کاهش مقدار کربن ورودی به خاک زراعی بیان کردند، زیرا بخش عمده‌ی ماده آلی تولید شده به صورت محصول برداشت شده از زمین زراعی خارج می‌گردد. علاوه بر این خاک اراضی زراعی مکرراً شخم‌خورده و زیرورو می‌شود و این امر باعث تهویه بهتر خاک و شکستگی خاکدانه‌ها شده و درنتیجه با افزایش سرعت فرایند اکسیداسیون کربن آلی، ماده آلی محبوس شده در خاکدانه‌ها در معرض حمله میکروبی قرار گرفته و میزان کربن خروجی از خاک به‌صورت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد؛ بنابراین یکی از دلایل عمده کاهش کربن و نیتروژن آلی در اراضی زراعی کاهش کربن ورودی و افزایش کربن خروجی می‌باشد که با نتایج حاصل از این تحقیق در منطقه شیدا که مراتع آن از شرایط اقلیمی و پوششی بهتری برخوردارند هماهنگ است.

این پژوهش نیز نشان داد که در مناطق نیمه‌خشک منطقه خرگوش به دلیل میزان بارش کمتر و تراکم کم تا متوسط پوشش گیاهی و فقر ماده آلی در خاک‌های مرتع بکر، کشت و کار (بسته به نوع محصول کشت‌شده و کود دهی و تناوب عملیات خاک‌ورزی و ...) می‌تواند باعث افزایش ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک گردد. جعفری و همکاران (۱۶) و رئیسی (۲۷) نیز به ترتیب افزایش مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک را در اثر تغییر کاربری مرتع به زراعی در استان چهارمحال و بختیاری و اراضی استان خوزستان را گزارش نموده‌اند.

رهاسازی اراضی زراعی به مدت ۴۰–۱۵ سال نیز در منطقه خرگوش اثر معنی‌داری بر میزان شاخص‌های مذکور نداشت و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با اراضی تحت کشت و کار نشان نداد. درحالی‌که در منطقه شیدا رهاسازی کشاورزی در توالی زمانی مختلف باعث بهبود اندک غلظت کربن آلی و نیتروژن کل مراتع گردید و هر چه مدت‌زمان رهاسازی افزایش‌یافته است کربن آلی و نیتروژن کل بیشتر شده است، ۴۰ سال رهاسازی اراضی زراعی باعث افزایش میزان کربن آلی (۱۱/۹۷ میلی‌گرم بر گرم خاک) و نیتروژن کل خاک (۰/۴۷ میلی‌گرم بر گرم خاک) گردیده است. همچنین میزان کربن آلی و نیتروژن کل خاک در اراضی رهاشده به مدت ۱۵ سال در منطقه شیدا فاقد تفاوت آماری با دو مدیریت اراضی زراعی و اراضی ۴۰ سال رها شده بود. درحالی‌که در منطقه خرگوش مقدار کربن آلی (۲/۸ برابر)، نیتروژن کل (۱/۹ برابر) و نسبت کربن به نیتروژن (۱/۵ برابر) در اراضی ۱۵ سال رهاشده زراعی کمتر از اراضی تحت کشت و کار بود. از جمله دلایل افزایش این عناصر در خاک پس از رهاسازی اراضی، توقف عملیات خاک‌ورزی و بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها و حفاظت فیزیکی ماده آلی خاک در برابر تجزیه‌ی میکروبی و همچنین افزایش میزان بقایای گیاهی به خاک درنتیجه استقرار مجدد گونه‌های بومی منطقه بوده که به‌طور سالیانه به خاک اضافه می‌شود. بااین‌حال ۴۰ و ۱۵ سال رهاسازی، برای رسیدن و هم‌معنی شدن مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک به سطح مراتع دائمی، زمان کافی نبوده و میزان کربن آلی و نیتروژن کل در مراتع دائم این منطقه که ازنظر پوشش گیاهی از تراکم قوی برخوردار بوده است حدود ۲ برابر اراضی ۴۰ سال رهاشده می‌باشد. شواهد و مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد رهاسازی اراضی کشاورزی و به دنبال آن استقرار مجدد پوشش طبیعی، بسته به وضعیت مراتع هر منطقه، ممکن است ذخیره کربن و نیتروژن را به سطوح قبل از کشاورزی بازگرداند؛ که این نتایج با نتایج تحقیقات (۳۸ و ۲۱) همخوانی دارد.

در منطقه خرگوش نسبت C/N بین سه کاربری اراضی تحت کشت، اراضی ۴۰ سال رهاشده و مرتع اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. این در حالی بود در منطقه شیدا این شاخص در کاربری مرتع بیشترین مقدار و ۳۰ درصد از نسبت C/N بیشتری در مقایسه با اراضی تحت کشت و اراضی رها شده برخوردار بود. می‌توان اشاره کرد این امر ناشی از اضافه کردن کودهای شیمیایی نیتروژنه در گذشته و حال به اراضی رهاشده کشاورزی و اراضی زراعی و یا کیفیت متفاوت پوشش گیاهی باشد. به‌طوری‌که در اثر عملیات زراعی فرایند اکسیداسیون کربن آلی سرعت یافته و باعث هدر رفت بیشتر کربن نسبت به نیتروژن در خاک‌های مراتع تحت کشت و شدت ترسیب بیشتر کربن نسبت به نیتروژن در خاک‌های مراتع رهاشده و دائمی دانست که کاهش نسبت C/N را به همراه داشته؛ بنابراین رهاسازی کشاورزی اثر معنی‌دار بر افزایش نسبت C/N خاک نداشته است؛ که با نتایج کاراواکا و همکاران [۵] که کاهش نسبت C/N در خاک‌های کشت‌شده نسبت به اراضی کشت نشده و بکر (۳۱/۴ درصد) گزارش کردند هماهنگی دارد. سالک گیلانی و همکاران [۲۹] در بررسی تغییرات ماده آلی در مراتع ترمیم‌شده پس از توقف عملیات کشت و کار و رهاسازی اراضی در توالی زمانی ۴، ۱۲ و ۴۵ سال گزارش نمودند که ذخایر کربن آلی، نیتروژن کل خاک و نسبت کربن به نیتروژن در طی توالی زمانی مختلف رهاسازی به‌صورت لگاریتمی افزایش یافته است. علت آن را نتیجه حضور گونه‌های گیاهی چوبی چندساله (همچون بوته‌ها و درختچه‌ها) که پوشش گیاهی غالب مراتع رهاشده به‌خصوص مراتع با زمان رهاسازی بالا (۴۵ سال) را تشکیل می‌دهند، دانستند. به‌طوری‌که ۴۵–۴ سال رهاسازی اراضی کشاورزی، ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک را به ترتیب ۴۶–۳/۸ و ۳۲–۲/۸ درصد افزایش داد؛ اما مراتع ۴۵ سال رهاشده حاوی مقادیر کمتری از کربن آلی و نیتروژن کل نسبت به مراتع دائم بودند که نشان‌دهنده ناکافی بودن زمان ۴۵ سال رهاسازی برای رسیدن به مقادیر موجود

در مراتع دائمی است.

اثر رهاسازی اراضی کشاورزی بر میزان کربن آلی و نیتروژن کل در اجزای فیزیکی ذرات اولیه خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع کاربری و شرایط اقلیمی مختلف بر برخی خصوصیات شیمیایی ذرات اولیه خاک در جدول ۲ و نتایج مقایسه میانگین این خصوصیات در جدول ۳ و شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل منطقه و فرکشن‌های تفکیک شده بر مقدار کربن آلی ذرات اولیه خاک اثر معنی‌داری ندارد. نتایج مقایسه میانگین جدول ۳ نیز نشان داد که کشت و کار در اراضی بکر منطقه خرگوش، مقادیر کربن آلی دو جزء شن (۵ برابر) و سیلت (۱ برابر) و نیتروژن سه جزء شن (۱ برابر) و سیلت (۱/۲ برابر) و رس (۱/۳ برابر) را افزایش داد. درحالی‌که در منطقه شیدا عکس منطقه خرگوش بیشترین میزان کربن آلی و نیتروژن کل در سه جزء شن، سیلت و رس در کاربری مرتع مشاهده گردید. کشت و کار در اراضی بکر میزان کربن آلی سه جزء شن (۳/۶ برابر)، سیلت (۲ برابر) و رس (۲) و نیتروژن سه جزء شن، سیلت و رس (۱/۳ برابر) را کاهش داد اما میزان نیتروژن این سه جزء با میزان نیتروژن موجود در سه جزء اراضی بکر اختلاف قابل‌توجهی نداشت. همچنین رهاسازی اراضی زراعی در توالی زمانی ۱۵ و ۴۰ سال از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر بهبود و افزایش میزان کربن آلی و نیتروژن کل ذرات اولیه خاک نشان نداد فقط میزان کربن دو جزء شن و سیلت منطقه شیدا در نتیجه ۴۰ سال رهاسازی اراضی زراعی به ترتیب حدود ۲/۳ و ۱/۳ برابر افزایش یافته است.

پس از مقایسه بین ذرات خاک در بین کاربری‌های مختلف مشاهده شد که در کلیه کاربری‌های هر دو منطقه مطالعاتی به ترتیب بخش‌های رس، سیلت و شن بیشترین میزان کربن آلی و نیتروژن کل را به خود اختصاص داده‌اند. طبق نتایج، جزء رس حاوی بیشترین مقدار کربن است که در اراضی تحت کشت، در منطقه خرگوش به ترتیب ۱/۳۹ و ۲/۵۶ برابر و در منطقه شیدا ۱/۲۶ و ۲/۹۹ برابر و در اراضی رهاشده به مدت ۱۵ سال، در منطقه خرگوش ۲/۱۲ و ۱۰/۷۷ برابر و در منطقه شیدا ۱/۱۱ و ۲/۱۱ برابر؛ در اراضی رهاشده به مدت ۴۰ سال، در منطقه خرگوش ۱/۴۷ و ۳/۹۹ برابر و در منطقه شیدا ۱/۲۳ و ۱/۶۵، در مراتع دائم منطقه خرگوش ۱/۷۷ و ۱۴/۸۲ و در مراتع دائم منطقه شیدا ۱/۲۸ و ۱/۸۱ برابر کربن اجزاء سیلت و شن بود. به‌طور کلی طبق نتایج این تحقیق در هر دو منطقه مورد مطالعه بیشترین غلظت کربن و نیتروژن در فرکشن رس و کمترین غلظت کربن و نیتروژن در جزء شن تجمع داشته است. کربن جزء سیلت تقریباً در حد واسط می‌باشد؛ و با کاهش اندازه ذرات میزان کربن افزایش یافته است (جدول ۳)؛ که این نشان دهنده وجود درجه هوموسی بالاتر ماده آلی اجزای ریزتر خاک نسبت به اجزای درشت‌تر است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تغییر کاربری اراضی بر درصد توزیع وزنی ذرات اولیه خاک، مقدار کربن و نیتروژن، فاکتور غنی شدن کربن (Ec) و نیتروژن (En) و نسبت C/N ذرات اولیه خاک در دو منطقه خرگوش و شیدا

Table 2- Analysis of variance of the effect of land use change on weight distribution of soil particle size, carbon and nitrogen content, carbon enrichment factor (Ec) and nitrogen (En) and C / N ratio of soil particle in two khargosh and sheida regions

منابع تغییر	درجه آزادی df	آماره F					
		درصد توزیع وزنی ذرات-Particle size distribution(%)	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	نسبت کربن به نیتروژن C/N	غنای کربن Ec	غنای نیتروژن En
Area (A) منطقه	۱	0.57^{ns}	330.93^{***}	15.44^{***}	72.28^{***}	6.5^{*}	15.11^{***}
Land use (L) کاربری	۳	1.14^{ns}	47.05^{***}	7.85^{**}	7.84^{**}	2.75^{ns}	8.66^{***}
Fraction (F) فرکشن	۳	1.49^{ns}	116.84^{***}	93.31^{***}	4.49^{*}	55.56^{***}	54.7^{***}
L× A	۳	0.19^{ns}	52.1^{***}	8.51^{***}	9.87^{***}	3.82^{*}	10.26^{***}
F×A	۳	24.8^{***}	0.79^{ns}	3.57^{*}	26.35^{***}	13.92^{***}	2.06^{ns}
L× F	۳	2.26^{ns}	2.53^{*}	2.86^{*}	3.82^{**}	2.49^{*}	2.11^{ns}
F×L×A	۳	4.9^{***}	1.67^{ns}	1.28	7.35^{***}	3.9^{**}	1.47^{ns}

*** $\rho < ۰/۰۰۱$، ** $\rho < ۰/۰۱$، * $\rho < ۰/۰۵$ و ns غیر معنی‌دار. Ec: فاکتور غنی شدن کربن (گرم کربن در کیلوگرم فرکشن / گرم کربن در کیلوگرم کل خاک)؛ En: فاکتور غنی شدن نیتروژن (گرم نیتروژن در کیلوگرم فرکشن / گرم نیتروژن در کیلوگرم کل خاک).

*** $\rho < 0.001$, ** $\rho < 0.01$, * $\rho < 0.05$ and ns Non-significant. Ec: carbon enrichment factor (grams of carbon per gram of carbon / gram of carbon per kg of total soil); En: nitrogen enrichment factor (grams of nitrogen per kg of fraction / gram of nitrogen per kilogram of total soil).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربری اراضی بر مقدار ضریب غنی شدن کربن (Ec) ذرات اولیه خاک و اثرات متقابل منطقه در اجزای ذرات اولیه خاک و اثر متقابل کاربری در اجزای ذرات اولیه خاک بر ضریب غنای نیتروژن غیر معنی‌دار است (جدول ۲). ضریب غنی شدن کربن (Ec) اجزاء رس و سیلت در مدیریت اراضی رهاشده به مدت ۱۵ سال منطقه خرگوش به ترتیب ۱۹۵/۵ و ۷۹/۳ درصد بیشتر از اراضی تحت کشت و کار بود. این در حالی بود که میزان غنای کربن این اجزاء در دو کاربری اراضی رهاشده به مدت ۴۰ سال و اراضی مرتعی با کاربری‌های ذکر شده تفاوت معنی‌دار نداشتند. ضریب غنای کربن جزء شن در منطقه خرگوش در مدیریت اراضی تحت کشت و اراضی رهاشده کشاورزی به ترتیب حدود ۳۱۴ و ۲۱۸ درصد بیشتر از مرتع دائم منطقه بود (شکل ۱). درحالی‌که بین کاربری‌های اراضی تحت کشت، رهاسازی شده و مرتع این منطقه، ضریب غنی شدن نیتروژن (En) ذرات اولیه خاک (رس و سیلت و شن) تفاوت معنی‌داری نداشت. در منطقه شیدا ضریب غنای نیتروژن جزء رس در اراضی تحت کشت به طور متوسط ۴۷ درصد بیشتر از رهاسازی ۱۵ ساله اراضی کشاورزی و اراضی مرتعی بود و ضریب غنای نیتروژن اراضی ۴۰ سال رهاشده کشاورزی تفاوت آماری با کاربری‌های ذکرشده نداشت. این در حالی بود که ضریب غنای نیتروژن جزء سیلت به ترتیب در اراضی تحت کشت و اراضی رهاشده کشاورزی و اراضی مرتعی بیشتر بود و در جزء شن بین کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری از لحاظ غنای کربن مشاهده نشد (شکل ۱). درحالی‌که در منطقه شیدا، غنای نیتروژن ذرات اولیه خاک (رس، سیلت و شن) با افزایش زمان رهاسازی و بی خاک‌ورزی بودن اراضی به‌طور معنی‌دار نسبت به اراضی کشاورزی کاهش یافت.

مقایسه بین اجزاء نشان داد که در سه مدیریت اراضی تحت کشت، اراضی رهاشده کشاورزی و اراضی مرتعی هر دو منطقه مطالعاتی، بیشترین غنای کربن و نیتروژن به ترتیب در اجزاء رس، سیلت و شن است (شکل ۱). به‌طور کلی روند تغییر ضریب غنای نیتروژن و کربن بین اجزای مختلف ذرات اولیه خاک تقریباً مشابه بود. به‌طوری که این ضریب در اجزاء رس و سیلت بیشتر از ۱ بود و نشان‌دهنده غنی شدن این اجزاء خاک از نیتروژن است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در جزء شن همه کاربری‌های مطالعاتی دو منطقه به‌استثنای جزء شن اراضی تحت کشت و رهاسازی ۱۵ ساله کشاورزی منطقه شیدا تهی شدن نیتروژن رخ داده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های (n=٤) مقدار کربن آلی، نیتروژن و نسبت C/N ذرات اولیه خاک در دو منطقه خرگوش و شیدا

اعداد داخل پرانتز مقادیر SE را نشان می‌دهند.

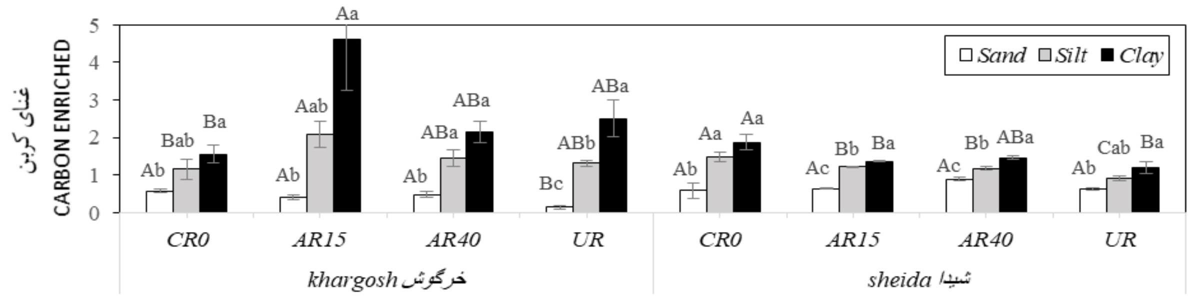
Table 3- Comparison of mean (n = 4) of organic carbon, nitrogen and C / N ratio of soil particle in two khargosh and sheida regions

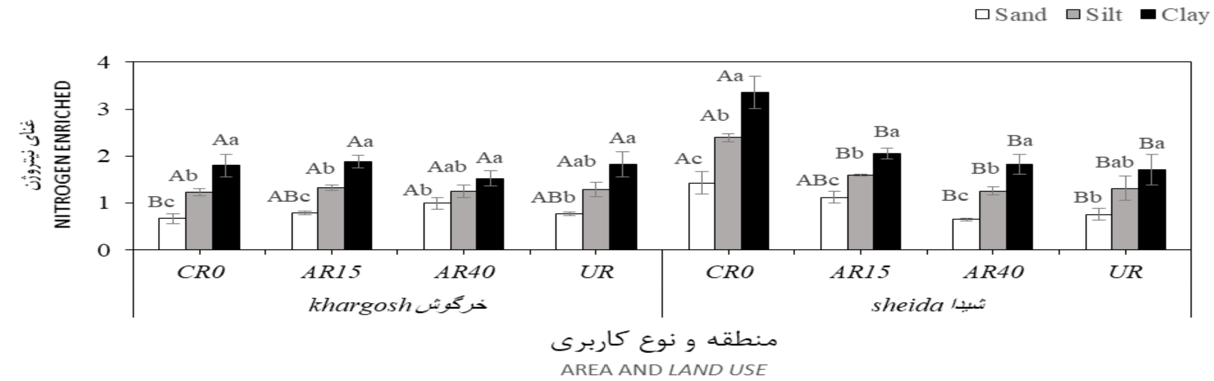
The numbers in brackets represent the values of Std.Error (SE).

نوع کاربری Land use	خرگوش Khargosh			شیدا Sheida		
	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
			کربن آلی (Cg/kg fraction)			
CR0	3.94(0.76)^{Ac}	7.26(0.38)^{Ab}	10.10(0.9)^{Aa}	4.48(1.93)^{Cb}	10.65(0.54)^{Ca}	13.43(0.81)^{Ba}
AR15	0.95(0.14)^{Bc}	4.82(0.24)^{Bb}	10.24(1.67)^{Aa}	6.38(0.30)^{BCc}	12.07(0.18)^{Cb}	13.5(0.3)^{Ba}
AR40	2.85(0.96)^{ABc}	7.73(0.47)^{Ab}	11.39(0.43) ^{Aa}	10.5(0.35)^{Bc}	14.05(0.73)^{Bb}	17.39(0.91)^{Ba}
UR	0.75(0.34)^{Bc}	6.29(1.09)^{ABb}	11.12(0.78)^{Aa}	16.04(1.64)^{Ac}	22.63(0.39)^{Ab}	29.12(2.16)^{Aa}
			نیتروژن کل (Ng/kg fraction)			
CR0	0.39(0.08)^{ABc}	0.71(0.03)^{Ab}	1.02(0.06)^{Aa}	0.45(0.09)^{ABc}	0.74(0.03)^{ABb}	1.04(0.08)^{ABa}
AR15	0.24(0.01)^{Bc}	0.42(0.03)^{Cb}	0.59(0.06)^{Ca}	0.46(0.04)^{ABc}	0.65(0.02)^{Bb}	0.84(0.07)^{Ba}
AR40	0.54(0.05)^{Ac}	0.67(0.03)^{Ab}	0.82 (0.01)^{Ba}	0.31(0.03)^{Bc}	0.59(0.02)^{Bb}	0.85(0.07)^{Ba}
UR	0.34(0.02)^{Bc}	0.57(0.00)^{Bb}	0.79(0.03)^{Ba}	0.59(0.07)^{Ab}	1.02(0.18)^{Aab}	1.32(0.16)^{Aa}
			نسبت کربن به نیتروژن (C/N)			
CR0	10.19(0.37)^{Aa}	10.31(0.34)^{Aa}	10.01(1.11)^{Ba}	9.22(2.09)^{Ba}	14.37(0.29)^{Ba}	13.29(1.89)^{Ca}
AR15	3.95(0.7)^{Bb}	11.68(0.47)^{Aab}	18.07(3.93)^{Aa}	14.09(0.93)^{Bb}	18.53(0.30)^{ABa}	16.17(0.9)^{BCab}
AR40	5.49(2.1)^{Bb}	11.62(1.19)^{Aa}	14.02 (0.78) ^{Aba}	34.21(1.79)^{Aa}	23.9(1.67)^{Ab}	20.75(2.28)^{ABb}
UR	2.08(0.81)^{Bb}	11.04(1.98)^{Aa}	14.09(0.88)^{ABa}	28.44(6.09)^{Aa}	23.55(4.11)^{Aa}	22.33(1.47)^{Aa}

اثر اراضی تحت کشت و کار (CR0)، رهاسازی اراضی کشاورزی در ۱۵-۱۰ سال (AR15) و ۴۰-۱۵ سال (AR40) و اراضی مرتع (UR). برای هر منطقه میانگین‌ها با حروف متفاوت بزرگ در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن بین مدیریت‌های رهاسازی اراضی کشاورزی می‌باشد.

The effect of cultivated land (CR0), the release of agricultural land in 15-10 years (AR15) and 15-40 years (AR40) and unchanged lands (UR). For each region, averages with large different letters in each column indicate a significant difference at a probability level of 0.05 based on the Duncan test between agricultural land management departments.





شکل ۱- اثر اراضی تحت کشت و کار (CR0)، رهاسازی اراضی کشاورزی در ۱۵-۱۰ سال (AR15) و ٤۰-۱۵ سال (AR40) و اراضی مرتع (UR) بر ضریب غنی شدن کربن و نیتروژن در فرکشن‌های مختلف ذرات اولیه خاک (شن، سیلت و رس) در مناطق خرگوش و شیدا

اعداد میانگین‌ها به همراه SE می‌باشد. میانگین‌ها با حروف متفاوت بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن بین انواع کاربری می‌باشد و میانگین‌ها با حروف متفاوت کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن بین فرکشن‌های مختلف خاکدانه‌ای می‌باشد.

Figure 1- The effect of cultivated land (CR0), agricultural release in 10-15 years (AR15) and 15-40 years (AR40) and Uncultivated lands (reference) (UR) on the coefficient of carbon and nitrogen enrichment in different fractions of soil particle (sand) , Silt and clay) in rabbit and rice fields

The numbers are averages with SE. The meanings with large letters indicate a significant difference at a probability level of 0.05 on the basis of Duncan's test between the types of user, and the averages with small small letters indicate a significant difference at the probability level of 0.05 based on the Duncan test between the various subsurface factors.

به طور کلی، در منطقه خرگوش رهاسازی اراضی زراعی باعث افزایش ضریب غنی شدن کربن در دو جزء سیلت و رس با اختلاف اندک شده؛ و تأثیر کشت و کار آنقدر زیاد نیست که کربن ذرات ریز را تحت تأثیر قرار دهد و آن را از این بخش‌ها خارج کند. در منطقه شیدا برعکس منطقه خرگوش رهاسازی اراضی کشاورزی سبب کاهش کربن اجزای سیلت و رس شده به‌طوری که انجام عملیات کشت و کار نه تنها کربن اجزای تفکیک شده را کاهش نداده بلکه میزان غنی شدن کربن هر سه جزء در این اراضی بیشتر از کاربری‌های حفاظت‌شده است. نتایج بیان‌کننده این است که در جزء رس هر دو منطقه و هر چهار کاربری اعمال شده و همچنین جزء سیلت هر دو منطقه و هر چهار کاربری بجزء تیمار مرتع منطقه شیدا، ضریب غنی سازی کربن بیشتر از یک بوده که حاکی از غنی شدن کربن این اجزاء می‌باشد. به‌طوری که در بعضی جاها این غنی‌سازی با حداقل اختلاف در جزء رس بیشتر از سیلت نیز بوده است و تهی شدن کربن در کاربری‌های مطالعاتی هر دو منطقه بیشتر در جزء شن نمایان شده است.

ژانگ و همکاران (۳۹) در بررسی توزیع کربن آلی خاک روی اجزای شن، سیلت و رس تحت سه کشت طولانی‌مدت با خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی و کشت کوتاه‌مدت بدون خاک‌ورزی گزارش نمودند که محتوای کربن آلی خاک در هر سه کشت با کاهش اندازه ذرات از شن به رس به ترتیب افزایش یافته است؛ و جزء رس از کربن بیشتری برخوردار بود. درحالی‌که در بررسی کربن اجزای شن ریز و درشت، سیلت و رس در سه مدیریت متفاوت شامل اراضی مرتعی، اراضی بدون خاک‌ورزی و اراضی بدون خاک‌ورزی ولی به همراه استفاده از کود آلی توسط لورنز و همکاران (۱۹) مشاهده شد که رس و شن درشت بیشترین غنی شدن کربن را در مقایسه با کل خاک

داشتند؛ و جزء سیلت برخلاف تهی بودن از لحاظ ضریب غنای کربن، چون مقدار آن در خاک بیشتر از سایر اجزاء بود این جزء بالاترین ذخیره کربن را شامل شده بود. طبق اظهارات کریستنسن و سورنسن (۷) و استمر و همکاران (۳۶) به‌طور کلی بیشترین مقادیر غلظت کربن در اجزاء ریز در اندازه رس مشاهده می‌شود. کریستنسن (۸) گزارش نمود که پایداری ماده آلی خاک در اجزای مختلف ذرات به ترتیب در ذرات شن، رس و سیلت کاهش یافت. نتایج مطالعه جاگاداما و لال (۱۷) در مقایسه توزیع کربن آلی بین اجزای مختلف خاک اراضی کشاورزی طولانی‌مدت در دو بخش خاک‌ورزی طولانی‌مدت و تناوب کشت بیان نمودند با اینکه مقدار سیلت در خاک بیشتر است، اما مخزن تجمع کربن آلی در جزء رس بیشتر از جزء سیلت می‌باشد.

آندرسون و پائول (۲) طی تحقیقی دریافتند که کربن آلی عجین شده در اجزای سیلت و رس درشت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از کربن عجین شده در جزء رس ریز دانه داشت.

همچنین نتایج کندلر و همکاران (۱۸) و استمر و همکاران (۳۶) در بررسی توزیع میزان نیتروژن در اجزای ذرات اولیه این بود که مقدار نیتروژن اجزای ذرات اولیه خاک با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد؛ و بیشترین غلظت نیتروژن در اجزاء هم‌اندازه رس مشاهده شده است.

اثر رهاسازی اراضی کشاورزی بر نسبت کربن به نیتروژن در اجزای فیزیکی ذرات اولیه خاک

مقایسه بین کاربری‌ها حاکی است که در منطقه خرگوش با افزایش زمان رهاسازی اراضی کشاورزی و توقف فعالیت‌های کشاورزی نسبت C/N جزء شن به‌طور معنی‌دار نسبت به اراضی کشاورزی کاهش یافت درحالی‌که در منطقه شیدا عکس منطقه خرگوش با افزایش زمان رهاسازی به مدت ۴۰ سال و بی خاک‌ورزی بودن مرتع این نسبت در جزء شن افزایش یافت (جدول ۴). نسبت C/N جزء سیلت درحالی‌که بین کاربری‌های مطالعاتی منطقه خرگوش تفاوت معنی‌داری نشان نداد در منطقه شیدا با افزایش زمان رهاسازی این نسب در جزء سیلت افزایش یافت. به‌طوری که نسبت C/N اراضی با زمان رهاسازی ۴۰ سال و مرتع ۶۵ درصد بیشتر از اراضی تحت کشت بود. همچنین نسبت C/N اراضی با زمان رهاسازی ۱۵ سال تفاوت آماری با دیگر کاربری‌ها نداشت. نسبت C/N جزء رس در هر دو منطقه مطالعاتی در اراضی تحت کشت و کار کمترین مقدار بود. به‌طوری که در منطقه خرگوش این نسبت در اراضی رهاشده به مدت ۱۵ سال ۸۰/۵ درصد بیشتر از اراضی تحت کشت بود و اراضی رهاشده به مدت ۴۰ سال و مرتع این منطقه تفاوت معنی‌دار با کاربری‌های دیگر نداشتند. در منطقه شیدا نیز این نسبت با افزایش زمان رهاسازی اراضی کشاورزی با اختلاف اندک نسبت به هم افزایش یافت.

مقایسه نسبت C/N ذرات اولیه خاک در منطقه خرگوش، در اراضی تحت کشت تفاوت معنی‌داری نداشت. نسبت C/N اجزای رس و سیلت به ترتیب ۱۵۵ و ۱۱۲ درصد در رهاسازی ۴۰ سال و ۵۷۷ و ۴۳۱ درصد در مرتع (بدون تفاوت معنی‌دار) بیشتر از جزء شن بودند؛ و در رهاسازی ۱۵ سال کشاورزی بیشترین میزان نسبت C/N در جزء رس و کمترین آن در جزء شن بود درحالی‌که این نسبت در جزء سیلت تفاوت معنی‌داری با دو جزء دیگر نداشت. در منطقه شیدا، نسبت C/N بین اجزای ذرات اولیه خاک در اراضی تحت کشت و مرتعی تفاوت معنی‌دار نداشت. نسبت C/N اراضی رهاشده ۱۵ سال در جزء سیلت ۳۱/۵ درصد بیشتر از جزء شن بود درحالی‌که نسبت C/N جزء رس تفاوت معنی‌داری با دو جزء دیگر نداشت. در رهاسازی ۴۰ سال نیز این نسبت در دو جزء سیلت و رس هم‌معنی و به ترتیب حدود ۴۳ و ۶۵ درصد کمتر از جزء شن بودند (جدول ۴).

به‌طور کلی نتایج حاکی از این است که در اراضی رهاسازی شده مرتعی منطقه خرگوش بالاترین نسبت C/N در اجزاء رس و سیلت بود و پایین‌ترین آن در جزء شن بود در حالی که در منطقه شیدا در اراضی رهاشده کشاورزی به مدت ۱۵ سال این نسبت در جزء سیلت و در رهاسازی ۴۰ سال در جزء شن بیشترین مقدار بود. ژانگ و همکاران (۳۹) در بررسی توزیع کربن آلی خاک روی اجزای شن، سیلت و رس تحت سه کشت طولانی‌مدت با خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی و کشت کوتاه‌مدت بدون خاک‌ورزی گزارش نمودند که نسبت کربن به نیتروژن خاک در هر سه کشت با هم تفاوت معنی‌دار نداشت و با افزایش اندازه ذرات نسبت کربن به نیتروژن نیز افزایش یافت. به‌طوری‌که این نسبت در دو جزء شن و سیلت هم‌معنی و بیشتر از جزء رس بود و این نشان‌دهنده حالت‌های معدنی شدن و درجه هوموسی شدن ماده آلی خاک می‌باشد که با نتایج حاصل از این تحقیق در برخی از کاربری‌ها هم‌خوانی ندارد.

نتیجه‌گیری

کشت و کار در اراضی بکر بسته به موقعیت اقلیمی و کیفیت خاک مرتع می‌تواند اثرات مثبت و منفی بر اکوسیستم‌های طبیعی داشته باشد. به تبع در منطقه شیدا با وجود میزان بارندگی و وضعیت خوب پوشش طبیعی مراتع این منطقه کشت و کار در اراضی بکر اثرات منفی در جهت کاهش کیفیت خاک و ماده آلی آن داشته است. در حالی که در منطقه خرگوش که از میزان بارندگی اندک و کیفیت پایین مراتع آن، کشت و کار اثرات سوء ای بر آن نداشته است.

همچنین نتایج نشان داد که زیر کشت بردن اراضی، نیز بسته به شرایط اقلیمی و مدیریتی هر منطقه نیز سبب افزایش یا کاهش قابل توجهی در میزان کربن آلی اجزای شن و سیلت و رس شد. میزان

کربن آلی در هر سه جزء نسبت به کل کربن آلی خاک در اثر کشت و کار در منطقه خرگوش تغییرات چندانی نشان نداد. در حالی که کشت و کار در منطقه شیدا سبب کاهش میزان کربن آلی اجزای مختلف ذرات اولیه خاک گردید.

تغییر کاربری اراضی مرتعی به زراعی اثر چندانی بر میزان نیتروژن خاک نداشت. بیشترین میزان نیتروژن در منطقه خرگوش در اراضی کشت شده و اراضی ۴۰ سال رهاشده و در بخش رس و کمترین مقدار آن در اراضی ۱۵ سال رهاشده و در بخش شن مشاهده شد. در حالی که در منطقه شیدا بیشترین میزان نیتروژن هر سه جزء شن، سیلت و رس در اراضی بکر و کمترین آن در اراضی رهاشده مشاهده گردید. همچنین زیر کشت بردن اراضی بکر در منطقه خرگوش سبب افزایش میزان C/N جزء شن گردید. در حالی که در منطقه شیدا میزان C/N ماده آلی هر سه جزء ذرات اولیه خاک کاهش یافت.

منابع

1- Ahmadi H., Heshmati G.H., Psrkly M., and Nasseri H.R. 2009. Comparison of carbon sequestration in desert and meadow forests to manage sandy land in south of salt lake. Thesis of the Ministry of Science and Research and Technology, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan University, p. 75. (In Persian with English abstract)

2- Anderson D.W., and Paul E.A. 1984. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil Sci. Soc, Am, J., 48: 298-301.

3- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen total. Pp: 595-624. In: Page AL. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical Analysis. ASA and SSSA. Madison, WI.

4- Bronick C.J., and Lal R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. Soil and Tillage Research 81: 239-252.

5- Caravaca F., and Roldan A. 2003. Effect of Eisenia foetida earthworms on mineralization kinetics, microbial biomass, enzyme activities, respiration and labile C fractions of three soils treated with a composted organic residue. Biology and Fertility of Soils 38: 45–51.

6- Caravaca F., Masciandro G., and Ceccanti B. 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semi-arid Mediterranean environment. Soil and Tillage Research 68: 23-30.

7- Christensen B.T., and Sørensen L.H. 1985. The distribution of native and labelled carbon between soil particle size fractions isolated from long-term incubation experiments. Eur. J. Soil Sci. 36: 219-229.

8- Christensen B.T. 1987. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. Soil Biology and Biochemistry 19: 429-435.

9- Christensen B.T. 1996. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. Pp: 97-165. In: Carter MR and Stewart BA (eds). Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.

10- Christensen B.T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. European Journal of Soil Science 52: 345-353.

11- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. Pp: 383-411. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods. Part 1(2nd ed),

12- Golchin A., and Malakouti M.J. 1999. Maintenance and mobility of soil organic matter. Iranian Journal Soil and Water Science 13(1): 40-53.(In Farsi)

13- Gregorich E.G., Kachanoski R.G., and Voroney R.P. 1989. Carbon mineralization in soil size fractions after various amounts of aggregate disruption. Eur. J. Soil Sci. 40: 649-659.

14- Haile-Mariam S., Collins H.P., Wright S., and Paul E.A. 2008. Fractionation and long-term laboratory incubation to measure soil organic matter dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 72: 370-378.

15- He N., Wu L., Wang Y., and Han X. 2009. Changes in carbon and nitrogen in soil particle-size fractions along a grassland restoration chronosequence in northern China. Geoderma 150: 302- 308.

16- Jafari S., Golchin A., and Tollabi fard A. 2016. The Effect of Land Use Change on the Properties of Physical Components of Organic Matter, Pressure Clay and Aggregate Stability in Some Lands of Khuzestan Province. Iran Water and Soil Research, Period 47, No 3, pp 603-593. (In Persian with English abstract)

17- Jagadamma S., and Lal R. 2010. Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. Biology and Fertility of Soils 46: 543-554.

18- Kandeler E., Stemmer M., and Klimanek E.M. 1999. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. Soil Biology and Biochemistry 31: 261-273.

19- Lorenz K., Lal R., and Shipitalo M.J. 2008. Chemical stabilization of organic carbon pools in particle size fractions in no-till and meadow soils. Biology and Fertility of Soils 44: 1043-1051.

20- Murage E.W., Voroney P.R., Kay B.D., Deen B., and Beyaert R.P. 2007. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 71: 1363_1370.

21- Nadal-Romero E., Cammeraat E., Pérez-Cardiel E., and Lasanta T. 2016. Effects of secondary succession and afforestation practices on soil properties after cropland abandonment in humid Mediterranean mountain areas. Agriculture, Ecosystems & Environment 228: 91-100.
22- Nelson D.W., and Somners L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp: 539-579.
23- Novara A., Gristina L., Sala G., Galati A., Crescimanno M., Cerdà A., and LaMantia T. 2017. Agricultural land abandonment in Mediterranean environment provides ecosystem services via soil carbon sequestration. Science of the Total Environment 576: 420-429
24- Olk D.C., and Gregorich E.G. 2006. Overview of the symposium proceedings, meaningful pools in determining soil carbon. Soil Science Society of America Journal 70: 967-974.
25- Preston C.N., Newman R.H., and Rother P. 1994. Using 13C CPMAS NMR to assess effects of cultivation on the organic matter of particle size fractions in a grassland soil. Soil Sci. 157: 26-35.
26- Qiu L., Wei X., Zhang X., Cheng J., Gale W., Guo C., and Long T. 2012. Soil organic carbon losses due to land use change in a semiarid grassland. Plant and Soil 355(1-2): 299-309.
27- Raiesi F. 2007. The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. Agric Ecosyst Environ 121: 309–318.
28- Raiesi F. 2012. Soil properties and C dynamics in abandoned and cultivated farmlands in a semi-arid ecosystem. Plant Soil 351: 161–175
29- Salek-Gilani S., Raiesi F., Tahmasebi P., and Ghorbani N. 2013. Soil organic matter in restored rangelands following cessation of rainfed cropping in a mountainous semi-arid landscape. Nutrient Cycling in Agroecosystems 96(2-3): 215-232.
30- San Román Sanz A., Fernández C., Mouillot F., Ferrat I., Istria D., and Pasqualini V. 2013. Long-term forest dynamics and land use abandonment in the Mediterranean mountains, Coesica France. Ecol. Soc. 18(2): 38.
31- Schahczenski J., and Hill H. 2009. Agriculture, Climate Change and Carbon Sequestration, ATTRA Publications, 16 pp.
32- Schuman G.E., Janzen H., and Herrick J.E. 2002. Soil carbon information and potential carbon sequestration by rangelands, Environmental Pollution, Vol 116. Pp: 391-396.
33- Six J., Guggenberger G., Paustian K., Haumaier L., Elliott E.T., and Zech W. 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregate. European Journal of Soil Science 52(4): 607-618.
34- Six J., Paustian K., Elliott E.T., and Combrink C. 2000. Soil structure and organic matter: I. distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Science Society of America Journal 64: 681–689. Soil Use and Management 21: 38–52.
35- Spohn M., Novák T.J., Incze J., and Giani L. 2016. Dynamics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus in calcareous soils after land-use abandonment–A chronosequence study. Plant and Soil 401(1-2): 185-196.
36- Stemmer M., Gerzabeki M.H., and Kandeler E. 1998. Organic matter and enzyme activity in particlesize fractions of soils obtained after low-energy sonication. Soil Biology and Biochemistry 30: 9-17.
37- Wagai R., Mayer L.M., and Kitayama K. 2009. Nature of the occluded low density fraction in soil organic matter studies: A critical review. Soil Science and Plant Nutrition 55: 13-25.
38- Wertebach T.M., Hölzel N., Kämpf I., Yurtaev A., Tupitsin S., Kiehl K., and Kleinebecker T. 2017. Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: estimates from a large-scale soil organic carbon field inventory. Global Change Biology.
39- Zhang Z.D., Yang X.M., Drury C.F., Reynolds W.D., and Zhao L.P. 2010. Mineralization of active soil organic carbon in particle size fractions of a Brookston clay soil under no-tillage and mouldboard plough tillage. Canadian Journal of Soil Science 90(4): 551-557.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 431-443

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۴۳-۴۳۱

The Effect of Interaction of Land Abandonment and Climate Conditions on Restoration of Organic Matter in Primary Soil Particles in the Rangeland of Steppe Regions

S. Salari[1]- M. Pajouhesh[2*]- P. Tahmasebi[3]- F. Nikookhah[4]

Received: 09-09-2018
Accepted: 10-06-2019

Introduction: Although many studies have been done on the effects of agricultural land abandonment, there is very little information about the impact of climate conditions on the restoration of abandoned agricultural lands. Human has changed most of rangelands to agricultural lands causing a decrease in carbon sequestration, depending on land management and tillage operations. One of the methods for rebuilding the land cover is the land abandonment, which results in enhanced organic carbon and decreased CO_2 emission. Understanding the storage and dynamics of soil organic matter, especially in relation to changing land use, is fundamental to evaluate the role of soil as a carbon source or sink. After land use change from rangeland to cropland, agricultural practices decrease the C stored in soils and cause a net release of C into the atmosphere, which has strongly influenced the atmospheric CO_2 levels and global C balance over the last centuries. For this purpose, this study aimed to assess the effect of interaction between agricultural land abandonment and climatic conditions on organic material reserves of primary soil particles.

Materials and Methods: The study area was located in semi-steppe rangelands of Sheida and Khargosh in about 60 km northwest of Shahrekord city, Chaharmahal-va-Bakhtiari province, central Iran. In this study, four treatments including rangeland, agricultural and cultivated land abandoned in the time series of 10-15 and 15-40 Year were selected. The sample plots were placed in the distance of transects, and the soil samples were collected from 0-30 cm depths with different rainfall conditions from two above-mentioned regions in three replications. For each region, the soil samples were transferred to the laboratory and then analyzed. The selected locations had same soil shape, topography, parent material, and slope. The soil samples of three plots were then combined and 24 samples were prepared. The distribution of carbon and nitrogen concentrations was determined at different soil particle components.

Results and Discussion: The results showed that the rangeland change to cultivated land did not have a significant effect on the amount of organic carbon, total nitrogen, and total carbon to total nitrogen ratio. However, the values of these indicators decreased significantly in the Sheida region. Under all land management, the amount of carbon and nitrogen of soil particles increased with decreasing the particle size from sand to clay. Hence, the abandoned agricultural land and rangelands did not significantly affect the amount of carbon and nitrogen concentration in sand, silt and clay particles. The amount of carbon, however, increased with the abandonment time and non-agronomic activity of carbon in sand and silt particles, although the carbon content of clay particle was not influenced. Agricultural practices may negatively or positively impact natural ecosystem depending on climatic condition and soil quality in unchanged lands. However, despite suitable climatic conditions (in terms of precipitation) and land cover in the rangelands over Sheida, the cultivation adversely influenced the soil quality and organic matter of the unchanged land. Although, the precipitation and soil quality were relatively lower in Khargosh region, the agricultural activities seem not to negatively affect the land quality. Moreover, rangelands change to cultivated lands did not have a significant effect on the amount of soil nitrogen in this region. The greatest nitrogen amount was measured in clay fractions of cultivated and abandoned

1- Former M.Sc. Student, Department of Desert Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University
2 and 3- Assistant Professor and Associate Professor of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University
(*- Corresponding Author Email: drpajoohesh@gmail.com)
4- Assistant Professor of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University

lands for 40 years, and the minimum nitrogen content was detected in sand particles of lands abandoned for 15 years. The highest and lowest amount of nitrogen over all three fractions was, respectively, found for unchanged and abandoned lands in Sheida region. Therefore, the cultivated land depending on climate condition and management may considerably increase or decrease the organic carbon content in sand, silt and clay particles.

Conclusion: The results indicated that the agricultural land abandonment may differently affect the rangelands restoration measures such as the vegetation reclamation and soil carbon sequestration depending on climatic condition.

Keywords: Agriculture land abandonment, Organic carbon and total nitrogen, Soil particle

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 445-461

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۶۱-۴۴۵

تأثیر زغال زیستی باگاس نیشکر بر توزیع شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی

اکبر کریمی[1]- عبدالامیر معزی[2*]- مصطفی چرم[3]- نعیمه عنایتی ضمیر[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد زغال‌های زیستی تهیه شده از باگاس نیشکر در دماهای مختلف بر تغییرات شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی بود. به این منظور زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای ۲۰۰ (B200)، ۳۵۰ (B350) و ۵۰۰ (B500) درجه سلسیوس در سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی با نمونه خاک ترکیب شدند. نمونه‌ها به مدت سه ماه در شرایط انکوباسیون و در دمای ثابت نگهداری شدند. در پایان آزمایش از خاک‌های تیمار شده نمونه‌برداری شد و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و شکل‌های شیمیایی روی در خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد کاربرد هر سه نوع زغال زیستی سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی خاک شد. pH خاک در تیمارهای B200 کاهش یافت، اما در تیمارهای B350 و B500 افزایش یافت. غلظت شکل تبادلی روی در خاک تیمار شده با زغال‌های زیستی B350، B500 به‌ترتیب ۵/۲ و ۱۴/۲ درصد کاهش یافت، اما در تیمار B200، ۱۷/۰ درصد افزایش یافت. کاربرد هر یک از زغال‌های زیستی B200، B350 و B500 سبب افزایش شکل‌های کربناتی (به‌ترتیب ۴/۵، ۱۳/۲ و ۲۳/۳ درصد) و آلی (به‌ترتیب ۸۳/۳، ۶/۳ و ۹/۲ درصد) روی در خاک شد. کم‌ترین غلظت شکل باقی‌مانده روی مربوط به خاک تیمار شده با زغال زیستی B200 بود. نتایج همچنین نشان داد که بیش‌ترین تغییرات شکل‌های شیمیایی روی در خاک مربوط به سطح کاربرد ۲ درصد زغال‌های زیستی بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد کاربرد زغال زیستی تهیه شده از باگاس نیشکر در دمای گرماکافت ۲۰۰ درجه سلسیوس (به‌ویژه در سطح ۲ درصد وزنی) می‌تواند با کاهش شکل باقی‌مانده روی و افزایش شکل‌های با فراهمی نسبتاً بیش‌تر از جمله شکل تبادلی، در بهبود فراهمی روی در خاک‌های آهکی مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کننده‌های آلی، دمای گرماکافت، عصاره‌گیری دنباله‌ای، فراهمی روی

مقدمه

فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف یکی از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد و تغذیه گیاهان و سلامت جوامع بشری است. روی یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف ضروری برای گیاهان است که نقش بسیار مهمی در عملکرد و فیزیولوژی گیاهان دارد (۳۴). کمبود روی در گیاهان زراعی یکی از گسترده‌ترین و رایج‌ترین کمبودهای عناصر غذایی در خاک به‌ویژه در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (۹ و ۳۴). مواد آلی کم، pH بالا و مقدار کربنات کلسیم از جمله عواملی هستند که سبب کاهش فراهمی روی در خاک‌های آهکی می‌شوند (۹ و ۳۴). با این‌که مقدار روی کل در خاک‌های آهکی ایران به‌طور میانگین ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۱۸). اما در بیش از ۵۶ درصد اراضی کشاورزی ایران غلظت روی قابل دسترس کم‌تر از ۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۳۶).

تحرک و فراهمی روی در خاک افزون بر مقدار کل، به شکل‌های شیمیایی آن در خاک بستگی دارد. بنابراین جهت برآورد صحیح از شرایط روی در خاک و قابلیت استفاده آن برای گیاهان، لازم است که شکل‌های شیمیایی آن در خاک بررسی گردد (۴۴ و ۴۶). روی در خاک می‌تواند با ترکیبات گوناگون پیوند برقرار کند و به شکل‌های مختلف محلول و تبادلی (شکل تبادلی)، پیوند شده با کربنات‌ها (شکل کربناتی)، پیوند شده با مواد آلی (شکل آلی)، پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز (شکل اکسیدی) و یا در ساختمان کانی‌های اولیه (شکل باقی‌مانده) وجود دارد. قدرت پیوند روی با ترکیبات گوناگون در خاک متفاوت بوده و قابلیت نگهداری و آزادسازی آن متفاوت خواهد بود (۳۲ و ۴۶). شکل تبادلی روی متحرک بوده و به آسانی برای گیاهان قابل دسترس است. شکل باقی‌مانده روی نسبتاً غیر فعال است و سایر شکل‌های روی باتوجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌توانند نسبتاً فعال بوده و منبعی قابل دسترس برای گیاهان باشند

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول Email: moezzi151@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.75162

(۳۲ و ۴۱).

استفاده از اصلاح کننده‌های آلی و افزایش مواد آلی خاک می‌تواند در توزیع دوباره روی در خاک و فراهمی آن، به‌ویژه در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک با مواد آلی بسیار کم مؤثر باشد (۴۷). یکی از اصلاح کننده‌های آلی که در سال‌های اخیر کاربرد آن در خاک مورد توجه قرار گرفته است، زغال زیستی می‌باشد. زغال زیستی یک ماده متخلخل و غنی از کربن است که از تجزیه حرارتی زیست‌توده‌ها در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود تهیه می‌شود (۲۲ و ۳۳). نتایج مطالعات نشان داده است که کاربرد زغال زیستی به‌عنوان یک اصلاح کننده آلی خاک با تحت تأثیر قرار دادن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (۲۲ و ۳۹) و فعالیت میکروبی خاک (۲۲ و ۳۷)، در بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک و به‌دنبال آن افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر می‌باشد (۳۳).

افزودن زغال زیستی به خاک با توجه به ویژگی‌های آن می‌تواند توزیع شکل‌های شیمیایی روی میان ترکیبات مختلف فاز جامد خاک را تحت تأثیر قرار دهد (۳۳). از سویی فراهمی و تحرک روی در خاک‌های تیمار شده با زغال زیستی به ویژگی‌های خاک از جمله pH، مواد آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و ویژگی‌های زغال زیستی مانند pH، درصد کربن آلی، CEC، گروه‌های عاملی و ویژگی‌های ساختاری آن بستگی دارد (۳ و ۳۳). از سویی دیگر ویژگی‌های زغال زیستی به نوع زیست‌توده و دمای گرماکافت آن بستگی دارد (۲۲ و ۳۳). بنابراین تأثیر زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای متفاوت، بر تغییرات شکل‌های شیمیایی روی در خاک متفاوت می‌باشد. سالانه بیش از ۴/۳ میلیون تن باگاس نیشکر در کشور و عمدتاً در استان خوزستان تولید می‌شود که بخش عمده آن انبار شده و یا سوزانده می‌شود (۲۸). با توجه به این‌که تاکنون مطالعات چندانی در زمینه تأثیر زغال‌های زیستی مختلف بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های آهکی ایران انجام نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر زغال‌های زیستی تهیه شده از باگاس نیشکر در دماهای مختلف (۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) بر غلظت و توزیع شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی بود.

مواد و روش‌ها

تهیه زغال‌های زیستی و اندازه‌گیری ویژگی‌های آن‌ها

در این پژوهش از زیست‌توده باگاس نیشکر برای تهیه زغال‌های زیستی استفاده شد. زیست‌توده باگاس نیشکر از کشت و صنعت نیشکر دهخدا در شهرستان اهواز تهیه شد. باگاس نیشکر ابتدا هوا خشک شده و پس از آسیاب کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شدند (۳۸). زغال‌های زیستی باگاس نیشکر بر اساس روش پیشنهادی کانترل و همکاران (۵) در شرایط بدون اکسیژن در کوره الکتریکی و در دماهای ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳ ساعت و با نرخ افزایش دمای ۵ درجه سلسیوس در دقیقه تهیه شدند. برای ایجاد شرایط بدون اکسیژن از جریان گاز نیتروژن استفاده شد (۵). سپس از هر یک از زغال‌های زیستی یک زیرنمونه برداشت شد و ویژگی‌های آن‌ها اندازه‌گیری شدند. pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ زغال زیستی به آب دیونیزه (۳۸)، عملکرد، درصد خاکستر و درصد کربن تثبیت شده به‌روش سینگ و همکاران (۳۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش اصلاح شده جانشینی با استات آمونیوم (۱۱) و محتوای کربن، نیتروژن، هیدروژن و گوگرد با دستگاه (Vario EL III analyzers CHNS اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و روی در زغال‌های زیستی از روش سوزاندن خشک و هضم نمونه‌های خاکستر در اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه استفاده شد (۳۸). در عصاره‌های تهیه شده، غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Corning 410)، غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Apel PD-303 UV) و غلظت روی با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu6300 AA) اندازه‌گیری شد.

نمونه‌برداری خاک و آزمایش انکوباسیون

نمونه خاک مورد مطالعه از زمین‌های زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا-خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (۶). غلظت عناصر غذایی در خاک (۶) و همچنین غلظت قابل جذب روی در خاک با استفاده از عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری قرائت شد (۲۳).

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور نوع زغال زیستی (شامل بدون کاربرد زغال زیستی یا شاهد (C) و زغال‌های زیستی باگاس نیشکر تهیه شده در دماهای ۲۰۰ (B200)، ۳۵۰ (B350) و ۵۰۰ (B500) درجه سلسیوس) و سطح زغال زیستی (۱ و ۲ درصد وزنی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. زغال‌های زیستی در دو سطح ۱ و ۲ درصد وزنی به‌طور یکنواخت با ۳۰۰ گرم خاک مخلوط شدند و در ظروف پلاستیکی مناسب نگه‌داری شدند. رطوبت نمونه‌ها (مخلوط خاک-زغال زیستی) با افزودن آب مقطر به‌روش اسپری، در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تنظیم شد و تا پایان آزمایش به‌صورت وزنی کنترل گردید. نمونه‌ها به مدت ۳ ماه در شرایط کنترل شده و در دمای ۲±۲۵ نگه‌داری شدند.

اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی روی و ویژگی‌های شیمیایی خاک

پس از سه ماه نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای ارزیابی تأثیر زغال‌های زیستی بر تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک، pH، CEC، کربن آلی و کربن آلی محلول خاک به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر در تغییرات شکل‌های شیمیایی روی در خاک اندازه‌گیری شدند. بدین ترتیب pH نمونه‌ها در عصاره ۱:۱ خاک به آب دیونیزه، CEC به روش استات سدیم (۶)، کربن آلی کل (TOC) به روش اکسیداسیون تر (۳۰) و کربن آلی محلول (DOC) در عصاره ۱ به ۲ خاک به آب دیونیزه اندازه‌گیری شد (۷ و ۳۰). غلظت روی قابل دسترس در خاک با عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد (۲۳). شکل‌های شیمیایی روی در نمونه‌ها به‌روش عصاره‌گیری دنباله‌ای تسیر و همکاران (۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد (۴۳). این روش، روی را به شکل‌های تبادلی، پیوند شده با کربنات‌ها، پیوند شده با مواد آلی، پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و باقیمانده جدا می‌کند (جدول ۳). غلظت روی در عصاره‌های تهیه شده توسط دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu6300 AA) اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و بررسی همبستگی میان شکل‌های شیمیایی روی در خاک با استفاده از نرم‌افزارهای GENSTAT و SPSS انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و زغال‌های زیستی

در جداول ۱ و ۲ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و غلظت اولیه عناصر در خاک مطالعه شده آمده است. خاک مورد مطالعه دارای بافتی لومی، آهکی، غیر شور و دارای مقدار ماده آلی کم بود (جدول ۱). همچنین غلظت روی در خاک کم‌تر از حد بحرانی بود (جدول ۲). برخی ویژگی‌های زغال‌های زیستی در جدول ۳ آمده است. به‌طور کلی در اثر تغییر دمای گرماکافت تمامی ویژگی‌های زغال‌های زیستی تغییر کردند (جدول ۳). بدین‌ترتیب که کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر pH، EC، درصد خاکستر، فسفر، پتاسیم و روی به‌ترتیب مربوط به زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای ۲۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس بود (جدول ۳). بیش‌تر بودن pH و EC در زغال زیستی B500 می‌تواند به‌دلیل بیش‌تر بودن تجمع کاتیون‌های قلیایی از جمله پتاسیم در این زغال زیستی باشد. همچنین بیش‌تر بودن غلظت فسفر، پتاسیم و روی در این زغال زیستی را می‌توان به کاهش عملکرد و افزایش تغلیظ عناصر در آن نسبت داد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر CEC، درصد هیدروژن و درصد اکسیژن و نسبت‌های اتمی هیدروژن به کربن (H/C) و اکسیژن به کربن (O/C) به‌ترتیب مربوط به زغال‌های زیستی B200 و B500 بود (جدول ۳). کاهش درصد اکسیژن و هیدروژن و نسبت‌های O/C و H/C، به این دلیل است که در دماهای بالای گرماکافت به‌دلیل فرآیندهای آب‌زدایی و هیدروژن‌زدایی و همچنین خروج سلولز، لیگنین و پکتین که از اجزای اصلی تشکیل دهنده زیست‌توده‌های آلی می‌باشند، مقادیری از اکسیژن و هیدروژن از زیست توده خارج می‌شود (۱۱، ۱۹ و ۴۹). مقادیر کم نسبت‌های H/C و O/C زغال‌های زیستی نشان‌دهنده پایدار بودن کربن آن‌ها می‌باشد (۱۹ و ۴۹). نتایج آنالیز عنصری نشان داد بیش‌ترین درصد نیتروژن و کربن مربوط به زغال زیستی B350 بود (جدول ۳). کم‌تر بودن کربن و نیتروژن در زغال زیستی B500 در مقایسه با B350 احتمالاً به دلیل خروج کربن از فاز جامد زغال زیستی و خروج نیتروژن در اثر انتشار آمونیاک و سایر ترکیبات فرار نیتروژن‌دار باشد (۱۹). همچنین بیش‌تر بودن کربن زغال زیستی B350 نسبت به B200 به این دلیل است که با افزایش دمای گرماکافت از ۲۰۰ به ۳۰۰ درجه سلسیوس، عملکرد زغال زیستی کاهش یافت (جدول ۳) و در اثر کاهش عملکرد، کربن موجود در ساختار زغال زیستی تغلیظ می‌شود (۱۹).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک مورد مطالعه

Table 1- Selected physico-chemical properties of the soil used in this study

ویژگی Property	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی OM	کربنات کلسیم معادل CCE	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	هدایت الکتریکی EC_e	پ‌هاش pH
واحد Unit			%			$cmol_c\,kg^{-1}$	$dS\,m^{-1}$	-
مقدار Value	40.6	38.0	21.4	0.41	41.3	12.6	2.45	7.7

جدول ۲- غلظت اولیه برخی عناصر اندازه‌گیری شده در خاک مورد مطالعه
Table 2- Concentration of selected elements in the soil used in this study

ویژگی Property	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل دسترس $NaHCO_3$-extractable P	پتاسیم قابل دسترس NH_4OAc-extractable K	روی کل Total Zn	روی قابل دسترس DTPA-extractable Zn
واحد Unit	g kg^{-1}	mg kg^{-1}			
مقدار Value	0.36	13.5	273	56.5	0.51

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال‌های زیستی استفاده شده در این پژوهش
Table 3- Selected physico-chemical properties of biochars used in this study

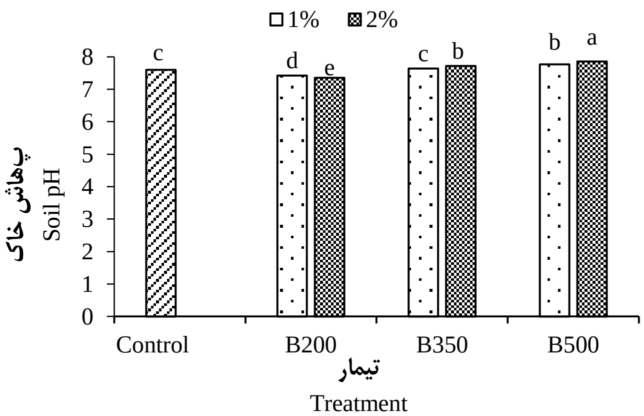
ویژگی Property	واحد Unit	زغال زیستی ۲۰۰°C 200°C Biochar (B200)	زغال زیستی ۳۵۰°C 350°C Biochar (B350)	زغال زیستی ۵۰۰°C 500°C Biochar (B500)
پهاش pH (1:10)	-	6.78 ± 0.09	8.59 ± 0.15	9.72 ± 0.13
هدایت الکتریکی EC (1:10)	dS m^{-1}	0.860 ± 0.007	0.953 ± 0.009	1.056 ± 0.018
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	$cmol_c$ kg^{-1}	33.85 ± 0.90	29.92 ± 1.49	22.85 ± 1.04
عملکرد Yield	%	67.11 ± 3.74	47.53 ± 0.41	43.54 ± 3.28
خاکستر Ash	%	12.40 ± 0.72	29.47 ± 0.41	54.73 ± 0.42
مواد فرار Volatile matter (VM)	%	78.88 ± 1.26	49.55 ± 1.03	35.33 ± 0.87
کربن تثبیت شده Fixed carbon (FC)	%	8.39 ± 0.73	22.31 ± 0.48	31.67 ± 0.47
نسبت VM/FC VM/FC Ratio	-	9.40 ± 0.27	2.22 ± 0.11	1.12 ± 0.24
کربن C	%	45.15 ± 1.94	56.11 ± 1.07	39.08 ± 0.93
هیدروژن H	%	2.604 ± 0.048	1.598 ± 0.096	0.588 ± 0.013
نیتروژن N	%	0.575 ± 0.021	0.805 ± 0.012	0.693 ± 0.009
اکسیژن O	%	38.98 ± 0.34	11.59 ± 0.31	4.48 ± 0.12
نسبت هیدروژن به کربن H/C Ratio	-	0.692 ± 0.027	0.342 ± 0.021	0.181 ± 0.011
نسبت اکسیژن به کربن O/C Ratio	-	0.648 ± 0.023	0.155 ± 0.012	0.086 ± 0.008
فسفر P	g kg^{-1}	0.156 ± 0.01	0.234 ± 0.01	0.786 ± 0.03
پتاسیم K	g kg^{-1}	0.816 ± 2.6	2.47 ± 1.2	6.55 ± 0.71
روی Zn	mg kg^{-1}	23.45 ± 1.15	40.68 ± 0.47	62.5 ± 0.70

تأثیر کاربرد زغال‌های زیستی بر pH، CEC، کربن آلی کل و کربن آلی محلول خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نوع زغال زیستی، سطح زغال زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر pH، CEC، کربن آلی کل و کربن آلی محلول خاک معنی‌دار بود (جدول ۴). روند تغییرات pH خاک در اثر کاربرد زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای مختلف متفاوت بود.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر pH، CEC، کربن آلی کل و محلول خاک
Table 4- Variance analysis (mean squares) of the treatments effects on pH, CEC, TOC and DOC.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پ‌هاش pH	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	کربن آلی کل TOC	کربن آلی محلول DOC
نوع زغال زیستی Biochar type	3	0.281**	0.874**	0.165**	43.6*
سطح زغال زیستی Biochar rate	1	0.005*	0.674**	0.122**	136.1**
نوع × سطح Rate×Type	3	0.013**	0.269*	0.001**	57.5**
خطا Error	16	0.001	0.048	0.0001	7.4
ضریب تغییرات CV (%)		0.30	1.39	1.64	6.71



شکل ۱- pH خاک در تیمارهای مختلف زغال زیستی
Figure 1- Soil pH at different biochar treatments
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند.
Means similar letter(s) are not significantly different, according to the Duncan's -test at 5% probability level.

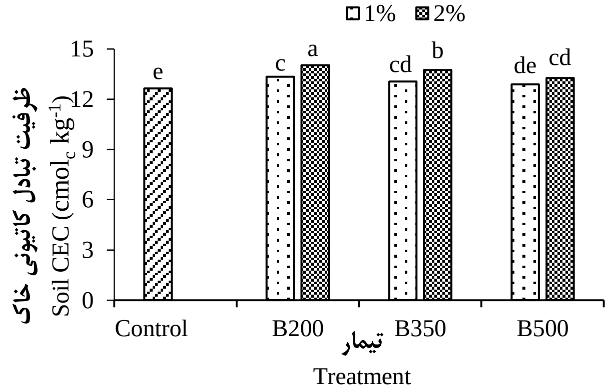
بدین ترتیب که کاربرد زغال زیستی B200 در سطوح ۱ و ۲ درصد سبب کاهش معنی‌دار pH خاک شد (شکل ۱). در حالی‌که کاربرد هر دو سطح ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B500 سبب افزایش معنی‌دار pH خاک شد. همچنین اگرچه کاربرد زغال زیستی B350 در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری بر pH خاک نداشت. اما کاربرد آن در سطح ۲ درصد سبب افزایش معنی‌دار pH خاک شد (شکل ۱). به‌طور کلی نتایج نشان داد کاربرد زغال‌های سطحی در سطح ۲ درصد در مقایسه با سطح ۱ درصد اثر بیش‌تری بر تغییرات pH خاک داشت. Yue و همکاران (۴۶) نیز گزارش کردند سطوح بالای زغال زیستی تأثیر بیش‌تری در تغییرات pH خاک دارند.

افزایش pH خاک بر اثر کاربرد زغال زیستی B500، می‌تواند به‌دلیل pH بالای آن و مقدار بیش‌تر کاتیون‌های قلیایی مانند پتاسیم و سدیم در بخش خاکستر آن باشد (جدول ۳). چرا که این کاتیون‌های قلیایی به آسانی در محلول خاک حل شده و سبب افزایش pH خاک می‌شوند (۳). همچنین هیدروکسیدها و کربنات‌های موجود در زغال‌های زیستی می‌توانند سبب افزایش pH خاک شوند (۳). نتایج پژوهش الوابل و همکاران (۲) نیز نشان داد در اثر افزودن زغال زیستی کنوکارپوس تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به یک خاک آهکی pH خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاهش pH خاک در تیمار B200 می‌تواند به این دلیل باشد که این نوع زغال زیستی دارای گروه‌های عامل اسیدی زیادی بوده و اکسیداسیون زغال زیستی در خاک سبب آزاد شدن گروه‌های عاملی اسیدی در خاک و به‌دنبال آن سبب کاهش pH خاک می‌شود (۱۴). همچنین زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای گرماکافت پایین به‌دلیل تجزیه مولکول‌های آلی کوچک آن‌ها، افزایش کربن آلی محلول خاک و به‌دنبال آن افزایش فعالیت میکروبی و تولید اسیدهای آلی می‌توانند در کاهش pH خاک مؤثر باشند (۲۴ و ۲۵). خادم و همکاران (۲۰) گزارش کردند کاربرد سطوح ۰/۵ و ۱ درصد زغال زیستی تهیه شده از

ذرت در دماهای ۲۰۰ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی‌دار pH یک خاک رسی آهکی شد. در حالی‌که کاربرد این سطوح زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش معنی‌دار pH خاک شد. به‌طور مشابه ایپولیتو و همکاران (۱۶) گزارش کردند کاربرد زغال زیستی چمن ترکه (*Switchgrass*) تهیه شده در دماهای ۲۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب سبب کاهش و افزایش pH یک خاک آهکی شد. همچنین نتایج پژوهش لیو و ژانگ (۲۵) نشان داد در اثر کاربرد زغال‌های زیستی چوب کاج و اقاقیا در چند نوع خاک قلیایی و آهکی با بافت‌های متفاوت، pH خاک‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آن‌ها دلایل کاهش pH خاک‌ها را انحلال کربنات‌ها و محدود شدن هیدرولیز آن‌ها و همچنین تولید اسیدهای آلی ناشی از تجزیه شدن مواد آلی، در اثر افزودن زغال زیستی گزارش کردند. کاهش pH خاک آهکی در اثر کاربرد زغال زیستی توسط صادق‌زاده و همکاران (۳۵) نیز گزارش شده است.

در اثر کاربرد تمامی تیمارهای زغال زیستی CEC خاک افزایش یافت (شکل ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار افزایش CEC خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای B200 در سطح کاربرد ۲ درصد (۱۱/۰ درصد) و B500 در سطح کاربرد ۱ درصد (۱/۹ درصد) بود. تأثیر کاربرد زغال‌های زیستی در سطح ۲ درصد در افزایش CEC خاک بیش‌تر از تیمارهای سطح ۱ درصد بود. به‌طور کلی ترتیب CEC در تیمارهای مختلف زغال زیستی بدین ترتیب بود: B200 < B350 < B500 < C. دلیل افزایش CEC خاک در اثر کاربرد زغال زیستی، سطح ویژه بالای زغال زیستی و ساختار متخلخل آن و همچنین تراکم بار سطحی و وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار از جمله کربونیل، کربوکسیل بر روی سطح زغال زیستی می‌باشد (۲۱). به‌طور مشابه با این پژوهش نعیم و همکاران (۲۷) گزارش کردند افزودن زغال‌های زیستی کاه گندم و کاه برنج تهیه شده در دماهای مختلف (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) به یک خاک آهکی سبب افزایش معنی‌دار CEC خاک شد. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد که زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای پایین‌تر تاثیر بیش‌تری در افزایش CEC خاک داشتند. لایرد و همکاران (۲۱) نیز با انجام پژوهشی گزارش کردند CEC خاک در اثر کاربرد زغال زیستی چوب بلوط در سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی، بیش از ۲۱ درصد افزایش یافت.

کربن آلی کل خاک در تمامی تیمارهای کاربرد زغال‌های زیستی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۳). افزایش کربن آلی کل خاک در اثر افزودن زغال زیستی به خاک به‌دلیل درصد بالای کربن زغال‌های زیستی می‌باشد. که توسط بسیاری از پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (۱۶، ۱۷، ۲۶ و ۲۷). بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک در سطح کاربرد ۲ درصد در تیمار B350 (۱/۳۲ درصد) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد (۰/۴۲ درصد) مشاهده شد. بیشتر بودن کربن آلی خاک در تیمارهای ۱ و ۲ درصد B350 به‌دلیل بیشتر بودن مقدار کربن آلی زغال‌های زیستی B350 بود (جدول ۳). کربن آلی خاک در تیمارهای سطح کاربرد ۲ درصد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمارهای سطح کاربرد ۱ درصد بود. به‌طور کلی ترتیب کربن آلی در تیمارهای مختلف به‌صورت B350 < B500 < B200 < C بود. با این‌که درصد کربن در زغال زیستی B200 بیش‌تر از B500 بود، اما کربن آلی خاک در تیمارهای B500 بیش‌تر از B200 بود. این نتیجه به دلیل بیش‌تر بودن کربن تثبیت شده و همچنین پایین بودن نسبت مواد فرار به کربن تثبیت شده (VM/FC)، H/C و O/C در زغال زیستی B500 در مقایسه با B200 بود (جدول ۳)، هر چه کربن تثبیت شده زغال زیستی بیش‌تر و نسبت‌های FC)، H/C و O/C در زغال زیستی کم‌تر باشند، پایداری کربن زغال زیستی بیش‌تر است (۴۹) در دماهای بالای گرماکافت در اثر واکنش‌های دهیدراته شدن و دکربوکسیله شدن گروه‌های عامل سطحی زغال‌های زیستی خارج شده و ساختارهای آروماتیک کربن تشکیل می‌شوند که پایداری بسیار بالایی در خاک دارند (۱۱ و ۴۹).

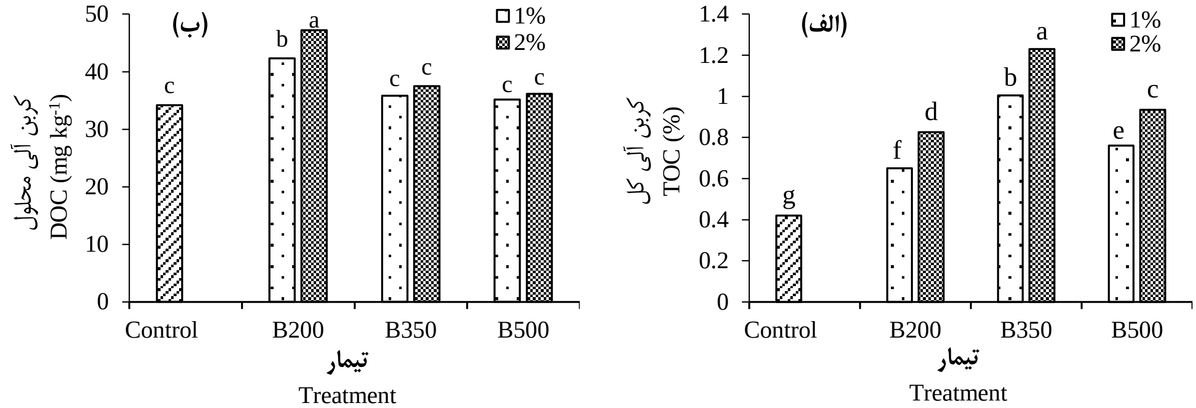


شکل ۲- ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در تیمارهای مختلف زغال زیستی

Figure 2- Soil CEC at different biochar treatments

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P\leq0/05$) ندارند.

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



شکل ۳- کربن آلی کل (الف) و کربن آلی محلول (ب) خاک در تیمارهای مختلف زغال زیستی

Figure 3- Soil TOC and DOC at different biochar treatments

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) ندارند.

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

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کربن آلی محلول خاک در تیمارهای ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B200 به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود. اگر چه کربن آلی محلول خاک در تیمارهای B350 و B500 از تیمار شاهد بیش‌تر بود، اما اختلاف آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. در سطوح کاربرد ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B200 کربن آلی محلول خاک در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۳/۹ و ۳۸/۰ درصد بیش‌تر بود. این نتیجه نشان می‌دهد این است که زغال زیستی B200 دارای کربن فعال بوده که می‌تواند در خاک آزاد شود و منبع انرژی و تغذیه مناسبی برای ریزجانداران خاک می‌باشد (۳۹ و ۴۰). تغییرات کربن آلی محلول خاک در خاک‌های تیمار شده با زغال زیستی به ویژگی‌های ساختاری زغال زیستی، دمای گرماکافت و نوع زیست‌توده آن بستگی دارد (۱۲ و ۳۹). بیش‌تر بودن کربن آلی محلول در تیمارهای B200 در مقایسه با تیمارهای B350 و B500 به‌دلیل تفاوت ساختاری آن‌ها می‌باشد. زغال زیستی B200 به دلیل کربن تثبیت شده کم‌تر و نسبت بالای H/C و O/C احتمالاً کربن آلی محلول بیش‌تری دارد. در حالی‌که بخش عمده کربن زغال‌های زیستی B350 و B500 به‌صورت کربن تثبیت شده است (جدول ۳). زنگ و همکاران (۴۸) نیز گزارش کردند کاربرد زغال زیستی ذرت تهیه شده در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی محلول خاک نداشت. این نتایج با نتایج پژوهش‌های اویانگ و همکاران (۳۱) و سونگ و همکاران (۳۹)، مشابه بود.

تأثیر کاربرد زغال‌های زیستی بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک

روی تبادلی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نوع زغال زیستی، سطح زغال زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت شکل تبادلی روی در خاک معنی‌دار بود (جدول ۵). افزودن زغال‌های زیستی B200 و B500 به‌ترتیب سبب افزایش و کاهش معنی‌دار غلظت شکل تبادلی روی در خاک شد (جدول ۶). در حالی‌که کاربرد سطح ۱ درصد زغال زیستی B350 اثر معنی‌داری بر غلظت شکل تبادلی روی در خاک نداشت. اما سطح ۲ درصد این زغال زیستی سبب کاهش روی تبادلی شد. شکل تبادلی روی در اثر کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B200 به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۲۱/۶ درصد افزایش یافت. همچنین شکل تبادلی روی در تیمارهای ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B500 و ۱ درصد زغال زیستی B350 در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۹/۳، ۱۹/۰ و ۹/۵ درصد کم‌تر بود. در همه تیمارهای زغال زیستی تأثیر سطوح ۲ درصد بر تغییر غلظت شکل تبادلی روی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سطوح ۱ درصد بود (جدول ۶).

pH خاک مهم‌ترین فاکتور موثر در فراهمی روی در خاک می‌باشد (۸) و با کاهش pH خاک حلالیت روی افزایش یافته و رسوب آن در خاک‌های آهکی کاهش می‌یابد (۱۷). نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد زغال‌های زیستی B200 سبب کاهش معنی‌دار pH خاک شد (شکل ۱). بنابراین یکی از دلایل افزایش شکل تبادلی روی در تیمارهای B200 می‌تواند کاهش pH خاک در این تیمارها باشد. همچنین افزایش غلظت روی تبادلی در تیمارهای B200 را می‌توان به بیش‌تر بودن CEC خاک در این تیمارها ارتباط داد (شکل ۲). چرا که افزایش CEC خاک سبب افزایش مکان‌های جذب قابل برگشت بر سطوح خاک می‌شود، بنابراین روی می‌تواند بیش‌تر در شکل تبادلی قرار گیرد (۱). همچنین دلیل بیش‌تر بودن روی در شکل تبادلی در اثر کاربرد زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای پایین و دارای CEC بالا می‌تواند رقابت یونی در خاک و جذب سایر کاتیون‌ها توسط زغال زیستی باشد (۱).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارها بر غلظت شکل‌های شیمیایی روی در خاک

Table 5- Variance analysis (mean squares) of the treatments effects on Zn Chemical fractions in soil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تبادلی Exch	کربناتی Car	آلی OM	اکسیدی FeMnOx	باقی‌مانده Res
نوع زغال زیستی Biochar type	3	0.032^{**}	0.523^{**}	0.197^{**}	0.463^{*}	11.077^{*}
سطح زغال زیستی Biochar rate	1	0.001^{*}	0.125^{**}	0.037^{**}	0.153^{ns}	0.091^{ns}
نوع × سطح Rate×Type	3	0.003^{**}	0.037^{*}	0.006^{*}	0.206^{ns}	0.017^{ns}
خطا Error	16	0.0001	0.009	0.001	0.106	2.535
ضریب تغییرات CV (%)		4.85	2.65	5.97	6.71	4.86

با این‌که زغال زیستی B200 مقدار روی چندان زیادی نداشت (جدول ۳)، اما به نظر می‌رسد این زغال زیستی با تاثیر بر ویژگی‌های خاک از جمله کاهش pH و کربن آلی محلول، شکل تبادلی روی در خاک را افزایش داد. با این‌که مقدار روی در زغال زیستی B500 بیش‌تر از زغال زیستی B200 بود (جدول ۳)، اما کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد آن برخلاف تیمارهای B200، شکل محلول و تبادلی روی در خاک را کاهش داد. یکی از دلایل این نتیجه می‌تواند متفاوت بودن ویژگی‌های این دو نوع زغال زیستی باشد. چرا که عناصر در زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای گرماکافت پایین سریع‌تر آزاد می‌شوند و کمپلکس‌های یونی فلزات با زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای بالا در خاک پایداری بسیار بالایی دارند (۲۹). دلیل دیگر این نتیجه می‌تواند اثر متفاوت تیمارهای B500 و B200 بر ویژگی‌های خاک از جمله pH خاک باشد (شکل ۱ و ۲). چرا که pH خاک در تیمارهای B500 به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار B200 بود (شکل ۱). نتایج پژوهش زاهدی‌فر (۴۷) در یک خاک آهکی نشان داد کاربرد سطح ۳ درصد زغال زیستی کاه و کلش گندم تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی‌دار شکل تبادلی روی در خاک شد. تان و همکاران (۴۲) گزارش کردند زغال‌های زیستی با راهکارهایی مانند تبادل یونی، جذب الکتروستاتیک و جذب فیزیکی می‌توانند در جذب روی در خاک نقش داشته باشند. به‌طور کلی تغییرات شکل تبادلی روی در خاک‌های تیمار شده با زغال‌های زیستی به ویژگی‌های زغال زیستی و ویژگی‌های خاک بستگی دارد. افزایش (۴، ۱۰ و۱۳) و کاهش (۴۷) شکل تبادلی روی در خاک در اثر کاربرد زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای مختلف در خاک‌های گوناگون توسط پژوهش‌گران گزارش شده است.

روی پیوند شده با کربنات‌ها: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی نوع و سطح زغال زیستی و همچنین برهمکنش آن‌ها بر غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد تمامی تیمارهای زغال‌های زیستی سبب افزایش غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها شد (جدول ۶). اگر چه این افزایش در تیمارهای ۱ و ۲ درصد زغال زیستی از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیش‌ترین غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها مربوط به سطح ۲ درصد زغال زیستی B500 بود که مقدار آن در مقایسه با تیمار شاهد ۲۷/۷ درصد بیش‌تر بود. غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها در تیمارهای زغال زیستی بدین ترتیب بود. C < B200 < B350 < B500 مقایسه سطوح ۱ و ۲ درصد زغال‌های زیستی نشان داد در تیمار B200 اختلاف معنی‌داری میان این سطوح مشاهده نشد.

در حالی‌که در تیمارهای B350 و B500 غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها در سطوح ۲ درصد بیش‌تر از سطح یک درصد آن‌ها بود. افزایش غلظت روی پیوند شده با کربنات‌ها در تیمارهای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس احتمالاً به‌دلیل تغییر توزیع کلسیم در خاک و همچنین آهکی بودن خاک مورد مطالعه و در نتیجه رسوب بخشی از روی افزوده شده در اثر کاربرد زغال‌های زیستی به شکل کربناتی بوده است. همچنین افزایش روی پیوند شده با کربنات‌ها در خاک‌های تیمار شده با زغال‌های زیستی می‌تواند به‌دلیل حضور کربنات‌ها در زغال‌های زیستی و تشکیل کمپلکس روی با کربنات‌های زغال‌های زیستی باشد (۴۵).

جدول ٦- مقایسه میانگین شکل‌های تبادلی، کربناتی و آلی روی در خاک تیمارهای مختلف زغال زیستی

Table 6- Mean comparison of exchangeable (Exch), carbonate (Car) and organic (OM) fractions at different biochar treatments

نوع زغال زیستی Biochar type	سطح زغال زیستی Biochar rate	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg-1) تبادلی Exch	کربناتی Car	آلی OM
شاهد Control	-	0.455 ± 0.016^{c}	3.13 ± 0.13^{d}	0.473 ± 0.023^{f}
زغال زیستی ۲۰۰°C B200	1	0.512 ± 0.027^{b}	3.27 ± 0.06^{cd}	0.787 ± 0.042^{b}
	2	0.553 ± 0.018^{a}	3.26 ± 0.04^{cd}	0.953 ± 0.041^{a}
زغال زیستی ۳۵۰°C B350	1	0.451 ± 0.017^{c}	3.42 ± 0.05^{c}	0.593 ± 0.042^{cd}
	2	0.412 ± 0.029^{d}	3.66 ± 0.11^{b}	0.652 ± 0.040^{c}
زغال زیستی ۵۰۰°C B500	1	0.413 ± 0.017^{d}	3.72 ± 0.10^{b}	0.493 ± 0.041^{ef}
	2	0.368 ± 0.026^{e}	3.99 ± 0.14^{a}	0.540 ± 0.031^{de}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

Means similar letter(s) are not significantly different in each column according to the Duncan's -test ($P<0.05$)

روی پیوند شده با مواد آلی: اثر اصلی نوع زغال زیستی و سطح زغال زیستی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر غلظت روی پیوند شده با مواد آلی خاک معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در تمامی تیمارهای زغال زیستی غلظت روی پیوند شده با مواد آلی بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۶). بیش‌ترین غلظت روی پیوند شده با مواد آلی مربوط به تیمار ۲ درصد زغال زیستی B200 بود. در مقایسه میان سطوح ۱ و ۲ درصد زغال‌های زیستی غلظت روی پیوند شده با مواد آلی در تیمارهای سطح ۲ درصد زغال‌های زیستی بیش‌تر از سطح ۱ درصد آن‌ها بود. اگر چه این اختلاف در زغال‌های زیستی B350 و B500 از نظر آماری معنی‌دار نبود. در هر دو سطح ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B200 روی پیوند شده با مواد آلی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمارهای B350 و B500 بود. به‌طور کلی غلظت روی پیوند شده با مواد آلی در تیمارهای زغال زیستی به-صورت B200 > B350 > B500 > C بود. بیش‌تر بودن شکل آلی روی در تیمار B200 نسبت به سایر تیمارهای زغال زیستی را می‌توان به بیش‌تر بودن کربن قابل تجزیه آن و همچنین بیش‌تر بودن کربن آلی محلول در این تیمار (شکل ۳) و تشکیل کمپلکس‌های آلی نسبت داد. نتایج مطالعه زاهدی‌فر (۴۷) نیز نشان داد افزودن زغال زیستی کاه و کلش گندم تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس در یک خاک آهکی سبب افزایش غلظت روی پیوند شده با مواد آلی شد. افزایش روی پیوند شده با مواد آلی در خاک در خاک‌های آهکی تیمار شده با زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای مختلف و سایر اصلاح کننده آلی، توسط برخی دیگر از پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (۴ و ۴۷).

روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نوع زغال زیستی بر غلظت روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز معنی‌دار بود، اما اثر اصلی سطح زغال زیستی و اثر متقابل نوع و سطح زغال زیستی بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر اصلی نوع زغال زیستی نشان داد غلظت روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در تیمار B200 در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود (جدول ۷). در حالی‌که اختلاف بین تیمارهای B350 و B500 با تیمار شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۷). بیش‌تر بودن روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در تیمار B200 می‌تواند به این دلیل باشد که بخشی از روی افزوده شده به خاک در اثر کاربرد این تیمار، با اکسیدهای آهن و منگنز پیوند برقرار کرده باشد. همچنین کاهش شکل باقی‌مانده روی در خاک و تغییر شکل آن به شکل اکسیدی، در این تیمار (شکل ۴) می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در تیمار B200 باشد. این نتایج با نتایج یانگ و همکاران (۴۵) و دای و همکاران مشابه بود. نتایج پژوهش زاهدی‌فر (۴۷) نیز نشان داد کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد زغال زیستی کاه و کلش گندم تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز نداشت، که با نتایج این پژوهش مشابه بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع زغال زیستی بر غلظت روی در شکل‌های اکسیدی و باقی‌مانده

Table 7- Mean comparison of main effects of biochar type on the Zn concentration in Fe and Mn oxides (Fe-MnOx) and residual (Res) fractions

نوع زغال زیستی Biochar type	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) $Zn\ (mg.kg^{-1})$ پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز Fe-MnOx	باقی‌مانده Res
شاهد Control	11.38 ± 0.36^{b}	32.37 ± 1.98^{ab}
زغال زیستی ۲۰۰°C B200	11.99 ± 0.45^{a}	31.51 ± 1.03^{b}
زغال زیستی ۳۵۰°C B350	11.73 ± 0.37^{ab}	33.85 ± 1.49^{a}
زغال زیستی ۵۰۰°C B500	11.36 ± 0.49^{b}	33.87 ± 1.67^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

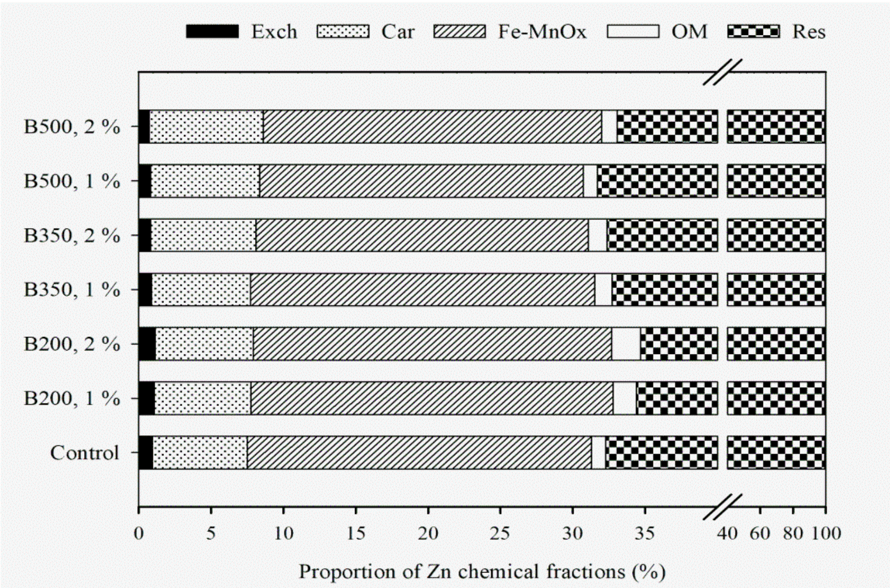
Means similar letter(s) are not significantly different in each column according to the Duncan’s -test ($P<0.05$)

شکل باقی‌مانده روی: اثر اصلی سطح زغال زیستی و برهمکنش نوع و سطح زغال زیستی بر شکل باقی‌مانده روی در خاک معنی‌دار نبود، اما اثر اصلی نوع زغال زیستی بر آن معنی‌دار بود (جدول ۵). اگرچه کاربرد زغال زیستی سبب تغییر شکل باقی‌مانده روی در خاک شد. به‌طوری که زغال زیستی B200 سبب کاهش شکل باقی‌مانده و زغال زیستی B350 و B500 سبب افزایش آن شدند، اما این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۷). مقایسه اثرات اصلی تیمارهای کاربرد زغال زیستی نشان داد غلظت شکل باقی‌مانده روی در خاک تیمار شده با زغال‌های زیستی B350 و B500 به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک تیمار B200 بود (جدول ۷). بیش‌تر بودن شکل باقی‌مانده روی در تیمارهای B350 و B500 احتمالاً به‌دلیل بیش‌تر بودن pH خاک در این تیمارها بود (شکل ۱). کم‌تر بودن غلظت روی باقی‌مانده در خاک تیمار شده با B200 نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد که در اثر افزودن این زغال زیستی روی باقی‌مانده به شکل‌های با فراهمی بیش‌تر تبدیل شده است. همچنین این نتایج نشان می‌دهد زغال زیستی B200 تا حدی در توزیع دوباره شکل‌های شیمیایی روی در خاک موثر بوده است. به‌طور مشابه با این پژوهش، دای و همکاران (۸) نیز افزایش شکل باقی‌مانده روی در یک خاک آهکی تیمار شده با سطوح مختلف زغال زیستی کاه برنج تهیه شده در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس را گزارش کردند. آن‌ها دلیل افزایش شکل باقی‌مانده روی را افزایش pH خاک و تشکیل کمپلکس‌های پایدار روی گزارش کردند.

توزیع نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک: نتایج این پژوهش نشان داد افزودن زغال‌های زیستی سبب ایجاد تغییراتی در توزیع نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک شد (شکل ۴). در مقایسه سطوح زغال زیستی، تاثیر کاربرد سطح ۲ درصد زغال‌های زیستی در تغییرات درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی بیش‌تر بود (شکل ۴). هر سه نوع زغال زیستی سبب افزایش درصد نسبی شکل‌های پیوند شده با کربنات‌ها، پیوند شده با مواد آلی و کاهش درصد نسبی شکل باقیمانده روی در خاک شدند. تأثیر زغال‌های زیستی بر درصد نسبی شکل تبادلی روی در خاک متفاوت بود. بدین ترتیب که تیمار زغال زیستی B200 سبب افزایش درصد نسبی شکل تبادلی روی در خاک و تیمارهای B350 و B500 سبب کاهش درصد نسبی شکل تبادلی روی در خاک شدند. تأثیر تیمارهای سطح ۲ درصد زغال‌های زیستی در تغییرات درصد نسبی شکل‌های شیمیایی خاک بجز شکل پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز، تا حدی بیش‌تر از تیمارهای سطح ۱ درصد بود. به‌طور کلی توزیع شکل‌های شیمیایی روی در خاک در همه تیمارها به‌صورت باقیمانده > اکسیدی> کربناتی > آلی > تبادلی بود (شکل ۴). این نتایج با نتایج بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در خاک‌های آهکی مشابه بود (۸، ۹، ۱۵ و ۴۷). در همه تیمارها پس از شکل باقی‌مانده بیش‌ترین درصد روی مربوط به شکل پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز بود. دلیل بالا بودن درصد روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز، جذب ترجیحی روی، بر سطوح این اکسیدها می‌باشد (۸). بالا بودن درصد روی در شکل‌های باقی‌مانده و پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز نشان دهنده پایداری بالای این دو شکل روی در خاک می‌باشد. همچنین کم‌ترین درصد روی مربوط به شکل‌های تبادلی و آلی بود. بیش‌ترین درصد روی تبادلی، اکسیدی و آلی و همچنین کم‌ترین

درصد روی باقی‌مانده مربوط به تیمارهای سطوح ۱ و ۲ درصد زغال زیستی B200 بود. با وجود این‌که در زغال زیستی B200 نسبت به سایر زغال‌های زیستی غلظت روی کم‌تر بود (جدول ۳)، اما با توزیع دوباره شکل‌های شیمیایی روی در خاک و کاهش غلظت روی باقی‌مانده خاک، توانست تا حدی شکل‌های با فراهمی نسبتاً بیش‌تر روی مانند شکل‌های تبادلی، اکسیدی و آلی، را افزایش دهد.

همبستگی شکل‌های شیمیایی روی در خاک: نتایج ضریب همبستگی خطی شکل‌های شیمیایی روی در خاک نشان داد نشان داد بین شکل روی تبادلی خاک با روی پیوند شده با مواد آلی و روی اکسیدی همبستگی مثبت معنی‌دار و با شکل‌های کربناتی و باقیمانده روی همبستگی منفی معنی‌دار وجود داشت (جدول ۸). همچنین بین روی پیوند شده با مواد آلی با روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت. بین روی پیوند شده با کربنات‌ها با روی باقی‌مانده همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت.



شکل ٤- درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در تیمارهای مختلف زغال زیستی

Figure 4- Proportion of Zn chemical fractions at different biochar treatments

جدول ۸- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی در خاک (n=۲۱)

Table 8- Person correlation coefficient (r) between Zn chemical forms in soil (n=21)

	روی قابل دسترس DTPA-extractable Zn	تبادلی Exch	کربناتی Car	آلی OM	اکسیدی Fe-MnOx	باقی‌مانده Res
روی قابل دسترس DTPA-extractable Zn	1	0.92***	-0.54**	0.60***	0.44**	-0.53**
تبادلی Exch		1	-0.49**	0.61***	0.48**	-0.56**
کربناتی Car			1	-0.38*	-0.31*	-0.47**
آلی OM				1	0.61***	-0.39*
اکسیدی Fe-MnOx					1	-0.54**
باقی‌مانده Res						1

*، ** و *** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

*, ** and *** are significant at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

همچنین بین روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز با شکل باقی‌مانده همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. این نتایج نشان می‌دهد که در خاک مورد مطالعه احتمالاً رابطه‌ای پویا میان شکل-های مختلف روی در خاک وجود داشته و این شکل‌ها می‌توانند در خاک به شکل‌های دیگر تبدیل شوند. بین غلظت روی قابل دسترس گیاه با غلظت شکل‌های تبادلی، آلی و اکسیدی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. در حالی‌که با سایر شکل‌های روی در خاک همبستگی منفی وجود داشت (جدول ۸). با توجه به این نتایج به‌نظر می‌رسد شکل‌های تبادلی، آلی و اکسیدی روی، شکل‌های مؤثر در تأمین روی قابل دسترس گیاه در خاک آهکی مورد مطالعه باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد افزودن زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای متفاوت اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های شیمیایی و توزیع شکل‌های شیمیایی روی در خاک داشت. به‌طور کلی کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به‌ویژه در سطح ۲ درصد با افزایش کربن آلی محلول خاک و کاهش pH خاک، افزایش شکل‌های تبادلی و پیوند شده با مواد آلی روی در خاک و همچنین کاهش شکل باقی‌مانده روی خاک سبب توزیع دوباره روی در خاک و افزایش غلظت روی در شکل‌های با تحرک و فراهمی بیش‌تر شد. در حالی‌که زغال‌های زیستی تهیه شده در دماهای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس در افزایش کربن آلی خاک و تثبیت روی در خاک مؤثرتر بودند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه به‌ویژه در سطح ۲ درصد در خاک‌های آهکی می‌تواند تا حدی در افزایش شکل‌های روی با فراهمی بیش‌تر، سودمند باشد.

منابع

1. Abbas T., Rizwan M., Ali S., Zia-ur-Rehman M., Qayyum M.F., Abbas F., Hannan F., Rinklebe J., and Ok Y.S. 2017. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. Ecotoxicology and Environmental Safety 140: 37-47.
2. Al-Wabel M.I., Al-Omran A., El-Naggar A.H., Nadeem M., and Usman A.R. A. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. Bioresource Technology 131: 374–379.
3. Al-Wabel M.I., Hussain Q., Usman A.R., Ahmad M., Abduljabbar A., Sallam A.S., and Ok Y.S. 2017. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. Land Degradation and Development 29: 2124-2161.
4. Boostani H.R. 2018. Effect of organic manures, their biochars and arbuscular mycorrhizae fungi on distribution of zinc chemical fractions in a calcareous soil. Journal of Water and Soil Conservation 24(5): 49-75. (In Persian with English abstract)
5. Cantrell K.B., Hunt P.G., Uchimiya M., Novak J.M., and Ro K.S. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. Bioresource Technology 107: 419-428.
6. Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil sampling and methods of analysis (2nd ed). CRC Press. Boca Raton. FL. 1204 p.
7. Corre M.D., Schnabel R.R., and Shaffer J.A. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. Soil Biology and Biochemistry 31: 1531-1539.
8. Dai Sh., Hui Li H., Yang Zh., Dai M., Dong X., Ge X., Sun M., and Shi L. 2018. Effects of biochar amendments on speciation and bioavailability of heavy metals in coal-mine-contaminated soil, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 24(7): 1887-1900.
9. Dehghanian H., Halajnia A., Lakzian A., and Astaraei A.R. 2018. The effect of earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi on availability and chemical distribution of Zn, Fe and Mn in a calcareous soil. Applied Soil Ecology 130: 98-103.
10. Doelsch E., Masion A., Moussard G., Chevassus-Rosset C., and Wojciechovwicz O. 2010. Impact of pig slurry

and green waste compost application on heavy metal exchangeable fractions in tropical soils. Geoderma 155: 390–400.

11. Domingues R.R., Trugilho P.F., Silva C.A., de Melo I.C.N., Melo L.C., Magriotis Z.M., and Sánchez-Monedero M.A. 2017. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. PloS one 12(5): 0176884.
12. El-Mahrouky M., El-Naggar A.H., Usman A.R., and Al-Wabel M. 2015. Dynamics of CO_2 emission and biochemical properties of a sandy calcareous soil amended with Conocarpus waste and biochar. Pedosphere 25(1): 46–56.
13. Fellet G., Marchiol L., Vedove G.D., and Peressotti A. 2011. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere 83(9): 1262–67.
14. Gul S., Whalen J.K., Thomas B.W., Sachdeva V., and Deng H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. Agriculture, Ecosystems and Environment 206: 46-59.
15. Hosseinpur A.R., and Motaghian H.R. 2017. The effect of cow manure and vermicompost application on fractionation and availability of Zinc and Copper in Wheat planting. Journal of Water and Soil 30(6): 2005-2018.
16. Ippolito J.A., J.M. Novak W.J. Busscher M. Ahmedna D. Rehrah and Watts D.W. 2012. Switchgrass biochar affects two Aridisols. Journal of Environmental Quality 41: 1123–1130.
17. Ippolito J.A., Ducey T.F., Cantrell K.B., Novak J.M., and Lentz R.D. 2016. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. Chemosphere 142: 184–191.
18. Karami M., Afyuni M., Khoshgoftarmanesh A.H., Papritz A., and Schulin R. 2009. Grain zinc, iron, and copper concentrations of wheat grown in central Iran and their relationships with soil and climate variables. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57(22): 10876-10882.
19. Karimi A., Moezzi A., Chorom M., Enayatizamir N. 2019. Investigation of physicochemical characteristics of biochars derived from corn residue and sugarcane bagasse in different pyrolysis temperature. Iranian Journal of Soil and Water Research 50(3): 725-739. (In Persian with English abstract)
20. Khadem A., Raiesi F., and Besharati H. 2018. The effect of corn biochar on chemical and microbiological properties of two calcareous soils with clayey and sandy texture. Journal of Soil Management and Sustainable Production 8(1): 25-47. (In Persian with English abstract)
21. Laird D., Fleming P., Wang, B., Horton R., and Karlen D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma 158(3-4): 436-442.
22. Lehmann J., and Joseph S. (Eds.). (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Routledge.
23. Lindsay W.L., and Norvel W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.
24. Liu X.H., and Zhang X.C. 2012. Effect of biochar on pH of alkaline soils in the Loess Plateau: results from incubation experiments International Journal of Agriculture and Biology 4: 745–750.
25. Mete F., Mia S., Dijkstra F.A., Abuyusuf M., and Iqbal Hossain A.S.M. 2015. Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil. Pedosphere 25(5): 713-719.
26. Moradi N., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Sepehr E. 2017. Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. Journal of Water and Soil 31(4): 1232-1246. (In Persian with English abstract)
27. Naeem M.A., Khalid M., Aon M., Abbas G., Tahir M., Amjad M., Murtaza B., Yang A., and Akhtar S.S. 2017. Effect of wheat and rice straw biochar produced at different temperatures on maize growth and nutrient dynamics

of a calcareous soil. Archives of Agronomy and Soil Science 63(14): 2048-2061.

28. Najafi G., Ghobadian B., Tavakoli T., and Yusaf T. 2009. Potential of bioethanol production from agricultural wastes in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(6-7): 1418-1427.
29. Namgay T., Singh B., and Singh B.P. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). Australian Journal of Soil Research 48: 638–647.
30. Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Carbon, organic carbon and organic matter. P 961-1010, In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
31. Ouyang L., Tang Q., Yu L., and Zhang R. 2014. Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralisation. Soil Research 52(7): 706-716.
32. Preetha P.S., and Stalin P. 2014. Different Forms of Soil Zinc-their Relationship with Selected Soil Properties and Contribution towards Plant Availability and Uptake in Maize Growing Soils of Erode District, Tamil Nadu. Indian Journal of Science and Technology 7(7): 1018-1025.
33. Qi F., Dong Z., Lamb D., Naidu R., Bolan N.S., Ok Y.S., Liu C., Khan N., Johir M.A.H., and Semple K.T. 2017. Effects of acidic and neutral biochars on properties and cadmium retention of soils. Chemosphere 180: 564-573.
34. Rengel Z. 2015. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. Journal of soil science and plant nutrition. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 15(2): 397-409.
35. Sadegh-Zadeh F., Parichehreh M., Jalili M., and Bahmanyar M.A. 2018. Rehabilitation of calcareous saline-sodic soil by means of biochars and acidified biochars. Land Degradation and Development, DOI: 10.1002/ldr.3079.
36. Shahbazi K., and Besharati H. 2013. Overview of Agricultural Soil Fertility Status of Iran. Land Management Journal 1(1): 1-15. (In Persian with English abstract)
37. Sheng Y., and Zhu L. 2018. Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. Science of the Total Environment 622–623: 1391–1399.
38. Singh B., Camps-Arbestain M., and Lehmann J. (Eds.). 2017. Biochar: a guide to analytical methods. Csiro Publishing.
39. Song D., Xi X., Huang S., Liang G., Sun J., Zhou W., and Wang X. 2016. Short-term responses of soil respiration and C-cycle enzyme activities to additions of biochar and urea in a calcareous soil. PloS one 11(9): 0161694.
40. Song D., Tang J., Xi X., Zhang S., Liang G., Zhou W., and Wang X. 2018. Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. European Journal of Soil Biology 84: 1-10.
41. Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace Metal Chemistry in Arid-zone Field Soils Amended with Sewage Sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in Solid Phases 1. Soil Science Society of America Journal 46(2): 260-264.
42. Tan X., Liu Y., Gu Y., Zeng G., Wang X., Hu X., Sun Z., and Yang Z. 2015. Immobilization of Cd (II) in acid soil amended with different biochars with a long term of incubation. Environmental Science and Pollution Research 22(16): 12597-12604.
43. Tessier A., Campbell P.G., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry 51(7): 844-851.
44. Wang P., Zhou D.M., Luo X.S., and Li L.Z. 2009. Effects of Zn-complexes on zinc uptake by wheat (*Triticum aestivum*) roots: a comprehensive consideration of physical, chemical and biological processes on biouptake. Plant and Soil 316(1-2): 177-192.
45. Yang X., Lu K., McGrouther K., Che L., Hu G., Wang Q., Liu X., Shen L., Huang H., Ye Z., and Wang H. 2017. Bioavailability of Cd and Zn in soils treated with biochars derived from tobacco stalk and dead pigs. Journal of Soils and Sediments 17(3): 751-762.

46. Yue Y., Cui L., Lin Q., Li G., and Zhao X. 2017. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. Chemosphere 173: 551–556.
47. Zahedifar M. 2017. Sequential extraction of zinc in the soils of different land use types as influenced by wheat straw derived biochar. Journal of Geochemical Exploration 182: 22-31.
48. Zeng G., Wu H., Liang J., Guo S., Huang L., Xu P., Liu Y., Yuan Y., He X., and He Y. 2015. Efficiency of biochar and compost (or composting) combined amendments for reducing Cd, Cu, Zn and Pb bioavailability, mobility and ecological risk in wetland soil. Rsc Advances 5(44): 34541-34548.
49. Zhao B., O'Connor D., Zhang J., Peng T., Shen Z., Tsang D.C., and Hou D. 2018. Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. Journal of Cleaner Production 174: 977-987.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 445-461

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۶۱-۴۴۵

Effect of Sugarcane Bagasse Derived Biochar on Distribution of Zinc Fractions in a Calcareous Soil

A. Karimi[1]- A. Moezzi[2]*- M. Chorom[3]– N. Enayatizamir[4]
Received: 10-09-2018
Accepted: 22-06-2019

Introduction: Zinc is a key micronutrient which takes part in plant physiological functions. One of the extensively wide range abiotic stresses arises from Zn shortage in agricultural calcareous soils. Zn is one of the most prevalent disorders among various crops. Zinc deficiency is very common in most calcareous soils. Different mechanisms are involved in the deficiency of Zn In calcareous soils. The presence of calcium carbonate, lack of organic matter and high pH lead to Zn deficiency. Knowledge on the total Zn contents of in soil gives little information for their bioavailability. In order for better understanding availability of Zn to plant, knowledge about their mobility, and distribution in soil fractions is necessary. Biochar is a carbon-rich material produced by pyrolysis of biomass under oxygen-limited conditions and relatively low temperature. Biochar as a valuable soil amendment has received much attention due to its beneficial effects on carbon sequestration, soil physiochemical properties, soil microbial activity as well as soil fertility. Pyrolysis temperature has a significant influence on biochar physicochemical properties. Furthermore, biochar may alter the distribution of Zn fractions in calcareous soils. The impact of produced biochars at different pyrolysis temperature on distribution of Zn fractions in calcareous soils has been less studied. Therefore, the objective of this research was to evaluate the changes in distribution of Zn fractions in a calcareous soils treated with sugarcane bagasse derived biochars at different pyrolysis temperature.

Materials and Methods: An incubation experiment was carried out in laboratory condition as a factorial experiment based on a randomized complete design with two factors: (1) biochar type in four levels including control (without biochar) and biochar produced at 200 (B200), 350 (B350) and 500 ˚C (B500), (2) biochar application rate in two levels including 1 and 2% (w/w), and in three replications. Biochars were produced at 200, 350 and 500˚C pyrolysis temperatures under slow pyrolysis conditions with a heating rate of 5 °C min^{-1}. Heating at this temperature lasted for 2 h. Then biochars were sieved to pass through 2 mm sieve and some properties were measured using the standard methods. The soil used in this study was sampled from the surface layer (0 to 20 cm depth), then, air-dried and sieved through 2 mm. Biochars produced at 200, 350 and 500˚C were mixed at 1 and 2% (w/w) with the 300 g of soil sample and incubated in ambient temperature at laboratory conditions (25 ± 2°C), for 90 days. Soil moisture content was maintained at 80% of field capacity. The samples were weighted every day and the required amounts of distilled water were added. At the end of incubation period, soil samples were air-dried and soil chemical parameters such as pH, cation exchange capacity (CEC), total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC) were measured. Chemical fractions of Zn in the incubated soil were determined according to the Tessier fractionation method. The Tessier sequential extraction method categorized Zn into 5 different fractions including: the exchangeable (Exch), bound to carbonate fraction (Car), bound to organic matter (OM), bound to Fe and Mn-oxides (FeMnOx) and residual fraction (Res).

Results and Discussion: Result indicated that application of different biochars significantly increased soil CEC and TOC. Maximum CEC and TOC were measured in B200 and B350 treatments, respectively, while their minimum values were observed in control treatment. In B200 treatments (B200, 1% and B200, 2%), pH significantly decreased compared to control, while this value significantly increased in B350, 1% , B500, 1% and B500, 2% treatments. B350 1% treatment did not have a significant effect on the soil pH. Application of 1 and 2% B200 significantly enhanced DOC (23.9 and 38%, respectively), compared to the control, but increase of DOC in B350 and B500 treatments was not significant compared to the control. Results showed that concentration of exchangeable Zn fraction decreased by 9.3, 19.5 and 9.5 % in B350, 2%, B500, 1% and B500, 2% treatments, respectively, compared to the control. However, B200 treatments (B200, 1% and B200, 2%) caused a significant increase in concentration of exchangeable Zn fractions (12.5 and 21.6%) compared to the control. The concentration of OM and Car Zn fractions increased in all biochar treatments compared to control.

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student, Associate Professor, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: moezzi151@scu.ac.ir)

The highest concentration of OM and Car Zn fractions was observed after application of 2% B200 and 2% B500, respectively. Results showed that application of B350 and B500 had no significant effect on concentration of FeMnOx Zn fraction, while, this concentration significantly increased after B200 was applied. There were no significant ($P \leq 0.05$) differences in concentration of residual Zn fraction among all the biochar treatments. The mean comparison results showed that the concentration of residual Zn in B200 treatments was significantly ($P \leq 0.05$) lower than B350 and B500 treatments. There were no significant differences in this concentration among B500, B350 and the control treatments. Results revealed that in all treatments, different Zn fractions in the soil were distributed in the following order: Res > FeMnOx > Car > OM > Exch. The largest effect of biochars on the change in distribution of Zn fractions of soil was observed at 2% application rate.

Conclusion: It can be concluded that biochar B200 application could be an effective amendment for improving chemical properties and conversion of Zn from less available fractions to fractions with more bioavailability in the calcareous soil. Moreover, the biochar produced at 350 and 500˚C is better suited for enhancing soil organic carbon and Zn stabilization in calcareous soil.

Keywords: Organic amendments, Pyrolysis temperature, Sequential extraction, Zinc availability

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 463-476

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۷۶-۴۶۳

اثر سطوح مختلف سوپرجاذب، کود نیتروژنی و کم‌آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه فلفل دلمه‌ای

حمید زارع ابیانه[1] – فرزانه حیدری[2] – غلامرضا حیدری[3]– مهدی جوزی[4]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱

چکیده

در این پژوهش گلدانی، اثر سه سطح صفر (A0)، سه (A1) و پنج گرم (A2) سوپرجاذب اکوازورب در هر کیلوگرم خاک، سه سطح ۷۰ (W1)، ۸۵ (W2) و ۱۰۰ (W3) درصد نیاز آبیاری و دو سطح ۷۵ (F1) و ۱۰۰ (F2) درصد نیاز کود نیتروژنی بر برخی صفات گیاه فلفل دلمه بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۸ تیمار و سه تکرار انجام یافت. نتایج بیان‌گر معنی‌داری اثر تیمارهای سوپرجاذب و آبیاری بر تمامی مؤلفه‌ها به‌جز قطر ساقه بود. در بین تیمارهای سوپرجاذب، بیشترین مقادیر عملکرد میوه با ۶۶۶/۲ گرم بر بوته و کارآیی مصرف آب ۱۲/۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار A2 به‌دست آمد. در بین تیمارهای آبیاری نیز بیشترین مقادیر عملکردهای ذکر شده به‌ترتیب با ۶۲۱/۸۱ گرم بر بوته در تیمار W3 و ۱۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار W1 به‌دست آمد. اثر تیمارهای کودی نیز بر عملکرد میوه معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد میوه با ۶۳۸/۷۰ گرم بر بوته در تیمار F2 به‌دست آمد. اثر متقابل آبیاری با سوپرجاذب، کود با سوپرجاذب و آبیاری با کود بر عملکرد و کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد میوه (۹۱۶/۶۵ گرم بر بوته) و کارآیی مصرف آب (۱۴/۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار A2W3 حاصل شد. با توجه به این‌که تفاوت کارآیی مصرف آب دو تیمار A2W3 و A2W1 غیرمعنی‌دار شد لذا با مصرف ۰/۵ درصد سوپرجاذب در خاک می‌توان با حفظ بیشترین کارآیی مصرف آب، ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود.

واژه‌های کلیدی: اندام هوایی، ریشه، عملکرد میوه، گلخانه

مقدمه

کمبود آب و محدودیت آن مهم‌ترین عامل محدود کننده کشاورزی فاریاب است. یکی از راه‌های حفظ رطوبت در خاک استفاده از مواد جاذب رطوبت و کشت گلخانه‌ای گیاهان است. فلفل دلمه، گیاه جالیزی یک‌ساله، از خانواده سیب‌زمینی‌یان، در رنگ‌های مختلف و دارای ترکیبات آنتی اکسیدانی است (۳۲ و ۳۹). گیاهان جالیزی برای رشد و عملکرد مناسب به آب و کود فراوان و به‌موقع نیاز دارند و خشکی می‌تواند میانگین عملکرد را تا ۵۰ درصد و بیشتر کاهش دهد (۱۰ و ۲۳).

سوپرجاذب‌ها مواد اصلاح کننده آبدوست هستند که قادر به آزادسازی آب و عناصر غذایی جذب شده برای گیاه، مدیریت آب آبیاری و افزایش کارآیی مصرف آب می‌باشند (۱۲). از جمله سوپرجاذب‌ها می‌توان به سوپرجاذب آکوازورب اشاره کرد این سوپرجاذب از نوع کاتیونی بر پایه‌ی پتاسیم است. ذرات سوپرجاذب‌ها دارای ابعاد مختلفی می‌باشند. به‌طورکلی، هرچه اندازه ذرات سوپرجاذب ریزتر باشد، ظرفیت جذب بالاتر و سرعت جذب هم سریع تر می‌شود. بهتر است هنگامی‌که آکوازورب را برای خاک‌های با نفوذپذیری بالا استفاده می‌کنند (مثل خاک‌های شنی) از اندازه ریز جهت جذب سریع‌تر آب استفاده شود. در خاک‌های سنگین اندازه درشت آکوازورب توصیه می‌شود زیرا استفاده از دانه‌بندی درشت‌تر باعث افزایش بیشتر اندازه ذرات به‌هنگام جذب آب و کاهش اندازه به علت از دست دادن آب شده که این افزایش و کاهش اندازه، نفوذپذیری و تخلخل خاک را بهبود می‌بخشد. تحقیقات بر روی سوپرجاذب‌ها از دهه ۱۹۸۰ شروع و مواردی از کاهش آب و کود

۱ و ۲- استاد و دانش‌آموخته سابق گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۴- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jovzimehdi11@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.76431

مصرفی، کاهش آبشویی سریع کودها و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در به‌کارگیری آن‌ها گزارش شده است (۱۵، ۱۷،۲۵ و ۳۵).

پرواسی و جیوسی (۲۶) با بررسی اثر سوپرجاذب پلی‌اکریل آمید بر رشد و عمکرد گیاه فلفل قرمز در دورهای متفاوت آبیاری نشان دادند مقدار حفظ رطوبت خاک به مقدار سوپرجاذب مورد استفاده وابسته است که می‌تواند با رهاسازی کنترل شده‌ی آب، رطوبت خاک را فراهم سازد. مارکویس و باستوس (۲۴) رشد و عملکرد گیاه فلفل شیرین را با افزودن سوپرجاذب پلی اکریل آمید در مقایسه با تیمار فاقد سوپرجاذب در برزیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد اثر سوپرجاذب در کیفیت فلفل، وزن میوه و وزن تر اندام هوایی گیاه فلفل معنی‌دار و بر سیستم ریشه آن فاقد اثر معنی‌داری بود. لوپز الیاس و همکاران (۲۲) استفاده از سوپرجاذب پلی‌اکریل آمید (PAM) در یک سطح ۶ متر مربعی را در مقایسه با تیمار خاک بدون سوپرجاذب در گیاه فلفل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنان بیان‌گر افزایش ۱/۵ درصدی محتوای رطوبتی خاک و کاهش ۱۲ درصدی حجم آب آبیاری در تیمار سوپرجاذب بود. سیاری و قنبری (۳۳) اثر پنج سطح سوپرجاذب A200 بر رشد، تولید و پاسخ فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه تحت چهار رژیم دور آبیاری ۵، ۷، ۹ و ۱۱ روز را بررسی و اظهار داشتند سطوح مختلف سوپرجاذب، آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیولوژیکی فلفل معنی‌دار بود. لوبو و همکاران (۲۱) عملکرد متفاوت گیاه فلفل رشد یافته در سه بستر خاک، کمپوست و سوپرجاذب تراکوتم را به‌واسطه اختلاف معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد برگ‌ها، میزان کلروفیل و عملکرد کل گزارش نمودند. در این تحقیق بیشترین و کمترین وزن خشک گیاه و وزن تر ریشه به‌ترتیب به تیمار سوپرجاذب و تیمار بستر خاک مربوط بود. ال‌باهو و همکاران (۵) عملکرد متفاوتی از دو رقم گیاه فلفل رشد یافته در سه بستر کشت را مشاهده و دلیل آن را رشد و پاسخ متفاوت ارقام فلفل در این بسترها دانستند. سجادی و همکاران (۳۰) با بررسی اثر تنش شوری و بیش‌آبیاری بر گیاه فلفل سبز گلخانه به این نتیجه رسیدند که شوری موجب کاهش معنی‌دار و بیش‌آبیاری باعث افزایش غیر معنی‌دار عملکرد و وزن تر و خشک میوه شد. رستمی و همکاران (۲۹) اثر چهار سطح سوپرجاذب A200 صفر، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی، به‌همراه سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی را بر روی گیاه فلفل قلمی بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد سطح ۵۰ درصد نیاز آبی و ۰/۳ درصد سوپرجاذب، مناسب‌ترین مقادیر برای کاهش اثرات منفی کم‌آبیاری است. جوادی‌خدری و همکاران (۱۴) حساسیت گیاه فلفل سبز گلخانه به شته جالیز را با اعمال تنش‌های آبی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد در بسترهای حاوی ۲، ۴، ۶ و ۸ گرم سوپرجاذب پلی‌اکریلات سدیم نسبت به تیمار شاهد بررسی نمودند. نتایج آنان بیان‌گر کاهش معنی‌دار جمعیت شته‌ها در تنش ۱۵ درصد و بستر ۶ گرم سوپرجاذب و افزایش جمعیت شته‌ها در سطوح بالاتر سوپرجاذب و تنش بود. شانگوی و همکاران (۳۴) تیمار رطوبت خاک ۸۰ درصد ظرفیت زراعی را علی‌رغم کاهش معنی‌دار برخی مولفه‌های زراعی گیاه فلفل در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد به‌دلیل عملکرد و کیفیت مناسب محصول پیشنهاد نمودند.

بررسی منابع نشان می‌دهد کمبود آب سبب اختلال در بسیاری از فرآیندهای رشد در گیاهان می‌شود. استفاده از سوپرجاذب‌ها، یکی از روش‌های سازگار با کمبود آب و فراهم کننده بستر مناسب برای رشد گیاه است. گزارش‌هایی از اثر بخشی این مواد در کاهش آب مصرفی و ایجاد شرایط مناسب در رشد گیاهان مثل خیار گلخانه‌ای (۳)، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (۱۱)، بادام زمینی (۷) و رزماری (۴۳) وجود دارد. با این‌حال گزارشات از تاثیر توام مقادیر متفاوت سوپرجاذب‌ها در ترکیب با خاک و سطوح مختلف آب و کود بر عملکرد و کارآیی مصرف آب برای گیاه فلفل دلمه در شرایط گلخانه به‌ویژه در منابع داخلی محدود است. هدف این تحقیق بررسی سودمندی برهم‌کنش توام سطوح متفاوتی از سه متغیر سوپرجاذب، آب و کود بر عملکرد، کارآیی مصرف آب و برخی مولفه‌های رشد گیاه فلفل دلمه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه مرکز فنی حرفه‌ای شهرستان کامیاران (کردستان) در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۲، به‌صورت فاکتوریل با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۸ تیمار و سه تکرار بر مبنای کشت گلدانی انجام شد. برای این منظور ۵۴ گلدان، با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۲ سانتی‌متر تهیه و در کف آن‌ها سوراخ‌هایی جهت تهویه و تخلیه آب اضافی و لایه‌ای از شن ایجاد شد. در مجموع از سه سطح وزنی سوپرجاذب آکوازورب صفر درصد (A0)، ۰/۳ درصد (A1)، ۰/۵ درصد (A2) وزن خاک گلدان، سه سطح نیاز آبی ۷۰ درصد (W1)، ۸۵ درصد (W2)، و۱۰۰ درصد (W3) و دو سطح ۷۵ (F1) و 100 درصد (F2) نیاز کود نیتروژنی استفاده شد. گلدان‌ها پس از آماده‌سازی براساس تیماربندی طرح شماره‌گذاری و چیدمان شدند (شکل ۱).

مقادیر مصرف کودهای اوره، سوپرفسفات ساده و سولفات پتاسیم براساس توصیه کودی حاصل از نتایج آزمون خاک به‌ترتیب به‌میزان ۳۵۰، ۱۴۴ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود به‌طوری‌که مقادیر کود اوره به نسبت سطوح هر تیمار کودی در زمان اعمال تیمارها به‌همراه آب آبیاری و کودهای سوپرفسفات و سولفات پتاسیم در زمان آماده‌سازی خاک به‌میزان لازم به گلدان‌ها داده شد. بوته‌های گیاه فلفل دلمه پس از چهار برگی شدن نشاءها از جعبه کشت در تاریخ ۹۲ /۴/۲۱ به داخل گلدان‌ها جابه‌جا شدند. اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل بوته‌ها در هفته چهارم کاشت صورت گرفت. نیاز آبی گلدان‌ها به‌صورت حجمی و در مقیاس روزانه براساس اندازه‌گیری‌های حاصل از یک میکرو لایسیمتر مستقر در

داخل گلخانه تامین شد. مقدار آب مصرف شده در دوره رشد گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۱۶۵۸ میلی‌متر و در تیمارهای ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۱۴۰۹ و ۱۱۶۱ میلی‌متر به‌دست آمد.

بافت خاک مورد استفاده لوم رسی بود. همچنین برخی از خصوصیات فیزیکو شیمیای خاک و سوپرجاذب مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل ۱- چیدمان تصادفی گلدان‌ها در گلخانه (سمت راست)، گلدهی بوته‌های فلفل دلمه (وسط) و میوه‌های قابل برداشت (سمت چپ)

Figure 1- Random arrangement of pots in the greenhouse (right), flowering of bell peppers shrubs (middle) and removable fruits (left)

جدول ۱- ویژگی‌های خاک و سوپرجاذب مورد استفاده

Table 1- Soil and superabsorbent properties used

خاک soil	مقدار amount	سوپرجاذب superabsorbent	مقدار amount
سیلت Silt	40%	جرم مخصوص Bulk density	1.10 g/cm^3
رس Clay	36%	پ‌هاش pH	8.10
شن Sand	24%	شکل ظاهری مواد Appearance of materials	در حالت خشک پودر سفید و در حالت آب‌دار ژل بی‌رنگ In dry state, white powder and in a watery state, colorless gel
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	0.985 dS/m	اندازه ذرات Particle size	متوسط Medium
تخلخل Porosity	47%	حداکثر جذب آب Maximum water absorption	400 برابر در آب مقطر و 150 برابر در خاک 400 times distilled water and 150 times in the soil
ازت کل Total nitrogen	0.091%	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange capacity	4.6 Meq/g
پتاسیم قابل جذب K absorbable	265 mg/kg	اثر گذاری در خاک Effect on soil	بیش از 5 سال More than 5 years
فسفر قابل جذب P absorbable	12.5 mg/kg	نوع عناصر مغذی جذب شده در سطح Elements type absorbed on the surface	عناصر آنیونی Anionic elements

لازم به ذکر است که دوره رشد شش ماه و دور آبیاری هفت روز بود. پس از برداشت میوه‌ها، پارامترهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام زیرزمینی (ریشه)، طول و قطر ساقه و وزن (عملکرد) میوه، مقدار آب آبیاری و کارآیی مصرف آب در هر یک از تیمارها تعیین شد. وزن میوه‌ها، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی دارای دقت ۰/۰۱ گرم، قطر ساقه با کولیس و طول ساقه با خط‌کش فلزی ۵۰۰ میلی‌متری اندازه‌گیری شد. در انتهای فصل رشد، گیاه از محل طوقه قطع و خاک درون گلدان‌ها همراه ریشه به آرامی تخلیه و ریشه با شستشو از خاک به‌طور کامل جدا و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. به‌همین ترتیب وزن خشک آن‌ها با قرار دادن نمونه‌ها، به‌مدت ۴۸ ساعت در گرم‌خانه با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. کارآیی مصرف آب از نسبت مجموع وزن میوه‌های هر تیمار بر حسب کیلوگرم، نسبت به‌میزان آب مصرفی همان تیمار برحسب متر مکعب محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری نتایج بـا نـرم‌افـزار SPSS و مقایسـه میانگین اثرات ساده و اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهـا در قالـب دو جدول مجزا آورده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیـه واریـانس کـارآیی مصـرف آب، عملکـرد و اجـزای عملکرد گیاه فلفل در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتـایج جـدول ۲، اثرات تیمارهای سوپرجاذب، مقدار آب آبیاری و کود بـر وزن تـر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و وزن میوه معنی‌دار بـود. اما اثرات تیمارهای ذکر شده و اثـرات متقابـل آن‌هـا بـر قطـر سـاقه غیرمعنی‌دار شد. اثرات متقابل سوپر جاذب × آب، سوپرجاذب × کود و آب × کود بر تمام صفات مورد بررسی به جز قطر ساقه معنی‌دار بـود. اثرات متقابل سوپرجاذب × آب × کود بر تمـام صـفات مـورد بررسـی غیرمعنی‌دار شد.

اثرات ساده تیمارها

در جدول ۳ مقایسه میانگین اثرات تک عاملی سوپرجاذب، آبیاری و کود نیتروژنی بر مقادیر صفات مورد بررسی گیاه فلفـل دلمـه ارائـه شده است.

نتایج جدول ۳ نشان داد با افزایش سـطح سـوپرجاذب وزن تـر و خشک ریشه کاهش و وزن تر و خشک اندام هـوایی، انـدازه طـول و قطر ساقه، وزن میوه و کارآیی مصـرف آب افـزایش یافـت. بیشـترین مقدار مولفه وزن تر و خشک ریشه به سـطح صـفر گـرم سـوپرجاذب (A0) و برای سایر مولفه‌ها به سطح ۵ گرم سـوپرجاذب (A2) مربـوط بود. ریشه گیـاه در خـاک فاقـد سـوپرجاذب بـه‌دلیـل توانـایی کمتـر ذخیره‌سازی آب نسبت به خاک دارای سوپرجاذب گسـترش بیشـتری یافته است. بیشترین وزن تر ریشه (۵۶/۷۸ گرم) و وزن خشک ریشـه (۲۸/۸۷ گرم) متعلق به سطح صـفر گـرم سـوپرجاذب (A0) بـود کـه به‌ترتیب تفاوت معنی‌داری با تیمار A2 و A1 و A2 داشت. بیشـترین وزن میوه (۶۶۶/۲ گرم) متعلق به سطح ۵ گرم سوپرجاذب (A2) بـود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای A0 و A1 داشت. علت بیشتر بودن وزن میـوه و دیگـر مولفـه‌هـای رشـد در سـطح ۵ گـرم سـوپرجاذب، دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی ذخیره شده توسط سـوپرجاذب و داشتن رشـد رویشـی مناسـب آن نسـبت بـه دو سـطح دیگـر اسـت.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی شاخص‌های مرتبط با عملکرد متأثر از سطوح مختلف سوپرجاذب، آبیاری و کود

Table 2- Analysis of variance (Mean Square) of some indicators related to the effect of various levels of superabsorbent, irrigation and nitrogen fertilizer

منابع متغیر Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	وزن اندام هوایی Shoot weight تر Fersh	 خشک Dry	وزن ریشه Root weight تر Fersh	 خشک Dry	ساقه Stem قطر Diameter	 طول Length	وزن میوه Fruit weight	کارآیی مصرف آب Water use efficiency
سوپرجاذب Superabsorbent	2	837.24**	138.63*	780.1**	237.32**	0.003 ns	170.74**	681.96**	93.54**
آبیاری Irrigation	2	276.05**	1191.79**	829.47**	1538.09**	0.048 ns	146.27**	118.11*	9.05*
کود Fertilizer	1	1253.58**	2241.38**	304.26**	310.56**	0.001 ns	43.74 ns	940.25**	5.48 ns
سوپرجاذب×آبیاری Superabsorbent× irrigation	4	81.52*	274.45**	48.71**	87.50**	0.015 ns	93.64*	423.11**	20.42**
سوپرجاذب×کود Superabsorbent× fertilizer	2	41.51**	4.48*	88.22*	10.16*	0.0005 ns	4.53*	252.57**	7.11*
آبیاری×کود Irrigation× fertilizer	2	3.59**	5.01**	8.34**	6.07**	0.007 ns	21.16*	25.46*	2.57*
سوپرجاذب×آبیاری×کود Irrigation × fertilizer× superabsorbent	4	51.68 ns	87.55 ns	44.62 ns	29.43 ns	0.014	68.82 ns	17.38 ns	6.76 ns
خطا Error	36	25.13	33.93	25.32	14.65	0.02	32.43	85.05	3.87
CV%	–	9.70	13.58	9.78	15.36	14.87	12.26	10.46	19.91

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

ns non-significant, * Significant at the 5% probability level (P<0.05), ** Significant at the 1% probability level (P<0.01).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات تک عاملی تیمارهای سوپرجاذب، آبیاری و کود نیتروژنی بر مقادیر صفات مورد بررسی گیاه فلفل دلمه
Table 3- Mean comparison of the single effects of superabsorbent, irrigation and nitrogen fertilizer treatments on the traits of bell peppers

عامل Factor	تیمار Treatment	وزن اندام هوایی در بوته Shoot weight (g)		وزن ریشه در بوته Root weight (g)		ساقه Stem (cm)		وزن میوه در بوته Fruit weight (g)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg m^{-3})
		تر Fersh	خشک Dry	تر Fersh	خشک Dry	قطر Diameter	طول Length		
سوپرجاذب Superabsorbent	A0 (0 g)	44.11 c	41.12 b	56.78 a	28.87 a	0.98 a	43.81 b	425.27 b	7.89 c
	A1 (3 g)	53.59 b	41.47 b	53.44 a	24.17 b	1.0 a	45.69 a	503.42 b	9.34 b
	A2 (5 g)	57.34 a	46.09 a	44.08 b	21.73 b	1.01 a	45.83 a	666.20 a	12.36 a
آبیاری Irrigation	W1 (70%)	48.22 b	34.81 c	59.23 a	35.28 a	1.01 a	44.40 b	473.53 b	10.57 a
	W2 (85%)	50.89 b	43.58 b	48.24 b	21.99 b	0.95 a	45.01 b	493.18 b	9.15 b
	W3 (100%)	55.93 a	50.28 a	46.84 b	17.50 c	1.03 a	49.92 a	621.81 a	9.87 ab
کود Fertilizer	F1 (75%)	46.86 b	36.45 b	49.06 b	22.53 b	0.99 a	45.62 a	601.20 b	9.54 a
	F2 (100%)	56.50 a	49.33 a	53.81 a	27.32 a	1.0 a	47.27 a	638.70 a	10.14 a

در هر ستون و برای هر عامل، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد باهم ندارند. A0، A1 و A2 به‌ترتیب به‌معنای مصرف صفر، سه و پنج گرم سوپرجاذب در هر کیلوگرم خاک، W1، W2 و W3 آبیاری به‌میزان ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و F1 و F2 به‌ترتیب به‌معنای مصرف ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کود نیتروژنی گیاه فلفل.

At the each column and factors, the values with the same letter are not significantly different at the 5% probability level ($P<0.05$). A0, A1 and A2 mean zero, three and five grams of superabsorbent per kilogram of soil, respectively, W1, W2 and W3 irrigation with 70, 85 and 100 percent water requirement, and F1 and F2 meaning consumption of 75 and 100 percent of nitrogen fertilizer requirement of pepper crop, respectively.

سوپرجاذب به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش آب قابل دسترس، افزایش جذب عناصر غذایی در بهبود رشد گیاه و بهبود مؤلفه‌های گیاهی اثر دارد (۱۲ و ۲۶). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی (۵۷/۳۴ و ۴۶/۰۹ گرم) نیز به تیمار A2 اختصاص یافت که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای A0 و A1 داشت. تیمارهای A2 و A1 نیز با ۴۵/۸۳ و ۴۵/۶۹ سانتی‌متر دارای بیشترین طول ساقه بودند که با تیمار A0 (۴۳/۸۱ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری داشتند. گیاهان برای تولید و عملکرد بالا نیازمند رشد رویشی مناسبی هستند و معنی‌دار بودن وزن تر و خشک اندام هوایی و اندازه طول ساقه در سطح ۵ گرم سوپرجاذب نسبت به مقادیر متناظر سطوح ۳ و صفر گرم سوپرجاذب نشانه بالاتر بودن رشد رویشی است. رستمی و همکاران (۲۹) وجود سوپرجاذب در شرایط کمبود رطوبت را موجب کاهش آبشویی، کاهش هدررفت آب و جذب قابل توجه آب و عناصر غذایی می‌دانند. آنان اثر سوپرجاذب به‌هنگام خشکی را برای گیاه، به‌واسطه آزادسازی آب و عناصر غذایی جذب شده به خاک ناحیه ریشه مثبت ارزیابی نمودند.

همچنین نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر تیمارهای سوپرجاذب بر روی کارآیی مصرف آب گیاه فلفل دلمه‌ای معنی‌دار بوده به‌طوری‌که بیشترین کارآیی مصرف آب به سطح پنج گرم سوپرجاذب به مقدار ۱۲/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن نیز به سطح صفر گرم سوپرجاذب به مقدار ۷/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب اختصاص یافت. بیشتر بودن کارآیی مصرف آب با توجه به بالاتر بودن مقدار وزن میوه (۶۶۶/۲ گرم)، در سطح پنج گرم سوپرجاذب، منطقی است. در این رابطه ضیایی و همکاران (۴۳) بیان می‌دارند سوپرجاذب با نگهداشت آب در ناحیه ریشه باعث بازماندن روزنه‌ها به‌مدت طولانی‌تر، تثبیت مناسب دی‌اکسید کربن، افزایش وزن اندام هوایی و به‌تبع افزایش عملکرد گیاه و کارآیی مصرف آب می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که به حداکثر رساندن محصول گیاهان یکی از برتری‌های اصلی سوپرجاذب‌ها محسوب می‌شود (۴۲). حقیقی و همکاران (۱۱) در بررسی تأثیر سوپرجاذب بر گوجه‌فرنگی گزارش نمودند تعداد میوه‌های دارای عارضه پوسیدگی کاهش پیدا می‌کند و به‌تبع آن صفت بازارپسندی افزایش می‌یابد. محققان دلیل افزایش عملکرد گیاهان را افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک و کاهش شستشوی عناصر غذایی و نیز هوادهی بهتر در خاک به واسطه حضور سوپرجاذب بیان کردند (۱۸). احرار و همکاران (۴) نیز بیان می‌دارند با توجه به کاهش کسر زهکشی در خاک‌های آمیخته با سوپرجاذب می‌توان دریافت که افزودن سوپرجاذب از طریق افزایش ظرفیت نگه‌داری باعث کاهش هدررفت آب و عناصر غذایی شده و از این طریق به گیاه کمک کرده تا بخش بیشتری از آب و عناصر غذایی موجود در فرآیند تولید را به کار گیرد و افزایش عملکرد داشته باشد به این ترتیب کارآیی مصرف مصرف آب افزایش می‌یابد.

مقایسه میانگین اجزای عملکرد در بین تیمارهای آبیاری در

جدول ۳ نشان داد که کمترین وزن تر و خشک ریشه در سطح آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) معادل ۴۶/۸۴ و ۱۷/۵ گرم حاصل شد که مقادیر آن با تیمارهای ۷۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری داشت. دلیل این امر، دسترسی ریشه به رطوبت کافی و عدم نیاز گیاه به توسعه آن در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی می‌باشد. در حالی‌که بیشترین مقدار دیگر صفات هوایی نظیر وزن تر و خشک اندام هوایی، قطر ساقه و وزن میوه به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مربوط است. به‌عبارت دیگر با کاهش سطح آبیاری از مقادیر صفات عملکردی گیاه فلفل به‌صورت معنی‌داری کاسته شده است. این امر منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی، به‌ترتیب از ۵۵/۹۳ و ۵۰/۲۸ گرم (در سطح ۱۰۰ درصد تامین نیاز آبی گیاه) به ۴۸/۲۲ و ۳۴/۸۱ گرم (در سطح ۷۰ درصد تامین نیاز آبی گیاه) و کاهش معنی‌دار مقدار عملکرد میوه از ۶۲۱/۸۱ گرم (در سطح ۱۰۰ درصد تامین نیاز آبی گیاه) به ۴۷۳/۵۳ گرم (در سطح ۷۰ درصد تامین نیاز آبی گیاه) شده است. رستمی و همکاران (۲۹) علت این کاهش را آسیب‌دیدگی بافت‌های گیاهی به‌دلیل کاهش توانایی غشاء سلولی گیاه فلفل در شرایط کمبود آب ذکر کرده‌اند. ضیایی و همکاران (۴۳) علت تاثیرپذیری بیشتر اندام هوایی گیاهان نسبت به اندام ریشه در شرایط تنش آبی را کاهش حجم سلولی در اندام هوایی و افزایش جذب آب از طریق حفظ نسبی رشد ریشه دانسته‌اند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. لوبو و همکاران (۲۱) نیز وزن خشک بیشتر و وزن ریشه کمتر گیاه فلفل را در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد را به‌دلیل دسترسی راحت‌تر گیاه و ریشه به آب، نسبت به سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گزارش نمودند. افاضاتی و همکاران (۳) کاهش عملکرد گیاه خیار در شرایط کمبود رطوبت را ناشی از کاهش مقدار کلروفیل و گیرنده‌های نوری و به‌تبع جذب نور کمتر و کاهش صفات عملکردی گزارش نموده که می‌تواند هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر باشد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر تیمارهای آبیاری بر کارآیی مصرف آب گیاه فلفل دلمه‌ای معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشترین و کمترین کارآیی مصرف آب در بین تیمارهای مختلف آبیاری به‌ترتیب به تیمار ۷۰ و ۸۵ درصد تامین نیاز آبی گیاه معادل ۱۰/۵۷ و ۹/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب اختصاص یافت. نتایج نشان می‌دهد با افزایش تنش آبی، ضمن کاهش مقدار آب مصرفی در تیمار ۷۰ درصد تأمین نیاز آبی موجب افزایش کارآیی مصرف آب در این تیمار نسبت به دیگر تیمارهای آبیاری شده است. نتایج این تحقیق هم‌راستا با نتایج تحقیقات وحیدی و همکاران (۴۱) می‌باشد نتایج آن‌ها نشان داد که کارآیی مصرف آب در تیمار تنش ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه دارویی حنا بیشتر از تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی می‌باشد.

نتایج مربوط به تاثیر کود نیتروژنی در جدول ۳ نشان داد بیشترین مقادیر میانگین اجزای عملکرد به سطح ۱۰۰ درصد تیمار کودی مربوط است که ناشی از دسترسی گیاه به عناصر غذایی بیشتر در این سطح کودی است. بیشترین مقادیر وزن میوه‌های فلفل و کارآیی مصرف آب به‌ترتیب ۶۳۸/۷۰ گرم و ۱۰/۱۴ کیلوگرم بر متر مکعب و بیشترین وزن تر ریشه (۵۳/۸۱ گرم) و وزن تر اندام هوایی (۵۶/۵۰ گرم) در سطح ۱۰۰ درصد تیمار کودی اندازه‌گیری شد. مقادیر صفات طول و قطر ساقه، و کارآیی مصرف آب، نیز در سطح ۱۰۰ درصد تیمار کودی نسبت به سطح ۷۵ درصد بیشتر بود اما تفاوت معنی‌داری بین دو سطح ۷۵ و ۱۰۰ درصد کودی مشاهده نشد. گیاه با توجه به توسعه بیشتر ریشه به‌واسطه فزونی وزن تر و خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد کودی و توسعه بیشتر اندام هوایی، می‌تواند عناصر غذایی را راحت‌تر از خاک جذب و در اختیار گیاه قرار دهد و باعث افزایش اجزای عملکرد گردد.

اثر متقابل تیمارها

در جدول ۴ مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات مورد مطالعه آمده است. مقایسه میانگین اثر متقابل سوپرجاذب × آب بر وزن تر و خشک اندام‌هوایی نشان داد که در سطوح آبیاری یکسان با افزایش مقدار کاربرد سوپرجاذب وزن تر اندام هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با افزایش مقدار کاربرد سوپرجاذب در خاک از صفر به ۰/۵ درصد، در سطح آبیاری ۷۰ درصد (W1) مقدار آن از ۴۰/۷ به ۵۱/۲، در سطح آبیاری ۸۵ درصد (W2) از ۴۳/۳ به ۵۵/۰ و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (W3) مقدار آن از ۴۸/۳۲ به ۶۵/۸۲ گرم افزایش یافت. همچنین در سطوح سوپرجاذب یکسان با افزایش مقدار کاربرد آب آبیاری وزن تر اندام هوایی افزایش یافت. با افزایش مقدار کاربرد آب آبیاری از ۷۰ به ۱۰۰ درصد، در سطح کاربرد صفر درصد سوپر جاذب (A0) مقدار آن از ۴۰/۷ به ۴۸/۳۲، در سطح کاربرد ۰/۳ درصد سوپر جاذب (A1) از ۵۲/۷۵ به ۵۴/۳۷ و در سطح کاربرد ۰/۵ درصد سوپر جاذب (A2) از ۵۱/۲ به ۶۵/۸۲ گرم افزایش یافت. که این افزایش در سطوح کاربرد صفر و ۰/۵ درصد سوپر جاذب معنی‌دار بود. اما به‌طور کلی نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × آبیاری نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی با ۶۵/۸۲ گرم به تیمار A2W3 تعلق داشت. و کمترین آن نیز با ۴۰/۷۰ گرم به تیمار A0W1 اختصاص داشت. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی نیز به‌ترتیب با ۵۵/۳۸ و ۵۵/۱۸ گرم به تیمارهای A1W3 و A2W3 مربوط است و کمترین آن نیز با ۳۰/۷۷ گرم به تیمار A1W1 تعلق گرفت (جدول ۴). سالار و همکاران (۳۱) گزارش کردند کاربرد پلیمر سبب افزایش عناصر غذایی قابل دسترس گیاه در خاک شده، بنابراین بیوماس گیاه را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات تایلور (۳۸) نیز افزایش بیوماس گیاهان با کاربرد سوپر جاذب را تأیید می‌کند.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای سوپرجاذب، آبیاری و کود نیتروژنی بر مقادیر صفات مورد بررسی گیاه فلفل دلمه

Table 4- Mean comparison of the interaction effects of superabsorbent, irrigation and nitrogen fertilizer treatments on the traits of bell peppers

عامل Factor	تیمار Treatment	وزن اندام هوایی در بوته Shoot weight (g)		وزن ریشه در بوته Root weight (g)		ساقه Stem (cm)		وزن میوه در بوته Fruit weight (g)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg m^{-3})
		تر Fersh	خشک Dry	تر Fersh	خشک Dry	قطر Diameter	طول Length		
سوپرجاذب × آبیاری Superabsorbent × Irrigation	A0W1	40.70 e	37.32 de	67.85 a	43.18 a	0.93 a	43.56 bc	368.70 c	8.23 de
	A0W2	43.30 de	45.75 bc	51.30 c	25.57 c	0.97 a	43.30 bc	471.08 bc	8.74 cde
	A0W3	48.32 cd	40.28 cd	51.20 c	17.87 de	1.05 a	44.58 bc	421.47 bc	6.69 e
	A1W1	52.75 bc	30.77 e	58.58 b	30.28 b	0.97 a	39.97 c	499.07 b	11.14 bc
	A1W2	54.37 bc	38.28 d	50.90 c	22.62 cd	1.00 a	47.99 b	459.22 bc	8.52 de
	A1W3	53.65 bc	55.38 a	50.85 c	19.62 de	1.03 a	49.10 ab	527.31 b	8.37 de
	A2W1	51.20 bc	34.43 de	51.27 c	32.37 b	0.92 a	49.67 ab	552.38 b	12.33 ab
	A2W2	55.0 b	48.65 ab	42.52 d	17.80 de	1.10 a	44.41 bc	540.07 b	10.19bcd
	A2W3	65.82 a	55.18 a	38.47 d	15.02 e	1.02 a	55.41 a	916.65 a	14.55 a
سوپرجاذب × کود Superabsorbent × Fertilizer	A0F1	39.80 d	34.37 b	52.17 b	25.79 b	0.98 a	43.38 b	369.75 d	6.86 c
	A0F2	48.41 c	47.87 a	61.40 a	31.96 a	0.99 a	44.24 b	480.78 cd	8.92 b
	A1F1	49.97 c	35.60 b	53.26 b	19.21 c	1.00 a	44.85 b	494.80 cd	9.50 b
	A1F2	57.21 b	47.33 a	53.63 b	25.77 b	1.00 a	46.53 ab	512.05 bc	9.18 b
	A2F1	50.81 c	39.38 b	41.77 c	22.58 bc	1.00 a	48.40 ab	661.35 ab	12.27 a
	A2F2	63.86 a	52.80 a	46.40 c	24.24 b	1.02 a	51.26 a	670.51 a	12.44 a
آبیاری × کود Irrigation × Fertilizer	W1F1	43.89 d	27.31 e	57.61 a	32.53 b	0.95 a	44.65 b	439.48 d	9.81 ab
	W1F2	52.54 bc	41.03 cd	60.86 a	38.02 a	0.92 a	44.15 b	507.14 c	12.32 a
	W2F1	45.69 d	37.6 d	45.69 cd	20.27 c	1.00 a	44.19 b	485.1 cd	9.00 b
	W2F2	56.09 ab	50.83 ab	50.79 b	23.72 c	1.04 a	46.28 b	500.73 c	9.29 ab
	W3F1	51.00 c	44.43 bc	43.89 d	14.78 d	1.02 a	47.80 ab	618.03 ab	9.81 ab
	W3F2	60.86 a	56.13 a	49.79 bc	20.22 c	1.04 a	51.61 a	625.59 a	9.93 ab

در هر ستون و برای هر عامل، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد باهم ندارند. A0، A1 و A2 به‌ترتیب به‌معنای مصرف صفر، سه و پنج گرم سوپرجاذب در هر کیلوگرم خاک، W1، W2 و W3 آبیاری به‌میزان ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و F1 و F2 به‌ترتیب به‌معنای مصرف ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کود نیتروژنی گیاه فلفل.

level (P<0.05). At the each column and factors, the values with the same letter are not significantly different at the 5% probability A0, A1 and A2 mean zero, three and five grams of superabsorbent per kilogram of soil, respectively, W1, W2 and W3 irrigation with 70, 85 and 100 percent water requirement, and F1 and F2 meaning consumption of 75 and 100 percent of nitrogen fertilizer requirement of pepper crop, respectively.

مقایسه میانگین اثر متقابل سوپرجاذب × آبیاری (AW) برای وزن تر و خشک ریشه نشان داد (جدول ۴) در سطوح آبیاری یکسان با افزایش کاربرد سوپرجاذب در خاک از صفر به ۰/۵ درصد، وزن تر ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش کاربرد سوپرجاذب از صفر به ۰/۵ درصد، در سطح آبیاری ۷۰ درصد (W1) مقدار آن از ۶۷/۸۵ به ۵۱/۲۷، در سطح آبیاری ۸۵ درصد (W2) از ۵۱/۳ به ۴۲/۵۲ و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (W3) از ۵۱/۲۰ به ۳۸/۴۷ گرم کاهش یافت. همچنین در سطوح سوپرجاذب یکسان با کاهش آب آبیاری وزن تر و خشک ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با کاهش آب آبیاری از ۱۰۰ به ۷۰ درصد، در سطح صفر درصد سوپر جاذب (A0) مقدار وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب از ۵۱/۲۰ و ۱۷/۸۷به ۶۷/۸۵ و ۴۳/۱۸، در سطح ۰/۳ درصد سوپر جاذب (A1) از ۵۰/۸۵ و ۱۹/۶۲ به ۵۸/۵۸ و ۳۰/۲۸ و در سطح ۰/۵ درصد سوپر جاذب (A2) از ۳۸/۴۷ و ۱۵/۰۲ به ۵۱/۲۷ و ۳۲/۳۷ گرم افزایش یافت. اما به‌طور کلی نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × آبیاری نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب ۶۷/۸۵ و ۴۳/۱۸ گرم به تیمار A0W1، با اعمال ۷۰ درصد نیاز آبی در خاک فاقد سوپرجاذب به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با مقادیر سطوح دیگر این تیمار دارد. و کمترین وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب با ۳۸/۴۷ و ۱۵/۰۲ گرم در ترکیب تیماری A2W3 (سطوح ۵ گرم سوپرجاذب در کیلوگرم خاک و آبیاری ۱۰۰ درصد) به‌دست آمد. کمبود آب سبب تلاش گیاه برای دست‌یابی به آب جهت زنده‌مانی و فراهم‌سازی رشد و توسعه می‌باشد که این امر در راستای توسعه ریشه و حداکثر بودن وزن تر و خشک آن در تیمار A0W1، است. نتایج تحقیقات دیگر محققان از جمله توپسین و همکاران (۴۰) نیز مؤید این مطلب است، که ارقام گندم متحمل به خشکی ریشه طویل‌تر و

حجم ریشه بیشتری نسبت به دیگر ارقام دارند. بسیاری از گونه‌های گیاهی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و بهره‌گیری بیشتر از آب قابل دسترس به کمبود رطوبت پاسخ می‌دهند (۱۶). از طرف دیگر آلکیر و همکاران (۶) در بررسی اثر آبیاری کامل، کم‌آبیاری و عدم انجام آبیاری بر گیاه نعناع فلفلی کاهش طول ریشه در شرایط تنش‌آبی را مشاهده کردند. تأثیر تنش‌خشکی بر محدود نمودن رشد ریشه در برخی گیاهان دیگر نظیر نعناع ژاپنی و گیاه بومادران نیز گزارش شده است (۲۰). بنابراین تنش آبی با توجه به نوع گیاه می‌تواند اثرات مختلفی بر ریشه داشته باشد. بیشترین طول ساقه به تیمار A2W3 با ارتفاع ۵۵/۴۱ سانتی‌متر مربوط است (جدول ۴). نتایج این مطالعه نشان دهنده‌ی این مطلب است که با افزایش تنش آبی طول ساقه کاهش می‌یابد و سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری در مقابله با این کاهش دارد. ادت (۲) گزارش کرد که تنش خشکی موجب کاهش طول ساقه و ایجاد حالت کوتاه قدی در گیاهان می‌گردد. نتایج پژوهش‌های روبیول اسلام و همکاران (۲۸) بر روی نخود بیان‌گر افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، عملکرد زیست توده با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپر جاذب بود.

براساس نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × آبیاری، در سطوح آبیاری یکسان با افزایش کاربرد سوپرجاذب در خاک، وزن میوه افزایش یافت. با افزایش کاربرد سوپرجاذب از صفر به ۰/۵ درصد، در سطح آبیاری ۷۰ درصد (W1) مقدار آن از ۳۶۸/۷ به ۵۵۲/۳۸، در سطح آبیاری ۸۵ درصد (W2) از ۴۷۱/۰۸ به ۵۴۰/۰۷ و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (W3) از ۴۲۱/۴۷ به ۹۱۶/۶۵ گرم افزایش یافت. این افزایش در سطوح آبیاری ۷۰ و ۱۰۰ درصد معنی‌دار بود. همچنین در سطوح سوپرجاذب یکسان با افزایش آب آبیاری وزن میوه افزایش یافت. با افزایش آب آبیاری از ۷۰ به ۱۰۰ درصد، در سطح صفر درصد سوپر جاذب (A0) مقدار آن از ۳۶۸/۷ به ۴۲۱/۴۷، در سطح ۰/۳ درصد سوپر جاذب (A1) از ۴۹۹/۰۷ به ۵۲۷/۳۱ و در سطح ۰/۵ درصد سوپر جاذب (A2) از ۵۵۲/۳۸ به ۹۱۶/۶۵ گرم افزایش یافت. که این افزایش در سطح کاربرد ۰/۵ درصد سوپر جاذب، معنی‌دار بود. به‌طور کلی نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × آبیاری نشان می‌دهد که بیشترین میزان وزن میوه با مقدار ۹۱۶/۶۵ گرم متعلق به ترکیب تیماری A2W3 و کمترین میزان آن ۳۶۸/۷۰ گرم و متعلق به ترکیب تیماری A0W1 است. کوهستانی و همکاران (۱۹) در تحقیقی با هدف بررسی تأثیر هیدروژل بر عملکرد ذرت دانه‌ای، اثر متقابل آبیاری و سوپرجاذب را بر وزن دانه معنی‌دار گزارش نمودند. آنان دلیل این امر را افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک و کاهش شستشوی عناصر غذایی و نیز هوادهی بهتر در خاک به واسطه حضور سوپرجاذب بیان کردند.

براساس نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × آبیاری، در سطوح آبیاری یکسان با افزایش کاربرد سوپرجاذب در خاک، کارآیی مصرف آب افزایش یافت. با افزایش کاربرد سوپرجاذب از صفر به ۰/۵ درصد، در سطح آبیاری ۷۰ درصد (W1) مقدار آن از ۸/۲۳ به ۱۲/۳۳، در سطح آبیاری ۸۵ درصد (W2) مقدار آن از ۸/۷۴ به ۱۰/۱۹ و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (W3) مقدار آن از ۶/۶۹ به ۱۴/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت که این افزایش در سطوح آبیاری ۷۰ و ۱۰۰ درصد معنی‌دار بود. همچنین در سطوح سوپرجاذب یکسان با افزایش کاربرد آب آبیاری، کارآیی مصرف آب روند تغییرات منظمی نداشت. اما به‌طور کلی نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × آبیاری نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار کارآیی مصرف آب به‌ترتیب مربوط به تیمارهای A2W3 (به‌مقدار ۱۴/۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب) و A0W3 (۶/۶۹ کیلوگرم بر متر مکعب) می‌باشد. شایان‌ذکر است دو تیمار A2W3 و A2W1 در یک گروه آماری قرار دارند (جدول ۴). در واقع با مصرف پنج گرم سوپرجاذب می‌توان با حفظ بیشترین کارآیی مصرف آب، ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. به‌طور کلی کم‌آبیاری یک استراتژی بهینه برای به عمل آوردن گیاهان زراعی و باغی، تحت شرایط کمبود آب است که همواره با کاهش محصول مواجه می‌باشد و هدف آن افزایش کارآیی مصرف آب است. سوپرجاذب از طریق جلوگیری از کاهش محصول، باعث افزایش کارآیی مصرف می‌شود (۱). در تأیید این مطلب رفیعی‌مجومرد و همکاران (۲۷) گزارش کردند که تیمارهای سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری بر میزان آب مصرفی نهالستان سیاه‌تاغ داشته‌اند. دلیل این امر نگه‌داشت آب اضافی توسط سوپرجاذب، و به‌تبع آن افزایش کارآیی مصرف آب است. پژوهش‌هایی مبنی بر افزایش کارآیی مصرف آب به واسطه استفاده از سوپرجاذب در داخل و خارج کشور توسط محققانی از جمله، بال و همکاران (۸)، سیواپالان (۳۷)، دشت‌بزرگ و همکاران (۹)، جلیلی و همکاران (۱۳)، شیخ‌مرادی و همکاران (۳۶) منتشر شده است.

مقایسه میانگین‌های جدول ۴، در خصوص اثر متقابل سوپرجاذب × کود، نشان داد در سطوح کود نیتروژنی یکسان با افزایش کاربرد سوپرجاذب در خاک، خصوصیات وزن تر اندام هوایی، طول ساقه، وزن میوه و کارآیی مصرف آب به‌طور معنی‌داری افزایش و وزن تر ریشه کاهش یافت. به‌عنوان مثال با افزایش کاربرد سوپرجاذب از صفر به ۰/۵ درصد، در سطح کود نیتروژنی ۷۵ درصد نیاز کودی (F1)، وزن تر اندام هوایی از ۳۹/۸۰ به ۵۰/۸۱ گرم، طول ساقه از ۴۳/۳۸ به ۴۸/۴ سانتی‌متر، وزن میوه از ۳۶۹/۷۵ به ۶۶۱/۳۵ گرم و کارآیی مصرف آب از ۶/۸۶ به ۱۲/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داشته و در سطح کود نیتروژنی ۱۰۰ درصد (F2) مقادیر آن‌ها به‌ترتیب از ۴۸/۴۱ به ۶۳/۸۶ گرم، ۴۴/۲۴ به ۵۱/۲۶ سانتی‌متر، ۴۸۰/۷۸ به ۶۷۰/۵۱ گرم و ۸/۹۲ به ۱۲/۴۴ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت. همچنین با افزایش مقدار کاربرد سوپرجاذب در خاک از صفر به ۰/۵ درصد، در

سطح کود نیتروژنی ۷۵ درصد (F1) وزن تر ریشه از ۵۲/۱۷ به ۴۱/۷۷ گرم و در سطح کود نیتروژنی ۱۰۰ درصد (F2) مقدار آن از ۶۱/۴۰ به ۴۶/۴۰ گرم کاهش یافت. همچنین در سطوح سوپرجاذب یکسان با افزایش کاربرد کود نیتروژنی وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول ساقه و وزن میوه افزایش یافت. به‌عنوان مثال با افزایش کاربرد کود نیتروژنی از ۷۵ به ۱۰۰ درصد، در سطح کاربرد صفر درصد سوپر جاذب (A0) وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب از ۳۹/۸۰ و ۳۴/۳۷ به ۴۸/۴۱ و ۴۷/۸۷ گرم، در سطح کاربرد ۰/۳ درصد سوپر جاذب (A1) مقدار آن‌ها از ۴۹/۹۷ و ۳۵/۶۰ به ۵۷/۲۱ و ۴۷/۳۳ گرم و در سطح کاربرد ۰/۵ درصد سوپر جاذب (A2) مقدار آن‌ها از ۵۰/۸۱ و ۳۹/۳۸ به ۶۳/۸۶ و ۵۲/۸۰ گرم افزایش یافت که این افزایش در هر سه سطح کاربرد سوپر جاذب، معنی‌دار بود. اما به‌طور کلی نتایج جدول ۴ برای اثرات متقابل سوپرجاذب × کود نشان داد که تیمار A0F2 دارای بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب به مقدار ۶۱/۴۰ و ۳۱/۹۶ گرم بود. همچنین تیمار A2F2 دارای بیشترین مقادیر وزن تر و خشک اندام هوایی (۶۳/۸۶ و ۵۲/۸۰ گرم)، اندازه طول و قطر ساقه (۱/۰۲ و ۵۱/۲۶ سانتی‌متر)، عملکرد میوه (۶۷۰/۵۱ گرم) و میزان کارآیی مصرف آب (۱۲/۴۴ کیلوگرم بر متر مکعب) بود. ضمن آن‌که تفاوت معنی‌داری بین بیشترین مقدار عملکردهای میوه و کارآیی مصرف آب در دو تیمار A2F2 و A2F1 مشاهده نشد. افاضاتی و همکاران (۳) در کشت گلخانه‌ای خیار بیان داشته‌اند سوپرجاذب‌ها به‌واسطه پتانسیل ذخیره نمودن آب و عناصر غذایی ضمن ممانعت از کاهش میزان کلروفیل، موجب فتوسنتز بیشتر می‌گردد. در همین راستا می‌توان گفت که سطح ۵ گرم سوپرجاذب در تیمار A2F2، ضمن حفظ رطوبت خاک در آزادسازی آن به‌همراه عناصر غذایی موجب توسعه بیشتر اندام هوایی گیاه به‌واسطه بیشتر بودن وزن این اندام شده است. این امر سبب دست‌یابی گیاه به حداکثر صفات اصلی مدنظر یعنی عملکرد میوه و کارآیی مصرف آب شده است.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × کود در جدول ۴ نشان داد در سطوح کود نیتروژنی یکسان با کاهش آب آبیاری، خصوصیات وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ساقه و وزن میوه به‌طور معنی‌داری کاهش و وزن تر و خشک ریشه افزایش یافت. به‌عنوان مثال با کاهش کاربرد آب آبیاری از ۱۰۰ به ۷۰ درصد، در سطح کود نیتروژنی ۷۵ درصد (F1)، وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب از ۵۱/۰۰ و ۴۴/۴۳ به ۴۳/۸۹ و ۲۷/۳۱ گرم، طول ساقه از ۴۷/۸۰ به ۴۴/۶۵ سانتی‌متر و وزن میوه از ۶۱۸/۰۳ به ۴۳۹/۴۸ گرم کاهش داشته و در سطح کود نیتروژنی ۱۰۰ درصد (F2) مقادیر آن‌ها به‌ترتیب از ۶۰/۸۶ و ۵۶/۱۳ به ۵۲/۵۴ و ۴۱/۰۳ گرم، ۵۱/۶۱ به ۴۴/۱۵ سانتی‌متر و ۶۲۵/۵۹ به ۵۰۷/۱۴ گرم کاهش یافت. با کاهش آب آبیاری از ۱۰۰ به ۷۰ درصد، در سطح کود نیتروژنی ۷۵ درصد (F1) وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب از ۴۳/۸۹ و ۱۴/۷۸ به ۵۷/۶۱ و ۳۲/۵۳ گرم و در سطح کود نیتروژنی ۱۰۰ درصد (F2) مقدار آن‌ها از ۴۹/۷۹ و ۲۰/۲۲ به ۶۰/۸۶ و ۳۸/۰۲ گرم افزایش داشت. اما در سطوح آبیاری یکسان با افزایش کاربرد کود نیتروژنی وزن تر و خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با افزایش مقدار کود نیتروژنی از ۷۵ به ۱۰۰ درصد، در سطح ۷۰ درصد نیاز آبی (W1) مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب از ۴۳/۸۹ و ۲۷/۳۱ به ۵۲/۵۴ و ۴۱/۰۳ گرم، در سطح ۸۵ درصد نیاز آبی (W2) مقدار آن‌ها از ۴۵/۶۹ و ۳۷/۶ به ۵۶/۰۹ و ۵۰/۸۳ گرم و در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی (W3) مقدار آن‌ها از ۵۱/۰ و ۴۴/۴۳ به ۶۰/۸۶ و ۵۶/۱۳ گرم افزایش یافت. همچنین نتایج کلی جدول ۴ برای اثرات متقابل تیمارهای آبیاری × کود نشان داد که تیمار W1F2 دارای بیشترین وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب به مقدار ۶۰/۸۶ و ۳۸/۰۲ گرم شد. ضمن آن‌که حداکثر مقدار کارآیی مصرف آب ۱۲/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب آب بود که حاصل اثر متقابل سطوح ۷۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد کود از تیمار W1F2 بود. حداکثر مقدار صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، اندازه قطر و طول ساقه و عملکرد میوه به‌ترتیب ۶۰/۸۶ و ۵۶/۱۳ گرم، ۱/۰۴ و ۵۱/۶۱، و ۶۲۵/۵۹ گرم در هر بوته به تیمار W3F2 تعلق دارد. نتایج این پژوهش هم‌راستا با نتایج وحیدی و همکاران (۴۱) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش نشان داد خصوصیات گیاه فلفل دلمه‌ای شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول ساقه، وزن میوه و کارآیی مصرف آب تحت تاثیر مقدار آب آبیاری قرار گرفتند. با کاهش آب آبیاری تمامی خصوصیات ذکر شده، کاهش یافت اما کارآیی مصرف آب و وزن تر و خشک ریشه افزایش داشت. همچنین تمامی خصوصیات ذکر شده نیز تحت تأثیر مقدار مصرف سوپرجاذب قرار گرفتند. با افزایش سوپرجاذب وزن تر و خشک ریشه کاهش و سایر خصوصیات افزایش یافت. مقادیر مصرف کود نیتروژنی نیز بر تمامی خصوصیات ذکر شده به جز طول ساقه و کارآیی مصرف آب تاثیر معنی‌داری داشت. بیشترین مقادیر میانگین اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب به سطح ۱۰۰ درصد تیمار کودی مربوط بود. در بررسی اثرات متقابل سوپرجاذب×آبیاری بیشترین و کمترین کارآیی مصرف آب به‌ترتیب مربوط به تیمارهای A2W3 و A0W3 بود. در بررسی کارآیی مصرف آب با توجه به این‌که دو تیمار A2W3 و A2W1 در یک گروه آماری قرار گرفتند لذا با مصرف ۰/۵ درصد سوپرجاذب در خاک می‌توان با حفظ بیشترین کارآیی مصرف آب، ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. در بررسی اثرات متقابل سوپرجاذب×کود نیتروژنی، بیشترین میزان وزن میوه و کارآیی مصرف

آب متعلق به ترکیب تیماری A2F2 بود، اما تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار A2F2 و A2F1 به‌لحاظ این خصوصیات وجود نداشت. لذا با کاربرد ۰/۵ درصد سوپرجاذب در خاک می‌توان با حفظ بیشترین عملکرد میوه و کارآیی مصرف آب، ۲۵ درصد در مصرف کود نیتروژنی نیز صرفه‌جویی نمود.

منابع

1- Abedi Koupai J., and Mesforoush M. 2009. Evaluation of Superabsorbent Polymer Application on Yield, Water and Fertilizer Use Efficiency in Cucumber (*Cucumis sativus*). Iranian Journal of lrrigation and Drainage 2(3): 100-111. (In Persian with English abstract)

2- Adt S.K., Clifford S.C., Wanek W., Jones H.G., and Popp M. 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree Ziziphus rotundifolia in response to progressive drought stress. Tree Physiology 21: 705-715.

3- Afazaty M., Irandost M., and Rezaei Estakhroeih A. 2016. Effect of application of super absorbent on the growth and yield of cucumber under deficit irrigation. Journal of Water and Irrigation Management (Journal of Agriculture) 5(2): 203-214. (In Persian with English abstract)

4- Ahrar M., Delshad M., and Babalar M. 2009. Improving water/fertilizer use efficiency of hydroponically cultured greenhouse cucumber by grafting and hydrogel amendment. Journal of Horticultural Sciences 23(1): 69-77. (In Persian with English abstract)

5- Albaho M., Bhat N., Abo H., and Tomas B. 2009. Effect of three substrates on growth and yield of two cultivars of C*apcicum annum*. Eroupean Journal of Scientific Reasearch 28: 227-233.

6- Alkire B.H., and Simon J.E. 1993.Water management for Midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.) growing in highly organic soils Indiana, USA. Acta Horticulturae Journal 344: 544-556.

7- Babaee Sabzikar Langaroodi N., Ashouri M., Dorodian H.R., and Azarpour E. 2013. Study effect of super absorbent application, saline water and irrigation management on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.). Annals of Biological Research 4(1):160-169.

8- Bal W., Zhang H., Wu L.Y., and Song J. 2010. Effects of super- absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. Soil Use and Management Journal 26: 253-260.

9- Dashtbozorg A., Sayyad Gh. Kazeminezhad I., and Mesgarbashi M. 2013. The Effects of Different Sizes of Particles of a Superabsorbent Polymer on Water Holding Capacity of Two Different Soil Textures. Journal of Agricultural Engineering 36(1): 65-75. (In Persian with English abstract)

10- Efeoğlu B., Ekmekçi Y., and Çiçek N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany 75: 34–42.

11- Haghighi M., Mozafariyan M., and Afifipour Z. 2014. The Effect of Superabsorbent Polymer and Different Withholding Irrigation Level on Some Qualitative and Quantitative Traits of Tomato (*Lycopersicum esculentum*). Journal Of Horticulture Science 28(1): 125-133. (In Persian with English abstract)

12- Islam M.R., Xue X.Z., Mao S., Ren C.Z., Eneji A.E., and Hu Y.G. 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in oat (*Avena sativa* L.) under drought stress. Journal of the Science of Food and Agriculture 91(4): 680–686.

13- Jalili J., Jalili Kh., and Sohrabi H. 2013. Possibility of Increasing Irrigation Period Without Decreasing Growth of Rose Saplings by Implementing Super Absorbent Polymer Trawat A200 in a Semi Arid Region. Journal of horticulture science 27(2): 185-192. (In Persian with English abstract)

14- Javadi Khederi S., Khanjani M., Ahmad Hoseini M., Hoseininia A., and Safari H. 2016. Effects of drough stress and supper absorbent polymer on susceptibility of pepper to damage A*phis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae). Journal of Crop Protection 5(1) :49-57.

15- Jhurry D. 1997. Agricultural Polymers. Food and Agricultural Research council, Reduit, Mauritius, 109-113.

16- Kafi M., and Mahdavi Damghani A. 2000. Resistance mechanisms of plants to environmental stresses. Ferdowsi University Press, Mashhad. (In Persian)

17- Karimi A., and Naderi M. 2011. Investigating the effects of super absorbent polymer and soil type on yield, water consumption, distance and number of irrigation in corn fodder. Journal of Plant Production (Scientific Journal of Agriculture) 34(1): 69-82. (In Persian with English abstract)

18- Keshavarz L., Farahbakhsh H., and Golkar P. 2013. Effect of Hydrogel and Irrigation Regimes on Chlorophyll Content, Nitrogen and Some Growth Indices and Yield of Forage Millet (*Pennisetum glaucum* L.). Journal of Crop Production and Processing 3(9):147-161. (In Persian with English abstract)

19- Koohestani SH., Askari N., and Maghsoudi K. 2010. Assessment effects of super absorbent hydro gels on corn yield (*Zea mays* L.) under drought stress condition. Iranian Water Research Journal 3(5): 71-78. (In Persian with English abstract)

20- Lebaschy M.H., and Sharifi Ashoorabadi E. 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 20(3): 249-261. (In Persian with English

abstract)
21- Lobo D., Torres D., Gabriels D., Rodriguez N., and Rivero D. 2006. Effect of organic waste compost and a water absorbent polymeric soil conditioner (hydrogel) on the water use efficiency in a *Cspsicum annum* (green pepper) cultivation. P. 453-459. 4-7 September. 2006. AGROENVIRON, Ghent, Belgium.
22- López-Elías J., Huez M. A., Rueda E.O., José Jiménez L., Fidencio Cruz B., and Oscar Garrido L. 2013. Use of a hydrophilic polymer in Anaheim pepper (*Capsicum annuum* L.) under greenhouse conditions. IDESIA (Chile) 31(2): 77-81.
23- Mardani Nezhad S., Zare Abyaneh H., Tabatabei S.H., and Mohammad Khani A. 2013. Effect of different levels of soil water on root development of chili pepper. Journal of Water Research in Agriculture, 27: 241-253. (In Persian)
24- Marques P.A.A., and Bastos R.O. 2010. Use of different doses of Hidrogel for sweet pepper seedling production. Pesquisa Aplicada Agrotecnologia 3(2):59-64.
25- Nazarli H., Zardashti M.R., Darvishzadeh R., and Najafi S. 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower. Notulae Scientia Biologicae, 2(4): 53-58.
26- Parvathy P.C., and Jyothi A. 2014. Rheological and Thermal Properties of Saponified Cassava Starchg-Poly (acrylamide) Superabsorbent Polymers Varying in Grafting Parameters and Absorbency. Journal of Applied Polymer Science 131(11): 1-11.
27- Rafiee Majoumard Z., Tavili A., Zehtabian G.R., Heidary M., and Soltani Gerd Faramarzi M. 2012. Effects of super absorbent polymer on Haloxylon aphyllum seedlings growth properties and water consumption in nursary. Journal of Rangeland 6(2): 110-119. (In Persian with English abstract)
28- Robiul Islam M.R., Hu Y., Mao S., Jia P., Eneji A.E., and Xue X. 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea max* L.) under drought stress. Journal of Science Food and Agriculture 91: 813-819.
29- Rostami F., Gholami sefid kohi M.A., Shahnazari A., and Akbarpour V. 2016. Effect of super absorbent (A200) on some phytochemical characteristics and water productivity under drought stress in Hot Pepper Pplant (*Capsicum* frutescence). Iranian Water Research Journal 10(1): 107-114. (In Persian with English abstract)
30- Sajjadi F., Sharifan H., Hezarjaribi A., Ghorbani Nasrabad Gh. 2016. The effect of salinity stress and over irrigation on yield and yield components of green pepper. Journal of Water and Irrigation Management (Journal of Agriculture) 6(1): 89-100. (In Persian with English abstract)
31- Salar N., Farahpour M., and Bahadori F. 2005. Investigation of the effect of hydrophilic polymer on irrigation frequency in melon crop. 3th Specialized Seminar on Agricultural Application of superabsorbent Hydrogels, Tehran, Iran.
32- Sanatombi K., and Sharma G. 2007. Micropropagation of *Capsicum annuum* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 35(1): 57-64.
33- Sayyari M., and Ghanbari F., 2012. Effects of Super Absorbent Polymer A200 on the Growth,Yield and Some Physiological Responses in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Under Various Irrigation regims. International Journal of Agricultural and Food Research 1(1): 1-11.
34- Shangwe V.D., Magongo B.N., Masarirambi M.T., and Manyastsi A.M. 2010. Effects of irrigation moisture regims on yield and quality of paprika (*Cspsicum annum* L.). Pysical and Chemistry of the Earth 35(13): 717-722.
35- Shahriari A., Noori S., Asaleh F., Noori G.R., and Zaboli M. 2011. The effects of wastewater, super absorbent and soil texture on the growth of *Nitraria schoberi*. Journal of Rangeland 4(4): 564-573. (In Persian with English abstract)
36- Sheikhmoradi F., Arji I., Emaeili A., and Abdosi V. 2011. Evaluation the Effects of Cycle Irrigation and Super Absorbent on Qualitative Characteristics of Lawn. Journal of Horticulture Science 25(2): 170-177. (In Persian with English abstract)
37- Sivapalan S. 2001. Effect of polymer on soil water holding capacity and plant water use efficiency. Proceeding of 10th Australian agronomy conference, Horbat, Tasmania, Australia.
38- Taylor K.C., and Halfacre R.G. 1986. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to ligustrum lucidum. Horticultural Science 21: 1159-1161.
39- Topuz A., and Ozdemir F. 2007. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. Journal of Food Composition and Analysis 20(7): 596-602.
40- Tupitsyn N.V., Waines J.G., and Lyashok A.K. 1986. Water uptake by the root system of the spring wheats Botanicheskaya 3 and Orenburgskaya 7 in relation to their drought resistance. Plant Breeding Abs, 57: 9,815.
41- Vahidi A., alizadeh A., baghizadeh A., and Ansari H. 2018. Effect of Biofertilizer and Chemical Fertilizer Application on Water use Efficiency and Physiological Growth Indices of Henna as Medicinal Plant under Water Deficit Condition. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 12(2): 260-274. (In Persian with English abstract)
42- Zangooei Nasab Sh., Emami H., Astaraei A.R., and Yari A.R. 2013. Effects of stockosorb hydrogel and irrigation intervals on some soil physical properties and growth of haloxylon seedling. Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production 3(1): 167-182. (In Persian with English abstract)

43- Ziaei A., Moghaddam M., and Kashefi B. 2016. The effect of superabsorbent polymers on morphological traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under drought stress. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 7(2): 99-111. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 463-476

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۷۶-۴۶۳

The Effects of Different Levels of Superabsorbent, Nitrogen Fertilizer and Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Bell Pepper

H. Zare Abyaneh[1]- F. Heidari[2]- G.R. Heidari[3]- M. Jovzi[4]*

Received: 21-11-2018
Accepted: 11-06-2019

Introduction: Water scarcity and its limitation are the main limiting factor for irrigated agriculture. One of the ways to maintain moisture in the soil is to use super-absorbent materials and plant greenhouse crops. Cultivars of the plant produce fruits in different colors, including red, yellow and green. The plants need water and fertilizer for optimal growth and yield. Drought can reduce the average yield by up to 50% and more. Super absorbents are hydrophilic modifying substances that can release water and nutrients absorbed for the plant, manage irrigation water and increase water use efficiency. The purpose of this study was to investigate the usefulness of interactions between different levels of superabsorbent, water and fertilizer varieties on yield, water use efficiency and some growth factors of bell peppers.

Materials and Methods: This greenhouse experiment was conducted in the greenhouse of Kamyaran Technical Center (Kurdistan) in summer and autumn of 2013 on pots. In this greenhouse experiment, the effects of three levels of zero (A0), three (A1) and five gram (A2) aquasorb super absorbent per kg of soil, three levels of 70 (W1), 85 (W2) and 100 (W3) percent of irrigation requirements and two levels of 75 (F1) and 100 (F2) percent of nitrogen fertilizer requirements were studied on some traits of bell pepper plant. The experiment was factorial based on randomized complete block design with 18 treatments and three replications. The fertilizer requirements were measured using a soil analysis method. Urea fertilizer, super-phosphate and potassium sulfate were used 350, 144 and 200 kg/ha, respectively. Urea fertilizer was given to the pots at the time of application of irrigation treatments, along with irrigation water and super-phosphate fertilizers and potassium sulfate during soil preparation. Irrigation treatments were applied after fourth week of planting. The water requirements of the pots were carried out on a volumetric and daily scale based on measurements from a micro lysimeter located inside the greenhouse. The amount of water consumed during the growth period was 1658 mm in 100% water requirement and 1409 and 1161 mm in the treatment of 85 and 70% water requirement respectively. After harvesting, the fresh and dry weight of the shoot and root, stem length and diameter, fruit weight, irrigation water, and water use efficiency were determined in each of the treatments. Statistical analysis of the results was performed using SPSS software and a comparison of the mean simple effects and interactions of different levels of treatments in two separate tables.

Results and Discussion: The results showed a significant effect of superabsorbent and irrigation treatments on all components except stem diameter. Among the superabsorbent treatments, the highest fruit yields (666.2 g) and water use efficiency (12.36 kg/m^3) were obtained in A2 treatment. The reason for the highest yields and other growth factors of A2 treatment was access to the greater water storage by the superabsorbent and its proper vegetative growth compared to the other two levels. Among the irrigation treatments, the highest values of the mentioned functions were obtained in the W3 and W1 treatments with 621.81 g and 10.57 Kg/m^3 respectively. The results showed that as deficit irrigation increasing while reducing the amount of irrigation water and non-significant yield in the W1 treatment, water use efficiency was increased in this treatment compared to other irrigation treatments. The effect of fertilizer treatments on shoot weight, root and fruit yield was significant. The highest fruit yield was 638.70 g in F2 treatment. The interaction of irrigation and superabsorbent on fresh and dry weight of shoot and root, fruit yield, and water use efficiency was significant. The highest fruit yields

1 and 2- Professor and Graduated from the Master's Degree of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
4- Assistant Professor of Soil and Water Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding Author Email: jovzimehdi11@yahoo.com)

(916.65g) and water use efficiency (14.55 kg/m^3) were observed in A2W3 treatment. The interaction effects of superabsorbent and fertilizer showed that the highest yield and water use efficiency were equal to 670.51 grams and 12.44 kg / m^3 in A2F2 treatment. The interactions of water and fertilizer showed that the highest yield and water use efficiency were 625.59 g in W3F2 and 12.32 kg/m^3 in W1F2 treatment. The interaction of three superabsorbent, water and fertilizer variables on all studied traits was not significant.

Conclusion: The results of this study showed that super absorbent has a positive and significant effect on improving water use efficiency and saving this valuable and limited source. The results showed that the highest water use efficiency with 14.55 kg/m^3 was obtained in A2W3 treatment. The difference in water use efficiency between two A2W3 and A2W1 treatments was not significant; therefore, using 0.5% superabsorbent in the soil by maintaining maximum water use efficiency can save 30% of irrigation water. In this study, the interaction of the super-absorbent and nitrogen fertilizer treatments showed that the highest fruit weight and water use efficiency belonged to the A2F2 treatment, while there was no significant difference between the fruit yield and water use efficiency in A2F2 and A2F1 treatments. Therefore, using 0.5% superabsorbent in soil by maintaining maximum fruit yield,water use efficiency can save 25% of nitrogen fertilizer.

Keywords: Fruit yield, Greenhouse, Root, Shoot

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۸۷-۴۷۷

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 477-487

تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک مزارع دیم دشت مراغه در اثر اعمال تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و سنتی

مهدی کوسه لو[1]- مهدی رحمتی[2]*- ایرج اسکندری[3]- ولی فیضی اصل[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

چکیده

به‌منظور مطالعه اثرات خاک‌ورزی سنتی و حفاظتی بر خصوصیات فیزیکی خاک در اراضی کشاورزی دیم، تحقیقی به مدت ۵ سال زراعی در مؤسسه تحقیقات دیم کشور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار خاک‌ورزی شامل: کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها (NT_1)، کاشت مستقیم در کلیه بقایا (NT_2)، شخم قلمی + دیسک (CH)، کم خاک‌ورزی (MT) و شخم مرسوم (CT) در ۴ تکرار به اجرا در آمد. نمونه‌برداری‌های خاک در انتهای سال پنجم برداشته شدند که این نمونه جهت آنالیز پارامترهای فیزیکی ازجمله پایداری خاکدانه‌ها (WAS)، میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر (GMD_{wet} و MWD_{wet}) و الک خشک (GMD_{dry} و MWD_{dry})، بعد فرکتال جرمی خاکدانه‌ها (D_m)، کربن آلی کل (TOC)، کربن آلی محلول (DOC) و جرم مخصوص ظاهری خاک استفاده شدند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر پارامترهای MWD_{dry} و GMD_{dry} معنی‌دار بود. اثر متقابل روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مکان بر روی DOC و اثر متقابل عمق و مکان بر روی جرم مخصوص ظاهری معنی‌دار بود. میزان کربن آلی محلول در تیمار خاک‌ورزی سنتی با مقدار ۳/۷۴ $mg\ g^{-1}$ در مکان اول به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها (با مقادیر کمتر از ۳/۲۰ $mg\ g^{-1}$) بود. همچنین در تیمار NT_1 و NT_2 میانگین وزنی (به ترتیب با ۱/۲۵ و ۱/۱۷ میلی‌متر) و هندسی (۱/۰۴ میلی‌متر برای هر دو) قطر خاکدانه‌ها اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توصیه می‌شود، به‌جای استفاده مداوم از خاک‌ورزی سنتی از خاک‌ورزی حفاظتی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بعد فرکتال، پایداری خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی محلول

مقدمه

خاک ازجمله منابع دیر تجدیدشونده است که حفاظت و نحوه استفاده از آن اهمیت زیادی دارد. نوع خاک‌ورزی مورد استفاده ازجمله عواملی است که می‌تواند باعث تخریب و یا بهبود ساختمان خاک شود. خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عملیات کشاورزی است که طی آن محیط مناسبی برای رشد بذرها مهیا می‌شود. عملیات خاک‌ورزی به روش‌های گوناگونی انجام می‌شود که به‌طورکلی می‌توان آن‌ها را به دو گروه خاک‌ورزی سنتی یا متداول و خاک‌ورزی حفاظتی تقسیم کرد. در خاک‌ورزی سنتی، اغلب از وسایلی مانند گاوآهن برگردان‌دار استفاده می‌شود. در این سامانه‌ها، اغلب کمتر از ۱۵ درصد بقایا در سطح خاک باقی می‌ماند. خاک‌ورزی حفاظتی در مقابل خاک‌ورزی سنتی قرار دارد که می‌تواند به روش‌های گوناگونی ازجمله بی خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی و غیره صورت گیرد. در این خاک‌ورزی، معمولاً حداقل ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک حفظ می‌شود که اغلب فرسایش آبی و بادی را کاهش می‌دهند (۱۰ و ۱۸).

خاک‌ورزی یکی از مدیریت‌هایی است که به‌شدت بر کیفیت فیزیکی خاک تأثیر می‌گذارد. مطالعه خورشید و همکاران (۲۳) نشان می‌دهد که خاک‌ورزی تأثیر بسیار مهمی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. درواقع خاک‌ورزی مناسب موجب بهبود ساختمان خاک و افزایش خلل و فرج، ماده آلی، توزیع بهتر خاکدانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (۱۳). جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک از شاخص‌های مهم متأثر از خاک‌ورزی می‌باشند. عباسی و همکاران (۱) طی تحقیقات خود نشان دادند که بی خاک‌ورزی بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری را در مقایسه با کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی سنتی داشت. در مطالعات

۱ و ۲– دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه
۳ و ۴– استادیاران، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
(*– نویسنده مسئول: (Email: mehdirmti@gmail.com

DOI: 10.22067/jsw.v0i0.76818

دیگری تفاوت معنی‌داری بین جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک در خاک‌ورزی سنتی و بی خاک‌ورزی مشاهده نشد (۱۷). بااین‌حال، نتایج متناقضی هم سایر مطالعات نشان دادند که شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر قابل‌توجهی در جرم مخصوص ظاهری خاک نداشتند (۳، ۲۰، ۲۱). به‌طورکلی در تمام روش‌های خاک‌ورزی جرم مخصوص ظاهری خاک سطحی (لایه شخم) در مقایسه با لایه‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد (۱۹).

ماده آلی خاک پارامتر دیگری است که به‌شدت تحت تأثیر مدیریت کشاورزی است. مهم‌ترین منبع ماده آلی خاک بقایای گیاهی است و میزان بقایای گیاهی در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی متفاوت است. بحرانی و همکاران (۵) گزارش نمودند، روش‌های بی خاک‌ورزی با حفظ بقایای گیاهی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، مقدار کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند. بیر و همکاران (۶) گزارش دادند که مقدار ماده آلی موجود در خاک به‌شدت تحت تأثیر شیوه خاک‌ورزی بوده و روش‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش میزان ماده آلی خاک می‌گردند. اولسون و همکاران (۲۸) طی تحقیق ۲۴ ساله گزارش کردند که سیستم بی خاک‌ورزی موجب نگهداری ۷/۸ تن در هکتار کربن آلی بیشتر و گاوآهن چیزل ۱/۶ تن در هکتار کربن آلی کمتر از گاوآهن برگردان‌دار در خاک شد. حاج عباسی و همکاران (۱۶) با بررسی دو روش بی خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک رسی سیلتی در اصفهان، طی دو سال نشان دادند که سامانه‌های بی خاک‌ورزی باعث افزایش ماده آلی خاک تا دو برابر نسبت به خاک‌ورزی مرسوم شد. سامانه‌های خاک‌ورزی به دلیل برهم ریختن خاک و تأثیر بر مقدار ماده آلی و توزیع آن در نیم‌رخ خاک می‌توانند بر پایداری خاکدانه‌ها و نهایتاً بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مؤثر باشند (۲).

توزیع اندازه خاکدانه‌ها یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (۳۵). شاخص‌های زیادی برای بررسی وضعیت پایداری خاکدانه‌ها وجود دارد که از این شاخص‌ها می‌توان به میانگین وزنی (MWD) و میانگین هندسی (GMD) قطر خاکدانه‌ها اشاره کرد (۹). توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی با روش خاک‌ورزی تغییر کند (۶). به همین دلیل پیکستو و همکاران (۳۰) عنوان داشتند که توزیع اندازه خاکدانه‌ها تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی مختلف است. پایداری خاکدانه‌ها همچنین می‌تواند دامنه وسیعی از منافذ خاک را به وجود آورد که این منافذ در تهویه خاک بسیار مهم هستند. ازاین‌رو روش‌های بی خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی با دست‌کاری کمتر خاک و افزایش مواد آلی خاک، پایداری خاکدانه‌ها را بهبود می‌بخشند (۲۹). روستا (۳۳) با تحقیق بر روی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها نشان داد که خاک‌ورزی‌های حداقل و حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم، باعث افزایش معنی‌دار مقدار ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها شده است. عباسی و همکاران (۱) درنتیجه تحقیق خود دریافتند که بیشترین و کمترین میزان پایداری خاکدانه‌ها به ترتیب مربوط به بی خاک‌ورزی و شخم مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار بود. به‌طورکلی، سامانه‌های خاک‌ورزی به دلیل به هم ریختن خاک و تأثیر بر مقدار ماده آلی و توزیع آن در نیم‌رخ خاک می‌توانند بر پایداری خاکدانه‌ها و نهایتاً بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مؤثر باشند.

بعد فرکتالی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب در مطالعات مربوط با خصوصیات فیزیکی خاک، فرسایش، فرآیندهای هیدرولوژیک و توضیح کمی ساختمان خاک به کار رود که در آن خاکدانه‌ها جسمی شبه فرکتالی در نظر گرفته می‌شوند (۳۸). دینگ و دینگ (۷) گزارش کردند که مقادیر بیشتر بعد فرکتالی جرمی نشان‌دهنده تکه‌تکه شدن بیشتر است. پیرمرادیان و همکاران (۳۱) در بررسی اثر سامانه‌های خاک‌ورزی بر پایداری خاکدانه‌ها، بعد فرکتالی جرمی را حساس‌تر از میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها گزارش نمودند و پیشنهاد کردند که از بعد فرکتالی جرمی به دلیل پایه قوی‌تر در بررسی پایداری خاکدانه‌ها استفاده گردد. نتایج آن‌ها نشان داد که شخم برگردان‌دار نسبت به شخم چیزل بعد فرکتالی جرمی بیشتری را ایجاد می‌کند. اقبال و همکاران (۸) توزیع اندازه خاکدانه‌ها را در خاک‌هایی که با مدیریت چهار روش مختلف شخم (چیزل، دیسک، بدون شخم و شخم معمولی) و دو تناوب گیاهی (ذرت– سویا–ذرت و سویا–ذرت–سویا) بررسی کردند. مقادیر بعد فرکتالی خردشوندگی توزیع اندازه خاکدانه‌ها از ۲/۲۸۱ تا ۳/۳۰۶ تغییر کرد. نتایج تحقیق عطایی و همکاران (۴) نشان داد که افزایش شدت و میزان خاک‌ورزی، انجام شخم در جهت شیب و مدیریت نادرست بقایای گیاهی به‌طور قابل‌توجهی خردشوندگی و درنتیجه بعد فرکتالی خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. هر چه بعد فرکتالی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر ذرات خاک است و درنتیجه، مقدار ذرات با اندازه کوچک‌تر بیشتر می‌باشند.

جمع‌بندی مطالب فوق بیانگر این است که تیمارهای مختلف خاک‌ورزی می‌توانند اثرات متناقضی بر خصوصیات فیزیکی خاک داشته باشند که تصور می‌شود، بیانگر تأثیر شرایط آب و هوایی مختلف باشد. بنابراین تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثرات تیمارهای مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مقایسه آن با اثرات خاک‌ورزی سنتی و مرسوم منطقه در شرایط آب و هوایی شهرستان مراغه و در شرایط مزارع دیم بعد از پنج فصل زراعی با اعمال تناوب زراعی گندم – ماشک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه با طول جغرافیایی ۴۶/۱۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۱۵ درجه

شمالی اجرا شد. این ایستگاه در ارتفاع ۱۷۲۰ متری از سطح دریا قرار دارد. حداکثر مطلق درجه حرارت ایستگاه ۳۷ درجه سانتی‌گراد، حداقل مطلق ۲۵- درجه و متوسط سالیانه آن ۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. این آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) انجام شد که آزمایش در دو فاز (مکان) مختلف تکرار شد. اجرای آزمایش در دو فاز مختلف که تنها تفاوت آنها در توالی تناوب زراعی بود به این منظور انجام شد که هر سال به طور همزمان هر دو محصول مدنظر برای تحقیق فوق کشت شوند و همچنین از حجم کار کاسته شود. تناوب زراعی استفاده شده در فاز اول گندم – ماشک و در فاز دوم ماشک – گندم بود. تیمارهای خاک‌ورزی اعمال‌شده شامل کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها (NT_1)، کاشت مستقیم در کلیه بقایا (NT_2)، شخم قلمی + دیسک (CH)، کم خاک‌ورزی (MT) و شخم مرسوم (CT) در ۴ تکرار و به مدت ۵ سال زراعی (۱۳۹۵–۱۳۹۰) اجرا شد. نمونه‌های خاک در انتهای فصل زراعی پنجم در هر کرت از سه‌نقطه به‌صورت نمونه مرکب به همراه نمونه‌های دست‌نخورده از عمق شخم (۳۰–۰ سانتی‌متر) برداشته شد. اندازه‌گیری بافت خاک در هر دو مکان نشان داد که کلاس بافت خاک در هر دو مکان لوم رسی بود. نمونه‌های دست‌خورده در درون کیسه‌های پلاستیکی نگهداری و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا هوا خشک و سپس خصوصیات فیزیکی موردنظر شامل فراوانی نسبی اندازه ذرات به روش هیدرومتری (۱۱)، میانگین وزنی اندازه قطر خاکدانه‌ها (۳۷) به روش سری الک‌های تر (MWD_{wet}) و خشک (MWD_{dry}) پایداری خاکدانه‌های ۱ تا ۲ میلی‌متری (WAS) با استفاده از دستگاه الک تر (۲۷)، کربن آلی خاک با روش اکسایش تر (۲۶)، کربن آلی محلول (DOC) خاک با استفاده از دستگاه آنالیز کربن (۳۹) و بعد فرکتالی جرمی خاکدانه‌ها از مدل تیلر و ویت‌کرفت (۳۶) تعیین شد. در روش الک تر۴۰ گرم از خاکدانه‌هایی با قطر کوچکتر از ۸ میلی‌متر که هوا خشک بودند، توزین و بر روی سری الک‌ها شامل ۴/۷۵، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر قرار گرفت. سپس خاکدانه‌ها با استفاده از مه‌پاش به آرامی خیس شدند و بعد از آن در داخل ظرف حاوی آب بالا و پایین شدند تا پایداری آنها اندازه‌گیری شود. دامنه حرکت عمودی غربال‌ها در داخل آب ۲/۶ سانتی‌متر (ویلیامز و همکاران، ۱۹۶۶)، با شدت نوسان ۳۰ مرتبه در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه بود. اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها در روش الک خشک نیز مشابه با روش الک تر بود با این تفاوت که در این روش ۱۰۰ گرم از خاکدانه‌هایی با قطرکوچکتر از ۸ میلی‌متر که هوا خشک بودند، توزین و بر روی سری الک‌ها شامل ۴/۷۵، ۳/۳۵، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر قرار گرفتند و بدون حضور آب به مدت سه دقیقه روی دستگاه شیکر الک شدند. برای محاسبه بعد فرکتال جرمی خاکدانه‌ها، خاکدانه‌ها در پنج کلاس با اندازه ۴/۷۵، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر (مطابق با آزمایش انجام‌شده برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها) تفکیک گردیدند و بعد فرکتال جرمی (D_m) از مدل زیر محاسبه شد.

$$\frac{M(x<X)}{M_t}=\left(\frac{x}{X_L}\right)^{3-D_m} \qquad (۱)$$

D_m بعد فرکتال جرمی، $M\ (x<X)$ جرم تجمعی خاکدانه‌ها بر روی غربال‌ها با اندازه‌های کوچک‌تر از X (گرم)، M_t جرم کل خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی تمام غربال‌ها (گرم)، X_L بالاترین اندازه روزنه غربال که برابر با ۸ میلی‌متر است، X اندازه بزرگ‌ترین خاکدانه در هر کلاس و x میانگین قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس (میلی‌متر) می‌باشد.

جرم مخصوص ظاهری خاک نیز از طریق نمونه‌های دست نخورده (از دو عمق ۰– ۱۵ و ۱۵–۳۰ سانتی‌متر) تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه با استفاده از سیلندرهای نمونه‌برداری با قطر ۵ و ارتفاع ۴ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (۱۴). لازم به توضیح است، با توجه به اینکه جرم مخصوص ظاهری از دو عمق برداشته شد، تجزیه واریانس این پارامتر به‌صورت اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک کامل تصادفی (RCBD) انجام شد که فاکتور اصلی شامل عمق‌های مختلف نمونه-برداری و فاکتور فرعی شامل تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بود. برای تجزیه آماری داده‌ها و مقایسات میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن از نرم‌افزار GenStat14 و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی، تناوب زراعی و اثرات متقابل آن‌ها در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل عمق و مکان بر پارامتر جرم مخصوص ظاهری (D_b) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همچنین اثرات اصلی تیمارهای خاک‌ورزی بر پارامترهای میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در حال خشک (MWD_{dry} و GMD_{dry}) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. با این‌وجود، تیمارهای خاک‌ورزی و مکان اثر معنی‌داری بر پایداری، بعد فرکتالی و میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در حالت مرطوب ندارند. همچنین علی‌رغم معنی‌دار شدن اثرات اصلی مکان و خاک‌ورزی و اثر متقابل خاک‌ورزی–مکان بر روی کربن محلول خاک (DOC)، تیمارهای خاک‌ورزی و مکان و اثرات متقابل آن‌ها بر کربن کل (TOC) معنی‌دار نیست (جدول ۲).

جدول ۱- میانگین مربعات جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و عمق‌های مختلف

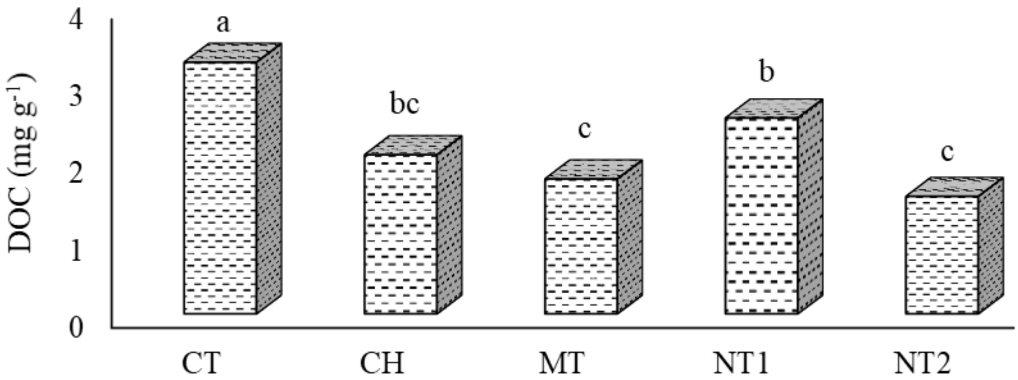
Table1-Mean of square bulk density in different tillage treatments and different depths

منابع تغییرات (Source of variations)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean square)
مکان (Location)	1	0.0171^{ns}
خطا (Error$_a$)	6	0.0170
خاک‌ورزی (Tillage)	4	0.0030^{ns}
مکان × خاک‌ورزی (Location × Tillage)	4	0.0138^{ns}
خطا (Error$_b$)	24	0.0076
عمق (Depth)	1	0.0095^{ns}
مکان × عمق (Location × Depth)	1	0.0303^{*}
خاک‌ورزی × عمق (Tillage × Depth)	4	0.0047^{ns}
مکان × خاک‌ورزی × عمق (Tillage × Location × Depth)	4	0.0116^{ns}
خطا (Error$_c$)	30	0.0062
ضریب تغییرات ٪ (CV%)		5.8

ns عدم معنی‌دار * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: Non-significant, * and ** significant at 5% and 1%, respectively

اگرچه تیمارهای خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر TOC ندارند (جدول ۲) اما با افزایش غیرمعنی‌دار TOC در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی تا بیش از ۹/۵ میلی‌گرم بر گرم خاک در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی سنتی با مقدار نزدیک به ۸/۶ میلی‌گرم بر گرم خاک، به نظر می‌رسد، برای مشاهده اختلاف معنی‌دار در میزان TOC در بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی نیازمند تداوم آزمایش به مدت طولانی‌تری باشد (شکل ۲). پژوهشگران معتقدند در کوتاه‌مدت به‌سختی می‌توان میزان کربن آلی خاک را تغییر داد، زیرا فرآیندهای پیچیده بافری خاک سبب مقاومت در برابر تغییر می‌شود، بنابراین تغییر کربن آلی خاک فرآیندی بسیار کند و نیازمند اعمال مدیریت‌های مناسب برای افزایش ماده آلی خاک در زمان طولانی است (۱۲). بااین‌حال مقدار کربن آلی محلول خاک (DOC) در بین سطوح خاک‌ورزی و اثرات متقابل آن با مکان در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار دارد (جدول ۲). نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد، خاک‌ورزی مرسوم دارای بیشترین مقدار کربن آلی محلول است. درحالی‌که تیمارهای بدون شخم با تمامی بقایا (NT_2) و خاک‌ورزی حداقل (MT)، کم‌ترین مقدار DOC را دارند. دلیل این امر می‌تواند ناشی از باقی ماندن بقایای گیاهی در سطح خاک در خاک‌ورزی حفاظتی و بی خاک‌ورزی و اختلاط کمتر آن با خاک مزرعه باشد. درحالی‌که به دلیل به‌هم‌خوردگی بیشتر خاک در روش خاک‌ورزی مرسوم، بقایای گیاهی با خاک مخلوط شده و در اثر تجزیه‌های بیولوژیکی باعث افزایش ماده آلی محلول خاک شده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین کربن آلی محلول (DOC) خاک در بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی (CT: شخم مرسوم، CH: شخم قلمی + دیسک، MT: کم خاک‌ورزی، NT1: کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها، NT2: کاشت مستقیم در کلیه بقایا)

Figure 1- Comparison of mean of dissolved organic carbon (DOC) among different tillage practices (CT:conventional plowing with moldboard plowing, RT: chisel plow plus disc harrow, MT: minimum tillage with mulch cultivator, NT1: no-till in standing residue, NT2: no-till in entire residue)

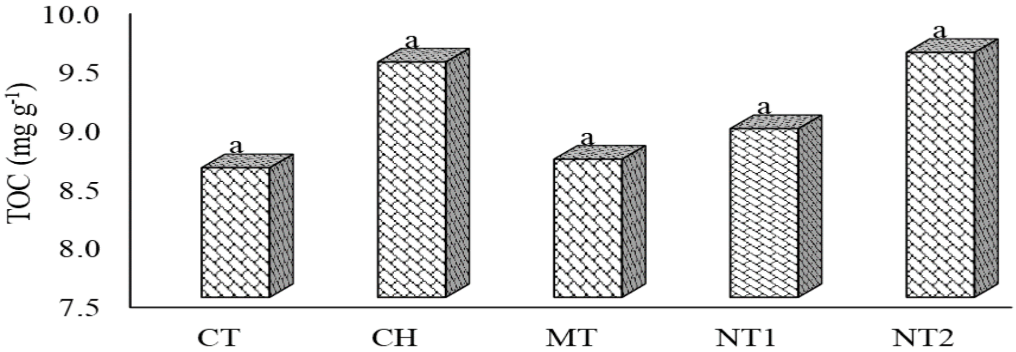
جدول ۲- میانگین مربعات و سطح معنی‌داری پارامترهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

Table 2- Mean squares and significance level of measured in different tillage practices

منبع تغییرات (Source of variations)	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)							
		میانگین وزنی قطر - خشک MWD_{dry}	میانگین هندسی قطر- خشک GMD_{dry}	پایداری خاکدانه‌ها WAS	میانگین وزنی قطر - مرطوب MWD_{wet}	میانگین هندسی قطر- مرطوب GMD_{wet}	بعد فرکتالی D_m	کربن محلول DOC	کربن کل TOC
مکان (Location)	1	0.041^{ns}	0.0004^{ns}	31.3^{ns}	0.00587^{ns}	0.00024^{ns}	0.00037^{ns}	5.5683^{**}	0.153^{ns}
خطا ($Error_a$)	6	0.057	0.0051	133.8	0.00569	0.00181	0.00114	0.3986	3.296
خاک‌ورزی (Tillage)	4	0.333^{*}	0.0233^{*}	258.8^{ns}	0.00876^{ns}	0.00180^{ns}	0.00163^{ns}	3.8371^{**}	6.77^{ns}
مکان× خاک‌ورزی (Location × Tillage)	4	0.047^{ns}	0.0024^{ns}	320.7^{ns}	0.00859^{ns}	0.00087^{ns}	0.00066^{ns}	6.5961^{**}	4.399^{ns}
خطا ($Error_b$)	24	0.093	0.0065	234.8	0.01061	0.00196	0.00158	0.4815	3.709
ضریب تغییرات (درصد) (CV%)		30.8	8.2	41.3	29.2	5.2	1.4	31.2	10.6

ns عدم معنی‌دار * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: Non-significant, * and ** significant at 5% and 1%, respectively



شکل ۲- مقایسه میانگین کربن آلی کل (TOC) خاک در بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی (CT: شخم مرسوم، CH: شخم قلمی + دیسک، MT: کم خاک‌ورزی، NT1: کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها، NT2: کاشت مستقیم در کلیه بقایا)

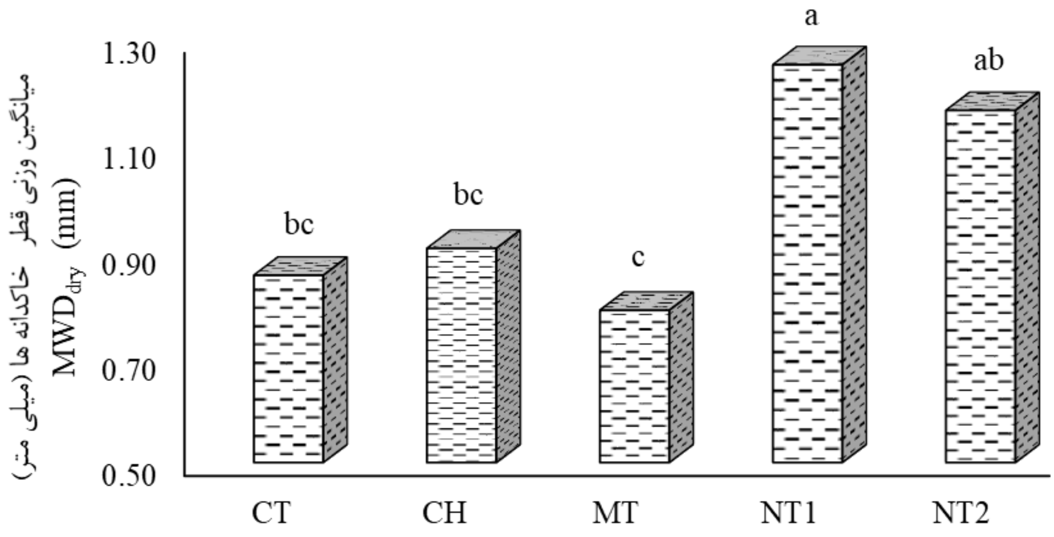
Figure 2- Comparison of mean of total organic carbon (TOC) among different tillage practices (CT:conventional plowing with moldboard plowing, RT: chisel plow plus disc harrow, MT: minimum tillage with mulch cultivator, NT1: no-till in standing residue, NT2: no-till in entire residue) TOC (mg g^{-1})

خاک‌ورزی باعث اختلاف معنی‌دار در مقدار میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWD_{dry} و GMD_{dry}) در سطح احتمال ۵ درصد شد (جدول ۲). اندازه‌گیری توزیع اندازه خاکدانه‌ها به روش الک خشک بیشتر برای بررسی تأثیر خاک‌ورزی بر خردشدگی و نرم شدگی خاک و ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک در برابر باد به کار می‌رود. در مقابل روش الک تر عموماً برای تعیین پایداری خاکدانه‌های درشت در برابر تنش‌های آبی استفاده می‌شود (۲۲). تیمارهای بدون شخم (NT_1 و NT_2) دارای بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک با مقادیر ۱/۱۷ و ۱/۲۵ میلی‌متر بودند (شکل ۳). این موضوع بیانگر آن است که خاک‌ورزی حتی به‌صورت حداقل یا کاهش‌یافته باعث شکسته شدن خاکدانه‌ها شده و ذرات یا خاکدانه‌های ریزتری را به وجود می‌آورد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش‌شده است. سارکر و همکاران (۳۴) نیز درنتیجه تحقیقات خود گزارش کردند که میزان MWD به روش الک خشک در بی خاک‌ورزی بیشتر از کم خاک‌ورزی و در کم خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم در عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متری بود. آن‌ها بیشتر بودن MWD در روش بی خاک‌ورزی را افزایش ماده آلی در این نوع خاک‌ورزی نسبت به سایر خاک‌ورزی‌ها نسبت دادند. همچنین کوبار و همکاران (۲۴) با مطالعه سه‌ساله‌ای که روی اثرات یکپارچه بدون خاک‌ورزی و بازگشت کاه در کربن آلی خاک و تجمع پایدار آب در کشت چرخشی برنج – کلزا داشتند، گزارش کردند که میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بی خاک‌ورزی با برگشتن کاه و کلش بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم با برگشتن کاه و کلش بود. این محققین همچنین اظهار کردند که میزان MWD از سطح خاک تا عمق‌های پایینی در همه تیمارها روند کاهشی داشت ولی در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک‌ورزی مرسوم با برگشتن کاه و کلش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ای بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت. همچنین تیمار NT_1 (کشت مستقیم با ته ساقه‌ها) دارای بیشترین مقدار میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک است اما خاک‌ورز مرکب دارای کم‌ترین میزان MWD_{dry} و GMD_{dry} است (شکل ۴). به نظر می‌رسد شکسته شدن بیشتر خاکدانه‌ها توسط عامل خاک‌ورز مرکب دلیل اصلی این اختلاف باشد.

مقایسات میانگین جرم مخصوص ظاهری (D_b) اندازه‌گیری شده در دو عمق مختلف در مکان‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد که اگرچه اختلاف معنی‌دار ازنظر D_b در بین دو عمق مختلف در مکان A وجود نداشت، مقدار D_b اندازه‌گیری شده در عمق دو (۱۵–۳۰ سانتیمتر) مطابق انتظار بیشتر از D_b اندازه‌گیری شده در عمق ۱۵–۰ سانتی‌متری بود (شکل ۴). بااین‌وجود، علی‌رغم افزایش نامحسوس مقدار D_b در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (با مقادیر D_b بیشتر از ۱/۳۵ گرم بر سانتیمتر مکعب) در مقایسه با تیمار سنتی (با D_b برابر با ۱/۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب)، از نظر آماری این اختلاف معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد، این افزایش در صورت تداوم آزمایش می‌تواند ازنظر آماری نیز معنی‌دار شود.

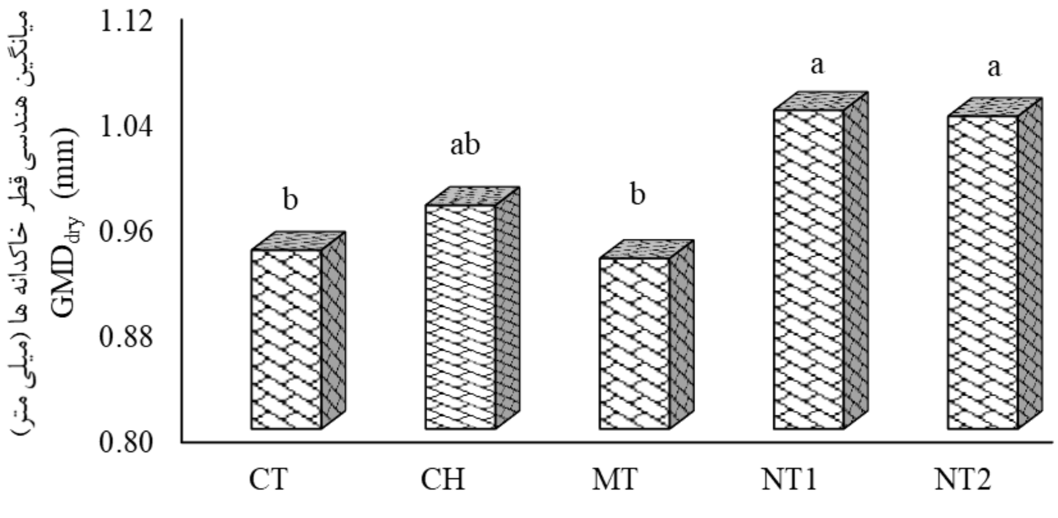
امروزه استفاده از هندسه فرکتالی و بعد فرکتالی، در شناخت غیریکنواختی موجود در محیطهای طبیعی رایج شده است (۲۵). به همین منظور پروسپرینی و پروگینی (۳۲) با کمک مدل عددی و آنالیز فرکتالی به تعیین توزیع اندازه ذرات خاک در منطقه آمبریای ایتالیا پرداختند و بیان کردند، استفاده از مدل‌های فرکتالی می‌توانند راهکار مناسبی برای درک پدیده‌های پیچیده خاک باشد. ازاین‌رو در این پژوهش نیز برای مشاهده میزان خردشوندگی خاکدانه‌ها از بعد فرکتالی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که اثرات تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر بعد فرکتالی خاکدانه‌ها معنی‌دار نشده است (جدول ۲) و

مقایسه میانگین بعد فرکتالی در بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نیز نشان‌دهنده تغییرات اساسی و زیاد در این پارامتر در خاک‌ورزی‌های مختلف نیست (شکل ۶). گولسر (۱۵) با مطالعه اثر کشت گیاهان علوفه‌ای بر ساختمان خاک و ارتباط آن با بعد فرکتالی نتیجه گرفت که میان بعد فرکتالی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر همبستگی منفی وجود دارد، به طوری که با افزایش مقدار بعد فرکتالی اندازه خاکدانه‌ها ریزتر بودند. بنابراین با توجه به معنی‌دار نشدن اثرات تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر روی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر، به نظر می‌رسد که معنی‌دار نشدن اختلافات بعد فرکتالی در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی منطقی باشد.



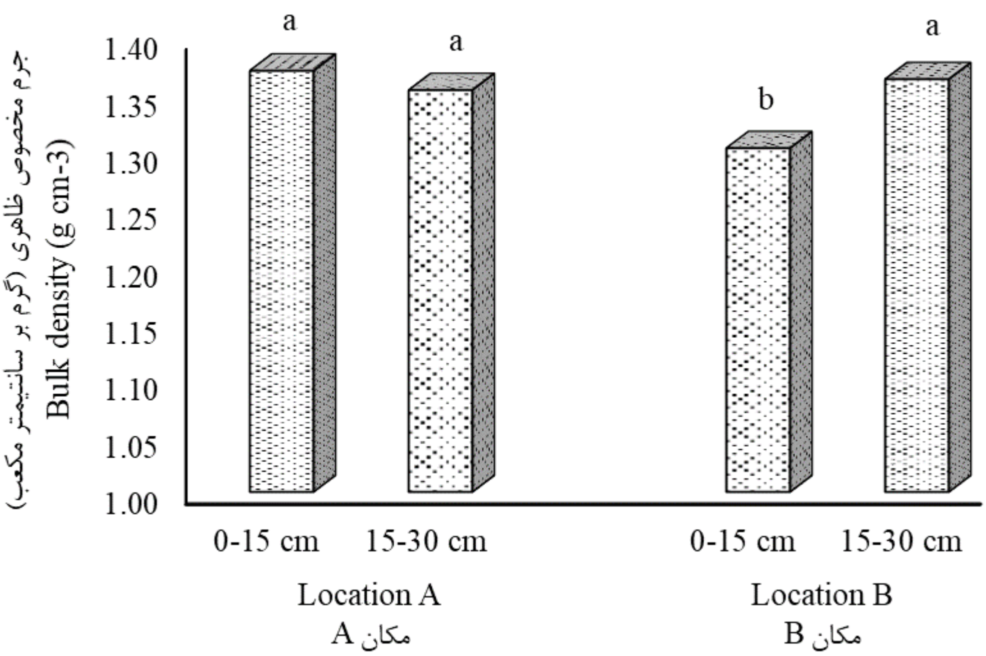
شکل ۳- مقایسه میانگین پارامتر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWD_{dry}) در بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی (CT: شخم مرسوم، CH: شخم قلمی + دیسک، MT: کم خاک‌ورزی، NT1: کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها، NT2: کاشت مستقیم در کلیه بقایا)

Figure 3- Comparison of means of mean weight diameter of aggregates in the dry state (MWD_{dry}) among different tillage practices (CT:conventional plowing with moldboard plowing, RT: chisel plow plus disc harrow, MT: minimum tillage with mulch cultivator, NT1: no-till in standing residue, NT2: no-till in entire residue)



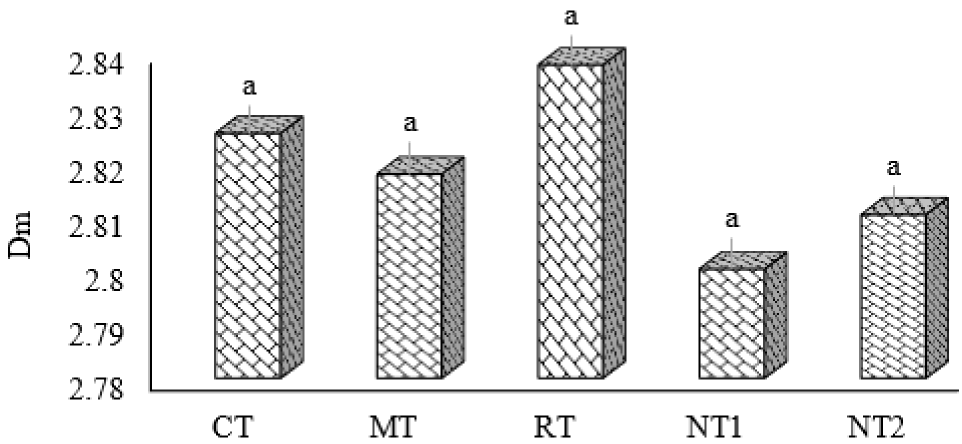
شکل ٤- مقایسه میانگین پارامتر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (GMD_{dry}) در بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی (CT: شخم مرسوم، CH: شخم قلمی + دیسک، MT: کم خاک‌ورزی، NT1: کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها، NT2: کاشت مستقیم در کلیه بقایا)

Figure 4- Comparison of means of geometric mean diameter of aggregates in the dry state (GMD_{dry}) among different tillage practices (CT:conventional plowing with moldboard plowing, RT: chisel plow plus disc harrow, MT: minimum tillage with mulch cultivator, NT1: no-till in standing residue, NT2: no-till in entire residue)



شکل ۵- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری در عمق‌های مختلف در دو مکان مورد آزمایش

Figure 5- Comparisons of mean bulk density in different depths of two examined locations



شکل ٦- مقایسه میانگین بعد فرکتالی (D_m) خاک در بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی (CT: شخم مرسوم، RT: شخم قلمی + دیسک، MT: کم خاک‌ورزی، NT1: کاشت مستقیم در ته ساقه‌ها، NT2: کاشت مستقیم در کلیه بقایا)

Figure 6- Comparison of mean of fractal dimension (D_m) among different tillage practices (CT:conventional plowing with moldboard plowing, RT: chisel plow plus disc harrow, MT: minimum tillage with mulch cultivator, NT1: no-till in standing residue, NT2: no-till in entire residue)

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که انواع مختلف خاک‌ورزی بر روی کربن آلی محلول خاک و میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک تأثیر گذاشته است. درحالی‌که کربن آلی کل خاک، بعد فرکتال جرمی خاکدانه‌ها، پایداری خاکدانه‌ها و میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک تر و جرم مخصوص ظاهری تحت تأثیر خاک‌ورزی قرار نگرفتند. بااین‌حال، به نظر می‌رسد، برای مشاهده بهتر و دقیق‌تر اثرات انواع مختلف خاک‌ورزی بهتر است نمونه‌برداری‌ها در پایان هر سال زراعی انجام گیرد تا ارزیابی و نتیجه‌گیری مطلوب‌تری حاصل شود.

منابع

1- Abbasi H., Khodaverdiloo H., Ghorbani Dashtaki S., and Ahmadi Moghaddam P. 2014. The effects of some tillage methods on soil physical quality index in arid and semiarid region. Journal of Agricultural Mechanization 1(2): 37-45. (In Persian with English abstract)
2- Afyuni M., and Mosadeghi M. R. 2001. Effect of tillage practices on soil physical properties and bromide translocation. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 5(3): 39-53. (In Persian)
3- Alvarez R., and Steinbach H. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research 104(1): 1-15.
4- Ataee A., Gorji M., and Parvizi Y. 2015. Evaluation of the suitability of fractal dimension of soil aggregates in assessing different soil management practices. Journal of Soil Researches 28(4): 701-712. (In Persian)
5- 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(2): 305-309.
6- Beare M., Hendrix P., and Coleman D. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional-and no-tillage soils. Soil Science Society of America Journal 58(3): 777-786.
7- Ding Q., and Ding W. 2007. Comparing stress wavelets with fragment fractals for soil structure quantification. Soil Tillage Research 93: 316–323.
8- Eghball B., Mielke L.N., Calvo G.A., and Wilhelm W.W. 1993. Fractal description of soil fragmentation for various tillage methods and crop sequences. Soil Science Society of America Journal 57(5): 1337-1341.
9- Eynard A., Schumacher T.E., Lindstrom M.J., and Malo D. D. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota prairie Ustolls and Usterts. Soil Science Society of America Journal 68(4): 1360-1365.
10- Gbadamosi J. 2013. Impact of different tillage practices on soil moisture content, soil bulk density and soil penetration resistance in oyo metropolis, Oyo state, Nigeria. Transnational Journal of Science and Technology 3(9): 50-57.
11- Gee G.W., and Or. D. 2002. Particle-size analysis. In: J.H. Dane and G.C .Topp, editors, Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA Madison, WI. p. 255–293.
12- Ghaffari Nejad S.A. 2018. Long-term soil tests to evaluate soil fertility management methods. Journal Management System 5(2): 99-112.
13- Ghasemi Abaolmaleki Y., GHajar Sepanlou M., and Bahmanyar M.A. 2015. The effect of different tillage methods on some soil physical properties. Journal of Soil Researches 29(4): 309-320. (In Persian)
14- Grossman R., and Reinsch T. 2002. 2.1 Bulk density and linear extensibility. In: J.H. Dane and G.C. Topp, editors, Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA Madison, WI. p. 201-228.
15- Gülser C. 2006. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. Geoderma,131(1-2): 33-44.
16- Hajabbasi M.A., Mirlohi A.F., and Sadrarhami M. 1999. Tillage effects on some physical properties of soil and maize yield in Lavark research farm. Journal of Water and Soil Science (Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources) 3(3): 13-24. (In Persian)
17- Ishaq M., Ibrahim M., and Lal R. 2002. Tillage effects on soil properties at different levels of fertilizer application in Punjab, Pakistan. Soil and Tillage Research 68(2): 93-99.
18- Jabro J.D., Iversen W.M., Stevens W.B., Evans R.G., Mikha M.M., and Allen B.L. 2015. Effect of three tillage depths on sugarbeet response and soil penetrability resistance. Agronomy Journal 107(4): 1481-1488.
19- Jabro J.D., Iversen W.M., Stevens W.B., Evans R.G., Mikha M.M., and Allen B.L. 2016. Physical and hydraulic properties of a sandy loam soil under zero, shallow and deep tillage practices. Soil and Tillage Research 159: 67-72.
20- Jabro J., Stevens W., Iversen W., and Evans R. 2011. Bulk density, water content, and hydraulic properties of a sandy loam soil following conventional or strip tillage. Applied engineering in agriculture 27(5): 765-768.
21- Karuma A., Mtakwa P., Amuri N., Gachene C.K., and Gicheru P. 2014. Tillage effects on selected soil physical properties in a maize-bean intercropping system in Mwala District, Kenya. International scholarly research notices, 2014: PMC4897449.
22- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Method of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Soil Sci. Soc. Am. Agron. 9: 425-440.
23- Khurshid K., Iqbal M., Arif M.S., and Nawaz A. 2006. Effect of tillage and mulch on soil physical properties and growth of maize. International Journal of Agriculture and Biology 8(5): 593-596.
24- Kubar K.A., Huang L., Lu J., Li X., Xue B., and Yin Z. 2018. Integrative effects of no-tillage and straw returning on soil organic carbón and water stable aggregation under rice-rape rotation. Chilean Journal of Agricultural

Research 78(2): 205-215.

25- Kutlu T., Ersahin S., and Yetgin B. 2008. Relations between solid fractal dimension and some physical properties of soils formed over alluvial and colluvial deposits. Journal of Food, Agriculture and Environment 6(3): 445-449

26- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks (Ed.). Methods of Soil Analyses. Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI. pp. 961-1010.

27- Nimmo J.R., and Perkins K.S. 2002. 2.6 Aggregate stability and size distribution. In: J.H. Dane and G.C. Topp, editors, Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA Madison, WI. p. 317-328.

28- Olson K.R., Ebelhar S.A., and Lang J.M. 2013. Effects of 24 years of conservation tillage systems on soil organic carbon and soil productivity. Applied and Environmental Soil Science 2013.: 617504.

29- Paustian K., Collins H.P., and Paul E.A. 1997. Management controls on soil carbon: 1997, CRC Press: Boca Raton, FL, USA. p.

30- Peixoto R., Coutinho H., Madari B., Machado P., Rumjanek N., Van Elsas J., Seldin L., and Rosado A. 2006. Soil aggregation and bacterial community structure as affected by tillage and cover cropping in the Brazilian Cerrados. Soil and Tillage Research 90(1): 16-28.

31- Pirmoradian N., Sepaskhah A.R., and Hajabbasi M.A. 2005. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments. Biosystems Enginering 90(2): 227-234.

32- Prosperini N., and Perugini D. 2008. Particle size distributions of some soils from the Umbria Region (Italy): fractal analysis and numerical modelling. Geoderma 145(3-4): 185-195.

33- Rousta M. 2009. Effects of different tillage methods on soil organic matter content and aggregate stability. Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences) 23(1): 61-67.

34- Sarker J.R., Singh B.P., Cowie A.L., Fang Y., Collins D., Badgery W., and Dalal R.C. 2018. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils. Soil and Tillage Research 178: 209-223.

35- Skaggs T., Arya L., Shouse P., and Mohanty B. 2001. Estimating particle-size distribution from limited soil texture data. Soil Science Society of America Journal 65(4): 1038-1044.

36- Tyler S.W., and Wheatcraft S.W. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. Soil Science Society of America Journal 56(2): 362-369.

37- Yoder R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Agronomy Journal 28(5): 337-351.

38- Zhao S.W., S J., Yang Y.H., Liu N., Wu J., and Shangguan Z. 2006. A fractal method of estimating soil structure changes under different vegetations on Ziwuling Mountains of the Loess plateau, China. China Agricaltural Science Journal 5(7): 530-538.

39- Zimmermann M., Leifeld J., and Fuhrer J. 2007. Quantifying soil organic carbon fractions by infrared-spectroscopy. Soil Biology and Biochemistry 39(1): 224-231.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 477-487

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۸۷-۴۷۷

Changes in Physical Properties of Soils after Five Years of Application of Conventional and Conservation Tillage Practices

M. Kousehlou[1]- M. Rahmati[2]*- I. Eskandari[3]- V. Feiziasl[4]

Received: 22-12-2018
Accepted: 08-07-2019

Introduction: Soil is one of the nonrenewable resources (in human being life time scale) that is important to be protected. Tillage operations are carried out in a variety of ways, which in general can be divided into two comprehensive classes of conventional and conservation tillage practices. The tillage has a very important impact on soil physical, chemical and biological properties. Different tillage systems can have conflicting effects on soil physical properties, which is thought to reflect the impact of different weather conditions. Therefore, it seems necessary to study the effects of different tillage practices on the soil attributes in different climatic conditions.

Materials and Methods: This experiment was conducted for five years from 2011 to 2016 in a randomized complete block design (RCBD) with repeated measurements in two different locations and four replications. The applied tillage practices included no-till in standing residue (NT_1), no-till in entire residue (NT_2), chisel plow plus disc harrow (CH), minimum tillage with mulch cultivator (MT) and conventional plowing with moldboard plowing (CT). The experiment was carried out at Dryland Agricultural Research Institute (DARI) in Maragheh. Soil samples were taken at the end of fifth year and then soil texture were determined by hydrometer method, weight and geometric means of aggregates diameters by wet-sieving (MWD_{wet}, GMD_{wet}) and dry-sieving (MWD_{dry} GMD_{dry}) procedures, the stability of 1 to 2 mm aggregates (WAS) by wet-sieving, total soil organic carbon (TOC) by wet oxidizing method, dissolved soil organic carbon (DOC) using carbon analyzer and mass fractal dimension aggregates using Tyler and Wheatcraft model. The soil bulk density (D_b) was also measured by intact samples (from two depths of 0-15 cm and 15-30 cm) prepared from the study area using sampling cylinders with a diameter of 5 and a height of 4 cm.

Results and Discussion: In general, the results showed that the interaction of depth and location on D_b was significant at 5% probability level. The measured D_b in 15-30 cm was greater than the measured D_b in a depth of 0-15 cm. Also, in spite of the significance of the main effects of location and tillage and the interaction of tillage-location on soil dissolved organic carbon (DOC), tillage treatments and their interaction effects on total organic carbon (TOC) were not significant. The results showed that conventional tillage, CT, had the highest amount of DOC. However, no-till in entre residue (NT_2) and minimum tillage (MT) showed the lowest amount of DOC. Further, the main effects of tillage practices on MWD_{dry} and GMD_{dry} were significant at 5% probability level. No-till (NT_1 and NT_2) practices had the highest MWD_{dry} with values of 1.17 and 1.25 mm. Tillage practices and location had no significant effect on WAS, D_m, and MWD_{wet} and GMD_{wet}.

Conclusion: It seems that the reason that DOC content of CT was higher than conservation tillage practices is due to the preservation of crop residues on the soil surface in conservation and no-till systems and less mixing of them with soil and consequently their less decomposition. While in conventional tillage, plant residues were mixed with soil, and the effect of biological degradation increased soil DOC. The greater MWD_{dry} in NT_1 and NT_2 practices suggests that tillage, even at a minimum or reduced state, breaks down the aggregates and produces smaller particles or aggregates. It also seems that the main reason for GMD_{dry} reduction in minimum tillage is due to the further degradation of aggregates by the tillage agent. Therefore, to better and more accurately observe the effects of different types of tillage, sampling should be done at the end of each growing season.

Keywords: Aggregates stability, Bulk density, Dissolved organic carbon, Fractal dimension

1 and 2- Former M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Soil Science and Enginnering, University of Maragheh, Maragheh
(*- Corresponding Author Email: mehdirmti@gmail.com)
3 and 4- Assistant Professors, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۵۰۰-۴۸۹

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 489-500

جداسازی باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های سیلیکاتی از ریزوسفر توتون (*Nicotiana tabacum* L.) و بررسی کارایی آن‌ها در فراهمی پتاسیم خاک

رحمت اله رنجبر[1*]- ابراهیم سپهر[2]- عباس صمدی[3]- میرحسن رسولی صدقیانی[4]- محسن برین[5]- بهنام دولتی[6]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱

چکیده

برخی از ریزجانداران خاک توانایی انحلال کانی‌های حاوی پتاسیم و آزادسازی پتاسیم آن را دارند. این مطالعه به منظور جداسازی باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار (KSBs) از خاک ریزوسفر توتون و بررسی تأثیر آنها بر آزادسازی پتاسیم از خاک انجام شد. نمونه‌های خاک از ریزوسفر توتون رقم بارلی۲۱ در مرحله گلدهی بوته برداشت شد. با استفاده از محیط‌کشت جامد الکساندروف، ۹ جدایه KSB جداسازی و خالص‌سازی شدند. سپس ارزیابی‌های کیفی (شاخص حلالیت) و کمی (آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار) به ترتیب در محیط‌کشت جامد و مایع الکساندروف و بررسی تأثیر جدایه‌های KSBs بر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک در قالب ۳ طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار صورت گرفت. بیشترین شاخص حلالیت در اثر فعالیت جدایه‌های باکتری KSB22، KSB42 و KSB10 در محیط‌کشت جامد الکساندروف به ترتیب ۲/۸، ۲/۷ و ۲/۵ به دست آمد و بیشترین میزان پتاسیم محیط‌کشت مایع الکساندروف با مقدار ۹/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر مربوط به تلقیح جدایه‌های باکتری KSB42 و KSB10 بود که میزان آن نسبت به شاهد (محیط‌کشت بدون تلقیح)، سه برابر افزایش یافت. جدایه‌های KSB42 و KSB10 در آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار و خاک کاراتر بودند به طوری که میزان پتاسیم قابل استفاده خاک در تلقیح با این جدایه‌ها در مقایسه با شاهد، حدود ۲۹ درصد افزایش یافت. این تحقیق نشان داد که از برخی باکتری‌های ریزوسفر توتون می‌توان در متحرک نمودن منابع نامحلول پتاسیم خاک استفاده کرده و بخشی از نیاز گیاه توتون را که یک گیاه پرنیاز نسبت به پتاسیم است، تأمین نمود.

واژه‌های کلیدی: شاخص حلالیت، کانی پتاسیم‌دار، محیط کشت

مقدمه

فراهمی مداوم پتاسیم برای گیاه به دلیل نقش آن در انواع واکنش‌های بیولوژیکی گیاه، اهمیت زیادی دارد (۳). خاک غنی از پتاسیم است اما تنها یک تا دو درصد آن برای گیاهان قابل‌جذب است (۱۴) و بقیه به شکل غیرقابل استفاده گیاه در ساختمان کانی‌های خاک واقع است. بنابراین به نظر می‌رسد تبدیل شکل غیرتبادلی و ساختمانی پتاسیم خاک به شکل قابل دسترس آن اقتصادی باشد تا گیاه بتواند از منبع بومی پتاسیم استفاده کند (۱۶). ریزجانداران خاک نقش اصلی را در چرخه عناصر فسفر و پتاسیم دارند و توانایی برخی از آنها در حل نمودن کانی‌های سیلیکاتی پتاسیم‌دار و آزادسازی پتاسیم یک موضوع مهم در افزایش عملکرد گیاهان پرنیاز پتاسیم است. بسیاری از ریزجانداران خاک با ترشح اسیدهای آلی و پلی‌ساکاریدها سبب انحلال مستقیم کانی‌های پتاسیم‌دار از جمله میکاها، ایلایت و ارتوکلاز می‌شوند و یا با کلاته نمودن یون‌های سیلیکون، سبب آزاد شدن پتاسیم خاک می‌شوند (۱۳ و ۸). در نتیجه، فراهمی آن را برای جذب گیاهان بهبود می‌بخشند (۲۵ و ۱۷). برخی باکتری‌های ساپروفیتی از جمله *Pseudomonas* sp. و جدایه‌های قارچ از جمله *Aspergillus* spp. و *Aspergillus terreus* توانایی آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک را دارند (۱۲ و ۱۶). این موجودات میکروبی علاوه بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها و تاثیر بر رشد گیاه، مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی نیز دارند (۱۶). باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار، علاوه بر آزادسازی پتاسیم، اسیدآمینه‌ها، ویتامین‌ها و برخی مواد محرک رشد گیاه مانند ایندول استیک اسید و جیبرلین‌ها را تولید می‌کنند (۴ و ۱۸).

تحقیقات زیادی در مورد نقش ریزجانداران در انحلال کانی‌ها و آزادسازی پتاسیم از آنها انجام شده است به طوری که در سال‌های

۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک، دانشیار، استادان و استادیاران گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: ranjbarrahim14@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.78382

اخیر، باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار (KSB[1]) در تولید کودهای بیولوژیک به کار می‌روند. در تحقیقی، ژانگ و کانگ، چهار جدایه GL7، JM3، XF4 و XF11 به عنوان باکتری حل‌کننده پتاسیم جداسازی شدند که ماده خشک و جذب پتاسیم نشاء توتون در تلقیح آن با تمام جدایه‌ها بخصوص جدایه XF11 به طور معنی‌دار افزایش یافت (۳۴). در سال ۲۰۱۴، ساباشینی (۲۹) نشان داد که جدایه باکتری *Frateuria aurantia* قادر به افزایش کارایی جذب پتاسیم توسط گیاه توتون بوده و مقدار پتاسیم برگ توتون را حدود ۳۹ درصد افزایش داد. در مطالعه‌ای، تلقیح باکتریایی خاک سبب آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و بهبود رشد گیاه ذرت شد (۱۹). اشرفی سعیدلو و رسولی صدقیانی نشان دادند که پتاسیم محلول خاک با تلقیح جدایه KSB1 باکتری (*Bacillus sp.*) و جدایه KSF3 قارچ (*Aspergilus niger*) حل‌کننده سیلیکات به ترتیب ۹۲/۳ و ۹۲/۸ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافت و قارچ بیش‌ترین نقش را در کاهش pH داشت (۲). ساریخانی و همکاران (۲۲ و ۲۳) نشان دادند که جدایه باکتری S14-3 متعلق به جنس سودوموناس بیشترین تأثیر را در آزادسازی پتاسیم ($۳/۲۳mg\ g^{-1}$) از محیط‌کشت داشت. برخی از ریزجانداران حل‌کننده پتاسیم (از جمله *Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria Bacteroidetes.*) نقش مثبتی در رشد انواع گیاهان دارند (۳۳). در تحقیقی از بین پنج ریزجاندار حل‌کننده پتاسیم، دو جدایه قارچ *Fomitopsis meliae* RCKF7 و *Aspergillus tubingensis* RCKF5، بیشترین توانایی را در انحلال فلدسپار و آزادسازی پتاسیم داشتند (۱۰). همچنین اخیرا، تلقیح قارچی خاک تأثیر قابل توجهی در آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و بهبود رشد گیاه ذرت داشته است (۲۱). بنابراین، حل کردن زیستی[2] عناصر معدنی خاک بخش مهمی از راه‌کارهای مدیریت تلفیقی عناصر غذایی[3] است (۱). مصرف کود پتاسیمی را می‌توان با تلقیح زیستی ریزجانداران حل کننده کانی‌های پتاسیم‌دار کاهش داد که علاوه بر کم‌هزینه بودن دوست‌دار اکوسیستم[4] نیز است (۲۸).

توتون (*Nicotiana tabacum* L.) از محصولات مهم صنعتی و اقتصادی دنیا می‌باشد (۳۰). توتون بارلی به عنوان گیاه پرنیاز پتاسیم، این عنصر را بیش از سایر عناصر غذایی جذب می‌کند (۲۰). کیفیت و به‌سوزی برگ توتون در صنعت دخانیات مهمترین فاکتور کیفی است که وجود ۲/۵ تا ۴ درصد پتاسیم در وزن خشک برگ توتون در بهبود آنها نقش مهمی دارد به طوری که در کشورهای تولیدکننده عمده توتون، مقدار زیادی کود پتاسیمی در مزارع توتون با هدف تأمین نیاز گیاه و حفظ پتاسیم خاک در سطح بالا مصرف می‌شود (۲۸ و ۳۲). در حالی‌که، هزینه کودهای شیمیایی و خطرات زیست‌محیطی آنها بالاتر بوده و راندمان مصرف آنها پایین می‌باشد. از طرفی، برگ توتون به عنوان محصول اقتصادی توتون بوده و مصرف بیش از حد آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی سبب کاهش کیفیت و پتانسیل صادرات آن می‌شود که ضرورت استفاده از راه‌های جایگزین از جمله استفاده از ریزجانداران حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار را ایجاب می‌کند. با توجه به این‌که اطلاعات کمی در مورد ریزجانداران حل‌کننده پتاسیم در ریزوسفر توتون و سودمندی آن در افزایش قابلیت استفاده پتاسیم در خاک‌های زیرکشت توتون وجود دارد. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف جداسازی ریزجاندارن از ریزوسفر توتون و بررسی توانایی آن‌ها در حل نمودن کانی‌های سیلیکاتی پتاسیم‌دار و افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آماده‌سازی خاک ریزوسفر

تعداد ۲۵ نمونه خاک از مزارع کشت توتون منطقه شمال غرب ایران واقع در محدوده جغرافیایی ۳۵/۵ درجه تا ۳۹ درجه عرض شمالی و ۴۵ درجه تا ۴۶ درجه طول شرقی تهیه شد. نمونه‌های خاک به گلدان‌های ۲۰ لیتری منتقل و سپس، بذور توتون هواخشک (واریته بارلی ۲۱) در هر گلدان کشت شد. در مرحله گلدهی گیاه توتون، نمونه‌های خاک از عمق ۶ تا ۲۵ میلی‌متری اطراف بوته با استفاده از اوگر تهیه شد. نمونه‌های خاک هر گلدان به مقدار لازم جهت جداسازی ریزجانداران حل‌کننده پتاسیم به آزمایشگاه منتقل شد و تا زمان اتمام جداسازی باکتری‌ها، در دمای چهار درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند.

تهیه و آماده‌سازی کانی‌های میکایی

کانی‌های خالص میکای ایلایت و فلدسپار از گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه و آسیاب شدند که ترکیب عنصری کانی‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. پودر کانی‌ها از الک ۶۰ میکرومتر (۲۳۰ مش) عبور داده شدند. مقدار پتاسیم قابل جذب موجود در پودر کانی‌ها با استفاده از عصاره‌گیر یک مولار کلریدکلسیم و اسیدکلریدریک ۰/۰۱ مولار استخراج شد (۲).

برای اطمینان از خروج کامل پتاسیم قابل استفاده، پتاسیم با استات آمونیوم یک مولار مولار استخراج و اندازه‌گیری شد و اسیدشویی تا حصول اطمینان از خروج پتاسیم قابل استفاده ادامه یافت. سپس کانی‌ها با آب کاملا شستشو و در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شدند و دو گرم از آن به هر لیتر محیط‌کشت جامد و مایع الکساندروف اضافه شد (۲).

1- Potassium solubilizing bacteria (KSB)
2- Biodissolution
3- Integrated nutrient management, INM
4- Eco-friendly

جدول ۱- درصد اکسید عناصر اصلی تشکیل دهنده کانی‌های مورد مطالعه به روش XRF
Table 1- The percentage of chemical element oxides in studied clay minerals by XRF

نوع کانی Mineral name	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MgO	CaO	MnO	P_2O_5	TiO_2	LOI*	Total
Feldspar	64.50	17.44	13.67	2.76	0.35	0.01	0.11	0.01	-	0.01	0.42	99.28
Ilite	47.32	34.24	10.74	0.62	1.82	0.08	0.09	0.11	0.03	0.06	4.44	99.26

*: کاهش وزن در دمای بالا (Loss on ignition)

جداسازی باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار از ریزوسفر

جداسازی باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار از نمونه‌های خاک پس از تهیه سری‌های رقت در محیط‌کشت اختصاصی جامد الکساندروف صورت گرفت (۹) که هر لیتر آن حاوی پنج گرم گلوکز، دو گرم کربنات‌کلسیم، ۱۰ گرم آگار، ۰/۱ گرم کلرید آهن، دو گرم مخلوط رس‌های میکا و فلدسپار، ۰/۰۰۵ گرم سولفات منیزیم هفت آبه، دو گرم تری‌کلسیم فسفات و آب مقطر در هر لیتر محیط‌کشت بود. از نمونه خاک‌ها با روش رقت‌سازی متوالی[1] سوسپانسیون تهیه شد. سوسپانسیون ۱:۱۰ خاک به آب داخل ارلن تهیه شد و داخل یک انکوباتور دارای شیکر دورانی در دمای ۲۸ درجه سلسیوس با ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شدند. با انجام رقت‌سازی در لوله‌های آزمایش، سوسپانسیون‌های ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ خاک به آب نیز تهیه شد. پس از رسوب ذرات ریز خاک در سوسپانسیون‌ها، پنج میکرولیتر از سوسپانسون به محیط کشت جامد الکساندورف اضافه شد و به مدت یک هفته در دمای ۲۸ درجه سلسیوس در انکوباتور نگهداری شد. هاله شفاف اطراف کلونی باکتری‌ها روی محیط کشت جامد الکساندروف نشان‌دهنده توانایی باکتری در حل نمودن کانی‌های پتاسیمی موجود در محیط کشت است. کلونی‌های دارای هاله شفاف، جداسازی شده و برای خالص‌سازی، چند بار روی نوترینت آگار بصورت خطی کشت داده و بعد از بدست آوردن جدایه خالص، جدایه مذبور مجدد روی محیط کشت الکساندروف جامد به صورت نقطه‌ای و خطی بازکشت شدند و از طریق خالص‌سازی، نه جدایه باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار بدست آمد و در اسلنت کشت و پس از انکوباسیون، این کلونی‌ها جهت بررسی برخی ویژگی‌ها و ارزیابی کمی و کیفی جدایه‌ها، در دمای چهار درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند.

ارزیابی کمی و کیفی جدایه‌های باکتری

به‌منظور بررسی کیفی و کمی جدایه‌ها، ۲۵ میلی‌لیتر از محیط‌کشت نوترینت براث به داخل هر کدام از نه ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری (برابر با تعداد جدایه‌های خالص‌سازی شده) ریخته و استریل شد. محیط‌کشت داخل ارلن‌ها با هر کدام از جدایه‌های خالص‌سازی شده باکتریایی تلقیح شد و به مدت یک شب در دمای ۲۸ درجه سلسیوس و در ۱۵۰ دور در دقیقه شیکر دورانی تکان داده شدند. سپس برای غربالگری جدایه‌های برتر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات، از محیط‌کشت الکساندروف جامد (ارزیابی کیفی) و مایع (ارزیابی کمی) استفاده گردید (۹).

در ارزیابی کیفی، توانایی ۹ جدایه باکتری جداسازی شده روی محیط‌کشت الکساندروف جامد به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت. ۹ جدایه باکتری در محیط‌کشت استریل الکساندروف در سه تکرار به صورت نقطه‌ای و مجزا کشت شدند و در دمای ۲۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز انکوباسیون شدند و طی این مدت و پایان دوره انکوباسیون، قطر کلونی و قطر هاله شفاف پیرامون آن اندازه‌گیری گردید. شاخص حلالیت[2] برای جدایه‌ها با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید (۷).

$$Solubility-index=\frac{Corona.diameter}{Colony.diameter} \qquad (۱)$$

قطر کلونی و هاله شفاف بر حسب میلی‌متر می‌باشد. در ارزیابی کیفی، هشت جدایه باکتری از بین نه جدایه که توانایی انحلال بالایی در محیط جامد نشان داده بودند برای ارزیابی کمی انتخاب شدند و جدایه باکتری KSB70 به دلیل داشتن کمترین شاخص حلالیت (۱/۳)، مورد ارزیابی کمی قرار نگرفت. در ارزیابی کمی باکتری‌ها، یک میلی‌لیتر از محیط‌کشت نوترینت براث حاوی جدایه باکتری (کشت شبانه) به داخل ۵۰ میلی‌لیتر محیط‌کشت مایع الکساندروف حاوی کانی‌های پتاسیم‌دار (دو گرم بر لیتر مخلوط کانی‌های رسی میکا و فلدسپار) در سه تکرار و به طور مجزا کشت شدند و هم‌زمان یک نمونه شاهد نیز در نظر گرفته شد و در آن یک میلی‌لیتر محیط‌کشت نوترینت براث استریل استفاده شد. نمونه‌ها در ۱۵۰ دور در دقیقه شیکر دورانی به مدت ۱۰ روز و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس تکان داده شدند. پس از پایان مدت ۱۰ روز، ۱۰ میلی‌لیتر از محیط‌کشت

1- Serial dilution

2- Solubility index

برداشته شد و پس از سانتریفیوژ و صاف کردن، میزان پتاسیم آزاد شده در محیط‌کشت مایع با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (۳۱). جدایه‌های با شاخص انحلال بالا و توانایی بالا در آزادسازی پتاسیم محیط‌کشت به عنوان جدایه‌های کارا انتخاب شدند (۹).

ارزیابی بیوشیمیایی جدایه‌های باکتری

تست هیدرولیز نشاسته: برای این کار محیط‌کشت نوترینت آگار حاوی ۰/۲ درصد نشاسته محلول در آب تهیه و استریل شد. جدایه‌های باکتری روی محیط‌کشت داخل پلیت‌ها به صورت نقطه‌ای کشت گردید. پس از ۷۲ ساعت انکوباسیون، محلول لوگول جهت نمایان نمودن نشاسته در محیط‌کشت داخل پلیت‌ها، اضافه گردید که وجود هاله زرد در زمینه آبی نشان دهنده فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز باکتری است (۲۴ و ۱۱).

تست قندها (گلوکز و ساکارز): دو محیط‌کشت مجزا از مایع پیتون تهیه شد که یکی حاوی ۱٪ گلوکز و دیگری حاوی ۱٪ ساکارز بود. محیط‌کشت پیتون داخل لوله‌های آزمایش پس از استریل با جدایه باکتری معین تلقیح گردید و پس سه روز انکوباسیون، در صورت مصرف قند مورد نظر توسط باکتری، محیط کشت اسیدی شده و در نتیجه به رنگ زرد نمایان می‌شود (۲۴ و ۱۱).

تست فلورسنتی: محیط‌کشت King B استریل شده داخل پلیت‌ها با جدایه‌های باکتری به صورت نقطه‌ای کشت گردید. پس از ۷۲ ساعت، خاصیت فلورسنتی باکتری‌ها در زیر نور فرابنفش با مشاهده نور رنگ سبز- آبی مشخص گردید (۲۴ و ۱۱).

تست رنگ‌آمیزی: گسترده مناسبی از باکتری روی لام ایجاد و تثبیت گردید. لام دارای باکتری ابتدا با محلول کریستال ویوله و سپس با محلول ید به مدت یک دقیقه پوشانده شد. گسترده باکتری روی لام به آرامی با الکل شستشو داده شد و سپس با سافرانین به مدت ۴۵ ثانیه پوشانده شده و پس از هر مرحله با آب شستشو گردید. لام‌ها بعد از هواخشک شدن، برای بررسی میکروسکوپی آماده شد (۶ و ۱۱).

آزمایش انکوباسیون برای ارزیابی توانایی جدایه‌های باکتری در افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک

برای ارزیابی توانایی و کارایی جدایه‌های کارآمد باکتری در افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک، هشت جدایه باکتری همراه با شاهد (بدون تلقیح KSB) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور، یک نمونه خاک رسی (رس ۳۹ درصد) با مقدار پتاسیم قابل جذب ۱۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم انتخاب شد. مایه تلقیح هر جدایه باکتری (حاوی 10^8 سلول در یک میلی‌لیتر مایه تلقیح در جذب نور با طول موج ۶۰۰ نانومتر) به طور مجزا تهیه گردید. مقدار آب مورد نیاز برای تامین ۷۵ درصد رطوبت زراعی نمونه۳۰ گرمی خاک محاسبه شده و یک میلی‌لیتر از مایه تلقیح جدایه باکتری به آب اضافه گردید و همراه با آب به نمونه خاک استریل اضافه شد و در شاهد نیز این کار با مصرف یک میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت‌براث انجام شد. نمونه‌ها در شرایط دمایی ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی خاک و به مدت ۹۰ روز انکوباسیون شدند. پس از ۹۰ روز انکوباسیون، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک با استات آمونیوم یک مولار در pH=7 (۱۴) عصاره‌گیری و اندازه‌گیری شد (۲).

آنالیز داده‌ها

تجزیه واریانس مقدار پتاسیم آزاد شده از کانی‌های حاوی پتاسیم و شاخص حلالیت در محیط‌کشت مایع و جامد الکساندروف و مقدار پتاسیم آزاد شده از خاک در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و ۹ تیمار، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام یافت و برای مقایسه میانگین‌ها از تست مقایسه میانگین Student-Newman-Keuls (SNK) در نرم افزار SPSS 16.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

جداسازی و ارزیابی کمی و کیفی جدایه‌های باکتری حل‌کننده پتاسیم

با تهیه رقت‌های مختلف سوسپانسیون از ۱۲ نمونه خاک ریزوسفر توتون با روش رقت‌سازی متوالی، تلقیح سوسپانسیون‌ها روی محیط‌کشت جامد الکساندورف، جداسازی و خالص‌سازی جدایه‌ها در محیط نوترینت آگار و با بازکشت نقطه‌ای بر محیط کشت الکساندروف، نه جدایه باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار (ایلایت و فلدسپار) شامل KSB70، KSB20، KSB22، KSB30، KSB40، KSB42، KSB90، KSB92 و KSB10 جداسازی و خالص‌سازی شدند.

مشخصات جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار

جدایه‌های باکتری از نظر مورفولوژی و واکنش گرم مورد بررسی قرار گرفتند که در جدول ۲ نشان داده شده است. بسیاری از جدایه‌های باکتری گرم مثبت بوده و کلونی سفید رنگ داشتند.

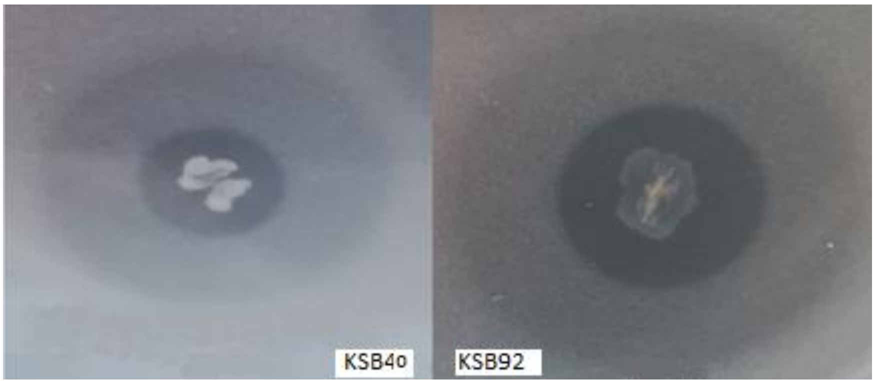
جدول ۲- خصوصیات کشت جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار

Table 2- The cultural properties of potassium-bearing mineral dissolving bacteria isolates

جدایه KSB[1] KSB isolate	مورفولوژی کلونی Colony morphology	واکنش گرم Gram reaction	قطر کلونی Colony diameter (mm)	قطر هاله شفاف Clearance zone diameter (mm)
KSB20	سفید، حاشیه منظم، لزج (White, regular margin, slimy surface)	w	5.1	11.1
KSB22	سفید، حاشیه منظم، لزج (White, regular margin, slimy surface)	+	5.0	13.3
KSB30	کرمی، حاشیه منظم، لزج (Creamish, regular margin, slimy surface)	+	5.3	9.9
KSB40	کرمی سفید، حاشیه نامنظم (Creamish white, irregular margin)	+	5.4	9.9
KSB42	سفید، حاشیه منظم، لزج (White, regular margin, slimy surface)	+	3.7	10.2
KSB90	سفید، حاشیه نامنظم، لزج (White, irregular margin, slimy surface)	+	4.3	9.7
KSB92	کرمی، حاشیه منظم (Creamish, regular margin)	+	6.2	12.3
KSB10	روشن، حاشیه منظم (Bright, regular margin)	-	4.3	10.7

۱- KSB: باکتری حل کننده پتاسیم

1- KSB: potassium solubilizing bacterium



شکل ۱- جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار همراه با ناحیه شفاف اطراف آن در محیط‌کشت الکساندروف جامد

Figure 1- Potassium-bearing mineral dissolving isolates with well-demarcated clearing zones in Aleksanderov agar media

هاله شفاف طی ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون ظاهر شد. هاله شفاف اطراف کلونی جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیمی در شکل ۱ نشان داده شده است.

پس از ارزیابی کیفی، جدایه‌های باکتری به غیر از KSB70 مورد ارزیابی کمی قرار گرفتند و برخی ویژگی‌های مورفولوژی و بیوشیمیایی آنها تعیین گردید.

خصوصیات بیوشیمیایی جدایه‌های باکتری

جدایه‌های باکتری به غیر از KSB22 و KSB4 و KSB2، توانایی ترشح آنزیم آلفا آمیلاز و هیدرولیز نشاسته را در محیط‌کشت نوترینت آگار (حاوی ۰/۲ درصد نشاسته محلول در آب) داشتند. جدایه‌های باکتری KSB2، KSB3، KSB42 و KSB10 به مقدار بیشتر توانایی هضم ساکارز و گلوکز و ایجاد رنگ زرد را در محیط‌کشت مایع پیتون داشتند. علاوه بر آن، جدایه باکتری KSB10 دارای خصوصیت فلورسنتی در محیط کشت King B بود (جدول ۳).

جدول ۳- برخی از خصوصیات بیوشیمیایی جدایه باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار
Table 3- Some of biochemical properties of potassium-bearing dissolving bacteria isolates

جدایه KSB[1] KSB isolate	تست Test				
	تست گرم Gram Test	تست فلورسنتی Florescent Test	تست ساکارز Sucrose Test	تست گلوکز Glucose Test	تست هیدرولیز نشاسته Starch Hydrolysis Test
KSB20	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)
KSB22	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	منفی (-, Negative)
KSB30	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)
KSB40	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	منفی (-, Negative)	منفی (-, Negative)	منفی (-, Negative)
KSB42	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)
KSB90	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)
KSB92	مثبت (+, Positive)	منفی (-, Negative)	منفی (-, Negative)	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)
KSB10	منفی (-, Negative)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)	مثبت (+, Positive)

۱- KSB: باکتری حل کننده پتاسیم

1- KSB: potassium solubilizing bacterium

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ارزیابی کیفی ۹ جدایه باکتری مورد تحقیق، جدایه‌های باکتری از لحاظ توان حل کردن کانی‌های پتاسیمی و ایجاد هاله شفاف روی محیط‌کشت جامد الکساندروف (شاخص حلالیت) تفاوت معنی‌داری ($P\leq 0.01$) با هم داشتند (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین شاخص حلالیت حاصل از حل شدن کانی‌های پتاسیمی (میکا و فلدسپار) در محیط‌کشت جامد الکساندروف توسط جدایه‌های باکتری مورد تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. شاخص حلالیت در اثر فعالیت جدایه باکتری‌های KSB22، KSB42 و KSB10 در محیط‌کشت الکساندروف جامد حداکثر (به ترتیب ۲/۸، ۲/۷ و ۲/۵) و در اثر فعالیت جدایه باکتری KSB70 حداقل (۱/۳) بود. مقدار شاخص حلالیت KSB30، KSB40 و KSB92 نیز کمتر از دو (به ترتیب ۱/۸، ۱/۸ و ۱/۹) بود.

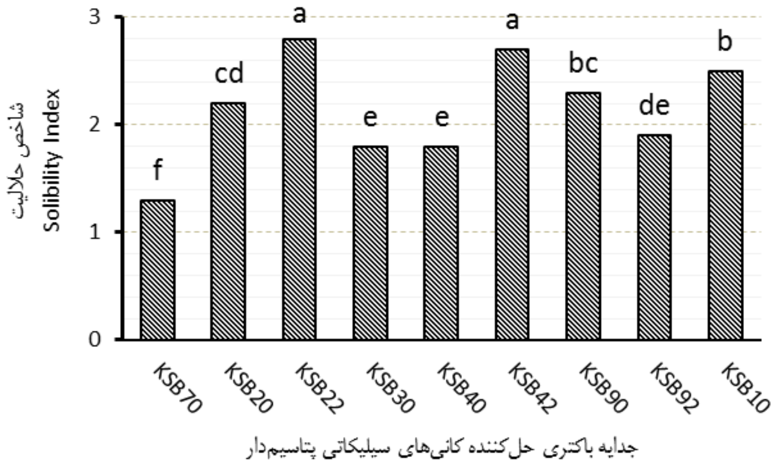
نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ارزیابی کمی ۸ جدایه باکتری مورد تحقیق نشان داد که جدایه‌های باکتری از لحاظ توانایی حل کردن کانی‌های پتاسیمی و مقدار آزادسازی پتاسیم از کانی‌های میکا و فلدسپار در محیط‌کشت مایع الکساندروف تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.01$) با هم دارند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین مقدار پتاسیم آزاد شده از کانی‌های پتاسیمی (میکا و فلدسپار) توسط جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار در شکل ۳ نشان داده شده است. همه ۸ جدایه باکتری مورد تحقیق توانایی حل نمودن کانی‌های پتاسیم‌دار را داشتند و سبب افزایش معنی‌دار و حداقل ۲/۷ برابری غلظت پتاسیم در محیط‌کشت مایع الکساندروف نسبت به محیط‌کشت بدون تلقیح باکتریایی (شاهد) شدند.

جدول ٤- تجزیه واریانس شاخص حلالیت، پتاسیم آزاد شده در محیط‌کشت و پتاسیم قابل‌استفاده خاک بعد از تلقیح باکتریایی
Table 4- Variance analysis of solubility index, released potassium in medium and soil available potassium after bacterial inoculation

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Freedom degree	میانگین مربعات Mean of squares	
		پتاسیم قابل استفاده خاک ۹۰ روز بعد از تلقیح Soil available potassium after 90days of inoculation	پتاسیم آزاد شده به محیط‌کشت مایع Released K into liquid medium
تلقیح باکتری Bacteria inoculation	8	620.98^{**}	12.356^{***}
خطای آزمایشی Error	18	13.96	0.139

*** نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد است.

*** indicate significant differences at 0.1% probability level.

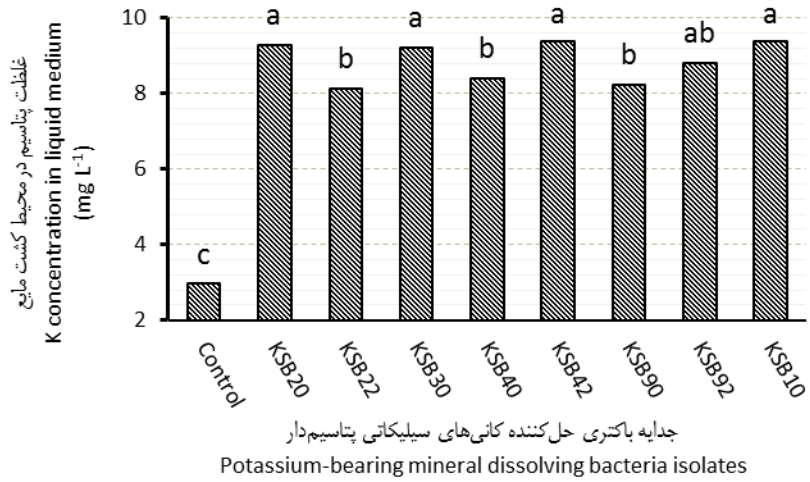


شکل ۲- تأثیر جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم دار بر شاخص حلالیت در محیط‌کشت جامد الکساندروف
Figure 2- Effect of potassium-bearing minerals dissolving isolates on the mean of solubility index on solid Aleksandrov medium

به طوری‌که، غلظت پتاسیم در محیط‌کشت بدون تلقیح باکتریایی (شاهد) ۲/۹۶ میلی‌گرم در لیتر بود در حالی‌که، غلظت آن در محیط‌کشت تلقیح شده با جدایه‌های باکتری KSB42 و KSB10 به ۹/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت (شکل ۳). ریزجانداران با ترشح اسیدهای آلی سبب رهاسازی پتاسیم و سایر عناصر غذایی از کانی‌ها می‌شوند که مقدار پتاسیم رها شده از کانی‌ها به pH، اکسیژن و نوع جدایه باکتری حل کننده کانی و نوع کانی پتاسیم‌دار بستگی دارد (۲۶).

پس از ارزیابی کمی جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار در افزایش غلظت پتاسیم محیط‌کشت، چهار جدایه باکتری KSB20، KSB22، KSB42 و KSB10 به عنوان جدایه‌های کارآمد باکتری در حل نمودن کانی‌های پتاسیم‌دار انتخاب شدند. باکتری‌ها ممکن است مواد اسیدی و قلیایی باکتریایی و یا کلات تولید کنند که آزادسازی پتاسیم را از کانی‌های پتاسیم‌دار در خاک افزایش می‌دهند (۳۱).

آزادسازی پتاسیم در محیط‌کشت توسط جدایه‌های تلقیح شده باکتری دلیل لازم برای امکان استفاده از این باکتری‌ها در بهبود قابلیت دسترسی به پتاسیم است. در تحقیق سینگ و همکاران

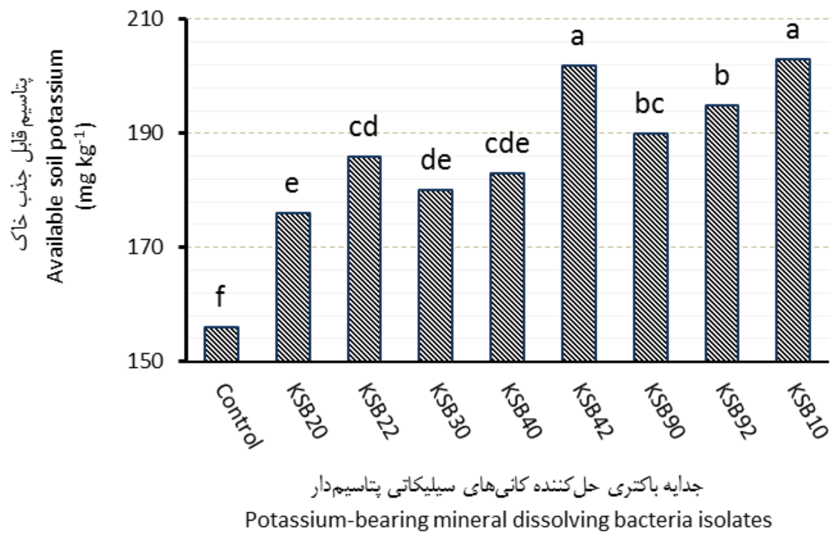


شکل ۳- تأثیر جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم دار بر غلظت پتاسیم در محیط‌کشت مایع الکساندروف
Figure 3- Effect of potassium-bearing minerals dissolving isolates on the mean of potassium concentration in liquid Aleksandrov medium

جدول ۵- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 5- The physico-chemical properties of studied soil

pH	کربنات کلسیم معادل CCE(٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq/100g)	کربن آلی Organic carbon(٪)	پتاسیم K (mg/Kg)	٪ شن Sand	٪ سیلت Silt	٪ رس Clay
6.79	0.25	19.2	0.52	158	23.4	37.4	39.2



شکل ٤- تأثیر جدایه‌های باکتری حل‌کننده کانی‌های پتاسیم دار بر میانگین پتاسیم قابل استفاده خاک

Figure 4- Effect of K-bearing minerals dissolving bacteria isolates on the mean of soil available potassium

(۲۰۱۰)، تلقیح گیاهان ذرت و گندم با انواع ریزجاندارن حل‌کننده پتاسیم سبب تحرک زیاد پتاسیم در خاک شد (۲۷). لذا غربالگری این جدایه‌های مؤثر و بومی، امکان استفاده از این باکتری‌ها را در تلقیح زیستی توتون به تنهایی یا همراه با مقدار کمی کود پتاسیمی فراهم می‌کند.

تأثیر جدایه‌های باکتری حل‌کننده پتاسیم بر مقدار پتاسیم

نتایج بررسی توانایی باکتری‌های جدایه شده در افزایش مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک در شکل ۴ نشان داد که میزان پتاسیم قابل استفاده خاک در تلقیح با جدایه‌های KSB42 و KSB10 حداکثر (به ترتیب ۲۰۰ و ۲۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که در مقایسه با شاهد (خاک بدون تلقیح KSB)، به ترتیب به مقدار ۴۴ و ۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت. تاثیر جدایه باکتری KSB30 و KSB40 و KSB20 در افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک کمتر (۲۰ تا ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد) بود.

قابل استفاده خاک

خصوصیات خاک مورد مطالعه در این بخش از آزمایش در جدول ۵ آمده است. طبق نتایج تجزیه واریانس، تاثیر باکتری‌های مورد مطالعه بر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک معنی‌دار ($P < 0.01$) بود و جدایه‌های مورد مطالعه باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیم‌دار از لحاظ تاثیر بر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک (۹۰ روز بعد از تلقیح باکتریایی خاک و انکوباسیون) تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۴).

مقدار پتاسیم آزاد شده توسط باکتری‌های جدایه شده KSB30، KSB20، KSB42 و KSB10 به محیط‌کشت الکساندورف مایع حداکثر بود ولی جدایه‌های باکتری KSB20 و KSB30 علی‌رغم توانایی بالا در حل نمودن کانی‌های پتاسیم‌دار در محیط‌کشت مایع، توانایی کمتری در افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

در بین جدایه‌های باکتری خالص‌سازی شده از ریزوسفر توتون، حل نمودن کانی‌های پتاسیم‌دار و افزایش مقدار پتاسیم قابل استفاده

خاک در جدایه‌های KSB42 و KSB10 در مقایسه با سایر جدایه‌هـا به طور معنی‌دار بیشتر بود به طوری که این باکتری‌ها غلظت پتاسـیم محیط‌کشت مایع الکساندروف را بیش از سه برابر و مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را حدود ۳۰ درصد در مقایسه با شاهد افـزایش دادنـد. در نتیجه می‌توان از این جدایه‌ها (KSB42 و KSB10) به عنـوان یـک کود زیستی در راستای کاهش مصرف کودهـای پتاسـیمی و افـزایش کیفیت توتون پس از آزمایشات مزرعه‌ای استفاده کرد.

منابع

1- Adesemoye A.O., Torbert H.A., and Kloepper J.W. 2008. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. Canadian Journal of Microbiology 54(10): 876-86.

2- Ashrafi Saeidloo S., and Rasouli Sadaghiani M.H. 2017. The role of silicate-solubilizing microorganisms on potassium release kinetics from K-bearing minerals. Iranian Journal of Soil and Water Research 48(3): 639-649. (In Persian)

3- Bagyalakshmi B., Ponmurugan P., and Marimuthu S. 2012. Influence of potassium solubilizing bacteria on crop productivity and quality of tobacco (*Camellia sinensis*). African Journal of Agricultural Research 7(30): 4250-4259.

4- Bhattacharyya P.N., Dutta P., Mausomi Madhab P., Phukan I.K., Sarmah S.R., and Pathak S.K. 2016. Isolation of potash mobilizing microorganisms in tobacco soil and evaluation of their efficiency in potash nutrition in tobacco: a novel approach. Two and a Bud 63(1): 8-12.

5- Bozhinova R. 2012. Effect of long-term potassium fertilization on the chemical composition of oriental tobacco. Journal of Central European Agriculture 13(3): 510-518.

6- Deaker R., Kecskes M.L., Rose M.T., Amprayn K., Ganisan K., Tran T.K.C., Vu T.N., Phan T.C, Hien N.T., and Kennedy I.R. 2011. Practical methods for the quality control of inoculant bio-fertilizers. ACIAR Monograph Series No.147, Australian Center for International Agricultural Research: Canberra.

7- Ebrahimi Karim-Abad R., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Barin M. 2016. Isolation of phosphate-solubilizing microorganisms from wheat rhizosphere and evaluation of their solubilizing potential in presence of two insoluble phosphate sources. Soil Applied Research 3(2): 29-41. (In Persian with English abstract)

8- Friedrich S., Platonova N.P., Karavaiko G.I., Stichel E., and Glombitza F. 2004. Chemical and microbiological solubilization of silicates. Acta Biotechnology 1: 187–196.

9- Hu X.F., Chen J., and Guo J.F. 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tiannu Mountain, Zhejiang, China. World Journal of Microbiology and Biotechnology 22: 983-990.

10- Kasana R.C., Panwar N.R., Burman U, Pandey C.B., and Kumar P. 2017. Isolation and identification of two potassium solubilizing fungi from arid soil. International Journal of Current Microbiological and Applied Science 6(3): 1752-1762.

11- Khoshrou B., Sarikhani M.R., and Aliasgharzad N. 2013. Molecular and biochemical identification of the bacterial isolates used in common biofertilizers in Iran. Water and Soil Science 25 (4/2): 13-26.

12- Liu D., Lian B., and Dong H. 2012. Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. Geomicrobiology Journal 29: 413-421.

13- Liu W., Xu X., Wu X., Yang Q., Luo Y., and Christie P. 2006. Decomposition of silicate minerals by *Bacillus mucilaginosus* in liquid culture. Environmental Geochemistry and Health 28: 133–140.

14- Malinovskaya I.M., Kosenko L.V., Votselko S.K., and Podgorskii V.S. 1990. Role of Bacillus mucilaginosus polysaccharide in degradation of silicate minerals. Microbiology 59: 49–55.

15- McLean E.O., and Watson M.E. 1985. Soil measurement of plant- available potassium. P. 277-308. In R.D. Munson (ed.) Potassium in agriculture. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.

16- Nihala J.P.P. 2017. Solubilization of Insoluble Potassium by Different Microbial Isolates in vitro Condition. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 3600-3607.

17- Parmar P., and Sindhu S.S. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: Influence of nutritional and environmental conditions. Journal of Microbiological Research 3(1): 25-31.

18- Ponmurugan P., and Gopi C. 2006. In vitro production of growth regulators and phosphate activity by phosphate solubilizing bacteria. African Journal of Biotechnology 5: 348-350.

19- Rasouli Sadaghiani M, Sadeghi S, Barin M, Sepehr E, and Dovlati B. 2017. The effect of silicate solubilizing bacteria on potassium release from mica minerals and its uptake by corn plants. Journal of Water and Soil Science 20(78): 89-102. (In Persian with English abstract)

20- Richmond M.D., Pearce R.C., and Bailey W.A. 2016. Dark fire- cured tobacco response to potassium and application method. Tobacco Science 53: 12-15.

21- Sadeghi Azad S., Rasouli-Sadaghiani M.H., Barin B., Sepehr M., Dovlti D., and Vahedi R. 2018. Influence of K-Solubilizing Fungi on Potassium Release from Silicate Minerals and some Growth Indices of Corn (*Zea mays* L.).

Applied Soil Research 6(3): 96-108. (In Persian with English abstract)

22- Sarikhani M.R., Madani O., and Oustan Sh. 2017. Study on potassium release from mica minerals and its alteration as influenced by microbial inoculation. Journal of Water and Soil 30(3): 900-914. (In Persian with English abstract)

23- Sarikhani M.R., Khoshru B, and Oustan Sh. 2016. Efficiency of some bacterial strains in potassium release from mica and phosphate solubilization under in vitro conditions. Geomicrobiology Journal 33 (9): 832-838.

24- Schaad N.W., Jones J.B., Chun W. 2001. Laboratory guide for identification for plant pathogenic bacteria. 3rd ed. The American Phytopathological society, Minnesota USA.

25- Sessitsch A., Kuffner M., Kidd P., Vangronsveld J., Wenzel W.W., Fallmann K., and Puschenreiter M. 2013. The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phyto-extraction of trace elements in contaminated soils. Soil Biology and Biochemistry 60: 182-194.

26- Sheng X.F., and Huang W.E. 2002. Mechanism of potassium relase from feldspar affected by the strain NBT of silicate bacterium. Acta Pedologica Sinica 39 (6): 863-871.

27- Singh G., Biswas D.R., and Marwaha T.S. 2010. Mobilization of potassium from waste mica by plant growth promoting rhizobacteria and its assimilation by maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum* L.): a hydroponics study under phytotron growth chamber. Journal of Plant Nutrition 33(8): 1236-1251.

28- Subhashini D.V. 2013. Effect of bio-inoculation of AM fungi and PGPR on the growth, yield and quality of FCV tobacco (*Nicotiana tabacum*) in vertisols. Indian Journal of Agricultural Science 83(6): 667-672.

29- Subhashini D.V. 2014. Growth promotion and increased potassium uptake of tobacco by potassium-mobilizing bacterium *frateuria aurantia* grown at different potassium levels in vertisols. Communication in Soil Science and Plant Analysis 46(2): 210-220.

30- Subhashini D.V., Anuradha M., Reddy D., and Vasanthi J. 2016. Development of bioconsortia for optimizing nutrient supplementation through microbes for sustainable tobacco production, International Journal of Plant Production 10 (4): 479-490.

31- Sugumaran P., and Janarthanam B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World Journal of Agricultural Sciences, 3: 350-355.

32- Vann M.C., Fisher L.R., Jordan D.L., Hardy D.H., Smith W.D., and Stewart A.M. 2012. The effect of potassium rate on the yield and quality of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L). Tobacco Science 49: 14–20.

33- Velazquez E., Silva R.L., Ramirez-Bahena M.H., and Piex A. 2016. Diversity of potassium solubilizing microorganisms and their interactions with plants. P. 99-110. In V.S. Meena, B.R. Maurya, J.P. Verma, R.S. Meena (eds) Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. Springer, New Delhi.

34- Zhang C., and Kong F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology 82: 18-25.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 489-500

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۵۰۰-۴۸۹

Isolation of Silicate Minerals-Solubilizing Bacteria from Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Rhizosphere and Evaluation of their Efficiency on Soil Potassium Release

R. Ranjbar[1*]- E. Sepehr[2]- A. Samadi[3]- M.H. Rasouli Sadagiani[4]- M. Barin[5]- B. Dovlati[6]

Received: 14-01-2019
Accepted: 11-06-2019

Introduction: Potassium (K) is one of the major essential macronutrients for plant growth. Soil has rich reserves of K, among which only 1–2% can be directly absorbed by plants. It may be more economically viable to transform the fixed slow-release K into available K that can be absorbed by plants. The ability of some microorganisms to dissolve soil K-bearing minerals, such as micas is an important feature for increasing the yield of high-K-demand crops such as tobacco. Also, these microorganisms have both economic and environmental advantage. A large number of saprophytic bacteria such as *Bacillus mucilaginosus* and fungal strains such as *Aspergillus* spp. are known for their potential in releasing insoluble native K-source in soil into a plant available nutrient pool. Tobacco (*Nicotiana* spp.) is one of the most important industrial crops. K plays a vital role in increasing the tobacco yield and controlling quality parameters such as leaf combustibility that is one of the key criteria taken into account by the tobacco industry for assessing quality. Thus, high ranges of K fertilizers are applied in tobacco fields based on plant K requirement to build up soil K in tobacco producing countries. Increasing cost of the fertilizers and environmental risks necessitates alternate means to fertilizers such as application of microorganisms. The use of chemical K fertilizers can be reduced by exploiting the potential of bio-inoculants which are inexpensive and eco-friendly. Information related to K-solubilizing microorganisms in tobacco rhizosphere and their suitability in increasing the available K in tobacco-cultivated soils is not well-documented. Hence, the present study was conducted to screen the KSB isolates from tobacco-cultivated soils and evaluate their potential in dissolving K bearing silicate minerals and increasing soil available potassium.

Materials and Methods: Soil samples were randomly collected from the rhizosphere of tobacco from 25 different locations in northwest of Iran. The serial dilutions of the soil samples were made up to 10^{-4} and 5 µl of diluted soil suspension plated on Aleksandrov medium plates (on the agar-based culture medium). Aleksandrov medium contained 5.0 g Glucose, 0.5 g MgSO4.7H2O, 0.1g CaCO3, 0.006 g FeCl3, 2.0 g Ca3PO4, 2.0 g insoluble mica powder as potassium source and 20.0 g agar in 1 liter of deionized water. The plates were incubated at 28±2°C in incubator for 10 days. Finally, nine isolates of potassium silicate solubilizing bacteria were isolated and purified. Solid and liquid Aleksandrov media were applied for qualitative (Solubility Index = Diameter of zone of clearance/ Diameter of growth) and quantitative (K content) evaluation, respectively, based on the completely randomized design (CRD) with three replication. Liquid Aleksandrov medium containing 2 g L^{-1} of mica and feldspar mixture, was inoculated with bacterial isolates. Bacterial isolates creating high solubility index and releasing more K from K-bearing minerals into liquid medium, were selected as effective isolates. In order to evaluate the efficiency of the potent bacterial isolates for increasing soil available K, an experiment was conducted with three replication and eight potent bacterial isolates along with a control (non-inoculated soil). Sterilized soil samples were inoculated with bacterial isolates separately and incubated at 25°C, with 75% field capacity moisture levels for 90 days. After incubation, available K in soil samples were extracted with Ammonium Acetate 1M. Variance of solubility index, K concentration into liquid Aleksandrov medium and soil available K were analyzed using SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Student-Newman-Keuls (SNK) test comparisons were also used to compare available soil K using SPSS 16.0.

Results and Discussion: Eight KSBs isolates, including KSB20, KSB30, KSB40, KSB22, KSB42, KSB90, KSB92 and KSB10, were isolated and purified as effective isolates for dissolving mica and feldspar minerals. Most isolates were gram-positive, rod-shaped, and white in appearance. The studied isolates, except KSB22, KSB40 and KSB20, had α-amylase enzyme activity. Bacterial isolates, including KSB20, KSB30, KSB42 and KSB10, were significantly superior in sucrose and glucose hydrolysis. The isolate of KSB10 also had fluorescence properties. The highest solubility index (2.8, 2.7 and 2.5) was obtained from the activity of KSB22,

1, 2, 3, 4, 5 and 6- Ph.D. Student, Associate Professor, Professors and Assistant Professors Department of Soil Science, Agricultural Faculty, Urmia University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: ranjbarrahim14@gmail.com)

KSB42 and KSB10 isolates in solid Aleksandrov medium, respectively. The highest concentration of potassium into liquid Aleksandrov medium was found for the KSB42 and KSB10 isolates (9.40 mg L^{-1}). The KSB42 and KSB10 isolates increased medium K concentration approximately three times more than non-inoculated medium. In addition, KSB42 and KSB10 isolates were more effective in releasing potassium from soil potassium-bearing minerals. The amount of available potassium in soil incubated with KSB42 and KSB10 isolates increased by 44 and 46 mg kg^{-1} compared to the control, respectively.

Conclusion: Among bacterial isolates purified from the tobacco rhizosphere, the KSB42 and KSB10 isolates increased more significantly the solubility of potassium minerals and potassium availability in soil compared to other isolates. These bacteria isolates increased potassium concentration into Aleksandrov liquid medium by more than three times and also increased soil available potassium by about 44 to 46 mg kg^{-1} compared with the control. As a result, these isolates (KSB42 and KSB10) can be used as a bio-fertilizer to reduce potassium fertilizer application and increase the quality of tobacco after field experiments.

Keywords: Potassium, Potassium solubilizing bacterium, Silicates minerals, Tobacco rhizosphere

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۵۲۰-۵۰۱

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 501-520

ارزیابی و کاربرد انواع مجموعه داده‌های دیدبانی (زمینی و ماهواره‌ای) بارش بر روی ایران

سید علی چاوشیان[1] - پری سیما کتیرایی بروجردی[2]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

چکیده

هدف این مقاله معرفی، ارزیابی و کاربرد انواع مجموعه داده‌های بارش دیدبانی زمینی و ماهواره‌ای معتبر است که بر روی ایران داده مستمر و به روز دارند. تولید و کاربرد مجموعه‌های بارش بر اساس داده‌های ماهواره‌ای به دلیل تفکیک مکانی و زمانی بالا و همچنین پوشش مکانی تقریبا کامل جهانی در سال‌های اخیر به سرعت رو به گسترش است. در این مقاله توزیع مکانی هفت مجموعه بارش جهانی دیدبانی بر روی ایران با داده‌های باران‌سنجی در ۲۲۸ پیکسل ۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی که حداقل شامل سه باران‌سنج هستند مقایسه و بررسی شده است. مقایسه این نتایج نشان می‌دهند که مجموعه‌ها اختلاف زیادی در مقدار بارش سالانه بر روی پهنه ایران نشان می‌دهد (۱۸۰–۲۶۰ mm). این اختلاف در کرانه دریای خزر بالغ بر۸۰ درصد میانگین بارش سالانه (حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال) می‌رسد. داده‌های ماهواره‌ای روی منطقه سواحل دریای خزر و مناطق پر ارتفاع کوه‌های زاگرس واقع در جنوب غرب ایران بارش را با دقت کمتری نسبت به سایر نقاط برآورد می‌کنند. مجموعه‌های بارش زمینی بیشترین سهم از بارش سالانه را برای فصل بهار و سایر مجموعه‌ها بیشترین سهم را برای بارش زمستانی نشان می‌دهند. مقایسه بارش ماهانه، فصلی و سالانه مجموعه‌ها با داده های باران‌سنجی نشان می‌دهد مجموعه‌های ماهواره‌ای که با داده‌های باران‌سنجی تصحیح شده‌اند نتایج بهتری حتی نسبت به مجموعه‌های بارش زمینی دارند. مجموعه‌های ماهواره‌ای حال حاضر نیز بیش از سایرین بارش را کم برآورد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی بارش، بارش ماهواره‌ای، سنجش از دور، مجموعه‌های بارش

مقدمه

با خشک شدن پی در پی دریاچه‌ها مشکل کمبود آب در ایران تبدیل به یک بحران ملی شده است. در نتیجه نیاز به داده‌های بارش به عنوان مؤلفه اصلی چرخه هیدرولوژی در این بررسی‌ها به خوبی احساس می‌شود. چون تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش زیاد است، برآورد سطحی آن به سادگی امکان‌پذیر نیست. امروزه علاوه بر ایستگاه‌های باران‌سنجی که به طور مستقیم بارش را اندازه‌گیری می‌کنند از داده‌های ماهواره‌ها هم برای تخمین (اندازه‌گیری غیرمستقیم) بارش استفاده می‌شود. علی‌رغم اینکه باران‌سنج بارش را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کند ولی چون تغییرپذیری مکانی بارش زیاد است، بارشی را که در یک نقطه اندازه‌گیری شده نمی‌توان به مساحت اطرافش نسبت داد و هر چه مساحت بزرگتر باشد خطای برآورد بیشتر می‌شود (۲۴)، در ضمن به دلیل توپوگرافی، صعب‌العبور و غیرقابل سکونت بودن بعضی مناطق توزیع مناسب یستگاه‌های باران‌سنجی عملا وجود ندارد به‌طوری‌که ایستگاه‌های باران‌سنجی ایران اغلب در دامنه‌های کم ارتفاع زاگرس و البرز و بعضی مناطق ساحلی قرار دارند و تعداد ایستگاه‌ها در قسمت مرکز، شرق و جنوب شرق کشور به دلیل بیابانی بودن بسیار کم است. ماهواره‌های هواشناسی امکان برآورد بارش را به صورت پیوسته و با تفکیک بالاتر (از لحاظ مکانی و زمانی) در سطح اقیانوس و خشکی (به‌ویژه مناطقی مانند بیابان‌ها و مناطقی با توپوگرافی بالا)که تهیه داده زمینی با تراکم مناسب پرهزینه است در کل جهان فراهم می‌نماید. بنابراین مجموعه داده‌های برآورد بارندگی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پتانسیل خوبی برای کاربرد وسیع در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی و عملیاتی دارند. البته این نوع داده‌ها هم مانند هر داده دیگری توام با خطا هستند به ویژه اینکه اندازه‌گیری‌ها از راه دور انجام می‌شود ولی به دلیل کاربردهای فراوان تولیدکنندگان این مجموعه‌های داده به سرعت در حال برطرف کردن نقائص و کاهش خطای آنها هستند.

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
۲- استادیار گروه هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
(*- نویسنده مسئول: Email: sima_katiraie@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.78832

مواد و روش‌ها

در اینجا تنها مجموعه داده‌هایی مورد بررسی قرار گرفته است که بیشترین کاربرد را برای ایران داشته (از نظر تفکیک و پوشش مکانی)، به روز و از طریق اینترنت به رایگان در دسترس عموم قرار دارند.

در این بررسی برای ارزیابی مجموعه‌های جهانی بارش از داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه بیش از ۲۰۰۰ ایستگاه باران‌سنجی طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ استفاده شده است. ابتدا ایران به پیکسل‌هایی به مساحت ۰/۲۵ درجه طول وعرض جغرافیایی تقسیم شده و بارش روزانه در هر یک از پیکسل‌های حاوی باران‌سنج محاسبه شده است. برای ارزیابی مجموعه‌های بارش در مقایسه با داده‌های زمینی تنها ۲۲۸ پیکسل که حداقل حاوی ۳ باران‌سنج بودند مورد استفاده قرار گرفتند. متوسط مکانی بارش ماهانه، فصلی و سالانه باران‌سنجی و همچنین هفت مجموعه بارش جهانی که در ذیل معرفی خواهد شد برای ۲۲۸ پیکسل محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

انواع مجموعه داده‌های بارندگی

در این مقاله تنها مجموعه داده‌های دیدبانی (زمینی و ماهواره‌ای) بارش بررسی شده است. این بررسی شامل انواع دیگر مجموعه‌های بارش مانند مجموعه‌های بارندگی که با استفاده از خروجی مدل‌های پیش‌بینی‌های عددی وضع هوا، پیش‌بینی‌های فصلی و پیش‌بینی‌های اقلیمی بدست می‌آیند نمی‌شود. بسیاری از مجموعه‌های بارش نه تنها با استفاده از داده‌های دیدبانی زمینی یا دیدبانی ماهواره‌ای، بلکه ترکیبی از این دو است. در بخش بعدی این مقاله ابتدا انواع مجموعه‌های جهانی و منطقه‌ای داده بارش که تنها براساس داده‌های زمینی تولید شده است سپس مجموعه‌های جهانی داده‌های بارش ماهواره‌ای و همینطور ترکیبی (ماهواره‌ای و زمینی) و در انتها دو مجموعه تلفیقی که علاوه بر داده‌های فوق از خروجی مدل‌ها نیز استفاده کرده‌اند نیز ارائه شده است. در بخش سوم نتایج مربوط به ارزیابی مجموعه‌های مختلف بر روی ایران بحث شده است. در انتها خلاصه، جمع‌بندی و تأکید بر نکات مهم برای استفاده از این داده‌ها آمده است.

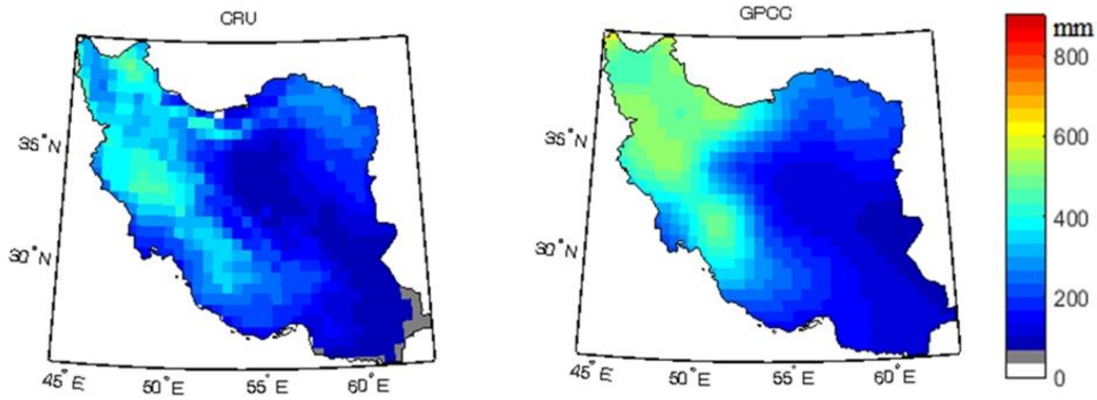
مجموعه داده‌ها براساس دیدبانی زمینی

این مجموعه‌های بارش شبکه‌بندی تنها محدود به مناطق خشکی کره زمین است که امکان نصب باران‌سنج وجود دارد و در سلول‌هایی از شبکه مانند سلول‌های واقع بر روی اقیانوس‌ها و دریاها که امکان برآورد بارش باران‌سنجی وجود ندارد داده‌ای موجود نیست. باید توجه داشت که با وجود اینکه ظاهرا ممکن است داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی این مجموعه‌ها یکسان باشد ولی چون روش‌های پالایش، همگن‌سازی و درون‌یابی آنها متفاوت است نمی‌توان انتظار داشت که این مجموعه‌ها دقیقا یکسان باشند. به طور مثال دو مجموعه بارندگی جهانی که در مطالعات بسیاری استفاده می‌شود و مبتنی بر داده‌های زمینی هستند، یکی مجموعه واحد تحقیقات اقلیمی[1] یا به اختصار CRU و دیگری محصول مرکز اقلیم شناسی جهانی بارش[2] یا به اختصار GPCC است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در منطقه جنوب آسیا (که شامل ایران می‌شود) برای دوره‌های مختلف روند داده‌های این دو مجموعه داده متفاوت و بعضا متضاد است (۱۰). شکل ۱ میانگین بارش سالانه CRU و GPCC راطی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ بر روی ایران نشان می‌دهد. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود این دو مجموعه مقادیر متفاوتی برای میانگین بارش سالانه در نقاط مختلف ایران طی این دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهند. این مجموعه‌ها برای مناطقی مثل اروپا، آمریکا و کانادا که داده‌های زمینی متراکم دارند رژیم‌های بارندگی را بهتر نشان می‌دهند ولی در بعضی نواحی مانند ایران (بخصوص در بیابان‌ها که تعداد ایستگاه‌ها بسیار محدود یا برای مناطق کوهستانی با شیب شدید) هنگام تعمیم بارش نقطه مقیاس به مساحت مقیاس، خطای بیشتری دارند. لازم به ذکر است که چون تهیه و جمع‌آوری داده‌های زمینی در سراسر دنیا وقت می‌خواهد. این نوع مجموعه‌ها معمولا با تأخیر زمانی حداقل چند ماهه بوده و هیچ‌یک از آنها به روز نمی‌باشد. فهرست انواع محصولات این مجموعه داده‌ها که براساس دیدبانی زمینی تولید شده است در جدول ۱ ارائه شده است.

مجموعه APHRODITE's

مؤسسه تحقیقاتی آژانس هواشناسی و مؤسسه تحقیقاتی انسان و طبیعت ژاپن در پروژه آسیایی جمع‌آوری یکپارچه داده‌های دیدبانی برای ارزیابی منابع آب[3] یا به اختصار APHRODITE مجموعه‌هایی از بارش روزانه با تفکیک بالا و مبتنی بر داده‌های زمینی برای قاره آسیا تولید کرده‌اند (۳۱). از جمله مجموعه‌ای از بارش روزانه برای خاورمیانه (20ºE-65ºE, 15ºN-45ºN) با تفکیک °۰/۵ و °۰/۲۵ طول و عرض جغرافیایی است که شامل ایران هم می‌شود (جدول ۱) و بلندترین دوره آن ۲۰۰۷–۱۹۵۱ است. آنها ابتدا با داده‌های بارش ماهانه میانگین اقلیمی بارش را در سلول‌هایی با اندازه °۰/۰۵ درجه طول و عرض جغرافیایی درون‌یابی کرده سپس با استفاده از پالاینده پایین گذر شش مؤلفه اول تبدیل فوریه را برای بارش روزانه بکار برده و بارش روزانه را برای سلول‌های فوق بدست آورده و آنرا با بارش ماهانه تعدیل کردند. بالاخره با استفاده از داده‌های سلول‌های °۰/۰۵ بارش را در سلول‌های ۰/۵ و ۰/۲۵ بدست آوردند.

1- Climate Research Unit
2- Global Precipitation Climatology Center
3- Asian Precipitation -Highly-Resolved Observational Data Integration Toward Evaluation of Water Resources



شکل ۱- مقایسه میانگین بارش سالانه دو مجموعه بارانسنجی GPCC و CRU بر روی ایران طی دوره ۱۹۸۱ الی ۲۰۱۰

Figure 1-Comparison between mean annual precipitation of two gauge-based datasets (GPCC and CRU) over Iran for 1981-2010

مجموعه‌های CRU

این مجموعه بارندگی ماهانه اولین بار در دانشگاه انگلیس شرقی تولید و در معرض استفاده همگان قرار گرفت آخرین نسخه آن که توسط هریس و همکاران (۱۰) تهیه شده بنام CRU-TS است که شامل بارش ماهانه شبکه‌بندی شده با تفکیک نیم درجه طول و عرض جغرافیایی، برای کل خشکی‌های جهان غیر از مناطق منجمده و برای دوره‌های مختلف در دسترس است (جدول ۱). واضح است که تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده در این مجموعه در سال‌های مختلف در دوره زمانی مورد نظر به علت تأسیس ایستگاه‌های جدید و خلاهای آماری معمول کاملا متغیر است.

در این مجموعه شبکه‌بندی داده‌ها براساس روش بی‌هنجاری اقلیمی است به این ترتیب که برای اینکه هر ایستگاه در محاسبات شرکت کند باید حداقل در ۷۵ درصد دوره زمانی پایه (در اینجا ۱۹۶۱–۱۹۹۰) برای ماه مورد نظر آمار داشته باشد. بارش‌های ماهانه‌ای که بیش از ۴ برابر انحراف معیار از میانگین فاصله داشتند به عنوان مقدار پرت از سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه حذف شدند. به این ترتیب سری بارش ماهانه هر ایستگاهی که از این آزمون عبور کرد با سری بی‌هنجاری (با کاستن مقدار میانگین از مقدار بارش ماهانه) و بر حسب درصدی از میانگین دوره زمانی پایه (در اینجا ۱۹۹۰–۱۹۶۱) جایگزین شد، زیرا سری‌های بی‌هنجاری کمتر تحت تأثیر توپوگرافی هستند (۲۹). به هنگام استفاده از داده‌های CRU به عنوان مرجع باید به خاطر داشت که علاوه بر خطای دستگاهی و خطای انسانی، این روش درون‌یابی در شبکه کردن داده‌ها می‌تواند باعث برهم خوردن خود همبستگی داده‌ها شده و در نتایج ایجاد خطا کند. به‌طوری‌که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود بعضی از نسخه‌های CRU از سال ۱۹۰۱ شروع می‌شود که در بسیاری از نقاط جهان و همین‌طور ایران داده بارشی ثبت نمی‌شده است، برای این نوع سال‌ها از داده میانگین ۱۹۹۰–۱۹۶۱ استفاده شده است. بنابراین داده‌های این مجموعه بر روی ایران تنها برای سال‌های پس از ۱۹۶۱ معتبر است.

مجموعه‌های GPCC

این مجموعه‌های داده بارندگی ماهانه توسط مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی و در کشور آلمان تولید شده است. این مجموعه‌ها با تفکیک‌های مکانی و دوره های زمانی و برای کاربردهای مختلف طراحی شده‌اند. برای تهیه این مجموعه‌ها از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی و داده‌های ایستگاه‌هایی که ۹۰ درصد دوره آماری ۲۰۰۰–۱۹۵۱ داده داشتند استفاده شده است (۲۱ و ۲۳). مجموعه داده‌های GPCC براساس طول دوره آماری مختلف به سه گروه تقسیم می شوند (۲۲). در گروه اول (GPCC_MP) که برای دوره آماری ۲۰۰۷ تا حال حاضر (با چند ماه تأخیر) است از داده‌های ۷۰۰۰ ایستگاه استفاده شده است. مجموعه‌های این گروه چون برای دوره زمانی طولانی و با تفکیک مکانی مختلف در دسترس هستند برای کالیبره کردن داده‌های ماهواره‌ای و یا گزارش های سالانه زود هنگام مناسب هستند. گروه دوم (GPCC_FD) که برای دوره آماری ۲۰۱۳–۱۹۰۱ است از داده‌های ۶۷۲۰۰ ایستگاه در سراسر دنیا که حداقل ۱۰ سال داده با کنترل کیفی مناسب داشته‌اند استفاده شده است. مجموعه‌های این گروه شامل جمع بارش ماهانه با تفکیک‌های مکانی نیم، یک و دو و نیم (۰/۵–۱–۲/۵) درجه طول و عرض جغرافیایی هستند. این مجموعه‌ها با دقت بالا و برای بررسی خروجی مدل‌ها یا بررسی روند تغییرات داده‌های مجموعه‌های بارندگی جهانی یا تحقیقات چرخه آب در مقیاس جهانی تهیه شده‌اند. گروه سوم (GPCC_FG) که برای دوره آماری ۲۰۱۲ تا حال حاضر با تفکیک زمانی ماهانه و روزانه و با تفکیک مکانی یک درجه طول و عرض

جدول ۱- مشخصات مجموعه داده‌های بارش براساس دیدبانی زمینی
Table 1-The characteristics of in-situ precipitation datasets

	نام Name	دوره زمانی Time period	گام زمانی Temporal resolution	تفکیک مکانی Spatial resolution(lon-lat)	واحد Unit	تأخیر Delay
1	APHRODITE-MEv1101	1951-2007	Daily	0.25,0.5	mm	---------
2	CRU TS v.3.23	1901-2014	Monthly	0.5	mm	---------
3	GPCC_FD	1901-2013	Monthly	0.5,1,2.5	mm	---------
4	GPCC_FG	2009-present	Daily	1	mm	Some days
5	GPCC_FG	2004-present	Monthly	1	mm	Some days after end of month
6	GPCC_MP	2007-present	Monthly	1,2.5	mm	

جغرافیایی ولی از تعداد محدودی ایستگاه سینوپتیک استفاده کرده‌اند به عنوان اولین گمانه و به موقع (با تأخیر زمانی کوتاه) تهیه شده و برای آشکارسازی به هنگام خشکسالی مناسب هستند. مشخصات مجموعه‌های این مرکز در جدول ۱ ارائه شده است.

مجموعه داده‌ها براساس دیدبانی ماهواره‌ای

ماهواره‌های هواشناسی به دو گروه کلی ماهواره‌های زمین ثابت[1] و مدار پایین[2] یا کم ارتفاع تقسیم می‌شوند. ماهواره‌های زمین ثابت ماهواره‌هایی هستند که در یک نقطه ثابت بالای خط استوا به ارتفاع حدود ۳۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار داشته و چون با سرعت زاویه‌ای زمین و حول محور آن دوران می‌کنند نسبت به زمین ثابت هستند. از طرفی چون در ارتفاع بالا هستند مساحت بسیار بزرگی از سطح زمین را پوشش می‌دهند. ماهواره‌های هواشناسی کم ارتفاع در ارتفاع حدود ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری به دور زمین می‌چرخند و پریودهای کوچکتری دارند. به طور مثال پریود ماهواره TRMM ۹۶ دقیقه است به‌طوری‌که در هر ۳ ساعت هر نقطه بین عرض‌های ۳۵° شمالی و جنوبی کره زمین را دو بار رصد می‌کند. این ماهواره‌ها مساحت کوچکتری را پوشش داده ولی نسبت به ماهواره‌های زمین ثابت از فاصله نزدیکتری ابرها را رصد می‌کنند.

از دهه هفتاد میلادی که اولین ماهواره‌های هواشناسی در مدار کره زمین قرار گرفتند دانشمندان در تلاش هستند که از داده‌های ماهواره‌ای برای مقاصد مختلف هواشناسی استفاده کنند. در واقع ماهواره‌های اندازه‌گیری بارش جهانی[3] (GPM) از داده‌های تعداد زیادی از انواع ماهواره‌ها تشکیل شده است. تنها داده‌ای که ماهواره‌ها دریافت و ارسال می‌کنند امواج الکترومغناطیس با طول موج و فرکانس‌های مختلف (هفت کانال طول موج) است. امواج مرئی یکی از مهمترین امواج دریافتی ماهواره‌هاست ولی متأسفانه این امواج در شب وجود ندارند. البته با توجه به قوانین فیزیکی تابش اجسام (قانون پلانک و قانون استفان بولتزمن) می‌توان با استفاده از طول موج تابشی یک جسم دامنه تقریبی دمای جسم را حدس زد. در واقع امواج تابشی ابرها، بین طول موج‌های فروسرخ[4] (IR) بین $(0.007-1)\times10^{-4}$ متر می‌باشد. اما پیچیدگی برآورد بارش از این طریق دلیل تولید محصولات گوناگون مجموعه داده‌های بارندگی توسط سازمان‌ها و مؤسسات با الگوریتم و روش‌های مختلف است.

مهمترین منبع اندازه‌گیری امواج IR ماهواره‌های زمین ثابت هستند که با تفکیک زمانی و مکانی بالا (هر ۱۵ دقیقه و در هر ۳ کیلومتر) و پوشش کامل نمونه‌گیری انجام می‌دهند. بنابراین با استفاده از طول موج IR دریافت شده و روابط فیزیکی مربوطه می‌توان دمای قله ابر و سپس مقدار بارندگی را برآورد کرد. پایه منطقی این روش این است که هر چه قله ابر سردتر باشد گسترش قائم آن بیشتر و بنابراین مقدار بارش آن باید بیشتر باشد. اما مسئله بسیار پیچیده تر است. مثلا هنگامی که به جای یک نوع ابر چندین لایه ابر در آسمان باشد که لایهء بالایی مانع آشکار شدن لایه‌های پایین‌تر باشد، یا وجود ابرهای سیروس بدون بارش با قله سرد، یا وجود ابرهای نازک بدون بارش در بالای کوه‌های پرارتفاع پوشیده از برف و غیره می‌تواند باعث ایجاد خطا در برآورد بارش شود. یکی از راه‌های غلبه بر این مشکلات اندازه‌گیری امواج مایکروویو (طول موج‌های

1- Geostationary
2- Low Orbit
3- Global Precipitation Measurement
4- InfraRed

$(0.01-1)\times 10^{-2}$ متر) توسط ماهواره‌هاست. این امواج بـه دو دستهٔ مایکروویو فعـال[1] (AMW) و مـایکروویو غیرفعـال[2] (PMW) تقسیم می‌شـوند. امـواج PMW امـواج خـالص گرمـایی هسـتند کـه مستقیما از قله جو تابش می‌شوند. امواج AMW به امواجی که در اثر پخش و انتقال از جو می‌رسند اطلاق می‌شود. به کمک امواج PMW می‌توان به برهم کنش سطح زمین با مؤلفه‌های جوی مانند بخـارآب، توزیع ابر و ذرات بارش پی برد. در واقع بر خلاف امواج IR که از قلـه ابر منتشر می‌شوند، امواج PMW اطلاعات خوبی ماننـد انـدازه ذرات بارش از درون ابر می‌دهند. روش استفاده از امواج PMW برای برآورد بارش که هنوز هم استفاده می‌شود یک رابطه خطی ساده بین آهنـگ بارش در سطح زمین و دمای درخشندگی اندازه‌گیری شده یـا بـرآورد شده است (۲۴). یکی از مشکلات مهم در مورد این امواج ایـن اسـت که آنتن سنجنده این امواج که بر ماهواره‌های قطب مدار (کم ارتفـاع) قابل نصب هستند تفکیـک (از ۵ تـا ۶۰ کیلـومتر) و پوشـش مکـانی کوچکی دارند (چون میدان دید ماهواره‌های کم ارتفاع کمتر است). در واقع باوجود اینکه داده‌های PMW دقـت بیشـتری در بـرآورد بـارش دارند ولی چون سابقه کوتاه‌تر و پوشش مکـانی کمتـری دارنـد بـرای ساخت مجموعه‌های بارندگی کفایت نمی‌کنند (۶). بنابراین برای تولید مجموعه‌های بارش از همه داده‌هـای PMW، IR و همچنـین امـواج مرئی و با الگوریتم‌های مختلف استفاده می‌شود.

محصولات ماهواره‌ای بارش شامل مجموعه‌های نزدیک به حـال حاضر[3] (RT) که با تأخیر زمانی کوتاه (حد اکثر چند ساعت) تولید و در دسترس عموم قرار می‌گیرند و برای کارهای پیش‌بینی و آشکارسازی (مانند وقوع سیل) بکار می‌روند و دیگـری مجموعـه‌هـای اقلیمـی یـا آرشیو شده که با تأخیر زمانی چند ماهـه بـوده و بـا داده‌هـای زمینـی تصـحیح شـده و بـرای مطالعـات تحقیقـاتی توصـیه شـده‌انـد. البتـه مجموعه‌های تصحیح شده چون پوشش مکانی کامل‌تری نسبـت بـه داده‌های باران‌سنجی دارد در بررسی‌های مکانی پیوسته در مقایسه بـا داده‌های زمینی (به ویژه برای مناطق بدون داده باران‌سنجی) کـاربرد بیشتری دارد. واضح است که مجموعه‌هـای آرشـیو شـده نسـبت بـه مجموعه‌های RT با داده‌های زمینی سازگاری بیشتری داشته ولی بـه دلیل تأخیر زمانی برای بررسی‌های پیش‌بینـی غیرقابـل اسـتفاده‌انـد. بنابراین هنگام بررسی و ارزیابی این مجموعه‌ها بایـد ایـن موضـوع را کاملا مدنظر داشت.

مجموعه‌های CMAP

مرکز پیش‌بینـی اقلیمـی[4] (CPC) ایـالات متحـده آمریکـا بـرای بررسی تلفیقی بارش[5] یا به اختصار CMAP بـا اسـتفاده از داده‌هـای باران‌سنجی و برآوردهای ماهواره‌ای مجموعه‌ای از بارندگی ماهانـه و همچنین پنج روزه (برحسب متوسط بارش روزانه یعنی میلی‌متر در روز برای هر ماه و همچنین هر پنج روز) با تفکیک مکـانی $۲/۵^\circ \times ۲/۵^\circ$ طول و عرض جغرافیایی از سال ۱۹۷۹ تا حـال حاضـر (بـا تـأخیر) در سراسر جهان تولید کرده است (۳۰). روش تهیه این داده‌ها بسیار شبیه به GPCP است ولی در نسخه بهسازی شده آن برای پر کردن خلاها از داده‌های بازتحلیل[6] NCEP/NCAR استفاده و در جاهایی که داده باران‌سنجی و ماهواره‌ای هم‌پوشانی داشته، داده بـاران‌سـنجی منظـور شده است. تولید کنندگان اظهار می‌کنند که داده‌هـا در منطقـه حـاره بهترین کیفیت را داشته که هر چه به عرض‌های بالاتر می‌رود کیفیت آن ضعیف‌تر می‌شود. مشخصات مجموعه‌های این مرکز در جـدول ۲ ارائه شده است.

مجموعه‌های ماهواره‌ای CMORPH

مجموعه‌های جهانی فناوری ترسـیم مرکـز پـیش‌بینـی اقلیمـی[7] منحصرا برای ترکیب برآوردهای بارش از داده‌های مایکروویو را داری ماهواره‌های کم ارتفاع قطب مدار در سطح زمین که چگونگی انتشـار آنها (ترسیم مسیر حرکت)- در زمان‌هـایی کـه داده مـاکروویو وجـود ندارد- با اسـتفاده از داده‌هـای IR مـاهواره‌هـای زمـین ثابـت انجـام مـی‌شـود ایجـاد شـده اسـت (۱۴). در واقـع ایـن فنـاوری الگـوریتم برآوردهای بارش موجـود از امـواج مـایکروویو را ترکیـب مـی‌کنـد و همچنین از داده‌های IR برای انتقال الگوی کلی بارش (ترسیم مسیر) بدست آمده از امواج مایکروویو در حین زمانی (بین دو دیدبانی) که در محل مورد نظر داده مایکروویو وجود ندارد استفاده می‌کنـد. داده‌هـای این مجموعه با تفکیک مکانی ۸×۸ کیلو متر مربـع و تفکیـک زمـانی ۳۰ دقیقه و همچنین تفکیک مکانی $۰/۲۵^\circ \times ۰/۲۵^\circ$ طول و عـرض جغرافیایی و با تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه، ۳ ساعته و روزانه در محدوده بین مدارهای ۶۰° N –۶۰° S عرض جغرافیایی و از دسامبر ۲۰۰۲ تا حال حاضر (با ۱۸ ساعت تأخیر) در دسترس عموم قرار دارد.

1- Active Micro Wave
2- Passive Micro Wave
3- Real Time
4- Climate Prediction Center
5- Merged Analysis of Precipitation
6- National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research
7- Climate prediction center of MORPHing technique; CMORPH

مجموعه‌های ماهواره‌ای GPCP

پروژه اقلیمی بارش جهانی یا GPCP توسط برنامه تحقیقاتی اقلیم جهانی برای برآورد توزیع بارندگی در سراسر جهان تاسیس شد. این پروژه با استفاده از ترکیب داده‌های باران‌سنجی و داده‌های ماهواره‌ای مجموعه‌هایی ترکیبی تولید می کند (۱ و ۲). این پروژه دو مجموعه مهم دارد که تمام کره زمین را پوشش می‌دهند یکی بارش ماهانه با تفکیک مکانی °۲/۵ × °۲/۵ طول و عرض جغرافیایی که از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ (GPCP v2.2) و ادامه آن یعنی GPCP v2.3 که از ۲۰۱۶ تا حال حاضر با تاخیر چند ماهه در دسترس است با نسخه قبلی تفاوت‌هایی دارد که علت آن یکی بهبود داده‌های ماهواره‌ای به ویژه بر روی اقیانوس‌ها و همچنین بهبود داده‌های باران‌سنجی مجموعه GPCC در سال‌های اخیر است که برای کالیبر کردن و ترکیب با داده‌های ماهواره‌ای استفاده می شود. مجموعه دیگر شامل داده‌های برآورد بارش روزانه با تفکیک °۱ × °۱ طول و عرض جغرافیایی و از اکتبر ۱۹۹۶ تا حال حاضر و با چند ماه تأخیر در دسترس است و هر کدام با توجه به تفکیک مکانی و زمانی اشان به کار برده می‌شوند. علاوه بر مجموعه‌های فوق مجموعه دیگر جمع بارش پنج روزه (GPCP_pen_v2.2) با پوشش زمانی و تفکیک مکانی بارش ماهانه است که کمتر از دو مجموعه روزانه و ماهانه مورد استفاده عموم قرار می‌گیرد ولی بعضی تولیدکنندگان داده از آن استفاده می‌کنند. مشخصات مجموعه‌های این پروژه در جدول ۲ ارائه شده است.

مجموعه‌های ماهواره‌ای GSMaP

مجموعه‌های ماهواره جهانی ترسیم بارش[1] توسط آژانس علوم و فناوری و همچنین آژانس اکتشاف فضایی ژاپن تهیه شده است (۱۸). برای تهیه این داده‌ها با اعمال پالاینده کالمن[2] بر داده‌های موج کوتاه ابتدا برآورد اولیه بارش انجام شده (۲۷). سپس با استفاده از داده‌های IR ماهواره های زمین ثابت و روشی شبیه به روش جویس[3] و همکاران (۱۴) که برای محصولات CMORPH به کار می‌رود مقدار دمای درخشندگی قله ابر و سپس بارش حال حاضر با دقت بیشتر در هر سلول ۰/۱ درجه طول و عرض جغرافیایی برآورد می‌شود (۳). مجموعه "نزدیک به حال حاضر" (GSMaP-NRT) و همچنین مجموعه "نزدیک به حال حاضر-باران‌سنجی" (GSMaP-Gauge-NRT) که با داده‌های باران‌سنجی ترکیب شده (با تأخیر ۴ ساعته) که از سال ۲۰۰۸ در دسترس است با تفکیک مکانی ۰/۱ و ۰/۲۵ درجه و تفکیک زمانی به ترتیب یک ساعته و روزانه برای بررسی‌های پیش‌بینی سیل به کار می‌روند. نسخه استاندارد (GSMaP-MVK) و همچنین نسخه استاندارد کالیبره شده با باران‌سنج هر دو با تأخیر چند روزه و تفکیک مکانی ۰/۱ درجه و تفکیک‌های زمانی ساعتی و روزانه از ماه مارس ۲۰۱۴ در دسترس است. این مجموعه‌ها نسبت به مجموعه‌های قبلی دقت بیشتری دارند ولی چون با تأخیر همراهند برای بررسی‌های هیدرولوژی مناسب هستند. دو نسخه بازتحلیل و همچنین نسخه بازتحلیل-باران‌سنجی که با داده باران‌سنجی کالیبره شده با تفکیک مکانی ۰/۱ درجه و تفکیک زمانی ساعتی و روزانه که از ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا ماه فوریه سال ۲۰۱۴ در دسترس هستند در واقع همان مجموعه‌های "نزدیک به حال حاضر" و همچنین "نزدیک به حال حاضر-باران‌سنجی" است که برای سال‌های قبل (۲۰۰۰ الی ۲۰۱۴) و با همان الگوریتم و با استفاده از داده‌های بازتحلیل ۵۵ ساله (JRA-55) که برای دوره زمانی ۱۹۵۸ الی حال حاضر موجود است تولید شده‌اند.

مجموعه‌های ماهواره‌ای PERSIANN

مجموعه‌های برآورد بارش از اطلاعات سنجش از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی[4] (PERSIANN) از تابع شبکه عصبی برای تولید برآورد بارش با استفاده از دمای درخشندگی ابر و اطلاعات ماهواره‌های زمین ثابت (امواج IR و امواج مرئی) کمک می‌گیرد (۲۵). PERSIANN سه نوع محصول مختلف به صورت جهانی (بین عرض‌های ۶۰ درجه شمالی و ۶۰ درجه جنوبی) با تفکیک مکانی و زمانی و همچنین دوره زمانی مختلف دارد. مجموعه اولیه PERSIANN که برای سلول‌هایی با تفکیک مکانی °۰/۲۵ × °۰/۲۵ طول و عرض جغرافیایی و تفکیک زمانی ۱ و ۳ و ۶ ساعته، روزانه و ماهانه (از جمع بارش ۳۰ دقیقه‌ای و بر حسب میلی‌متر در بازه زمانی مربوطه) از ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا زمان حاضر و با تأخیر زمانی کوتاهی در دسترس عموم است. این اولین مجموعه PERSIANN است که به صورت حال حاضر یا RT و برای بررسی‌های پیش بینی هیدرولوژی تولید شده است ولی بعدها تولیدکنندگان مجموعه دیگری با نام PERSIANN-CCS[5] با تفکیک مکانی ۴×۴ کیلومتر مربع، تفکیک زمانی ۱ و ۳ و ۶ ساعته، روزانه و ماهانه با تأخیر حدود یک ساعت و از سال ۲۰۰۳ تا حال حاضر تولید کردند (۱۱) که برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مانند سیل به ویژه در حوضه‌های کوچک کاربرد بیشتری دارد. در واقع در این الگوریتم بر خلاف روش قبل که در هر سلول تنها براساس داده‌های

1- Global Satellite Mapping of Precipitation
2- Kalman
3- Joyce

4- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network
5- PERSIANN Cloud Classification System

اولیه IR و امواج مرئی و یک آستانه بارش ثابت برآورد انجام می‌شد، ابتدا ابر به صورت یکپارچه (در چندین سلول) بررسی و ویژگی‌های آن مشخص می‌شود سپس تکه‌های مختلف ابر شناسایی و برای هر تکه با توجه به ارتفاع، گسترش افقی و تغییرپذیری ساختار ابر یک آستانه مشخص و میزان بارش هر تکه ابر برحسب رابطه بین آهنگ بارش و دمای درخشندگی ابر تعیین می‌شود. مجموعه سوم که به منظور استفاده در مطالعات اقلیمی و خشکسالی تولید شده است (۴) مجموعه ثبت داده‌های اقلیمی PERSIANN[۱] (PERSIANN-CDR) است اولین مجموعه جهانی بلند مدت بارش ماهواره‌ای (که با داده‌های ماهانه بارانسنجی GPCP هم تصحیح شده) است که به صورت روزانه و با تفکیک بالا (۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی) تولید و مبدا آن سال‌های اولیه‌ای (سال ۱۹۸۳) که اولین داده‌های ماهواره‌های هواشناسی به زمین رسیده است. چون داده‌های این مجموعه با داده‌های باران‌سنجی تصحیح می‌شود با چند ماه تأخیر در دسترس قرار می‌گیرد.

مجموعه‌های ماهواره‌ای TRMM و IMERG

مأموریت اندازه‌گیری باران حاره‌ای[۲] (TRMM) از سال ۱۹۹۸ محصولاتش را تولید و در دسترس عموم قرار داد. بعضی از مجموعه‌های TRMM با تلفیق امواج مایکروویو (PMW و AMW)، بعضی با امواج IR که با PMW کالیبره شده، بعضی از ترکیب داده‌های امواج مرئی، IR و PMW و AMW و پاره‌ای از آنها نیز با داده‌های باران‌سنجی تصحیح و تولید می‌شوند (۱۲). امواج AMW هم اطلاعات مفیدی از ساختار سه بعدی ابر می‌دهند. در واقع در روش ترکیبی پنجره‌های زمانی و مکانی متحرکی برای تولید رابطه محلی بین دیدبانی IR و برآورد بارش از دیدبانی PMW تولید و از آن برای ردیابی چگونگی توزیع بارش استفاده می‌کنند. محصولات مختلف TRMM برای تولید داده‌های آهنگ بارش چهار مرحله دارد که در ذیل به اختصار به آن اشاره می‌شود.

ابتدا با استفاده از همه داده‌های PMW مقدار آهنگ بارش (بر حسب میلی‌متر بر ساعت) در تمام سلول‌های شبکه (۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی) و برای فاصله زمانی ۳ ساعته (۹۰± دقیقه) برآورد می‌شود (3B40RT). سپس این برآوردها به کمک داده‌های تاریخی با تطبیق احتمال آهنگ بارش به بهترین برآورد تبدیل می‌شود. برای این منظور از تمام داده‌های تاریخی موجود برای آهنگ بارش ۳ ساعته در سلول شبکه 1°×1° و برای ماه مورد نظر استفاده می شود. به طوری که قبلا ذکر شد داده‌های PMW همواره تمام نقاط کره زمین را پوشش نمی‌دهند پس برای پر کردن این خلاها از داده‌های IR برای برآورد دمای درخشندگی ابر (3B41RT) و در نهایت با ترکیب این داده‌ها و داده‌های تاریخی سلول (شبکه 1°×1°) برای ماه مورد نظر برای برآورد آهنگ بارش استفاده می‌شود. بنابراین از ترکیب داده‌های PMW و IR با روشی که بیان شد محصول TRMM 3B42RT آهنگ بارش ۳ ساعته در هر سلول شبکه (۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی) بدست می‌آید که با تأخیر کوتاهی (در حدود ۸ ساعت) در اینترنت در دسترس عموم قرار می‌گیرد. برای تولید محصول اقلیمی که به طور غیر مستقیم از داده‌های باران‌سنجی استفاده می‌شود به زمان بیشتری برای جمع‌آوری داده‌ها (حداقل یکی دو ماه) نیاز است. به این ترتیب که ابتدا از داده‌های آهنگ ۳ ساعته بهترین برآورد ماهواره‌ای جمع بارش ماهانه ماهواره‌ای[۳] (MS) تهیه و با ترکیب آن با داده‌های ماهانه باران‌سنجی (GPCC) محصول دیگری از TRMM به نام 3B43 تولید می‌شود که بارش ماهانه ترکیب ماهواره–باران‌سنج[۴] (SG) است. سپس نسبت SG/MS (با کنترل) برای محاسبه آهنگ بارش ۳ ساعته (در ماه مورد نظر) در هر یک از سلول‌های شبکه (۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی) بکار رفته و محصول اقلیمی TRMM 3B42V7 تولید می‌شود. لازم به ذکر است که عملا محصول اخیر در بررسی‌های مختلف بارش روزانه بکار برده می‌شود و 3B43 (بارش ماهانه) بیشتر فقط نقش واسطه برای تولید مجصول روزانه TRMM 3B42V7 را دارد.

ماموریت ماهواره‌های TRMM در آوریل ۲۰۱۵ پایان یافته و ماهواره‌های آن پس از مدت کوتاهی به زمین سقوط کرد. البته حدود یکسال قبل از سقوط ماهواره‌های TRMM و انتقال آن به ماموریت اندازه‌گیری جهانی بارش (GPM)، محصول بازیافت یکپارچه چند ماهواره‌ای[۵] GPM (IMERG) شروع به تولید شد. از همان زمان کالیبره شدن برآوردهای بارش امواج PMW برای تولید 3B42 دستخوش تغییر شده و ایجاد ناهمگنی به‌ویژه بالای سطح اقیانوس‌ها گردید. از طرفی محصول IMERG حداقل تا اواسط سال ۲۰۱۸ ادامه محصولات TRMM است و تهیه‌کنندگان در حد امکان از هر گونه تغییری در داده‌های ورودی یا الگوریتم که می‌تواند تغییر بزرگی در محصول تولید کند پرهیز کرده‌اند. برای مثال کالیبره کردن 3B42RT مانند قبل با استفاده از برآوردهای (اقلیمی) بارش PMW و بدون استفاده از داده‌های جدید کالیبره می‌شوند.

1- PERSIANN Climate Data Record
2- Tropical Rainfall Measuring Mission
3- Multi-Satellite
4- Satellite-Gauge
5- Integrated MultisatellitE Retrievals for GPM

جدول ۲- مشخصات مجموعه داده‌های بارش براساس دیدبانی ماهواره‌ای

Table 2- The characteristics of satellite-based precipitation datasets

	نام Name	دوره زمانی Time period	گام زمانی Temporal resolution	تفکیک مکانی Spatial resolution(lon-lat)	واحد Unit	تاخیر Delay
1	CMAP	1979-present	5 day, monthly	2.5	mm/day	1-mon
2	CMORPH	2003-present	30 min	0.08	mm/hr	18-hr
3	CMORPH	2003-present	30 min, daily	0.25	mm/hr	days
4	GPCP v1.2	I1996-present	Daily	1	mm/day	months
5	GPCP v2.2	1979- 2015	Monthly	2.5	mm/day	----
6	GPCP v2.3	2016-present	Monthly	2.5	mm/day	months
7	GPCP_pen_v2.2	1979-present	5-day	2.5	mm/day	months
8	GSMaP-NRT	2008-present	Hourly	0.1	mm/h	hours
9	GSMaP-gauge-NRT	2017-present	Daily	0.1, 0.25	mm/h	hours
10	GSMaP-NOW	2015-present	Hourly	0.1	mm/h	RT
11	GSMaP- MVK	2014-present	Hourly	0.1	mm/h	days
12	GSMaP-gauge-MVK	2014-present	Daily	0.1	mm/h	days
13	PERSIANN	2000-present	1-hr, 3-hr, 6-hr, daily, monthly	0.25	mm	hours
14	PERSIANN-CCS	2003-present	1-hr, 3-hr, 6-hr, daily, monthly	0.04	mm	hours
15	PERSIANN-CDR	1983-present	Daily, monthly	0.25	mm	months
16	TRMM 3B42-RT	1998-2015	3-hr	0.25	mm/h	-------
17	TRMM 3B43	1998-2015	Monthly	0.25	mm/h	-------
18	TRMM 3B42V7	1998-2015	Daily	0.25	mm/h	-------
19	IMERG-NRT(early run)	2015-present	30min, 3-hr, daily, 3-day, 7-day, monthly	0.1	mm/h	6-hr
20	IMERG-NRT(late run)	2015-present	30min, 3-hr, daily, 3-day, 7-day, monthly	0.1	mm/h	18-hr
21	IMERG (final run)	2015-present	30min, 3-hr, daily, 3-day, 7-day, monthly	0.1	mm/h	4-mon

مجموعه داده‌های تلفیقی براساس دیدبانی ماهواره‌ای و زمینی

۱. مجموعه‌های تلفیقی با بارش ماهواره‌ای CHIRPS

مجموعه داده بارش فروسرخ همراه با ایستگاه‌های گروه مخاطرات اقلیمی[1] با پوشش جهانی (بین 50° شمالی و جنوبی)، با تفکیک مکانی $0/05^\circ$ طول و عرض جغرافیایی و تفکیک زمانی روزانه، پنج روزه و ماهانه از سال ۱۹۸۱ تا تقریبا حال حاضر توسط

1- Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations

گروه مخاطرات تولید و به تازگی در دسترس عموم قرار گرفته است (۷). برای تولید این مجموعه‌ها از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای چند مجموعه مختلف بارش از جمله TRMM 3B42V7، TRMM-2B31، CMORPH و همچنین میانگین ماهانه دمای درخشندگی ماهواره‌های زمین ثابت و برآورد دمای سطح زمین استفاده شده است. تولیدکنندگان همچنین از تمام داده‌های زمینی قابل دسترس ماهانه و روزانه از مؤسسات مختلف استفاده کرده اند. در واقع گروه مخاطرات اقلیمی بارش از ترکیب میانگین داده‌های ماهواره‌ای فوق‌الذکر، نرمال‌های اقلیمی زمینی و استفاده از راهنماهای جغرافیایی ابتدا مجموعه اولیه اقلیمی بارش ماهانه (CHPclim) و همچنین مجموعه بارش مبتنی بر تنها داده‌های فروسرخ ماهواره‌ای (CHIRP) را تولید سپس با داده‌های ایستگاهی ترکیب و مجموعه نهایی CHIRPS تولید شده است. این مجموعه‌ها برای بررسی‌های اقلیمی بویژه رویدادهای حدی کاربرد دارد. این مجموعه‌ها در دو مرحله تولید می شوند در مرحله اول داده‌هایی که با استفاده از داده‌های همدیدی باران‌سنجی ایستگاه‌های سازمان هواشناسی جهانی و با حدود دو روز تأخیر، و در مرحله دوم مجموعه داده‌هایی که از تمام داده‌های بارش ماهانه قابل دسترس در سراسر دنیا استفاده می کنند و با حدود ۳ هفته تأخیر منتشر می‌شود. مشخصات این مجموعه در جدول ۳ آمده است.

۲. مجموعه تلفیقی با بارش ماهواره‌ای MSWEP

مجموعه بارش همادی-وزنی چند-منبعی[1]، تحت عنوان برنامه "دیدبانی جهانی زمین برای ارزیابی یکپارچه منابع آب" در چارچوب هفتمین برنامه اتحادیه اروپا تهیه شده است (۵). این مجموعه با تفکیک زمانی سه ساعته و تفکیک مکانی $۰/۲۵^{o}$ درجه طول و عرض جغرافیایی و برای دوره زمانی ۱۹۷۹ الی ۲۰۱۵ به منظور استفاده در مدل‌های هیدرولوژی طراحی شده است. برای تولید این مجموعه از چندین منبع داده شامل مجموعه‌های باران‌سنجی (CPC و GPCC)، مجموعه‌های ماهواره‌ای (CMORPH, GSMaP-MVK, TRMM 3B42RT) و خروجی مدل‌های بازتحلیل جوی (ERA-Interim, JRA-55) استفاده شده است. مشخصات این مجموعه در جدول ۳ درج شده است.

نتایج و بحث

ارزیابی مجموعه‌های بارش ماهواره‌ای بر روی ایران

در بخش قبل ملاحظه شد که از داده‌های زمینی و دورسنجی برای تولید مجموعه‌های جهانی متنوع بارش با تفکیک مکانی و زمانی مختلف استفاده می‌شود. نتایج مربوط به متوسط بارش سالانه و فصلی برای هفت مجموعه بارندگی بر روی ایران طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ در جدول ۴ و شکل ۲ نشان داده شده است. این مجموعه‌ها شامل دو مجموعه بارش زمینی (APHRODITE و CRU)، دو مجموعه بارش ماهواره‌ای RT (CMORPH و PERSIANN) و سه مجموعه بارش ترکیبی (TRMM3B42V7 ، PERSIANN-CDR و GPCP) با تفکیک‌های مکانی مختلف (جدول ۲) است که همه با استفاده از روش درون‌یابی خطی به تفکیک $۰/۲۵^{\circ}$ درجه طول و عرض جغرافیایی تبدیل و سپس میانگین‌گیری شده‌اند است. میانگین متوسط مکانی و انحراف معیار بارش سالانه و فصلی این هفت مجموعه در دو ستون آخر جدول ۴ ارائه شده است. میانگین بارش سالانه این هفت مجموعه طی دوره آماری مذکور ۲۲۶/۴ میلی‌متر و انحراف معیار آن ۳۲/۳ میلی‌متر است. در شکل ۲ علاوه بر متوسط بارش سالانه سهم بارش هر یک از چهار فصل سال نیز نمایش داده شده است. به‌طوری‌که در این شکل ملاحظه می‌شود سه مجموعه TRMM3B42V7، PERSIANN-CDR و GPCP بارش سالانه در ایران را در حدود ۲۵۰ میلی‌متر و سایر مجموعه‌ها در حدود ۲۰۰ میلی‌متر برآورد می‌کنند. در اغلب مجموعه‌ها غیر از PERSIANN و CMORPH بارش زمستانی بیشترین سهم بارش را از بارش سالانه دارد در صورتی‌که این دو مجموعه ماهواره‌ای RT بیشترین سهم را برای بارش بهاری نشان می‌دهند. برای پی بردن به توزیع مکانی نقاط اشتراک و تفرق این مجموعه‌ها بر روی ایران، میانگین و انحراف معیار نسبی (نسبت انحراف معیار به میانگین) میانگین بارش سالانه هفت مجموعه داده بارش اعم از زمینی، ماهواره‌ای و ترکیبی طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ در شکل ۳ نشان داده شده است.

به‌طوری‌که این شکل (سمت راست) نشان می‌دهد بیشترین اختلاف مجموعه‌ها در مناطق پرباران شمال رشته کوه‌های البرز، مناطق کویری مرکزی، نواحی بسیار خشک جنوب شرق و همچنین ناحیه پرارتفاع در کوه‌های زاگرس جنوبی قرار دارد. این اختلاف در کرانه دریای خزر در حدود ۸۰ درصد میانگین بارش سالانه (حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال) می‌رسد. علت عدم توافق مجموعه‌ها در مناطق کوهستانی البرز و زاگرس این است که نه تنها ماهواره‌ها در برآورد بارش در مناطقی با توپوگرافی بالا خطای بالاتری نسبت به مناطق هموار نشان می‌دهند بلکه در نواحی کوهستانی در برآورد بارش (توسط مجموعه‌های زمینی) بر روی یک مساحت (تبدیل بارش نقطه مقیاس باران‌سنج به مساحت مقیاس) نیز به علت عدم توزیع متراکم باران‌سنج‌ها خطا وجود دارد. در مناطق هموار وخشک کویر مرکزی و همچنین جنوب شرق با وجود هموار بودن ولی چون باران‌سنج‌ها بسیار پراکنده بوده و در بسیاری مناطق نیز داده زمینی وجود ندارد مجموعه‌های زمینی داده‌ها را از طریق درون‌یابی برآورد

1- Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation

می‌کنند که آن هم توام با خطا است. آگـاهی از خطـا نـه تنهـا بـرای مصـرف‌کننـدگان بلکـه بـرای تولیدکننـدگان آن بسـیار مهـم اسـت به‌طوری‌که برای برطرف کردن آن باید ابتدا میزان و ماهیـت خطـا و همچنین منبع آن شناسایی، سپس جهت اصلاح آن اقـدام شـود. امـا برای بررسی صحت داده‌های ماهواره‌ای اساسی‌ترین مسئله ابتدا وجود داده قابل اعتماد زمینی و سپس انتخاب روش مناسب مقایسه (با توجه به شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و اقلیمی در منطقه) است. در غیر این صورت مقایسه از پایه و اساس اشتباه خواهد بود.

جدول ۳- مشخصات مجموعه داده‌های بارش تلفیقی

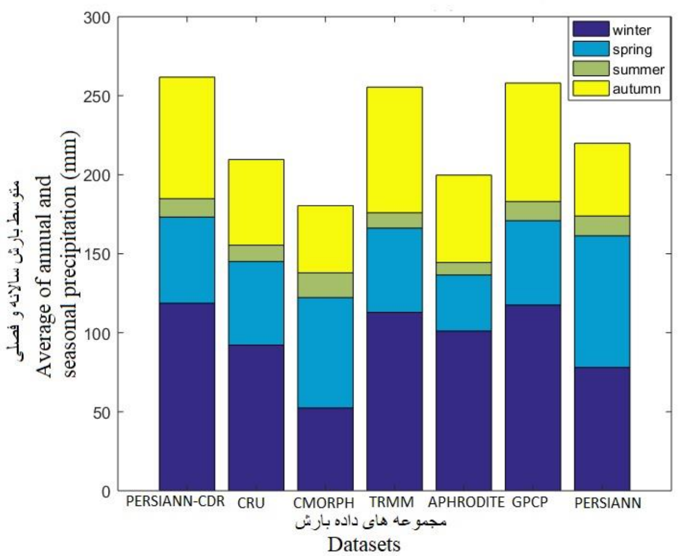
Table 3- The characteristics of assimilated precipitation datasets

	نام Name	دوره زمانی Time period	گام زمانی Temporal resolution	تفکیک مکانی Spatial resolution (lon-lat)	واحد Unit	تأخیر Delay
1	CHIRPS	1981-present	Daily, 5-day	0.05	mm	2-day
2	CHIRPS	1981-present	monthly	0.05	mm	1-mon
3	MSWEP	1979-2015	3-hr, daily	0.25	mm	---------

جدول ٤– متوسط مکانی بارش سالانه و فصلی (میلی‌متر) هفت مجموعه بارش مورد بررسی بر روی ایران طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ و همچنین میانگین و انحراف معیار آنها

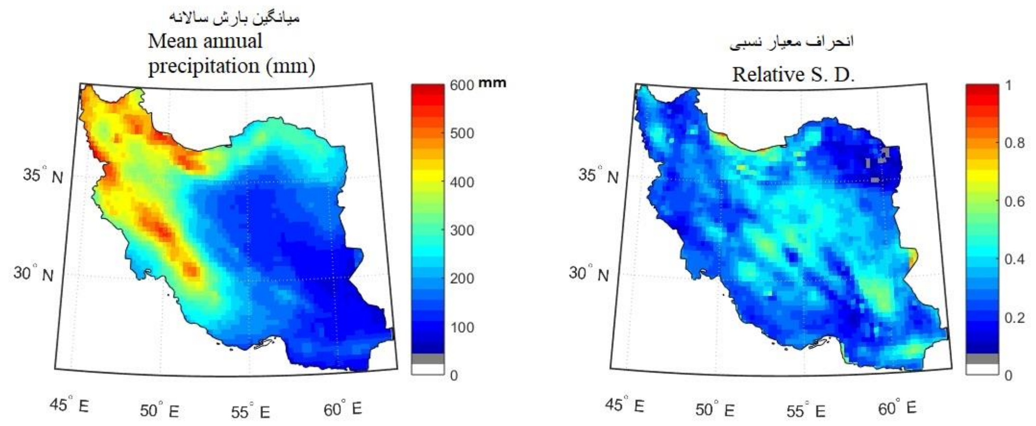
Table 4– Areal average of annual and seasonal precipitation for seven selected precipitation datasets, as well as their mean and standard deviation

بارش فصلی و سالانه (میلی‌متر)	PERSIANN-CDR	CRU	CMORPH	TRMM3B42V7	APHRODITE	GPCP	PERSIANN	Mean (mm) میانگین (میلی‌متر)	S.D. انحراف معیار
Winter	118.6	92.2	52.4	112.9	101.1	117.5	78.0	96.1	24.2
Spring	54.5	52.9	69.9	53.4	35.5	53.4	83.3	57.5	15.1
Summer	11.7	10.3	15.7	9.7	7.9	12.1	12.6	11.4	2.5
Autumn	76.9	54.3	42.4	79.5	55.3	75.0	46.0	61.3	15.5
Annual	261.8	209.7	180.4	255.4	199.8	258.0	219.9	226.4	32.3



شکل ۲– متوسط مکانی بارش سالانه و همچنین سهم بارش فصل‌های مختلف سال برای ایران برای هفت مجموعه بارش مورد بررسی

Figure 2- Areal average of annual precipitation and the seasonal precipitation contribution for seven selected precipitation datasets



شکل ۳- میانگین و انحراف معیار نسبی بارش سالانه هفت مجموعه بارش برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷

Figure 3- Mean and standard deviation of annual precipitation of seven selected datasets for 2003-2007

با توجه به اینکه داده‌های ماهواره‌ای به صورت شبکه‌بندی است واضح است در حالت ایده‌ال باید منبع مقایسه یک مجموعه داده شبکه‌بندی باران‌سنجی متراکم با تفکیک مکانی و زمانی بالا (منطبق بر تفکیک مکانی و زمانی داده ماهواره‌ای)، تعداد کافی باران‌سنج و با توزیع یکنواخت در هر سلول شبکه باشد که غالبا موجود نیست. بنا براین مقایسه باید با توجه به بهترین منبع قابل دسترس و همچنین انتخاب مناسب‌ترین روش متناسب با منبع موجود انجام شود.

به طور مثال ممکن است هنگام شبکه کردن داده‌های باران‌سنجی در یک منطقه در بعضی سلول‌ها تنها یک باران‌سنج موجود باشد که در مجموعه‌های با تفکیک مکانی بالا (سلول‌های کوچک ۰/۰۱° یا حتی ۰/۰۴° طول و عرض جغرافیایی) و منطقه هموار گاهی وجود یک باران‌سنج هم کفایت می‌کند ولی در یک سلول شبکه ۰/۲۵ ° طول و عرض جغرافیایی (۶۲۵ کیلومتر مربع) بویژه در مناطقی با گرادیان توپوگرافی بالا نمی‌تواند نشان دهنده بارش واقعی در آن سلول باشد. بنابراین با توجه به بضاعت از نظر تعداد باران‌سنج‌های موجود، همچنین توپوگرافی و شرایط اقلیمی منطقه و وسعت هر سلول حداقل تعداد باران‌سنج لازم در هر سلول باید مشخص شود. البته واضح است که برای پرهیز از خطا در بررسی تا حد ممکن باید سعی شود تا مقایسه تنها در سلول‌هایی که دارای باران‌سنج کافی هستند انجام گیرد اما بعضی اوقات بویژه هنگامی که مقایسه به صورت میانگین مکانی انجام می‌شود و در تعداد کمی از سلول‌های منفرد در منطقه مورد بررسی داده وجود ندارد، ناگزیر باید برای سلول‌های فاقد باران‌سنج با توجه به داده‌های سلول‌های مجاور داده بارش برآورد شود. از طرفی هنگام مقایسه (علاوه بر تطابق تفکیک مکانی و زمانی) به ویژه در مقیاس روزانه باید به تطابق زمانی (همزمانی دیدبانی) داده‌های زمینی و ماهواره‌ای توجه داشت. در ایران جمع بارش از ساعت ۱۸:۳۰ امروز الی ۱۸:۳۰روز بعد به وقت محلی که تقریبا معادل است با ۱۵ امروز الی ۱۵ روز بعد به وقت گرینویچ را بعنوان بارش روزانه در نظر می‌گیرند در حالی که تمام مجموعه داده‌های جهانی جمع بارش از ساعت ۰۰ الی ۲۴ به وقت گرینویچ را بعنوان بارش روزانه در نظر می‌گیرند. بنابراین چون زمان جمع‌آوری بارش باران‌سنجی قابل تغییر نیست برای مقایسه بارش روزانه باید بارش روزانه ماهواره‌ای را از جمع بارش سه ساعته ماهواره‌ای همزمان با دوره زمانی جمع‌آوری بارش روزانه (۱۵ الی ۱۵ روز بعد به وقت گرینویچ) بدست آورد. بدیهی است که برای مقایسه بارش ماهانه اختلاف حدود سه ساعته در جمع بارش ماهانه قابل چشم‌پوشی است و در مقایسه بارش ماهانه نیازی به جمع‌آوری بارش ۳ ساعته نیست.

امروزه ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. در واقع در حالت ایده‌ال سختگیرانه‌ترین روش آنست که انتظار داشته باشیم که ماهواره در هر سلول مقدار دقیق بارش را در زمان دقیق رخداد برآورد کند البته به شرطی که داده‌های زمینی صد در صد قابل اعتماد باشد. اما در عمل ارزیابی ممکن است نه تنها به صورت یک به یک (از نظر مکانی و زمانی) بلکه به طور متوسط انجام شود. به طور مثال می‌توان سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش روزانه، ماهانه یا فصلی بارش ماهواره‌ای با بارش زمینی در یک منطقه معین را مقایسه کرد. واضح است که منطقه مورد نظر باید الگوی بارشی همسانی داشته باشد تا هنگام میانگین‌گیری خطا ایجاد نشود. همچنین ممکن است در هر سلول منطقه ابتدا میانگین زمانی بارش (روزانه، ماهانه یا ...) را محاسبه سپس همبستگی توزیع مکانی بین داده ماهواره‌ای و داده زمینی و یا خطا را بدست آورد. به طور کلی روش‌های مختلفی برای ارزیابی وجود دارد (۲۸). از زمان شروع تولید داده‌های بارش ماهواره‌ای مطالعات بسیاری در جهت بررسی صحت آنها در مناطق مختلف جهان و در شرایط اقلیمی، توپوگرافی و جغرافیایی متفاوت

انجام شده و هم اکنون نیز ادامه دارد. در ایران نیز مطالعـاتی در ایـن زمینه انجام شده است که به پاره‌ای از آنهـا کـه بـر روی کـل ایـران بررسی شده در زیـر اشـاره خواهـد شـد. بـرای اطـلاع خواننـدگان از چگونگی عملکرد داده‌های بارش مـاهواره‌ای بـر روی ایـران در ایـن قسمت نتایج ارزیـابی بعضـی مجموعـه‌هـای مـاهواره‌ای بـه اختصـار گردآوری آورده شده است.

جوانمرد و همکاران (۱۳) ابتدا با استفاده از داده‌های بارش روزانـه ۱۸۸ ایستگاه سینوپتیک و بارش ماهانه ۳۳۷ ایستگاه اقلیم‌شناسـی بـا استفاده از روش یاتاگای و همکاران (۳۱) که در بخش ۲-۱-۱ به آن اشاره شده است یک مجموعه بارش روزانه با تفکیک مکـانی $0/25^{\circ}$ طول و عرض جغرافیایی بر روی ایران تهیه کرده و با داده‌های بارش روزانه TRMM 3B42V6 طی دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۶ مقایسه کردند. این مجموعه بارش زمستانی را در کرانه دریـای خـزر و در ارتفاعـات زاگرس را کم برآورد می‌کند. این بررسی برای سه منطقه، کل کشـور، کرانه دریای خزر و زاگرس انجام شد. ضریب همبستگی مکـانی بـین داده‌های میانگین سالانه بارش (بر حسب میلی‌متر بـر روز) داده‌هـای TRMM 3B43V6 و داده‌های زمینـی بـرای سـه منطقـه فـوق بـه ترتیب برابر ۰/۷۷ ، ۰/۵۷ و ۰/۷۵ بدست آمد و نتـایج نشـان داد کـه TRMM 3B42V6 میانگین بـارش سـالانه را در منـاطق فـوق بـه ترتیب ۰/۱۷ ، ۰/۳۹ و ۰/۱۵ میلی‌متر بر روز کم برآورد می‌کند.

نتایج بررسی دیگری بـرای مقایسـه چهـار مجموعـه مـاهواره‌ای CMORPH ، 3B42V6 TRMM ، PERSIANN و ADJ-PERSIANN طـی دوره ۲۰۰۳ الـی ۲۰۰۷ بـا اسـتفاده از داده‌هـای حدود ۲۰۰۰ باران‌سنج بر روی ایران انجام شد (۱۷) نیز نشان داد کـه همه مجموعه‌ها بارش را در منطقـه کرانـه دریـای خـزر کـم بـرآورد می‌کنند. برای اعتماد بیشتر به داده‌هـای زمینـی بررسـی محـدود بـه سلول‌هایی شد که در آنها حداقل پنج باران‌سنج وجـود داشـت بـدین ترتیب ۳۲ سلول در مناطق مختلف ایران در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی نشـان داد کـه در مقیـاس روزانـه هـم همـه مجموعـه‌هـا در سلول‌های واقع در کرانه دریای خزر عملکرد ضعیفی دارند که با نتیجه جـوانمرد و همکـاران همخـوانی دارد. مجموعـه‌هـای ADJ-PERSIANN و TRMM 3B42V6 بهتر از سایرین بارش را برآورد می‌کنند ولی CMORPH عملکرد ضعیف‌تری بویژه بر روی کوه‌های زاگرس دارد. لازم به ذکـر اسـت کـه دو مجموعـه اول بـا داده‌هـای باران‌سنجی ترکیب شده و عملکرد بهتر آنها دور از انتظار نیست ولـی CMORPH کـه محصـول حـال حاضـر یـا RT اسـت تنهـا داده ماهواره‌ای اسـت. از طرفـی ADJ-PERSIANN بـا وجـود شـناخت الگوی کلی بارش مقدار آن را کم برآورد می‌کند. با وجود اینکه در این بررسی سعی شده برای کاهش خطا از سلول‌هـایی کـه در آنهـا پـنج باران‌سنج موجود است استفاده شود ولی باید توجه داشت نه تنها تعداد باران‌سنج‌ها بلکه توزیع آنها در سـطح هـر سـلول (بـه مسـاحت ۶۲۵ کیلومتر مربع) نیز مهم اسـت. خطـای ناشـی از عـدم توزیـع متقـارن باران‌سنج‌ها در هر سلول در مناطقی با توپوگرافی بالا به ویژه مناطقی مانند شمال و جنوب کوه‌های البرز که دو رژیم بارندگی متفـاوت دارد بیشتر است.

مقایسه میانگین مکانی بارش روزانه مجموعه‌های PERSIANN ، TRMM 3B42V7 و TRMM 3B42RT بـا داده‌هـای ۱۱۸۰ ایستگاه باران‌سنجی برای ۴۷ رویداد بارش روزانه طی زمستان و بهـار ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۶ در ایران نشان داد که عملکـرد TRMM 3B42V7 بهتر از دو مجموعه دیگر است (۲۰). بازهم تأکید می‌شود که چون دو مجموعه دیگر با داده باران‌سنجی ترکیب نشده‌اند ایـن نتیجـه دور از انتظار نیسـت. ایـن بررسـی نشـان داد کـه PERSIANN ، احتمـال آشکارسازی (POD) بالاتر و در عین حال نسبت اعلان خطـا (FAR) بزرگتر نسبت به دو مجموعه TRMM دارد. از نظر منطقـه‌ای هـر دو مجموعه RT در ارتفاعات بلند زاگرس توام با خطا (کم برآورد و بیش برآورد) هسـتند. در ضـمن PERSIANN متوسـط بـارش روزانـه در جنوب غرب را کم، ولی در شمال غـرب را بـا دقـت بیشـتری بـرآورد می‌کند.

در بررسی دیگری معظمی و همکاران (۱۹) داده‌های بارش روزانه و ماهانـه چهـار مجموعـه CMORPH ، PERSIANN ، TRMM 3B42V7 و TRMM 3B42RT را در شش منطقه اقلیمی متفـاوت در ایران برای بارش سالانه، بهار و زمستان طی سال‌های ۲۰۰۳ الـی ۲۰۰۸ بررسی کردند. نتایج آنهـا نشـان داد کـه TRMM 3B42V7، PERSIANN و TRMM 3B42RT به طور متوسط مقدار بارش را به ترتیب ۱۳/۴۳درصد، ۱۳/ درصـد ۷۸ و ۳۱ درصـد بـیش بـرآورد و CMORPH، ۱۷/۶–درصد کم برآورد می‌کنند. البته با توجه به اینکـه از بین چهار مجموعـه فـوق تنهـا مجموعـه TRMM 3B42V7 بـا داده‌های زمینی ترکیب شده است این نتیجـه قابـل پـیش‌بینـی بـود. تقریبا همه مجموعه‌ها متوسط بارش را در منطقه کرانه دریـای خـزر، منطقه پرارتفاع زاگرس مرکزی و منطقه جنوبی نزدیـک تنگـه هرمـز کم برآورد می‌کنند. PERSIANN و TRMM 3B42RT در منطقـه شمال غرب و استان تهران بارش را بیش برآورد می‌کنند. البتـه نکتـه مهمی که نویسندگان این مقاله هم به آن اشاره کرده‌اند آن است کـه در این بررسـی در اغلـب سـلول‌هـای $0/25^{\circ}$ درجـه طـول و عـرض جغرافیایی (تقریبا در حدود ۶۲۵ کیلومتر مربع) تنهـا یـک بـاران‌سـنج موجود است که نمی‌تواند نشان‌دهنده بارش موجـود در ایـن مسـاحت باشد. با توجه به مقایسه چند مجموعه بارش ماهواره‌ای و کم برآورد و بیش برآوردها در منـاطق مختلـف کشـور گلیـان و همکـاران (۹) بـا مقایسه خطای متوسط بارش روزانه در هر سلول یک مجموعه تلفیقی از ترکیب‌های خطی مختلف مجموعه‌های فـوق در هـر سـلول بـرای سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۶ تهیه کرده و بـرای سـال‌هـای ۲۰۰۷ الـی ۲۰۰۸ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مجموعـه تلفیقـی، بـارش را

بهتر از هر یک از چهار مجموعه مذکور برآورد می‌کند.

محصولات بارش ماهواره‌ای در یکی دو دهه اخیر (سال ۱۹۹۸) شروع به تولید داده نموده‌اند ولی چون این دوره زمانی برای بررسی‌های خشکسالی و اقلیمی کافی نیست اخیرا مجموعه PERSIANN-CDR تولید شده که از سال ۱۹۸۳ و با چند ماه تأخیر در دسترس است. به طوری که قبلا ذکر شد این مجموعه با داده‌های GPCP که خود دارای داده زمینی است ترکیب شده است. این مجموعه برای بررسی رویدادهای حدی و روند تغییرات آن در گذشته طراحی شده است. کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۶) ابتدا PERSIANN-CDR را برای نمایش ده شاخص حدی بارش (CLIVAR; ۳۲) با داده‌های باران‌سنجی برای دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۸ مقایسه کرده و سپس روند تغییرات بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی و ده شاخص حدی را برای دوره سی ساله ۱۹۸۳ الی ۲۰۱۲ با استفاده از داده‌های این مجموعه حساب کردند. نتایج آنها نشان داد که با وجود اینکه این مجموعه اغلب شاخص‌های حدی را کم برآورد می‌کند ولی شاخص‌های شدتی مانند بارش صدک ۹۰ام، ماکزیمم بارش روزانه، ماکزیمم بارش پنج روزه و متوسط بارش روزهای بارانی هر سال و همچنین دو شاخص ماکزیمم تعداد روزهای متوالی بارانی و تعداد روزهای متوالی بدون بارش در هر سال را بهتر از شاخص‌های حدی آستانه مطلق مانند تعداد روزهای بارانی با بارش بیش از ۱۰ یا ۲۰ میلی‌متر در هر سال برآورد می‌کند. از طرفی با توجه به داده‌های این مجموعه بارش سالانه در شرق و غرب ایران روند کاهشی دارد و تعداد روزهای بارانی در شمال و شمال غرب ایرن افزایش یافته است. درضمن بارش صدک ۹۰ ام و متوسط بارش روزانه در روزهای بارانی در شمال کشور روند منفی و روزهای خشک متوالی در شرق کشور روند مثبت نشان داده‌اند.

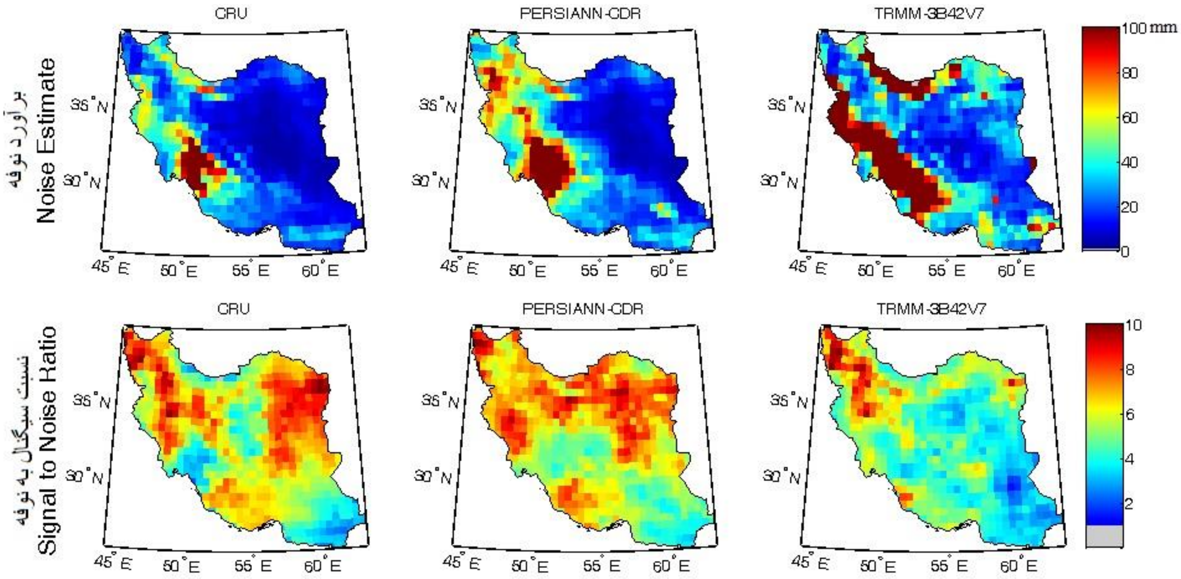
یکی از روش‌های ارزیابی مجموعه‌های داده ماهواره‌ای که نه تنها بارش بلکه داده‌های دیگری مانند رطوبت خاک را که بندرت داده زمینی برای آن وجود دارد، روش تعمیم یافته کلاه سه گوش[1] است که برای ارزیابی نیاز به داده زمینی ندارد (۸). البته این روش بیشتر برای مقایسه چند مجموعه و گزینش مجموعه ای با بالاترین مقدار نسبت سیگنال به نویز (SNR) به کار می‌رود. کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۵) با استفاده از این روش داده‌های بارش ماهانه سه مجموعه PERSIANN-CDR ، TRMM 3B42V7 و CRU بر روی ایران طی دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۷ را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که نسبت سیگنال به نویز (SNR) مجموعه PERSIANN-CDR بویژه در نیمه شمالی کشور بزرگ‌تر از دو مجموعه دیگر است. از طرفی هر سه مجموعه در مناطق پر ارتفاع جنوب غرب در کوه‌های زاگرس و همچنین در کرانه دریای خزر نسبت سیگنال به نویز کوچکی نشان می دهند (شکل ۴). آنها همچنین تابع توزیع احتمال تجمعی بارش روزانه دو مجموعه ماهواره‌ای را در بعضی از سلول‌ها که حداقل پنج باران‌سنج دارند با آستانه‌های بارش روزانه به ترتیب ۲/۵ ، ۵ و ۱۰ میلی‌متر مقایسه کردند. این بررسی نشان داد که غالبا PERSIAN-CDR بارش روزانه را کم و TRMM 3B42V7 بیش برآورد می‌کند و هر چه آستانه بارش روزانه بالاتر می‌رود دو تابع احتمال به هم نزدیک‌تر می‌شوند.

به‌طوری‌که قبلا نیز ذکر شد در این بررسی از داده‌های بارش ۲۲۸ پیکسل که شامل حداقل ۳ ایستگاه باران‌سنجی یا بیشتر طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ بودند استفاده شده است. شکل ۵ توزیع این پیکسل‌ها را در سراسر ایران نشان می‌دهد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود اغلب پیکسل‌ها در مناطق کوهستانی زاگرس و البرز قرار داشته و در مناطق کویری خشک و کم سکنه تعداد اندکی پیکسل قرار دارد. شکل ۶ متوسط مکانی بارش فصلی و سالانه هفت مجموعه بارش مورد بررسی را با بارش باران‌سنجی در ۲۲۸ پیکسل نشان داده شده در شکل ۵ مقایسه می‌کند. البته بارش سالانه باران‌سنجی در این پیکسل‌ها بالغ بر حدود ۴۵۰ میلی‌متر است که بالاتر از داده‌های رسمی بارش سالانه ایران است. علت این امر آن است که همان طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود تقریبا تمام پیکسل‌ها در مناطق پر باران کوهستانی کشور قرار دارند و تنها تعداد بسیار کمی از پیکسل‌ها در مناطق خشک کشور قرار دارند. به‌طوری‌که شکل ۶ نشان می‌دهد مجموعه‌های ماهواره‌ای که با داده‌های ماهانه باران‌سنجی تصحیح شده شامل -PERSIANN CDR, TRMM, GPCP کمترین و مجموعه‌های بارش ماهواره‌ای حال حاضر یا RT شامل CMORPH و PERSIANN بیشترین اختلاف را نسبت به داده‌های باران‌سنجی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بارها در این مقاله اشاره شده است مجموعه‌های حال حاضر معمولا خطای بیشتری دارند ولی باید توجه داشت مزیت این مجموعه‌ها زود در دسترس بودن آنهاست. مجموعه‌های بارش براساس داده‌های زمینی شامل CRU و APHRODITE نسبت به سه مجموعه PERSIANN-CDR, TRMM, GPCP بر خلاف تصور اختلاف بیشتری با داده‌های باران‌سنجی به کار رفته دارند. شکل ۷ پراکنش بارش ماهانه هر یک از هفت مجموعه مورد بررسی را نسبت به بارش ماهانه باران‌سنجی طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. نتایج این شکل نیز نشان می‌دهد مجموعه‌های ,PERSIANN-CDR TRMM, GPCP در مقایسه با بارش باران‌سنجی بهتر از سایر مجموعه‌ها بارش ماهانه را نشان می‌دهند. با وجود اینکه داده‌های CRU نسبت به بارش ماهانه باران‌سنجی استفاده شده کم برآورد نشان می‌دهند ولی با توجه به اینکه نقاط مماس بر خط برازش شده

1- Generalized Three Cornered Hat; GTCH

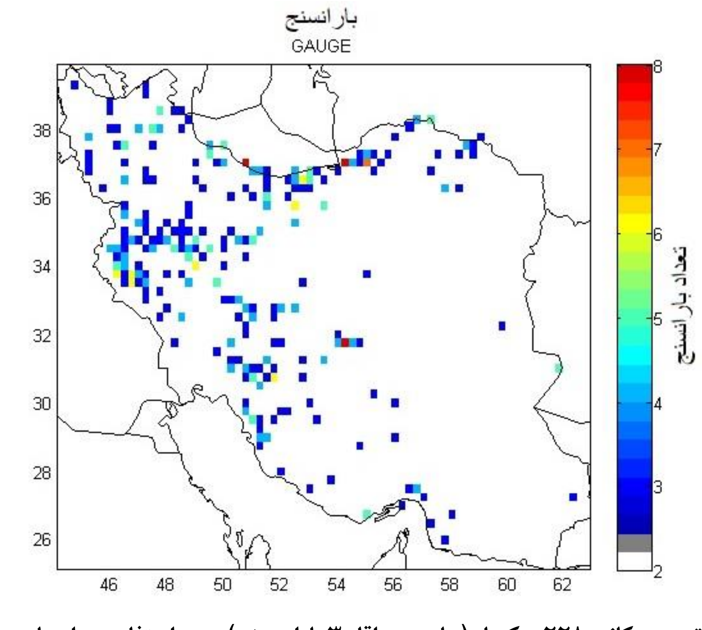
هستند به نظر می‌رسد با اعمال یک ضریب می‌توان داده‌ها را اصـلاح

نمود. سه مجموعه دیگر نیز ارش ماهانه را کم برآورد می‌کنند.



شکل ٤- مقایسه مقادیر نوفه و SNR بارش ماهانه بدست آمده از روش GTCH برای مجموعه‌های CRU, PERSIANN-CDR و TRMM 3B42V7 طی دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۷ در ایران (۱۵)

Figure 4- The noise estimates and SNR values of monthly precipitation using the GTCH method for CRU, PERSIANN-CDR, and TRMM-3B42V7 (Katiraie-Boroujerdy et al. 2017)

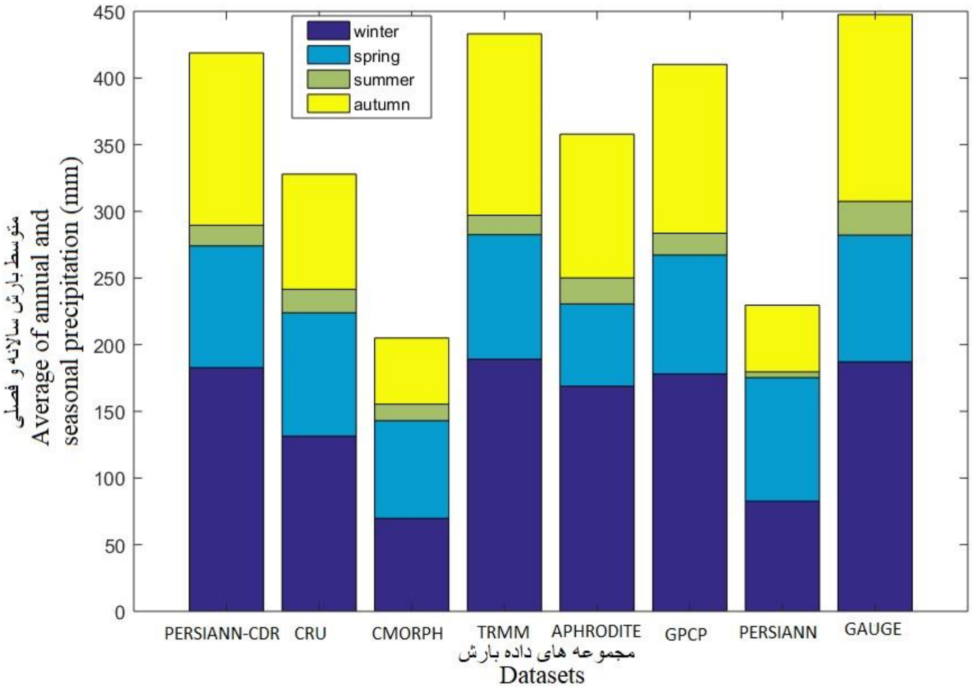


شکل ۵- توزیع مکانی ۲۲۸ پیکسل (حاوی حداقل ۳ باران‌سنج) مورد استفاده در ارزیابی

نمایشگر رنگی تعداد باران‌سنج‌های موجود در هر پیکسل را نشان می‌دهد.

Figure 5- The spatial distribution of 228 selected pixels that include at least three rain gauges

The color legend shows the number of rain gauges in each pixel.



شکل ٦- متوسط بارش سالانه و همچنین سهم بارش فصل‌های مختلف سال برای ۲۲۸ پیکسل برای هفت مجموعه بارش مورد بررسی و همچنین داده‌های باران‌سنجی

Figure 6- Areal average of annual precipitation and the seasonal precipitation contribution over 228 selected pixels for seven selected precipitation datasets and rain gauge data

نتیجه‌گیری

در این بررسی متوسط بارش سالانه برای مساحت ایران طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ برای هفت مجموعه بارندگی شامل دو مجموعه بارش زمینی (APHRODITE و CRU)، دو مجموعه بارش ماهواره‌ای RT (CMORPH و PERSIANN)و سه مجموعه بارش ترکیبی (TRMM3B42V7، PERSIANN-CDR و GPCP) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سه مجموعه TRMM3B42V7، PERSIANN و GPCP بارش سالانه در ایران را در حدود ۲۵۰ میلی‌متر و سایر مجموعه‌ها در حدود ۲۰۰ میلی‌متر برآورد می‌کنند. در اغلب مجموعه‌ها غیر از مجموعه‌های بارش ماهواره‌ای RT شامل PERSIANN و CMORPH بارش زمستانی بیشترین سهم بارش را از بارش سالانه دارد در صورتی‌که این دو مجموعه ماهواره‌ای بیشترین سهم را برای بارش بهاری نشان می‌دهند. نتایج مربوط به بررسی توزیع مکانی میانگین و انحراف معیار نسبی (نسبت انحراف معیار به میانگین) میانگین بارش سالانه هفت مجموعه داده بارش اعم از زمینی، ماهواره‌ای و ترکیبی نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف مجموعه‌ها در مناطق پرباران شمال رشته کوه‌های البرز، مناطق کویری مرکزی، نواحی بسیار خشک جنوب شرق و همچنین ناحیه پرارتفاع در کوه‌های زاگرس جنوبی قرار دارد.

این اختلاف در کرانه دریای خزر در حدود ۸۰ درصد میانگین بارش سالانه (حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال) می‌رسد. این نتایج با نتایج بررسی‌های قبلی که نشان می‌دهند داده‌های ماهواره‌ای روی منطقه سواحل دریای خزر و مناطق پرارتفاع کوه‌های زاگرس واقع در جنوب غرب ایران بارش را با دقت کمتری نسبت به سایر نقاط برآورد می‌کنند توافق دارد. در واقع در هر دو منطقه توپوگرافی بالایی وجود دارد و برآورد بارش به ویژه در سلول‌هایی به مساحت ۶۲۵ کیلومتر مربع باعث هموار شدن مقدار بارش در هر سلول شده و اگر باران‌سنج‌ها به طور یکنواخت در مساحت سلول توزیع نشده باشند نمی‌توانند نشان‌دهنده مقدار واقعی بارش در مساحت سلول باشند. به طور مثال در نوار ساحلی دریای خزر تقریبا تمام باران‌سنج‌ها در شمال رشته کوه‌های البرز یعنی در منطقه کاملا مرطوب قرار گرفته‌اند در صورتی که بخشی از سلول (۶۲۵ کیلومتر مربع) در جنوب رشته کوه‌های البرز یعنی در منطقه خشک قرار دارد و چون بارش منسوب به مساحت سلول متوسط بارش در سطح سلول را نشان می‌دهد واضح است که با متوسط بارش باران‌سنج‌ها تفاوت دارد.

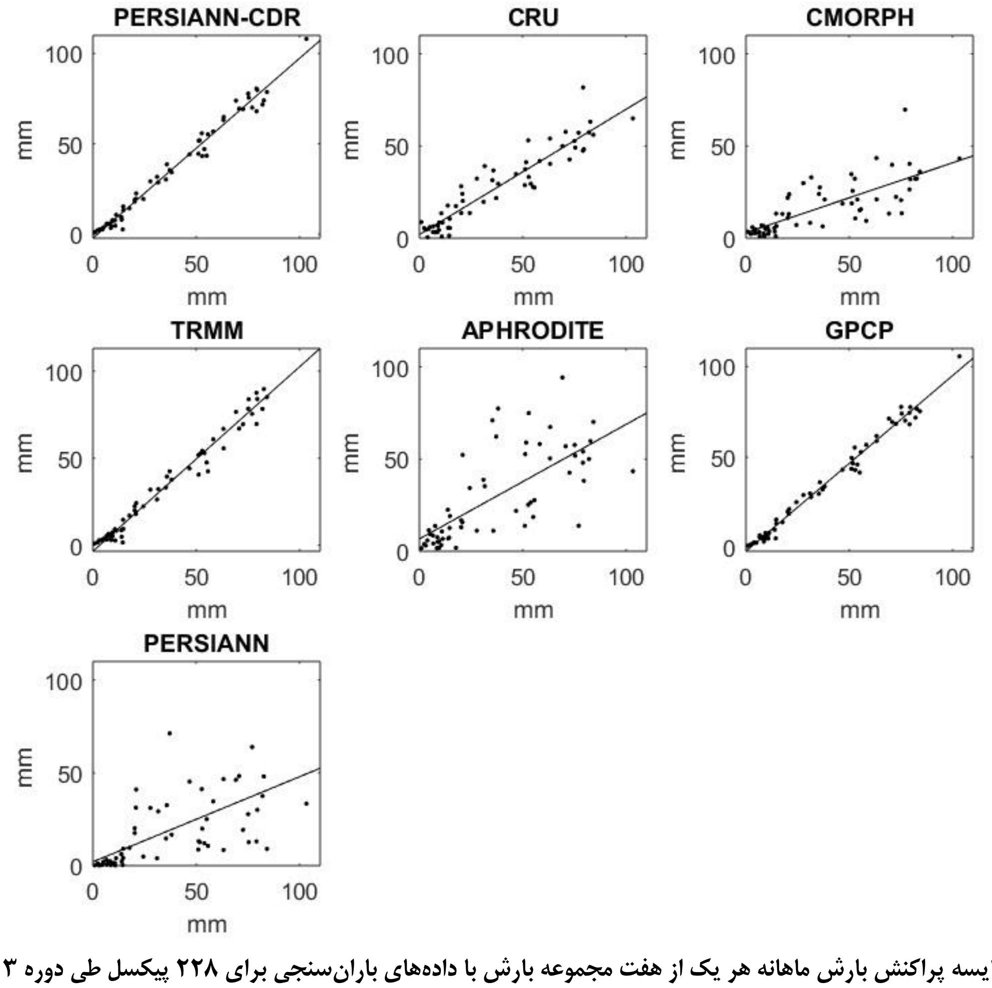
نتایج مقایسه هفت مجموعه با بارش باران‌سنجی در ۲۲۸ پیکسل شامل حداقل ۳ باران‌سنج نشان می‌دهد سه مجموعه بارش ماهواره‌ای که با داده‌های بارش زمینی تصحیح شده‌اند شامل

PERSIANN-CDR, TRMM, GPCP بیشترین شباهت را با داده‌های باران‌سنجی دارند به‌طوری‌که نتایج آنها در مقایسه با مجموعه‌های باران‌سنجی CRU و APHRODITE نیز بهتر است. دو مجموعه ماهواره‌ای حال حاضر PERSIANN و CMORPH بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه را کم برآورد می‌کنند.

باران‌سنج‌ها با وجود اینکه بارش را مستقیما اندازه‌گیری می‌کنند ولی هنگام تعمیم داده‌های نقطه‌ای باران‌سنجی به ناحیه (مساحت) اطراف (بخصوص در نواحی با توپوگرافی شدید) توام با خطا می‌شوند. بعلاوه در بسیاری از مناطق کره زمین مانند دریاها و اقیانوس‌ها، بیابان‌ها، کوهستان‌ها و مناطق صعب‌العبور و خالی از سکنه که داده‌های باران‌سنجی کمیاب است، داده‌های ماهواره‌ای پتانسیل خوبی برای برآورد و تولید داده‌های بارش در سراسر کره زمین دارند.

این مجموعه‌ها بسته به نحوه تولید کاربردهای متفاوتی دارند. پاره‌ای از آنها که به صورت حال حاضر (RT) و با تأخیر کوتاه (در حدود ساعت) در اختیار همگان قرار می‌گیرند غالبا برای پیش‌بینی کوتاه مدت سیل استفاده می‌شوند. بعضی دیگر با چند روز تأخیر (حدود ماه) منتشر می‌شوند و برای بعضی مناطق با داده‌های قابل دسترس زمینی تصحیح شده‌اند برای پیش‌بینی کوتاه مدت خشکسالی مناسب هستند. در نهایت گروه دیگری از مجموعه‌ها که غالبا با تأخیر چند ماهه در دسترس عموم قرار می‌گیرند با داده‌های زمینی کاملتری تصحیح می‌شوند برای بررسی‌های اقلیمی از جمله مسائل مربوط به تغییر اقلیم مناسب هستند.

هنگام ارزیابی داده‌های بارش روزانه باید به تطابق زمان جمع‌آوری بارش روزانه باران‌سنجی و ماهواره‌ای توجه داشت. در واقع چون زمان جمع‌آوری بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی غیر قابل



شکل ۷- مقایسه پراکنش بارش ماهانه هر یک از هفت مجموعه بارش با داده‌های باران‌سنجی برای ۲۲۸ پیکسل طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۰۷

محور افقی هر یک از نمودارها بارش ماهانه باران‌سنجی است.

Figure 7- The scatter plots of seven datasets versus gauge monthly precipitation for 228 selected pixels for 2003-2007

The horizontal axis of each diagram shows gauge monthly precipitation.

تغییر (از ساعت ۱۵ به وقت گرینویچ) است، باید بارش روزانه ماهواره‌ای را از جمع بارش‌های ۳ ساعته که از ساعت ۱۵ گرینویچ شروع می‌شود بدست آورد. البته در بررسی بارش ماهانه این اختلاف زمانی تأثیر چندانی ندارد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای پروفسور سروشیان که بدون نظارت و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان انجام این کار ممکن نبود تشکر و قدردانی می‌شود.

در پایان توجه خوانندگان مقاله به نشانی اینترنتی http://192.168.1.13:3000/fa و یا سایت RCUWM-Tehran – مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری-یونسکو که پایگاه داده بارش استخراج شده از تمامی مجموعه‌های PERSIANN برای ایران بوده و به صورت رایگان در دسترس عموم است جلب می‌نماید. لازم به ذکر است که این داده‌ها به صورت فایل‌های CSV و به راحتی قابل استفاده است و طول و عرض جغرافیایی تمام سلول‌ها در آن درج شده است.

منابع

1- Adler R., Sapiano M., Huffman G., Bolvin D., Gu G., Wang J., and Ferraro R. 2016. The new version 2.3 of the global precipitation climatology project (GPCP) monthly analysis product. University of Maryland, April.

2- Adler R., Huffman G., Chang A., Ferraro R., Xie P., Janowiak J., and Bolvin D. 2003. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). Journal of Hydrometeorology 4(6): 1147-1167.

3- Aonashi K., Awaka J., Hirose M., Kozu T., Kubota T., Liu G., and Takahashi N. 2009. GSMaP passive microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II 87: 119-136.

4- Ashouri H., Hsu K.L., Sorooshian S., Braithwaite D. K., Knapp K.R., Cecil L.D., and Prat O.P. 2015. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. Bulletin of the American Meteorological Society 96(1): 69-83.

5- Beck H.E., Van Dijk A.I.J.M., Levizzani V., Schellekens J., Miralles D.G., Martens B., and Roo A.D. 2017. MSWEP: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. Hydrology and Earth System Sciences 21(1):589-615.

6- Ebert E.E. 2007. Methods for Verifying Satellite Precipitation Estimates. In: Levizzani V., Bauer P., Turk F.J. (eds) Measuring Precipitation From Space. Advances In Global Change Research, vol 28. Springer, Dordrecht.

7- Funk C., Peterson P., Landsfeld M., Pedreros D., Verdin J., Shukla S., and Hoell A. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Scientific data, 2, 150066.

8- Galindo, Francisco J, & Palacio, Juan. (1999). Estimating the instabilities of N correlated clocks: REAL OBSERVATORIO DE LA ARMADA (SPAIN).

9- Golian S., Moazami S., Kirstetter P.E., and Hong Y. 2015. Evaluating the performance of merged multi-satellite precipitation products over a complex terrain. Water Resources Management 29(13): 4885-4901.

10- Harris I.P.D.J., Jones P.D., Osborn T.J., and Lister D.H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations–the CRU TS3. 10 Dataset. International journal of climatology 34(3): 623-642.

11- Hong Y., Hsu K.L., Sorooshian S., and Gao X. 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. Journal of Applied Meteorology 43(12): 1834-1853.

12- Huffman G.J., Bolvin D.T., Nelkin E.J., Wolff D.B., Adler R.F., Gu G., and Stocker E.F. 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. Journal of hydrometeorology 8(1): 38-55.

13- Javanmard S., Yatagai A., Nodzu MI., BodaghJamali J., and Kawamoto H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. Advances in Geosciences 25: 119-125.

14- Joyce R.J., Janowiak J.E., Arkin P.A., and Xie P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. Journal of Hydrometeorology 5(3): 487-503.

15- Katiraie-Boroujerdy P.S., Asanjan A.A., Hsu K.L., and Sorooshian S. 2017. Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3b42v7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. Atmospheric Research 193: 36-49.

16- Katiraie-Boroujerdy P.S., Ashouri H., Hsu K.L., and Sorooshian S. 2017. Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. Theoretical and Applied Climatology 130(1-2): 249-260.

17- Katiraie-Boroujerdy P.S., Nasrollahi N., Hsu K.L., and Sorooshian S. 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. Journal of Arid Environments 97: 205-219.
18- Kubota T., Shige S., Hashizume H., Aonashi K., Takahashi N., Seto S., and Nakagawa K. 2007. Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 45(7): 2259-2275.
19- Moazami S., Golian S., Hong Y., Sheng C., and Kavianpour M.R. 2016. Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. Hydrological Sciences Journal 61(2): 420-440.
20- Moazami S., Golian S., Kavianpour M. R., and Hong Y. 2013. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. International Journal of Remote Sensing 34(22): 8156-8171.
21- Rudolf B., and Schneider U. 2005. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations. P. 231-247, Paper presented at the Proc. Second Workshop of the Int. Precipitation Working Group, October 2004, Monterey,Germany, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.
22- Schamm K., Ziese M., Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Schneider U., and Stender P. 2014. Global gridded precipitation over land: A description of the new GPCC First Guess Daily product. Earth System Science Data 6(1): 49-60.
23- Schneider U., Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Ziese M., and Rudolf B. 2014. GPCC's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. Theoretical and Applied Climatology 115(1-2): 15-40.
24- Sorooshian S., AghaKouchak A., Arkin P., Eylander J., Foufoula-Georgiou E., Harmon R., Skahill B. 2011. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. Bulletin of the American Meteorological Society 92(10): 1353-1357.
25- Sorooshian S., Hsu K.L., Gao X., Gupta H.V., Imam B., and Braithwaite D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. Bulletin of the American Meteorological Society 81(9): 2035-2046.
26- Sun Q., Miao C., Duan Q., Ashouri H., Sorooshian S., and Hsu K.L. 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. Reviews of Geophysics 56(1): 79-107.
27- Ushio T., Sasashige K., Kubota T., Shige S., Okamoto K., Aonashi K., and Kachi M. 2009. A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 87: 137-151.
28- Wilks D.S. 2006. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Burlington, MA: Academic Press.
29- Willmott C.J., and Robeson S.M. 1995. Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. International Journal of Climatology 15(2): 221-229.
30- Xie P., and Arkin P.A. 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. Bulletin of the American Meteorological Society 78(11): 2539-2558.
31- Yatagai A., Kamiguchi K., Arakawa O., Hamada A., Yasutomi N., and Kitoh A. 2012. APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. Bulletin of the American Meteorological Society 93(9): 1401-1415.
32- Zhang X., Alexander L., Hegerl G.C., Jones P., Tank A.K., Peterson T.C., and Zwiers F.W. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 2(6): 851-870.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 501-520

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۵۲۰-۵۰۱

Evaluation and Application of Different Observational (Land and Satellite) Datasets over Iran

A. Chavoshian[1]– P.S. Katiraie-Boroujerdy[2*]

Received: 25-02-2019
Accepted: 08-07-2019

Introduction: Precipitation has an important role not only in the variety of scientific applications including climate change, climate simulations, weather modeling, and forecasting but also in decision making such as water management, hydrology, agriculture, drought, and crisis management. Different temporal resolutions and coverages of data are required for this and other applications. For example, long term meteorological data are needed for monitoring the climate variability and trends and for climate simulation assessments in local and global scales. Also, present data are used to assimilate into forecast models to improve the predictions. Historical and present precipitation data are the main requirements to monitor and predict droughts which help to early warning system and water management decisions in a country. The recent rainfall data are also the primary input of hydrological models to flood forecast in a basin. The accurate estimation of precipitation amount is vital for these applications.

Materials and Methods: However, rainfall is discontinuous and varies greatly both in time and space which makes it parallel with difficulties in the actual measurements. The two main sources of observational precipitation datasets are ground-based rain gauge measurements and space-based remote sensing satellite estimations each one with its own limitations and strengths. Historically, rain-gauge measurements have been considered as the “ground truth”, but they have mostly limited to land surface, the measurements are sparse or nonexistent in some regions like deserts or high topographic areas. Although rain gauges measure rainfall directly, their data are only representative for a limited spatial extent and may be subjected to some errors caused by local effects such as topography or wind-induced undercatch. An alternative approach which can provide relatively homogenous estimates with complete coverage over most of the globe is based on using satellite observations. Therefore, satellite data are capable to estimate precipitation over the oceans and over remote areas where few or no ground measurements are available. The satellite-based precipitation estimates are derived mainly from visible, infrared (IR) and passive microwave (PMW) radiances which are measured by satellites. Although the visible channels cannot be used at night, the IR data are available in fine spatial resolution (about 3-4 km) with high temporal sampling (15 min) which are provided by geosynchronous satellites. Another source of data is PMW that can be used to estimate rainfall more directly. Low-altitude polar-orbiting satellites serve to measure the PMW data. Although, the microwave sensors can penetrate into the clouds and provide more information about the cloud characteristics such as water vapor, cloud particles, and structure of hydrometeors, but at the expense of temporal sampling. In recent years, different algorithms have been developed using the combination of the IR, Visible (VIS) and PWM observations to provide more accurate rainfall estimations in high spatial and temporal resolutions. To demonstrate the similarities and differences between the spatial distribution of different satellite-based and gauge-based precipitation datasets over Iran we compared seven different datasets. For comparisons all datasets are regridded to 0.25-degree latitude longitude spatial resolutions. Then the spatial distribution of the mean and relative standard deviations of annual precipitation of these datasets have been calculated. We also used more than 2000 rain gauges to evaluate the selected datasets. To reduce error only 228 pixels, include at least 3 rain gauges are used for comparisons of spatial average of monthly, seasonal and annual precipitation of gauge and seven datasets.

Results and Discussion: The results showed a large amount of differences in annual precipitation between seven selected datasets. The most differences pronounce in wet areas in the north of Alborz Mountain, in the

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran & Regional Center on Urban Water Management (RCUWM-Tehran) Under the Auspices of UNESCO, International Drought Initiative (IDI) Secretariat, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Department of Meteorology, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Authore Email: sima_katiraie@yahoo.com)

semi-arid and arid regions of the central desert and in the high mountainous areas of the southern Zagros. The reason for these differences is that not only satellite-based but gauge-based datasets have large uncertainties estimating areal precipitation in such high topographic areas. The satellite products are prone to some errors arising from not fully understood physical process, sampling error and parameter estimation. Therefore, verification of precipitation datasets is one of the most important parts of the data development and refinements. In this paper, the spatial distribution of seven different global-observational precipitation datasets over Iran are compared for the period 2003-2007. At first all datasets were regridded to 0.25° spatial resolutions using linear interpolation method. Then, the mean and relative standard deviation of annual precipitation of the datasets were calculated to analyze the spatial discrepancies between datasets. The areal average of annual precipitation and the contribution of seasonal precipitation were calculated for comparison purposes. The results showed that areal average of annual and seasonal precipitation for 228 selected pixels for PERSIANN-CDR, TRMM, and GPCP which are satellite-based and gauge adjusted datasets are more similar to the rain gauge data than other datasets. The results for the above datasets are even better than CRU and APHRODITE which are gauge-based datasets.

Conclusion: The results showed that the satellite estimates are not capable to show the precipitation (detection and amount) over the coast of Caspian Sea and the high areas of the Zagros Mountain as well as other parts of the country. There are some useful recommendations for data users at the end of this paper. In fact, in this paper our spatial focus is on Iran and we introduced a web address which data users can access freely from one of the most popular and widely used satellite-based products in easy-to-use format only for Iran. The results show considerable differences between the datasets. The difference is about 0.8 times of mean annual precipitation (about 300 mm in a year) for the coast of Caspian Sea. The satellite-based estimations were less accurate over the coast of Caspian Sea and high mountainous area of the southwest of Zagros comparing to other parts of the country. While spring precipitation shows maximum contributions in annul precipitation for in-situ datasets, winter precipitation shows maximum contribution in annual precipitation for other datasets. The results showed that areal average of monthly, seasonal and annual precipitation over 228 selected pixels for PERIANN-CDR, TRMM and GPCP were consistent with rain gauge data. CMORPH and PERSIANN underestimate areal average of monthly and seasonal precipitation over the pixels.

Keywords: Evaluation, Iran, Precipitation datasets, Remote sensing, Satellite-based precipitation

Contents

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 33 No. 3 2019

Published by: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Manager in Charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editor in Chief: Fotovat, A. (Soil Science) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad, Press.
Address: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
P.O. Box: 91775- 1163
Fax: +98 511 8787430
E-Mail: jswa3@um.ac.ir
Web Site: http://jm.um.ac.ir

Journal of Water and Soil is published bimonthly (six issues per year).