



انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی



موسسه تحقیقات خاک و آب

پژوهش‌های خاک

[http:// www.srjournal.areeo.ir](http://www.srjournal.areeo.ir)

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۶ / شماره ۳ / سال ۱۴۰۱

عنوان	فهرست	صفحه
تأثیر مواد محرک رشد گیاهی در عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا محمدعلی خودشناس، جواد قدبیک لو و فریدون نورقلی پور	۲۲۵	
بررسی واکنش ارقام گلرنگ به سطوح مختلف فسفر در مناطق گرم فریدون نورقلی پور، لیلا رضاخانی، کامران میرزاشاهی، هرمزد نقوی، مجید رجایی و مجتبی یحیی آبادی	۲۴۳	
بررسی امکان استفاده از خاک فسفات غنی شده برای تأمین فسفر در باغات چای حسین بشارتی، حمیدرضا دورودیان و کریم شهبازی	۲۵۹	
بررسی کارایی جذب بور در کاهو، اسفناج و چغندر برگی فاطمه اکبرنژاد، رضا خراسانی و امیر فتوت	۲۷۵	
مقایسه ویژگی‌ها و تأثیر اسید هیومیک تجاری و استخراجی از کودهای گاوی و گوسفندی بر رشد سویا سارا حسینی، مجید حجازی مهریزی، مهدی سرچشمه پور و مجید فکری	۲۸۹	
مقایسه اثر آنیون‌های کلرید و ارتوفسفات بر سرعت (سینتیک) رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی در تعدادی از خاک‌های آهکی مرضیه براتی زانیانی، علیرضا حسین پور و محمد حسن صالحی	۳۰۵	
اثر اندازه ذرات، مقدار و نوع بیوپار بر هدایت هیدرولیکی اشباع در دو خاک با بافت متفاوت عباس یکنزبان، سید علی اکبر موسوی، عبدالمجید ثامنی و مهرور رضایی	۳۲۱	

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی
پژوهش‌های خاک

جلد 36 شماره (3)

1401

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

به استناد نامه شماره 3/11/3760 مورخ 1389/3/16 اعتبار علمی پژوهشی نشریه پژوهش‌های خاک

تمدید شده است

مدیر مسؤول: دکتر هادی اسدی رحمانی
سر دبیر: دکتر حمید سیادت

رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر محمد بای بوردی

دکتر حسین بشارتی

دکتر محمدرضا بلالی

دکتر حسن توفیقی

دکتر غلامحسین حق نیا

دکتر کاظم خاوازی

دکتر محمدحسن روزیطلب

دکتر امیر فتوت

دکتر منوچهر گرجی

دکتر عزیز مؤمنی

دکتر محمدرضا نیشابوری

مدرس دانشگاه

استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب

استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب

دانشیار دانشگاه تهران

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب

دانشیار پژوهش سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

استاد دانشگاه تهران

دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب

استاد دانشگاه تبریز

دکتر حمید سیادت

کبری علی نژاد

چهار شماره

ویراستار انگلیسی:

تایپ و صفحه آرایی:

تعداد انتشار در سال:

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:
www.isc.gov.ir پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC):
و همچنین در پایگاه (ISC) از ضریب تأثیر (IF) برخوردار می‌باشد
www.sid.ir پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی:
www.civilica پایگاه سیولیکا

www.srjournal.areeo.ir :
www.swri.ir
www.soiliran.org
majalehsoil@yahoo.com

پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش‌های خاک
پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب:
پایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران:
آدرس الکترونیکی دفتر مجله:

آدرس: کرج - میدان استانداری، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 3177993545

آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: www.srjournal.areeo.ir

تلفن و نمابر: (026) 36208796

عنوان	فهرست	صفحه
تأثیر مواد محرک رشد گیاهی در عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا محمدعلی خودشناس، جواد قدبیک لو و فریدون نورقلی پور	225	
بررسی واکنش ارقام گلرنگ به سطوح مختلف فسفر در مناطق گرم فریدون نورقلی پور، لیلا رضاخانی، کامران میرزاشاهی، هرمزد نقوی، مجید رجایی و مجتبی یحیی آبادی	243	
بررسی امکان استفاده از خاک فسفات غنی شده برای تأمین فسفر در باغات چای حسین بشارتی، حمیدرضا دورودیان و کریم شهبازی	259	
بررسی کارایی جذب بور در کاهو، اسفناج و چغندر برگی فاطمه اکبرنژاد، رضا خراسانی و امیر فتوت	275	
مقایسه ویژگی‌ها و تأثیر اسید هیومیک تجاری و استخراجی از کودهای گاوی و گوسفندی بر رشد سویا سارا حسینی، مجید حجازی مهریزی، مهدی سرچشمه پور و مجید فکری	289	
مقایسه اثر آنیون‌های کلرید و ارتوفسفات بر سرعت (سینتیک) رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های آهکی مرضیه براتی زانیانی، علیرضا حسین پور و محمد حسن صالحی	305	
اثر اندازه ذرات، مقدار و نوع بیوجار بر هدایت هیدرولیکی اشباع در دو خاک با بافت متفاوت عباس یکزبان، سید علی اکبر موسوی، عبدالمجید ثامن و مهروز رضایی	321	

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

نشریه علمی پژوهش‌های خاک به منظور افزایش آگاهی محققان و پژوهشگران علوم خاک و آب، ایجاد زمینه ارتقای سطح دانش و پژوهش، شناخت و معرفی اندیشه‌ها، نوآوری‌ها و خلاقیت‌های علمی - پژوهشی در سطح ملی و بین‌المللی، ایجاد ارتباط بین مراکز آموزشی، علمی - پژوهشی و انتقال و تبادل نتایج یافته‌ها، نتایج حاصل از فعالیتهای تحقیقاتی پژوهشگران در زمینه مسائل مربوط به شناسایی، حفاظت و بهره‌برداری پایدار از منابع خاک و آب در کشاورزی را منتشر می نماید.

الف) اصول کلی

1- این نشریه صرفاً مقالات پژوهشی (Original Articles) منتج از پژوهش‌های نویسنده و یا نویسندگان در زمینه علوم خاک و آب را منتشر می نماید.

2- مقاله باید به زبان فارسی روان و پیراسته از غلط‌های نگارشی و نوشتاری باشد. از آوردن واژه‌های بیگانه که معادل شناخته شده فارسی دارند جداً خودداری گردد.

3- مسئولیت صحت و سقم مطالب، نظرات و عقاید مندرج در مقالات به عهده نویسندگان مقاله می‌باشد. حقوق معنوی مقالات برای نویسندگان محفوظ می‌باشد.

4- مقاله نباید در هیچ یک از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد این مسئله باید با تأیید کتبی نویسنده مسئول باشد.

• مقالاتی که مبنی بر آزمایش‌هایی است که بیش از 3 سال از خاتمه اجرای آن گذشته است از شانس کمتری برای پذیرش برخوردار خواهد بود و نویسندگان باید علت تأخیر در نوشتن مقاله را توجیه کنند

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

1- مقاله حداکثر در 15 صفحه A4 با فاصله خطوط 1/5 و حاشیه‌های 3 سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.

2- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (1) استفاده شود.

3- پیش از نقطه (.) و کاما (,) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.

4- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و از به کار بردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده‌اند، حتی الامکان پرهیز گردد.

جدول 1- نوع قلم و اندازه		
موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش‌های مقاله	Nazanin پر رنگ	12
نام مؤلفان	Nazanin پر رنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	Nazanin پر رنگ	12
عناوین جداول و اشکال	Nazanin پر رنگ	11
متن جداول و شکل‌ها و منابع	Nazanin	11
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

نویسنده(گان) موظف هستند حداکثر 15 روز پس از دریافت نظرات داوران اصلاحات لازم و یا پاسخ را ارسال نمایند. ضمناً ارسال چکیده لاتین مقاله به همراه مقاله الزامی است. ارسال نامه درخواست چاپ مقاله در نشریه پژوهش‌های خاک به همراه فرم تعهد نامه الزامی است. کلیه مقالات پس از دریافت اعلام وصول گردیده و جهت ارزیابی برای داوران مجله ارسال خواهد شد و پس از اتخاذ رأی داوران و تأیید هیئت تحریریه، مقاله در نوبت چاپ قرار خواهد گرفت

شناسنامه مقاله

مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا 300 کلمه)، واژه‌های کلیدی (Keywords)، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد.

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی) و پست الکترونیکی همه نویسندگان در صفحه چکیده ها تایپ و در قسمت فایل‌های با نام نویسنده (گان) بارگذاری نمایید و در قسمت بدون نامه نویسنده(گان) مقاله بدون نام بارگذاری گردد.

* نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل- های پیشنهاد بارگذاری نماید.

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر و مفید بوده و در برگیرنده محتوای تحقیق انجام شده باشد. عنوان مقاله نباید بیش از 20 کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد.

دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان با کلمه‌های کلیدی متفاوت باشد.

چکیده: چکیده بایستی شامل حداکثر 300 کلمه بوده و بیانگر زمینه و هدف، تحقیق روش بررسی، یافته‌ها، نتیجه‌گیری و ترجیحاً در یک پارگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه های کلیدی:

واژه های کلیدی بایستی 3-6 کلمه باشد. واژه های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه های چکیده فارسی باشد.

در انتخاب واژه‌های کلیدی از تکرار واژه‌هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید

مقدمه

باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده بوده و به بیان مسئله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق که در گذشته انجام شده پرداخته و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد شده باشد و در ادامه وجه تمایز نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتها هدف اصلی پژوهش

نگاشته شود. مقالاتی که تکراری بوده و در گذشته به کرات در داخل و خارج از ایران در مورد آن مطالعاتی انجام شده، در صورتی که وجه تمایز قانع کننده‌ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد.

مواد و روش‌ها

در این قسمت باید شرح مواد و روش‌های مورد استفاده در تحقیق، جامعه آماری، روش‌های نمونه‌گیری، اندازه‌گیری‌های آزمایشی و نحوه تجزیه و تحلیل آماری آورده شود. در صورتی که از روش‌های متداول قبلی منتشر شده استفاده شده باشد، از شرح آنها خودداری و فقط به ارائه اصول و ذکر مأخذ اکتفا شود.

نتایج

در این بخش نتایج بدست آمده از تحقیق به صورت نوشتار همراه شکل و جدول و بدون بحث بیان گردد. از بکار بردن عنوان‌هایی مانند نمودار، عکس و نقشه خودداری و کلیه آنها با عنوان " شکل " درج شوند. نتایج ارائه شده در جداول یا شکل‌ها نباید به صورت دیگری مانند منحنی و یا متن نوشتاری در مقاله تکرار گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون‌ها و متن جدول تشکیل می‌شود. یک جدول باید با خطی افقی از شماره و عنوان جدول متمایز شود. همچنین سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی رسم شود. عنوان جدول در بالای آن جدول درج و پس از کلمه جدول و شماره آن، خط تیره و سپس عنوان ذکر شود. در متن جدول تا جایی که ممکن است نباید از خطوط افقی و عمودی استفاده کرد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به کمیت آن ستون باشد. اگر همه ارقام جدول دارای یک واحد مشترک باشند، آن واحد در عنوان اصلی جدول ذکر شود. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه شوند.

در نمودارها از نشانه‌های Δ $\square$ $\bullet$ $\blacktriangle$ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمه شکل و شماره آن، نقطه و سپس عنوان ذکر شود. فایل Excel مربوط به نمودارها ارسال شود. اختصارات موجود در شکل‌ها و جداول باید در زیرنویس توضیح داده شوند. تمام اعداد متن و توضیحات جداول و شکل‌ها باید به زبان فارسی ارائه گردد. از ارسال نمودارهای رنگی جداً اجتناب نموده و از رنگ‌های سفید، سیاه و هاشورهای کاملاً متفاوت استفاده شود. اندازه فونت توضیحات محورهای نمودارها و اعداد به اندازه کافی بزرگ باشد تا در صورت کوچک کردن نیز خوانا باشد. جداول و نمودارها حتی المقدور در متن مقاله جاسازی شوند.

بحث

یافته‌های جدید و مهم باید با یافته‌های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد. از تکرار یافته‌ها خودداری شود. مروری بر مقالات گذشته در این بخش گنجانده شود. محدودیت‌های مطالعه باید مورد توجه قرار گیرد. راهکارهای جدید و فرضیه‌های جدید پیشنهاد گردد. یافته‌های جدید و یافته‌های پیش بینی شده مقایسه شود. در پایان باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد.

تشکر و قدردانی

در این بخش نویسنده (گان) می‌توانند از اشخاص، سازمان‌ها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته‌اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود 50 کلمه باشد.

فهرست منابع

شیوه ارجاع در تمام متن مقاله بایستی به صورتی باشد که منبع مورد ارجاع در پایان جمله در داخل پرانتز به فارسی برای منابع انگلیسی و فارسی ارائه شود. برای منابع دارای دو نویسنده، نام هر دو نویسنده و منابعی که بیش از دو نویسنده دارند، نخست نام نفر اول و سپس " همکاران " و تاریخ بیان شود. مثال:

..... نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی ، 1389)

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، 2010)

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف a، b و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اول نام اولین نویسنده و سپس اول نام نویسندگان بعدی و پس از آن نام خانوادگی آن‌ها ذکر شود.

در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود.

چنانچه منبع ترجمه شده باشد، در فهرست منابع باید نخست نام نویسنده (گان) کتاب اصلی، عنوان مشخصات آن (به زبان انگلیسی) و سپس نام مترجم (مترجمان) ذکر شود.

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

Brennan, E.W., and W.L. Lindsay. 1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:930-937.

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

Hanbury, A. 2002. The taming of the hue, saturation and brightness colour Space, 7th Computer Vision Winter Workshop, February 2002, Bad Aussee, Austria.

مطلب از کتاب

Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibrium in soils*. John Wiley & Sons, New York.

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

Logsdon, S.D., and D.A. Laird. 2003. Ranges of bound water properties associated with a smectite clay. p. 101-108. In *Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substance*. Proc. of Conf., Rotorua, New Zealand. 23-26 Mar. 2003. Industrial Research, Auckland, New Zealand.

ذکر مطلب از نویسنده ای در یک کتاب که نام ویراستاران روی جلد آن است

Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403-427. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

ذکر مطلب از اینترنت

Soil Survey Staff. 2004. NRCS soils [Online]. Available at <http://soils.usda.gov> [verified 23 Mar. 2005]. USDA-NRCS, Washington, DC.

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

بای بوردی و همکاران (1382) گزارش کردند...

اسمیت (2002) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (2002) گزارش کردند...

- در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

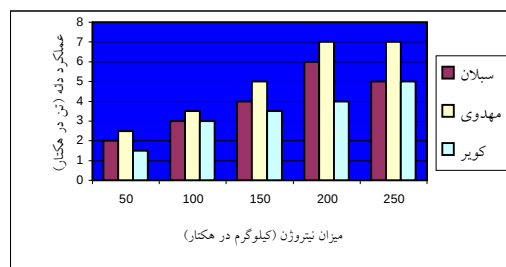
جدول نامناسب

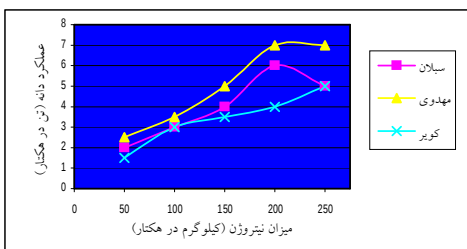
بافت	Mge xch	Kavail .	Pava il	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m- 1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/2	0-30
لومی رسی	305	295	0/6	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	332	0/5	0/21	33	9/5	7/8	60-90

جدول مناسب

بافت	Mg _{ex}	K _{av}	P _{av}	OC (%)	TNV (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	عمق (cm)
	(mg.kg ⁻¹)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/3	0-30
لومی رسی	305	295	1/60	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	232	1/50	0/21	33	9/5	7/8	60-90

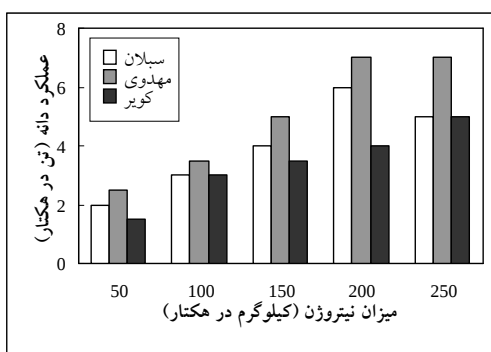
نامناسب



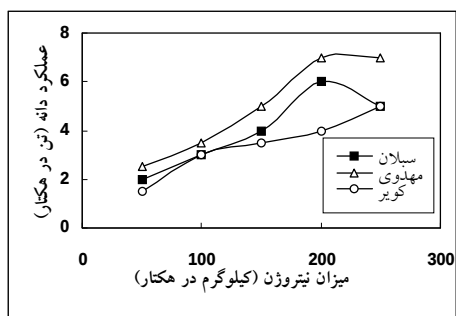


مناسب

نامناسب



مناسب



نشریه پژوهش‌های خاک

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

1. کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر مجله شما آگاهند
2. مقاله قبلاً در هیچ مجله داخلی و خارجی منتشر نشده است
3. مقاله تا زمان پایان بررسی در آن مجله به مجله دیگری ارسال نخواهد شد.
4. هیچگونه تغییری در تعداد نویسندگان یا ترتیب ذکر اسامی انجام نخواهد شد.

نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

داوران مقالات واصله به دفتر نشریه پژوهش‌های خاک سه ماه سوم سال 1401

دکتر حجت امامی	1 مقاله	دکتر منصور معیری	2 مقاله
دکتر کامبیز بازرگان	1 مقاله	دکتر فرهاد مشیری	4 مقاله
دکتر مجید بصیرت	1 مقاله	دکتر مهدی نجفی قیری	2 مقاله
دکتر احمد بای بوردی	1 مقاله	دکتر محمد حسین مهدیان	1 مقاله
دکتر حسین بشارتی	1 مقاله	دکتر عزیز مجیدی	1 مقاله
دکتر علی چراتی	1 مقاله	دکتر فاطمه مسکینی ویشکایی	1 مقاله
دکتر محمدرضا چاکرالحسینی	1 مقاله	دکتر نصرت اله نجفی	1 مقاله
دکتر ناصر دوات گر	1 مقاله	دکتر حبیب اله نادیان	1 مقاله
دکتر محمد حسین داوودی	2 مقاله		
دکتر فرهاد رجالی	2 مقاله		
دکتر محسن سیل‌سپور	1 مقاله		
دکتر کریم شهبازی	2 مقاله		
دکتر حسین شیرانی	1 مقاله		
دکتر عبدالحسین ضیائی‌ان	2 مقاله		
دکتر سید علی اکبر موسوی	1 مقاله		
دکتر سید ماشاله حسینی	1 مقاله		
دکتر محمدرضا مصدقی	2 مقاله		

تأثیر مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا

محمدعلی خودشناس¹، جواد قدبیک لو و فریدون نورقلی پور

عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اراک، ایران؛ khodshenasm@gmail.com

عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اراک، ایران؛ ghadbykloo@gmail.com

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ nourfg@yahoo.com

ص 225 - 241

دریافت: 1401/2/28 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

تنش‌های محیطی باعث کاهش عملکرد و تولید گیاهان می‌شوند. مواد محرک رشد می‌توانند به افزایش کارایی گیاه و مقاومت به تنش‌های غیر زیستی کمک نمایند. به این منظور، تأثیر چند نوع از مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا (*Brassica napus L.*) بررسی شد. طرح آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار از سال 1398 تا 1400 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک انجام شد. متغیر اصلی، تاریخ کاشت (شهریور و مهر) و متغیر فرعی تیمارهای محرک رشد شامل اسید آمینه، فولویک اسید، عصاره جلبک دریایی، هیومیک اسید، ترکیب آن‌ها و تیمار شاهد بود. نتایج نشان داد که اثر محرک‌های رشد بر صفات عملکرد دانه، غلظت فسفر و تعداد دانه در خورجین، سطح برگ و غلظت پتاسیم معنی‌دار بود. یافته‌های آزمایش نشان داد که در شرایط مشابه این تحقیق، مصرف مواد محرک رشد به صورت بذرمال و محلول‌پاشی در مراحل شش برگی و انتهای رزت قابل توصیه است. مصرف خاکی هیومیک اسید در مراحل جوانه‌زنی و شش برگی مؤثر بود. تاریخ کشت شهریور مناسب‌تر از مهر بود. کاربرد مواد محرک رشد بر روی عملکرد دانه، در تاریخ کاشت شهریور، دارای اثری مثبت و مشابه بود، اما در تاریخ کاشت مهرماه که گیاهان در معرض تنش سرما قرار داشتند، مؤثرتر ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: تغذیه کلزا، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی، اسید آمینه، اسید فولویک

¹ نویسنده مسئول، آدرس: اراک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی.

مقدمه

به دلیل رشد جمعیت، مصرف سرانه روغن در ایران طی سال‌های اخیر افزایش یافته است این در حالی است که فقط کمتر از ده درصد روغن در داخل کشور تولید می‌شود از این رو کشت گیاهان روغنی از جمله کلزا (*Brassica napus* L.) در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. سطح زیر کشت کلزا در کشور 183400 هکتار با متوسط عملکرد 1774 کیلوگرم در هکتار می‌باشد (احمدی و همکاران، 1400؛ دهشیری، 1378).

مواد محرک رشد به روش‌های مختلفی سبب افزایش رشد و توسعه گیاه طی چرخه رشد از جوانه‌زنی بذر تا بلوغ، می‌شوند. این روش‌ها شامل افزایش کارایی متابولیسم گیاه در راستای بهبود عملکرد و کیفیت محصول، افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیر زنده، تسهیل جذب، انتقال و استفاده از عناصر غذایی، افزایش کارایی مصرف آب، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد ریز جانداران خاک هستند. آن‌ها معمولاً همراه با کودهای رایج به گیاه داده می‌شوند تا کارایی مصرف کود را افزایش دهند ولی با کودها تفاوت دارند زیرا بر متابولیسم گیاه اثر گذاشته و میزان عناصر غذایی در آن‌ها ناچیز است (هکمن، 1994). در این راستا علاوه بر تغذیه مناسب، استفاده از محرک‌های رشد، سبب بالا بردن تحمل گیاه شده و با افزایش عملکرد روغن تولیدی از لحاظ اقتصادی کمک شایان توجهی به اقتصاد کشور از طریق کاهش واردات روغن می‌نماید.

تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، شوری و سرما عملکرد بسیاری از گیاهان را کاهش داده و تولیدات گیاهی را محدود می‌کنند (فیشر و مورر، 1978). سرمازدگی پدیده‌ای است که در درجه حرارت‌های پائین سبب ایجاد خسارت و یا از بین رفتن اندام‌های گیاهی می‌شود. این عارضه در فصل پاییز، زمستان و یا اوایل بهار حادث می‌شود و هرساله خسارت‌های زیادی بر جای می‌گذارد (روسبیل و هامبلین، 1981).

کلزا در پاییز به تدریج سازگاری خود را با سرما افزایش می‌دهد. رکود زمستانه کلزا از درجه حرارت روزانه زیر 2 درجه سانتی گراد شروع و در بهار وقتی که دما به 5 درجه سانتی گراد می‌رسد پایان می‌یابد. مقاومت ارقام به سرمازدگی به مرحله رشد و نمو، و درجه سازگاری بستگی دارد. کلزا می‌تواند سرمای 15- تا 20- درجه سانتی گراد را در مرحله رزت به همراه پوشش برف تحمل کند. استفاده از محرک‌های زیستی برای مقابله با سرمازدگی در تنظیم رشد و تولید محصول حائز اهمیت است (بوربولیس و همکاران، 2008؛ فرناندز، 1992 و بهرام علیزاده و همکاران، 1394).

سرما باعث اثرات ثانویه‌ای مانند تنش‌های اکسایشی می‌شود و باعث تجمع گونه‌های احیایی اکسیژن مانند سوپر اکسید (O_2^-), پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) می‌شوند. این گونه‌های احیایی اکسیژن باعث تخریب اسیدهای نوکلئیک، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها شده و باعث بروز سیگنال‌های سلولی غیر معمول می‌شوند و مجموعه این عوامل خسارت تنش را تشدید می‌کنند اما گیاهان در این شرایط شروع به تجمع متابولیت‌ها می‌نمایند که از این بین آمینواسیدهایی نظیر پرولین و کربوهیدرات‌ها نقش مهمی دارد (باتس و همکاران، 1973؛ حیات و همکاران، 2012 و لیسلاو و همکاران 2015). سرمای تدریجی از طریق فعال‌سازی سیستم آنتی اکسیدانت تحمل کلزا به سرما را افزایش می‌دهد (مارکوساکا، 2012). فهمی راد و همکاران (2013) در مطالعه دو رقم کلزا نشان دادند که سوپر اکسید دیسموتاز، پرواکسیداز، کاتالاز و اسکوربیت اکسیداز در رقم متحمل به سرما بالاتر است.

برای بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و کاهش آلودگی زیست محیطی، ترکیبات مختلفی که توانایی تقویت رشد و توسعه گیاهان را از طریق محلول‌پاشی یا مصرف خاکی دارا هستند، مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات تحت عناوینی مانند

کارازینازها و محصولات تجزیه آن‌ها از اجزاء مهم این مواد هستند که بر فیزیولوژی گیاه تأثیر دارند.

هیومیک اسید یکی دیگر از مواد محرک رشد گیاهی است (غفاری نژاد و همکاران، 1399). استفاده از هیومیک اسید در خاک با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، حفظ بیشتر رطوبت خاک و رنگ تیره‌ای که به خاک می‌دهد، در کاهش خسارت سرما مؤثر است. محلول‌پاشی هیومیک اسید می‌تواند از طریق افزایش مواد آلی محلول از قبیل قندها و پروتئین‌ها در سلول‌ها مقاومت، آن‌ها را در برابر سرمازدگی افزایش دهد (ترنزیو، 2015).

نوع دیگری از مواد محرک رشد گیاهی اسید فولیک است. محلول‌پاشی گیاه گندم با اسید فولیک، قبل از مواجهه با تنش خشکی، عملکرد را به 21 درصد میزان گیاه بدون تنش رساند (خودان، 1986). در بررسی انجام‌گرفته در شرایط مزرعه بر روی گیاه فلفل در ایران، کاربرد فولیک اسید به صورت کودآبیاری، تأثیری بر عملکرد نداشت ولی بر کیفیت میوه از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانت، کل مواد جامد قابل حل، مقدار کل فنولیک‌ها، کربوهیدرات‌ها، کاپسایسین و کاروتینوئیدها مؤثر بود (امینی فرد و همکاران، 2012).

اسیدهای آمینه که نوع دیگری از مواد محرک رشد گیاهی هستند توانایی انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌ها را افزایش داده و از طریق فعال نمودن هورمون‌ها و سرانجام اسیدی شدن دیواره سلولی از شکستن، یخ‌زدگی و سرمازدگی جلوگیری کرده و ضمن دخالت در متابولیسم و سازوکارهای گیاهان در ایجاد مقاومت گیاهان نقش اساسی دارند (غفاری نژاد و همکاران، 1399). گاولین و همکاران (2014 و 2012) دو نوع اسید آمینه را روی 4 رقم کلزا در مرحله 4 تا 5 برگی آزمایش کرده و ملاحظه نمودند تشکیل برگ، ضخامت ریشه اصلی، غلظت پرولین، گلوکز و ساکاروز در اندام‌های مورد آزمایش افزایش یافته است. آنان همچنین عنوان نمودند که خصوصیات ژنتیکی و متابولیسم گونه‌ها در تحمل به سرما نقش اساسی دارد (چن و همکاران، 2011 و

تنظیم‌کننده‌های مثبت رشد، تقویت‌کننده متابولیسم و یا به‌طور کلی محرک‌های رشد گیاهی شناخته می‌شوند. محرک رشد گیاه، هر ماده یا ریز جاندار است که به منظور افزایش راندمان تغذیه، تحمل به تنش غیرزیستی و یا کیفیت محصول، صرف نظر از محتوای عناصر غذایی آن، به گیاهان داده می‌شود (دوجاردین و همکاران، 2015؛ بکت و استادن، 1990).

عصاره جلبک‌های دریایی که یکی از مواد محرک رشد محسوب می‌شوند دارای ترکیبات بتئین هستند که به عنوان ترکیبات نیتروژن دار حد واسط در مقاومت به تنش‌های گیاهی نقش دارند (بلوندن و همکاران، 1986). همچنین یکی از آنزیم‌های مهم در مقابله با تنش اکسایشی، سوپر اکسید دیسموتاز است که عصاره جلبک دریایی باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود، همچنین جلبک دریایی در روابط آبی گیاه هم نقش اساسی دارد. تأثیر عصاره جلبک دریایی و ترکیبات هوموسی در مقاومت به سرما به علت وجود هورمون سیتوکینین در این مواد است (ژنگ و اروین، 2008).

عصاره جلبک دریایی باعث افزایش جذب پتاسیم می‌شود که در مقاومت به تنش نقش دارد (خان و همکاران، 2009). کروچ و همکاران (1990) گزارش کردند مصرف عصاره جلبک دریایی باعث افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی کلسیم، پتاسیم و منیزیم در برگ‌های کاهویی که عناصر غذایی کافی دریافت کرده بود شد ولی تأثیر معنی‌دار بر غلظت عناصر غذایی در کاهوی متأثر از تنش کمبود عناصر غذایی نداشت. آن‌ها پیشنهاد کردند که ممکن است افزایش غلظت عناصر غذایی در شرایط فراوانی آن‌ها در محیط ریشه به دلیل وجود ترکیبات هورمونی در جلبک و نقش آن‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی باشد. ویلسون (2001) عنوان نمود که عصاره جلبک دریایی، پتانسیل آب برگ را به عنوان شاخص کلیدی در مقاومت اسمزی حدود 4 درصد کاهش داد. پلی ساکاریدها و اولیگوساکاریدها، لامینارین، آلژینات‌ها و

اقلیمی می تواند که از کاهش عملکرد و تولید محصولات جلوگیری نماید. با توجه به کمبود اطلاعات در خصوص تأثیر نوع و روش مصرف مواد محرک رشد بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه کلزا این پژوهش¹ انجام شد.

روش تحقیق

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در سال 1398 تا 1400 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک اجرا شد. فاکتور اصلی، تاریخ کاشت و فاکتورهای فرعی تیمار محرک رشد به صورت زیر (جدول 1) بود.

در این تحقیق از بین مواد محرک رشد گیاهی موجود در کشور که دارای تایید ثبت کود بودند نمونه هایی به صورت کد به آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب ارسال و موادی که دارای بیشترین غلظت ماده موثره بودند انتخاب گردید بر اساس تجزیه آزمایشگاهی ماده محرک رشد اسید فولویک شامل 22/1 درصد اسید فولویک، 51/6 درصد کربن آلی، 0/13 درصد پتاسیم محلول و 0/52 درصد نیتروژن کل، ماده محرک رشد اسید آمینه شامل 36/8 درصد اسید آمینه، 24/6 درصد کربن آلی و 16/7 درصد نیتروژن کل و ماده محرک رشد اسید هیومیک شامل 52/95 درصد اسید هیومیک، 2/9 درصد اسید فولویک، 4/9 درصد پتاسیم محلول و 1/06 درصد نیتروژن کل و ماده محرک رشد جلبک دریایی با 20 درصد ماده آلی، 10 درصد آلژینیک اسید، 17 درصد پتاسیم، 0/2 درصد فسفر و 0/7 درصد نیتروژن به عنوان مواد محرک رشد استفاده شد.

چینوسامی، 2007). گاولین و همکاران (2015) با کاربرد چهار نوع اسید آمینه آزاد در گیاهان کلزا و گندم و دمای 1-، 3-، 5- و 7- درجه سانتی گراد نتیجه گرفتند که گیاهان تیمار شده به دمای 5- درجه سانتی گراد مقاومت نشان دادند. همچنین ارقامی که زودتر به مرحله روزت رفته اند بهتر سرما را تحمل کرده اند (سردانا و همکاران، 2009؛ ولدیان و تاجبخش، 2007).

یوان یوان و همکاران (2009) در تحقیقی عنوان نمودند که تجمع قندهای محلول از سلول های گیاهی به واسطه تشدید فشار اسمزی، تغلیظ مواد غذایی سلول و چربی های لایه ای از سرمازدگی محافظت می نمایند. در طی مرحله تجمع سازی، پتاسیم و قند در سلول ذخیره شده و باعث کاهش نقطه انجماد سلول و افزایش فشار درونی آن می شود بنابراین کریستالهای یخ تنها در خارج سلول تشکیل می گردند (وان سوتنر، 2012). جذب اسیدهای آمینه نشان دار توسط ریشه ها، توانایی گیاهان در مصرف مستقیم ترکیبات آلی نیتروژن دار را نشان داد. این موضوع در مناطقی مانند نواحی خیلی سرد و شوره زارها که اسیدهای آمینه یکی از منابع عمده نیتروژن خاک هستند اهمیت زیادی دارد.

طهرانی (1394) عنوان کرد کاربرد این مواد برای کاهش عوارض سرمازدگی پس از وقوع تنش مؤثر تر هستند. استفاده گیاه از متابولیت های آماده باعث بهبود باز توانی فرایندهای فیزیولوژیکی می گردد.

خان و همکاران (2009) در مقاله ای تحلیلی کاربرد محرک های رشد گیاهی را در کشاورزی پایدار بررسی نمودند. آن ها ترکیب شیمیایی، نحوه عمل، اثر آن ها را بر سلامت خاک (ساختمان خاک و ظرفیت نگهداشت رطوبت، جمعیت بیولوژیکی خاک) و رشد گیاه و سلامت آن (رشد ریشه و جذب عناصر، رشد اندام هوایی و فتوسنتز، عملکرد گیاه، مقاومت به تنش های محیطی) را جمع بندی نموده و توصیه نمودند که استفاده از این محرک های رشد برای مقابله با افزایش تنش های زنده و غیر زنده در قرن 21 و به دلیل وقوع تغییرات

¹ این مقاله از نتایج پروژه ملی اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش تنش سرما و بهبود کیفیت گیاه کلزا موسسه تحقیقات خاک و آب مستخرج گردیده است.

جدول 1- مراحل مصرف تیمارهای مواد محرک رشد

تیمارها	قبل از کاشت	جوانه‌زنی	شروع شش برگی	خروج از رزت
اسید آمینه	بذر مال*	-	محلول پاشی**	محلول پاشی
عصاره جلبک	بذر مال	-	محلول پاشی	محلول پاشی
اسید هیومیک	بذر مال	مصرف خاکی***	مصرف خاکی	-
اسید فولویک	بذر مال	-	محلول پاشی	محلول پاشی
ترکیبی****	بذر مال	مصرف خاکی	محلول پاشی، (هیومیک اسید به صورت خاکی)	محلول پاشی، (هیومیک اسید به صورت خاکی)
شاهد	-	-	-	-

* یک گرم از ماده محرک رشد در 100 میلی لیتر آب حل شده و برای بذر مال یک کیلوگرم بذر به کار رفت.

** غلظت 5 در هزار برای محلول پاشی استفاده شد.

*** 5 کیلوگرم در هکتار به صورت خاکی مصرف شد.

**** به نسبت مساوی از مواد محرک رشد مخلوط نموده و با غلظت 5 در هزار برای محلول پاشی استفاده شد.

کلزا رقم اکاپی کشت شد. برای آبیاری از سیستم آبیاری تیپ به صورت یک خط نوار تیپ بر روی هر کدام از پشته‌ها و وسط دو خط کاشت استفاده شد.

نمونه گیاه در هر کرت در مرحله خروج از روزت (2 روز پس از محلول پاشی محرک رشد) برداشت و سپس سطح برگ و وزن خشک 5 بوته اندازه‌گیری شد. غلظت و جذب عنصر نیتروژن به روش هضم تر، و عناصر فسفر و پتاسیم با روش هضم خشک در نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری گردید. در انتهای فصل رشد صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. نتایج با نرم افزارهای آماری SAS و Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در هر دو سال اجرای آزمایش، تاریخ کاشت اول 27 شهریور و تاریخ کاشت دوم 15 مهرماه بود. یک نمونه مرکب خاک جهت تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی از عمق 0 تا 30 سانتیمتر برداشت و مورد تجزیه‌های آزمایشگاهی قرار گرفت که نتایج آن در جدول 2 نشان داده شده است. با استفاده از این نتایج کودهای شیمیایی شامل فسفر، پتاسیم در هنگام آماده‌سازی زمین و نیتروژن به صورت تقسیطی و سایر عناصر کم مصرف به صورت محلول پاشی بر اساس دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه کلزا (مشیری و همکاران، 1393)، مصرف گردید. طول هر کدام از کرت‌ها در این آزمایش 6 متر و عرض آن‌ها 2/4 متر بود و از پشته‌های 60 سانتیمتری برای کشت کلزا (چهار خط برای هر کرت) استفاده شد و روی هر پشته دو ردیف

جدول 2- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قطعات آزمایش

مشخصات نمونه	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اشباع	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	بور	روی	منگنز	مس	بافت
				درصد									
ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک	7/8	1/2	34	20	0/4	9	270	4/1	0/9	1/8	11/3	0/97	لوم سیلتی رسی

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش (جدول 2) نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی این خاک، 1/2 دسی زیمنس بر متر و فاقد شوری می‌باشد. وضعیت فیزیکی خاک با دارا بودن بافت لوم سیلتی رسی و درصد اشباع 34 درصد مطلوب است. نفوذپذیری مطلوب آب، تهویه خاک و رشد بهینه ریشه تابعی از وضعیت فیزیکی است (مندهام و همکاران، 1990). کربنات کلسیم خاک که عامل اصلی تعیین اسیدیته خاک بوده و بر خصوصیات

شیمیایی محیط ریشه از جمله قابلیت استفاده عناصر غذایی به طور مستقیم اثرگذار است 20 درصد بود. تمایل به شرایط قلیایی (اسیدیته 7/8) ناشی از مقدار بالای کربنات کلسیم خاک می‌باشد. کربن آلی این خاک 0/4 درصد است که از نظر ماده آلی فقیر محسوب می‌شود. فسفر و آهن قابل استفاده با 9 و 4/1 میلی‌گرم در کیلوگرم از حد بحرانی پایین‌تر و دارای کمبود است. مقادیر سایر عناصر غذایی خاک بالاتر از میزان کفایت بود. مقادیر مطلوب عناصر غذایی در خاک برای گیاه کلزا در جدول 3 آورده شده است (نورقلی پور، 1393).

جدول 3- حد بحرانی عناصر غذایی در خاک‌های زیر کشت کلزا

فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	بور
(میلی‌گرم در کیلوگرم)						
15	200	5	1	5	0/8	0/8

جدول 4- تجزیه واریانس مرکب اثر مواد محرک رشد بر صفات اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
دانه در خورجین	خورجین	وزن هزار دانه	وزن ماده خشک	ارتفاع	عملکرد دانه		
47/94	24/5	16/72	48/4	4521/3 **	105188	1	سال
122/6 **	10272	0/13	299/8	6222/1 **	3027440	1	تاریخ کاشت
0/018	3784/5 *	0/76	481/3 *	1173/5 *	1298735	1	سال*تاریخ کاشت
23/2 *	1287	0/09	25/7	60/5	1905083 *	5	محرک رشد
2/23	307/2	0/11	19/8	119/2	212656	5	سال*محرک رشد
0/54	425/9	0/22	33/3	74/4	289433	5	تاریخ کاشت *
5/43	377/1	0/08	22/8	49/1	326640	5	محرک رشد
5/8	351	0/28	26/9	71/7	339103	40	سال*تاریخ کاشت*
9/4	13/5	19/4	14/3	6	17/9	-	باقیمانده
							ضرب تغییرات

*, ** به ترتیب در سطح 5 و 1 درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

ادامه جدول 4- تجزیه واریانس مرکب اثر مواد محرک رشد بر صفات اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
پتاسیم	فسفر	نیتروژن	سطح برگ		
0/003	5/55	0/76	186/9	1	سال
0/247	0/008	2/2 **	10550/6	1	تاریخ کاشت
0/028	0/0002	0/07	760/5	1	سال*تاریخ کاشت
0/240 **	0/003 *	0/55	1229/2 **	5	محرک رشد
0/007	0/0003	0/14	7/7	5	سال*محرک رشد
0/09 **	0/0006	0/14	5738/8 **	5	تاریخ کاشت*محرک رشد
0/003	0/0001	0/06	9/2	5	سال*تاریخ کاشت*محرک رشد
0/13	0/001	0/4	1154	40	باقیمانده
17/3	11/2	15	12/2	-	ضریب تغییرات

*, ** به ترتیب در سطح 5 و 1 درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

اثر سال

یکی از مهم‌ترین متغیرها در آزمایشات مزرعه‌ای و تکرار شونده اثر تغییرات اقلیمی شامل مقدار بارش و نوسانات دما است (شوبرت و منگل، 1989؛ امام و نیک نژاد، 1383). در شکل 1 مقایسه خصوصیات هواشناسی در دو سال نشان داده شده است. مجموع بارش سال اول 545 و سال دوم 496 میلی‌متر بود. این مقادیر از میانگین بارش سالیانه دراز مدت منطقه بالاتر است. پاییز و بهار در سال اول و زمستان سال دوم از نظر بارش بهتر بودند. بر اساس شکل 1 بارش بین ماه‌های مهر تا بهمن در سال اول بیشتر بود که چون مراحل اولیه رشد طی این مدت انجام می‌شود بنابراین کشت سال اول به دلیل بالاتر بودن رطوبت نسبی هوا جهت استقرار از وضعیت بهتری نسبت به سال دوم برخوردار بوده است. ماه‌های اسفند و فروردین در دو سال از افزایش بارش نسبت به ماه‌های قبل برخوردار بودند که مقدار بارش سال دوم بیشتر بود. این ماه‌ها برای تکمیل رشد پنجه‌ها و رشد رویشی و زایشی از اهمیت بالایی برخوردار است. حداقل دمای زیر صفر در سال اول مربوط به سه ماه زمستان و در سال دوم از آذر تا بهمن اتفاق افتاد (شکل 1). مقدار حداقل دما در

ماه‌های دی، بهمن در سال دوم پایین‌تر از سال اول بود. تغییرات حداقل دما که معمولاً منجر به خسارت سرمازدگی می‌گردد در سال دوم بیشتر از سال اول بود. مارکوسا و همکاران (2012) عنوان نمود که سرمای تدریجی از طریق فعال‌سازی سیستم آنتی اکسیدانت تحمل کلزا به سرما را افزایش می‌دهد، بنابراین مدل تغییرات دما در سال اول برای سازگاری گیاه به سرمازدگی مناسب‌تر از سال دوم بود. بالا بودن رطوبت هوا بر اثر بارش‌های مناسب نیز امکان بروز سرمازدگی را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد بنابراین خسارت قابل توجهی در دو سال مشاهده نگردید. بر اساس تجزیه واریانس (جدول 4) اثر سال بر روی ارتفاع بوته در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. برهمکنش اثر سال و تاریخ کاشت بر وزن ماده خشک و تعداد خورجین در سطح 5 درصد معنی‌دار گردید. بروز تفاوت در ویژگی‌های رشد گیاه در سال‌های مختلف تحت تأثیر شرایط متفاوت اقلیمی و تاریخ کاشت توسط مندهام و همکاران (1990) و روبرتسون و همکاران (2004) و احتشامی و همکاران (1391) گزارش گردید که با یافته‌های این تحقیق تطابق دارد.

جدول 5- نتایج دو ساله مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده کلزا

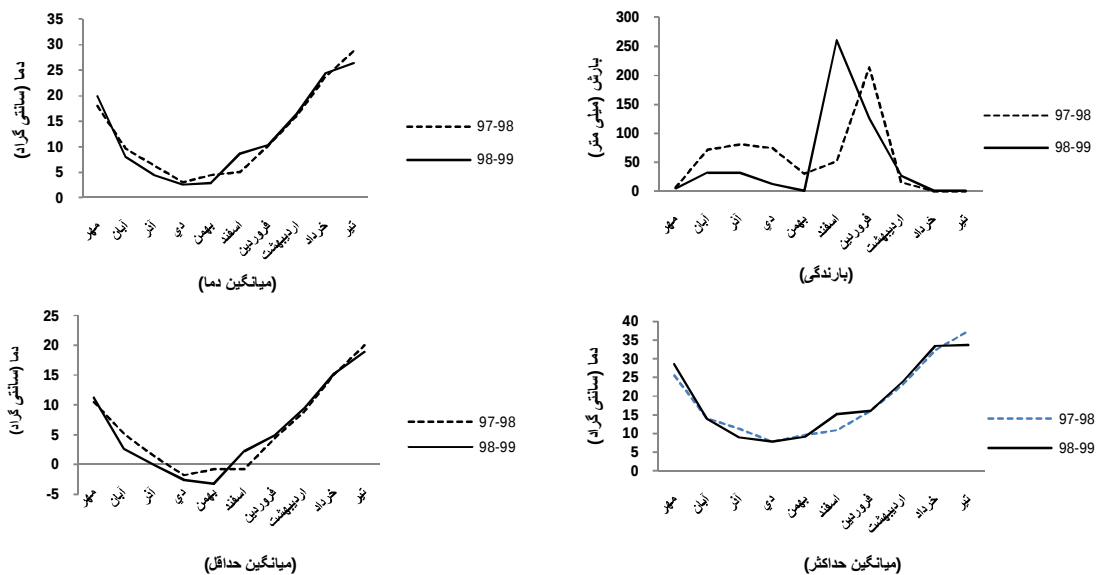
مقادیر فسفر	وزن هزار دانه (گرم)		وزن ماده خشک (گرم در 5 بوته)		خورجین (تعداد)		ارتفاع بوته (سانتیمتر)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		سطح برگ (سانتی متر مربع)	
	شهر یور	مهر	میانگی ن	شهر یور	مهر	شهر یور	مهر	میانگین	شهر یور	مهر	میانگین	مهر
اسید آمینه	2/56 ^a	2/58 ^a	2/57 ^A	20/5 ^a	22/1 ^a	21/3 ^a	117 ^d	147/5 ^{abcd}	132/2 ^A	149/9 ^{ab}	135/2 ^{bc}	142/5 ^A
عصاره جلبک	2/92 ^a	2/35 ^a	2/31 ^A	25/3 ^a	21/2 ^a	23/3 ^a	163/5 ^{ab}	128/7 ^{bcd}	146/1 ^A	155/4 ^a	130/9 ^c	143/2 ^A
اسید هیومیک	2/62 ^a	2/32 ^a	2/47 ^A	25/1 ^a	17/8 ^a	21/5 ^a	159/5 ^{abc}	132/7 ^{abcd}	146/1 ^A	145/2 ^{abc}	132/8 ^c	138/9 ^A
اسید فولویک	2/67 ^a	2/42 ^a	2/54 ^A	23/4 ^a	18/77 ^a	21/1 ^a	135/8 ^{abcd}	126/7 ^{cd}	131/2 ^A	150/3 ^{ab}	128/7 ^c	139/5 ^A
ترکیبی	2/71 ^a	2/33 ^a	2/52 ^A	25/8 ^a	18/3 ^a	22/1 ^a	167/7 ^a	134/3 ^{abcd}	151/0 ^A	152/7 ^a	129/9 ^c	141/3 ^A
شاهد	2/35 ^a	2/68 ^a	2/51 ^A	20/2 ^a	17/4 ^a	18/8 ^a	129/7 ^{bcd}	121/0 ^d	125/3 ^A	145/2 ^{abc}	129/5 ^c	137/3 ^A
میانگین	2/53 ^A	2/45 ^A		19/3 ^A 23/4 ^A			267 ^A	266 ^A	149/7 ^A	131/2 ^B	3458/0 ^A	3047/9

* اعدادی که با حروف مشترک نشان داده شده اند از نظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

ادامه جدول 5- نتایج دو ساله مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده کلزا

مقادیر فسفر	غلظت پتاسیم دانه			دانه در خورجین			غلظت فسفر دانه			غلظت نیتروژن دانه			کلروفیل	
	(درصد)			(تعداد)			(درصد)			(درصد)			(Spad)	
	میانگین	مهر	شهر یور	میانگین	مهر	شهر یور	میانگین	مهر	شهر یور	میانگین	مهر	شهر یور	میانگین	مهر
اسید آمینه	2/2 ^a	2/1 ^a	2/17 ^A	26/9 ^{ab}	24/42 ^{abc}	25/7 ^A	0/33 ^a	0/30 ^a	0/31 ^A	4/7 ^a	4/2 ^a	4/44 ^A	52/0 ^a	52/2 ^a
عصاره جلبک	2/0 ^a	1/9 ^a	2/00 ^A	28/82 ^a	25/86 ^{abc}	27/3 ^A	0/30 ^a	0/27 ^a	0/31 ^A	4/3 ^a	4/0 ^a	4/15 ^A	54/7 ^a	52/5 ^a
اسید هیومیک	2/4 ^a	2/3 ^a	2/33 ^A	27/72 ^{ab}	25/56 ^{abc}	26/6 ^A	0/30 ^a	0/27 ^a	0/28 ^A	3/9 ^a	3/8 ^a	3/85 ^A	53/2 ^a	53/3 ^a
اسید فولویک	1/9 ^a	2/0 ^a	1/93 ^A	25/99 ^{abc}	23/53 ^{bc}	24/7 ^A	0/32 ^a	0/32 ^a	0/32 ^A	4/0 ^a	3/8 ^a	3/91 ^A	54/1 ^a	52/9 ^a
ترکیبی	2/1 ^a	2/2 ^a	2/17 ^A	26/3 ^{abc}	23/53 ^{bc}	25/2 ^A	0/31 ^a	0/29 ^a	0/30 ^A	4/5 ^a	3/9 ^a	4/18 ^A	53/9 ^a	53/4 ^a
شاهد	2/3 ^a	2/0 ^a	2/14 ^A	25/06 ^{abc}	21/8 ^c	23/4 ^A	0/30 ^a	0/27 ^a	0/28 ^A	4/2 ^a	3/8 ^a	4/05 ^A	54/2 ^a	53/1 ^a
میانگین	2/18 ^A	2/06 ^A		26/81 ^A	24/02 ^A		0/31 ^A	0/29 ^A		4/27 ^A	3/92 ^A		53/7 ^A	52/9 ^A

*اعدادی که با حروف مشترک نشان داده شده اند از نظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.



شکل 1- مقایسه آمار هواشناسی اراک در دوره آزمایش در سالهای 98-1397 و 99-1398

اثر تاریخ کاشت

نتایج مقایسه میانگین (جدول 5) نشان داد که ارتفاع گیاه در تاریخ کاشت شهریور به طور معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت مهر بود. حداکثر ارتفاع، از تیمار عصاره جلبک در تاریخ کشت اول (155/4 سانتی متر) و تیمار اسید آمینه در تاریخ کشت دوم (135/2 سانتی متر) به دست آمد. در هر تاریخ کاشت تفاوت آماری معنی‌داری بین اثر مواد محرک رشد بر ویژگی ارتفاع دیده نمی‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت که کاربرد مواد محرک رشد روی ارتفاع کلزا تأثیری نداشته است. نتایج آزمایش راهنما (1389) در خوزستان با دو رقم کلزا نشان داد که تأخیر در کاشت کلزا سبب کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد، درصد جوانه‌زنی، طول دوره گل‌دهی و رسیدگی، ارتفاع ساقه و افزایش معنی‌دار فاصله زمانی کاشت تا سبز شدن گردید. بین تاریخ کاشت با عملکرد و اجزای عملکرد کلزا همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بخشنده و همکاران (1395) در تحقیقی در خوزستان عنوان نمودند که ارتفاع کلزا در شرایط بهینه دما

زمان مناسب کاشت کلزا در نواحی سردسیر از اهمیت زیادی در رشد و عملکرد مناسب این محصول برخوردار است. اکثر خسارت تنش سرمای پاییز و زمستان ناشی از تأخیر کاشت در زمان مناسب است. نتایج تجزیه واریانس (جدول 4) نشان داد که اثر تاریخ کشت بر ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع، دانه در خورجین و غلظت نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بود. تاریخ کاشت تأثیر بسیار زیادی بر صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و عملکرد ارقام کلزا دارد. تغییر در تاریخ کاشت کلزا باعث می‌شود که مراحل نمو گیاه با عوامل محیطی متفاوتی مواجه شود که این عوامل بر تولید این گیاه موثر است. تأخیر در کاشت، به دلیل افزایش دما در مرحله گرده‌افشانی، موجب عقیمی گلچه‌ها شده و بر تلقیح اثر می‌گذارد و فرآیند گلدهی در اثر دمای زیاد، تسریع و کوتاه شده و در نهایت منجر به افت عملکرد می‌شود (احتشامی و همکاران، 1391).

از 133/5 سانتی‌متر به 96 سانتی‌متر در شرایط تأخیر در کاشت کاهش یافت.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارها (جدول 5) نشان داد که حداکثر تعداد دانه درخورجین در تاریخ کاشت شهریور بیشتر از تاریخ کاشت مهر بود. حداکثر تعداد از تیمار عصاره جلبک در دو تاریخ کشت به دست آمد. در دو تاریخ کشت بین تیمارها تفاوت معنی‌دار دیده نشد. حداقل تعداد دانه در خورجین در هر دو تاریخ کشت مربوط به تیمار شاهد بود. احتشامی و همکاران (1391) در مطالعه 5 رقم کلزا در تهران عنوان کردند تاریخ کاشت بر صفاتی چون تعداد خورجین در ساقه اصلی، عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن، عملکرد روغن اثر معنی‌داری داشت.

تجزیه واریانس نتایج درصد نیتروژن نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین دو تاریخ کاشت وجود دارد. در تاریخ کاشت دوم، غلظت نیتروژن کمتری نسبت به تاریخ کاشت اول در هر تیمار مشاهده شد. حداکثر غلظت نیتروژن از تیمار اسید آمینه در تاریخ کاشت اول (4/7 درصد) به دست آمد. شوبرت و منگل (1389) عنوان نمودند که جذب اسیدهای آمینه یک مکانیسم بازایی مناسب برای جذب اسیدهای آمینه ترشح یافته به ریزوسفر می‌باشد. این ویژگی‌ها تحت تأثیر تاریخ کاشت، با تغییرات عملکرد دانه در ارتباط می‌باشند به‌طوری‌که مقایسه میانگین نتایج عملکرد دانه (جدول 5) نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح 5 درصد معنی‌دار است. میانگین عملکرد در تاریخ کاشت شهریور 3458 کیلوگرم و در تاریخ کاشت مهر 3048 کیلوگرم در هکتار می‌باشد که در حدود 13/5 درصد کاهش نشان می‌دهد. نتایج احتشامی و همکاران (1391) نشان داد که با تأخیر در کاشت، کلیه صفات به‌جز تعداد دانه در خورجین به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. آنان مناسب‌ترین رقم و تاریخ کاشت درکشت پائیزه کلزا در منطقه ورامین را به ترتیب رقم RGS003 و 20 شهریور گزارش نمودند. مطالعات

روبرتسون و همکاران (2004) کاهش عملکرد دانه در تاریخ کاشت تأخیری را به کاهش در زیست‌توده در زمان رسیدگی مرتبط کرد. آن‌ها بیان داشتند که تأخیر در کاشت کلزا موجب می‌شود تا مراحل حساس گلدهی و پر شدن دانه با خشکی و گرمای آخر فصل برخورد کند و در نتیجه عملکرد دانه کاهش یابد. واکنش عملکرد کلزا به تاریخ کاشت در غرب استرالیا، نشان داد در هر هفته تأخیر در کاشت منجر به کاهش 1 تا 7 درصدی عملکرد به علت محدود شدن دوره رشد در اثر برخورد با گرمای آخر فصل شد (مندهام و همکاران، 1990). وایت فیلد (1992) عنوان نمود که تأخیر کاشت کلزا با بالا رفتن دما در مراحل پر شدن دانه، باعث می‌شود میزان تنفس غلاف‌ها به سرعت افزایش یابد و این موضوع سبب اتلاف بیش از حد مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد می‌شود.

اثر تاریخ کاشت و سال بر صفات وزن ماده خشک، تعداد خورجین در سطح 5 درصد معنی‌دار بود. تاریخ کاشت بهینه سبب افزایش این ویژگی‌های رشد کلزا شده است که با نتایج تحقیق رهنما (1389) مطابقت دارد. نتایج (جدول 5) نشان داد که مقدار این ویژگی‌ها در تاریخ کاشت شهریور نسبت به مهر از افزایش برخوردار است اگرچه آزمون دانکن معنی‌داری این افزایش را تأیید نمی‌کند. از بین ویژگی‌های مورد مطالعه فاکتورهای آزمایش بر وزن هزار دانه تأثیری نداشتند.

اثر کاربرد محرک‌های رشد گیاهی

نتایج تجزیه واریانس (جدول 4) نشان داد که اثر محرک‌های رشد بر عملکرد دانه، غلظت فسفر و تعداد دانه در خورجین در سطح پنج درصد و سطح برگ و غلظت پتاسیم در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارها (جدول 5) بر عملکرد دانه نشان داد که حداکثر عملکرد دانه از تیمار ترکیبی با 4196/0 کیلوگرم در هکتار در تاریخ کشت شهریور به دست آمد. حداقل عملکرد مربوط به تیمار شاهد در تاریخ کشت مهر بود. در تاریخ کشت مهر تیمار

عصاره جلبک دریایی حداکثر بود. در دو تاریخ کشت، سایر تیمارهای محرک رشد با تیمار حداکثر تفاوت معنی‌دار نداشتند که می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که کاربرد آنان دارای اثری مشابه و مؤثر بر روی عملکرد می‌باشد اما میانگین عملکرد دانه شهریور و مهر (جدول 5) تحت تأثیر مصرف عصاره جلبک دریایی مؤثرتر از سایر مواد محرک رشد بود. کشاورز (1389) عنوان نمود که کاربرد مواد محرک رشد در گیاه کلزا سبب افزایش عملکرد دانه گردید. ایشان چنین‌خوردگی و ضخامت بیشتر پهنای برگ و قطر بیشتر دستجات آوندی ریشه را سبب جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش راندمان فیزیولوژیکی گیاه دانست. نتایج آرتیزاک و گزدوسکی (2021) نشان‌دهنده تأثیر مثبت محرک‌های رشد بر عملکرد دانه کلزا حدود 8 درصد و بر عملکرد روغن حدود 10 درصد نسبت به تیمار شاهد بود. هکمن (1994) عنوان نمود محرک‌های رشد که معمولاً همراه با کودهای رایج به گیاه داده می‌شوند با تأثیر مثبت بر متابولیسم گیاه کارایی مصرف کود را افزایش و منجر به افزایش عملکرد می‌گردند. ترکیبات هوموسی، عصاره‌های جلبک و ترکیبات اسید آمینه، دارای هورمون‌های رشد گیاهی از جمله اکسین و جیبرلین بوده و فیزیولوژی گیاه را با مقادیر کم بهبود می‌بخشند. این فرایندهای فیزیولوژیکی از طریق تحت تأثیر قرار دادن مسیرهای گلیکولیز و تنفس و تأثیر مستقیم در بیان ژنها و انتقال می‌باشد (بولغاری و همکاران، 2015). مصطفی (2015) تأثیر مواد محرک رشد را از طریق تغییر الگوی جذب عناصر غذایی دانست.

مقایسه میانگین نتایج درصد فسفر نشان داد که غلظت حداکثر غلظت فسفر درکشت اول از تیمار اسید آمینه به دست آمد. غلظت فسفر گرچه تحت تأثیر مواد مختلف محرک رشد از لحاظ آماری معنی‌دار نبود اما تأثیر این مواد در جذب فسفر مثبت ارزیابی گردید. از دلایل این موضوع می‌توان به کاهش ویژگی‌های رشد گیاهان نظیر ارتفاع و سطح برگ و ریشه درتاریخ کاشت دوم

اشاره نمود که به‌نوبه خود سبب کاهش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر می‌گردند. خصوصیات ساختمانی ویژه این مواد به آن‌ها این اجازه را می‌دهد که بتوانند یونهای فلزی را کلات کنند و در تغذیه گیاه مؤثر باشند (بربارا و گارسیا، 2014). علاوه بر جذب کاتیونها از مسیر قطبی از مسیری غیرقطبی نیز جذب شود و جذب کل افزایش پیدا می‌کند. افزایش جذب در مورد عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد) و هم در مورد عناصر کم مصرف (آهن، منگنز و روی) توسط زوداپ و همکاران (2011) گزارش گردید.

تعداد دانه درخورجین که از صفات مؤثر بر عملکرد کلزا می‌باشد بر اثر مصرف محرک‌های رشد، افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین تأثیر محرک‌های رشد بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که حداکثر تعداد، از تیمار عصاره جلبک به دست آمد. حداقل تعداد دانه در خورجین در هر دو تاریخ کشت مربوط به تیمار شاهد بود. تیمار عصاره جلبک دریایی، ویژگی تعداد دانه در خورجین را حدود 19 درصد نسبت به شاهد در شرایط تاریخ کاشت دوم افزایش داد. به نظر می‌رسد که در تاریخ کاشت مناسب، مصادف شدن گلدهی و نمو خورجین‌ها با شرایط محیطی مناسب از قبیل درجه حرارت و رطوبت، از یک سو و کارایی بهتر عناصر غذایی تحت تأثیر ترکیبات پلی آنیونی موجود در جلبک‌ها سبب می‌گردد تا تعداد گلچه بیشتری تبدیل به خورجین شوند. (گونزالس و همکاران، 2013). براساس این نتایج می‌توان گفت که کاربرد محرک‌های رشد گیاهی برای افزایش باز توانی گیاه بر اثر تنش های محیطی ناشی از زمان کاشت یا پدید آمدن شرایط خاص، می‌تواند مؤثر باشد.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر محرک‌های رشد بر سطح برگ نشان داد که حداکثر، در تاریخ کشت شهریور از تیمار اسیدآمینه به دست آمد. این تیمار با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار داشته اما با سایر محرک‌های رشد تفاوت معنی‌داری ندارد؛ بنابراین در هر دو تاریخ کاشت، کاربرد محرک‌های رشد در افزایش سطح برگ مؤثر بوده است.

اسمزی از جمله شوری، خشکی و یخبندان می‌گردد (غیبی، 1397).

نتایج اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر میانگین غلظت پتاسیم نشان داد که تاریخ کاشت شهریور همراه با استفاده از مواد محرک رشد سبب افزایش مقدار پتاسیم گیاه گردید. رشد و استقرار بهتر ریشه و پنجه‌زنی بهتر از دلایل جذب بهتر عناصر غذایی از جمله پتاسیم می‌باشد (حیندو و همکاران، 2012). نتایج تحقیق پارادو و همکاران (2008) نشان دهنده اثرات ترکیبی کاربرد این مواد بوده و در آن‌ها به بهبود عملکرد و جذب عناصر غذایی اشاره شده است. این اثرات در گیاه گوجه‌فرنگی به صورت افزایش ارتفاع، سطح برگ، تعداد گلها، تعداد میوه‌ها در هر گیاه، افزایش عملکرد میوه (تعداد یا وزن میوه) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

از نظر زمان کاشت، هفته آخر شهریور برای کاشت کلزا مناسب‌تر از مهرماه بود. تأخیر در کاشت، به دلیل از دست رفتن زمان مناسب برای رشد، باعث می‌شود گیاه به پتانسیل عملکرد نرسد. کاربرد مواد محرک رشد گیاهی تأثیر مثبتی در بالا بردن میزان عملکرد و افزایش ویژگی‌های رشد نظیر تعداد دانه در خورجین، سطح برگ، غلظت عناصر فسفر و پتاسیم گیاه کلزا داشت. بر اساس یافته‌های آزمایش، مصرف خاکی 5 کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید در مراحل جوانه‌زنی و شش برگی و همچنین بذر مال و محلول‌پاشی ترکیبی با استفاده از مواد محرک رشد شامل اسید آمینه، فولویک اسید، عصاره جلبک دریایی در مراحل شش برگی و خروج از رزت با غلظت 5 در هزار در شرایط مشابه این تحقیق قابل توصیه است.

این موضوع در کاشت دیر هنگام به افزایش فتوسنتز و توان گیاه منجر می‌شود.

مقایسه میانگین نتایج درصد پتاسیم نشان داد که غلظت حداکثر غلظت این عنصر در دو تاریخ کاشت از تیمار اسید هیومیک به دست آمد. به‌طور کلی غلظت پتاسیم در تیمارهای محرک رشد بالاتر از شاهد بود. هیومیک اسید در بهبود شرایط ریزوسفر از نظر اسیدیته و تشکیل کلات‌های آلی و جذب بهتر پتاسیم تأثیر گذار بوده است (هالپرن و همکاران، 2015). بر اساس جمع بندی نتایج حاصل از کاربرد مواد هیومیکی در گیاهان از طریق روش آماری متا آنالیز تصادفی، افزایش 55 ± 2 درصد در رشد اندام هوایی و افزایش 6 ± 50 درصد در رشد ریشه گیاهان، مشاهده گردید (رز و همکاران، 2014). تأثیر مثبت محرک‌های رشد را می‌توان به بهبود وضعیت رشد گیاه مرتبط دانست.

اثر متقابل تاریخ کاشت و مواد محرک رشد گیاهی

نتایج تجزیه واریانس (جدول 4) نشان داد که اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر سطح برگ و غلظت پتاسیم در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

نتایج (جدول 5) نشان داد که تاریخ کاشت دیر هنگام سبب کاهش سطح برگ شد اما کاربرد مواد محرک رشد سبب افزایش این ویژگی گردیده است. در مواقع کاشت دیر هنگام و افزایش احتمال تنش سرما کاربرد این مواد سبب افزایش متابولیت‌های گیاهی می‌شود. ماده سازی بیشتر برافزایش سطح برگ تأثیر مثبت دارد. مواد محرک رشد با بیان ژنهای انتقال‌دهنده مواد، موجب تسریع جذب مواد غذایی و افزایش غلظت شیره سلولی می‌گردد و از طرفی جذب مواد فولویکی در سیتوپلاسم موجب ایجاد فشار اسمزی لازم جهت مقابله با تنش‌های

فهرست منابع:

1. احتشامی، م. ر.، تهرانی عارف، آ. و صمدی، ب. 1391. تأثیر تاریخ کاشت بر فیزیولوژی عملکرد ارقام مختلف کلزا در منطقه ورامین. فرآیند و کارکرد گیاهی. 1: 71-87.
2. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش.، اسفندیاری پور، ا.، طاقانی، ر. 1400. آمار نامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی. وزارت جهاد کشاورزی.
3. امام، ی. و م. نیک نژاد. 1383. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. چاپ دوم، ترجمه، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
4. بخشنده، م.، حمدی شنگری، ع.، قرینه، م. ح. و فتحی، ق. 1395. بررسی اثر تأخیر در کاشت و سطوح نیتروژن بر عملکرد دانه، صفات مورفولوژیک و شاخص کلروفیل گیاه کلزا (*Brassica napus. L*) در شرایط آب و هوایی اهواز. علوم به زراعی گیاهی. 6: 69-75.
5. علیزاده، ب.، یزداندوست همدانی، م. و کریم خانی، ع. 1394. بررسی پایداری عملکرد لاین های کلزای مناسب مناطق سرد و معتدل سرد ایران. گزارش پژوهشی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
6. دهشیری، ع. 1378. زراعت کلزا. دفتر تولید برنامه‌های ترویجی و انتشارات فنی. معاونت ترویج. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی.
7. راهنما، ا. 1389. تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا در منطقه خوزستان. بوم‌شناسی گیاهان زراعی. 6: 22-13.
8. طهرانی م. م. 1394. مدیریت تغذیه گیاه گندم در شرایط تنش سرما. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
9. غفاری نژاد، ع.، ف. نورقلی پور و م. ن. غیبی. 1399. محرک‌های رشد گیاهی، نقش آن‌ها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی. نشریه مدیریت اراضی. 8: 68-47.
10. غیبی، م. ن. 1397. اصول کاربردی تغذیه گیاه. نشر توانگران. تهران، ایران. 65 ص.
11. کشاورز، ح. 1389. پاسخ فیزیولوژیک و آناتومیک دو رقم کلزا (حساس و مقاوم به سرما) به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، فیزیولوژی گیاهی، تهران، ایران.
12. مشیری، ف. و همکاران. 1393. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه گندم. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
13. نورقلی پور، ف. و ح. رضایی، ک. میرزاشاهی، م. ن. غیبی، ح. حقیقت نیا، م. ر. رمضان پور، م. ح. ارزانش، ه. اسدی رحمانی، م. ه. میرزاپور، ص. زمانی، ر. محمدی کیا و م. م. طهرانی. 1393. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه کلزا. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
14. Aminifard, M. H., H. Aroiee, H. Nemati, M. Azizi, and H. Z. E. Jaafar. 2012. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. African Journal of Biotechnology. 68: 13179-13185.
15. Artyszak, A., D. Gozdowski. 2021. Application of Growth Activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as a Method of Introducing a "Farm to Fork" Strategy in Crop Management of Winter Oilseed. Sustainability, 13, 3562. <https://doi.org/10.3390/su13063562>
16. Bates, L.S. Walderen, RD and Taere, ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

17. Beckett, R.P. and J.V. Staden. 1990. The effect of seaweed concentrate on the yield of nutrient stressed wheat. *Botanica Marina*, 33:147-152.
18. Berbara, R.L.L., and A.C. García. 2014. Humic substances and plant defense metabolism. pp 297–319. In: P. Ahmad, and M.R. Wani (eds) *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: volume 1*. Springer Science + Business Media, New York.
19. Blunden G., A.L. Cripps, S.M. Gordon, T.G. Mason, and C.H. Turner. 1986. The characterisation and quantitative estimation of betaines in commercial seaweed extracts. *Bot. Mar.* 29: 155-160
20. Burbulis, N., Kuprienė, R. and Blinstrubienė, A., 2008. Investigation of cold resistance of winter rapeseed in vitro. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 27: 223-232.
21. Bulgari, R., G. Cocetta, A. Trivellini, P. Vernieri, and A. Ferrante. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biol. Agri. & Horti.* 31: 1-17.
22. Cerdána, M., A. Sánchez-Sánchez, M. Oliver, M. Juárez, and J. Sánchez- Andreu. 2009. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. *Acta Hort.* 830: 481-488.
23. Chen, L., Zhong, H., Ren, F., Guo, QQ., Hu, XP and Li, XB. 2011. A novel cold-regulated gene, COR25, of *Brassica napus* is involved in plant response and tolerance to cold stress. *Plant Cell Rep.* 30: 463-4.
24. Chinnusamy, V., Zhu, J and Zhu, JK. 2007. Cold stress regulation of gene expression in plants. *Plant Sci.* 12: 441-451.
25. Crouch I.J., R.P. Beckett and J. van Staden. 1990. Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. *Appl. Phycol.* 2: 269-272.
26. Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Horti.* 196:3-14.
27. Fahimirad, S., Karimzadeh, G. and Ghanati, F., 2013. Cold-induced changes of antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Plant Physio.& Breed.* 3: 1-11.
28. Fernandez G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In 'Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress', pp. 257-270.
29. Fischer R, and R. Maurer .1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Past. Sci.* 29: 897-912.
30. Gaveliene, V., L. Pakalniškytė, L. Novickienė. 2012. Impact of auxin physiological analogues as biostimulators on rapeseed (*Brassica napus* L.) cold hardening and productivity. Book of abstracts. 9th International Conference. Plant functioning under environmental stress September 12-15, 2012 Cracow Poland.
31. Gavelienė, V., Pakalniškytė, L. and Novickienė, L., 2014. Regulation of proline and ethylene levels in rape seedlings for freezing tolerance. *Open Life Sciences*, 9(11), pp.1099-1107.
32. Gaveliene, V., L. Pakalniskyte, L. Novickiene. 2015. Impact of regulators with amino acids for winter plants freezing tolerance. *Acta Physiol. Plant.* 38:17
33. González A., J. Castro, J. Vera, A. Moenne. 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *Journal of Plant Growth Regulations.* 32:443–448.
34. Halpern, M., A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller, U. Yermiyahu. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. pp. 141–174, Vol. 129. In: D.L. Sparks, (Ed.), *Advances in Agronomy*.
35. Hayat, S., Q. Hayat, M.N. Alyemeni, A.S. Wani, J. Pichtel, and A. Ahmad. 2012. Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signal. & Behav.* 7:1456-1466.

36. Heckman, J. R. 1994. Effect of an organic bio-stimulant on cabbage yield. *J Home Consum Hort.*1:11–113.
37. Jindo, K., S.A. Martim, E.C. Navarro, N.O. Aguiar, and L.P. Canellas. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant and Soil* 353:209–220.
38. Khan A.S., B. Ahmad, M.J. Jiskani, R. Ahmad, and A.U. Malik. 2012. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophylum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *Inter. J. Agr. Biol.* 14: 383-388.
39. Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regu.* 28: 386-399.
40. Leslaw B. Lahuta, Monika Ciak, Joanna Szablińska .2015. Metabolite profiling of pea seedlings under cold stress. *Acta Physiol Plant.*38:17
41. Markowska-Kozak E.1, Dziurka M.2, Kostecka-Guga. 2012. The effect of cold hardening of winter rape on activity of antioxidative system. Book of abstracts. 9th International Conference. Plant functioning under environmental stress. September 12-15, 2012 Cracow Poland.
42. Mendham, N.J., Russel, J. and Yarosz, N.K. 1990. Response to sowing time of three contrasting Australian cultivars of oil seed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agriculture Science Cambriges*, 114: 274-285.
43. Mostafa G.G. 2015. Improving the growth of fennel plant grown under salinity stress using some biostimulants. *Am. J. Plant Physiol.* 10: 77-83.
44. Parrado, J., J. Bautista, E.F. Romero, A.M. García-Martínez, V. Friaiza, and M. Tejada. 2008. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. *Biores. Tech.*99: 2312-2318.
45. Robertson, M.J., J.F. Holand, and R.Bambach .2004. Response of canola and Indian mustard to sowing date in the grain belt of north-eastern Australia. *Aust. Exp. J. of Agric.* 44: 43-52.
46. Rose, M.T., A.F. Patti, K.R. Little, A.L. Brown, W.R. Jackson, and T.R. Cavagnaro. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. Vol. 124, pp. 37–89. In: D.S. Sparks, (Ed.), *Advances in Agronomy*.
47. Rosielle A, Hamblin J .1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci.* 21: 943-946.
48. Schubert S. and K. Mengel. 1989. Important factors in nutrient availability: root morphology and physiology. *Z. Pflanzenern_hr.Bodenkd.* 152: 169-174.
49. Terenzio, D.2015. Humofolates: New Highly Eco-Sustainable Polivalent Biostimulants for Agriculture. The 2nd World Congress on the use of Biostimulants in Agriculture. Monday 16th - Thursday 19th November, Florence Convention Centre, Italy.
50. Valadiani, AR and Tajbakhsh, M. 2007. Comparison of phenological stages and adaptability of 25 advanced rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties in autumnal cultivation in Urmia-west Azerbaijan Province, Iran. *J. . Sci. and Tech. of Agri. and Natu. Res.* 11:329-343.
51. Von sottner, B. 2012. Preventing frost damage: potassium will help. www.kali-gmbh.com
52. Whit field, D.M. 1992. Effect of temperature and ageing on CO₂ exchange of pods of oil seed rape. *Field Crop Research*, 28(4):35-42.
53. Wilson S. 2001. Frost management in cool climate vineyards. In: University of Tasmania Research Report UT 99/1, Grape and Wine Res. & Develop. Corporation.
54. Xudan, X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 37:343–350.

55. Yuanyuan, M., Z. Yali, L. Jiang, and S.H. Hongbo. 2009. Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *Afri. J. of Biotech.* 8: 2004-2010.
56. Zhang X. and E.H. Ervin. 2008. Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside on creeping bentgrass heat tolerance. *Crop Sci.* 48: 364-370.
57. Zodape, S.T., A. Gupta, S. C. Bhandari. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Sci. Ind. Res.* 70:215-219.

بررسی واکنش ارقام گلرنگ به سطوح مختلف فسفر در مناطق گرم

فریدون نورقلی پور¹، لیلا رضاخانی، کامران میرزاشاهی، هرمزد نقوی، مجید رجایی

و مجتبی یحیی آبادی

استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ nourfg@yahoo.com

محقق مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ leila.rezakhani@yahoo.com

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی دزفول؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران؛

kamranmirzashahi@yahoo.com

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران؛ naghavii@yahoo.com

دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران؛

rajaie.majid@yahoo.com

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران؛

yahyabadi@gmail.com

ص 243 - 257

دریافت: 1401/3/10 و پذیرش: 1401/9/2

چکیده

به منظور بررسی واکنش ارقام گلرنگ به سطوح مختلف فسفر خاک درجهت مصرف بهینه کود، پژوهشی در مناطق داراب، اصفهان، دزفول و کرمان به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های 1395 و 1396 اجرا شد. عامل اول، رقم (ارقام پدیده و گلدشت برای اصفهان و داراب و ارقام گلدشت و صفه برای کرمان و دزفول) و عامل دوم، مقدار کود حاوی فسفر (شامل صفر، 50، 100، 150 و 200 کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل) بود. مقدار فسفر قابل جذب خاک در اصفهان 10/2، داراب 11، کرمان 7 و دزفول 7/18 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بر اساس نتایج، اثر رقم بر عملکرد دانه گلرنگ در مناطق اصفهان و دزفول به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود ولی در مناطق داراب و کرمان تفاوت بین دو رقم، معنی‌دار نبود. اثر مقدار کود حاوی فسفر بر عملکرد دانه در هر چهار منطقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل (رقم-فسفر) بر عملکرد دانه تنها در اصفهان و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در اصفهان بیشترین مقدار عملکرد از رقم گلدشت و سطح 50 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت. در دزفول نیز بیشترین مقدار عملکرد، از همین مقدار کود بدست آمد. در کرمان بیشترین مقدار عملکرد دانه از رقم گلدشت و سطح 150 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر بدست آمد که با دیگر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری داشت. با کاربرد کود سوپرفسفات تریپل در مناطق داراب، دزفول و اصفهان به ترتیب 20%، 78% و 28% افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. بهترین نسبت فایده به هزینه در داراب و کرمان از رقم گلدشت و به ترتیب از سطح 100 و 150 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر بدست آمد و در مناطق دزفول و اصفهان از سطح 150 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر به ترتیب در رقم صفه و پدیده حاصل شد. به‌طور کلی، برای گلرنگ در مناطق گرم با فسفر قابل جذب برابر 10 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، مقدار 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر و برای مناطق با فسفر قابل جذب 7 میلی‌گرم در کیلوگرم، مقدار 150 کیلوگرم کود حاوی فسفر قابل توصیه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: سود به هزینه، عملکرد دانه، کود فسفر

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با نام انگلیسی Safflower از گیاهان بومی ایران بوده و توانایی بسیار زیادی برای رشد در شرایط مختلف دارد ولی سطح کشت آن در مناطق مختلف دنیا به دلیل نبود اطلاعات در زمینه مدیریت محصول و در دسترس نبودن ارقام مناسب و پرروغن محدود شده است (جباری و همکاران، 1398). این گیاه از جمله دانه‌های روغنی است که نسبت به شرایط خشکی و شوری خاک تحمل نسبتاً خوبی دارد (بایبوردی و نورقلی‌پور، 1398). با توجه به افزایش جمعیت و مصرف سرانه روغن، افزایش سطح زیر کشت دانه‌های روغنی و افزایش عملکرد آن‌ها برای افزایش سطح خوداتکایی ضروری است (عراقی‌نژاد و همکاران، 1395).

در حال حاضر از کل روغن مصرفی کشور حدود ده درصد آن در داخل تولید و باقی مانده آن از طریق واردات تأمین می‌شود (میر سید حسینی و نورقلی‌پور، 1398). میزان روغن قابل استخراج دانه گلرنگ در شرایط مساعد بسته به ژنوتیپ تا 45 درصد می‌رسد (زینلی، 1391). گیاه گلرنگ توان تولید بیش از 4 تن دانه در هکتار را دارد که در این میان عوامل به زراعی نقش حیاتی را برعهده دارند. عملکرد گلرنگ همانند سایر محصولات زراعی، تحت تأثیر عوامل گوناگون از جمله ژنوتیپ، تاریخ کشت، تراکم بوته، رطوبت، حاصلخیزی، دما و نور قرار می‌گیرد. این گیاه رتبه هشتم را از لحاظ تولید دانه روغنی جهان بعد از سویا، بادام زمینی، کلزا، آفتابگردان، کنجد، کتان و کرچک دارد. سطح زیر کشت فعلی گلرنگ در کشور حدود 6500 هکتار است و بیشترین سطح زیر کشت مربوط به استان فارس است (آمارنامه کشاورزی، 1396). پایین بودن سطح حاصلخیزی خاک مخصوصاً کمبود فسفر، از عوامل محدودکننده عملکرد این گیاه می‌باشد (موندل و ستر، 2004). فسفر دومین عنصر کلیدی از نظر تغذیه گیاه و از جمله عناصر مهم در تولید محصول به شمار می‌رود (ژانگ و همکاران،

2009). طبق تحقیق انجام شده توسط نورقلی‌پور و همکاران (1399) در 54 مزرعه از مزارع کلزای 12 استان کشور، مقدار فسفر قابل دسترس خاک در 81 درصد از مزارع کمتر از 15 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مطالعات نشان داده است که به دلیل پیچیدگی خواص شیمیایی فسفر در خاک‌های آهکی، کم‌تر از 20 درصد کود فسفوری مصرفی، توسط گیاه برداشت می‌شود و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته و به شکل غیر قابل جذب درمی‌آید (ونک و همکاران، 2003). بنابراین کشاورزان برای دستیابی به عملکرد مناسب و نیز حفظ تولید، باید هر ساله نسبت به مصرف مقادیر زیاد کودهای حاوی فسفر اقدام کنند. به دلیل مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای حاوی فسفر، ایده اصلاح گیاهان از لحاظ فسفر کارایی (شیوه وفق دادن گیاهان با شرایط طبیعی خاک‌ها و انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌هایی که عناصر غذایی خاک و کود را با کارایی بالا مصرف می‌کنند) به جای اصلاح خاک برای حل مشکل کمبود فسفر در خاک‌ها مطرح شد (ارکوان و همکاران، 2010؛ پارک و همکاران، 2011). تأمین عناصر غذایی به مقدار بهینه، یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد کمی و کیفی گلرنگ می‌باشد.

کمبود فسفر در گلرنگ رشد ریشه و اندام‌های هوایی را کند نموده و در موارد کمبود شدید، موجب کوتاهی قد، ایجاد برگ‌های کوچک و مانع گلدهی می‌شود. از این رو، استفاده بهینه از آن یکی از مولفه‌های حائز اهمیت در مدیریت زراعی محسوب می‌گردد (وی و همکاران، 2017). حد بحرانی کمبود فسفر در خاک برای کشت ارقام مختلف گلرنگ 15 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (بایبوردی و نورقلی‌پور، 1398). این گیاه برای تولید 100 کیلوگرم دانه، 5 کیلوگرم نیتروژن، 1/2 کیلوگرم فسفر (P_2O_5) و 3/8 کیلوگرم پتاسیم (K_2O) جذب می‌کند (بایبوردی و نورقلی‌پور، 1398). اثرگذاری بسیار معنی‌دار فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ گزارش شده است (گلزارفر و همکاران، 2012).

ارقام صفه نیز در این مناطق وجود دارد (بایبوردی و نورقلی‌پور، 1398).

مناطق کرمان، داراب، دزفول و مناطق شرقی اصفهان، جزو مناطق گرم و خشک کشور به شمار می‌روند و از مناطق عمده کشت گلرنگ می‌باشند. با توجه به کمبود فسفر در سطح وسیعی از مزارع کشور و افزایش هزینه کودهای فسفوری، بررسی مقدار مناسب مصرف کود حاوی فسفر به منظور افزایش عملکرد ارقام مختلف گلرنگ (به عنوان یک گیاه متحمل به خشکی) در این مناطق و شناسایی ارقام کارا در جهت کاهش مصرف کودهای فسفاته ضروری است. نتایج این پژوهش و تحقیقات مشابه می‌تواند مشخص نماید که کدام یک از ارقام برای تولید مقدار مشخصی از دانه به مقدار کمتری از فسفر نیاز دارد. این امر می‌تواند به عنوان یک راهبرد سودمند برای شرایط کمبود فسفر در نظر گرفته شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مناطق داراب، اصفهان، دزفول و کرمان به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (1395-1396) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل فاکتور اول (دو رقم پدیده و گلدشت برای مناطق اصفهان و داراب و دو رقم گلدشت و صفه برای مناطق کرمان و دزفول) (به پیشنهاد کارشناسان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) و فاکتور دوم (کود حاوی فسفر شامل صفر، 50، 100، 150 و 200) کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل (معادل صفر، 25، 50، 75 و 100 کیلوگرم در هکتار P_2O_5) در خاک‌هایی با شرایط فسفر پائین‌تر از 15 میلی‌گرم بر کیلوگرم) (پایین‌تر از غلظت بحرانی برای گیاه گلرنگ) (بایبوردی و نورقلی‌پور، 1398) بود. برای اجرای این آزمایش در اواخر تابستان یک نمونه مرکب خاک برای تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی از مزارع ایستگاه تحقیقاتی مناطق داراب، دزفول و کرمان تهیه شد و نمونه مرکب خاک در منطقه اصفهان از مزرعه زارع منطقه تهیه شد. قبل از کشت خصوصیات

کاهش عملکرد گلرنگ در پاسخ به کمبود فسفر، بسیار بیشتر از نیتروژن و پتاسیم است (آبادی و گرنداز، 2011). مقدار فسفر توصیه شده برای این گیاه بین 35 تا 200 کیلوگرم در هکتار با توجه به رقم و منطقه متفاوت است و در شرایط دیم مقدار کمتری توصیه شده است (وفائی و همکاران، 2013، افضل و همکاران، 2017، حقیقتی مالک و فری، 2014، حیدری و همکاران، 2014، سوفی و همکاران، 2020). این عنصر بر شاخص‌های ارتفاع گیاه و تعداد کپسول در بوته نیز تأثیر مثبت دارد (بونفیم-سیلوا و همکاران، 2017). تحقیقات در مورد اثر مصرف فسفر بر گلرنگ نشان داد که کاربرد فسفر، نسبت به تیمار عدم مصرف فسفر به‌طور معنی‌داری، باعث افزایش عملکرد ماده خشک گلرنگ گردید (آبادی، 2017).

بررسی اثرات فسفر بر عملکرد دانه و تعداد کپسول در بوته رقم گلدشت نشان داد که بهترین تیمار، مصرف 75 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل بود (وفائی و همکاران، 2013). بررسی سطوح مختلف نیتروژن و فسفر بر عملکرد دانه گلرنگ در مناطق دیم نشان داد که بهترین تیمار فسفر برای دستیابی به عملکرد بهینه در مراغه و سرارود، به ترتیب 15 و 95 کیلوگرم فسفر خالص در هکتار بود (حقیقتی ملک و فری، 2014). کاربرد کود حاوی فسفر با سطح 50 کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه گلرنگ بهاره (IL111) به مقدار 21 درصد گردید (حشمتی و همکاران، 1396).

در حال حاضر، شش رقم گلرنگ محلی اصفهان، پدیده، گلدشت، صفه، گل‌مهر، پرنیان با تیپ‌های رشدی پاییزه، بهاره و بینابین برای کشت و کار در شرایط اقلیمی مختلف کشور، توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شده است. کشت گلرنگ در مناطق گرم باید در پاییز و بر اساس زمان شروع بارندگی‌های پاییزه و عدم همزمانی دوره گلدهی با درجه حرارت‌های بالا تنظیم شود. آخرین بررسی‌ها نشان داده است که رقم گلدشت، مناسب کشت پاییزه در مناطق گرم است و امکان کشت

خاک و آب محل‌های اجرای پروژه به روش‌های متداول
آزمایشگاهی (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، 1372) اندازه-
گیری شد (جدول 1 و 2).

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق اجرا

Cu	Zn	Fe	Mn	K	P	O.C	T.N.V	SP	pH	EC (dS.m ⁻¹)	بافت خاک	سال	منطقه
میلی گرم بر کیلوگرم (فرم قابل جذب)						%							
1/1	0/7	4/5	5	190	11/2	0/42	32	-	7/8	3/8	لوم رسی	اول	اصفهان
2/1	0/7	3/8	6	180	9/2	0/38	34	-	7/5	3/6	لوم رسی	دوم	
0/9	1/0	11/5	19/9	200	11	0/48	39	-	8/1	0/8	لوم	اول	
-	-	-	-	150	6	0/60	43	44/1	7/4	2/4	لوم شنی	اول	کرمان
-	-	-	-	170	8	0/60	43	44/1	7/4	2/5	لوم شنی	دوم	
1/1	1/4	6/2	4	170	7/2	0/55	46	42/6	7/7	1/1	لوم	اول	دزفول
0/4	1/1	5	2/6	154	7/1	0/68	48/5	-	7/8	1/2	لوم رسی	دوم	

* در یک قطعه از مزرعه تحقیقاتی انجام شد

جدول 2- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در مناطق اجرا

(HCO ₃ ⁻)	(Cl ⁻)	(Na ⁺)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	(Mg ²⁺)	(Ca ²⁺)	(SO ₄ ²⁻)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	سال	مزرعه
(meq.l ⁻¹)										
3/2	13/2	-	-	4	9	9/3	7/2	2/5	اول	اصفهان *
3/8	14/1	-	-	4	8	8/4	7/3	2/2	دوم	
3/8	3/2	1/3	-	1/3	3/2	-	7/9	0/8	اول	داراب
3/2	2	3/2	3/6	-	-	1/6	8	0/6	اول	کرمان
2	1/5	1/6	3/2	-	-	1/2	8/1	0/5	دوم	دزفول

* چاه آب در دو سال متفاوت بود.

کپسول بارور در سه کادر یک مترمربعی از هر کرت
شمارش و میانگین آن در هر مترمربع تعیین گردید. تعداد
دانه در کپسول با شمارش دانه‌های پر در 20 کپسول بارور
در داخل هر کادر انجام گرفت. تعداد 100 دانه به صورت
دستی شمارش شده و سپس وزن آن‌ها به عنوان وزن
هزاردانه بر حسب گرم تعیین شد. پس از حذف دو خط
کناری و نیم متر از بالا و پائین هر کرت در سطح 10
مترمربع، برداشت انجام و مقدار عملکرد دانه اندازه‌گیری
شد. پس از پایان دوره روزت و قبل گلدھی (قبل از
decimal code 62، مطابق کد دو رقمی نرکار و همکاران،
2006)، تعداد 5 نمونه کامل گیاه از اندام هوایی تهیه و
وزن خشک، غلظت و جذب فسفر 5 بوته (حاصل ضرب
وزن خشک بوته در غلظت فسفر بوته) در نمونه‌ها اندازه-
گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر، نمونه‌های گیاه

هر کرت آزمایشی شامل 6 خط به طول 5 متر
با فاصله خطوط 50 سانتیمتری، فاصله بین کرت‌ها یک
متر و بین تکرارها نیز چهار متر در نظر گرفته شد، به
طوری که تراکم کشت در هر کرت آزمایشی 25 بوته در
مترمربع بود. میزان آب مصرفی بر اساس نیاز آبی و
شرایط اقلیمی منطقه مصرف گردید. آبیاری با استفاده از
سیستم آبیاری بارانی انجام شد. کلیه عملیات زراعی در
مرحله داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز، دفع آفات،
کنترل بیماری‌ها و وجین به طور منظم و یکنواخت برای
کرت‌ها انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی
فیزیولوژیک، ارتفاع ساقه از محل طوقه تا زیر گل آذین
با استفاده از متر اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر برای
بوته، تعیین گردید. قبل از برداشت از هر تکرار تعداد

پس از شستشو با آب مقطر، در دمای 70 درجه سانتی‌گراد با آون خشک و توسط آسیاب برقی پودر شدند. سپس مقدار 0/5 گرم از نمونه آسیاب شده به روش هضم مرطوب روی اجاق الکتریکی در دمای 200 الی 300 درجه سانتی‌گراد قرار داده و فسفر به روش طیف‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 470 نانومتر (وسترمن، 1990) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری به وسیله نرم افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین مربوط به اثر تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ در مناطق اجرا

نتایج تجزیه واریانس مرکب دوساله در منطقه اصفهان (جدول 3) نشان داد که اثر اصلی سال تنها بر غلظت فسفر و جذب فسفر بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی رقم بر تعداد کپسول بارور در مترمربع، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و غلظت فسفر معنی‌دار بود ولی بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثر اصلی کود حاوی فسفر بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز تعداد کپسول بارور در مترمربع، تعداد دانه در کپسول و ارتفاع بوته، معنی‌دار بود. اثر متقابل دوگانه (رقم-کود حاوی فسفر) تنها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل سه‌گانه (سال-رقم-کود حاوی فسفر) بر هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب دوساله در منطقه داراب (جدول 4) نشان داد که اثر اصلی سال تنها بر وزن خشک بوته، جذب فسفر و تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی رقم بر تعداد

کپسول بارور در مترمربع، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه معنی‌دار بود ولی بر سایر صفات، اثر معنی‌داری نداشت. اثر اصلی کود حاوی فسفر بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز تعداد کپسول بارور در مترمربع و تعداد دانه در کپسول معنی‌دار بود. اثر متقابل دوگانه (رقم-کود حاوی فسفر) و سه‌گانه (سال-رقم-کود حاوی فسفر) تیمارها بر هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب دوساله در منطقه دزفول (جدول 5) نشان داد که اثر اصلی سال بر همه صفات اندازه‌گیری شده به جز عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی رقم نیز بر همه صفات به جز تعداد کپسول بارور در مترمربع و وزن خشک بوته معنی‌دار بود. اثر اصلی کود حاوی فسفر بر تمام صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل دوگانه (رقم-کود حاوی فسفر) و سه‌گانه (سال-رقم-کود حاوی فسفر) تیمارها بر هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب دوساله در منطقه کرمان (جدول 6) نشان داد که اثر اصلی سال بر همه صفات اندازه‌گیری شده به جز عملکرد دانه معنی‌دار بود. اثر اصلی رقم نیز بر همه صفات به جز تعداد کپسول بارور در مترمربع، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه معنی‌دار بود. اثر اصلی کود حاوی فسفر بر وزن خشک، جذب فسفر، ارتفاع بوته و عملکرد دانه معنی‌دار بود ولی بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل دوگانه (رقم-کود حاوی فسفر) تنها بر جذب فسفر، تعداد دانه در کپسول و ارتفاع بوته معنی‌دار بود و اثرات متقابل سه‌گانه (سال-رقم-کود حاوی فسفر) نیز تنها بر وزن خشک بوته، جذب فسفر، وزن هزاردانه و ارتفاع بوته معنی‌دار بود.

جدول 3- خلاصه تجزیه واریانس اثرات حاصل از تجزیه مرکب بر صفات مورد مطالعه در منطقه اصفهان

میانگین مربعات									منابع تغییرات
درجه آزادی	وزن خشک	غلظت فسفر	جذب فسفر	تعداد کپسول بارور در مترمربع	تعداد دانه در کپسول	وزن هزاردانه	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	
1	120/7 ^{ns}	0/37 ^{**}	138862 ^{**}	1/35 ^{ns}	35/27 ^{ns}	38/4 ^{ns}	0/07 ^{ns}	41659/4 ^{ns}	سال
4	178/24*	0/01 ^{ns}	2920 ^{ns}	1/13 ^{ns}	6/67 ^{ns}	9/33 ^{ns}	43/6 ^{ns}	118108 ^{ns}	تکرار/ سال
1	10/67 ^{ns}	0/01 [*]	4845/9 ^{ns}	183/75 ^{**}	13/0 ^{ns}	4100 ^{**}	5762 ^{**}	1763020 ^{**}	رقم
1	392/7*	0/01 [*]	20237 ^{**}	2/02 ^{ns}	0/07 ^{ns}	3/27 ^{ns}	1/67 ^{ns}	340054/8 ^{ns}	سال×رقم
4	835 ^{**}	0/009*	14420 ^{**}	0/83 ^{ns}	31/0 ^{ns}	27/3 [*]	23/19 ^{ns}	1340889 ^{**}	فسفر
4	385 ^{**}	0/002 ^{ns}	7330/9*	3/1 ^{ns}	4/48 ^{ns}	22/8 ^{ns}	18/11 ^{ns}	154459 ^{ns}	سال×فسفر
4	1/15 ^{ns}	0/003 ^{ns}	1835/4 ^{ns}	0/67 ^{ns}	18/7 ^{ns}	4/39 ^{ns}	67/19 ^{ns}	568553*	رقم×فسفر
4	107/1 ^{ns}	0/001 ^{ns}	1816/16 ^{ns}	1/6 ^{ns}	1/03 ^{ns}	5/39 ^{ns}	10/21 ^{ns}	96333/5 ^{ns}	رقم×سال×فسفر
36	57/71	0/0027	2248/39	3/23	15/24	9/63	28/77	211653	خطا
	11/50	21/51	29/47	20/14	12/15	6/99	5/71	13/13	CV%

ns, *, ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح یک و پنج درصد

جدول 4- خلاصه تجزیه واریانس اثرات حاصل از تجزیه مرکب بر صفات مورد مطالعه در منطقه داراب

میانگین مربعات									منابع تغییرات
درجه آزادی	وزن خشک	غلظت فسفر	جذب فسفر	تعداد کپسول بارور در مترمربع	تعداد دانه در کپسول	وزن هزاردانه	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	
1	25174/02 ^{**}	0/003 ^{ns}	146026/7 ^{**}	13/07 ^{ns}	21018/82 ^{**}	20/42 ^{ns}	0/82 ^{ns}	67737/6 ^{ns}	سال
4	704/17 ^{ns}	0/001 ^{ns}	440/87 ^{ns}	119/307 ^{ns}	13/22 ^{ns}	108/47 ^{**}	187/28*	70738 ^{ns}	تکرار/ سال
1	595/35 ^{ns}	0/002 ^{ns}	564/27 ^{ns}	1793/07*	132/02 ^{**}	7729/35 ^{**}	6/02 ^{ns}	85730/4 ^{ns}	رقم
1	1848/15 ^{ns}	0/001 ^{ns}	10935 ^{ns}	7797/6 ^{**}	742/02 ^{**}	54/15 ^{ns}	20869/35 ^{**}	933504/27 ^{ns}	سال×رقم
4	1752/58 ^{**}	0/012 ^{**}	52015/6 ^{**}	292/83 ^{ns}	24/92 ^{ns}	61/4 [*]	248/86*	408647/15 ^{**}	فسفر
4	57/85 ^{ns}	0/000 ^{ns}	1787/3*	223/32 ^{ns}	21/65 ^{ns}	10 ^{ns}	74/86 ^{ns}	11744/18 ^{ns}	سال×فسفر
4	294/6 ^{ns}	0/001 ^{ns}	632/68 ^{ns}	334/07 ^{ns}	15/35 ^{ns}	22/02 ^{ns}	6/64 ^{ns}	6953/4 ^{ns}	رقم×فسفر
4	300/57 ^{ns}	0/001 ^{ns}	958/25 ^{ns}	187/52 ^{ns}	3/02 ^{ns}	12/48 ^{ns}	34/31 ^{ns}	18182/27 ^{ns}	رقم×سال×فسفر
36	377/67	0/001	4468/94	312/62	17/7	22/52	65/25	45562/98	خطا
	13/09	18/23	23/09	9/10	9/16	11/33	8/54	12/06	CV%

ns, *, ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح یک و پنج درصد

جدول 5- خلاصه تجزیه واریانس اثرات حاصل از تجزیه مرکب بر صفات مورد مطالعه در منطقه دزفول

میانگین مربعات								منابع تغییرات
درجه آزادی	وزن خشک	غلظت فسفر	جذب فسفر	تعداد کیسول بارور در مترمربع	وزن هزاردانه	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	
1	36803/27**	0/1654 **	2034673**	62468/3**	1161 **	2041 **	35868/2 ^{ns}	سال
4	2358/88 ^{ns}	0/00005 ^{ns}	13525/3 ^{ns}	7443/1 **	13/3 ^{ns}	15/1**	103846 **	تکرار/ سال
1	2406/67 ^{ns}	0/0109 **	162344 *	1480/1 ^{ns}	3435/3**	8979/3**	127974*	رقم
1	336/07 ^{ns}	0/0054 *	46872/2 ^{ns}	1058/4 ^{ns}	216/6 ^{ns}	17/1*	126/2 ^{ns}	سال×رقم
4	10412/27**	0/0059**	181926**	9657/3**	41/7 **	46/72**	2289429**	فسفر
4	3575/1 ^{ns}	0/00068 ^{ns}	43017/1 ^{ns}	5460/9**	1/93 ^{ns}	25/96**	30127/9 ^{ns}	سال×فسفر

7064/4 ^{ns}	3/64 ^{ns}	2/35 ^{ns}	432/8 ^{ns}	31366/6 ^{ns}	0/000014 ^{ns}	2500/42 ^{ns}	4	رقم×فسفر
2455/4 ^{ns}	2/11 ^{ns}	7/1 ^{ns}	471/7 ^{ns}	23853/7 ^{ns}	0/00034 ^{ns}	4083/98 ^{ns}	4	رقم×سال×فسفر
18835/6	3/56	5/96	735/6	23474/2	0/00093	1818/99	36	خطا
6/66	1/61	6/22	12/37	26/72	13/28	17/65		CV%

^{ns}, **, *: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

جدول 6- خلاصه تجزیه واریانس اثرات حاصل از تجزیه مرکب بر صفات مورد مطالعه در منطقه کرمان

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک	غلظت فسفر	جذب فسفر	تعداد کیسول بارور در مترمربع	تعداد دانه در کیسول	وزن هزاردانه	ارتفاع بوته عملکرد دانه
سال	1	189169**	0/148 **	2056090**	13202**	370 **	1530**	281 *
تکرار/ سال	4	4511 ^{ns}	0/01 **	50792 *	1125/8 ^{ns}	16/32 ^{ns}	43/83 ^{ns}	72/3 ^{ns}
رقم	1	36654 **	0/012 *	186261 **	123/27 ^{ns}	62/02 ^{ns}	453**	1251**
سال×رقم	1	43794**	0/001 ^{ns}	325754 **	8073**	50/42 ^{ns}	8/82 ^{ns}	3526**
فسفر	4	18144**	0/0002 ^{ns}	101399**	651/1 ^{ns}	32/85 ^{ns}	11/85 ^{ns}	617/8**
سال×فسفر	4	12847*	0/003 ^{ns}	70081*	2075*	34/77 ^{ns}	23/57 ^{ns}	850/88**
رقم×فسفر	4	7424/4 ^{ns}	0/001 ^{ns}	82491**	588/4 ^{ns}	123/43 *	97/08 ^{ns}	355 **
رقم×سال×فسفر	4	11465 *	0/001 ^{ns}	110993 **	1090/6 ^{ns}	80/58 ^{ns}	247**	187/63 *
خطا	36	3835	0/0025	18977/8	689/7	38/35	43/74	57/52
CV%		28/21	20/92	27/19	27/48	17/6	20/66	8/05

^{ns}, **, *: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در مناطق اجرا

نتایج مقایسه میانگین دوساله داده‌ها بر عملکرد دانه گلرنگ (جدول 7) نشان داد که در منطقه داراب بین سطوح مختلف کود حاوی فسفر و ارقام گلرنگ، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی عددی داده‌ها در هر دو رقم کشت شده، نشان‌دهنده این مطلب است که مصرف کود حاوی فسفر تا سطح 100 و 150 کیلوگرم، موجب افزایش عملکرد دانه گلرنگ نسبت به عدم مصرف کود حاوی فسفر شد که این افزایش عملکرد در رقم گلدشت، مقادیر بیشتری را نسبت به رقم پدیده نشان داد. در منطقه اصفهان بین سطوح 50، 100 و 150 کیلوگرم بر هکتار در ارقام گلدشت و پدیده، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد اما بیشترین مقدار عددی عملکرد دانه از کاربرد 50 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر و رقم گلدشت بدست آمد (3980 کیلوگرم در هکتار- معادل 28/5 درصد افزایش نسبت به شاهد این رقم)، در صورتی

که رقم پدیده برای تولید عملکردی معادل این مقدار به 150 کیلوگرم کود در هکتار احتیاج داشت. در منطقه دزفول بین سطوح کود حاوی فسفر (100، 150 و 200 کیلوگرم در هکتار) در هر دو رقم گلدشت و صغه، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد اما با مصرف کود حاوی فسفر، عملکرد دانه گلرنگ نسبت به شاهد افزایش نشان داد و بیشترین مقدار عددی عملکرد دانه از کاربرد سطح 150 کیلوگرم در هکتار و رقم صغه بدست آمد (2408 کیلوگرم در هکتار- معادل 78 درصد افزایش نسبت به شاهد این رقم). در منطقه کرمان بیشترین مقدار عملکرد دانه از کاربرد 150 کیلوگرم بر هکتار کود حاوی فسفر و رقم گلدشت بدست آمد که با سایر تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری داشت. در این منطقه در تیمار شاهد، عملکرد دانه در رقم گلدشت 50 درصد بیشتر از رقم صغه بود (جدول 7).

پژوهشگران پاسخ متفاوت ارقام گلرنگ به سطوح مختلف کود حاوی فسفر را گزارش نموده‌اند

(دانیسیزو و همکاران، 2015؛ سوفی و همکاران، 2020). اثر مثبت کود حاوی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (تعداد کپسول بارور در مترمربع، وزن هزاردانه و ارتفاع بوته)، به دلیل نقش مستقیم این عنصر در فرآیندهای سوخت و ساز گیاه، در تقسیم و رشد سلول، انتقال انرژی، ساخت مواد آلی، تنفس و فتوسنتز است. همچنین، هرگاه گیاه بتواند مقدار بیشتری از تابش خورشیدی را جذب نماید، می‌تواند با مقدار بیشتری از ذخایر فتوسنتزی در مرحله رشد رویشی، وارد مرحله زایشی شود. در نتیجه، علاوه بر تولید محصول بیشتر، قادر خواهد بود که مقدار بیشتری از ترکیبات آلی فتوسنتزی را به دانه منتقل نماید و از این طریق باعث افزایش عملکرد دانه شود. از طرفی، تأمین بهینه فسفر در هنگام گلدهی باعث افزایش گرده افشانی در گیاه می‌شود، چرا که فسفر نقش مهمی در گرده افشانی گیاهان دارد. از این رو به نظر می‌رسد، فسفر از راه افزایش اجزای عملکرد می‌تواند موجب بهبود عملکرد دانه گردد (جیدا سیلوا و همکاران، 2017؛ حشمتی و همکاران، 2017؛ احمدپور ابنوی و همکاران، 2019).

تفاوت در مقدار عملکرد دانه ارقام را می‌توان به تفاوت در اجزاء عملکرد گلرنگ و در نهایت به برآیند آن‌ها نسبت داد که منجر به تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه

می‌گردد (جدول 7). البته می‌تواند به دلیل سازگاری بهتر شرایط منطقه با نیازهای رویشی رقم مورد اشاره نیز باشد. در منطقه دزفول عملکرد رقم صفه بهتر از رقم گلدشت بود. رقم صفه شب‌های خنک‌تر را ترجیح می‌دهد که این می‌تواند یکی از دلایل واکنش متفاوت رقم در مناطق مختلف باشد (جباری و همکاران، 1398). اختلاف بین عملکرد و سایر ویژگی‌های ارقام گلرنگ در آزمایش‌های دیگر نیز گزارش شده است. در این باره، بررسی شاخص‌های گیاهی در 10 رقم گلرنگ، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین صفات مورد مطالعه (ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن هزاردانه، درصد روغن و عملکرد دانه)، بود که این تفاوت‌ها به پتانسیل ژنتیکی آن‌ها ربط داده شد (کیلی و همکاران، 2016). نتایج تحقیق خدامرادی و همکاران (1393) با کاربرد کود حاوی فسفر برای دو رقم گلرنگ کشت شده در منطقه معتدل سرد کرمانشاه نشان داد که کاربرد 100 کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات تریپل در رقم گلدشت موجب افزایش 10 درصدی عملکرد دانه گلرنگ نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف فسفر شد اما در رقم پدیده این مقدار افزایش به 166 درصد رسید.

جدول 7- مقایسه میانگین دوساله اثر متقابل تیمارها بر عملکرد دانه گلرنگ در مناطق اجرا

منطقه	مقدار کود حاوی فسفر (کیلوگرم در هکتار)									
	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
نوع رقم*	گلدشت					پدیده				
داراب	3279a	3818a	3941a	3847a	3826a	3122a	3590a	3715a	3721a	3624a
اصفهان	3098c	3980a	3882a	3684ab	3726ab	2774c	3176bc	3129c	3847a	3731ab
نوع رقم	گلدشت					صفه				
دزفول	1315c	1892b	2282a	2273a	2307a	1352c	2035b	2331a	2408a	2404a
کرمان	980b	1866b	1712b	3303a	1753b	651b	1527b	1629b	1882b	1652b

* در هر منطقه دو رقم گلرنگ کشت شد. در مناطق دزفول و کرمان رقم صفه جایگزین رقم پدیده شد (به دلیل کشت غالب منطقه). در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشترک، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد ندارند.

نتایج مقایسه میانگین دوساله اثر تیمارها بر اجزای عملکرد گلرنگ (جدول 8) نشان داد که بیشترین مقدار وزن هزاردانه در منطقه داراب و اصفهان به ترتیب از کاربرد 50 و 200 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر بدست آمد و رقم پدیده (56 و 55 گرم) نسبت به رقم گلدشت (32 و 37 گرم) برتری داشت اما در منطقه دزفول و کرمان بیشترین مقدار وزن هزاردانه در رقم گلدشت مشاهده شد و بین سطوح کاربرد کود حاوی فسفر در منطقه کرمان تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. بالاترین تعداد کپسول بارور در مترمربع در منطقه دزفول از تیمار 200 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر و در اصفهان از کاربرد 50 کیلوگرم در هکتار بدست آمد و رقم گلدشت نسبت به رقم پدیده برتری داشت. اما در مناطق داراب و کرمان بین تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین ارتفاع بوته (132 سانتی‌متر) در منطقه دزفول از کاربرد 200 کیلوگرم در هکتار و رقم صغه بدست آمد اما در منطقه کرمان (113 سانتی‌متر) از کاربرد 150 کیلوگرم در هکتار، اصفهان (106 سانتی‌متر) و داراب (101 سانتی‌متر) از کاربرد 50 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر بدست آمد و رقم گلدشت در این مناطق برتری داشت (جدول 8).

تعداد کپسول بارور در مترمربع، به عنوان یکی از مهمترین اجزاء عملکرد، همبستگی بالایی با عملکرد دانه گلرنگ دارد، به‌طوری که با افزایش درجه فراهمی فسفر همزمان با تأمین سایر عناصر غذایی، افزایش معنی‌دار این صفت بروز خواهد نمود. این امر، از طریق افزایش سنتز کلروفیل، مقدار بیشتری از کربوهیدرات‌های فتوسنتزی را، برای تولید تعداد مریستم‌های آغازنده شاخه‌های فرعی فراهم می‌کند. افزون بر این، در گلرنگ به ازای هر شاخه فرعی معمولاً یک کپسول نیز تشکیل می‌شود؛ که این امر، موجب افزایش اجزای عملکرد دانه

در گیاه خواهد شد (پالودو و همکاران، 2017). نتایج مشابهی نیز توسط (بونفیم-سیلوا و همکاران، 2017) در این باره گزارش شده است. تعداد کپسول بارور در گیاه و به تبع آن تعداد دانه در هر کپسول، از جمله‌ی این متغیرها می‌باشند که نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد دانه گلرنگ بر عهده دارند (ارسلان و کوپلان، 2018). استفاده از کودهای حاوی فسفر به دلیل افزایش رشد ریشه و به تبع آن افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزاردانه می‌گردد. از طرفی، برای تولید دانه در گیاهان زراعی، وزن هزاردانه نشان‌دهنده سلامتی گیاه در طول دوره پر شدن دانه می‌باشد (لوپز و فونتز، 1986). تفاوت در مقدار وزن هزاردانه ارقام گلرنگ را می‌توان به تفاوت ژنتیکی آن‌ها ارتباط داد. به عبارت دیگر، وزن هزاردانه از ویژگی‌های متأثر از اثر رقم می‌باشد، و تولید بذر سنگین‌تر، بیشتر نتیجه انتقال مناسب فتوآسیمیلات‌ها به بذر می‌باشد (علیزاده و کاراپتیان، 2006). همچنین افزایش ارتفاع بوته، احتمالاً به علت تأثیر مثبت فسفر بر گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و جذب بیشتر عناصر غذایی می‌باشد.

در تحقیق خدامرادی و همکاران (1393) بر روی دو رقم گلرنگ، نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (105 سانتی‌متر) تحت تأثیر تیمار کودی 50 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل در رقم پدیده و کمترین آن با 95 سانتی‌متر در تیمار شاهد بدون مصرف فسفر و رقم گلدشت بدست آمد که با نتایج این پژوهش در رقم برتر منطقه اصفهان مغایرت دارد.

با توجه به همبستگی معنی‌دار بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده تعداد دانه در کپسول ($r = 0/58^{**}$) و وزن هزاردانه ($r = 0/19^{**}$) با عملکرد دانه، افزایش عملکرد دانه می‌تواند متأثر از افزایش این دو جزء عملکرد باشد.

جدول 8- مقایسه میانگین دو ساله اثر متقابل تیمارها (رقم و مقدار کود) بر اجزای عملکرد گلرنگ در مناطق اجرا

مقدار کود حاوی فسفر (کیلوگرم در هکتار)										صفات	منطقه
200	150	100	50	0	200	150	100	50	0		
پدیده					گلدشت						
116a	112a	116a	102a	104a	142/5a	135a	142a	132a	101a	تعداد کپسول بارور	داراب
55a	51ab	55/5a	56a	48b	29c	32c	32c	32c	28c	وزن هزاردانه	
86a	89a	92a	96a	97a	94a	93a	95/5a	101a	91a	ارتفاع بوته	
90b	136b	90b	81/6b	86/4b	127a	120a	129/6a	132a	126a	تعداد کپسول بارور	اصفهان
55a	52ab	52ab	53/5ab	50/5b	37c	37c	36c	37c	34c	وزن هزاردانه	
89b	86bc	82c	83bc	80c	103a	101a	103a	106a	105a	ارتفاع بوته	
صفه					گلدشت						
240ab	234ab	220ab	194ab	183b	256a	250ab	234ab	182b	198ab	تعداد کپسول بارور	دزفول
32b	32b	33b	32b	29b	47/5a	48a	48/5a	47a	43a	وزن هزاردانه	
132a	131a	130a	129a	128a	109b	106b	105b	105b	102b	ارتفاع بوته	
56/5a	64a	56a	58a	75a	51a	77a	65a	48a	54a	تعداد کپسول بارور	کرمان
30a	30a	33/5a	28a	25a	34a	36/5a	30a	37a	36a	وزن هزاردانه	
101ab	94/5ab	89bc	90bc	74c	94/5ab	113a	93b	99ab	95ab	ارتفاع بوته	

تأثیر سطوح مختلف کود حاوی فسفر بر جذب فسفر

اندام هوایی گیاه گلرنگ در مرحله خروج از روزت

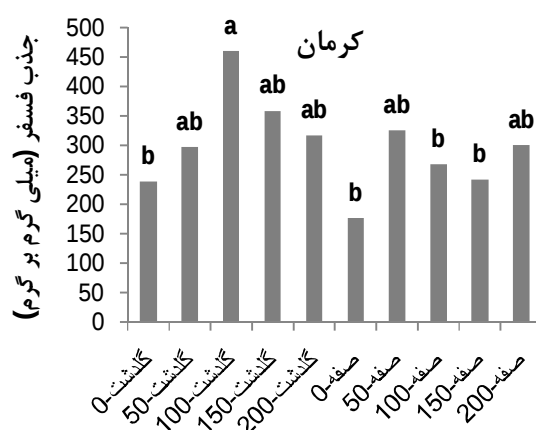
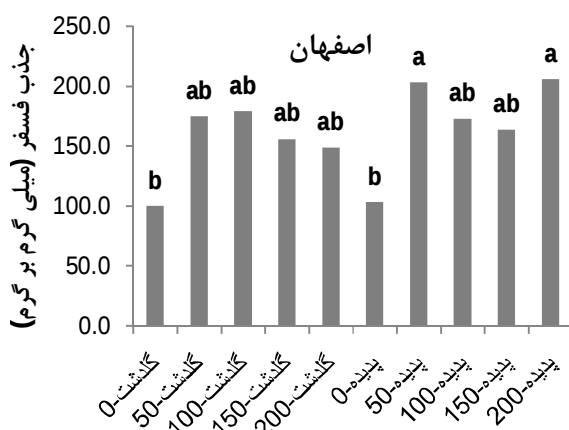
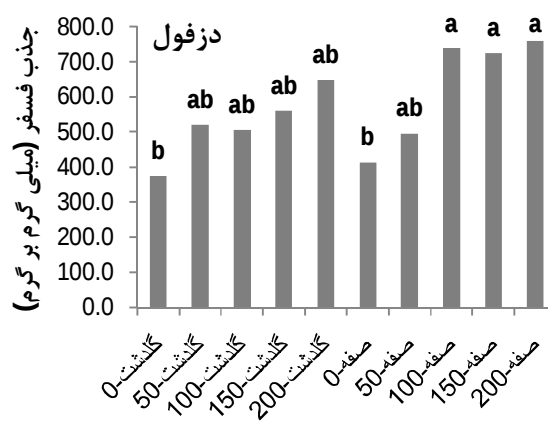
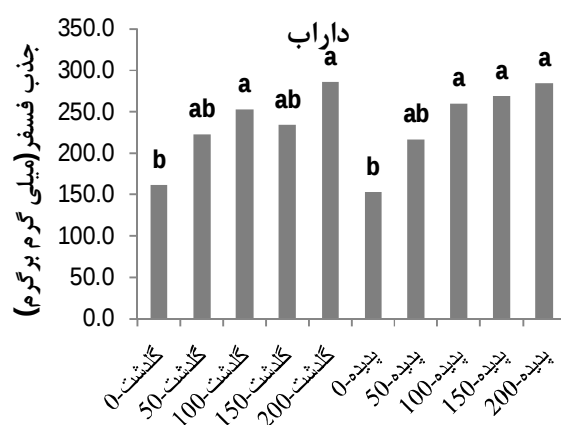
نتایج مقایسه میانگین دوساله داده‌ها نشان داد که با کاربرد سطوح مختلف کود حاوی فسفر، مقدار جذب فسفر نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود حاوی فسفر) افزایش یافت و این افزایش در تمام مناطق از لحاظ آماری معنی‌دار بود. در منطقه کرمان بیشترین مقدار جذب فسفر از رقم گلدشت و از کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر بدست آمد. در منطقه داراب بین کاربرد سطوح 100، 150 و 200 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر و رقم پدیده تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد و با سطح 100 و 200 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر در رقم گلدشت در یک گروه آماری قرار گرفت. در منطقه اصفهان بیشترین مقدار جذب فسفر از کاربرد تیمار 50 و 200 کیلوگرم در هکتار کود حاوی فسفر و رقم پدیده بدست آمد و در منطقه دزفول بین سطوح کودی 100، 150 و 200 کیلوگرم در هکتار، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین مقدار جذب فسفر از رقم صفه بدست آمد (شکل 1).

بین مناطق اجرا از لحاظ کلیه خصوصیات

اندازه‌گیری شده تفاوت وجود داشت که این امر می‌تواند متأثر از خصوصیات خاک، اقلیم و آب آبیاری مناطق باشد. اگرچه در کلیه مناطق رقم گلدشت به عنوان رقم مشترک حضور داشت ولی توجه به شاخص‌های اندازه‌گیری شده در این رقم به صورت واضح تفاوت مناطق را نشان داد. با توجه به نتایج جدول (7) در سطح شاهد، عملکرد دانه گلدشت در مناطق داراب و اصفهان بیش از 3 تن در هکتار بود ولی در منطقه کرمان زیر یک تن و در دزفول کمتر از 1500 کیلوگرم در هکتار بود. این رقم بهترین عملکرد را در مناطق داراب و اصفهان به حدود 3900 کیلوگرم در هکتار رساند. ولی بیشترین جهش عملکرد این رقم در منطقه کرمان بود که به حدود 3300 کیلوگرم در هکتار رسید. در صورتی که در این منطقه رقم صفه حداکثر عملکرد حدود 1900 کیلوگرم در هکتار را داشت. ولی در منطقه دزفول رقم صفه با رقم گلدشت از لحاظ معنی‌داری برابری کرد. این امر نشان می‌دهد که نوع رقم گلرنگ با توجه به منطقه کشت می‌تواند در تولید محصول بسیار مؤثر باشد و بر اقتصاد زارع و پایداری تولید این محصول تأثیر نماید.

افزایش جذب فسفر در نتیجه‌ی مصرف کود حاوی فسفر در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (آبادی، 2017). همچنین، میزان جذب فسفر در ارقام گلرنگ در مناطق اجرا متفاوت بود که این موضوع را می‌توان به متفاوت بودن وزن خشک و نیز غلظت فسفر اندام هوایی گیاه بین ارقام مرتبط دانست.

افزایش جذب فسفر را می‌توان به توسعه ریشه، ترشح اسیدهای آلی و یا ترشح یون پروتون داخل ریزوسفر، مرتبط دانست؛ مضافاً اینکه، با توجه به پایین بودن فسفر قابل جذب (پایین‌تر از غلظت بحرانی؛ 12-15 میلی‌گرم بر کیلوگرم)، پاسخ به کود حاوی فسفر محتمل بود (هانتز و همکاران، 2014؛ دوی و همکاران، 2012).



شکل 1- مقایسه میانگین دوساله اثر متقابل تیمارها (کود و رقم) بر مقدار جذب فسفر اندام هوایی گلرنگ به تفکیک مناطق اجرا

شیمیایی تعیین گردد. از این رو، برای تحلیل اقتصادی نتایج از نسبت فایده به هزینه (درآمد افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد به هزینه کود مصرفی که در تیمار شاهد مصرف نشده) استفاده گردید. بر این اساس، نتایج حاکی از این است که بیشترین نسبت فایده به هزینه به میزان 33/96 از مصرف 150 کیلوگرم کود فسفر در

بررسی اقتصادی نتایج (نسبت فایده به هزینه)

مدیریت بهینه عناصر غذایی یکی از ارکان مهم سامانه کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. در این سامانه، چون تولید اقتصادی محصول همراه با حفظ و پایداری بلند مدت حاصلخیزی خاک مد نظر می‌باشد، ضروری است که با توجه به عملکرد اقتصادی، میزان بهینه کودهای

بیشتر شده و نسبت سود به هزینه بیشتری ایجاد نمود. در صورتی که رقم گلدشت با 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر در هکتار بیشترین عملکرد دانه را در این منطقه داشت ولی شاهد این رقم نیز حدود 3 تن در هکتار عملکرد دانه داشت. با توجه به اینکه امکان فراهم نمودن 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر برای زارعین در شرایط فعلی کشور نسبت به 150 کیلوگرم کود بیشتر است، لذا رقم گلدشت با سطح 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی برای این منطقه پیشنهاد می‌گردد.

هکتار و با به کارگیری رقم گلدشت در منطقه کرمان به دست آمد (جدول 9). بهترین نسبت فایده به هزینه در منطقه داراب از سطح 100 کیلوگرم کود حاوی فسفر و در رقم گلدشت، در منطقه دزفول از سطح 150 کیلوگرم کود حاوی فسفر در رقم صفه، در منطقه اصفهان از سطح 150 کیلوگرم کود حاوی فسفر در رقم پدیده حاصل شد. علت قرارگیری رقم پدیده در اولویت اقتصادی در منطقه اصفهان به مقدار پایین عملکرد دانه این رقم در تیمار شاهد مربوط است که تفاوت عملکرد سطح شاهد با سطح تیمار 150 کیلوگرم کود حاوی فسفر در این رقم

جدول 9- نسبت فایده به هزینه دانه گلرنگ در مناطق مختلف برای سطوح مختلف کود حاوی فسفر

منطقه	مقدار کود حاوی فسفر (کیلوگرم در هکتار)									
	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
داراب	پدیده					گلدشت				
	-	7/87	9/67	8/30	7/99	-	6/84	8/66	8/75	7/33
اصفهان	پدیده					گلدشت				
	-	12/89	11/45	8/56	9/18	-	5/87	5/19	15/68	13/98
دزفول	صفه					گلدشت				
	-	8/43	14/13	13/99	14/49	-	9/98	14/3	15/42	15/37
کرمان	صفه					گلدشت				
	-	12/95	10/71	33/96	11/31	-	12/80	14/9	17/99	14/62

قیمت هر کیلوگرم دانه گلرنگ 109576 ریال در سال زراعی 1400-1401 و قیمت هر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل 15 هزار تومان در نظر گرفته شد.

نتیجه‌گیری

گلدشت مناسب شرایط این منطقه می‌باشد (در محدوده فسفر خاک بررسی شده) و در منطقه اصفهان نیز سطح 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر و کشت رقم گلدشت می‌تواند قابل توصیه باشد. در منطقه دزفول عملکرد مناسب در رقم گلدشت با کاربرد 100 کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل حاصل خواهد شد و افزایش مصرف کود در این رقم افزایش عملکرد دانه نخواهد داشت و در صورتی که بخواهیم عملکرد بیشتری دریافت نماییم می‌توانیم رقم صفه را با کاربرد 150 کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در نظر داشته باشیم. در منطقه کرمان در شرایط کمبود فسفر، رقم گلدشت برتر از رقم صفه بود. نوع رقم گلرنگ با توجه به منطقه کشت می‌تواند در تولید محصول بسیار مؤثر باشد و بر اقتصاد زارع و پایداری تولید این محصول تأثیر نماید. با لحاظ نمودن نتایج عملکرد دانه، نتایج

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف کود حاوی فسفر در شرایط محدودیت فسفر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه گلرنگ شود. مقدار فسفر قابل جذب خاک پیش از کشت در اصفهان 10/2، داراب 11، کرمان 7 و دزفول 7/18 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در منطقه داراب، اصفهان و کرمان بیشترین مقدار عددی عملکرد دانه از رقم گلدشت بدست آمد اما در منطقه دزفول از رقم صفه حاصل شد. با کاربرد کود سوپرفسفات تریپل در مناطق داراب، دزفول، اصفهان و کرمان به ترتیب 20، 78، 28 و 237 درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. به‌طورکلی با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش و نقش مؤثر فسفر بر عملکرد دانه گلرنگ و ضرورت استفاده مناسب از این عنصر غذایی، در منطقه داراب سطح 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر و کشت رقم

زیست‌محیطی ناشی از مصرف مازاد این کودها، گسترش ارقام کارا می‌تواند یک شیوه بسیار مؤثر در بهبود رشد و نمو گیاهان و کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفاته باشد. دلایل برتری ارقام و یا تفاوت آن‌ها از لحاظ واکنش به مصرف فسفر نیز می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این که در اکثر مناطق گلرنگ در اراضی حاشیه‌ای کشت می‌گردد شاید بهتر باشد اثرات ترکیبی تنش‌هایی همچون شوری و یا خشکی نیز در کنار واکنش ارقام به عناصر غذایی بررسی گردد. اجرای پروژه در مناطق بیشتری از سطح کشور برای موضوع فسفر گلرنگ، این امکان را فراهم خواهد نمود که توصیه‌های کودی در مورد این گیاه دانه روغنی نیز با دقت بیشتری انجام گیرد.

بررسی اقتصادی و مسائل زیست محیطی، در منطقه اصفهان، مقدار 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر قابل توصیه است. در جمع‌بندی کلی برای مناطق با فسفر قابل جذب 10 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، مقدار 50 کیلوگرم کود حاوی فسفر با عملکرد مورد انتظار 3899 کیلوگرم در هکتار و برای خاک مناطق با فسفر قابل جذب 7 میلی‌گرم در کیلوگرم، مقدار 150 کیلوگرم کود حاوی فسفر با عملکرد مورد انتظار 2855 کیلوگرم در هکتار برای گیاه گلرنگ در مناطق گرم قابل توصیه خواهد بود.

پیشنهادهای

پیشنهاد می‌گردد در زمان توصیه کودی علاوه بر مقدار فسفر خاک، به نوع رقم مناسب منطقه نیز توجه گردد. به دلیل هزینه بالای کودهای شیمیایی و خطرات

فهرست منابع:

1. بایوردی، ا. و ف. نورقلی پور. 1398. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه گلرنگ. نشریه فنی 587. موسسه تحقیقات خاک و آب.
2. جباری، ح.، س. س. پورداد، ا. ح. امیدی، م. ر. نظری، ح. صادقی گرمارودی، م. ر. شهنساری، ف. نورقلی پور، ر. رضوی، ع. ا. کیهانیان، م. ر. کرمی نژاد، م. جمشیدی مقدم، م. صفری، م. اکبری، ه. شریف نسب. 1398. دستورالعمل فنی کشت گلرنگ (آبی و دیم). موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی.
3. خدامرادی، م.، م. سراجوقی و ا. ع. محمدی. 1393. بررسی اثرات سطوح مختلف فسفر بر صفات رویشی و عملکرد ارقام گلرنگ در شرایط آبی. همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی.
4. زینلی، ا. 1391. گلرنگ (شناخت، تولید و مصرف). انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، 137 صفحه.
5. عراقی نژاد، م.، ر. م. سراجوقی، و م. ن. ایلکائی. 1395. تأثیر سطوح مختلف سولفات پتاسیم بر افزایش عملکرد ارقام صغه و گلدشت در گلرنگ. مجله زراعت و اصلاح نباتات. 12 (3): 109-122.
6. علی احیایی، م.، و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روش‌های شیمیایی تجزیه خاک. نشریه فنی شماره 893. چاپ اول، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
7. حشمتی، س.، م.، امینی دهقی، و ک. فتحی امیرخیز، 1396. تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه، عملکرد روغن و اسیدهای چرب گلرنگ بهاره در شرایط کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران)، 48(1)، 159-169.
8. میر سید حسینی، ح. و ف. نورقلی پور. 1398. چالش‌های افزایش تولید و نقش تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک در کشت کلزا. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. 5-7 شهریور 1398. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

9. نورقلی پور، ف.، ع. جعفر نژادی، ی. محمد نژاد، م. پسندیده، س. سلیم پور، م. حسین ارزانش، م. افصلی، ا. اسدی جلودار، ا. بایبوردی، ن. منتجبی، م. زلفی باوریانی، پ. کشاورز، ک. میرزا شاهی، ج. قادری، م. حسینی، و م. سیلپور. 1399. تغذیه تلفیقی کلزا در برخی از مزارع مناطق گرم و سرد کشور (پایلوت تغذیه کلزا). گزارش نهایی 57614 مورخ 99/3/10، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
10. Abbadi, J. 2017. Phosphorous use efficiency of safflower and sunflower grown in different soils. World Journal of Agricultural Research 5 (4): 212-220.
11. Abbadi, J., and Gerendas, J. 2011. Effects of phosphorus supply on growth, yield, and yield components safflower and sunflower. Journal of Plant Nutrition 34:1769-1787.
12. Afzal, O., Asif, M., Ahmed, M., Awan, F. K., Aslam, M. A., Zahoor, A., Bilal, M., Shaheen, F. A., Zulfiqar, M. A., and Ahmed, N. 2017. Integrated nutrient management of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under rain fed conditions. American Journal of Plant Science 8: 2208-2218.
13. Ahmadpour Abnavi, S., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation condition. Agricultural Science and Sustainable Production 29(1): 269-284.
14. Alizadeh, K., and Carapetian, J. 2006. Genetic variation in a safflower germ plasm grown in rainfall cold dry lands. Agronomy Journal 5: 50-52.
15. Arsalan, B., and Cuplan, E. 2018. Identification of suitable safflower genotypes for the development of new cultivars with high seed yield, oil content and oil quality. Azarian Journal of Agricultural 5(5):133-141.
16. Bonfim -Silva, E. M., Dourado, L. G. A., Soares, D. S., Santos, T. M., da Silva, T. J. A., and Fenner, W. 2017. Reactive natural phosphate in safflower fertilization in Cerrado Oxisol. Journal of Agricultural Science 11(15). 142-135.
17. da Anicesio, E. C. A., Bonfim- Silva, E. M., da Silva, T. J. A., and Koetz, M. 2015. Dry mass, nutrient concentration and accumulation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) influenced by nitrogen and potassium fertilizations. Australian Journal of Crop Science 9(6): 552-560.
18. Devi, K. N., Singh, L. N. K., Devi, T. S., Devi, H. N., Singh, T. B., Singh, K. K., and Singh, W. M. 2012. Response of Soybean (*Glycine max* L. Merrill) to Sources and Levels of Phosphorus. Journal of Agricultural Science 4 (6): 44 - 53.
19. Golzarfar, M., Shiranirad, A. H., Delkhosh, B., and Bitarafan, Z. 2012. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) response to different nitrogen and phosphorus fertilizer rates in two planting seasons. Zemdirbyste-Agriculture 99(2): 159-166.
20. Haghighati Malek, A., Ferri, F. 2014. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on safflower yield in dry lands condition. International Journal of Research in Agricultural Sciences 1(1): 2348-23.
21. Heidari, M., Sobhkizi, A. R., Mahmoody, M., and Noori, M. 2014. Evaluation of phosphorus fertilizer and *azospirillum* on number of head, number of branch and plant height on safflower. International Journal of Biosciences 5(1): 455-460.
22. Hunter, P. J., Teakle, G. R., and Bending, G. D. 2014. Root traits and microbial community interaction on relation availability and acquisition, with particular reference to Brassica. Frontiers in Plant Science 5: 1- 18.
23. J. da Silva, C., da Silva, A. C., Zoz, T., Victor. B. Toppa, E., Silva, P. B., and Zanotto, M. D. 2015. Genetic divergence among accessions of *Carthamus tinctorius* L. by morphoagronomic traits. African Journal of Agricultural Research 10 (25):4825-4830.

24. Killi, F., Kanar, Y., and Tekeli, F. 2016. Evaluation of seed and oil yield with some yield components of safflower varieties in Kahraman maras (Turkey) conditions. *International Journal of Environmental and Agricultural Research* 2(7):136-140.
25. Lopez-Bellido, L., and Fuentes, M. 1986. Lupin crop as an alternative source of protein. *Advances in Agronomy* 40: 239-290.
26. Mündel, H. H. and L. R. Centre .2004. Safflower production on the Canadian prairies: revisited in 2004, Lethbridge, Alta.: Lethbridge Research Station, Agriculture and Agri-Food Canada.
27. Paludo, J. S., Bonfim-silva, E. M., Silva, T. J. A., Zanatto, M. D., Fenner, W., and Koetz, M. 2017. Reproductive components of safflower genotype submitted of bulk density levels in the Brazilian Cerrado. *American Journal of Plant Science* 8 (1): 2069-2082.
28. Park, J. H., Bolan, N., Megharaj, M., and Naidu, R. 2011. Isolation of phosphate solubilizing bacteria, and their potential for lead immobilization in soil. *Journal of Hazardous Materials* 185:829–36.
29. Sofy, S.O., Hama, S. J., and Hamma-Umin, B. O. 2020. Influence of phosphorus fertilizer on yield and oil of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties under rain fed condition. *Applied of Ecology and Environmental Research* 18(2): 3409-3418.
30. Vafaie, A., Ebadi, A., Rastgou, B., and Moghadam, S. H. 2013. The effects of potassium and magnesium on yield and some physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Agricultural and Crop Sciences* 5 (17): 1895- 1900.
31. Vanc C., Uhde-Stone C., and Allan D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157: 423-447.
32. Wei, Y., Zhao, Y., Fan, Y., Lu, Q., Li, M., and Wei, Q. 2017. Impact of phosphate solubilizing bacteria inoculation methods on phosphorus transformation and long-term utilization in composting. *Bioresource Technology* 241:134–41.
33. Westerman R.L. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. 3rd edition. American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin.
34. Zhang H., Huang Y., Ye X., Shi L., and Xu F. 2009. Genotypic differences in phosphorus acquisition and the rhizosphere properties of *Brassica napus* in response to low phosphorus stress. *Plant and Soil* 320(1-2): 91-102.

بررسی امکان استفاده از خاک فسفات غنی شده برای تأمین فسفر در باغات چای

حسین بشارتی¹، حمیدرضا دورودیان و کریم شهبازی

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ besharati1350@yahoo.com

استادیار دانشگاه آزاد واحد لاهیجان، گروه زراعت و اصلاح نباتات؛ darya717@yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ shahbazikarim@yahoo.com

ص 259 - 274

دریافت: 1401/3/10 و پذیرش: 1401/9/2

چکیده

استفاده مستقیم از خاک فسفات به عنوان یکی از جایگزین‌های سوپرفسفات مطرح است ولی در خاک‌های آهکی به علت حلالیت ناچیز خاک فسفات چندان مؤثر و ثمربخش نیست، ولی کاربرد آن در خاک‌های اسیدی اتربخشی بیشتری دارد. با این وجود، کاربرد آن در خاک‌های اسیدی شمال کشور کمتر مورد توجه بوده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان جایگزینی خاک فسفات با کودهای شیمیایی فسفوری در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در باغ چند ساله چای واقع در لاهیجان انجام شد. تیمارها شامل: 1- شاهد (بدون کود)، 2- کود سوپرفسفات تریپل (براساس آزمون خاک)، 3- خاک فسفات (به میزانی که به اندازه کود سوپر فسفات سفر وارد خاک نماید)، 4- کمپوست به میزان 10 تن در هکتار، 5- خاک فسفات + باکتری‌های حل‌کننده فسفات 6- خاک فسفات + قارچ‌های حل‌کننده فسفات (گلو موس) 7- خاک فسفات + کمپوست (10 تن در هکتار) 8- خاک فسفات + کمپوست (10 تن در هکتار) + باکتری‌های حل‌کننده فسفات (باکتری سودوموناس) 9- خاک فسفات + قارچ‌های حل‌کننده فسفات + کمپوست (10 تن در هکتار)، صفات عملکرد برگ سبز چای (غنچه و دو برگ پایینی)، غلظت فسفر، منگنز، روی، آهن، مس در برگ و خاک و نیز اسیدیته و شوری خاک اندازه‌گیری شد. تیمار باکتری + قارچ + کمپوست + خاک فسفات بعنوان بهترین تیمار افزایش دهنده شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مقایسه با شاهد تشخیص داده شد و این تیمار با تیمارهای کاربرد باکتری + خاک فسفات، قارچ + خاک فسفات و کمپوست + خاک فسفات تفاوت معنی‌دار نشان نداد. تیمار مذکور فسفر خاک، فسفر برگ، عملکرد، آهن برگ و روی خاک را در مقایسه با شاهد به ترتیب 35، 6، 109، 6 و 12 درصد افزایش داد. مصرف خاک فسفات به تنهایی در مقایسه با شاهد فسفر قابل جذب خاک را بطور معنی‌دار افزایش داد ولی بیشترین مقدار فسفر خاک با کاربرد توأمان خاک فسفات همراه با کمپوست و میکروارگانیزم‌ها (کودزیستی)، باکتری و قارچ حاصل شد. از لحاظ عملکرد برگ سبز چای دو تیمار سوپر فسفات و خاک فسفات نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان دادند ولی هر دو در یک سطح آماری قرار داشتند. از نظر فسفر قابل جذب خاک و فسفر برگ چای، کود سوپر فسفات تریپل برتر از شاهد و خاک فسفات تنها، ظاهر شد. ولی همچنان بهترین تیمار از لحاظ سه شاخص یادشده مصرف توأمان خاک فسفات، کمپوست و میکروارگانیزم‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، خاک فسفات، قارچ‌های حل‌کننده فسفات، مایکوریز، باغ چای

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج - جاده مشکین دشت - بلوار امام خمینی (ره) - موسسه تحقیقات خاک و آب. 09123101247

مقدمه

چای در کشور ایران از نظر میزان مصرف و سهم در الگوی تغذیه جایگاهی نظیر محصولات اساسی گندم، گوشت، شیر و غیره دارد. میزان مصرف سرانه چای در ایران از مقدار $1/18$ کیلوگرم در سال 1356 به حدود $1/1$ کیلوگرم در سال 1397 رسیده و لذا مصرف چای از $41/3$ هزار تن به حدود 85 هزار تن رسیده است. سطح زیر- کشت باغات چای که با توجه به اقلیم مناسب برای کشت در مناطق شمالی کشور و عمدتاً در استان گیلان متمرکز می باشد، طی 47 سال گذشته (1350- 1397) کاهش چشمگیر داشته و از 34 هزار هکتار به $28/2$ هزار هکتار کاهش یافته است. ایران حدود 2 درصد تولید چای جهان را به خود اختصاص داده است.

تغذیه باغات چای یکی از عوامل مهم به زراعی برای بهبود کیفیت و افزایش تولید در واحد سطح می باشد. مقدار فسفر در بیش از 70 درصد اراضی کمتر از حد بحرانی (15 میلی گرم در کیلوگرم) بوده (شهبازی و بشارتی، 1392) و سالانه بیش از 700 هزار تن کود فسفوری در اراضی باید مصرف گردد تا فسفر مورد نیاز گیاهان تأمین گردد. بخش اعظم کود فسفوری مورد نیاز در کشور کود سوپرفسفات تربیل می باشد که وارداتی است و سالانه هزینه هنگفتی صرف تأمین و تدارک این کود می گردد. خاک فسفات منبع و ماده اولیه تهیه کودهای فسفاته در دنیا می باشد. تولید صنعتی کودهای فسفاته از خاک فسفات مستلزم داشتن تکنولوژی مربوطه و صرف هزینه است. به دلیل محدودیت منابع کودهای فسفر محلول و افزایش قیمت تجارت جهانی این محصول، استفاده مستقیم از خاک فسفات به عنوان یکی از روش های جایگزین مطرح شده است. کاربرد مستقیم خاک فسفات به عنوان یک کود فسفره که از ساده ترین و کم هزینه ترین روش های تأمین فسفر گیاه محسوب می شود، در خاک های آهکی به علت حلالیت ناچیز خاک فسفات چندان مؤثر نبوده و ثمربخش نیست. لذا کاربرد مستقیم خاک فسفات معمولاً به همراه موادی که به آزادسازی فسفر از آن کمک

می کنند، توصیه شده است (سلیم پور و همکاران، 2010). کاربرد خاک فسفات مخلوط شده با گوگرد و مواد آلی و مصرف خاک فسفات همراه با میکروارگانیزم های مختلف و از جمله حل کننده های فسفات، اکسید کننده های گوگرد و قارچ های میکوریزی، از جمله روش های مستقیم کاربرد خاک فسفات به شمار می روند. در خصوص کاربرد مستقیم خاک فسفات در اراضی آهکی کشور تحقیقات زیادی در طی یک دهه گذشته انجام شده است (بشارتی، 2017، بشارتی و همکاران، 2018، سلیم پور و همکاران، 2010). اما کاربرد آن در خاک های اسیدی شمال کشور کمتر مورد توجه بوده است. پژوهش ها نشان داده است که می توان با تیمار خاک فسفات با اسیدهای مختلف اثر بخشی استفاده از خاک فسفات را افزایش داد. در آزمایشی نقش اسیدهیومیک، کود گاوی، کود مرغی، اسیدهای نیتریک، سولفوریک و فسفریک در حلالیت فسفر دو نوع خاک فسفات (خام و تغلیظ شده)، شکل های شیمیایی فسفر خاک و اثر بخشی تیمارها در گیاهان ذرت و کلزا در یک خاک آهکی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر اسیدهای معدنی، کودهای آلی، نوع خاک فسفات در حلالیت فسفر خاک فسفات معنی دار بود (تهرانی و همکاران، 1394). میزان فسفر قابل استفاده خاک با کاربرد خاک فسفات جزیی اسیدی شده با اسید فسفریک و سولفوریک به ویژه در سطح 50 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاملاً مشابه با اثر کاربرد سوپرفسفات تربیل بود (تهرانی و همکاران، 1394).

منابع فسفات اثر مهمی بر فرایند حلالیت فسفر در خاک دارند. گونه های مختلف باسیلوس، فسفات کلسیم را به خوبی حل می کنند، ولی مطلقاً قابلیت انحلال فسفات آهن را ندارند. بطور کلی حلالیت فسفات آهن به وسیله میکروارگانیزم ها اندک است. یاداو و سینگ (1991) گزارش کردند که گونه های باسیلوس مگاتریوم و سرئوس، آسپرژیلوس نیجر و پنسیلیوم دیجیتاتوم اسیدیته خاک را بطور معنی داری کاهش می دهند. در خاک های اسیدی، گروه قارچ های حل کننده فسفات بهتر از باکتری ها عمل می کنند (یاداو و سینگ، 1991). عواملی مانند

وضعیت حاصلخیزی خاک (بخصوص سطح نیتروژن و فسفر)، درجه حرارت، رطوبت، مواد آلی و ویژگی‌های فیزیکی خاک در تعداد باکتری‌های حل کننده فسفات مؤثرند (کوسی و لگت، 1989 یحیی و الاضاوی 1989). کلات کردن عناصری که فسفر را تثبیت می‌کنند، می‌تواند به عنوان یکی از مکانیسم‌های اثر مواد آلی بر افزایش حلالیت فسفر در ریزوسفر خاک مطرح باشد (تیان و کولاول، 2004).

اندازه ذرات خاک فسفات نیز بر حلالیت آن مؤثر است؛ چراکه حلالیت یک واکنش سطحی است و با افزایش سطح آپاتیت حلالیت آن افزایش می‌یابد. هر قدر این ذرات ریزتر باشند، سطح تماس با محیط و احتمال محلولیت آن بیشتر می‌شود. اسیدیته خاک، غلظت آنیون‌های رقیب فسفر و غلظت یون‌های کلسیم، آهن و آلومینیوم که می‌توانند بر تعادل رسوب/حلالیت فسفر در خاک مؤثر باشند (هینسینگر، 2001). عوامل متعددی در تعیین درجه حلالیت خاک فسفات توسط اسیدهای آلی و کارایی زراعی آن در خاک نقش دارند: میزان انتشار اسیدهای ارگانیک در توده خاک - مدت زمان ارتباط بین سطح کانی آپاتیت و اسیدهای آلی - درجه تفکیک اسیدهای آلی - میل ترکیبی عامل کلات کننده به فلزات و کاتیون‌ها (کپومبلکو و طباطبایی، 1994) - عوامل مدیریتی مزرعه نظیر زمان و روش کاربرد خاک فسفات - ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و مخصوصاً اسیدیته و قابلیت تثبیت فسفر - گونه گیاه زراعی و نیاز غذایی آن - ابعاد ذرات و سطح جانبی نسبی - مینرالوژی و خواص شیمیایی خاک فسفات - واکنش پذیری و حلالیت خاک فسفات (گروور و همکاران، 2003).

کاربرد 2/5- 40 تن درهکتار کمپوست، بیوماس میکروبی و تنفس خاک را در مقایسه با شاهد افزایش داد (باهاتاچاریا و همکاران، 2003). کاربرد 18-6 تن در هکتار کمپوست باعث کاهش اینوزیتول فسفات موجود در خاک گردید. در پی کاربرد 75 تن درهکتار کمپوست، فعالیت آنزیم‌های فسفودی استراز، الکالین فسفومونواستراز، آریل سولفاتاز، دی‌آمیناز، اوره‌آز و پروتئاز افزایش پیدا کرد (وارمان و مونرو، 2000).

گیاهان خانواده کاملیا (مانند چای) توانایی زیادی برای بهره‌برداری از فسفر نسبتاً نامحلول خاک دارند (زویسا و همکاران، 1998). کمبود فسفر از مهمترین مشکلات چای در خاک‌های اسیدی و شدیداً هواده است. آزمایشی برای تعیین اثر خاک فسفات در خاک‌های اسیدی (با pH حدود 4/5) در بوته‌های چای 8 ماهه کشت شده در سریلانکا انجام شد که نشان داد 5 ماه پس از افزودن منابع فسفر، به علت حلالیت بیشتر، کود سوپرفسفات تریپل در افزایش غلظت فسفر بر خاک فسفات برتری داشت، درحالی‌که 10 ماه پس از افزودن منابع فسفر، غلظت فسفر قابل جذب در تیمارهای حاوی خاک فسفات به علت حلالیت در طی زمان طولانی، بیشتر بود. در کرت‌هایی که بوته چای کشت شده بود پس از 5 و 10 ماه به ترتیب 52 و 75 درصد فسفر از منبع خاک فسفات محلول گشت، درحالی‌که در کرت‌های بدون بوته چای این مقادیر به ترتیب در 5 و 10 ماه برابر با 40 و 55 درصد برآورد گردید (زویسا و همکاران، 1999).

برخلاف خاک‌های سایر نقاط کشور که آهکی و دارای pH بالا می‌باشند، خاک‌های زیرکشت باغات چای اسیدی بوده و در مواردی pH کمتر از 3 نیز گزارش شده است. در این شرایط مصرف کودهای گران قیمت و وارداتی نظیر کود سوپرفسفات تریپل جهت تأمین فسفر مورد نیاز گیاه مقرون به صرفه نخواهد بود. در چنین شرایطی کاربرد خاک فسفات بعنوان منبع تأمین کننده فسفر گیاه می‌تواند در شرایط اسیدی این خاک‌ها حل شده و بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین نماید. نتایج تجزیه خاکهای باغات چای استان گیلان نشان می‌دهد، که با توجه به اسیدی بودن این خاک‌ها خاک فسفات میتواند حلالیت بیشتری در این خاک‌ها داشته باشد. بی‌شک مواد آلی و حضور میکرو ارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و ماد-آلی در این واکنش بسیار مؤثر خواهد بود. در ایران، تا کنون مطالعه‌ای در خصوص تأثیر خاک فسفات بر میزان جذب فسفر در خاک‌های اسیدی شمال صورت نگرفته شده است. لذا تحقیق حاضر بر روی منابع جایگزین داخلی و ارزان قیمت و تلفیقی خاک فسفات و کودهای آلی و زیستی در باغ چای صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در یک باغ چای در روستای بندبن لاهیجان (37.2 N, 50.0 E) انجام گرفت که اقلیم منطقه معتدل و مرطوب با بارش متوسط 1100 میلی‌متر در سال می‌باشد. این آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سال 1398 انجام شد. تیمارهای اعمال شده در باغ چای عبارت بودند از: شاهد (بدون استفاده از هیچ گونه مواد افزودنی)، کود سوپرفسفات تریپل (100 کیلوگرم در هکتار) (<https://teacash.ir>)، خاک فسفات (به میزانی که به اندازه کود سوپر فسفات فسفر وارد خاک نماید)، کمپوست به میزان 10 تن در هکتار، خاک فسفات+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات (مخلوط به نسبت مساوی جنس‌های باسیلوس و سوموناس)، خاک فسفات+ قارچ‌های حل‌کننده فسفات (قارچ همزیست مایکوریزا از نوع گلوموس موسه)، خاک فسفات+ کمپوست 10 تن در هکتار، خاک فسفات+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات+ کمپوست (10 تن در هکتار)، خاک فسفات+ قارچ‌های حل‌کننده فسفات+ کمپوست. تیمارها در مهرماه اعمال و از اردیبهشت برداشت انجام شد.

هر تیمار در 3 تکرار و در کرت‌هایی به ابعاد 3×3 متر اعمال گردید. کودهای بیولوژیک (باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ) از بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. جمعیت باکتری‌ها 10^7 سلول و تراکم زادمایه (propagule) قارچ میکوریز 100 اندام فعال در هر گرم کود زیستی بود. مایه تلقیح قارچ و باکتری با خاک فسفات یا کمپوست به مقدار حدود 5 درصد مخلوط گردید. خاک فسفات از معدن آسفوردی یزد که از نوع رسوبی است، و کمپوست نیز از کارخانه کودآلی رشت تهیه شد. تیمارها در مهرماه در باغ چند ساله چای اعمال گردید. برای اختلاط تیمارهای کودی با خاک در کنار ردیف بوته‌ها کانالی ایجاد شد و پس از اختلاط مواد کودی با خاک، مواد با فوکا (بلو) با خاک سطحی مخلوط گردید. در طول مراحل آزمایش کلیه مراقبت‌های زراعی اعم از کوددهی، وجین

علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماریها در موقع مقتضی انجام شد. نیتروژن و پتاسیم منبع اوره و سولفات پتاسیم به ترتیب به مقدار 300 و 100 کیلوگرم در هکتار مصرف گردید. در پایان آزمایش از سطح 2 مترمربع از هر کرت بطور تصادفی برداشت و جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد و غلظت عناصر در بوته و نیز در خاک کرت‌ها اندازه‌گیری گردید. با عنایت به اینکه پاسخ گیاه به اعمال تیمارها (از جمله مصرف خاک فسفات) به زمان طولانی نیازمند است، لذا اعمال تیمارها در شهریورماه و نمونه‌برداری از خاک و گیاه در اردیبهشت ماه صورت گرفت. برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک از هر کرت سه نمونه تصادفی از نقاط مختلف کرت (به غیر از حاشیه‌ها) از عمق 0-30 سانتیمتری خاک برداشته شد. این نمونه‌ها در زمان رطوبت ظرفیت زراعی¹ تهیه شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، کاملاً هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متری رد شدند و برای آزمایش‌های مربوطه آماده گردیدند.

pH و هدایت الکتریکی (EC) خاک در نسبت (2/5: 1) آب به خاک اندازه‌گیری شد (توماس، 1996). بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، 1928)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک با روش استات آمونیوم در pH=7 (چاپمن و پرات، 1962) و ماده آلی خاک با استفاده از روش والکی بلاک اندازه‌گیری شدند (نلسون و سامرس، 1996). مقدار نیتروژن کل (TN) به روش کلدال اندازه‌گیری شد (برمر و مولوانی، 1996). پتاسیم قابل دسترس با عصاره‌گیری استات آمونیوم و به وسیله شعله سنجی اندازه‌گیری شد (هلمک و اسپارکس، 1996). غلظت فسفر با استفاده از روش السن (السن، 1954) و سپس قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید.

پس از برداشت برگ‌های غنچه بالایی در بوته‌های چای، برگ‌ها در پاکت‌های مناسب ریخته و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌ها در آزمایشگاه

¹ Field Capacity

نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excell استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کرت‌های آزمایشی قبل از اعمال تیمارها، در جدول 1 ارائه شده است. همانطوری که از جدول پیداست، خاک مورد آزمایش دارای pH اسیدی با محتوای ماده آلی 2/2 درصد، غیرشور با بافت سنگین (رسی) بوده و مقدار فسفر قابل جذب آن پایین (کمتر از 15 میلی گرم در کیلوگرم) بود.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های خاک و گیاه در جداول 23 و 4 ارائه شده است. همانطوری که از جداول پیداست، اثر تیمارها بر تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه در سطح 5 درصد معنی‌دار بود.

ابتدا با آب معمولی و سپس با محلول رقیق اسید کلریدریک (یک دهم مولار) به خوبی شسته شده و پس از آن چندین بار با آب مقطر آب کشتی شدند. نمونه‌های در آون با دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت خشک و سپس با آسیاب برقی پودر و از الک ریز (5/0 میلی متری) عبور داده شدند. برای اندازه‌گیری نیتروژن از روش هضم تر و سایر عناصر روش هضم خشک (Dry Ashing) استفاده شد (وستر، 1990). اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر و استفاده از سیستم اتوماتیک (کجل تک)، اندازه‌گیری فسفر به روش کالیمتری (رنگ زرد مولیدات - وانادات) (چاپمن و پرات، 1962) و اندازه‌گیری پتاسیم به روش نشر شعله ای (فلیم فتومتری) انجام شد (امامی، 1375). اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف در برگ چای به روش هضم تر و سپس قرائت با دستگاه اتمیک صورت گرفت (امامی، 1375). نتایج قرائت نمونه‌ها با قرائت محلول‌های استاندارد و شاهد مقایسه و در نهایت غلظت این عناصر در برگ تعیین گردید. داده‌های بدست آمده از آزمایش توسط

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش

فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل	ماده آلی	شن	سیلت	رس	ظرفیت تبادل کاتیونی	هدایت الکتریکی	اسیدیته pH
mg/kg	(%)	(cmol ⁺ kg ⁻¹)	(dS m ⁻¹)						
12	205	0/9	2/2	29	21	50	35	0/1	6/1

نتایج آنالیز کمپوست زباله شهری در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2- برخی خصوصیات شیمیایی کمپوست زباله شهری

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	N	EC (dS/m)	pH
mg/kg	mg/kg	mg/kg		%	%			
483	680	850	11340	1/2	0/7	1/80	12/4	7/8

جدول 3 - تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های خاک

درجه آزادی	فسفر خاک	آهن قابل جذب	روی قابل جذب	منگنز قابل جذب	شوری خاک	اسیدیته خاک	منبع تغییر S.O.V
(Mean squares)							
2	5/26	1160	0/013	107	0/016	0/639	تکرار
8	27/3*	513*	0/16*	*167/6	0/012*	0/249*	تیمار
16	81/9	359	0/135	258/6	0/014	0/39	خطا
	11/2	8/1	14/6	10/8	9/6	4/2	ضریب تغییرات

* معنی داری در سطح احتمال 5 درصد.

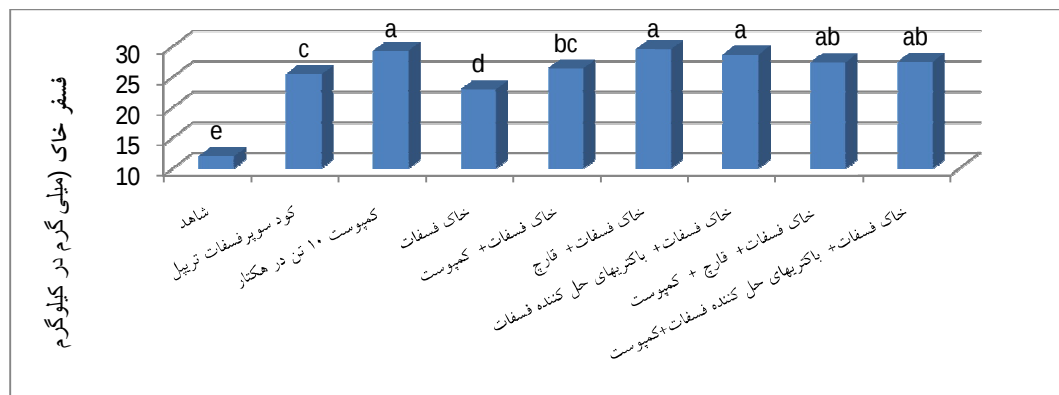
جدول 4 - تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های گیاه (برگ چای)

درجه آزادی	روی	آهن	فسفر کل	منگنز	عملکرد برگ	منبع تغییر S.O.V
میانگین مربعات (Mean squares)						
2	15/8	30/3	31/1	817	129881	تکرار
8	24/8*	* 64/1	38/7*	* 2724	512777*	تیمار
16	45/1	82/3	3/46	2749	113511	خطا
	19/1	8/12	9/3	16/6	21/1	ضریب تغییرات (CV)

* معنی داری در سطح احتمال 5 درصد.

باکتری‌های حل‌کننده فسفات و نیز تیمار کاربرد کمپوست بیشترین مقدار فسفر قابل جذب را به خود اختصاص دادند (شکل 1).

اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار بود (جدول 3). همه تیمارها در مقایسه با شاهد فسفر قابل جذب خاک را بطور معنی‌دار افزایش دادند، تیمارهای کاربرد خاک فسفات با قارچها و



شکل 1- اثر تیمارهای آزمایشی بر مقدار فسفر قابل جذب خاک

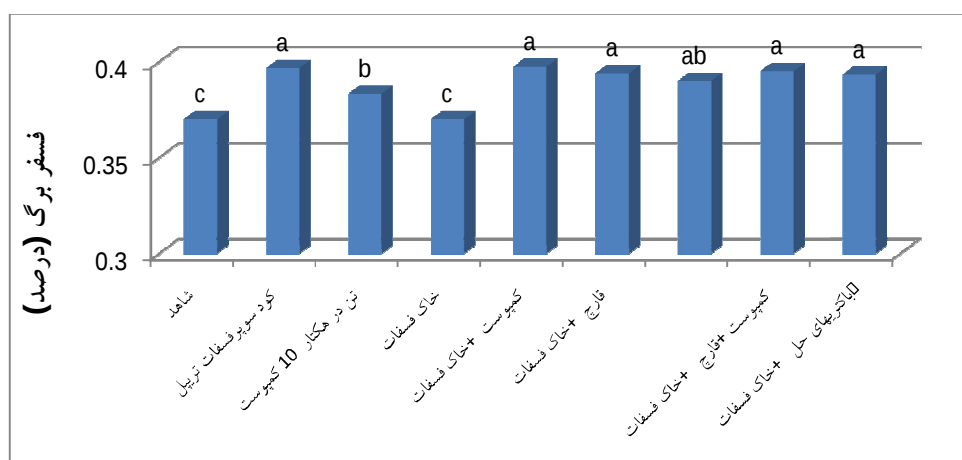
کمپوست در هکتار حتی بیش از کود سوپرفسفات تریپل در افزایش فسفر محلول خاک موثر است. علت این امر شاید به این دلیل باشد که تمام فسفر موجود در کود سوپرفسفات قابل جذب بوده و بلافاصله پس از انحلال در خاک به دلیل pH کم و فراوانی یونهای آهن و آلومینیم سرعت در خاک تثبیت می‌گردد. اثر کمپوست در حلالیت خاک فسفات و افزایش کارایی آن به طور معنی‌داری کمتر از قارچ و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بود. تیمارهای آزمایشی فسفر محلول را از 20 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 29 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار خاک

تیمار خاک فسفات بعلاوه قارچ‌های حل‌کننده فسفات بالاترین اثر بر فسفر خاک را دارا بود. تیمارهای 10 تن در هکتار کمپوست و خاک فسفات به علاوه باکتری‌های حل‌کننده فسفات اختلاف معنی‌داری با بالاترین سطح نداشتند و در گروه بهترین سطح آماری قرار گرفتند. پایین‌ترین فسفر خاک متعلق به تیمار شاهد و پس از آن خاک فسفات تنها بود که نشان می‌دهد کاربرد خاک فسفات به تنهایی کمی بر میزان فسفر قابل استفاده می‌افزاید و کاربرد آن با قارچ یا باکتری‌های حل‌کننده فسفات بسیار در کارایی آن موثر است. افزودن ده تن

فسفر در برگ چای با میزان فسفر قابل جذب خاک قابل توجه می‌باشد. اثر کود سوپرفسفات بر غلظت فسفر برگ موثر بود. استفاده از خاک فسفات و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و نیز استفاده از خاک فسفات به علاوه کمپوست به اندازه مصرف کود سوپرفسفات تریپل منجر به افزایش غلظت فسفر برگ چای گردید؛ که اختلاف معنی داری با تیمار شاهد و خاک فسفات تنها داشت.

فسفات و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و نیز تیمار ده‌تن کمپوست در هکتار، افزایش دادند (شکل 1).

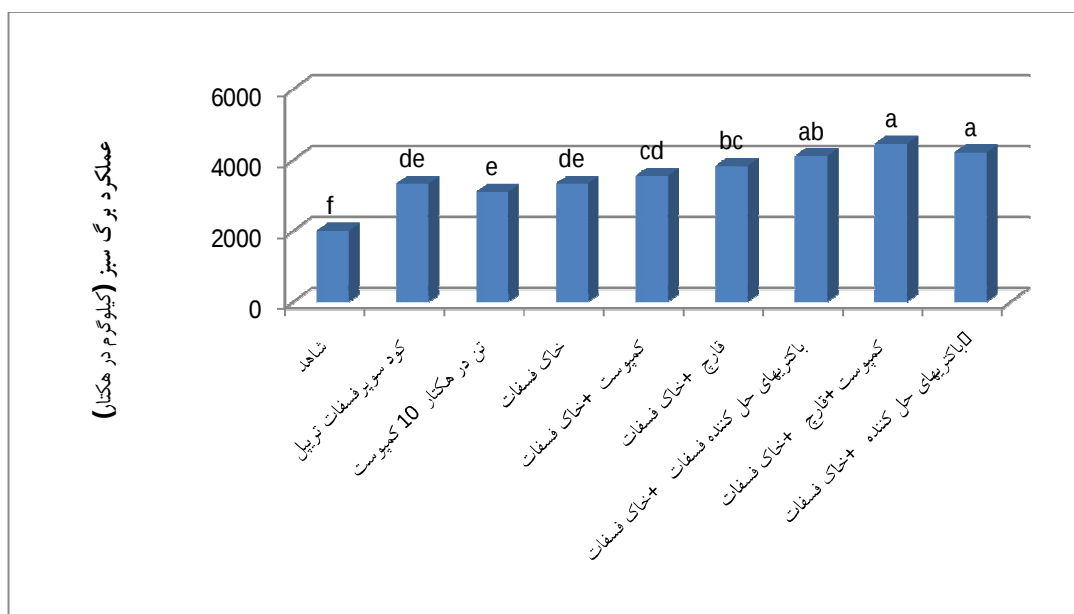
از لحاظ غلظت فسفر در برگ چای همه تیمارها، بجز تیمار خاک فسفات در مقایسه با شاهد باعث افزایش غلظت فسفر برگ چای شدند (شکل 2). همین روند در فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف قابل مشاهده است. به عبارت دیگر روند تغییرات غلظت



شکل 2- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت فسفر در برگ چای

عملکرد برگ سبز چای دارد. تیمار شاهد با عملکرد 2008 کیلوگرم در هکتار پایین‌ترین تیمار در میان تیمارهای آزمایشی را به خود اختصاص داد. یکی از دلایل احتمالی اثربخشی کمتر کود سوپرفسفات نسبت به سایر تیمارها این است که هم کمپوست و هم باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات اثرات دیگری علاوه بر جذب فسفر دارند. نتیجتاً با توجه به خواص دیگر آن کودها عملکرد کودهای آلی بالاتر از کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل به دست آمد.

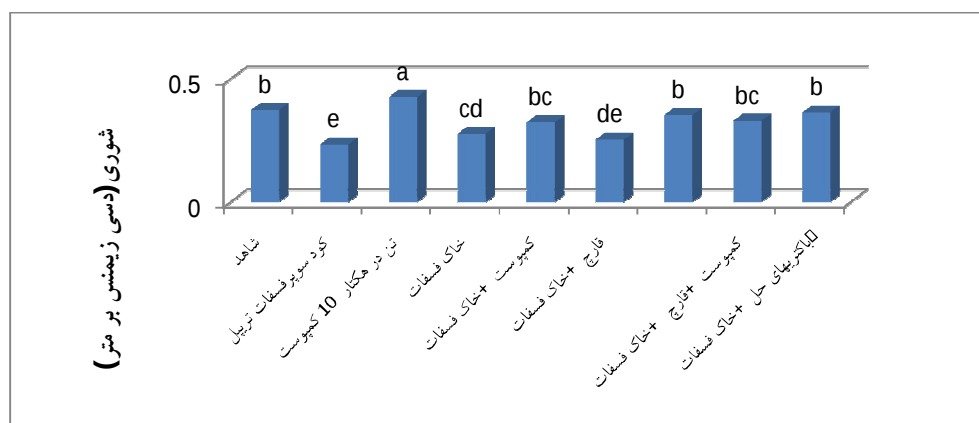
عملکرد برگ سبز قابل برداشت نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار گرفت. همه تیمارها در مقایسه با شاهد عملکرد برگ سبز چای را بطور معنی‌دار افزایش دادند. بالاترین عملکرد از تیمارهای حاوی کمپوست به دست آمد. تیمارهای کاربرد خاک فسفات با باکتری، قارچ و کمپوست، به طور معنی‌داری بالاترین عملکرد برگ سبز چای را تولید نمودند پس از این تیمارها، تیمار کمپوست 10 تن در هکتار بالاترین عملکرد برگ سبز چای را ایجاد نمود که نشان از اثربخشی کمپوست به عنوان کود آلی در



شکل 3- اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد برگ سبز چای

اندازه‌گیری شده، بعلت حلالیت زیاد کود و یا نامحلول شدن سریع آن به شکل فسفات آهن و آلومینیم، تأثیری بر شوری نداشته‌است. البته لازم به ذکر است که شوری به دست آمده حتی در بالاترین سطوح کمتر از آستانه خسارت به بوته چای بوده و تنها استفاده هر ساله و درازمدت این تیمارهای کودی ممکن است برای شوری باغات چای خطرآفرین باشد.

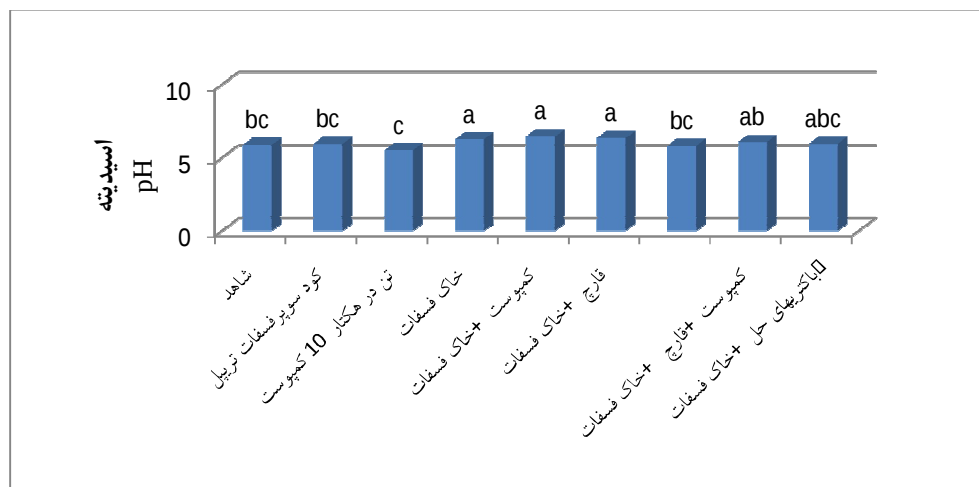
یکی از مشکلات استفاده از کودهای شیمیایی افزایش شوری خاک است. البته در اقلیم هیرکانی بارندگی بیش از 1000 میلی‌متر، باعث شستشوی املاح گردیده و از اثرات منفی شوری خاک را می‌کاهد. تیمار 10 تن کمپوست تنها تیماری بود که به طور معنی‌داری شوری خاک را در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل 4). در تیمار سوپرفسفات بعلت این که شوری در پایان آزمایش



شکل 4- اثر تیمارهای آزمایشی بر شوری خاک

اینکه باکتریها و قارچهای حل‌کننده فسفات عمدتاً در ریزوسفر فعال هستند، اثرات آنها بر اسیدیته خاک در کل توده خاک شاید قابل توجه نباشد؛ ولی ممکن است در اطراف ریشه باعث تغییر اسیدیته شده باشند.

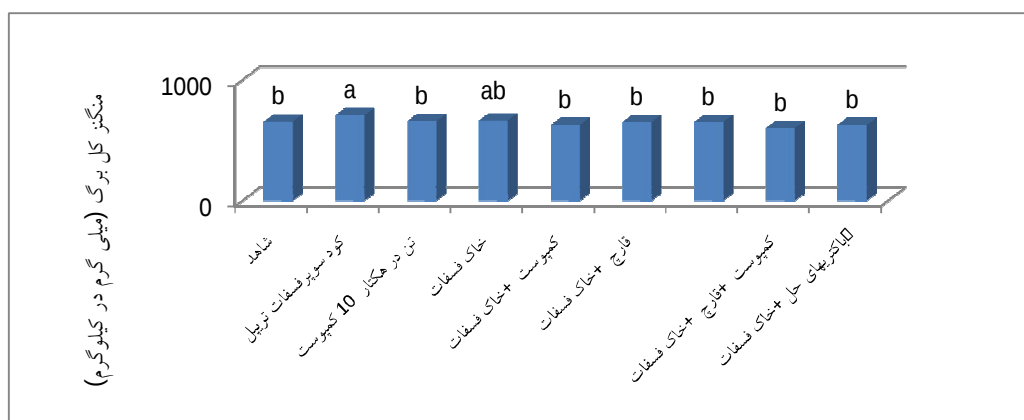
اثر کودها بر اسیدیته خاک نیز در سطح 5 درصد معنی‌دار گردید (جدول 3). تیمار خاک فسفات و خاک فسفات با کمپوست و قارچ‌های حل‌کننده فسفات به طور معنی‌داری اسیدیته بیشتری از تیمار شاهد و سایر تیمارها داشتند. کمترین اسیدیته در تیمار ده تن کمپوست مشاهده گردید. با توجه به



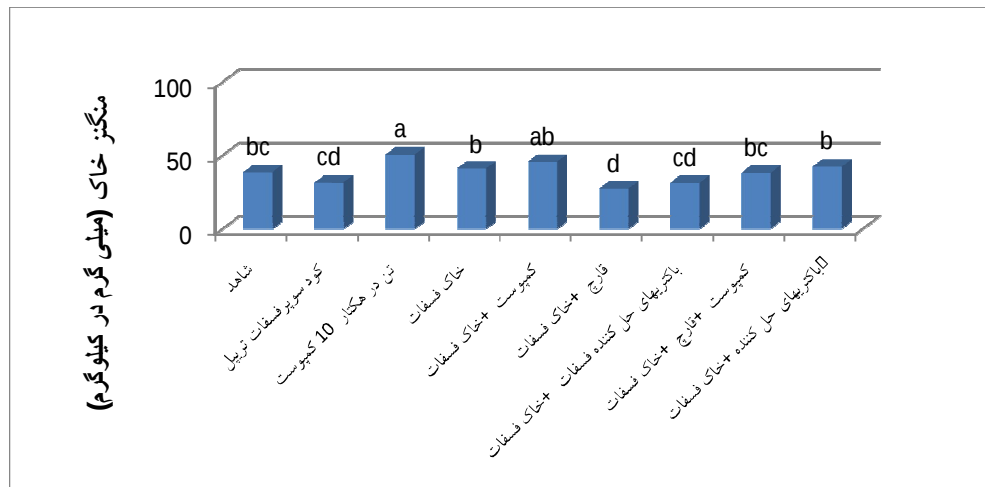
شکل 5- اثر تیمارهای آزمایشی بر اسیدیته خاک

جذب بهتر عناصر از جمله منگنز، غلظت آن در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. بالاترین غلظت منگنز محلول در خاک در تیمار کمپوست مشاهده شد. بجز تیمار یادشده، سایر تیمارها با شاهد در یک سطح آماری قرار گرفتند (شکل 7).

بیشترین غلظت منگنز برگ در تیمار سوپرفسفات تریپل مشاهده شد. سایر تیمارها از نظر آماری در یک سطح قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری میان آنها نبود (شکل 6). در تیمارهای حاوی خاک فسفات و باکتریها و قارچهای حل‌کننده و نیز کمپوست، ا علیرغم



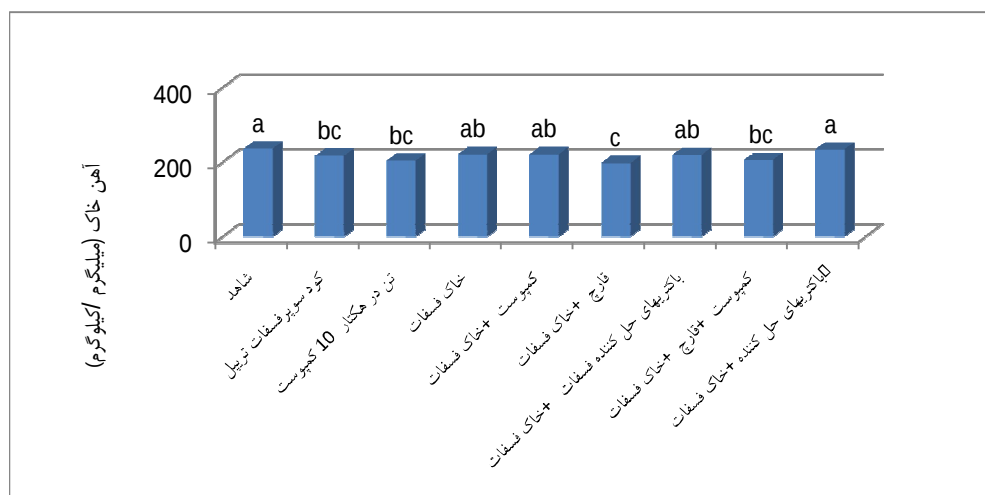
شکل 6- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت منگنز برگ جای



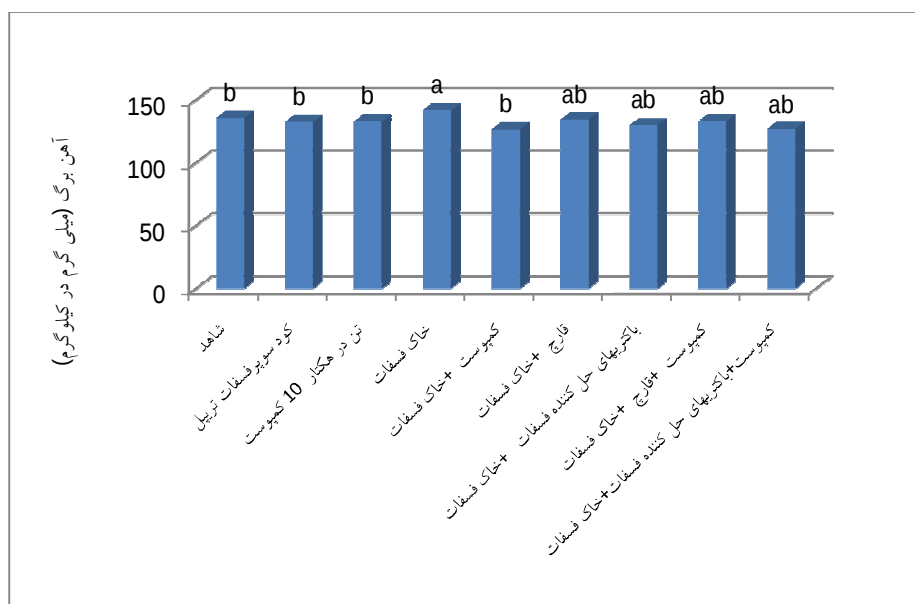
شکل 7- اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان مگنیزم قابل جذب خاک

بطوریکه در تمام تیمارها غلظت آهن قابل جذب خاک بیش از 200 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. تیمار خاک فسفات تنها، تنها تیماری بود که در آن غلظت آهن برگ چای از تیمار شاهد بطور معنی داری بیشتر بود. تمامی تیمارها بجز تیمار خاک فسفات در یک سطح آماری قرار گرفتند. (شکل 9).

هیچ یک از تیمارها نه تنها نتوانستند میزان آهن قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد افزایش دهند، بلکه در تعدادی از تیمارها نسبت به شاهد کاهش نشان داد و این کاهش در برخی تیمارها از جمله تیمارهای کمپوست، سوپر فسفات تریپل معنی دار بود (شکل 4-8). نکته حایز اهمیت در مورد آهن قابل جذب خاک، بالا بودن مقدار آن در تمام تیمارها می باشد که دلیل آن اسیدی بودن pH خاک و حلالیت بالای ترکیبات آهن می باشد.



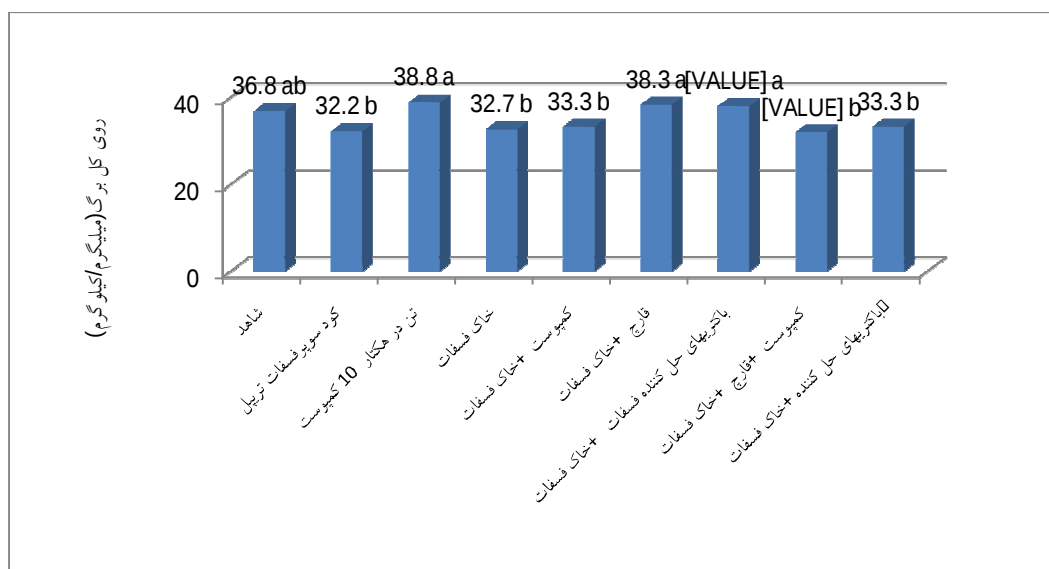
شکل 8- اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان آهن قابل جذب خاک



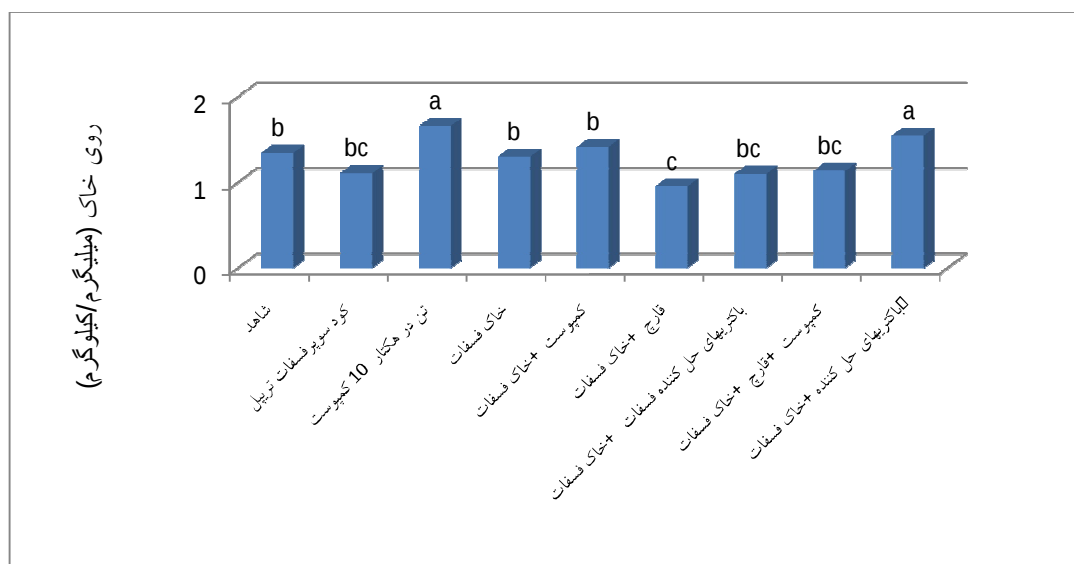
شکل 9- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت آهن در برگ چای

تیمارهای سوپر فسفات تریپل و خاک فسفات نیز کمترین روی برگ را نشان دادند (شکل 10). از لحاظ روی قابل جذب خاک، دو تیمار 10 تن کمپوست در هکتار و تیمار کمپوست + خاک فسفات و باکتری‌های حل کننده فسفات، در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها، غلظت روی بیشتری را نشان دادند و سایر تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند (شکل 11).

غلظت روی در برگ چای در تیمارهای مختلف از 32 میلی‌گرم در کیلوگرم تا حدود 39 میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود. تیمار مصرف 10 تن در هکتار کمپوست که بیشترین مقدار روی قابل جذب خاک را به خود اختصاص داده بود (شکل 11)، بیشترین غلظت روی برگ چای را نیز دارا بود.



شکل 10- اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت روی در برگ چای



شکل 11- اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان روی قابل جذب خاک

بحث درباره نتایج

سال در باغ چای انجام شد، بدون شک زمان برای انحلال و واکنش پذیری تمام خاک فسفات بکار رفته کافی نبوده و بخشی از خاک فسفات معمولاً در سالهای بعد اثرات کاربردی نشان می دهد. احتمالاً اگر آزمایش در مدت زمان طولانی تری انجام می شد، نتایج کاربرد خاک فسفات بیش تر از مقداری که اندازه گیری شده، خود را نشان می داد. البته پژوهش حاضر نیز از ابتدا بعنوان آزمایش چند ساله طراحی شده بود ولیکن بدلیل مشکلاتی (از جمله کمبود اعتبارات پژوهشی) نتوانست برای سال های بعدی ادامه داشته باشد. توصیه می گردد انجام کارهای مشابه حداقل به مدت چند سال در باغات چای انجام شود تا نتایج با اطمینان بیشتری قابل تعمیم و توصیه باشند.

غالب محققینی که در خاک های اسیدی یا کمی اسیدی کمپوست را مصرف کرده اند، گزارش کردند که کاربرد کمپوست باعث افزایش اسیدیته خاک می گردد. این موضوع جزء فواید کمپوست برای خاک های اسیدی به شمار می رود (ژانگ و همکاران 2006). ژانگ و همکاران (2006) گزارش کردند که میزان فسفر موجود در کمپوست برای رشد غالب گیاهان کافی است. یکی از

گیاهان مختلف توانایی متفاوتی در استفاده از خاک فسفات به عنوان منبع فسفری دارند. در میان گیاهان آنهایی که دارای خصوصیت و گستردگی سیستم ریشه ای بیشتری هستند بهتر می توانند فسفر را از خاک فسفات جذب نمایند. اسید های آلی مترشح از ریشه گیاهان تأثیر بسزایی در قابلیت جذب فسفر از خاک دارد. گیاهان خانواده کاملیا (مانند چای) توانایی زیادی برای بهره برداری از فسفر نسبتاً نامحلول خاک دارند (زوینسا و همکاران، 1997). دلیل افزایش فسفر در خاک و گیاه چای در برخی از تیمارها احتمالاً به این موضوع مربوط می شود که گیاه چای بدلیل سیستم ریشه ای که دارد توانسته از خاک فسفات استفاده نماید.

یکی از مشکلات تغذیه ای باغات چای کمبود فسفر در خاک های اسیدی و شدیداً هواده است. در آزمایشی خاک فسفات در خاک های اسیدی زیرکشت چای مصرف شد و نتایج نشان داد پس از 5 ماه کود سوپر فسفات تریپل در افزایش غلظت فسفر بر خاک فسفات برتری داشت در حالیکه پس از 10 ماه، غلظت فسفر قابل جذب در تیمارهای حاوی خاک فسفات بیشتر بود (زوینسا و همکاران، 2001). آزمایش حاضر در یک

فسفر قابل جذب خاک، عملکرد و محتوای فسفر گیاه، نتایج بسیار خوبی در بر داشت.

بانیک و دی (1982) گزارش کردند که تلقیح خاک با باکتری‌های باسیلوس، در خاک‌های استریل بیش از خاک‌های غیر استریل مؤثر واقع شد؛ چرا که بخش عمده‌ای از فسفر حل شده توسط حل‌کننده‌های فسفات توسط سایر میکروارگانیسم‌ها جذب می‌شود. دلایل متعددی برای پاسخ ندادن گیاه به تلقیح با باکتری‌ها وجود دارد که می‌توان به کاهش تعداد باکتری‌ها بعد از تلقیح به خاک به علت ناکافی بودن ترشحات ریشه‌ای مغذی، مستقر نشدن باکتری در ریزوسفر، کاهش کارایی باکتری‌ها برای حل فسفات نامحلول و رقابت بین باکتری‌ها و گیاه برای جذب عناصر غذایی اشاره کرد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در تعداد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، pH مناسب برای فعالیت می‌باشد. میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در این تحقیق از خاک‌های غیر اسیدی جداسازی شده‌اند، فلذا اگر در مواردی کارایی آنها کمتر از حد مورد انتظار می‌باشد، این موضوع می‌تواند احتمالاً بدلیل شرایط محیطی خاک اسیدی باشد، لذا یکی از پیشنهادات این پژوهش برای تحقیقات مشابه آتی، جداسازی و استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی خاک‌های اسیدی می‌باشد.

در ایران در مورد کاربرد خاک فسفات در خاک‌های اسیدی بویژه باغات چای تجربه‌ای وجود نداشته و لذا مقایسه نتایج این پژوهش با کارهای دیگران در این مقاله ممکن نشد و از این جنبه تحقیق حاضر دارای تازگی و نوآوری می‌باشد.

نکته حایز اهمیت بحث اقتصادی کاربرد خاک فسفات در خاک‌های اسیدی باغات چای می‌باشد. هم‌اکنون قیمت هر کیلو کود سوپر فسفات تریپل بین 15 تا 20 هزار تومان متغیر می‌باشد، در حالیکه قیمت تمام شده خاک فسفات و کمپوست زباله شهری به ترتیب 5 هزار تومان و 200 تومان می‌باشد. لذا تهیه مخلوطی از خاک فسفات و کمپوست (و نیز مایه تلقیح میکروارگانیسم‌ها)

علل آن نیز کاهش تثبیت فسفر در خاک‌ها در نتیجه مصرف کمپوست می‌باشد. برخی منابع نیز اشاره کرده‌اند که میزان فسفر محلول موجود در کمپوست با فسفر آزاد شده از کودهای شیمیایی برابری می‌کند (ایگلشیاژ و همکاران، 1993). فعالیت آنزیم فسفاتاز نیز با افزایش میزان کمپوست افزایش می‌یابد (کرسچیو و همکاران، 2004). در پژوهش حاضر نیز در تیمارهای حاوی کمپوست بدلیل بهبود ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک (افزایش فعالیت آنزیم‌ها و انحلال و آزادسازی عناصر) شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه نسبت به شاهد معنی‌دار گردید.

در خاک‌های اسیدی، گروه قارچ‌های حل‌کننده فسفات بهتر از باکتری‌ها عمل می‌کنند (یاداو و سینگ، 1991). پژوهش‌ها نشان داده است که می‌توان با تیمار سنگ فسفات با اسیدهای مختلف اثر بخشی استفاده از سنگ فسفات را افزایش داد. در آزمایشی تأثیر اسیدهای معدنی، کودهای آلی، نوع خاک فسفات در حلالیت فسفر خاک فسفات معنی‌دار هستند. (طهرانی و همکاران، 1394). در پژوهش حاضر نیز تأثیر کاربرد کود آلی (کمپوست زباله شهری) بر برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه معنی‌دار بود و کاربرد توامان آن با خاک فسفات و میکروارگانیسم‌ها بعنوان بهترین تیمار بود.

از بین قارچ‌ها، قارچ‌های میکوریزی بخصوص آربوسکولار میکوریزا (AM)، و از بین باکتری‌ها سویه‌های *Bacillus* و *Pseudomonas* از مهمترین ارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات می‌باشند. نتایج تاها و همکاران (1969) نشان داد که تلقیح حل‌کننده‌های فسفات با خاک‌های استریل، وزن خشک، جذب فسفر و غلظت فسفر محلول خاک را افزایش می‌دهد. این پژوهش نیز با هدف یافتن ترکیبی از خاک فسفات با میکروارگانیسم‌های مؤثر بعنوان کود زیستی جایگزین کود شیمیایی فسفوری در باغات چای صورت گرفت و مخلوط خاک فسفات، کمپوست، باکتری باسیلوس و قارچ میکوریز در افزایش

که بتواند به اندازه سوپر فسفات تریپل در باغات چای فسفر گیاه را تأمین نماید، به لحاظ اقتصادی بسیار با صرفه تر می باشد. مضافاً اینکه سوپر فسفات تریپل وارداتی بوده و تأمین ارز در شرایط تحریم جهت تهیه و تدارک آن را نیز باید در نظر گرفت.

نتیجه گیری

در اراضی زیرکشت چای در شمال کشور، کمبود فسفر مشاهده می شود زیرا فسفر قابل جذب خاک توسط یونهای آهن و آلومینیم فراوان موجود در خاک اسیدی تثبیت و از دسترس گیاه خارج می گردد.

حلالیت خاک فسفات و آزاد شدن فسفر در خاکهای اسیدی خیلی بیشتر از خاکهای آهکی است. به همین دلیل اثربخشی کاربرد مستقیم خاک فسفات در خاکهای اسیدی قابل توجه بوده و لذا کاربرد مستقیم خاک فسفات در خاکهای اسیدی بعنوان منبع تأمین فسفر مورد توجه می باشد. در این راستا همراه کردن خاک فسفات با مواد و ترکیباتی که به حلالیت آن کمک نماید، به اثربخشی بیشتر آن منتهی خواهد شد. لذا کاربرد خاک فسفات به همراه مواد آلی (کمپوست...) و نیز میکروارگانسیمهای حل کننده فسفات (باکتری و قارچ) بعنوان جایگزینی مناسب برای کودهای فسفوری وارداتی پیشنهاد می گردد که این موضوع در پژوهش حاضر تأیید گردید.

عملکرد برگ سبز چای در دو تیمار سوپر فسفات و خاک فسفات نسبت به شاهد افزایش معنی دار

نشان داد، ولی هر دو تیمار خاک فسفات تنها و کود سوپر فسفات تریپل در یک سطح آماری قرار داشتند، این در حالی بود که کود سوپر فسفات تریپل از نظر فسفر قابل جذب خاک و فسفر برگ چای برتر از شاهد و خاک فسفات تنها، ظاهر شد ولی همچنان بهترین تیمار از لحاظ سه شاخص یادشده مصرف توامان خاک فسفات، کمپوست و میکروارگانسیمها بود. علیرغم نتایج مطلوب این تحقیق پیشنهاد می گردد باتوجه به اینکه بوته چای گیاه چندساله می باشد و برخی تیمارها مانند کمپوست و نیز خاک فسفات اثرات باقی مانده دارند، لذا آزمایش چندساله بر روی چای انجام شود تا نتایج قابل توصیه و تعمیم در باغات چای باشند، البته در این آزمایش نیز با در نظر گرفتن این موضوع، اعمال تیمارها در شهریورماه و نمونه برداری از خاک و گیاه در اردیبهشت ماه سال بعد صورت گرفت تا فاصله زمانی کافی برای مشاهده اثرات تیمارها وجود داشته باشد. همچنین پیشنهاد می گردد به منظور تعیین مناسب ترین مقدار و زمان مصرف خاک فسفات در خاکهایی اسیدی زیرکشت چای، و نیز تعیین حداقل تعداد میکروارگانسیمهای حل کننده فسفات، برای اینکه حلالیت فسفر در حد معنی داری صورت گیرد، آزمایشاتی در باغات چای اجرا گردد. در پایان توصیه می گردد در آزمایشات مشابه از باکتریهای بومی باغات چای استفاده شده و خواص کیفی چای، عطر، طعم، رنگ دهی، غلظت آلومینیم و... اندازه گیری شود که در این پژوهش این فرصت میسر نگردید.

فهرست منابع:

1. احمدی، ک، ح.ر.، عبادزاده، ف.، حاتمی، ر.، حسین پور و ح.، عبدالشاه. 1399. آمارنامه کشاورزی سال 1399 جلد 3 محصولات باغی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. شابک 8-097-467-978-964 تهران، ایران.
2. امامی، عاکفه، 1375. روش های تجزیه گیاه (جلد اول). مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره 982. ایران.
3. تهرانی، م.م.، مشیری، ف.، شهبازی، ک.، معبودی، ن.، طباحیان، ش. و رضائی موفق، س. 1394. افزایش کارایی خاک فسفات بومی به منظور کاهش واردات کودهای فسفاتی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره مصوب 01-10-10-9008. موسسه تحقیقات خاک و آب.

۴. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. 1392. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. جلد 1. شماره 1. 15-1.

5. Besharati, H. 2017. Effects of sulfur application and Thiobacillus inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. *Journal of Plant Nutrition*, 40(3): 447-456.
6. Besharati, H., N. Aliasgharzad, K. Khavazi and H. Asadi Rahmani. 2018. Soil biology and biotechnology. In: *The soils of Iran*. M. H. Roozitalab, H. Siadat, A. Farshad (eds.) pp: 189-212. Springer
7. Bouyoucos, G.J. 1928. The hydrometer method for studying soils. *Soil Science*, 25(5): 365-370.
8. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1996. Nitrogen-Total. *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Soil Science Society of America Book Series, 5: 1085-1121.
9. Chapman HD and Pratt PF, 1962. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. Soil Science 93: 60-62.
10. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods*. Soil Science Society of America Journal, 3: 551-574.
11. Kucey, R.M.N. and Leggett, M.E. 1989. Increased yields and phosphorus uptake by Westar canola (*Brassica napus* L.) inoculated with a phosphate-solubilizing isolate of *Penicillium bilaji*. *Canadian Journal of Soil Science*, 69, 425-432. <http://dx.doi.org/10.4141/cjss89-042>
12. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Sparks D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis -Part 3. Chemical Methods-SSSA book*. Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp 961-1010.
13. Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, 939: 1-19.
14. Salimpour, S. , K. Khavazi, H. Nadian, H. Besharati and M. Miransari. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Australian Journal of Crop Science* 4(5): 20-35.
15. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: Sparks, D.L. et. al., (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5.3. Soil Science Society of America, and American Society of Agronomy, Inc. Madison, pp : 475-490.
16. Tian, G. and Kolawole, G. O. 2004 'Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna soils of west Africa, *Journal of Plant Nutrition*, 27: (4), 571 — 583. Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. In: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis - Chemical and microbiological properties*. *Agronomy* 9:891-901.
17. Westerm RL. 1990. *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of American. Madison Wisconsin, United States of America.
18. Yadav, K & T. Singh 1991. Phosphorous solubilization by microbial isolate from cacifluent. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 39: 89-93.
19. Yahya, A.I., Al-Azawi, S.K. 1989. Occurrence of phosphate-solubilizing bacteria in some Iraqi soils. *Plant and Soil* 117, 135-141.
20. Zoysa A.K.N., P. Loganathan, M.J. Hedley 1998. Phosphate rock dissolution and transformation in the rhizosphere of tea (*Camellia sinensis* L.) compared with other plant species: *European Journal of Soil Science* 49, (3): 477-486.
21. Zoysa, A.K.N., P. Loganathan and M.J. Hedley, 1999. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53: 189-201.
22. www.worldbank.org.

23. Zoysa A.K.N., P. Loganathan, M.J. Hedley. 2001. Comparison of the agronomic effectiveness of a phosphate rock and triple superphosphate as phosphate fertilisers for tea (*Camellia sinensis* L.) on a strongly acidic Ultisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59: 2, pp 95-105. <https://teacash.ir>
24. Hinsinger P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: *a review*. *Plant and Soil*: 237, Issue 2, pp 173-195.
25. Grover L M , J C Knowles, G J P Fleming, J E Barralet. 2003. In vitro ageing of brushite calcium phosphate cement. *Biomaterials*. 24(23):4133-41. doi: 10.1016/s0142-9612(03)00293-x.
26. Kpombrekou-A K, Tabatabai MA. 1994 .Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. *Soil Sci.*;158:442-53.
27. Bhattacharyya, P., A. Chakraborty, B. Bhattacharya and K. Chakrabarti, 2003. Evaluation of MSW compost as a component of integrated nutrient management in wetland rice. *Compost Sci. Util.* 11 (4), 343-350.
28. Warman P.R. and Munroe, M.D. 2000. Analysis of total inositol phosphates in municipal solid waste compost-treated soils by two extraction methods. *Biol Fertil Soils* 32:89–93.
29. Banik S. and B. K. Dey, 1982, Available phosphate content of an alluvial soil is influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. *Plant Soil*. 69: 353–364.
30. Taha, S.M., S.A.Z. Mahmoud, A. Halim El Damaty and A.M. Abd. El. Hafez. 1969. Activity of phosphate dissolving bacteria in egyption soils. *Plant and Soil* XXXI, No.1.
31. Crecchio C., Antonio Gelsomino, Roberto Ambrosoli,,Pacifico Ruggiero. 2004. Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. *Soil Biology and Biochemistry* 36:1873-1883.
32. Iglesias-Jimenez E. and C. E. Alvarez. 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biology and Fertility of Soils* volume 16, pages313–318.
33. Zhang M., Heaney D., Henriquez B., Solberg E., Bittner E. 2006. A fouryear study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics, *Compost Sci. Util.* 14, 68–80.

بررسی کارایی جذب بور در کاهو، اسفناج و چغندر برگی

فاطمه اکبرنژاد، رضا خراسانی¹ و امیر فتوت

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ fatemeh.akbarnezhad@mail.um.ac.ir

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ khorasani@um.ac.ir

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ Afotovat@um.ac.ir

ص 275 - 288

دریافت: 1401/2/21 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

بور یکی از عناصر محدود کننده رشد در خاک‌های آهکی بوده و کمبود آن اثرات جبران‌ناپذیری را بر رشد و عملکرد گیاهان بر جای خواهد گذاشت. گیاهان مختلف کارایی‌های متفاوتی در جذب بور داشته و سازوکارهای متعددی را برای این منظور بکار می‌برند. به منظور بررسی راهکارهای مختلف گیاهان در افزایش کارایی جذب و استفاده از بور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایش با سه سطح بور (صفر $B_0=0$ ، $B_1=1/5$ و $B_3=3$ کیلوگرم در هکتار) از منبع اسید بوریک و سه گیاه (کاهو، اسفناج و چغندر برگی) اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح بور نسبت به شاهد، وزن خشک اندام هوایی در گیاهان افزایش یافت. بیشترین زیست توده اندام هوایی برای کاهو در سطح B_3 ، و به میزان 32% بود که نشان می‌دهد کاهو نسبت به افزایش سطوح بور پاسخ بیشتری داشته است. تفاوت غلظت بور در اسفناج (61/8 میلی گرم بر کیلوگرم) و چغندر برگی (71/4 میلی گرم بر کیلوگرم) نسبت به کاهو (31 میلی گرم بر کیلوگرم) در شرایط کمبود بور (B_0)، بیانگر اهمیت خصوصیات ریشه و عوامل مؤثر در حلالیت و افزایش جذب بور از قبیل تراوشات ریشه بود. میزان غلظت و جذب بور در اندام هوایی و ریشه در اسفناج نسبت به کاهو و چغندر برگی، بیشتر تحت تأثیر سطوح بور قرار گرفت. بطوریکه در گیاه اسفناج در سطح 3 کیلوگرم در هکتار، غلظت بور در اندام هوایی و ریشه به ترتیب 44% و 30% و جذب در اندام هوایی و ریشه به ترتیب 53% و 37% نسبت به شاهد افزایش داشت. بطور کلی، ورودی (اینفلکس) زیاد بور به اسفناج و چغندر برگی و ورودی (اینفلکس) کمتر آن به کاهو دلیلی بر کارایی متفاوت این گیاهان در جذب بور بود.

واژه‌های کلیدی: اینفلکس (جریان ورودی)، سبزیجات برگی، سطح ریشه، طول ریشه، کوددهی بور

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

بور یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد و توسعه گیاهان بوده و کمبود آن از محدودیت‌های مهم تغذیه‌ای برای گیاه محسوب می‌گردد (کاماگو-کریستوبال و همکاران، 2008؛ کوشیبا و همکاران، 2009). کمبود بور پس از عنصر غذایی روی، دومین محدودیت بین عناصر غذایی کم مصرف در سطح دنیا می‌باشد که منجر به کاهش شدید عملکرد رویشی و زایشی گیاه می‌شود (پاندی و همکاران، 2017). از نقش‌های مهم بور می‌توان به ساخت دیواره سلولی، لیگنینی شدن دیواره سلولی، انتقال قندها، سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها، سوخت و ساز فنل‌ها و اکسین، تولید دانه و عملکرد غشا و طویل شدن ریشه اشاره کرد (مارشتر، 2012). فراهمی بور به عوامل متعددی مانند شرایط آب و هوایی، شرایط خاک و گونه‌های مختلف گیاهی بستگی دارد (ویل و همکاران، 2011). کمبود بور به عنوان یک عنصر پر اهمیت در گیاهان، بخصوص در خاک‌های قلیایی و آهکی، مشکل گسترده‌ای است که امروزه با آن مواجه هستیم (وانگ و همکاران، 2015). همچنین در ایران، در خاک‌های آهکی زیر کشت محصولات مختلف در بین عناصر کم مصرف، کمبود بور پس از روی می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به گیاه وارد کند (ملکوتی، 1393).

از سوی دیگر، تحمل گیاهان به کمبود بور در خاک بطور بارزی بستگی به گونه گیاهی دارد، بطوریکه در این شرایط رشد و توسعه گیاهان در بین گونه‌های مختلف گیاه و ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بوده و کمبود بور اثرات مخرب کمتری را بر گونه‌های کارا خواهد داشت (بولین و المحمد، 1995). بنابراین یکی از رویکردهای ترجیحی در شرایط کمبود بور کاشت گیاهان کارا بوده که می‌توانند به خوبی در خاک‌های با مقادیر کم بور رشد کنند. تفاوت میان گونه‌های مختلف گیاه از لحاظ بهره‌وری و کارایی عنصر می‌تواند بر اساس تغییرات در کارایی جذب و نیاز متفاوت آنها باشد (هو و براون، 1997). کارایی جذب عناصر غذایی بستگی به سیستم

ریشه و شدت جذب عنصر از بخش مشخص از ریشه (اینفلاکس یا جریان به داخل)¹ دارد (سادانا و همکاران، 2005؛ فرناندس و همکاران، 2014). خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه بر جذب عناصر غذایی مؤثر بوده و هنگامی که دسترسی ریشه به عناصر غذایی محدود باشد، می‌توان ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشه را عامل مهمی در نظر گرفت، زیرا این ویژگی‌ها مستقیماً در پاسخ گیاه با تغییرات فراهمی عناصر غذایی ارتباط دارند (باتیستا و همکاران، 2016). می و همکاران (2011) نیز گزارش کردند که همبستگی مثبت معنی‌داری بین خصوصیات ریشه از قبیل طول تجمعی ریشه، سطح ریشه و تعداد ریشه‌های جانبی در جذب بور وجود دارد. از سوی دیگر علاوه بر خصوصیات ریشه، اینفلاکس یا شدت جذب عنصر از بخش مشخصی از ریشه در زمان، در بین گونه‌ها و ارقام گیاهی متفاوت است که بستگی به پارامترهای مختلف از جمله جذب و طول سیستم ریشه دارد. کارایی گیاهان مختلف نسبت به بور، با میزان جذب بور (کارایی جذب بور)²، در ارتباط است و توانایی جذب بور، پایه و اساس کارایی و راندمان بور است (وانگ و همکاران، 2015؛ لی لی و همکاران، 2015).

با این حال، گونه‌ها و ارقام مختلف تحت شرایط محیطی یکسان بطور فاحشی در جذب بور با یکدیگر اختلاف دارند (باللوی و براون، 1998). گونه‌های زراعی ظرفیت‌های بسیار متفاوتی را برای رشد در خاک‌هایی که مقدار بور ناچیزی دارند نشان می‌دهند. حتی بین ارقام نزدیک از همان گونه‌ها تنوع قابل‌توجهی برای رشد وجود دارد. مکانیسم‌های زیربنایی این تفاوت‌ها ناشناخته است. استانگولیس و همکاران (2001) گزارش کردند که قابلیت بیشتر گیاه برای جذب بور از خاک، استفاده کارآمدتر از بور و توانایی بیشتر در انتقال بور از ریشه به اندام هوایی می‌تواند از مکانیسم‌های مهم در این

¹ Influx

² Uptake efficiency

تیمارها جهت کشت گیاهان از گلدان‌های پلاستیکی با قطر 23 سانتی متر و ارتفاع 21 سانتی متر استفاده گردید. بر اساس وزن خاک درون هر گلدان (5 کیلوگرم) و بر اساس نیاز گیاهان به بور، مقادیر 11 و 22 میلی گرم به ترتیب برای تیمارهای 1/5 و 3 کیلوگرم در هکتار بور از منبع اسید بوریک قبل از کاشت به صورت خاکی استفاده گردید و سطح صفر (شاهد) فاقد افزودن کود بور بود (بارکر و پیلیم، 2015). پس از آماده‌سازی تیمارها کشت گیاه صورت گرفت. آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی (17 درصد) وزنی در طول دوره رشد انجام شد. پس از طی 60 روز از کاشت، برداشت اول با تعداد 10 بوته در گلدان برای هر سه گیاه انجام شد. برداشت دوم با تعداد 4 بوته در گلدان برای گیاهان پس از 90 روز انجام شد. در هر برداشت اندام هوایی از ریشه‌ها جدا شد. پس از جداسازی تمامی ریشه‌ها از گلدانها و شست و شوی کامل آنها خصوصیات مورفولوژیکی ریشه از قبیل طول تجمعی ریشه، سطح ریشه و میانگین قطر ریشه با استفاده از دستگاه DELTA-T SCAN و نرم افزار پردازش تصویر از DT-SCAN اندازه‌گیری شد. وزن خشک اندام هوایی و ریشه تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری بور، نمونه‌های خشک گیاهی در کوره در دمای 550 درجه سانتی گراد به مدت 7 ساعت هضم شدند و سپس غلظت بور موجود در اندام هوایی و ریشه به روش رنگ‌سنجی با استفاده از آزمونین اچ و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 420 نانومتر اندازه‌گیری شد (ولف، 1974). نتایج به دست آمده به کمک نرم افزار آماری GUMP 8 تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح اطمینان 5 درصد بررسی شد. ترسیم نمودارها به کمک نرم افزار Excel انجام شد. مقدار اینفلاکس گیاهان با توجه به فرمول (ویلیامز، 1948) محاسبه شد.

$$In = \frac{U_2 - U_1}{RL_2 - RL_1} \times \frac{\ln(RL_2/RL_1)}{t_2 - t_1}$$

امر باشند. از سوی دیگر توزیع بور در بسیاری از گونه‌های گیاهان به سختی انجام می‌شود و حتی یک وقفه کوچک در تأمین عنصر از خاک ممکن است سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه شود که میزان کاهش عملکرد مستقیماً به مدت زمان کمبود و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (علی و همکاران، 2015). در شرایط کمبود بور، کاربرد کودهای شیمیایی سبب برطرف شدن کمبود خواهد شد اما مشکلات احتمالی از قبیل ایجاد سمیت بور را نیز بایستی در نظر گرفت، زیرا محدوده کمبود و سمیت این عنصر بسیار نزدیک است. با توجه به مطالب گفته شده کشت گیاهان کارا در شرایط کمبود بور می‌تواند یکی از راهکارهای مهم در افزایش جذب و افزایش عملکرد باشد. بدین منظور این مطالعه با هدف بررسی تغییرات در زیست توده، غلظت و جذب بور، رابطه بین جذب و خصوصیات ریشه در گیاه و اینفلاکس و استراتژیهای مختلف اسفناج، کاهو و چغندر برگی در جذب و استفاده از بور انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه نوع گیاه از خانواده صیفی‌جات شامل کاهو (*Lactuca sativa L.*)، اسفناج (*Spinacia oleracea L.*) و چغندربرگی (*Beta vulgaris subsp. Cicla L.*) با نیاز متوسط به بور و سه سطح غلظتی بور شامل سطح صفر (شاهد)، 1/5 کیلوگرم در هکتار و 3 کیلوگرم در هکتار (B_0 , $B_{1.5}$, B_3)، از منبع اسید بوریک حاوی 17 درصد بور، در دو برداشت و سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. نمونه خاک سطحی (0-30 سانتی متری) بر اساس حداقل میزان بور قابل استفاده از دانشگاه فردوسی مشهد واقع در عرض جغرافیایی 36 درجه و 18 دقیقه و 29 ثانیه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 31 دقیقه و 52 ثانیه شرقی، نمونه برداری گردید. توصیه کودی لازم برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بر اساس آنالیز خاک و نیاز گیاهان به تمام تیمارها اضافه شد. برای آماده سازی

در فرمول بالا، I_n اینفلکس یا مقدار عنصری که از واحد طول ریشه در واحد زمان عبور می کند (میلی مول بر سانتی متر بر ثانیه)، U مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه (میلی مول بر گیاه)، RL طول ریشه (سانتی متر)، t زمان (ثانیه) و اندیس 1 و 2 بیانگر دو برداشت متوالی در زمان 60 و 90 روز پس از کشت است.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

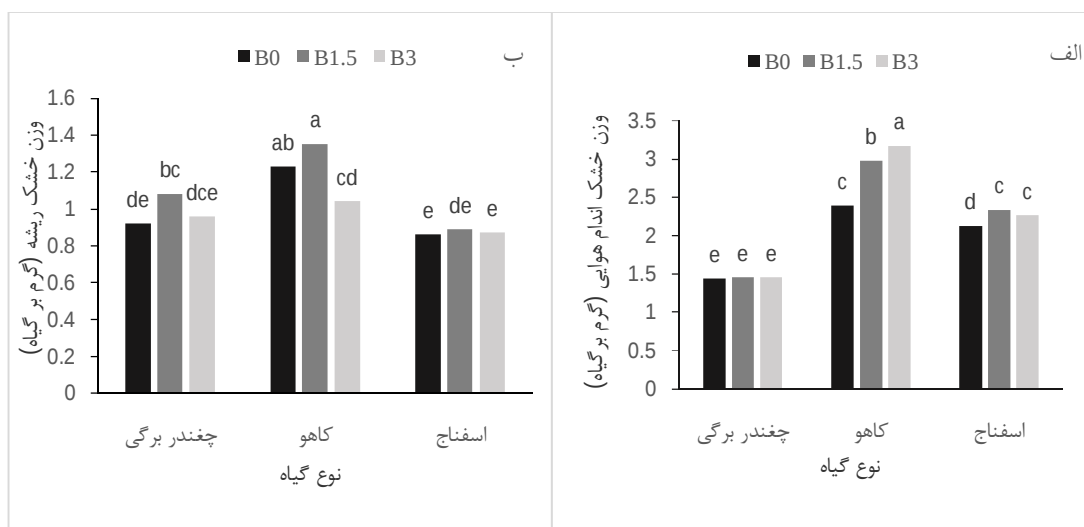
بافت	کربن الی	کربنات کلسیم	هدایت الکتریکی	pH	نیترژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	بور قابل استفاده
-	%	%	dS m ⁻¹	-	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
لوم	0/48	15/25	1/42	7/72	0/03	10/6	160/8	0/42

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

با توجه به شکل 1- الف، با افزایش سطوح بور، وزن خشک اندام هوایی در کاهو و اسفناج افزایش یافت اما تفاوت معنی داری بین سطوح مختلف بور بر وزن خشک اندام هوایی چغندر برگی مشاهده نشد. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی با اضافه شدن سطوح بور نسبت به شاهد (B_0) در کاهو در سطح ($B_{1.5}$) به مقدار 24 درصد و در سطح (B_3) به میزان 32 درصد مشاهده شد. در حالیکه این افزایش در اسفناج در سطح ($B_{1.5}$) و (B_3) به ترتیب 10 درصد و 6 درصد بود. به عبارتی می توان بیان کرد کاهو در مقایسه با دو گیاه دیگر، نسبت به افزایش سطوح بور پاسخ بیشتری از خود نشان داده است. سرکار و همکاران (2007) بیان کردند در مقایسه چند گیاه، زمانی که افزایش عملکرد گیاهی حتی با مقادیر ناچیز بور بیشتر باشد می توان آن را به عنوان کاراترین گیاه در نظر گرفت. ژنوتیپ هایی از پنبه که تحت شرایط کمبود بور قرار گرفتند با اینکه غلظت بور کمتری را در بافتهای خود دارا بودند اما زیست توده بیشتری تولید کردند که نشان دهنده کارایی استفاده بیشتر این ژنوتیپ ها از بور است، در حالیکه ژنوتیپ هایی که زیست توده کمتری

تولید کردند کارایی استفاده کمتری از بور داشتند (شاه و همکاران، 2014). با توجه به غلظت کم بور در اندام هوایی کاهو (شکل 3- الف) و زیست توده بیشتر (شکل 1- الف) در مقایسه با اسفناج و چغندر برگی، می توان نتیجه گرفت که کاهو کارایی استفاده بیشتری از بور داشته است. با توجه به شکل 1- ب، وزن خشک ریشه همانند وزن خشک اندام هوایی در کاهو بیشتر از دو گیاه دیگر بود. وزن خشک ریشه نسبت به سطح صفر (B_0) در هر سه گیاه در سطح 1/5 کیلوگرم در هکتار ($B_{1.5}$) افزایش داشت اما در سطح 3 کیلوگرم در هکتار (B_3) وزن خشک ریشه نسبت به شاهد کاهش یافت. با افزودن بور، عملکرد بخش های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) گیاهان خردل، گندم و سیب زمینی نسبت به شاهد افزایش یافت اما میزان این افزایش برای گیاهان متفاوت بود (سرکار و همکاران، 2007). از سوی دیگر ممکن است سطوح بالای بور سبب کاهش زیست توده اندامهای مختلف گیاه از جمله ریشه گردد. در تحقیقی نشان داده شد که وزن خشک ریشه در دو رقم ریحان شیرین در سطوح بالای بور (20 میلی گرم بر لیتر) نسبت به شاهد (0/25 میلی گرم بر لیتر) به مقدار 53 و 39 درصد کاهش یافت (پاردوسی و همکاران، 2015).



شکل 1- برهمکنش اثرات گیاه و سطوح بور بر وزن خشک اندام هوایی (الف) و ریشه (ب)

حروف مشترک در ستون‌ها، طبق آزمون دانکن نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد است.

برخی رقم‌های سیب‌زمینی افزایش یافت که یکی از راههای سازگاری برای جبران کمبود فسفر است.

خصوصیات مورفولوژیکی ریشه

با توجه به شکل 2- الف، با افزایش سطوح بور، طول تجمعی ریشه افزایش یافت، بطوریکه کمترین طول تجمعی ریشه برای هر سه گیاه در سطح صفر (B_0) مشاهده شد. طول تجمعی ریشه چغندربرگی و اسفناج تنها در سطح 3 کیلوگرم در هکتار از بور افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد. اما در کاهو، طول ریشه در سطح $1/5$ و 3 کیلوگرم بور در هکتار، افزایش معنی‌داری نسبت به سطح صفر داشت. افزایش طول تجمعی ریشه در سطح (B_3) نسبت به شاهد (B_0) به ترتیب در چغندر برگی (54 درصد)، اسفناج (47 درصد) و کاهو (31 درصد) مشاهده گردید. تحقیقات نشان داده است که به دلیل نقش مهم و اساسی بور در انسجام دیواره سلولی و طولی شدن ریشه، در شرایط کمبود بور طول تجمعی ریشه کاهش یافت (اونیل و همکاران، 2004). بطور کلی، در شرایط کمبود بور (B_0)، طول تجمعی ریشه در کاهو نسبت به اسفناج ($1/3$) و نسبت به چغندر برگی (2 برابر) بیشتر بود که با افزایش سطوح بور نیز این روند

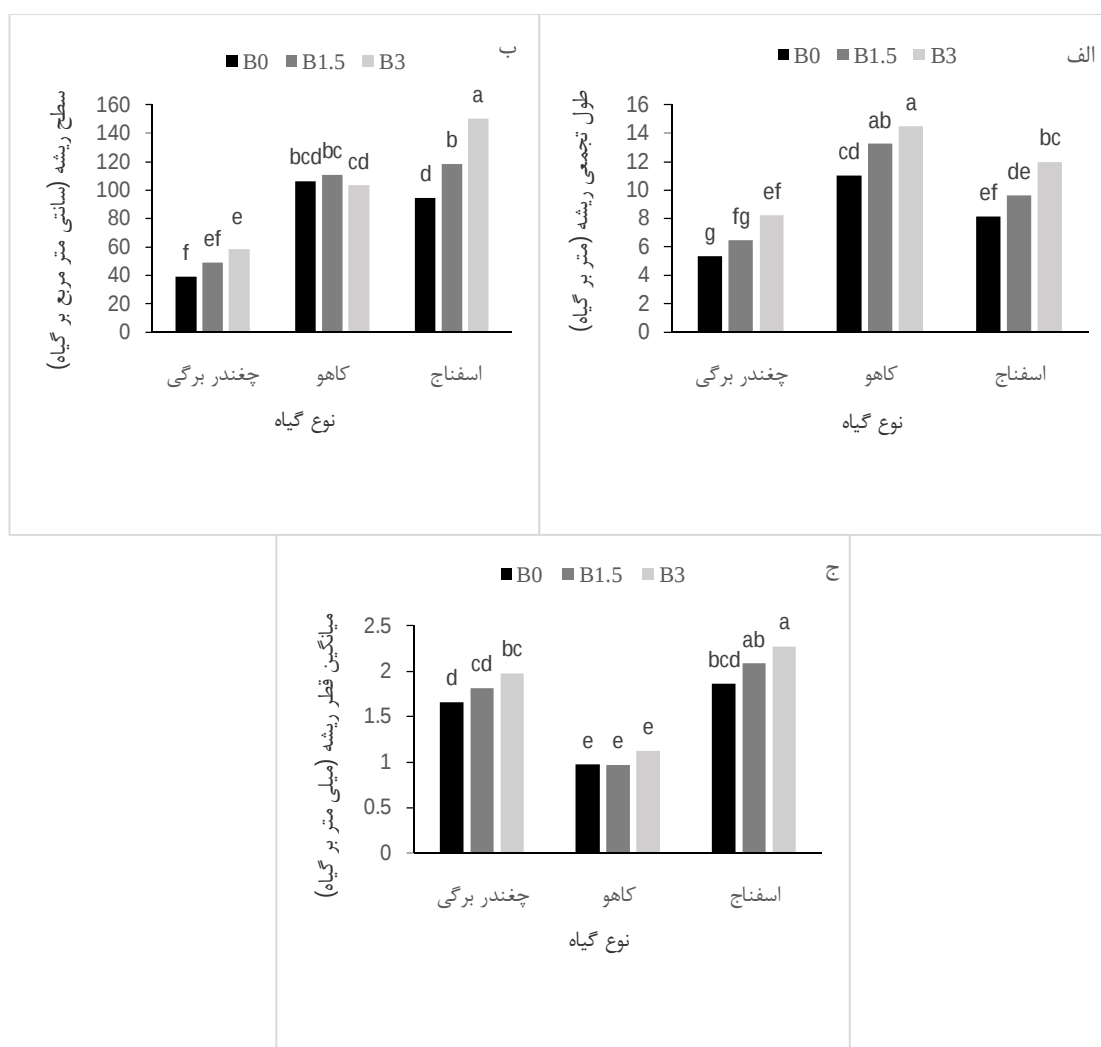
تخصیص زیست توده بیشتر به ریشه‌ها که از نظر متابولیسمی در به دست آوردن بور مؤثر هستند، مکانیسمی برای سازگاری با محدودیت بور می‌باشد. در شرایط کمبود بور گیاهان نسبت کربن بیشتری را به ریشه‌ها اختصاص داده و زیست توده ریشه کمتر کاهش یافته است. اصولاً برگهای گیاه غلظت بیشتری از بور را در خود جذب می‌کنند، در نتیجه در گیاهانی که نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بیشتر است مصرف بور برای ساخت برگها کمتر شده و فراهمی بور برای گیاه بیشتر می‌شود (می و همکاران، 2011). با توجه به شکل 1، در شرایط کمبود بور (B_0)، وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب در چغندر برگی $0/92$ و $1/42$ ، در کاهو $1/23$ و $2/39$ و در اسفناج $0/86$ و $2/13$ گرم بر گیاه می‌باشد و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در چغندربرگی ($0/64$) در مقایسه با کاهو ($0/51$) و اسفناج ($0/40$) بیشتر بوده که می‌توان نتیجه گرفت چغندر برگی می‌تواند با این مکانیسم شرایط کمبود بور را بهتر تحمل کند. فرناندس و همکاران (2014) بیان کردند با کاهش فراهمی فسفر نسبت زیست توده ریشه به اندام هوایی در

افزایشی در طول تجمع ریشه در کاهو نسبت به اسفناج و چغندر برگی مشاهده شد. شاید زیست توده بیشتر اندام هوایی کاهو نیز در این شرایط با گستردگی سیستم ریشه در ارتباط باشد. ویشارت و همکاران (2014) بیان کردند هر چه سیستم ریشه گستردگی بیشتری داشته باشد کاهش عملکرد اندام هوایی گیاه کمتر خواهد شد. با توجه به شکل 2- ب، افزایش سطوح بور، سبب افزایش سطح ریشه در هر سه گیاه گردید، اما این افزایش در اسفناج و چغندر برگی معنی دار بود و در کاهو ارتباط معنی داری بین سطوح بور بر سطح ریشه مشاهده نشد.

در شرایط کمبود بور (B_0) کمترین سطح ریشه متعلق به چغندر برگی بود و اسفناج و کاهو سطح ریشه بیشتری نسبت به چغندر برگی داشتند (حدود 3 برابر). در شرایط کمبود بور، رشد و توسعه ریشه کاهش یافته و در نتیجه در راستای کاهش طول ریشه، سطح ریشه نیز کاهش پیدا می کند. در بالاترین سطح بور (B_3)، سطح ریشه در چغندر برگی و اسفناج به ترتیب 48 و 58 درصد نسبت به شاهد (B_0) افزایش یافت. بطور کلی می توان با توجه به افزایش طول و سطح ریشه با افزایش سطوح بور، به اهمیت بور در افزایش خصوصیات مورفولوژیکی ریشه در گیاهان پی برد. با توجه به شکل 2- ج، با افزودن سطوح بور اختلاف معنی داری در قطر ریشه در کاهو مشاهده نگردید، اما قطر ریشه چغندر برگی و اسفناج افزایش یافت. باتیستا و همکاران (2016) گزارش کردند 99 درصد جذب عناصر غذایی اغلب در ریشه هایی با قطر کمتر از 3 میلی متر صورت گرفته که بیشترین جذب مربوط به ریشه هایی با قطر کمتر از یک میلی متر است. کاهو کمترین میانگین قطر ریشه (0/98 میلی متر) را نسبت به اسفناج و چغندر برگی داشت. بطور کلی تأثیر

طول و سطح ریشه در جذب عناصر غذایی بیشتر از قطر ریشه می باشد. استنگروب و شنک (1991) نشان دادند که میانگین قطر ریشه (0/12 میلی متر) خصوصیت مؤثری در افزایش کارایی جذب نیترات در اسفناج و کلم قمری نبوده، بلکه افزایش ریشه های موئنه و بالتبع افزایش سطح ریشه عوامل مهم در افزایش کارایی جذب نیترات بودند. در مطالعه ای نشان داده شد که ژنوتیپ های مرکبات پاسخ های متفاوتی را در ارتباط با خصوصیات مورفولوژیکی ریشه نسبت به بور داشتند. بطوریکه در برخی از ژنوتیپ ها حضور و یا عدم حضور بور تأثیر معنی داری بر طول و سطح ریشه نداشت اما در برخی دیگر تأثیر بور بر این ویژگی ها بسیار مشهود بود. اما بطور کلی کمبود بور سبب کاهش طول تجمع ریشه و سطح ریشه در اکثر ژنوتیپ های مرکبات شد.

می توان نتیجه گرفت تفاوت در مورفولوژی ریشه های مرکبات تعیین کننده توانایی آنها برای جذب بور از محلول غذایی بود و همبستگی معنی داری بین خصوصیات ریشه و جذب خالص بور وجود داشت. بطوریکه در شرایط کمبود بور طول و سطح ریشه در برخی از گونه های مرکبات کاهش یافت در حالیکه در برخی دیگر از این گونه ها حتی در شرایط کمبود بور تغییری در خصوصیات ریشه ایجاد نگردید (می و همکاران، 2011). سورگانا و همکاران (2005) بیان کردند که خصوصیات متفاوت ریشه سبب توانایی متفاوت گیاهان برای جذب بور می شود و همبستگی مثبت معنی داری بین سطح ریشه، طول ریشه و جذب بور وجود دارد. همچنین خصوصیات مورفولوژیکی ریشه می تواند بر کارایی جذب بور و تحمل گیاه در شرایط کمبود بور اثرگذار باشد.



شکل 2- برهمکنش اثرات گیاه و سطوح بور بر طول تجمعی ریشه (الف)، سطح ریشه (ب) و میانگین قطر ریشه (ج)

حروف مشترک در ستون‌ها، طبق آزمون دانکن نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد است.

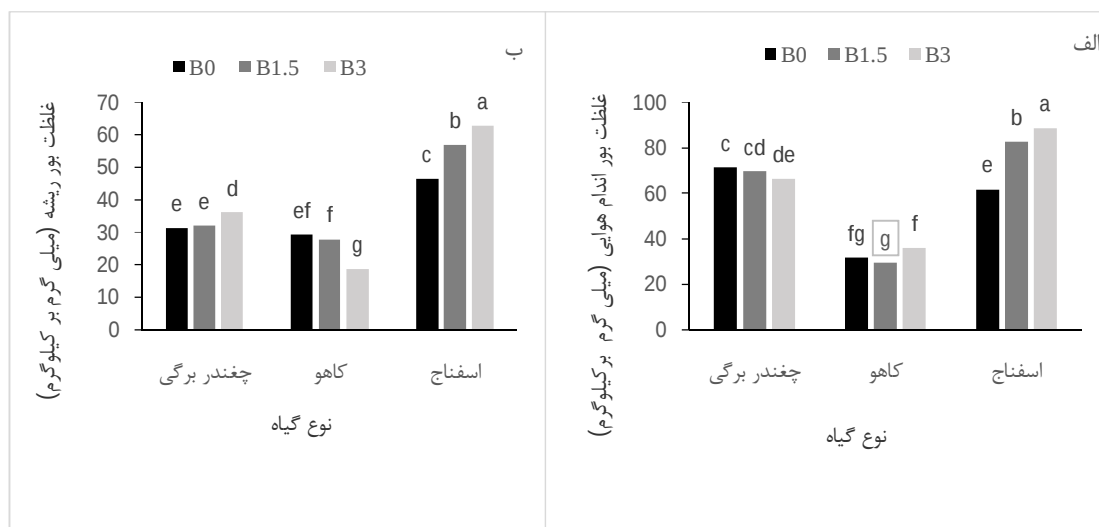
غلظت بور اندام هوایی و ریشه

شکل 3- الف، نشان می‌دهد که با افزایش سطوح بور اختلاف معنی‌داری بین غلظت بور در اندام هوایی کاهو نسبت به شاهد مشاهده نشد. چغندر برگ در سطح 3 کیلوگرم در هکتار (B_3) کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد (B_0) داشت (7 درصد). یکی از دلایل کاهش غلظت بور در اندام هوایی گیاه، افزایش زیست توده گیاه است. اما با توجه به اینکه با افزایش سطوح بور اختلاف معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی گیاه مشاهده نشد (شکل 1)، احتمالاً تخصیص بیشتر زیست توده گیاه به ریشه‌ها در سطوح بالای بور و افزایش فراهمی بور برای

ریشه سبب کاهش غلظت بور اندام هوایی در سطوح بالای بور در چغندر برگ شده است. غلظت بور در اندام هوایی اسفناج در سطح $1/5$ ($B_{1.5}$) و 3 کیلوگرم در هکتار (B_3) به ترتیب 34 و 44 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بطور کلی، اسفناج و چغندر برگ بیشترین غلظت بور اندام هوایی را دارا بودند و کاهو کمترین غلظت بور را در اندام هوایی خود داشت. در شرایط کمبود بور (B_0)، اسفناج با غلظت ($61/8$ میلی گرم بر کیلوگرم) و چغندر برگ ($71/4$ میلی گرم بر کیلوگرم) توانستند از مقدار کم بور موجود در خاک، نیاز خود را تأمین کنند اما غلظت بور در اندام هوایی کاهو (31 میلی گرم بر کیلوگرم) در

قندهای محلول و آمینو اسیدها در رقم‌های کلزا تأثیر داشت (کائو و همکاران، 1997). از سوی دیگر توانایی تشکیل کمپلکس اسید بوریک (H_3BO_3) و بورات $B(OH)_4^-$ که دو فرم قابل جذب بور در خاک هستند با کربوهیدراتها، آمینو اسیدها، اسیدهای آلی و برخی ترکیبات دیگر گزارش شده است (کوزه و زومری اوغلو-کارن، 2012). با توجه به مطالب بیان شده، احتمالاً تراوشات ریشه در شرایط کمبود بور توانسته است سبب افزایش غلظت بور در چغندر برگ شود. با توجه به شکل 3-ب، غلظت بور ریشه چغندر برگ و کاهو در سطح 3 کیلوگرم در هکتار به ترتیب افزایش (16 درصدی) و کاهش (25 درصدی) نسبت به شرایط کمبود بور (B_0) داشت. اما با افزایش سطوح بور، غلظت بور ریشه اسفناج (16 تا 30 درصد) نسبت به شاهد (B_0) افزایش داشت. بطور کلی کاهو نسبت به چغندر برگ و اسفناج کمترین غلظت بور را در اندام هوایی و ریشه دارا بود.

محدوده بحرانی قرار گرفت (خوشگفتارمنش، 1386). اگر فراهمی عناصر غذایی برای گیاه کم باشد، گیاهان با افزایش کارایی فیزیولوژیکی جذب و یا سازگاری خصوصیات ریشه، می‌توانند این کمبود را جبران کنند (استنگروب و شنک، 1991). با توجه به شکل 2، خصوصیات مورفولوژیکی ریشه از جمله طول و سطح بیشتر ریشه در اسفناج می‌تواند عامل مهمی در افزایش غلظت بور در شرایط کمبود بور باشد. اما در چغندر برگ طول و سطح کم ریشه در افزایش غلظت بور در شرایط کمبود بور نقشی نداشته و احتمالاً عوامل مهم دیگری دخیل هستند. مطالعات نشان دادند که تحت تأثیر کمبود عناصر غذایی در خاک تراوشات ریشه از قبیل قندها، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه می‌توانند در حلالیت عناصر غذایی تأثیرگذار باشند (کاروالیس و همکاران، 2011؛ ورنانو و همکاران، 2013). همچنین در مطالعه‌ای نشان داده شد که کمبود بور بر تراوشات ریشه از قبیل



شکل 3- برهمکنش اثرات گیاه و سطوح بور بر غلظت بور اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) حروف مشترک در ستون‌ها، طبق آزمون دانکن نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد است.

دهنده توانایی متفاوت آنها در جذب بور می‌باشد (سرکار و همکاران، 2007). همچنین در مطالعه‌ای دیگر بیان شد، تفاوت‌های مشاهده شده در غلظت بور در گیاهان جو، گندم و کلزا احتمالاً نشانگر مکانیسم‌های مختلف برای جذب

در پژوهشی بیان شد، تفاوت در افزایش چشمگیر غلظت بور در گیاهان خردل (34 درصد)، گندم (71 درصد) و سیب زمینی (80 درصد) نسبت به شاهد، با افزودن بور از طریق روش‌های مختلف کوددهی، نشان

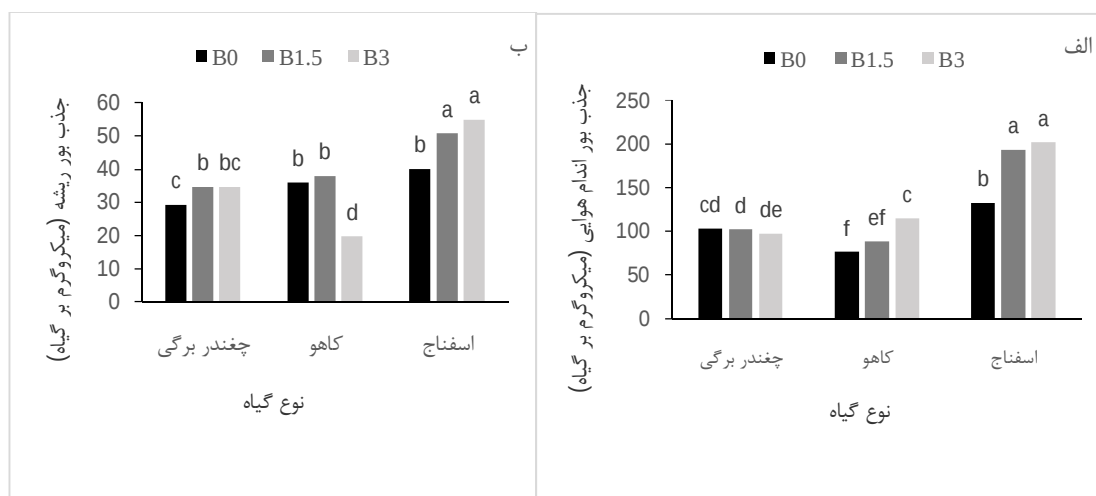
بور است (مولپاچووا، 2018). از سوی دیگر، بالالونی و براون (1998) بیان کردند که غلظت کم و یا زیاد بور در گیاهان مختلف به تفاوت در نفوذپذیری غشا که در ارتباط با ترکیبات غشا و دیواره سلولی است، مربوط می‌شود. ترکیبات مختلف در دیواره سلولی گیاهان و توانایی مختلف آنها برای کمپلکس کردن بور می‌تواند بر غلظت بور تأثیرگذار باشد بطوریکه گونه‌های گیاهی با مقادیر بالای این ترکیبات نیاز بیشتری به بور دارند.

جذب بور اندام هوایی و ریشه

با توجه به شکل 4- الف، با افزایش سطوح بور، اختلاف معنی‌داری در جذب بور در اندام هوایی چغندربرگی مشاهده نشد. جذب بور توسط کاهو در سطح $1/5$ و 3 کیلوگرم در هکتار، به ترتیب 15 و 50 درصد افزایش داشت که در سطح (B_3) افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (B_0) داشت و اسفناج نیز با افزایش سطوح بور افزایش معنی‌داری در جذب بور نسبت به شاهد نشان داد (46 و 53 درصد). بطور کلی بیشترین جذب اندام هوایی توسط اسفناج صورت گرفت (202 میکروگرم بر گیاه)، در شرایط کمبود بور (B_0) نیز جذب اسفناج نسبت به چغندر برگی و کاهو افزایش معنی‌داری داشت که می‌توان نتیجه گرفت اسفناج کارایی جذب بیشتری نسبت به چغندر برگی و کاهو داشته است. در روش‌های متعدد کوددهی بور، درصد افزایش جذب بور نسبت به شاهد در خردل (128 درصد)، گندم (100 درصد) و سیب زمینی (35 درصد) بود. ولی بیشترین مقدار جذب در سیب زمینی (525 گرم در هکتار) مشاهده گردید. سرکار و همکاران (2007)، جذب بسیار زیاد بور توسط سیب زمینی (10 برابر) نسبت به خردل و گندم را به عملکرد زیاد سیب زمینی نسبت داد. خصوصیات مورفولوژیکی ریشه از قبیل، طول ریشه، سطح ریشه، میانگین قطر ریشه و ریشه‌های جانبی و خصوصیات فیزیولوژیکی از قبیل پارامترهای مانند یا ماکزیم اینفلاکس گیاه (I_{max}) در بین گونه‌ها، رقم‌ها و ژنوتیپ‌های

مختلف گیاهان متفاوت بوده و از عوامل مؤثر در جذب عناصر در گیاهان هستند (می و همکاران، 2011؛ فرناندس و همکاران، 2014). با توجه به شکل 2، خصوصیات ریشه از قبیل طول و سطح زیاد ریشه از عوامل اصلی در جذب بالای بور توسط اسفناج می‌باشند. با این وجود کاهو با دارا بودن طول و سطح زیاد ریشه توانایی جذب کمتری داشت. می‌توان بیان کرد، کاهو اگر چه طول ریشه زیادی دارد ولی زیست توده اندام هوایی این گیاه نیز زیاد بوده و اندازه سیستم ریشه که تأمین کننده بور برای اندام هوایی گیاه است کافی نمی‌باشد.

بطور کلی این نتایج نشان می‌دهد علاوه بر اهمیت ریشه در جذب، عوامل دیگری از قبیل حضور یون در سطح ریشه و اینفلاکس نیز در افزایش جذب عنصر در گیاه دخیل هستند و صرفاً طول تجمعی و سطح بیشتر ریشه نمی‌تواند سبب افزایش جذب گردد. بیشترین جذب بور ریشه نیز همانند اندام هوایی در گیاه اسفناج مشاهده شد که با افزایش سطوح بور به ترتیب 26 و 37 درصد افزایش داشت. افزایش جذب بور توسط ریشه نسبت به جذب بور توسط اندام هوایی در گیاه چغندربرگی بیشتر تحت تأثیر بور بود و با افزایش سطوح بور جذب بور ریشه افزایش یافت (شکل 4- ب). جذب بور ریشه کاهو نیز در سطح 3 کیلوگرم در هکتار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت که غلظت و زیست توده کم ریشه کاهو در این سطح می‌تواند دلیلی بر این موضوع باشد. در مطالعه‌ای که بر روی کارایی جذب متفاوت سه گیاه گندم، کرفس و گوجه فرنگی نسبت به مقادیر بور انجام گرفت، الگوی توزیع بور در بین گیاهان متفاوت بود و تفاوت در حساسیت به کمبود و زیادبود بور در گیاهان دلایل متعددی داشت. کاهش جذب در گندم، محدودیت در انتقال بور از ریشه به اندام هوایی در کرفس و ترکیبی از هر دو عامل در گوجه فرنگی علت اصلی کارایی متفاوت این گیاهان و رقم‌های آنها در جذب بود. (بالالونی و براون، 1998).



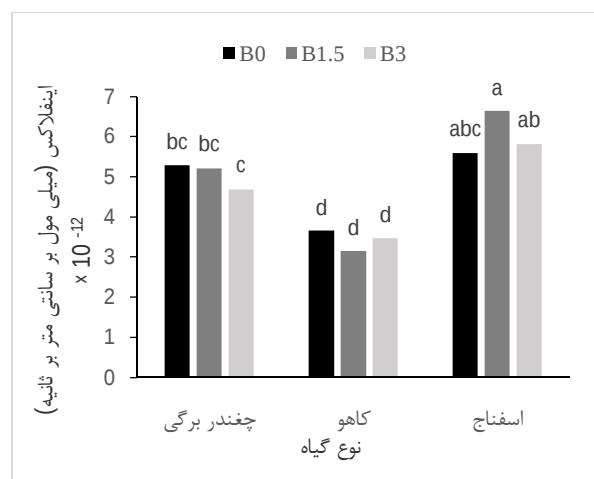
شکل 4- برهمکنش اثرات گیاه و سطوح بور بر جذب بور اندام هوایی (الف) و ریشه (ب)

حروف مشترک در ستون‌ها، طبق آزمون دانکن نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد است.

اینفلاکس (جریان به داخل)

با توجه به شکل 5، با افزودن سطوح بور اختلاف معنی‌داری در اینفلاکس گیاهان نسبت به شاهد (B_0) مشاهده نشد. افزایش سطوح کوددهی لزوماً منجر به افزایش اینفلاکس در گیاهان نخواهد شد، زیرا علاوه بر عوامل گیاهی، عوامل خاکی نیز بر اینفلاکس تأثیر داشته و برهمکنش عناصر مختلف با خاک و تحرک و انتقال آنها به سمت ریشه می‌تواند اینفلاکس گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (سیفرت و همکاران، 1995؛ شریفی و زیبارت، 2006). سامال و همکاران (2003) بیان کردند که شیب غلظتی عناصر در محلول خاک و سطح ریشه از عوامل مهم در اینفلاکس گیاهان است. هر چه شیب غلظتی بیشتر باشد و غلظت عنصر در محلول خاک نسبت به سطح ریشه بیشتر باشد اینفلاکس بیشتر است زیرا انتقال به سطح ریشه بیشتر صورت می‌گیرد. احتمالاً، با افزایش سطوح بور، مقداری از بور به دلیل برهمکنش آن با اجزای خاک در دسترس نبوده و شیب غلظتی لازم برای رسیدن عنصر به سطح ریشه و ورود آن به داخل ریشه کافی نیست.

گالیندو و همکاران (2018) خاطر نشان کردند با افزایش مقادیر بور در خاک در 4 سطح (صفر، 1، 2 و 4 کیلوگرم در هکتار) از منبع اسید بوریک، کارایی جذب بور در گیاه گندم کاهش یافت. مقادیر بالای بور احتمالاً توسط گیاه جذب نشده و از دست رفته که باعث کاهش کارایی جذب گیاه شده و به قانون بازگشت کاهشی معروف است. بطور کلی هنوز مکانیسم‌های اساسی و دقیقی که تفاوت‌های جذب و توزیع بور توسط گونه‌های مختلف گیاهان را بررسی کند مشخص نشده است. مکانیسم‌های احتمالی از جمله نفوذپذیری غشا که به ترکیبات موجود در دیواره سلولی مربوط می‌شود، توانایی ترکیبات کلیت‌کننده از جمله آمینو اسیدها، اسیدهای آلی و پلی ساکاریدها در ریزوسفر که سبب کاهش بور آزاد در اطراف ریشه می‌شود و انتقال بور در آوند چوبی و شدت تنفس ممکن است در این امر دخیل باشند (نابل و پائول، 1991؛ نابل و همکاران، 1997؛ هو و براون، 1997).



شکل 5- برهمکنش اثرات گیاه و سطوح بور بر اینفلاکس گیاه

حروف مشترک در ستون‌ها، طبق آزمون دانکن نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد است.

اختلاف معنی‌داری وجود داشت. کمترین اینفلاکس متعلق به کاهو بود و اسفناج و چغندر برگی به ترتیب اینفلاکس بیشتری داشتند. کاهو سیستم ریشه گسترده‌ای داشت (طول تجمعی ریشه در کاهو بیشتر بود) اما جذب بور کمتری نسبت به اسفناج دارد که دلیل این موضوع را می‌توان به اینفلاکس کمتر کاهو نسبت داد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که سیستم گسترده ریشه نمی‌تواند لزوماً منجر به جذب بیشتر بور شود بخصوص اگر اینفلاکس بور در گیاه کم باشد. با توجه به شکل 2، خصوصیات مورفولوژیکی ریشه از قبیل طول و سطح بالای ریشه، در اسفناج تأثیر بیشتری در جذب داشته و در نتیجه مقدار بور بیشتری از واحد سطح ریشه وارد گیاه شده است. یعنی عامل اصلی افزایش اینفلاکس اسفناج، جذب بیشتر بور توسط اسفناج است که خصوصیات ریشه در این امر از اهمیت بیشتری برخوردارند. با توجه به شکل 2، طول تجمعی و سطح ریشه در چغندربرگی نسبت به اسفناج و کاهو بسیار کمتر بود. در حالیکه اینفلاکس بالایی را به خود اختصاص داد. برخی از گیاهان برای جبران سیستم ریشه ناکارآمد خود (طول و سطح کمتر)، اینفلاکس خود را افزایش می‌دهند. با توجه به جذب کمتر بور توسط چغندر برگی (شکل 4)، می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر اینفلاکس لزوماً منجر به کارایی

علاوه بر این، در تیمار شاهد (B_0) کاهو و چغندربرگی اینفلاکس بیشتری نسبت به تیمارهای ($B_{1.5}$) و (B_3) داشتند. احتمالاً، در شرایط کمبود بور در گیاهان اینفلاکس نسبتاً زیاد بوده که نشان دهنده این است که گیاهان اینفلاکس خود را افزایش می‌دهند تا غلظت بور داخلی را حفظ کنند. از سوی دیگر با افزایش سطوح بور اینفلاکس در هر سه گیاه تغییر چندانی نکرد. مارشنر (2012) بیان کرد، ریشه گیاهانی که در معرض کمبود عنصر غذایی قرار گرفتند اینفلاکسی بیشتری را نسبت به شرایطی که فراهمی عنصر کافی است، نشان دادند. در تحقیقات دیگر نیز نشان داده شد که در شرایط کمبود فسفر، حداکثر اینفلاکس گیاهان افزایش یافت. افزایش اینفلاکس گیاهان به این دلیل بود که غلظت فسفر داخلی را از طریق افزایش سنتز و یا میل ترکیبی ناقلین فسفر در غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه حفظ کنند (جونگک و همکاران، 1990؛ بهادریا و همکاران، 2004). اما عکس این نتایج در مطالعه فرناندس و همکاران (2014) مشاهده شد که بیشترین اینفلاکس در برخی از رقم‌های سیب زمینی، در شرایط فراهمی عنصر غذایی وجود داشت و جذب فسفر توسط گیاه در شرایط کمبود فسفر بیشتر تحت تأثیر طول و سطح ریشه بود تا اینفلاکس. از طرف دیگر با توجه به شکل 5، بین اینفلاکس گیاهان با یکدیگر

جذب بیشتر عنصر نخواهد شد چون ممکن است سیستم ریشه گستردگی چندانی نداشته باشد (شریفی و زیبارت، 2006). با توجه به اینکه خصوصیات مورفولوژیکی ریشه نقش چندانی در افزایش اینفلاکس و جذب بور توسط چغندر برگی ندارد، شاید دلیل اینفلاکس زیاد آن را بتوان به عوامل دیگری که سبب افزایش غلظت بور در محلول خاک و جذب بور شده اند، نسبت داد.

نتیجه گیری

خصوصیات مورفولوژیکی ریشه و اینفلاکس از عوامل مهم در جذب بور توسط گیاهان می باشند. تفاوت در کارایی جذب مختلف گیاهان منعکس کننده مورفولوژی ریشه و اینفلاکس متفاوت آنهاست. در شرایط کمبود بور، طول و سطح ریشه در اسفناج نسبت به دو گیاه دیگر بیشتر بود که زیست توده بیشتر، غلظت زیاد بور و جذب بیشتر در این شرایط را می توان به گستردگی ریشه اسفناج در شرایط کمبود بور نسبت داد. از سوی

دیگر، چغندر برگی با کمترین گستردگی ریشه، توانست، غلظت و جذب بالایی از بور را داشته باشد. اینفلاکس بالای این گیاه در شرایط کمبود بور به دلیل افزایش حلالیت بور در اطراف ریشه می تواند از عوامل مهم در افزایش کارایی جذب بور در چغندر برگی باشد. همچنین، کمترین غلظت و جذب بور در شرایط کمبود بور، مربوط به کاهو بود. کاهو با دارا بودن بیشترین طول و سطح ریشه و زیست توده بیشتر اندام هوایی و ریشه، نتوانست غلظت و جذب کافی از بور را داشته باشد. لزوماً، سیستم گسترده ریشه نمی تواند منجر به جذب بیشتر بور شود بخصوص اگر اینفلاکس بور در گیاه کم باشد. بطور کلی می توان نتیجه گرفت اسفناج با توجه به غلظت و جذب بالای بور، بیشترین کارایی جذب را داشته که طول و سطح زیاد ریشه و اینفلاکس بالای آن از مهمترین عوامل در این موضوع می باشند.

فهرست منابع:

1. خوشگفتارمنش، ا.ح. 1386. ارزیابی وضعیت تغذیه ای گیاه و مدیریت بهینه کودی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
2. ملکوتی، م. ج. 1393. توصیه بهینه مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران. نشر تهران مبلغان.
3. Ali, F., Ali, A., Gul, H., Sharif, M., Sadiq, A., Ahmed, A., Ullah, A., Mahar, A. and Kalhor, S.A. 2015. Effect of Boron Soil Application on Nutrients Efficiency in Tobacco Leaf. American Journal of Plant Sciences. 6: 1391-1400.
4. Batista, R.O., Furtini neto, A.E., Deccetti, S.F.C., and Viana, C.S. 2016. Root morphology and nutrient uptake kinetics by Australian cedar clones. Journal of Revista Caatinga. 29(1): 153 – 162.
5. Barker, A.V., Pilbeam, D.J. 2015. Hand book of plant nutrition. CRC press.
6. Bellaloui, N., Brown, P.H. 1998. Cultivar differences in boron uptake and distribution in celery (*Apium graveolens*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Plant and Soil. 198: 153-158.
7. Bhadoria, P.S., Dessougi, H., El. Liebersbach, H., and Claassen, N. 2004. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. Journal of Plant and Soil. 262: 327–336.
8. Camacho-Cristobal, J.J., Rexach, J., and Gonzalez-Fontes, A. 2008. Boron in plants: deficiency and toxicity. Journal of Integrative Plant Biology. 50: 1247–1255.
9. Cao, X.Y., Liu, W.D., and Pi, M.M. 1997. Composition of root exudates and root bleeding sap of a boron-efficient and inefficient oilseed rape genotype. p. 171–174. Proceedings of the International Symposium on Boron in Soils and Plants. Chiang Mai, Thailand, 7–11 September.

10. Carvalhais, L.C., Dennis, P.G., Fedoseyenko, D., Hajirezaei, M.R., Borriss, R. and Wirén, N.V. 2011. Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.174: 3–11.
11. Fernandes, A.M., Soratto, R.P., and Gonsales, J.R. 2014. Root morphology and phosphorus uptake by potato cultivars grown under deficient and sufficient phosphorus supply. *Journal of Scientia Horticulture*.180:190-198.
12. Galindo, F.S., Teixeira Filho, M.C.M., Buzetti, S., Rodrigues, W.L., Boleta, E.H.M., Santini, J.M.K., and Pereira, M.R.A. 2018. Effects of Boron (B) doses and forms on boron use efficiency of wheat. *Australian Journal of crop science*. 12(09):1536-1542.
13. Hu, H., and Brown, P.H. 1997. Absorption of boron by plant roots. *Journal of Plant and Soil*. 193: 49–58.
14. Jungk, A., Asher, C.J., Edwards, D.G., and Meyer, D. 1990. Influence of phosphate status on phosphate uptake kinetics of maize (*Zea mays* L) and soybean (*Glycine max*L). *Journal of Plant and Soil* .124: 175–182.
15. Kose, A.K., and Zumreoglu-Karan, B. 2012. Mixed-ligand complexes of boric acid with organic biomolecules. *Chemical Papers* 66 (1): 54–60.
16. Koshiba, T., Kobayashi, M., and Matoh, T. 2009. Boron Nutrition of Tobacco BY-2 Cells. V. Oxidative Damage is the Major Cause of Cell Death Induced by Boron Deprivation. *Journal of Plant Cell Physiology*. 50(1): 26–36.
17. Lili, G., Mingjian, G., Lei, S., Zhuqing, Z., and Duanwei, Z. 2015. Boron uptake and distribution in two oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars with different boron efficiency and their plants grafted each other. *Journal of Agronomy: Soil Nutrition*. 223-227.
18. Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. London: Academic Press.
19. Mei, L., Sheng, O., Peng, S.A., Zhou, G.F., Wei, Q.J., and Li, Q.H. 2011. Growth, root morphology and boron uptake by citrus rootstock seedlings differing in boron-deficiency responses. *Journal of Scientia Horticulture*. 129: 426–432.
20. Muhlbachova, G., Cermak, P., Vavera, R., Kas, M., Pechova, M., Markova, K., Kusa, H., Ruzek, P., Hlusek, J., and Losak, T. 2018. Crop yields, boron availability and uptake in relation to phosphorus supply in a field experiment. *Journal of Plant, Soil and Environment*. 64(12): 619–625.
21. Nable, R.O., Banuelos, G.S., and Paull, J.G. 1997. Boron toxicity. *Journal of Plant and Soil*. 193: 181–198.
22. Nable, R.O., and Paul, G. 1991. Mechanism and genetics of tolerance to boron toxicity in plants. *Current Topics. Journal of Plant Biochemistry and Physiology*. 10: 257–273.
23. O'Neill, M.A., Ishii, T., Albersheim, P., and Darvil, A.G. 2004. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Journal of Annual Review of Plant Biology*. 55:109–139.
24. Pandey, A., Mohd, k.Kh., Hamurcu, M., Gezgin, S., and Esref Hakki, E. 2017. Boron deficiency responses on nutrients composition in brachypodium distachyon, a model for wheat. *Journal of biochemistry*. 256:39.
25. Pardossi, A., Romani, M., Carmassi, G., Guidi, L., Landi, M., Incrocci, L., Maggini, L., Puccinelli, M., Vacca, W., and Ziliani, M. 2015. Boron accumulation and tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) with green or purple leaves. *Journal of plant and soil*. <https://www.researchgate.net/publication/279420035>
26. Poulain, D., and Al Mohammad, H. 1995. Effects of boron deficiency and toxicity on faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*. 4(1): 127-134.

27. Sadana, U.S., Sharma, P., Castaneda Ortiz, N., Samal, D., and Claassen, N. 2005. Manganese uptake and Mn efficiency of wheat cultivars are related to Mn-uptake kinetics and root growth. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*. 168: 581–589.
28. Samal, D., Sadana, U.S., and Gill, A.A.S. 2003. Mechanistic approach to study manganese influx and its depletion in the rhizosphere of wheat and raya. *Journal of communications in soil science and plant analysis*. 34(19): 3033–3044.
29. Sarkar, D., Mandal, B., and Kundu, M.C. 2007. Increasing use efficiency of boron fertilizers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. *Journal of Plant and Soil*. 301:77–85.
30. Seiffert, S., Kaselowsky, J., Jungk, A., and Claassen, N. 1995. Observed and calculated potassium uptake by maize as affected by soil Water content and bulk Density. *Agronomy Journal*. 87:1070-1077.
31. Shah, J.A., hassan, Z.U., Rajpar, I., and Sial, M.A. 2014. Evaluating boron use efficiency of twenty cotton genotypes of Pakistan. *Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary*. 30 (2): 147-158.
32. Sharifi. M., and Zebarth, B.J. 2006. Nitrate influx kinetic parameters of five potato cultivars during vegetative growth. *Journal of plant soil*. 288:91–99.
33. Sorgonà, A., Abenavoli, M.R., and Cacco, G., 2005. A comparative study between two citrus rootstocks: effect of nitrate on the root morpho-topology and net nitrate uptake. *Journal of plant and soil*. 270: 257–267.
34. Stangoulis, J.C.R., Brown, P.H., Bellaloui, N., Reid, R.J., and Graham, R.D. 2001. The efficiency of boron utilization in canola. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28: 1109–1114.
35. Steingrobe, B., and Schenk, M.K. 1991. Influence of nitrate concentration at the root surface on yield and nitrate uptake of kohlrabi and spinach. *Journal of plant and soil*. 135:205–211.
36. Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K.R., Janous, D., and Formanek, P. 2013. Methods of collection of plant root exudates in relation to plant metabolism and purpose: A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sci*. 176: 175–199.
37. Wang, N., Yang, C., Pan, Z., Liu, Y., and Peng, S. 2015. Boron deficiency in woody plants. Various responses and tolerance mechanism. *Journal of Frontier in Plant Science*. 6: 916.
38. Will, S., Eichert, T., Fernandez, V., Mohring, J., Muller, T., and Romheld, V. 2011. Absorption and mobility of foliar-applied boron in soybean as affected by plant boron status and application as a polyol complex. *Journal of Plant Soil*. 344: 283–293.
39. Williams R.F., 1948. The effect of phosphorus supply on the rates of intake of phosphorus and nitrogen upon certain aspects of phosphorus metabolism in gramineous plants. *Australian Journal of Scientific Research* 1. 333–361.
40. Wishart, J., George, T.S., Brown, L.K., White, P.J., Ramsay, G., Jones, H., and Gregory, P.J. 2014. Field phenotyping of potato to assess root and shoot characteristics associated with drought tolerance. *Journal of Plant Soil*. 378: 351–363.
41. Wolf, B. 1974. Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 5: 39-44.

مقایسه ویژگی‌ها و تأثیر اسید هیومیک تجاری و استخراجی از کودهای گاوی و گوسفندی بر رشد سویا

سارا حسینی¹، مجید حجازی مهریزی، مهدی سرچشمه‌پور و مجید فکری

کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ hosseini.s1989@gmail.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ mhejazi@uk.ac.ir

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ msarcheshmeh@uk.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ mfekri@uk.ac.ir

ص 289 - 303

دریافت: 1401/1/29 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

استخراج مواد هیومیکی از کودهای دامی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مدیریت بهینه این ضایعات محسوب گردد. این پژوهش با هدف شناسایی ویژگی‌های اسید هیومیک از دو منبع کود گاوی و گوسفندی در دو سطح 100 میلی گرم و 200 میلی گرم و سپس مقایسه تأثیر آن‌ها و اسید هیومیک تجاری بر رشد سویا در غالب کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. بر اساس نسبت اسپکتروفوتومتری E_3/E_5 ، کمترین وزن مولکولی مربوط به اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی بود. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز بیانگر حضور گروه‌های عامل هیدروکسیل فنولی، کربوکسیل و حلقه‌های آروماتیک در اسیدهای استخراجی و اسید هیومیک تجاری بودند که OH فنولی در اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی فراوانی بیشتر داشت و پیک مربوط به حلقه آروماتیک و آلیفاتیک در اسید هیومیک تجاری حذف شده بود. نتایج نشان داد که اسیدهای هیومیک استخراج شده از کود گوسفندی به میزان 200 میلی گرم باعث افزایش 62% وزن تازه شاخسار و 48% وزن تر ریشه گردید و کود گاوی به میزان 200 میلی گرم باعث افزایش 31% ارتفاع شاخسار شد، اما کاربرد اسید هیومیک تجاری نتوانست صفات مذکور را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس نتایج این مطالعه، کود گوسفندی به مقدار 200 میلی گرم به دلیل تأثیر بیشتر روی شاخص های رشد سویا می‌تواند به عنوان منبعی مناسب برای استخراج اسید هیومیک و کاربرد آن در تولید محصول سویا مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، نسبت‌های اسپکتروسکوپی، طیف‌سنجی مادون قرمز، هوموس

¹ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه شهید باهنر کرمان - دانشکده کشاورزی - گروه علوم و مهندسی خاک

مقدمه

سویا (*Glycine max* L. Merrill) به عنوان یک گیاه مهم در اغلب کشورهای دنیا به منظور تولید روغن، پروتئین گیاهی و علوفه کشت می‌شود و مقام اول در تولید روغن و پروتئین و 50 درصد از تولید دانه‌های روغنی در دنیا را به خود اختصاص داده است (سلیمان زاده و همکاران، 1399). از دلایل اهمیت و توجه به این گیاه می‌توان به پروتئین بالا، مقادیر زیاد کربوهیدرات، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، فیبر و ویتامین دانه‌های آن اشاره کرد (بایو و همکاران، 2000). دانه سویا به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی پروتئینی، به طور متوسط دارای 40% پروتئین و 20% روغن بوده و از کنجاله آن به میزان قابل توجهی برای تغذیه دام و طیور استفاده می‌شود (نخ زری مقدم و همکاران، 1399). پیش‌بینی‌ها حکایت از افزایش جمعیت جهان از 7/1 میلیارد نفر در سال 2013 به 8/1 میلیارد نفر در سال 2025 و 9/5 میلیارد نفر در سال 2050 دارد (براون و همکاران، 2009). در این راه، بخش کشاورزی نقش مهمی در کاهش و جلوگیری از گرسنگی و تأمین امنیت غذایی ایفا خواهد کرد. با توجه به محدودیت‌های موجود جهت افزایش سطح زیر کشت، تلاش‌ها به افزایش عملکرد در واحد سطح به روش‌های مختلف از جمله کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و آلی معطوف شده است به طوری که، حاصلخیزی خاک به عنوان یک عامل کلیدی و مهم در افزایش سطح زیرکشت و برقراری امنیت غذایی مطرح است (ماکسل، 2001).

رشد علف‌های هرز در مزارع به عنوان یکی دیگر از معضلات کاربرد کودهای دامی به صورت تازه و پوسیده نشده است و چنانچه تأمین سالانه کودهای دامی از مناطق مختلف صورت گیرد، منجر به رشد گونه‌های جدید در مزرعه و سخت‌تر شدن مبارزه با علف‌های هرز می‌گردد که یکی از روش‌های بهینه در مدیریت کودهای دامی تولید مواد هیومیک است (کیواتوسکا و همکاران، 1992). اسید هیومیک از تغییرات بیوشیمیایی ترکیبات مواد آلی خاک مانند لیگنین، سلولز، همی سلولز، قندها و اسیدهای

آمین پس از تجزیه میکروبی در خاک حاصل می‌شوند (شیاوون و همکاران، 2010). در واقع مهم‌ترین عامل مؤثر بر کیفیت خاک، اسید هیومیک است. اسید هیومیک عمر نیتروژن و فسفر را در خاک افزایش می‌دهند، بافت خاک را بهبود می‌بخشند و تنفس گیاه را در خاک تحریک می‌کنند (هرناندز و همکاران، 2001).

یکی از راه‌های شناخت مواد هیومیکی، مطالعه طیف ماورای بنفش این مواد است به طوری که شدت جذب نور مرئی بیانگر نوع و ساختار مولکولی این مواد است (آیکن، 1984). پارامترهای نسبت طیف سنجی E4/E6 را می‌توان برای ارزیابی بلوغ کمپوست اسیدهای هیومیک استفاده کرد (حداد و همکاران، 2015). در بیشتر مطالعات برای تعیین ویژگی‌های مواد هیومیکی از نسبت جذب در طول موج‌های مشخصی نظیر 350، 465، 550 و 655 نانومتر استفاده می‌شود. نسبت E4/E6 که نسبت دانسیته نوری در طول موج 465 و 655 نانومتر است، بیانگر درجه تراکم ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک مواد هیومیک است به طوری که هرچه این نسبت کمتر باشد، نشان دهنده تراکم بیشتر ترکیبات آروماتیک است و در مقابل E4/E6 بیشتر نشان دهنده مقدار کم ترکیبات آروماتیک و مقدار بیشتر ترکیبات آلیفاتیک است (چن و همکاران، 1977; ریورو، 2004).

شاخص E3/E5 نشان‌دهنده اندازه مولکولی است و هر چه این نسبت بیشتر باشد، اندازه مولکولی کوچکتر است (هلال و همکاران، 2011). پژوهش‌ها نشان داده که مواد هیومیکی با نسبت E3/E5 بالاتر دارای کیفیت بهتری خواهند بود و نقش مؤثرتری در رشد گیاه ایفا می‌کنند (هارتز و باتوم، 2010). اسید هیومیک به عنوان تنظیم کننده رشد با تأثیر در جذب غلظت عناصر غذایی به خصوص پتاسیم اثرات ناخواسته تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی را نیز تعدیل می‌کند (موسوی، 1399; حاتمی و همکاران، 1399). حضور گروه‌های عامل فراوان نظیر گروه‌های اسیدی کربوکسیلیک، بنزوئیک و فنولیک

$$HI = (HA/TOC) \times 100 \quad \text{معادله (1)}$$

که در این معادله، HI شاخص هوموسی شدن می‌باشد که از تقسیم (HA) مقدار هیومیک اسید استخراج شده و (TOC) مقدار کربن آلی کل کمپوست حیوانی است که به روش تجزیه عنصری اندازه‌گیری شد (امیر و همکاران 2008).

ب- استخراج اسید هیومیک

استخراج اسید هیومیک طبق روش پیشنهادی انجمن بین‌المللی مواد هیومیک انجام شد (سوئیفت، 1996). برای این منظور کمپوست آماده شده از کودهای دامی با نسبت 1:10 (وزنی به حجمی) با سود 0/5 مولار مخلوط و تحت فشار گاز N_2 به مدت 24 ساعت (زمان استخراج) در محیط تاریک با شدت 160 دور در دقیقه تکان داده شدند. پس از این زمان فاز محلول (محلول تیره‌رنگ) از فاز رسوب از طریق سانتریفیوژ (2000 دور در دقیقه) جداسازی شد. به بخش محلول، اسید کلریدریک 6 مولار اضافه گردید تا pH محلول به حدود 1 تا 2 رسید و اسید هیومیک به صورت رسوب جدا شد. سپس جهت کاهش میزان خاکستر و سیلیس موجود در رسوب، اسید هیومیک استخراجی با محلول رقیق HCl/HF (0/1 / 0/3 مولار) خالص‌سازی و با آب مقطر شسته شد. در نهایت اسید هیومیک استخراجی در دمای 45 درجه سلسیوس خشک و درصد استخراج اسید هیومیک از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$\text{معادله (2)}$$

$$\% \text{راندمان استخراج} = \frac{m}{n} \times 100$$

که در این معادله m مقدار اسید هیومیک استخراج شده بر حسب گرم و n مقدار کمپوست استفاده شده بر حسب گرم را نشان می‌دهد.

ج- تعیین برخی ویژگی‌های شیمیایی اسیدهای استخراجی

برای اندازه‌گیری نسبت‌های اسپکتروفوتومتری ابتدا 3 میلی گرم از هر نمونه اسید هیومیک استخراج شده در 10 میلی لیتر بافر بی کربنات سدیم 0/05 مولار حل شد و سپس برای تعیین نسبت های E4/E6 (نسبت ترکیبات

سبب افزایش تحرک و قابلیت دسترسی عناصر کم‌متحرک نظیر آهن، روی و فسفر در خاک می‌شود (ختاب و همکاران، 2012). ترکمن (2005) با کاربرد اسید هیومیک تجاری به میزان 500، 1000 و 2000 میلی گرم بر کیلوگرم خاک، افزایش قطر و طول ساقه، وزن خشک گیاه، افزایش جذب میزان عناصر غذایی درون گیاه فلغل که باعث رفع کلروز برگ‌گی شد را گزارش کرد. هاکان و همکاران (2011) در یک پژوهش گلخانه‌ای اثر غلظت-های مختلف اسید هیومیک را بر رشد ذرت در خاک‌های آهکی مورد بررسی و نشان داد که غلظت‌های 0/1 و 0/2 اسید هیومیک تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه و جذب عناصر مس، روی، منگنز و فسفر داشت.

با توجه به اینکه در مطالعات گذشته تاثیر اسید هیومیک استخراجی از کودهای دامی و مقایسه آن با اسید هیومیک تجاری بر روی رشد سویا کمتر مورد بررسی قرار نگرفته است و نقش مهم سویا به عنوان یک کالای استراتژیک در زنجیره غذایی جهت تولید روغن و همچنین کاربردهای مهم صنعتی، و نقش اسید هیومیک به عنوان بخش مهمی از ماده آلی در افزایش حاصلخیزی خاک، ارایه راهکارهای مناسب جهت افزایش تولید سویا امری ضروری است. لذا این مطالعه با هدف استخراج و شناسایی اسید هیومیک از کود گاوی و گوسفندی و بررسی تأثیر اسیدهای استخراجی از این منابع بر رشد سویا انجام شد.

مواد و روش‌ها

الف- تهیه کمپوست

جهت تهیه کمپوست از کودهای گاوی و گوسفندی و استخراج اسید هیومیک 25 کیلوگرم کود پوسیده، از این دو کود از مزرعه دامپروری دانشگاه شهید باهنر کرمان جمع‌آوری و در جعبه‌های سوراخ دار با ابعاد 0/5، 0/3 و 0/2 قرار داده شد رطوبت 75 درصد و هوادهی منظم به مدت سه ماه نگهداری با دمای 25 تا 28 درجه نگهداری شدند. در پایان دوره، شاخص هوموسی شدن از رابطه زیر محاسبه شد

آلیفاتیک به آروماتیک) E3/ E5 (اندازه مولکولی در اسید هیومیک های استخراجی از ورمی کمپوست) میزان جذب در طول موج‌های 350 (E₃), 465 (E₄), 550 (E₅) و 665 (E₆) نانومتر با استفاده از دستگاه UV/VIS CECIL 292 اندازه گیری شد (نواک، 2001).

جهت طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)، از دستگاه FTIR مدل TENSOR 27 در محدوده عدد موجی شده $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ استفاده شد (فرانسیوسکو و همکاران، 1998). ترکیب عنصری اسیدهای هیومیک استخراج‌شده و اسید هیومیک تجاری شامل کربن، هیدروژن، نیتروژن، و گوگرد توسط دستگاه تجزیه عنصری مدل Elementar Analyser system GmbH vario Macro تعیین شد. برای برآورد اکسیژن در نمونه‌های اسید هیومیک نیز از رابطه زیر استفاده شد (پالازو و همکاران، 2008).

معادله (3)

$$\%O = 100 - (\%C + \%H + \%N + \%S)$$

مقایسه خصوصیات اسیدهای استخراجی از کود گاوی و گوسفندی با اسید هیومیک تجاری تولید شده توسط شرکت مولکول کرمان، صورت گرفت.

د- تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر برخی خصوصیات رویشی سویا

در این مرحله تأثیر اسیدهای هیومیک استخراج شده از کود گاوی و گوسفندی، بصورت آزمایشی گلخانه‌ای با گیاه سویا انجام شد. مقدار کافی خاک از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با رژیم حرارتی ترمیک و رطوبتی اریدیک و طبق رده‌بندی آمریکا رده اریدی‌سول با زیر رده Typic Haplocalcids (مختصات جغرافیایی $57^{\circ}07'$ طول شرقی $30^{\circ}14'$ عرض شمالی) و پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله قابلیت هدایت الکتریکی (کارتز و گریگوریچ، 2008)، واکنش خاک (مسلین، 1992)، بافت خاک (بویوسوس، 1962)، درصد کربنات کلسیم معادل (لبرون و همکاران، 2002)، میزان نیتروژن کل (برمنر و میولونسی، 1982)، فسفر قابل جذب خاک و پتاسیم قابل جذب (هلمک و همکاران، 1996) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول 1).

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت

ویژگی	واحد	مقدار
بافت	-----	لوم شنی
شن	(%)	75/6
سیلت	(%)	16
رس	(%)	8/4
کربن آلی	(%)	0/69
کربنات کلسیم معادل	(%)	8/32
قابلیت هدایت الکتریکی	(dS m^{-1})	2/2
پ‌هاس (خمیر اشباع)	-	7/50
نیتروژن کل	(%)	0/03
پتاسیم قابل جذب	(mg kg^{-1})	150
فسفر قابل جذب	(mg kg^{-1})	14

خفتگی بذور در آب 50 درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از گذشت چند دقیقه، بذور در پارچه مرطوب

جهت بررسی سطوح مختلف اسید هیومیک بر رشد سویا، ابتدا بذرهای سویا شسته شد و سپس برای شکستن

نتایج و بحث

درصد استخراج و شاخص هوموسی شدن هیومیک اسید

مقادیر بدست آمده از شاخص هوموسی شدن کود گوسفندی و گاوی به ترتیب 25/6 و 22/9 اندازه‌گیری شد (جدول 2). مطالعه هوموسی شدن معمولاً به منظور ارزیابی و شناخت تحولات مواد آلی انجام می‌شود. تغییرات هوموسی شدن و ثبات ماده آلی در خاک معمولاً توسط نسبت‌هایی که شاخص ثبات (به عنوان معیارهای کیفیت برای محصول نهایی) نامیده می‌شود، ارزیابی می‌گردد (اورلوف و بیریاکوا، 1996). این شاخص از مقادیر اسید هیومیک و کربن آلی محاسبه می‌گردد. هوموسی شدن مواد آلی به عنوان یک شاخص مناسب برای ارزیابی کیفیت و پایداری کمپوست در نظر گرفته شده است، چرا که هوموسی شدن مواد آلی در سطح بالا باعث افزایش ارزش و کارایی محصول نهایی (اسید هیومیک استخراج‌شده) می‌گردد (اورلوف و بیریاکوا، 1996). با توجه به بالاتر بودن شاخص هوموسی شدن در کود گوسفندی، می‌توان انتظار داشت که اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی کمیت بهتری در مقایسه اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی داشته باشد.

درصد استخراج اسید هیومیک از کود گاوی و کود گوسفندی تفاوت کمی نشان داد و به ترتیب برابر با 8/5 و 7/6 درصد اندازه‌گیری شد (جدول 2). مقدار استخراج اسید هیومیک از ترکیبات آلی به عوامل متعددی از جمله درجه هوموسی شدن ترکیب و نوع عصاره‌گیر بستگی دارد به طوری که هرچه درجه هوموسی شدن بیشتر باشد درصد استخراج اسید هیومیک نیز افزایش خواهد یافت (شهبازی و همکاران، 1398). در مطالعه انجام شده توسط طالع‌فراهی و همکاران (1393) عملکرد اسید هیومیک استخراج شده از چهار منبع (بیوپار تولید شده در دمای 200، 400، و لجن و کود دامی) با دو استخراج کننده متفاوت (هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنان نشان داد که بیشترین درصد اسید هیومیک استخراجی از لجن (به میزان 9 درصد) با

پیچیده شده و به مدت دو روز در یخچال با دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از جوانه زنی، بذور سویا به گلدان‌های حاوی سطوح صفر، 100 و 200 میلی‌گرم اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی (CHA)، گوسفندی (SHA) و اسید هیومیک تجاری (HA) منتقل شد. همچنین بر اساس آزمون خاک، مقدار یک گرم در لیتر کود اوره در هفته سوم، پنجم و هفتم همراه با آب آبیاری به گلدان‌ها افزوده شد. تیمارها در سه تکرار و آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط کنترل شده دمای بین 25 تا 30 درجه و رطوبت خاک ظرفیت زراعی در طول دوره رشد در با استفاده از توزین گلدان‌ها در هنگام ظرفیت زراعی و اختلاف آن با وزن گلدان‌ها چند روز پس از آبیاری در حد ظرفیت زراعی مزرعه حفظ گردید. بعد از گذشت 70 روز، بخش هوایی و ریشه‌های جدا شده سویا ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو داده شد. جهت اندازه‌گیری وزن تازه شاخساره و ریشه، پس از جدا کردن بخش هوایی گیاه از محل طوقه بلافاصله توزین شدند. ارتفاع شاخسار از سطح خاک تا انتهای جوانه، با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش گردید. همچنین جهت اندازه‌گیری وزن خشک شاخسار و ریشه نمونه‌های گیاهی در آون در دمای 65 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت، خشک و سپس توزین شدند. حجم ریشه در هر تیمار، از طریق غوطه‌ورسازی ریشه در آب و از اختلاف حجم اولیه و ثانویه آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر مکعب گزارش شد. پس از مرتب سازی و وارد کردن داده‌ها در نرم افزار اکسل تجزیه واریانس داده‌ها از طریق نرم افزار SAS و در سطح احتمال یک درصد انجام شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد بهره گرفته شد. رسم نمودار با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد.

استفاده از هیدروکسید پتاسیم و کمترین درصد استخراج نیز از بیوچار تولید شده در 400 درجه سانتی‌گراد (به میزان 1/4 درصد) با استفاده از هیدروکسید سدیم به دست آمد.

نسبت‌های اسپکتروفتومتری (E_3/E_5 و E_4/E_6)

نتایج نشان داد که در بین اسیدهای هیومیک مورد مطالعه، اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی بیشترین دارای بیشترین مقدار ترکیبات آروماتیکی با نسبت E_4/E_6 (4/40) بود که اختلاف اندکی با هیومیک گاوی داشت که این نسبت 4/35 بود (جدول 2). کود گوسفندی درجه تراکم کم ترکیبات آروماتیکی را نشان می‌دهد و برعکس هیومیک تجاری تراکم زیاد حلقه‌های آروماتیکی در مولکول اسید هیومیک دارد (مارتینز و همکاران، 1998).

افزایش جزئی در نسبت E_4/E_6 در طول کمپوست سازی شامل کاهش وزن مولکولی ساختارهای هیومیک احتمالاً با حذف ترکیبات آلیفاتیک، افزایش محتوای اکسیژن است (چن و همکاران، 1997) که شاخص هوموسی شدن بیشتر در کود گوسفندی درستی این مطلب را نشان می‌دهد.

تچگونی و همکاران (2013) گزارش کردند که E_4/E_6 در ابتدای فرآیند کمپوست 3/96 بود و پس از 3 ماه، تقریباً در 2/68 تثبیت شد. مقدار کمتر این نسبت در کود دامی (2/08) نشان دهنده پایداری بیشتر است. نسبت های پایین تر E_4/E_6 نشان دهنده غالب بودن ترکیبات آروماتیک است، در حالی که نسبت های E_4/E_6 بالاتر نشان دهنده برجسته بودن ساختارهای آلیفاتیک است.

بیشترین مقدار E_3/E_5 در اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی (5/64) اندازه‌گیری شد در حالیکه کمترین مقدار E_3/E_5 مربوط به اسید هیومیک تجاری (4/61) بود (جدول 2). بر همین اساس می‌توان گفت که اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی در مقایسه با اسید هیومیک گاوی و اسید هیومیک تجاری از کیفیت بهتری برخوردار بود. بالاتر بودن نسبت E_3/E_5 در کود

گوسفندی می‌تواند ناشی از تجزیه‌پذیری بیشتر و بالاتر بودن شاخص هوموسی کود گوسفندی باشد. لگیوراتی و همکاران (2005) در مطالعه‌ای با بررسی هوا دهی و آبیاری بر روی استخراج اسید هیومیک از کمپوست شهری گزارش کردند که نسبت E_3/E_5 برای اسیدهای هیومیک آبیاری شده و هوادهی شده بیشتر از اسید هیومیک‌های هوادهی شده و آبیاری نشده بود که می‌تواند محتوای بالای اکسیژن و وزن مولکولی اسیدهای هیومیک مربوط باشد آن‌ها گزارش کردند نسبت‌های بالای E_3/E_5 نشان می‌دهد که اسید هیومیک اندازه مولکولی کوچکی دارد. نسبت جذب ماده هیومیک به طور کلی یک پارامتر سستی برای تخمین اندازه مولکولی آن است. در تحقیقی دیگر نیز، نسبت‌های E_3/E_5 و E_4/E_6 میزان جذب بیشتری را در اسید هیومیک استخراجی از اوره نشان دادند که نشان از اندازه کوچک اسید هیومیک استخراجی از اوره داشت (همتی و همکاران، 2012).

ترکیب عنصری اسید هیومیک

جهت شناسایی نوع مواد هیومیک و تعیین ساختار آن، نسبت‌های عنصری مورد استفاده قرار می‌گیرند (برونل و همکاران 1987؛ استیونسون، 1994). نتایج تجزیه عنصری نشان داد که اسید هیومیک استخراج شده از کود گوسفندی بیشترین مقدار نیتروژن و گوگرد را دارا است. بیشترین مقدار اکسیژن و هیدروژن به ترتیب در اسید هیومیک تجاری و اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی اندازه‌گیری شد (جدول 2). نتایج تجزیه عنصری نشان داد که مقادیر به دست آمده برای اسیدهای استخراجی از کود گاوی و گوسفندی با مقادیر گزارش شده توسط کونونوا (1966) و آرواجو و همکاران (2017) مطابقت دارد. اما نتایج تجزیه عنصری اسید هیومیک تجاری با مقادیر گزارش شده توسط این پژوهشگران متفاوت بود. نتایج نشان داد که اسید هیومیک استخراج‌شده از کود گوسفندی کمترین مقدار و اسید هیومیک تجاری بیشترین مقدار C/N را دارا بود. تفاوت در نسبت C/N ناشی از تفاوت در کیفیت مواد اولیه جهت استخراج اسید هیومیک است

چه این نسبت کمتر باشد، اسید هیومیک زودتر تجزیه شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (برونول، 1987). بیشترین نسبت O/C در اسید هیومیک کود گوسفندی و کمترین مقدار در اسید هیومیک تجاری به دست آمد (جدول 2). این نتایج نشان دهنده پایداری بالاتر اسید هیومیک گوسفندی در خاک و تأثیر ماندگارتر این اسید بر خصوصیات خاک است (دشماخ و همکاران، 2002). بنابراین، اسید هیومیک نه تنها بر مبنای نسبت C/N بلکه بر اساس درجه هوموسی شدن نیز ارزیابی شود. نشان داده شده است که هیومیک اسید با نسبت‌های H/C پایین و C/N بالا، درجه پایداری و چگالندگی بالاتری از خود نشان می‌دهند (بارانسیکوا، 1997).

(آباکوموف و همکاران، 2013). نسبت هیدروژن به کربن (H/C) علاوه بر این که بیان‌کننده‌ی نسبت اشباع شدگی اسید هیومیک است (سان و همکاران، 2012)، اطلاعاتی از میزان تراکم ترکیبات آروماتیک در ترکیب نیز بیان می‌کند به طوری که افزایش این نسبت نشان از افزایش نسبت ترکیبات آروماتیک به آلیفاتیک در ترکیب آلی دارد (برونول، 1987). نتایج نشان داد که اسید هیومیک استخراج شده از کود گاوی بیشترین مقدار H/C را دارد. کمترین میزان این نسبت در اسید هیومیک تجاری (0/06) مشاهده شد که این نشان‌دهنده تراکم بالای ترکیبات آلیفاتیک در این اسید است. از نسبت اکسیژن به کربن (O/C) برای شناسایی انواع مختلف مواد هیومیک استفاده می‌گردد. هر

جدول 2- برخی ویژگی‌های اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی، گاوی و اسید هیومیک تجاری

خصوصیات	کود گوسفندی	کود گاوی	تجاری
شاخص هوموسی شدن	25/64	22/93	-----
درصد استخراج اسید هیومیک	8/5	7/6	-----
pH (1:20)	4/9	5	9/5
EC (1:20) (dS m^{-1})	9/6	8/6	10/7
E_4/E_6	4/40	4/35	3/24
E_3/E_5	5/64	5/56	4/61
(%) O	33/15	37/51	46/27
(%) H	4/06	4/49	2/94
(%) C	55/32	52/74	48/66
C/O	1/67	1/41	1/05
H/C	0/07	0/09	0/06
C/N	12/7	13/8	64

طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوری (FTIR)

به آمیدها باشد. این پیک در اسید هیومیک تجاری با شدت بیشتری مشاهده شد. پیک مشاهده شده در ناحیه $1200\text{--}1100\text{cm}^{-1}$ می‌تواند مربوط به خمش حلقه آروماتیک یا خمش C-H آلیفاتیک باشد که در اسید هیومیک تجاری این پیک حذف شده بود. در طیف اسید هیومیک تجاری، پیکی در ناحیه $1400\text{--}1350\text{cm}^{-1}$ دیده شد که می‌تواند مربوط به COO یا CH_3 باشد (اوتمانه و همکاران، 2000). مقایسه طیف‌ها نشان داد که پیک مربوط به OH فنولی در اسید هیومیک استخراجی از کود

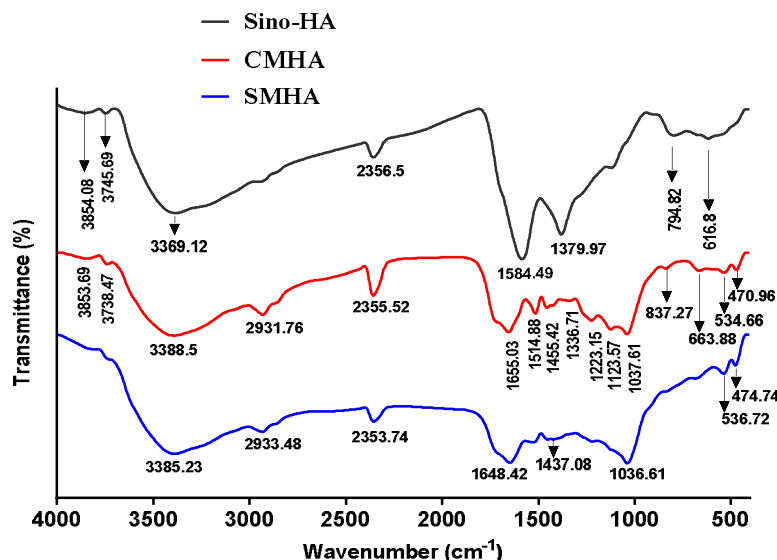
نتایج طیف مادون قرمز اسیدهای هیومیک استخراجی و تجاری در شکل (1) نشان داده شده است. در طیف مربوط به این اسیدها یک پیک پهن نزدیک 3300 cm^{-1} - 3400 دیده شد که بیانگر هیدروکسیل فنولی (OH فنولی) است و وجود پیک مربوط به خمش حلقه آروماتیک در نزدیکی $1200\text{--}1100$ آن را تأیید می‌کند. همچنین حضور پیک در ناحیه $1700\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ می‌تواند ناشی از کشش C=C آروماتیک، C=O مربوط به کتون یا کوئینون متصل به هم و یا کشش C=O مربوط

گوسفندی شدت بیشتری را در مقایسه با سایر نمونه‌ها نشان داد که نشان از فراوانی بیشتر OH فنولی دارد که نشانه هوموسی شدن بیشتر هیومیک استخراجی از کود گوسفندی است. کیواتسوکا و تسیتساک (1978) ساختار شیمیایی اسید هیومیک خاک را بررسی و رابطه بین گروه‌های عاملی با درجه هوموسی شدن و نوع خاک را به دست آوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که طی فرایند هوموسی شدن، گروه‌های هیدروکسیل فنولی و کربوکسیل

افزایش و گروه‌های هیدروکسیل الکلی و متوکسیل کاهش می‌یابند.

تأثیر اسیدهای هیومیک بر صفات رویشی سویا

نتایج تجزیه واریانس اثر اسید هیومیک از منابع مختلف بر صفات رویشی سویا در جدول 3 نمایش داده شده است



شکل 1- طیف‌سنجی مادون قرمز اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی (SHA) و گاوی (CHA) و اسید هیومیک تجاری (HA)

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف اسید هیومیک بر برخی از صفات رویشی گیاه سویا

مربعات میانگین						درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک ریشه	وزن تازه ریشه	حجم ریشه	وزن خشک شاخسار	وزن تازه شاخسار	ارتفاع		
0/03**	0/03**	0/13*	0/14**	1/09**	6/7 ^{ns}	6	تیمار
0/001	0/001	0/05	0/026	0/25	17/58	14	خطا
20/98	2/03	18	15/66	13/74	10/26	-	ضریب تغییرات

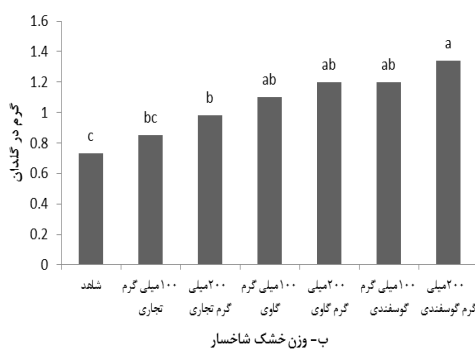
n.s و ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار بودن و اختلاف معنی‌دار در سطح 1 و 5 درصد.

وزن تازه و خشک شاخسار

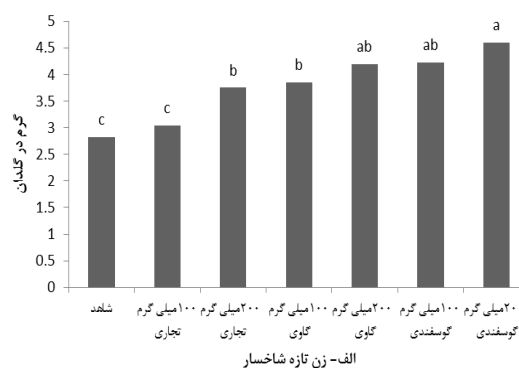
شاخسار شد (جدول 3)، که مصرف اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی به میزان 200

نتایج نشان داد که کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار وزن تازه و خشک

نشان دادند اسید هیومیک تجاری سبب افزایش وزن تازه و خشک برگ و ساقه در فلفل گردید. ژانگ و همکاران (2013) معتقدند که اسید هیومیک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و پتاسیم سبب افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌گردد. همچنین بخشی از افزایش وزن تازه و خشک شاخسار را می‌توان به افزایش رشد ریشه و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی نسبت داد. افزایش عملکرد بیولوژیکی با مصرف اسید هیومیک را می‌توان به تحریک رشد گیاه از طریق سوخت و ساز عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، فعالسازی آنزیم‌ها و تغییر در نفوذپذیری غشا، سنتز پروتئین‌ها دانست که مجموع این عوامل سبب افزایش بیوماس گیاه می‌شود (بولوکان، 2008).



میلی گرم دارای بیشترین تأثیر بود که وزن تر و خشک شاخسار رو به ترتیب 62 درصد 83 درصد افزایش داد و کمترین مقدار این مقدار از مصرف اسید هیومیک تجاری به میزان 100 میلی گرم حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل 2). اسید هیومیک حاصل از کود گوسفندی دارای بیشترین مقدار افزایش بود که علت آن به دلیل تأثیر اسید هیومیک در جذب بیشتر عناصر نیتروژن و پتاسیم نسبت به اسید هیومیک حاصل از کود گاوی و اسید هیومیک تجاری بود (جدول 2). در حالی‌که با کاربرد اسید هیومیک تجاری در خاک تغییر معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (شکل 2- الف و ب). همچنین نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سطوح کاربردی اسیدهای هیومیک وجود ندارد. نتایج این مطالعه با نتایج دیگر پژوهش‌ها مطابقت دارد. گالسر و همکاران (2010)



شکل 2- تأثیر اسید هیومیک تجاری، گوسفندی و گاوی بر وزن تازه ش (الف) و وزن خشک شاخسار (ب) گیاه سویا (ستون‌های با حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح احتمال 5 درصد آزمون دانکن می‌باشند).

وزن تازه و خشک ریشه

میلی گرم اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی و 200 میلی گرم استخراجی از کود گاوی نداشت. کاربرد اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی و گوسفندی بر وزن خشک ریشه سویا نیز تأثیر کاملاً مشهودی را سبب شد (شکل 3- الف). بیشترین وزن خشک ریشه سویا در تیمار 200 میلی گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک گوسفندی اندازه‌گیری شد که 77 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود و تفاوت معنی‌داری با سطح 200 میلی گرم بر

نتایج نشان داد که کاربرد اسید هیومیک استخراج شده از کود گاوی و گوسفندی سبب افزایش معنی‌دار وزن تازه ریشه سویا شد در حالی‌که اسید هیومیک تجاری در سطح 100 میلی گرم بر کیلوگرم تأثیر کمی بر این صفت داشت که معنی‌دار نبود. همچنین بیشترین وزن تازه ریشه از تیمار 200 میلی گرم اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی اندازه‌گیری شد که باعث افزایش 48 درصدی نسبت به تیمار شاهد بود و تفاوت معنی‌داری با 100

افزایش تبادل کاتیونی (CEC) و توانایی بافر کردن محیط ریشه سبب افزایش رشد ریشه می‌شوند (شریف و همکاران، 2002). طبق پژوهش جینگ‌مین و همکاران (2010) با افزایش آب و استفاده از اسید هیومیک، فعالیت ریشه، وزن ریشه و وزن کل صنوبر افزایش یافت. آرانسون و همکاران (2003) نشان دادند که اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی با غلظت 250، 500 و 1000 میلی گرم رشد ریشه توت فرنگی را به طور معنی‌داری با افزایش مصرف افزایش یافت.



شکل 3- تأثیر اسید هیومیک تجاری، گوسفندی و گاوی بر وزن تازه ریشه (الف) و وزن خشک ریشه (ب) گیاه سویا (ستون‌های با حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح احتمال 5 درصد آزمون دانکن می‌باشند).



هیومیک اسید به میزان 1000 میلی گرم با افزایش رشد ریشه و افزایش سطح جذب سبب افزایش قطر و ساقه گوجه‌فرنگی شد (ترکمن و همکاران، 2004). همچنین تغییر فعالیت $H^+-ATPase$ در ریشه، تغییر توزیع نیترات ریشه به ساقه و به دنبال آن تغییر در توزیع سیتوکینین و پلی‌آمین‌ها به عنوان عوامل مؤثر در افزایش ارتفاع گیاه بعد از کاربرد اسید هیومیک شناخته شده است (روبیو و همکاران، 2009).

مواد هیومیک با مکانیسم‌های مختلف سبب تسریع رشد در گیاهان می‌شوند. یکی از این مکانیسم‌ها به اثر مستقیم این ترکیبات و وجود ترکیبات شبه‌هورمونی، از جمله ترکیبات اکسینی و شبه‌اکسینی، مربوط می‌باشد که می‌توانند رشد سلول‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (اتیو و همکاران، 2002).

کیلوگرم اسید هیومیک استخراج شده از کود گاوی نداشت (شکل 3-ب). افزایش رشد ریشه را به اثرات شبه‌اکسینی اسید هیومیک نسبت داده‌اند که سبب تحریک رشد ریشه و اثر بخشی بهتر سیستم ریشه‌ای می‌شود (شریفی اصل و همکاران، 1399). مواد هیومیکی به صورت غیرمستقیم از طریق فراهم آوردن عناصر معدنی و اغلب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر کم مصرف برای ریشه، بهبود ساختار خاک و در نتیجه افزایش نفوذپذیری بستر ریشه به آب و هوا، افزایش جمعیت میکروبی خاک از جمله میکروارگانیسم‌های مفید،

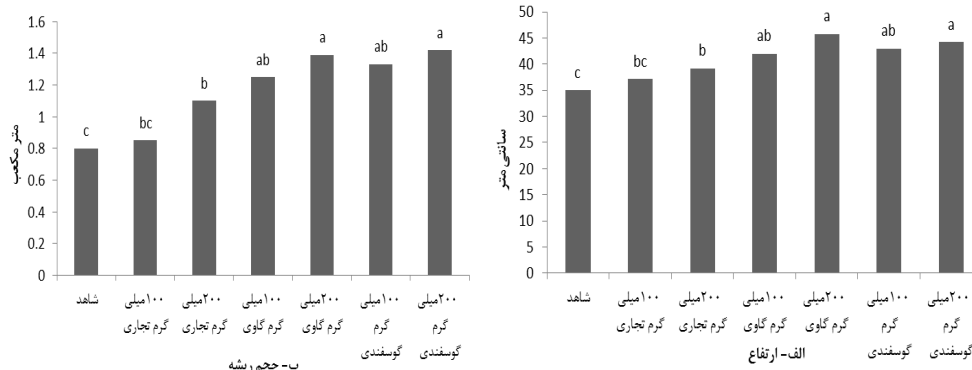
ارتفاع شاخساره

نتایج نشان داد که مصرف اسید هیومیک از منابع مختلف دامی و تجاری مختلف باعث افزایش ارتفاع گیاه سویا شد. مصرف اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی و کود گوسفندی به میزان 200 میلی گرم به ترتیب باعث افزایش 31 و 29 درصدی در ارتفاع گیاه سویا شد و کمترین مقدار از اسید هیومیک تجاری به دست آمد که باتیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل 4-الف). در ارتباط با تأثیر اسید هیومیک بر ارتفاع شاخسار گیاهان مطالعات متعددی انجام شده است. وجود ترکیبات به هورمونی از جمله اکسینی (اتیو و همکاران، 2002) و ترکیبات شبه جیبرلینی (ناردی و همکاران، 2002) در هیومیک اسید می‌تواند رشد سلول‌ها را تحت تأثیر قرار دهد احتمالاً اسید هیومیک با تأثیر بر غشای سلول و رشد آن بر افزایش ارتفاع بوته مؤثر بود در مطالعه‌ای کاربرد

حجم ریشه

کمبود عناصر، سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود (عابدی و پاک‌نیت، 2010). اسید هیومیک با تأثیر بر محیط ریزوسفر و کلات کردن عناصر باعث افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه به جذب بهتر مواد غذایی و توسعه بیشتر گیاه کمک می‌نماید (پیکولو و همکاران، 1993). اسید هیومیک از طریق افزایش متابولیسم و فعالیت آنزیمی گیاه، افزایش سطح بیومس ریشه را موجب می‌شوند. اسیدهای هیومیک باعث تولید بیشتر اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه در گیاه به واسطه افزایش جذب عناصر می‌شود که تکثیر سلولی را در کل گیاه و به ویژه در ریشه‌ها افزایش می‌دهند (دورسان و همکاران، 2002). نیکبخت و همکاران (2008) دریافتند که غلظت 1000 میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش 52 درصدی در ریشه گیاه ژربرا نسبت به تیمار شاهد شد.

حجم ریشه سویا در پاسخ به کاربرد اسید هیومیک استخراج شده از کود گوسفندی و گاوی و تجاری به طور معنی‌داری افزایش یافت. مصرف اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی به میزان 200 میلی‌گرم دارای بیشترین مقدار افزایش بود که نسبت به تیمار شاهد 78 درصد بود. و اختلاف معنی‌داری با تیمار 200 میلی‌گرم اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی نداشت اسید هیومیک تجاری توانست حجم ریشه را به طور معنی‌دار افزایش دهد، اما این افزایش نسبت به اسید هیومیک استخراج شده از کود گوسفندی و گاوی کمتر بود (شکل 4-ب). گیاهانی که ریشه‌های وسیع‌تر و قوی‌تر داشته باشند، رشد بهتری نیز خواهند داشت. اسید هیومیک می‌تواند با کلات کردن عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر



شکل 4- تأثیر اسید هیومیک تجاری، گوسفندی و گاوی بر ارتفاع (الف) و حجم ریشه (ب) گیاه سویا

(ستون‌های با حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح احتمال 5 درصد آزمون دانکن می‌باشند).

(ستون‌های با حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح احتمال 5 درصد آزمون LSD می‌باشند).

نتیجه‌گیری کلی

اسید هیومیک‌های استخراجی از کود گوسفندی و کود گاوی بر خصوصیات رشدی سویا در مقایسه با اسید هیومیک تجاری داشت که غلظت 200 میلی‌گرم مؤثرتر از 100 میلی‌گرم بود. از طرفی نقش اسید هیومیک استخراج شده از کود گوسفندی بر خصوصیات رشدی گیاه سویا بیشتر از اسید هیومیک استخراجی از کود گاوی

نتایج نشان داد که میزان استخراج اسید هیومیک از کود گوسفندی و کود گاوی اختلاف اندکی با هم داشت. همچنین نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز، نسبت‌های اسپکتروسکوپی و تجزیه عنصری، ماهیت هیومیکی بودن اسید استخراج شده از کود گوسفندی و گاوی را تأیید کرد. نتایج مطالعه گلخانه‌ای نشان از تأثیر مؤثرتر

بود و غلظت 100 میلی گرم اسید هیومیک تجاری هیومیک‌های استخراجی از کودهای حیوانی مورد بر روی اختلاف کمی با تیمار شاهد داشت و پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از غلظت‌های بالای 200 میلی‌گرم اسید گیاهان مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. حاتمی، ا. شکوهیان، ع. قنبری، ع. و ناصری، ل. 1399. بررسی اثر اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پایه های بادام تحت تنش شوری. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران). جلد 51، شماره 3، صفحات 523 تا 536.
2. زندسلیمی، س.، صادقی، م.ر.، محبوبی، ع.ا. و رشیدیان، م. 1386. کودهای دامی و آلودگی محیط زیست. دهمین همایش ملی بهداشت محیط. همدان.
3. سلیمان زاده، گ.، سلطانی، ا.، ترابی، ب.، ابراهیمی، ح. و شاکری، ا. 1399. مدل سازی تأثیر کشت نشایی بر عملکرد و مصرف آب سویا در شرایط گرگان. تولید فراوری محصولات زراعی و باغی. جلد 10، شماره 3، صفحات 111 تا 125.
4. شهبازی، ش.، فاتح، ا. و آینه بند، ا. 1394. مطالعه اثر کاربرد هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم نواحی گرمسیری. تولیدات گیاهی. جلد 38، شماره 2، صفحات 99 تا 110.
5. شهبازی، ک.، مارزی، م. و طباطبائی، ش. 1398. بررسی روش‌های اندازه‌گیری هیومیک اسید و فولویک اسید در مواد کودی. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی. شماره 7، صفحات 97 تا 114.
6. طالع فراهی، ف.، غلامعلی زاده، ا. و همتی، آ. 1398. اثر اسید هیومیک استخراجی از منابع مختلف بر صفات آفتابگردان رشد یافته در یک خاک آهکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد 12، شماره 2، صفحات 617 تا 630.
7. موسوی، س. 1399. تأثیر میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیک و عملکرد پنبه تحت تنش خشکی. دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی). جلد 30، شماره 1، صفحات 121 تا 139.
8. نخ زری مقدم، ع.، صمصامی، ن.، راحمی کاریزکی، ع. و قلی نژاد، ا. 1399. تأثیر تنش کم آبی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه سویا تحت تأثیر تلقیح و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد 13، شماره 2، صفحات 413 تا 423.
9. Abakumov E.V., T. Cajthaml and J. Brus. 2013. Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining. Journal of Soils and Sediments. 13: 491–500.
10. Aiken G.R. 1984. Evaluation of ultrafiltration for determining molecular weight of fulvic acid. Environmental Science and Technology. 18: 978-981.
11. Amir S., F. Benlboukht, N. Cancian, P. Winterton and M Hafidi. 2008. Physico-chemical analysis of tannery solid waste and structural characterization of its isolated humic acids after composting. Journal of Hazardous Materials 160: 448–455.
12. Araújo B.R., L.P. Bruno, M.E. Doumer and A.S. Mangrich. 2017. Evaluation of the interactions between chitosan and humics in media for the controlled release of nitrogen fertilizer. Journal of Environmental Management. 190: 122-131.
13. Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology. 84(1): 7-14.
14. Bellamy L.J. 1975. The Infrared Spectra of Complex Molecules, Chapman and Hall, London.

15. Ben Mbarek, H., Ben Mahmoud, I., Chaker, R., Rigane, H., Maktouf, S., Arous, A., . & Gargouri, K. 2019. Change of soil quality based on humic acid with date palm compost incorporation. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 8(3): 317-324.
16. Brown M.E. B. Hintermann and N. Higgins. 2009. Markets, climate change, and food security in West Africa. *Environmental Science and Technology*. 43: 8016-8020.
17. Brownell J.R., G. Nordstrom, J. Marihart and G. Jorgensen. 1987. Crop responses from two new leonardite extracts. *Science of the Total Environment*. 62: 491-499.
18. Chen Y., N. Senesi and M. Schnitzer. 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Science Society of American Journal*. 41: 352-358.
19. Durig D.T., J.S. Esterle, T.J. Dickson and J.R. Durig. An investigation of the chemical variability of woody peat by FTIR spectroscopy. *Applied Spectroscopy*. 42: 1239-1244.
20. Dursun A., I. Güvenç, and M. Turan. 2002. Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobotanica*. 55: 81-88.
21. Ertani A., O. Francioso, V. Tugnoli, V. Righi and S. Nardi. 2011. Effect of commercial lignosulfonate-humate on Zea mays L. metabolism. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59: 11940-11948
22. Gulser F., F. Sonmez and S. Boysan. 2010. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. *Journal of Environmental Biology*. 31: 875-876.
23. Haddad G, El-Ali F, Mouneimne AH 2015 Humic Matter of Com-post: determination of Humic Spectroscopic Ratio (E4/E6). *Current Science International Journal*.4:56-72.
24. Hakan C., A. Vahap Katkat, B. Bulent Asik and M.A. Turan. 2011. Effect of foliar applied Humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42: 29-38.
25. Hartz T.K. and T.G. Bottoms. 2010. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. *HortScience*. 45: 906-910.
26. Helal A.A, G.A. Murad and A.A. Helal. 2011. Characterization of different humic materials by various analytical techniques. *Arabian Journal of Chemistry*. 4: 51-54.
27. Hernandez TC, Garcia JA, Pascual, Moreno JL (2001) Humic acids from various organic wastes and more traditional organic matter: effect on plant growth and nutrient absorption. In: Swift RS, Spark KM (eds) *Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters*. Proceeding of the 9th international conference of the International Humic Substances Society University of Adelaide, Adelaide, Australia, 21st-25th September 1998.
28. Jing-min Z., X. Shang-jun, S. Mao-peng, M. Bingyao, C. Xiu-mei and L. Chunsheng. 2010. Effect of humic acid on poplar physiology and biochemistry properties and growth under different water level. *Journal of Soil and Water Conservation*. 24: 6-10.
29. Khat tab M., A. Shaban, H.A. El-Shrief and A. ElDeen Mohamed. 2012. Effect of humic acid and amino acids on pomegranate trees under deficit irrigation. I: growth, flowering and fruiting. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*. 4: 253-259.
30. Kononova M.M. 1966. *Soil organic matter*. Pergamon press. Oxford.
31. Muscolo A., F. Bovalo, F. Gionfriddo and S. Nardi. 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 1303-1311.
32. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11):1527-1536.
33. Nikbakht A., M. Kafi, M. Babalar, Y.P. Xia, A. Luo and N.A. Etemadi. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition*. 31: 2155-2167.

34. Novak J., J. Kozler, P. Janoš, J. Čežíková V. Tokarová and L. Madronová. 2001. Humic acids from coals of the North-Bohemian coal field: I. Preparation and characterization. *Reactive and Functional Polymers*. 47: 101-109.
35. Orlove D.S and O.N. Biryukova. 1996. Humin substances of vermicomposts. *Agrokhimia. Nauka Moscow*.
36. Ouattmane A., V. Dorazio, M. Hafidi, J.C. Revel and N. Senesi. 2000. Elemental and spectroscopic characterization of humic acids fractionated by gel permeation chromatography. *Agronomie*. 20:491-504.
37. Palazzo A.J, C.E. Clapp, N. Senesi, M.H.B. Hayes, T.J. Cary, J.D. Mao, L. Terry and T.L. Bashore. 2008. Isolation and characterization of humic acids in Idaho slickspot soils. *Soil Science*. 173: 375-386.
38. Piccolo A., G. Celano and G. Pietramellara. 1993. Effects of fractions of coal-derived humic substances on seed germination and growth of seedlings (*Lactuca sativa* and *Lycopersicum esculentum*). *Biology and Fertility of Soils*. 16: 11-15.
39. Rajesh P. 2010. Effect of potassium humate and deproteinised Juice (DPJ) on seed germination and seedling growth of wheat and jowar. *Annals of biological research*. 1: 148-151.
40. Rivero C, T. Chirenje, L.Q. Ma and G. Martinez. 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma*. 123: 355-361.
41. Rubio V., R. Bustos, M.L. Irigoyen, X. Cardona, M. Rojas-Triana and J. Paz-Ares. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*. 69: 61-73.
42. Schiavon M., D. Pizzeghello, A. Muscolo, S. Vaccaro, O. Francioso and S. Nardi. 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Chemical Ecology*. 36: 662-669.
43. Sharif, M., Khattak, R.A. and Sarir, M.S. 2002. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 33:3567-3580. (In Persian).
44. Stevenson F.J. 1982. *Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & sons. New York.
45. Sun C.Y., J.S. Liu, Y. Wang, N. Zheng, X.Q. Wu and Q Liu. 2012. Effect of long-term cultivation on soil organic carbon fractions and metal distribution in humic and fulvic acid in black soil. Northeast China. *Soil Research*. 50: 562-569.
46. Swift R.S. 1996. Organic matter characterization. p.1018-1020. In D.L. Sparks et al. (ed.). *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods*. Agron. ASA and SSSA, Madison, WI.
47. Tchegueni S, Koriko M, Koledzi E, Bodjona BM, Kili A, Tchangbedji G, Baba G, Hafidi M. 2013. Physicochemical characterization of organic matter during co-composting of shea-nut cake with goat manure. *Africa Journal of Biotechnology* 12:3466-3471.
48. Türkmen Ö. 2005. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *Journal of Biological Sciences*. 5: 568-574.
49. Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M., & Erdinç, C. (2004). Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*. 54(3), 168-174.
50. Zhang L., M. Gao, L. Zhang, B. Li, M. Han, A. Kumar and M. Ashraf. 2013. Role of exogenous glycinebetaine and humic acid in mitigating drought stress-induced adverse effects in *Malus robusta* seedlings. *Turkish Journal of Botany*. 37: 920-929.
51. Kuwatsuka, S., Watanabe, A., Itoh, K., & Arai, S. 1992. Comparison of two methods of preparation of humic and fulvic acids, IHSS method and NAGOYA method. *Soil Science and Plant Nutrition*. 38(1): 23-30.

52. Francioso O, Sanchez-Cortes S, Tugnoli V, Ciavatta C and Gessa C, 1998. Characterization of peat fulvic acid fractions by means of FT-IR, SERS, and ¹H, ¹³C NMR spectroscopy. *Appl Spectrosc* 52(2): 270–277.
53. Martí'nez, G.A., Traina, S.J., Logan, T.J., 1998. Characterization of proton affinity reactions in polyelectrolytes: discrete vs. continuous distribution of site approach. *Journal of Colloid and Interface Science*. 199, 53-62
54. Deshmukh, A. P., Y. Chen, J. Tarchitzky, B. Chefetz and P. G. Hatcher. 2002. Structural characterization of soil organic matter and humic acids in particle-size fractions of an agricultural soil. *Soil Science Society of America Journal* Abbreviation. 66: 129-141.
55. Barancikova, G., Senesi, N., Brunetti, G. 1997. Chemical and spectroscopic characterization of Humic Acids isolated from different Slovak soil. *Geoderma*. 78: 251–266.
56. Maxwell, S. (2001). Agricultural issues in food security. *Food Security in Sub-Saharan Africa*, 32-66.
57. Arancon, N. Q., Lee, S., Edwards, C. A., & Atiyeh, R. 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants: the 7th international symposium on earthworm ecology. Cardiff. Wales. 2002. *Pedobiologia* 47(5-6): 741-744.
58. Atiyeh, R.M., Lee, S., and Edwards, C.A. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*. 84: 7-14.
59. Abedi, T. and Pakniat, H. 2000. Changes in antioxidant enzymes in response to the drought in ten varieties of Canola. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46:27- 34.
60. Bau, H. M., Villaume, C. H., & Mejean, L. 2000. Effects of soybean (*Glycine max*) germination on biologically active components, nutritional values of seeds, and biological characteristics in rats. *Food/Nahrung*. 44(1): 2-6.
61. McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 199-224.
62. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. *Soil Sampling and Methods Analysis*. 2nd Edition. Canadian Society of Soil Science Publisher. 823.
63. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle- size analysis of soil. *Agron J*. 54: 466-465.
64. Lebron, I., Suarez, D. L., and Yoshida, T. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal*. 66
65. Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen-total. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil analysis 2)*. 595-624.
66. : 92-98.
67. Helmke P.H., and Sparks D.L. 1996. Potassium, P 551-574. In: D.L. Sparks and A.L. Page (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI
68. Lguirati, A., Baddi, G. A., El Mousadik, A., Gilard, V., Revel, J. C., & Hafidi, M. 2005. Analysis of humic acids from aerated and non-aerated urban landfill composts. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 56(1): 8-16.
69. Hemati, A., Alikhani, H.A., Bagheri Marandi, G., Mohammadi, L., 2012. Assessment the possibility of humic acid extraction from vermicompost with Urea. *International Journal of Agriculture*. 2: 705-709.

مقایسه اثر آنیون‌های کلرید و ارتوفسفات بر سرعت (سینتیک) رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های آهکی

مرضیه براتی زانیانی¹، علیرضا حسین‌پور و محمد حسن صالحی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد؛ marziehbarati99@yahoo.com

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ hossienpur-a@agr.sku.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ mehsalehi@yahoo.com

ص 305 - 319

دریافت: 1401/11/27 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

خاک‌های مناطق خشک غنی از کانی‌های حاوی میکا هستند. این خاک‌ها دارای مقدار قابل توجهی پتاسیم بین لایه‌ای برای جذب گیاه می‌باشند. قابلیت دسترسی پتاسیم غیرتبادلی نه تنها به مقدار پتاسیم بین لایه‌ای، بلکه به سرعت رهاسازی پتاسیم از فاز معدنی خاک بستگی دارد. هدف از این پژوهش مقایسه اثر آنیون‌های ارتوفسفات و کلرید بر سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در 10 خاک آهکی بود. سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در مدت زمان 2017-1 ساعت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی شامل یک مرحله سریع اولیه (تا 168 ساعت) و یک مرحله آهسته‌تر در هر دو عصاره‌گیر بود. میانگین مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزادشده در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار پس از 168 ساعت به ترتیب 220/33 و 137/51 میلی گرم بر کیلوگرم بود. میانگین مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزادشده در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار پس از 2017 ساعت به ترتیب 391/33 و 252/31 میلی گرم بر کیلوگرم بود. نتایج نشان داد که سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در عصاره‌گیر کلرید کلسیم بیشتر از مونوکلسیم فسفات بود. سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با معادله‌های مرتبه صفر، الویچ ساده شده، تابع توانی و انتشار پارابولیکی در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در هر دو بخش توصیف شد. نتایج این تحقیق نشان داد که، آنیون‌های همراه کاتیون می‌توانند بر سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها موثر باشند.

واژه‌های کلیدی: آزادشدن، معادله مرتبه صفر، مدل الویچ ساده شده، تابع توانی، مدل انتشار پارابولیکی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

مقدمه

پتاسیم به عنوان هفتمین عنصر فراوان در پوسته زمین، یکی از عناصر ضروری جهت رشد گیاهان است. این عنصر به چهار شکل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی در خاک وجود دارد. پتاسیم محلول، پتاسیم موجود در محلول خاک است که با پتاسیم تبادلی خاک در حال تعادل می‌باشد. پتاسیم تبادلی پتاسیمی است که توسط بارهای منفی کلوئیدهای آلی و معدنی نگهداری و به راحتی با کاتیون‌های دیگر تبادل می‌شود (مارتین و اسپارکر، 1985). بخش نسبتاً کوچکی از پتاسیم کل خاک تبادلی بوده و در خاک‌ها از کمتر از 100 تا بیش از 2000 میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند (نارسن و همکاران، 1982). پتاسیم غیرتبادلی پتاسیمی است که به آسانی قابل تبادل نبوده و در زمان‌های کوتاه توسط محلول‌های نمکی آزاد نمی‌شود، ولی بخشی از آن با اسیدنیتریک مولار جوشان قابل استخراج است (آلکانانی و همکاران، 1984). بسته به نوع خاک 1 تا 10 درصد کل پتاسیم به شکل پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد. پتاسیم ساختمانی به شکلی از پتاسیم اطلاق می‌شود که جزئی از شبکه کریستالی کانی‌ها می‌باشد. تعداد زیادی از کانی‌های حاوی پتاسیم شامل فلدسپارها و اغلب سیلیکات‌ها ممکن است حاوی چنین شکلی از پتاسیم باشند (ماسچر، 1995).

معمولاً توصیه کودی و همچنین پتاسیم قابل استفاده گیاه بر اساس پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی خاک است و نقش پتاسیم غیرتبادلی خاک به عنوان تأمین‌کننده پتاسیم گیاه در نظر گرفته نمی‌شود (جلالی، 2006 و جلالی، 2007). نقش پتاسیم غیرتبادلی خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل مختلفی مانند نوع کانی، میزان پتاسیم در کانی، فراوانی کانی‌های پتاسیم‌دار و اندازه ذرات آنها، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، مقدار پتاسیم آزاد شده از بقایای گیاهی و غلظت پتاسیم در آب آبیاری بستگی دارد (جلالی، 2005؛ گاش و سینگ، 2001). آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی به طور قطع نتیجه حل شدن کانی‌های پتاسیم‌دار نیست، بلکه ممکن است یک واکنش

تبادلی باشد. این تبادل آهسته است و با روش‌های معمول تعیین پتاسیم تبادلی اندازه‌گیری نمی‌شود. وقتی تبادل آهسته در بین لایه‌های کانی‌های حاوی پتاسیم مثل میکا وجود دارد، یون جانشین پتاسیم ابتدا وارد لایه‌های داخلی انبساط نیافته می‌شود، به‌طور همزمان یا بعد از آن، لایه‌های داخلی تحت تأثیر هیدراتاسیون این یون‌ها منبسط خواهند شد و این یون‌ها اجازه می‌یابند که محبوس یا تثبیت شده و پتاسیم آزاد شده به آهستگی به محل‌های تبادلی در قسمت‌های خارجی ذرات رس انتشار می‌یابد (سانگ و هانگ، 1988). بنابراین مطالعه سرعت رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی در این مناطق، منجر به درک صحیح وضعیت پتاسیم در خاک می‌شود که سرعت این تبدیل از جنبه حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه و همچنین سرنوشت کود پتاسیم اهمیت دارد (سادوسکای و همکاران، 1987).

استفاده از کودهای بدون پتاسیم ممکن است بر شیمی پتاسیم در خاک تأثیر گذارد. توزیع پتاسیم در خاک نزدیک به محل قرارگیری کود، به‌طور قابل توجهی با افزودن کودهای حاوی فسفر تحت تأثیر قرار می‌گیرد که به علت واکنش این کودها با آهن و آلومینیوم در خاک است (لو و همکاران، 2006). ماهیت واکنش کودهای فسفاتی در خاک ممکن است با فاصله از کود، به دلیل تغییر غلظت فسفات و pH متفاوت باشد. غلظت بالای فسفات و pH پایین می‌تواند باعث تغییرات قابل توجهی در خاک و همچنین آزادسازی پتاسیم از مواد معدنی حاوی پتاسیم در خاک شود (ژو و هانگ، 2007).

سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط محققان با عصاره‌گیرهای مختلف مطالعه شده است. از جمله این عصاره‌گیرها؛ کلرید کلسیم 0/01 مولار (جلالی، 2006؛ لویز و ناوارو، 1997)، اسیدهای آلی (جلالی، 2005)، رزین‌های تبادل کاتیونی (مارتین و اسپارکر، 1983)، تترا فنیل‌بران‌سدیم (مولوی و همکاران، 2020)، الکترواولترافیلتراسیون (لو و همکاران، 2002) و اسید

جلالی و خانلری (2014) گزارش کردند سرعت رهاسازی پتاسیم در خاک‌های آهکی تحت کاربری‌های مختلف توسط معادله انتشار پارابولیکی توصیف شد.

با توجه به اینکه تا کنون مطالعه‌ای درباره تأثیر آنیون همراه کاتیون بر سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها انجام نشده است، این مطالعه با هدف مقایسه آنیون‌های کلرید و ارتوفسفات بر سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و همچنین بررسی کاربرد معادلات سینتیکی در توصیف و پیش‌بینی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر آنیون‌های کلرید و ارتوفسفات بر سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک، 30 نمونه خاک کشاورزی از دشت شهرکرد از عمق 30 سانتی‌متری تهیه شد. در این نمونه‌های اولیه درصد رس، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی و کربنات کلسیم معادل به شرح ذیل تعیین و بر اساس تنوع این ویژگی‌ها 10 نمونه خاک جهت انجام پژوهش انتخاب گردید. در این مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل توزیع اندازه ذرات با روش هیدرومتر (جی و بادر، 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره 2 به 1 آب به خاک (رودز، 1996)، pH در سوسپانسیون 2 به 1 آب به خاک (توماس، 1982)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (لاپرت و همکاران، 1996) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم یک نرمال (سامر و میلر، 1996)، اندازه‌گیری شد. همچنین پتاسیم تبادلی خاک‌ها به روش استات آمونیوم یک نرمال (نادسن و همکاران، 1982) و پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها به روش اسید نیتریک مولار و جوشان (آلکانانی و همکاران، 1984) عصاره‌گیری و پتاسیم عصاره‌گیری شده با دستگاه فلیم‌فتمتر (مدل کورنینگ 410) اندازه‌گیری شد.

قبل از شروع آزمایش‌های سینتیکی برای خارج کردن پتاسیم تبادلی و محلول، خاک‌ها با کلرید کلسیم 1 مولار

نیتریک مولار و جوشان (گیل و رابو، 1992) می‌باشد. در مطالعه‌ای عبدی و همکاران (1399) سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی را با استفاده از عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم 0/01 مولار در خاک‌های تحت کشت پسته در رفسنجان بررسی کردند و بیان نمودند که پتاسیم غیرتبادلی می‌تواند نقش بسزایی در تغذیه گیاه داشته باشد. سادوسکای و همکاران (1987) آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را با رزین‌های تبادل کاتیونی اشباع از هیدروژن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بعد از یک دوره 30 روزه مقادیر 0/172 تا 0/251 سانتی‌مول بر کیلوگرم پتاسیم از این خاک‌ها آزاد شد. مولوی و همکاران (2020) رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی را با عصاره‌گیر تترافنیل بوران سدیم در خاک‌های آهکی مطالعه کردند و اقلیم، مقدار و نوع کانی‌های رسی را عوامل موثر بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها دانستند. زارعیان و همکاران (2018) سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را با عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم و اگزالیک اسید 0/01 مولار در خاک‌های آهکی بررسی کردند و بیان نمودند که کلرید کلسیم و اگزالیک اسید 0/01 مولار به ترتیب 60 و 55 درصد از پتاسیم غیرتبادلی را از خاک‌ها آزاد می‌کنند.

معادله‌های مختلفی برای توصیف سرعت رهاسازی پتاسیم در کانی‌های رسی و خاک استفاده شده است. این معادله‌ها شامل معادله مرتبه صفر، مرتبه اول، تابع توانی، الوویچ و انتشار پارابولیکی است (اسپارکز، 1984). نتایج آزادی و همکاران (1395) نشان داد که سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی با معادله‌های مرتبه اول، الوویچ و تابع توانی قابل توصیف می‌باشد. بدروسیان و سینگ (2006) سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌های ورتی‌سول در شمال نیوساوت‌ولز را بررسی کردند و بیان نمودند که معادله تابع توانی و الوویچ می‌تواند سرعت رهاسازی پتاسیم در این خاک‌ها را توصیف کند. نتایج زو و همکاران (2007) نشان داد، معادله مرتبه صفر می‌تواند سرعت رهاسازی پتاسیم در خاک‌ها را توصیف کند.

اشباع شدند، برای انجام این کار نمونه‌های خاک با کلریدکلسیم 1 مولار (با نسبت 5 به 1) به مدت 30 دقیقه با دستگاه تکان دهنده برقی تکان داده شدند، سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ شده و محلول زلال رویی دور ریخته شد. این عمل سه بار تکرار گردید. کلرید اضافی باقی‌مانده ابتدا با آب مقطر و سپس با الکل تا کاهش قابلیت هدایت الکتریکی به 40 میکروزیمنس بر سانتی‌متر شست‌وشو شد (بادرائو و همکاران، 1992).

برای مطالعه سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی از محلول کلریدکلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار استفاده شد. بدین منظور به 2 گرم از نمونه خاک‌های اشباع شده با کلسیم 20 میلی‌لیتر محلول کلریدکلسیم 0/01 مولار یا 20 میلی‌لیتر مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار اضافه و نمونه‌ها به وسیله تکان‌دهنده برقی به مدت 30 دقیقه تکان داده شدند. نمونه‌ها در دستگاه انکوباتور در دمای 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و قبل از پایان هر دوره، نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه به وسیله دستگاه تکان‌دهنده برقی تکان داده شدند. نمونه‌ها در زمان‌های 1، 4، 8، 24، 48، 72، 96، 120، 144، 168، 336، 504، 672، 840، 1008، 1176، 1344، 1512، 1680، 1848 و 2017 ساعت پس از اضافه‌کردن هر یک از محلول‌ها عصاره‌گیری شدند. سپس سوسپانسیون با دستگاه سانتریفیوژ با 3000 دور در دقیقه صاف، محلول رویی جدا و پتاسیم موجود در محلول عصاره‌گیری‌شده با

استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر (مدل کورنینگ 410) اندازه‌گیری شد. سپس 20 میلی‌لیتر از محلول کلریدکلسیم 0/01 مولار یا 20 میلی‌لیتر مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار به نمونه‌ها اضافه شد و پس از 30 دقیقه تکان‌دادن توسط دستگاه تکان‌دهنده برقی، نمونه‌ها به انکوباتور منتقل گردید (حسین‌پور و همکاران، 1392). این کار به طور مداوم ادامه داده شد تا زمانی که مقدار پتاسیم رها شده ثابت گردید.

بعد از جمع‌آوری داده‌ها، معادله‌های مرتبه صفر، مرتبه یک، الوویچ ساده، تابع توانی و انتشار پارابولیک (جدول 1) بر داده‌ها برازش داده شدند (هاولین و همکاران، 1985؛ مارتین و اسپارکز، 1983). بر اساس بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد بهترین مدل جهت توصیف سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی انتخاب گردید. خطای استاندارد با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

$$SE = \left[\frac{\sum (kt - k^*)^2}{n-2} \right]^{0.5}$$

در این معادله K_t و K^* به ترتیب نشان‌دهنده مقدار پتاسیم غیرتبادلی اندازه‌گیری و محاسبه‌شده به وسیله مدل در زمان t و n تعداد اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (مارتین و اسپارکز، 1983).

در این مطالعه مقایسه میانگین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار توسط آزمون t-test انجام شد.

جدول 1- معادله‌های سینتیکی استفاده شده

نام معادلات	شکل معادلات*	منبع
واکنش مرتبه صفر	$(K_0 - K_t) = a_0 - R_0 t$	مارتین و اسپارکز (1983)
واکنش مرتبه اول	$\ln (K_0 - K_t) = a_1 - R_1 t$	مارتین و اسپارکز (1983)
تابع توانی	$\ln K_t = \ln a_e + b \ln t$	هاولین و همکاران (1983)
انتشار پارابولیک	$K_t = a + R t^{0.5}$	هاولین و همکاران (1985)
الوویچ ساده	$K_t = a + 1/\beta \ln t$	هاولین و همکاران (1985)

*: K_t مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده (میلی گرم بر کیلوگرم) در زمان t ، K_0 حداکثر پتاسیم تجمعی آزاد شده (میلی گرم بر کیلوگرم) بعد از 2017 ساعت، t زمان (ساعت) و R_0 ، R_1 ، b و R ضرایب معادله‌ها هستند.

نتایج و بحث

مقدار مربوط به خاک 10 (شیخ‌شبان) بود. این نتایج نشان داد که وضعیت حاصلخیزی پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه متفاوت است. همچنین بالا بودن مقدار پتاسیم تبدلی و غیرتبدلی در خاک‌ها می‌تواند باعث عدم نیاز به کاربرد کودهای پتاسیمی شود (نادسن و همکاران، 1982). پتاسیم غیرتبدلی آزاد شده توسط عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار به عنوان نمونه در خاک 10 (شیخ‌شبان) در شکل 1 نشان داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، شیب مقدار پتاسیم تجمع‌ی آزادشده در هر دو عصاره‌گیر در زمان 168 ساعت متفاوت است. بنابراین نمودارها به دو قسمت شامل بخش اول از 1 تا 168 ساعت و بخش دوم از 168 تا 2017 ساعت تقسیم شد. سرعت آزادسازی پتاسیم تا 168 ساعت پس از شروع عصاره‌گیری در همه خاک‌ها بیشتر بوده و بعد از آن تا انتهای 2017 ساعت، رهاسازی پتاسیم با سرعت کمتری ادامه یافته است. تقسیم شد.

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول (2) نشان داده شده است. همه خاک‌ها دارای پ-هاش قلیایی بوده و دامنه تغییرات آن 7/79 تا 7/97 بود. قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها در دامنه 0/33 تا 0/38 دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند. دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها 14/35 تا 25 سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم متغیر است. دامنه تغییرات درصد رس و سیلت به ترتیب 21/84 تا 51/84 و 15/12 تا 37/12 است. مقدار کربنات کلسیم معادل خاک و ماده آلی خاک به ترتیب 9/5 تا 36/5 و 0/45 تا 1/05 درصد بود. مقدار پتاسیم تبدلی و غیر تبدلی خاک‌ها به ترتیب 85 تا 483 و 945 تا 1527 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود که کمترین مقدار مربوط به خاک 7 (دستگرد) و بیشترین

جدول 2- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاک	pH	EC	پتاسیم تبدلی	پتاسیم غیر تبدلی	گنجایش تبادل کاتیونی	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم معادل	ماده آلی
		(dS m ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(Cmol _c kg ⁻¹)			(%)		
1 طافانک	7/79	0/37	318	1364	17/97	29/84	15/12	55/04	9/50	1/05
2 تومانک	7/91	0/33	250	1072	22/54	45/84	29/12	25/04	20/25	0/45
3 مهدیه	7/91	0/37	210	1160	20/22	47/84	27/12	25/04	29/50	0/94
4 سامان	7/91	0/38	327	1243	19/57	49/84	25/12	25/04	34/25	0/54
5 کاکولک	7/82	0/33	275	1471	20/50	43/84	27/12	29/04	16/25	0/60
6 هفشجان	7/89	0/35	156	1040	17/60	41/84	23/12	35/04	36/50	0/69
7 دستگرد	7/97	0/36	85	945	14/35	21/84	17/12	61/04	36/0	0/59
8 فرخشهر	7/89	0/37	281	1230	16/65	25/84	25/12	49/04	35/50	0/91
9 هرچگان	7/89	0/35	229	1246	23/07	51/84	19/12	29/04	17/50	0/97
10 شیخ‌شبان	7/86	0/36	483	1527	25/0	39/84	37/12	23/04	12/50	0/76

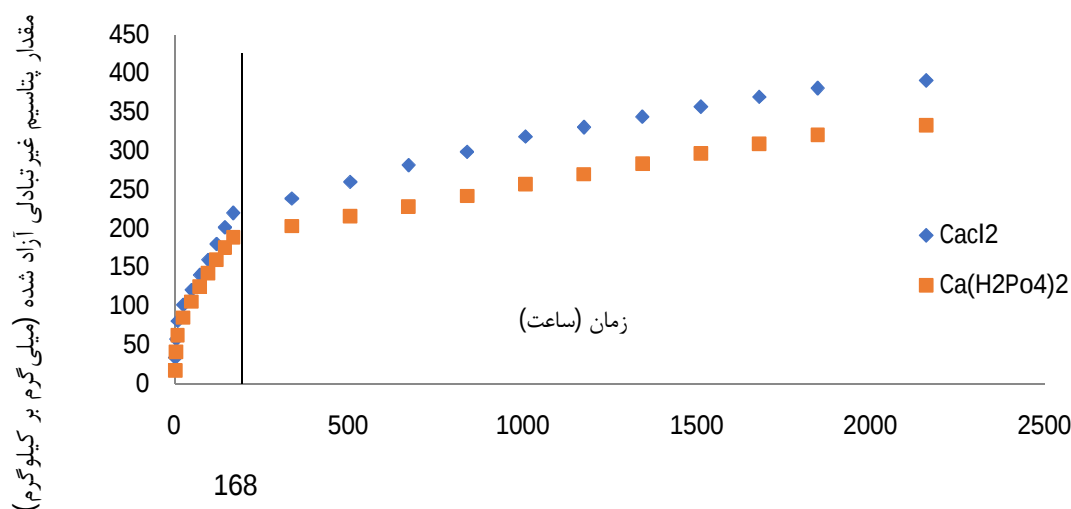
ادامه یافته است. این نتایج توسط سایر محققان گزارش شده است (عبدی و همکاران، 1399؛ آزادی و همکاران، 1395؛ حسین‌پور و متقیان، 2013). سرعت بالای

سرعت آزادسازی پتاسیم تا 168 ساعت پس از شروع عصاره‌گیری در همه خاک‌ها بیشتر بوده و بعد از آن تا انتهای 2017 ساعت، رهاسازی پتاسیم با سرعت کمتری

رهاسازی پتاسیم در بخش اول (1-168 ساعت) را می‌توان به علت آزاد شدن پتاسیم از مناطق لبه‌ای و گوه‌ای شکل کانی‌ها دانست. در ادامه (168-2017 ساعت) با افزایش فاصله پتاسیم از لبه کانی‌ها و افزایش فاصله پخشیدگی، پتاسیم‌های بین لایه‌ای در ساختمان کانی آزاد می‌شوند که رهاسازی با سرعت کمتری صورت می‌گیرد (اسپارکز، 1984 و نجفی و همکاران، 2011).

جدول 3 مقدار تجمع پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده با استفاده از عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار را پس از 168 و 2017 ساعت، نشان داده است. مقدار تجمع پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده با استفاده از عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در بخش اول (1-168 ساعت) به ترتیب با میانگین 168/18 و 137/51 میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بخش دوم (168-2017 ساعت) به ترتیب با میانگین 303/33 و

252/31 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بیشترین مقدار تجمع پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در خاک شماره 10 (شیخ‌شبان) بود که در بخش اول به ترتیب 220/33 و 189/0 میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بخش دوم به ترتیب 391/33 و 333/33 میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد و کمترین مقدار تجمع پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در خاک شماره 7 (دستگرد) است، که در بخش اول به ترتیب 96/50 و 66/50 و در بخش دوم به ترتیب 172/67 و 140/83 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. تفاوت در مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در خاک‌ها ناشی از خصوصیات متفاوت خاک‌هاست. این خصوصیات شامل تفاوت در مقدار رس، مقدار سیلت و نوع کانی‌های پتاسیم‌دار در خاک است (سانگ و هانگ، 1988).



شکل 1- مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده توسط عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در خاک 10

جدول 3- مقدار تجمعی پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده با استفاده از عصاره گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار

خاک	کلرید کلسیم 0/01 مولار		مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار	
	1-168 ساعت	168-2017 ساعت	1-168 ساعت	168-2017 ساعت
1	204/0	361/83	172/83	298/83
2	136/0	243/0	108/83	197/0
3	152/17	283/67	129/17	234/0
4	218/67	379/83	162/50	307/0
5	192/50	384/83	155/17	283/0
6	131/83	250/0	102/50	203/50
7	96/50	172/67	66/50	140/83
8	183/17	336/83	165/83	296/33
9	146/67	264/67	122/83	228/67
10	220/33	391/33	189/0	333/33
میانگین	168/18	303/33	137/51	252/31

الگوی آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در هر دو عصاره گیر مشابه بود اما عصاره گیر کلرید کلسیم مقدار پتاسیم بیشتری نسبت به عصاره گیر مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار آزاد کرده است. در خاک‌های آهکی در عصاره گیر مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار، یون‌های ارتوفسفات با بار منفی در محلول خاک از طریق تبادل لیگاندی به سطوح خاک جذب می‌شوند. تبادل لیگاندی باعث آزاد شدن یون‌های هیدروکسیل در محلول خاک و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود (اسچینلر و اسپوزیتو، 1991). بنابراین پتاسیم بیشتری می‌تواند روی سطوح جذب شود و مقدار کمتری در خاک آزاد می‌شود. وانگ و همکاران (2011) کاهش رهاسازی پتاسیم در اثر کاربرد آنیون ارتوفسفات در خاک‌های آهکی را تحت تأثیر کاهش غلظت کلسیم در محلول خاک به دلیل رسوب فسفات و ایجاد رسوب دی‌کلسیم فسفات دی‌هیدرات و تبدیل آن به ترکیبات کم محلول‌تر مانند هیدروکسی آپاتیت در خاک دانستند. همچنین، رهاسازی پتاسیم در خاک‌های آهکی به علت ظرفیت بافری بالایی که دارند باعث خنثی سازی اسیدیته انحلال مونوکلسیم فسفات و مونوآمونیم فسفات شده و پتاسیم کمتری در این خاک‌ها آزاد می‌شود (راول، 2014). ژو و هانگ (1995) اولین گزارش آزادسازی پتاسیم از خاک تحت تأثیر

ارتوفسفات‌ها را ارائه دادند. مطالعات آنها نشان داد که ارتوفسفات‌ها در محلول خاک می‌توانند باعث رهاسازی پتاسیم از کانی‌های میکا و فلدسپارها شوند. آنها بیان نمودند که میزان رهاسازی پتاسیم در خاک در محلول مونوآمونیم فسفات در $\text{pH}=4$ نسبت به محلول کلریدآمونیم در همین پ-هاش بیشتر است و علت را غلظت بالای فسفات و pH پایین در خاک دانستند.

در مطالعه‌ای دیگر، ژو و هانگ (2007) رهاسازی پتاسیم از کانی ایلیت را تحت تأثیر آنیون ارتوفسفات بررسی کردند. نتایج نشان داد رهاسازی پتاسیم در خاک در محلول مونوکلسیم فسفات در $\text{pH}=2/5$ نسبت به کلرید کلسیم در همین پ-هاش و محلول مونوآمونیم فسفات در $\text{pH}=4$ نسبت به محلول کلریدآمونیم در همین پ-هاش بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد، رهاسازی پتاسیم در محلول دی‌آمونیم فسفات در $\text{pH}=8$ نسبت به محلول کلرید آمونیوم در همان پ-هاش در مدت زمان 1-72 ساعت کمتر بود. سرعت آزاد شدن پتاسیم در خاک‌ها ناشی از آنیون ارتوفسفات به میزان هوادیدگی خاک بستگی دارد. هر چه سرعت هوادیدگی خاک‌ها بیشتر باشد، رهاسازی پتاسیم در خاک‌ها کمتر است. در خاک‌هایی که شدیداً هوادیده هستند، اکسیدهای آهن و آلومینیوم آمورف بالاتر از خاک‌های دیگر است.

آنیون ارتوفسفات می‌تواند به راحتی با این اکسیدها تشکیل کمپلکس دهد و بار منفی سطحی افزایش یابد. بنابراین پتاسیم بیشتری می‌تواند روی سطوح معدنی جذب شود و مقدار کمتری در خاک آزاد می‌شود. مطالعات انجام شده توسط رحمت‌الله و علی (1998) نشان داد که میزان پتاسیم آزاد شده از رس‌های خاک در محلول بی‌کربنات آمونیوم < کلرید آمونیوم > دی‌آمونوم فسفات بود.

همچنین مطالعاتی مربوط به سرعت رهاسازی پتاسیم، با استفاده از محلول کلرید کلسیم در خاک‌ها انجام شده است؛ جلالی (2007) سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های آهکی استان همدان را با عصاره‌گیر کلرید کلسیم 0/01 مولار بررسی کرد و نتایج نشان داد مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در این خاک‌ها 340 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. حسین‌پور و متقیان (2013) سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی را با کلرید کلسیم 0/01 در خاک‌های آهکی بررسی کردند و مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در این خاک‌ها را 221 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش دادند.

معادله‌های سینتیکی (جدول 1) بر داده‌های آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مختلف در عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در بخش اول (1-168 ساعت) و بخش دوم (168-2017 ساعت) برازش داده شد. معادله‌ای که دارای بیشترین ضریب تشخیص (R^2) و کمترین خطای استاندارد (SE) باشد، می‌تواند سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را توصیف کند (مارتین و اسپارکز، 1983). بر این اساس معادله مرتبه صفر، تابع توانی، انتشار پارابولیکی و الویچ ساده شده می‌تواند در هر دو بخش و در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار، سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را توصیف نماید (جدول 4). دبانکور و همکاران (2019) معادله‌های مرتبه اول، انتشار پارابولیکی، تابع توانی و الویچ را بر داده‌های

حاصل از سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها برازش دادند و بیان کردند که معادله الویچ می‌تواند رهاسازی پتاسیم در این خاک‌ها را توصیف نماید. نتایج بابااحمدی و همکاران (1398) نشان داد که معادله‌های مرتبه اول، تابع توانی و انتشار پارابولیک توانست سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها را توصیف کند. ژو و همکاران (2007) بیان کردند که معادله مرتبه صفر می‌تواند رهاسازی پتاسیم در خاک‌ها را توصیف کند. در تحقیقی بر روی سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از اسیدسیتریک مشاهده شد که معادله مرتبه صفر رهاسازی پتاسیم را توجیه می‌کند (اسپارکز، 1984).

مقادیر شیب و عرض از مبدأ معادلات سینتیکی توصیف کننده آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در بخش اول و بخش دوم در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های 5 و 6 نشان داده شده است. عرض از مبدأ معادلات (a_0, a, a_e) نشان‌دهنده سرعت اولیه آزادسازی پتاسیم می‌باشد که به عنوان پتاسیم اولیه قابل استفاده گیاه در نظر گرفته می‌شود. شیب معادلات ($R_0, 1/\beta, b, R$) می‌تواند بیانگر سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها باشد. تفاوت بین مقادیر شیب در معادلات نشان‌دهنده تفاوت قدرت خاک‌ها در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه است. همان‌طور که نتایج جدول‌های 5 و 6 نشان می‌دهد، ضرایب سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در بخش اول و بخش دوم در عصاره‌گیر کلرید کلسیم نسبت به عصاره‌گیر مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار بیشتر است. ضریب R_0 در معادله مرتبه صفر در بخش اول در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات به ترتیب در دامنه 0/449-1/01 و 0/919-0/309 و در بخش دوم به ترتیب در دامنه 0/085-0/037 و 0/075-0/040 میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت می‌باشد.

جدول 4- ضرایب تشخیص (R^2) و خطای استاندارد (SE) (میلی گرم بر کیلوگرم) در معادله‌های سینتیکی مورد استفاده در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در خاک‌های مورد مطالعه

معادله				بخش اول				بخش دوم			
		SE		R ²		SE		R ²		SE	
دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین
کلرید کلسیم											
مرتبۀ صفر	6/11-15/31	10/78	0/935-0/952	0/944	3/86-8/87	6/81	0/955-0/977	0/968	0/788-0/871	0/595	0/815
مرتبۀ اول	0/034-0/038	0/036	0/870-0/879	0/875	2/71-6/25	4/58	0/978-0/993	0/985	0/994-0/998	2/25	0/995
الوویج ساده شده	9/52-20/23	15/14	0/884-0/911	0/897	1/66-4/59	2/75	0/985-0/997	0/993			
تابع توانی	4/30-9/51	7/13	0/971-0/980	0/976	مونو کلسیم فسفات						
انتشار پارابولیکی	2/88-7/85	5/73	0/979-0/994	0/983	1/94-3/79	2/82	0/990-0/995	0/993	0/721-0/786	0/664	0/758
مرتبۀ صفر	5/48-15/64	10/94	0/90-0/950	0/930	7/13-11/44	8/68	0/909-0/952	0/934	0/964-0/981	5/70	0/971
مرتبۀ اول	0/032-0/054	0/040	0/855-0/883	0/870	4/47-6/58	4/17	0/971-0/991	0/983			
الوویج ساده شده	5/14-15/79	14/19	0/895-0/949	0/920	3/14-5/70						
تابع توانی	1/87-5/23	4/03	0/971-0/991	0/985							
انتشار پارابولیکی	2/14-6/32	4/72	0/920-0/990	0/974							

جدول 5- ضرایب معادلات سینتیکی توصیف کننده آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی در بخش اول (168 – 1 ساعت) در عصاره گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در خاکهای مورد مطالعه

انتشار پارابولی		تابع توانی			الویج ساده شده		مرتبه صفر		خاک
R	a	$a_e \cdot b$	b	a_e	$1/\beta$	a	R_0	a_0	
$(\text{mg kg}^{-1}) \text{ h}^{-1/2}$	(mg kg^{-1})		$(\text{mg kg}^{-1}) \text{ h}^{-1}$	(mg kg^{-1})	$(\text{mg kg}^{-1}) \text{ h}^{-1}$	(mg kg^{-1})	$(\text{mg kg}^{-1}) \text{ h}^{-1}$	(mg kg^{-1})	
کلرید کلسیم									
12/35	36/84	11/34	0/345	32/88	31/30	16/02	0/899	300/24	1
8/79	15/04	6/86	0/380	18/05	20/96	6/45	0/613	206/77	2
9/56	22/63	8/45	0/342	24/73	23/01	12/60	0/663	237/71	3
14/60	24/23	11/34	0/378	30/01	35/10	9/04	1/01	319/86	4
12/43	21/69	9/77	0/376	25/99	29/72	9/25	0/865	297/08	5
8/47	16/90	6/98	0/362	19/30	20/25	8/40	0/589	212/58	6
6/45	8/99	4/69	0/399	11/77	15/38	2/72	0/449	148/09	7
11/83	25/41	10/09	0/351	28/75	28/53	12/74	0/817	282/40	8
9/57	18/40	7/81	0/365	21/40	22/95	8/63	0/664	222/95	9
14/24	27/37	11/59	0/366	31/67	34/04	13/13	0/990	329/45	10
مونوکلسیم فسفات									
11/65	20/67	9/38	0/366	25/63	23/38	7/20	0/797	249/06	1
7/68	6/57	4/93	0/432	11/43	18/36	-1/04	0/532	171/66	2
9/09	8/17	5/89	0/431	13/68	21/69	-0/805	0/631	203/75	3
11/07	14/54	9/71	0/267	36/40	26/69	2/75	0/765	265/27	4
10/87	11/14	7/36	0/416	17/70	26/16	-0/291	0/750	245/13	5
5/13	27/09	4/95	0/408	12/14	17/25	0/044	0/491	178/01	6
4/51	7/19	3/50	0/376	9/31	10/97	2/06	0/309	122/38	7
11/42	19/54	10/49	0/261	40/20	28/04	5/61	0/776	247/88	8
6/26	31/94	5/88	0/416	14/14	21/08	-1/10	0/598	198/61	9
13/39	14/11	9/23	0/410	22/52	32/45	-0/728	0/919	285/95	10

جدول 6- ضرایب معادلات سینتیکی توصیف کننده آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در بخش دوم (2017 – 168 ساعت) در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار در خاک‌های مورد مطالعه

انتشار پارابولیکی		تابع توانی			الویج ساده شده		مرتبه صفر		خاک
R	a	a _e * b	b	a _e	1/β	a	R ₀	a ₀	
(mg kg ⁻¹) h ^{-1/2}	(mg kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹) h ⁻¹	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹) h ⁻¹	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹) h ⁻¹	(mg kg ⁻¹)	
کلرید کلسیم									
4/85	138/23	12/06	0/274	44/04	77/63	-239/61	0/077	153/99	1
3/36	86/86	8/14	0/275	29/62	53/01	-165/60	0/052	102/34	2
10/40	98/80	9/62	0/271	35/50	62/96	-201/28	0/061	120/95	3
5/08	147/34	13/92	0/248	56/15	77/43	-220/65	0/076	153/96	4
5/07	119/58	11/32	0/283	40/02	77/52	-249/27	0/076	150/57	5
3/88	73/43	7/19	0/309	23/27	59/05	-206/93	0/058	116/65	6
2/37	40/64	5/67	0/280	20/25	37/94	-120/26	0/037	74/04	7
4/91	113/60	10/77	0/285	37/82	75/08	-243/57	0/074	147/04	8
3/78	113/60	8/55	0/280	30/55	57/50	-182/16	0/057	115/47	9
5/65	136/01	12/81	0/280	45/77	86/15	-273/59	0/085	167/89	10
مونو کلسیم فسفات									
4/27	100/36	9/47	0/284	33/36	64/34	-203/66	0/065	133/24	1
2/98	57/24	5/56	0/309	18/0	44/70	-153/44	0/046	94/45	2
3/60	65/01	6/39	0/317	20/18	53/84	-188/67	0/055	114/44	3
4/83	79/02	7/90	0/328	24/09	72/20	-261/07	0/074	154/85	4
4/06	92/12	8/08	0/309	26/17	64/94	-223/94	0/066	134/27	5
3/49	38/53	4/25	0/372	11/43	52/14	-206/81	0/054	112/14	6
2/64	15/63	2/22	0/427	5/20	39/30	-169/11	0/040	85/39	7
4/26	97/24	9/20	0/287	32/07	64/10	-205/68	0/065	134/13	8
3/62	57/45	5/77	0/332	17/39	54/05	-196/90	0/056	116/46	9
4/90	104/96	10/05	0/296	33/98	73/72	-243/11	0/075	153/64	10

جدول 7- ضرایب همبستگی مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	سیلت	رس	CEC	پتاسیم غیرتبادلی	پتاسیم تبادلی	EC	pH	
کلرید کلسیم									
0/19	-0/43*	0/38*	0/17	0/36*	0/85**	0/89**	0/29	-0/57**	پتاسیم آزاد شده در بخش اول
0/23	-0/42*	0/40*	0/17	0/35	0/86**	0/88**	0/28	-0/59**	پتاسیم آزاد شده در بخش دوم
مونوکلسیم فسفات									
0/34	-0/49**	0/40*	0/10	0/38*	0/88**	0/90**	0/27	-0/61**	پتاسیم آزاد شده در بخش اول
0/30	-0/41*	0/41*	0/12	0/36*	0/86**	0/89**	0/30	-0/58**	پتاسیم آزاد شده در بخش دوم

*: معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد.

در بخش دوم به‌ترتیب در دامنه 2/37-10/40 و 4/90 – 2/64 میلی‌گرم بر کیلوگرم بر جذر ساعت متفاوت است. برازش معادله انتشار پارابولیکی نشان داد که رهاشدن پتاسیم تحت تأثیر فرایند انتشار است. انتشار پتاسیم به نواحی هوادیده یا به نواحی خارج توده کانی، می‌تواند کنترل‌کننده سرعت رهاسازی پتاسیم در خاک‌ها باشد (نجفی و همکاران، 2011). همبستگی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در بخش اول و بخش دوم در عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول 7 نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار مقدار تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در بخش اول و بخش دوم در هر دو عصاره‌گیر با پ‌هاس و کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی و معنی‌دار و با غلظت پتاسیم تبادلی، غلظت پتاسیم غیرتبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و سیلت همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول 7).

نتیجه‌گیری کلی

خاک‌های مختلف رفتارهای متفاوتی در عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار نشان دادند. نتایج نشان داد که به دلیل تفاوت در خصوصیات خاک‌ها و با توجه به نوع عصاره‌گیر، مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از 168 و 2017 ساعت در خاک‌ها متفاوت است. در هر دو عصاره‌گیر در

ضریب $1/\beta$ در معادله الویچ در بخش اول در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات به‌ترتیب در دامنه 15/38-35/10 و 32/45 – 10/97 و در بخش دوم به‌ترتیب در دامنه 37/94-86/15 و 73/72 – 39/30 میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت متفاوت است. ضریب b در معادله تابع توانی در بخش اول به‌ترتیب در دامنه 0/342 – 0/399 و 0/261 – 0/432 و در بخش دوم به‌ترتیب در دامنه 0/248 – 0/309 و 0/284 – 0/427 میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار می‌باشد. ضریب b در معادله تابع توانی در همه خاک‌ها در هر دو عصاره‌گیر کمتر از یک است و نشان می‌دهد سرعت آزاد شدن پتاسیم با زمان کاهش می‌یابد. همچنین در معادله تابع توانی پارامتر a_b که حاصلضرب دو ثابت این معادله می‌باشد، به‌عنوان سرعت ویژه در زمان واحد در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند شاخصی از سرعت در این معادله باشد (سرانو و همکاران، 2005). مقادیر این پارامتر در بخش اول در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار به‌ترتیب در دامنه 11/59 – 4/69 و 10/49 – 3/50 و در بخش دوم به‌ترتیب در دامنه 13/92 – 5/67 و 10/05 – 2/22 متفاوت است. ضریب R در معادله انتشار پارابولیکی در بخش اول در عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار به‌ترتیب در دامنه 6/45-14/60 و 13/39 – 4/51 و

اساس بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد معادله‌های مرتبه صفر، الویچ ساده شده، تابع توانی و انتشار پارابولیکی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در هر دو بخش و در هر دو عصاره‌گیر در خاک‌ها را توصیف نمودند، که نشان داد رهاسازی پتاسیم تحت تأثیر انتشار است.

همه خاک‌ها روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی مشابه بود. سرعت رهاسازی پتاسیم در ابتدا زیاد و سپس با سرعت کمتری تا پایان آزمایش ادامه داشت. میانگین سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در عصاره‌گیر کلرید کلسیم و مونوکلسیم فسفات 0/01 مولار بعد از 168 ساعت به ترتیب 168/18 و 137/51، بعد از 2017 ساعت به ترتیب 303/33 و 252/31 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بر

فهرست منابع:

1. آزادی، ا.، باقرنژاد، م.، کریمیان، ن.، ابطحی، س.ع. 1395. عصاره‌گیری پی در پی پتاسیم غیرتبادلی و رابطه آن با ویژگی‌های خاک، کانی‌شناسی و طبقه‌بندی خاک در برخی خاک‌های آهکی استان فارس. موسسه تحقیقات خاک و آب 30 (2): 187-199.
2. بابااحمدی، م.، اولیایی، ح.ر.، ادیمی، ا.، محنت‌کش، ع.م.، نجفی‌قیری، م. 1398. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در ارتباط با تکامل خاک و کانی‌شناسی رس در راسته‌های غالب خاک استان چهارمحال و بختیاری. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. 5 تا 7 شهریور 1398. زنجان.
3. حسین‌پور، ع.ر.، متقیان، ح.، رئیسی، ط. 1392. ارزیابی ویژگی‌های آزاد شدن پتاسیم با استفاده از محلول‌های کلریدکلسیم و اسیدسیتریک رقیق در برخی از خاک‌های آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی جلد 17 (شماره 64). صفحات 221 تا 236.
4. عبدی ص. تاج آبادی‌پور ا. و شیرانی ح. 1399. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در برخی خاک‌های تحت کشت پسته شهرستان رفسنجان. مجله علوم و فناوری پسته. 5 (9): 106-121.
5. Al-kanani, T., Mackenzie, A.F., and Ross, G.L. 1984. Potassium status of some Quebec Soils: K release by nitric and sodium tetrakis-phenyl boran as related to particle size and mineralogy. Canadian Journal of Soil Science. 64:99-106.
6. Badraoui, M., Bloom, P. R., and Delmaki, A. 1992. Mobilization of non-exchangeable K by ryegrass in five Moroccan soils with and without mica. Plant and Soil. 140: 1. 55-63.
7. Bedrossian, S. T., and Singh, B. 2006. Kinetics of potassium release from vertosols from northern NSW. Faculty of Agriculture, food and Natural Resources, The University of Sydney, NSW.
8. Du, Z.Y., Zhou, J.M., Wang, H.Y., Du, C.W. and Chen, X.Q. 2006. Potassium movement and transformation in an acid soil as affected by phosphorus. Soil Science Society of America Journal. 70: 6. 2057-2064.
9. Debankur, S., Brar, B.S., and Dheri, G.S. 2019. Organic and inorganic integrated fertilization improves non-exchangeable potassium release and potassium availability in Soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 50: 1. 1-10.
10. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute A. (ed.) Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and mineralogy methods. Agron. Monogr. 9. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 383-412.
11. Gil-Sotres, F., and Rubo, B. 1992. Kinetics and structural effects of the extraction of nonexchangeable potassium from the clay fraction of soil of Galicia (N. W. Spain). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 23: 143-156.

12. Ghosh, B.N., and Singh, R.D. 2001. Potassium release characteristics of some soils of Uttra Pradesh hills varying in altitude and their relationships with forms of soil K and clay mineralogy. *Geoderma*. 104: 135-144.
13. Havlin, J.L., Westfall, D.G., and Olsen, S.R. 1985. Mathematical model for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*. 49: 371-376.
14. Hosseinpour, A.R., and Motaghian, H. 2013. Application of Kinetic Models in Describing Soil Potassium Release Characteristics and Their Correlations with Potassium Extracted by Chemical Methods. *Pedosphere* 23: 4. 482-492.
15. Jalali, M. 2005. Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36: 1903-1917.
16. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*. 135: 63-71.
17. Jalali, M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. *Geoderma*. 140: 42-51.
18. Jalali, M. and Varasteh Khanlari, Z. 2014. Kinetics of Potassium Release from Calcareous Soils Under Different Land Use. *Arid Land Res. Manage*. 28:1-13.
19. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. In: Page, A.L. Miller R.H. and Keeney D.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. (2nd ed.). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 225-246.
20. Lopez, P., and Navarro, A.G. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized Vertisols of Southwestern Spain. *Soil Science*. 162:912-918.
21. Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. In: Sparks D.L. (ed.) *Chemical Methods of Soil Analysis* Soil Science Society of America Madison. pp. 437-447.
22. Lu, X.N., Zhang, M.H., and Xu, J.M. 2002. Potassium release rates from ultisols and their application. *Plant and Soil*. 246: 23-29.
23. Martin, H.W., and Sparks, D.L. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Science Society of America Journal*. 47: 883-887.
24. Martin, W.H., and Sparks, D.L. 1985. The behavior of non-exchangeable K in soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 16: 133-162.
25. Mustscher, H. 1995. Measurement and assessment of soil potassium. *International potash institute Research Topics Number 4*.
26. Molavi, R., Baghernejad M., Ghasemi-Fasaei R. and Zarei M. 2020. Release characteristics of potassium from native reserves of some calcareous soils of Iran and their relationship with yield and potassium uptake by ryegrass. *Soil Research*, 58: 8. 770-778.
27. Najafi, M., Abtahi, A., Karimian, A., Owliaie, H.R., and Khormali, F. 2011. Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 57: 4. 343-363.
28. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L. (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison. pp. 961-1010.
29. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison. pp. 417-435.
30. Rahmatullah, M. S. Z. and Ali, A. 1998. Potassium release from soil clays by diammonium phosphate, ammonium bicarbonate and ammonium chloride. *J. Agron. Crop Sci*. 180: 33-37.
31. Rowell, D L. 2014. *Soil science: methods & applications*, Routledge

32. Song, S., and Huang, P. 1988. Dynamics of Potassium Release from Potassium-bearing Minerals as Influenced by Oxalic and Citric Acids, *Soil Science Society of America Journal*. 52: 383-390.
33. Sparks, D.L., and Jardin, P.M. 1984. Comparison of kinetics equations to describe potassium calcium exchange in pure and in mixed systems. *Soil Science*. 138: 115-122.
34. Sadusky, M. C., Sparks, D. L., Noll, M. R. and Hendricks, G. J. (1987). Kinetics and mechanism of potassium release from sandy middle Atlantic coastal plain soils. *Soil Science Society of America Journal*, 51, 1460-1465.
35. Sumner, M.E., and Miller, W.P. . 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In D. L. Sparks et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis Part III*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. P. 1201-1229.
36. Serrano S., Garrido F., Campbell C.G. and Garcia-Gonzalez M.T. 2005. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of central Spain. *Geoderma*, 124:91-104.
37. Schindler, P.W. and Sposito G. 1991. Surface Complexation at (Hydr)Oxide Surfaces. *Interactions at the Soil Colloid -Soil Solution Interface*. 115-145.
38. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: A.L. Page et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis: chemical and microbiological properties*. Agron. Monogr. 9. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin. pp.159-166.
39. Wang, L, Ruiz-Agudo, E n, Putnis, C V, Menneken, M and Putnis, A. 2011. Kinetics of calcium phosphate nucleation and growth on calcite: implications for predicting the fate of dissolved phosphate species in alkaline soils. *Environmental science & Technology*. 46 (2): 834--842.
40. Zareian, Gh.R., Hadi Farpoor, M., Hejazi-Mehrizi, M., and Jafari, A. 2018. Kinetics of Non-exchangeable Potassium Release in Selected Soil Orders of Southern Iran. *Soil and Water Research*. 13(4):200-207.
41. Zhou, J.M., Huang, P.M., 1995. Kinetics of monoammonium phosphate induce potassium release from selected soils. *Canadian journal Soil Science*. 75: 197–203.
42. Zhou, J.M., Huang, P.M., 2007. Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. *Geoderma*. 138: 221–228.

اثر اندازه ذرات، مقدار و نوع بیوپچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع در دو خاک با بافت متفاوت

عباس یکرزبان، سید علی اکبر موسوی¹، عبدالمجید ثامنی و مهرور رضایی

دانشجوی دکتری بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ a.yekzaban@gmail.com

استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ aamousavi@gmail.com

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ majid.baba@gmail.com

استادیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ mahrooz.rezaei@gmail.com

ص 321 - 334

دریافت: 1401/4/18 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

کاربرد بیوپچار در خاک‌های کشاورزی به‌عنوان راه حلی برای افزایش تولید محصول از طریق بهبود در ویژگی‌های خاک، پیشنهاد شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر نوع، سطوح و اندازه ذرات بیوپچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}) در دو خاک لوم رسی سیلتی و لوم شنی انجام شد. از بیوپچار برگ نخل و پوست لیمو، گرماکافت شده در دمای 500 درجه سلسیوس در مدت 3 ساعت، استفاده شد. بیوپچار به‌دست آمده به سه کلاس اندازه ذرات کوچکتر از 0/8 میلی‌متر، 0/8-2 میلی‌متر و 2-4 میلی‌متر تقسیم شد و با نسبت 0/5%، 1%، 2% و 4% وزنی با خاک‌های مورد نظر مخلوط و به مدت 15 ماه (1398 تا 1399) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شیراز خوابانده شد. نتایج نشان داد که کاربرد سطوح 0/5%، 1%، 2% و 4% بیوپچار سبب کاهش معنی‌دار متوسط K_{sat} به ترتیب به میزان 9%، 32%، 58% و 65% در خاک بافت لوم شنی و همچنین افزایش معنی‌دار آن (به‌جز سطح 0/5%) به ترتیب به میزان 51%، 104% و 231% در خاک لوم رسی سیلتی در مقایسه با شاهد شد. بیوپچار برگ نخل در مقایسه با بیوپچار پوست لیمو سبب افزایش معنی‌دار متوسط K_{sat} به میزان 42% در خاک لوم رسی سیلتی و همچنین کاهش معنی‌دار 12% در خاک لوم شنی شد. علاوه بر آن، بیش‌ترین تأثیر بیوپچار بر K_{sat} در هر دو بافت خاک مربوط به ذرات بیوپچار کوچک‌تر از 0/8 میلی‌متر به‌دست آمد. بیش‌ترین افزایش در K_{sat} خاک لوم رسی سیلتی و بیش‌ترین کاهش در K_{sat} خاک لوم شنی، در سطح 4% وزنی بیوپچار برگ نخل با کلاس اندازه ذرات کوچک‌تر از 0/8 میلی‌متر مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش می‌تواند راهگشای انتخاب مقدار و اندازه بیوپچارهای مورد استفاده از نظر اثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک باشد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کننده خاک، برگ نخل، پوست لیمو، لوم شنی، لوم رسی سیلتی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش علوم خاک

مقدمه

بر اساس گزارش‌ها، پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی غذا تا سال 2050 میلادی به میزان 56 درصد افزایش یابد (واندیک و همکاران، 2021). از طرفی از مجموع زمین‌های موجود در دنیا بخش بزرگی را زمین‌های خشک تشکیل می‌دهد، که اکثر زمین‌های کشاورزی واقع در این مناطق با کمبود ذخیره منابع آب، مواد مغذی و ماده آلی مواجه هستند (لال، 2004). افزایش تقاضای جهانی برای مواد غذایی از یک سو و وجود محدودیت منابع به همراه تغییرات آب و هوایی از سوی دیگر، استفاده پویا و پایدار از زمین‌های کشاورزی را می‌طلبد. یکی از روش‌های کارآمد برای مقابله با این چالش جهانی، استفاده از بیوپچار¹ به عنوان اصلاح کننده آلی و ارزشمند در مقایسه با دیگر مواد آلی می‌باشد زیرا افزون بر بهبود در کیفیت خاک و محصولات کشاورزی (گلب و همکاران، 2016؛ ورهچین و همکاران، 2019)، با برتری نسبت به دیگر مواد آلی، سبب کاهش هدرروی عناصر غذایی و افزایش بازدهی (کاپور و همکاران، 2022)، کاهش گازهای گلخانه‌ای (وانگ و همکاران، 2022) و ترسیب کربن (بورل و همکاران، 2016؛ زانگ و همکاران، 2021) می‌شود.

بیوپچار یک ترکیب جامد کربنی آلی و به نسبت پایدار است که از حرارت دادن زیست توده‌های آلی² (که عموماً بقایای مازاد در طبیعت است) در دمای بیش‌تر از 200 درجه سلسیوس تحت شرایط اکسیژن کم یا بدون اکسیژن تولید می‌شود (حسین و همکاران، 2021). قابلیت و گستردگی استفاده از بیوپچار در کشاورزی به در دسترس بودن ترکیبات اولیه آن بر می‌گردد (گاروالهو و همکاران، 2016). از طرفی اثرگذاری بیوپچار بستگی به ویژگی‌هایی همچون دمای گرماکافت³ و مدت زمان گرماکافت، نوع ماده اولیه، مقدار و مدت زمان استفاده از آن در خاک و سرانجام ویژگی‌های بافت و کانی‌شناسی

خاک دارد (گلب و همکاران، 2016؛ زانگ و همکاران، 2021) که باعث می‌شود هر بیوپچار ویژگی‌های منحصر به فردی داشته باشد. به عنوان نمونه، افزایش دمای گرماکافت سبب افزایش سطح ویژه، تخلخل کل، منافذ ریز و آب-دوستی در بیوپچار می‌شود (مرادی چقمرانی و همکاران، 2019). تحقیقات در زمینه استفاده از بیوپچار به عنوان اصلاح کننده آلی خاک بسیار پراکنده و نتایج تحقیقات نیز بسیار متنوع است. به عبارتی در بیوپچار با تغییر در مواد خام اولیه و شرایط تولید آن رفتارهای متفاوت بیوشیمیایی و فیزیکی روی می‌دهد و پس از مخلوط شدن با خاک به دلیل اثرات متقابل بیوپچار و خاک نتایج بسیار پیچیده و متنوع‌تر می‌شود (لیچوک و همکاران، 2015). از سوی دیگر، بیشتر پژوهش‌های انجام شده معطوف به تأثیر بیوپچار بر اصلاح ویژگی‌های بیوشیمیایی خاک و افزایش حاصلخیزی خاک بوده (وانگ و همکاران، 2015) و تحقیقات به نسبت کمتری در زمینه کمی کردن اثرات بیوپچار به ویژه اشکال و انواع مختلف بیوپچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ویژگی‌های هیدرولیکی خاک انجام شده است. گلب و همکاران (2016) سطوح 0/5، 1، 2 و 4 درصد وزنی از مخلوطی از انواع بیوپچار و در اندازه‌های متفاوت از ذرات بیوپچار در خاک شنی به کار بردند. نتایج آنها نشان داد که کاربرد بیوپچار در مدت 3 ماه توانست ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود بخشد.

هم‌چنین آنان گزارش کردند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل خاک نه تنها وابسته به مقدار بیوپچار مصرفی می‌باشد، بلکه تابعی از اندازه ذرات بیوپچار نیز می‌باشد. زانگ و همکاران (2016) اثر بیوپچارهای مختلف حاصل از گرماکافت متفاوت بر ویژگی‌های هیدرولیکی در یک خاک شنی را بررسی و مشاهده نمودند که هدایت هیدرولیکی اشباع به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت، که در این بین بیوپچار با حجم منافذ بزرگ و قطر منافذ متوسط، تأثیر بهتری در بهبود قابلیت نگه‌داشت آب در خاک داشته است. توزیع اندازه ذرات بیوپچار اضافه شده بر

¹ Biochar² Biomass³ Pyrolysis

ویژگی‌های خاک تأثیر معنی‌داری داشت، که بر این اساس تخریب ساختمانی منافذ بیوپچار به‌وسیله پودر کردن آن، هم‌زمان سبب کاهش توانایی جذب آب و هدایت هیدرولیکی اشباع بیوپچار شده بود.

اثرات افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های رس سیلتی، لوم سیلتی و شدیداً رسی (آجای و همکاران، 2016؛ وانگ و همکاران، 2018)، کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های شنی و آلی (تریفونیک و همکاران، 2018؛ یان و همکاران، 2021) و عدم تأثیر آن بر هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های رسی، لوم ریز و شنی (کستلینی و همکاران، 2015؛ وانگ و همکاران، 2021) در پاسخ به افزودن بیوپچار به خاک گزارش شده است، که همگی دلالت بر رفتار منحصر به فرد هر بیوپچار در هر خاک دارد. از طرفی از بیوپچار در اصلاح خاک، به میزان اندکی در کشاورزی پیشرفته استفاده می‌شود (لیانگ و همکاران، 2016). از این رو طرح تشویق استفاده گسترده از بیوپچار نیازمند کمی‌سازی اهمیت و سودمندی آن در خاک‌های با بافت‌های مختلف می‌باشد. افزون بر آن، استفاده از بیوپچار به‌دلیل بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، در مناطق مستعد خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا در این مناطق بارندگی به‌عنوان منبع اصلی آب کشاورزی بسیار ناپایدار و غیر قابل اعتماد است (کاپور و همکاران، 2022) و بیوپچار ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی به‌ویژه هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت مختلف، به‌دلیل داشتن سطوح ویژه زیاد، قابلیت استفاده از پساب را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه بیوپچار می‌تواند بر ویژگی‌های مختلف خاک از جمله هدایت هیدرولیکی اشباع مؤثر باشد و نوع و میزان تأثیر در خاک‌های با بافت‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

از طرفی تاکنون اثر سطوح مختلف انواع بیوپچار با اندازه‌های مختلف بر هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های مختلف بررسی نشده است. بنابراین این پژوهش با فرض تأثیر مثبت کاربرد بیوپچار به‌عنوان ماده

اصلاح‌کننده آلی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک-های مختلف و با هدف کمی‌سازی تأثیر مقدار، اندازه و منابع بیوپچار (براساس بقایای گیاهی مازاد در دسترس استان فارس) بر هدایت هیدرولیکی اشباع دو خاک با بافت مختلف (از خاک‌های معمول آهکی و به نسبت فقیر از نظر ماده آلی که در استان فارس غالب می‌باشند)، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های 1398 تا 1399 در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه با مختصات طول جغرافیایی $33^{\circ} 52'$ عرض جغرافیایی $36^{\circ} 29'$ و در ارتفاع 1810 متری از سطح دریا در دو خاک با بافت متفاوت و به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد (برای هر بافت خاک آزمایش فاکتوریل جداگانه انجام شد).

نمونه‌برداری و آنالیز خاک

خاک‌های مورد مطالعه از دو بافت مختلف، شامل لوم رسی سیلتی (تهیه شده از سری دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز با مختصات طول جغرافیایی $33^{\circ} 52'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 29'$) و لوم شنی (تهیه شده از ایستگاه تحقیقات آبخوانداری کوثر واقع در منطقه گربایگان فسا با مختصات طول جغرافیایی $53^{\circ} 54'$ و عرض جغرافیایی $38^{\circ} 28'$) می‌باشد که از عمق 0 تا 25 سانتی‌متری خاک تهیه شده و پیش از نمونه‌برداری بافت آنها تعیین شده بود. برای نمونه‌های اولیه خاک برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی معمول با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (جدول 1). خاک‌های تهیه شده پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متر عبور داده شدند.

تولید و آنالیز بیوپچار

برای تولید بیوپچار از بقایای برگ نخل و تفاله لیمو ترش استفاده شد. به این دلیل از بقایای حاصل از هرس برگ درختان نخل به‌عنوان تیمار اول و از پوست

حاصل از آبیگری و فراوری لیمو ترش (نفاله لیمو ترش) به عنوان تیمار دوم استفاده شد که هر دو این بقایا به فراوانی در استان فارس به عنوان بقایای مازاد حاصل از فرآیندهای مرتبط با کشاورزی یافت می شوند و خاص این منطقه می باشد. در تهیه بیوپچار، پس از شستن و هوا خشک نمودن بقایای اولیه به منظور همگن سازی، بقایا خرد و یکنواخت شدند (به منظور کاهش خطای گرماکافت). سپس درون ظروف درب دار فلزی ریخته شد و برای ایجاد شرایط کم یا بدون اکسیژن چندین شمع درون کوره الکتریکی و داخل ظروف فلزی روشن شد تا سطح اکسیژن درون کوره و ظروف به حداقل رسیده و شرایط برای انجام فرآیند گرماکافت آماده شود. بقایا در مجموع به مدت 3 ساعت با نرخ افزایش دمای 3 درجه سلسیوس در دقیقه تا دمای 500 درجه سلسیوس حرارت داده شد (لیانگ و همکاران، 2016). برخی ویژگی های بیوپچار از جمله میزان کربن، نیتروژن و هیدروژن با دستگاه CHN Analyzer (مدل 1455vp LEO)، قابلیت هدایت الکتریکی و پ هاش اندازه گیری شدند (جدول 2).

طراحی آزمایش

هرکدام از بیوپچارهای برگ نخل و تفاله لیمو به وسیله الک به سه کلاس اندازه ذرات کوچکتر از 0/8 میلی متر، 0/8 تا 2 میلی متر و 2 تا 4 میلی متر تفکیک شدند. هرکلاس اندازه ذرات بیوپچار در پنج سطح کاربردی (نسبت وزنی ترکیبی بیوپچار به خاک)، صفر (بدون افزودن بیوپچار)، 0/5، 1، 2 و 4 درصد (0، 5، 10، 20، 40 گرم بر کیلوگرم) به هر کدام از خاک های بافت لوم رسی سیلتی و لوم شنی در سه تکرار اضافه شد (جدول 3). (به عبارت دیگر، تیمارها شامل دو نوع مختلف بیوپچار، سه کلاس اندازه ذرات و پنج سطح کاربرد بیوپچار است که به دو بافت خاک مختلف در سه تکرار اضافه شد، مجموع 180 گلدان). سپس به ازای هر گلدان، 4 کیلوگرم از خاک الک شده توزین شده و از هر کلاس اندازه ذرات با نسبت های وزنی مورد اشاره به خاک اضافه و به طور یکنواخت با خاک مخلوط و سرانجام به گلدان های پلاستیکی با وزن و ابعاد مشخص منتقل شدند. بیوپچارهای اضافه شده به خاک به مدت 15 ماه از آذر 1398 لغایت اسفند 1399 در انکوباسیون گلخانه ای در دمای 22 الی 32 درجه سلسیوس (متغیر در فصول سال) و حدود 70 الی 80 درصد رطوبت وزنی ظرفیت مزرعه تحت آبیاری پیوسته قرار داشتند.

جدول 1- برخی ویژگی های خاک های مطالعه شده

ویژگی خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	کربن آلی (%)	ظرفیت مزرعه (%)
لوم شنی	57/72	33/78	8/50	1/47	0/27	28/68
لوم رسی سیلتی	3/21	57/88	38/91	1/34	1/07	37/42

جدول 2- برخی ویژگی های بیوپچارهای مطالعه شده

بیوپچار	کربن (%)	نیتروژن (%)	هیدروژن (%)	بازدهی تولید (%)	پ هاش	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)
بیوپچار برگ نخل	57/84	2/05	2/92	9/69	7/21	3/15
بیوپچار پوست لیمو	65/34	2/94	2/98	22/76	9/59	6/80

پ هاش و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره 1 به 10 بیوپچار به آب اندازه گیری شده است.

جدول 3- مشخصات تیمارهای استفاده شده در این مطالعه

تیمار	حروف اختصاری	زیر کلاس	شرح حروف اختصاری
منابع بیوچار	NL	N	بیوچار برگ نخل
		L	بیوچار پوست لیمو
سطوح بیوچار	T	T1	سطح صفر درصد وزنی بیوچار (شاهد)
		T2	سطح 0/5 درصد وزنی بیوچار
		T3	سطح 1 درصد وزنی بیوچار
		T4	سطح 2 درصد وزنی بیوچار
		T5	سطح 4 درصد وزنی بیوچار
کلاس اندازه ذرات بیوچار	P	P1	کلاس اندازه ذرات بیوچار 4 – 2 میلی‌متر
		P2	کلاس اندازه ذرات بیوچار 2 – 0/8 میلی‌متر
		P3	کلاس اندازه ذرات بیوچار کوچک‌تر از 0/8 میلی‌متر

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع

از خاک‌های تیمار شده با بیوچار به‌وسیله سیلندرهای استیل مخصوص با قطر 72 میلی‌متر و ارتفاع 50 میلی‌متر نمونه دست نخورده تهیه شد و از روش آزمایشگاهی بار ثابت برای خاک بافت لوم شنی و از روش بار افتان برای خاک بافت لوم رسی سیلتی (حسین و همکاران، 2021) استفاده شد. هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت از رابطه 1 بدست آمد:

$$K = \frac{V \times L}{A \times \Delta H \times \Delta T} \quad (1)$$

که در آن K هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)، V حجم آب عبوری از ستون خاک (سانتی‌متر مکعب)، L طول ستون خاک (سانتی‌متر)، A سطح مقطع ستون خاک (سانتی‌متر مربع)، ΔH اختلاف گرادیان هیدرولیکی بین نقطه خروج آب و سطح آب ثابت شده روی خاک (سانتی‌متر) و ΔT بازه زمانی (ساعت) است.

همچنین هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار افتان از رابطه 2 بدست آمد:

$$K = \frac{2.3 \times a \times L}{A \times t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (2)$$

که در آن K هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)، a سطح مقطع استوانه نگهدارنده

نمونه (سانتی‌متر مربع)، L طول نمونه خاک (سانتی‌متر)، A سطح مقطع نمونه (سانتی‌متر مربع)، t زمان لازم برای جریان آب به حجم مشخص (ساعت)، h_1 بار آبی در شروع آزمایش (سانتی‌متر) و h_2 بار آبی در خاتمه آزمایش (سانتی‌متر) است.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری نتایج برای بررسی و میزان تأثیرگذاری تیمارهای مطالعه شده بر هدایت هیدرولیکی اشباع هر خاک با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه‌های میانگین مربوط به اثر هر یک از تیمارها در هر بافت خاک جداگانه انجام شد و هم-چنین برهم‌کنش اثرات تیمارهای بررسی شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 95 درصد ($p < 0.05$) مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع در هر بافت خاک در جدول 4 آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو بافت لوم رسی سیلتی و لوم شنی اثر منابع بیوچار، سطوح وزنی و کلاس اندازه ذرات بیوچار در سطح آماری یک درصد معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین نتایج

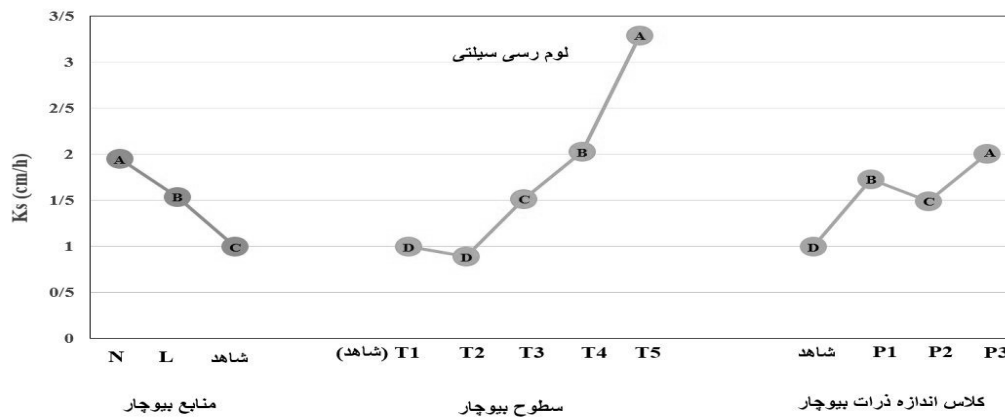
برهم‌کنش در تیمارهای منابع بیوپچار در سطوح آن
 (NL*T) و سطوح بیوپچار در کلاس اندازه ذرات
 (T*P) در هر دو بافت خاک در سطح آماری یک
 درصد معنی‌دار شد.

هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک لوم رسی سیلتی
 مقایسه میانگین اثر تیمارها بر هدایت
 هیدرولیکی اشباع در خاک لوم رسی سیلتی در شکل 1
 آورده شده است.

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس اثر منابع، سطوح و کلاس اندازه ذرات بیوپچار بر هدایت هیدرولیکی اشباع، K_{sat} (cm/h) برای هر کلاس بافت خاک به‌طور مجزا

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات	
کلاس بافت خاک				
لوم رسی سیلتی	لوم شنی			
3/8130**	2/0037**	1	NL	منابع بیوچار
17/2160**	8/9535**	4	T	سطوح بیوچار
2/0145**	3/1396**	2	P	کلاس اندازه ذرات بیوچار
1/5422**	0/6464**	4	NL*T	برهم کنش منابع و سطوح بیوچار
0/0870 ^{ns}	0/1265 ^{ns}	2	NL*P	برهم کنش منابع و کلاس اندازه ذرات بیوچار
0/5740**	0/6942**	8	T*P	برهم کنش سطوح و کلاس اندازه ذرات بیوچار
0/0406 ^{ns}	0/1026 ^{ns}	8	NL*T*P	برهم کنش منابع، سطوح و کلاس اندازه ذرات بیوچار
0/1444	0/0757	60		خطا

*, ** ns به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد و عدم اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشد.



شکل 1- اثر تیمارهای مختلف بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}) در خاک لوم رسی سیلتی (نقاطی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

54 درصدی در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم رسی سیلتی شد. تفاوت در منافذ بیوپچار و شکل ساختمانی بیوپچار مختلف بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک اثر دارد (اوزما و همکاران، 2011). از طرفی با افزایش سطوح بیوپچار صرف‌نظر از نوع بیوپچار و کلاس اندازه ذرات

براساس نتایج به دست آمده، استفاده از بیوپچار، هدایت هیدرولیکی اشباع را در خاک لوم رسی سیلتی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم کاربرد بیوپچار) افزایش داد. در حالت کلی، بیوپچار برگ نخل سبب افزایش 96 درصدی و بیوپچار پوست لیمو سبب افزایش

بیوپچار، هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک با بافت لوم رسی سیلتی افزایش یافت. البته در کاربرد سطح 0/5 درصد وزنی بیوپچار در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد بیوپچار) اثر معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مشاهده نشد، در حالی که کاربرد سطوح 1، 2 و 4 درصد وزنی بیوپچار در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم رسی سیلتی به ترتیب به میزان 51، 104 و 231 درصد شد (شکل 1). در دیگر پژوهش‌ها نیز افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر کاربرد بیوپچار (هرات و همکاران، 2013؛ لیم و همکاران، 2016؛ وانگ و همکاران، 2017؛ اده و همکاران، 2020) گزارش شده است. به عنوان نمونه، کاربرد مقادیر 4، 8 و 16 مگاگرم در هکتار بیوپچار، به ترتیب سبب افزایش 31، 51 و 176 درصدی در هدایت هیدرولیکی یک خاک لوم رسی شد (آسای و همکاران، 2009). همچنین افزایش 82 تا 121 درصد، در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک رسی سیلتی به ترتیب در کاربرد 1/25 تا 5 درصد وزنی بیوپچار کود گاوی گزارش شد (قویلی و همکاران، 2018).

در یک فراتحلیل در کلاس‌های متنوعی از بافت سنگین خاک مشاهده شد که هدایت هیدرولیکی اشباع با افزایش بیوپچار در دامنه 25 تا 328 درصد افزایش یافت که مقدار میانگین این تغییرات 98 درصد به دست آمد (بلانکو کانگی، 2017). بیوپچار سبب اتصال ذرات رس و خاکدانه‌های ریز و ایجاد خاکدانه‌های بزرگ‌تر و پایدارتر می‌شود، سطوح اکسیده شده بیوپچار همچون گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل وظیفه این پیوند را بر عهده دارند (جین و وانگ، 2013). افزودن بیوپچار سبب فراهمی و در دسترس بودن مواد آلی، افزایش ظرفیت نگهداشت آب و جذب عناصر غذایی می‌شود که در نتیجه فعالیت میکروبی را افزایش داده و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر و پایدار را در پی دارد. از آنجا که در خاک‌های با بافت سنگین، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در ارتباط با منافذ درشت خاک است (هرات و همکاران، 2013) تغییرات در منافذ خاک در اثر کاربرد بیوپچار در خاک

رسی سبب تبدیل منافذ ریز و متوسط (0/1-0/01 میکرومتر) به منافذ درشت (4-0/1 میکرومتر) می‌شود (وانگ و همکاران، 2017). نتایج مقایسه میانگین براساس کلاس اندازه ذرات بیوپچار در خاک بافت لوم رسی سیلتی نشان داد که به طور کلی کلاس اندازه ذرات کوچکتر از 0/8 میلی‌متر بیش‌ترین و کلاس اندازه ذرات 2-0/8 میلی‌متر کم‌ترین تأثیر را در افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم رسی سیلتی دارد. اختلاف بین کم‌ترین و بیش‌ترین اثرگذاری مرتبط با کلاس اندازه ذرات بیوپچار در این خاک برابر 34 درصد می‌باشد. از طرفی ذرات بیوپچار با کلاس اندازه 2-0/8 میلی‌متر در مقایسه با سایر اندازه ذرات، کم‌ترین میزان افزایش در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بافت لوم رسی سیلتی را داشتند. ذرات کوچک‌تر بیوپچار به دلیل سطح ویژه بیشتر نقش بیش‌تری در فرآیند خاکدانه‌سازی و ایجاد منافذ درشت و به تبع آن افزایش هدایت هیدرولیکی دارند، از طرفی ذرات بزرگ‌تر بیوپچار به ویژه ذرات بیوپچار بزرگ‌تر از ذرات تشکیل دهنده خاک، با آرایش و چیدمان ناهمگون منافذ خاک سبب افزایش هدایت هیدرولیکی می‌شوند.

به بیان ساده‌تر، از تقابل ذرات درشت بیوپچار با خاک مجموعه‌ای از منافذ درشت و کانال‌های جریان ترجیحی آب ایجاد می‌شود (حسین و همکاران، 2021). در پژوهشی گزارش شد که ذرات بزرگ‌تر از 0/5 میلی‌متر در افزایش میزان تخلخل درشت در ارتباط بودند، که این افزایش تخلخل در نتیجه توزیع و آرایش ذرات بیوپچار است و ارتباطی با منافذ داخلی ذرات بیوپچار ندارد (هرات و همکاران، 2013). اثرگذاری ذرات ریز بیوپچار (کلاس اندازه ذرات بسیار کوچک) در فراهمی شرایط فعالیت ریزجانداران اثرگذار است (سرفراز و همکاران، 2020). مقایسه میانگین برهم‌کنش دوجانبه (اثرات متقابل) به تفکیک نوع بیوپچار در خاک لوم رسی سیلتی در جدول (5) آمده است. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک لوم رسی سیلتی به ترتیب مربوط به تیمار NT2P1 و NT5P3 می‌باشد. به طور

مربوط به تیمار T5P3 به میزان 166 درصد بیشتر از سطح صفر همان بیوچار مشاهده شد. مقایسه میانگین سطوح بیوچار برگ نخل و پوست لیمو ترش (NP*T) در خاک لوم رسی سیلتی نشان داد که در همه سطوح به استثنای سطح 0/5 درصد وزنی بیوچار، بیوچار برگ نخل عملکرد بهتری در افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشته است. به عبارتی در سطوح 1، 2 و 4 درصد وزنی بیوچار، میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع در استفاده از بیوچار برگ نخل به ترتیب 9، 45 و 48 درصد بیشتر از میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تیمار شده با بیوچار پوست لیمو ترش در سطوح مشابه است.

میانگین کاربرد سطوح 1، 2 و 4 درصد وزنی بیوچار در خاک لوم رسی سیلتی سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع به ترتیب به میزان 58، 140 و 295 درصد در خاک تیمار شده با بیوچار برگ نخل و 45، 66 و 166 درصد در خاک تیمار شده با بیوچار پوست لیمو در مقایسه با سطح صفر (شاهد) شد. از طرفی اختلاف معنی دار آماری بین هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمارهای سطوح صفر و 0/5 درصد وزنی در هر دو منبع بیوچار مشاهده نشد. بیش-ترین افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربرد بیوچار برگ نخل مربوط به تیمار T5P3 به میزان 399 درصد بیشتر از سطح صفر همان بیوچار و در بیوچار پوست لیمو

جدول 5- اثر سطوح و کلاس اندازه ذرات بیوچارهای مورد استفاده بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat} (cm/h)) در خاک لوم رسی سیلتی

میانگین	سطوح (درصد وزنی)					کلاس اندازه ذرات بیوچار (میلی متر)	
	T5 (4)	T4 (2)	T3 (1)	T2 (0/5)	T1 (0)		
	بیوچار برگ نخل (N)						
1/915 ^{BA}	3/686 ^b	2/508 ^{cde}	1/662 ^{fghe}	0/725 ⁱ	0/995 ^{*ghi}	P1	(2 – 4)
1/654 ^B	3/147 ^{cb}	2/085 ^{fde}	1/278 ^{fghe}	0/765 ^{hi}	0/995 ^{ghi}	P2	(0/8 – 2)
2/275 ^A	4/962 ^a	2/602 ^{cd}	1/783 ^{fgde}	1/031 ^{ghi}	0/995 ^{ghi}	P3	(کوچکتر از 0/8)
	3/932 ^A	2/398 ^B	1/574 ^C	0/840 ^D	0/995 ^D	میانگین	
بیوچار پوست لیمو (L)							
1/539 ^B	2/657 ^b	1/610 ^{dce}	1/566 ^{de}	0/868 ^f	0/995 ^f	P1	(2 – 4)
1/327 ^C	2/008 ^c	1/525 ^{de}	1/263 ^{fe}	0/846 ^f	0/995 ^f	P2	(0/8 – 2)
1/742 ^A	3/290 ^a	1/824 ^{dc}	1/517 ^{de}	1/084 ^f	0/995 ^f	P3	(کوچکتر از 0/8)
	2/652 ^A	1/653 ^B	1/449 ^B	0/932 ^C	0/995 ^C	میانگین	

* در مورد هر بیوچار، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی دار ندارند.

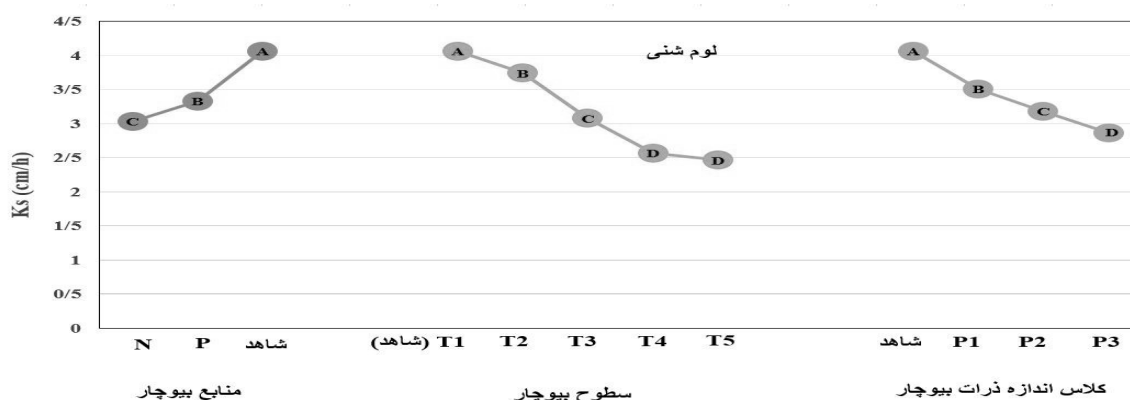
هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک لوم شنی

شکل 2، اثر تیمارها بر هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک لوم شنی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که استفاده از بیوچار، هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک لوم شنی را کاهش داده، که میزان کاهش هدایت هیدرولیکی در کاربرد بیوچار برگ نخل و پوست لیمو ترش در مقایسه با عدم کاربرد بیوچار به ترتیب 34 و 22 درصد است. ذرات بیوچار که به شکل صفحه‌ای هستند به نسبت ذرات کروی و درشت، بیشتر و راحت‌تر در درون منافذ و

اختلاف در میزان افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع ناشی از منابع مختلف بیوچار، اهمیت انتخاب منبع بیوچار کارا تر به منظور کاهش هزینه و افزایش بازدهی و کارایی را پررنگ‌تر می‌کند. از سوی دیگر انتخاب توزیع متناسب کلاس اندازه ذرات بیوچار در سطوح قابل قبول بیوچار در مدیریت هزینه و افزایش راندمان و بهره‌وری بسیار اثرگذار است. یکی از چالش‌های پیش روی کشاورزی مدرن و کارا در بحث اصلاح ساختار فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، انتخاب نوع، سطوح و اندازه ذرات مناسب بیوچار است.

گزارش شده است. در یک مطالعه فراتحلیل از خاک‌های درشت بافت، گزارش شد که کاربرد بیوپچار در خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع را به میزان 7 تا 2270 درصد کاهش داد، که میانگین این تغییرات 392 درصد گزارش شده است (بلانکو کانگو، 2017). هم‌چنین از نتایج شکل 2 چنین استنتاج می‌شود که در شرایط یکسان با کاهش کلاس اندازه ذرات بیوپچار، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی کاهش می‌یابد، به‌طوری که اختلاف این کاهش مابین بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین کلاس اندازه ذرات بیوپچار برابر 23 درصد است. در پژوهشی گزارش شده استفاده از بیوپچار با اندازه ذرات ریز (کوچکتر از 0/251 میلی‌متر) و درشت (2 - 0/825 میلی‌متر) به ترتیب سبب کاهش 72 و 15 درصدی هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک شنی شده است (لیو و همکاران، 2016)

کانال جریان ترجیحی خاک قرار می‌گیرند (گیتینجی، 2014؛ نوک و همکاران، 2016). هم‌چنین با افزایش سطوح بیوپچار صرف‌نظر از نوع بیوپچار و کلاس اندازه ذرات بیوپچار، هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک لوم شنی کاهش پیدا کرد. به‌طور کلی کاربرد سطوح 0/5، 1، 2 و 4 درصد وزنی بیوپچار در مقایسه با شاهد سبب کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی به ترتیب به میزان 9، 32، 58 و 65 درصد شد. از طرفی، میزان کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع بین کاربرد سطوح 2 و 4 درصد وزنی بیوپچار از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل 2). کاهش در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های بافت درشت در اثر کاربرد بیوپچار در تحقیقات سایر محققان (لیم و همکاران، 2016؛ زانگ و همکاران، 2016؛ ابراهیم و همکاران، 2017؛ ویلاگرا مندوزا و همکاران، 2018؛ بایمونده و همکاران، 2019؛ گلوبا و همکاران، 2021) نیز



شکل 2- اثر تیمارهای مختلف بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}) در خاک لوم شنی (نقاطی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد که این میزان کاهش در مقایسه با سطح صفر (شاهد) برای سطوح 0/5، 1، 2 و 4 درصد وزنی از بیوپچار برگ نخل به ترتیب برابر 19، 34، 49 و 103 درصد می‌باشد. از طرفی میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع در سطوح بیوپچار پوست لیموترش رفتاری متفاوت با بیوپچار برگ نخل از خود نشان داد، به‌طوری که در کاربرد بیوپچار پوست لیمو ترش

با توجه به نتایج جدول 6 که مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها به تفکیک نوع بیوپچار در خاک لوم شنی را نشان می‌دهد، مشاهده شد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع مربوط به سطوح صفر (شاهد) و 5 درصد وزنی از کلاس اندازه 2-4 میلی‌متر بیوپچار پوست لیمو است (LT5P2). مقایسه میانگین در بیوپچار نخل نشان داد که با افزایش سطوح بیوپچار،

2 و 4 درصد از کاربرد بیوپچار برگ نخل و پوست لیمو ترش، میزان کاهش میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمارهای بیوپچار برگ نخل به ترتیب 12، 4 و 3 و 64 درصد بیش تر از بیوپچار پوست لیمو ترش بود. از آنجا که هدایت هیدرولیکی اشباع بستگی به اندازه، شکل، توزیع و پیوستگی منافذ دارد (اده و همکاران، 2020)، ذرات ریز بیوپچار می توانند درون منافذ بزرگ خاک (منافذ عبور جریان آب) قرار گیرند و سبب کوچک تر شدن منافذ درشت خاک و ایجاد منافذ ریز (منافذ ذخیره آب) شوند که سرانجام افزایش توان نگهداشت آب در خاک را به دنبال دارد (تریفونویک و همکاران، 2018؛ گلوبا و همکاران، 2021). ذرات آلی بیوپچار ممکن است پیوند بین ذرات بزرگ تر را بهبود ببخشند و تخلخل درشت و کانال های جریان آب را کاهش می دهد (بورل و همکاران، 2016؛ حسین و همکاران، 2021).

با افزایش سطح تا میزان 2 درصد وزنی، هدایت هیدرولیکی رفتار کاهشی نشان داد و با افزایش سطح از 2 درصد به 4 درصد وزنی، نه تنها هدایت هیدرولیکی در خاک لوم شنی کاهش پیدا نکرد بلکه مقداری افزایش یافت، که اختلاف معنی داری با سطح 2 درصد وزنی نداشت. در نتایج مشابه حسین و همکاران (2021) گزارش کردند که استفاده از 15 درصد بیوپچار با اندازه ذرات 4-2/75 میلی متر سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک شنی شد، در صورتی که در سطح مشابه با کلاس اندازه ذرات بیوپچار 0/075-0/150 میلی متر، کاهش در هدایت هیدرولیکی گزارش شده بود. میزان کاهش در میانگین هدایت هیدرولیکی در کاربرد بیوپچار پوست لیمو ترش در سطوح 0/5، 1، 2 و 4 درصد وزنی به نسبت سطح صفر (شاهد) به ترتیب برابر 7، 30، 46 و 39 درصد به دست آمد. به بیان دیگر، در سطوح 0/5، 1،

جدول 6- اثر سطوح و کلاس اندازه ذرات بیوپچارهای مورد استفاده بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat} (cm/h)) در خاک لوم شنی

میانگین	سطوح (درصد وزنی)					کلاس اندازه ذرات بیوپچار (میلی متر)	
	T5 (4)	T4 (2)	T3 (1)	T2 (0/5)	T1 (0)		
بیوپچار برگ نخل (N)							
3/319 ^A	2/738 ^c	2/619 ^c	3/386 ^b	3/766 ^{ba}	4/063 ^{*a}	P1	(2 – 4)
2/998 ^B	1/864 ^{fe}	2/395 ^{dc}	2/916 ^c	3/754 ^{ba}	4/063 ^a	P2	(0/8 – 2)
2/787 ^B	1/413 ^f	2/102 ^{de}	2/784 ^c	3/576 ^{ba}	4/063 ^a	P3	(کوچکتر از 0/8)
	2/005 ^E	2/732 ^D	3/036 ^C	3/699 ^B	4/063 ^A		میانگین
بیوپچار پوست لیمو (L)							
3/699 ^A	3/839 ^{ba}	3/407 ^{bc}	3/409 ^{bc}	3/775 ^{ba}	4/063 ^a	P1	(2 – 4)
3/365 ^B	3/111 ^{dc}	2/745 ^d	3/111 ^{dc}	3/797 ^{ba}	4/063 ^a	P2	(0/8 – 2)
2/936 ^C	1/889 ^e	2/145 ^e	2/859 ^d	3/784 ^{ba}	4/063 ^a	P3	(کوچکتر از 0/8)
	2/926 ^{DC}	2/766 ^D	3/126 ^C	3/785 ^B	4/063 ^A		میانگین

* در مورد هر بیوپچار، میانگین هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی دار ندارند.

هدایت هیدرولیکی اشباع بین این دو کلاس اندازه ذرات، در بیوپچار برگ نخل و پوست لیمو ترش به ترتیب برابر 19 و 26 درصد است. در سایر پژوهش ها اثرپذیری ریزترین کلاس اندازه ذرات در مقایسه با سایر سطوح در کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع گزارش شده است (حسین و همکاران، 2021؛ گلوبا و همکاران، 2021).

مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع بر اساس کلاس اندازه ذرات نشان داد که بیش ترین و کم ترین میزان کاهش هدایت هیدرولیکی هم در بیوپچار برگ نخل و هم در بیوپچار پوست لیمو ترش به ترتیب مربوط به کلاس اندازه ذرات کوچکتر از 0/8 میلی متر و کلاس اندازه 2-4 میلی متر است، که نسبت اختلاف میانگین

نتیجه‌گیری

نتایج کلی پژوهش نشان داد که استفاده از بیوپار به‌عنوان منبع پایدار کربن سبب بهبود هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک شد، بدین‌صورت که استفاده از بیوپار برگ نخل و تفاله لیمو ترش در خاک لوم رسی سیلتی به‌ترتیب سبب افزایش میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان 96 و 54 درصد و همچنین در خاک بافت لوم شنی سبب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان 34 و 22 درصد نسبت به عدم کاربرد بیوپار شد. نتایج، گویای عملکرد بهتر بیوپار برگ نخل در مقایسه با بیوپار پوست لیمو ترش در هر دو بافت خاک از نظر اثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد. اهمیت اصلاح هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با کاربرد بیوپار از آن-جایی پرنگ‌تر می‌شود که عموماً خاک‌های بافت سنگین مشکل زهکشی و فرسایش خاک دارند و نیاز به افزایش سرعت جریان آب درون خاک می‌باشد و در خاک‌های بافت سبک که عموماً مناطق خشک و نیمه خشک را شامل می‌شود، دسترسی به منابع آبی پایدار محدود بوده و کاهش تخلخل درشت خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب، یا به عبارت کلی‌تر، کاهش شدت جریان آب در خاک، در اولویت اصلاح ساختار خاک می‌باشد.

لذا، تشکیل خاکدانه‌های بزرگ در خاک‌های اصلاح شده با بیوپار عاملی اساسی در بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی در خاک بافت سنگین و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک بافت سبک در نتیجه تبدیل منافذ درشت به منافذ ریز از طریق پر شدن منافذ است. پیشنهاد می‌شود علاوه بر اثرات مورد مطالعه، اثرات زمانی و اثرات پارامترهای مبتنی بر فرآیند تولید همچون دما و مدت زمان گرماکافت به‌طور همزمان و همچنین بقایای گیاهی بومی هر منطقه، بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بررسی شود تا اطلاعات جامع‌تری از مقادیر بهینه بیوپار و رفتار بیوپار به منظور اصلاح خاک حاصل شود.

همچنین زائگ و همکاران (2016) گزارش کردند استفاده از ذرات پودری بیوپار به میزان بیش‌تری از ذرات با قطر 5-8 میلی‌متر، هدایت هیدرولیکی اشباع را کاهش می‌دهد. لبرون و همکاران (2018) نیز گزارش کردند که افزایش اندازه ذرات بیوپار، کاهش ظرفیت نگهداشت آب در خاک را در بردارد که اثرگذاری در کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع را تقلیل می‌دهد. از طرفی در پژوهشی دیگر، لیم و همکاران (2016) بیان کردند که به‌طور کلی بیوپار با اندازه بزرگ (60 درصد ذرات بیوپار با قطر بیش‌تر از یک میلی‌متر) نسبت به اندازه ذرات کوچک (60 درصد ذرات بیوپار با قطر کمتر از یک میلی‌متر) به میزان بیشتری به کاهش هدایت هیدرولیکی در خاک شنی منجر می‌شود.

نتایج جدول 6 نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع متأثر از بیوپار برگ نخل در تیمار T3P3 از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای T4P2 و T5P1 ندارد. مشابه همین رفتار در بیوپار پوست لیمو ترش مشاهده شد، به گونه‌ای که تیمارهای T3P3 و T4P2 اختلاف معنی‌دار آماری در کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع نداشته‌اند. همچنین در تیمار T5P1 از بیوپار پوست لیمو ترش علی‌رغم افزایش سطح بیوپار به میزان 4 برابر (400 درصد) نسبت به سطح T3P3، نه تنها هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش پیدا نکرد، بلکه افزایش نیز یافت.

نتایج حاصل از پژوهش اهمیت انتخاب بهینه در پارامترهای بیوپار از منظر نوع بیوپار، سطوح و کلاس اندازه ذرات بیوپار به منظور کاهش هزینه‌های مدیریت خاک و افزایش بهره‌وری و بازدهی را نمایان می‌نماید. فاضلی و همکاران (2020) نشان دادند که اندازه ذرات بیوپار از طریق فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی می‌تواند بر تعامل بیوپار با محیط تحت تأثیر در ارتباط باشد. آنان نتیجه گرفتند که اقدامات بعد از گرماکافت از جمله کلاس‌بندی ذرات بیوپار می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد آن برای یک کاربرد ویژه منجر شود.

فهرست منابع:

1. Ajayi, A. E., Holthusen, D. and Horn, R. (2016). Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar amended soils. *Soil and Tillage Research*, 155: 166–175.
2. Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., ... and Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1-2): 81-84.
3. Baiamonte, G., Crescimanno, G., Parrino, F. and De Pasquale, C. (2019). Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175: 294-303.
4. Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4): 687-711.
5. Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B. and Soja, G. (2016). Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282: 96–102.
6. Carvalho, M. T. M., Madari, B. E., Bastiaas, L., Van Oort, P. A. J., Leal, W. G. O., Heinemann, A. B., Da Silva, M. A. S., Maia, A. H. N., Parsons, D. and Meinke, H. (2016). Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield. *Geoderma*, 276: 7-18.
7. Castellini, M., Giglio, L., Niedda, M., Palumbo, A. D. and Ventrella, D. (2015). Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. *Soil and Tillage Research*, 154: 1-13.
8. Edeh, I. G., Mašek, O. and Buss, W. (2020). A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties—New insights and future research challenges. *Science of the Total Environment*, 714: 136857.
9. Gavili, E., Moosavi, A. A. and Moradi, F. (2018). Assessing cattle manure biochar potential for ameliorating physical soil features and spinach responses under drought stress conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12): 1714-27.
10. Githinji, L. (2014). Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(4), 457-470.
11. Głąb, T., Palmowska, J., Zaleski, T. and Gondek, K. (2016). Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281: 11–20.
12. Gluba, Ł., Rafalska-Przysucha, A., Szewczak, K., Łukowski, M., Szlązak, R., Vitková, J., ... and Usowicz, B. (2021). Effect of Fine Size-Fractionated Sunflower Husk Biochar on Water Retention Properties of Arable Sandy Soil. *Materials*, 14(6): 1335.
13. Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., and Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209: 188-197.
14. Hussain, R., Ghosh, K. K. and Ravi, K. (2021). Influence of biochar particle size on the hydraulic conductivity of two different compacted engineered soils. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
15. Ibrahim, A., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M. I., Nadeem, M., Ok, Y. S. & Al-Omran, A. (2017). Effects of conocarpus biochar on hydraulic properties of calcareous sandy soil: influence of particle size and application depth. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(2): 185-197.
16. Jien, S. H. and Wang, C. S. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110: 225–233.
17. Kapoor, A., Sharma, R., Kumar, A. and Sepehya, S. (2022). Biochar as a means to improve soil fertility and crop productivity: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 1-9.
18. Lal, R. (2004). Carbon sequestration in dry land ecosystems. *Environmental Management*, 33: 528–544.

19. Lebrun, M., Miard, F., Nandillon, R., Hattab-Hambli, N., Scippa, G. S., Bourgerie, S. and Morabito, D. (2018). Eco-restoration of a mine technosol according to biochar particle size and dose application: study of soil physico-chemical properties and phytostabilization capacities of *Salix viminalis*. *Journal of Soils and Sediments*, 18(6): 2188-2202.
20. Liang, C., Gasco, G., Fu, S., Mendez, A., and Paz-Ferreiro, J. (2016). Biochar from pruning residues as a soil amendment: Effects of pyrolysis temperature and particle size. *Soil and Tillage Research*, 164: 3-10.
21. Lim, T. J., Spokas, K. A., Feyereisen, G. and Novak, J. M. (2016). Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, 142: 136-144.
22. Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A., Barnes, R. T., Gallagher, M. E. and Gonnermann, H. (2016). Impacts of biochar concentration and particle size on hydraulic conductivity and DOC leaching of biochar-sand mixtures. *Journal of Hydrology*, 533: 461-472.
23. Lychuk, T. E., Izaurralde, R. C., Hill, R. L., McGill, W. B. and Williams, J. R. (2015). Biochar as a global change adaptation: predicting biochar impacts on crop productivity and soil quality for a tropical soil with the Environmental Policy Integrated Climate (EPIC) model. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8): 1437-1458.
24. Moradi-Choghamarani, F., Moosavi, A. A., Sepaskhah, A. R. and Baghernejad, M. (2019). Physico-hydraulic properties of sugarcane bagasse-derived biochar: the role of pyrolysis temperature. *Cellulose*, 26(12): 7125-7143.
25. Novak, J., Sigua, G., Watts, D., Cantrell, K., Shumaker, P., Szogi, A., ... and Spokas, K. (2016). Biochars impact on water infiltration and water quality through a compacted subsoil layer. *Chemosphere*, 142: 160-167.
26. Sangani, M. F., Abrishamkesh, S. and Owens, G. (2020). Physicochemical characteristics of biochars can be beneficially manipulated using post-pyrolyzed particle size modification. *Bioresource Technology*, 306: 123-157.
27. Sarfraz, R., Yang, W., Wang, S., Zhou, B. and Xing, S. (2020). Short term effects of biochar with different particle sizes on phosphorous availability and microbial communities. *Chemosphere*, 256: 126862.
28. Trifunovic, B., Gonzales, H. B., Ravi, S., Sharratt, B. S. and Mohanty, S. K. (2018). Dynamic effects of biochar concentration and particle size on hydraulic properties of sand. *Land Degradation & Development*, 29(4): 884-893.
29. Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. and Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, 27(2): 205-212.
30. Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L. and Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7): 494-501.
31. Verheijen, F. G., Zhuravel, A., Silva, F. C., Amaro, A., Ben-Hur, M., and Keizer, J. J. (2019). The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma*, 347: 194-202.
32. Villagra-Mendoza, K. and Horn, R. (2018). Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils. *Geoderma*, 326: 88-95.
33. Wang, K., Zhang, X., Sun, C., Yang, K., Zheng, J. and Zhou, J. (2021). Biochar application alters soil structure but not soil hydraulic conductivity of an expansive clayey soil under field conditions. *Journal of Soils and Sediments*, 21(1): 73-82.
34. Wang, M., Moore, T. R., Talbot, J. and Riley, J. L. (2015). The stoichiometry of carbon and nutrients in peat formation. *Global Biogeochemical Cycles*, 29, 1–9.

35. Wong, J. T. F., Chen, Z., Chen, X., Ng, C. W. W. and Wong, M. H. (2017). Soil-water retention behavior of compacted biochar-amended clay: a novel landfill final cover material. *Journal of Soils and Sediments*, 17(3): 590-598.
36. Wong, J. T. F., Chen, Z., Wong, A. Y. Y., Ng, C. W. W. and Wong, M. H. (2018). Effects of biochar on hydraulic conductivity of compacted kaolin clay. *Environmental Pollution*, 234: 468-472.
37. Wong, J. T. F., Chow, K. L., Chen, X. W., Ng, C. W. W. and Wong, M. H. (2022). Effects of biochar on soil water retention curves of compacted clay during wetting and drying. *Biochar*, 4(1): 1-14.
38. Yan, Y., Nakhli, S. A. A., Jin, J., Mills, G., Willson, C. S., Legates, D. R., ... and Imhoff, P. T. (2021). Predicting the impact of biochar on the saturated hydraulic conductivity of natural and engineered media. *Journal of Environmental Management*, 295: 113143.
39. Zhang, J., Qun, C. H. E. N., and Changfu, Y. O. U. (2016). Biochar effect on water evaporation and hydraulic conductivity in sandy soil. *Pedosphere*, 26(2): 265-272.
40. Zhang, Y., Wang, J. and Feng, Y. (2021). The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena*, 202: 105284.

Effect of Particle Size, Amounts, and Sources of Biochar on Saturated Hydraulic Conductivity in Two Texturally Different Soils

A. Yekzaban, A. A. Moosavi¹, A. M. Sameni, and M. Rezaei

Ph.D. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: a.yekzaban@gmail.com

Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
E-mail: aamousavi@gmail.com

Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: majid.baba@gmail.com

Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: mahrooz.rezaei@gmail.com

Received: July, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

Biochar application to agricultural soils has been proposed as a way to increase crop production by improving soil properties. The present study aimed to investigate the effects of sources, amounts, and particle sizes of biochar on saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) in two silty clay loam and sandy loam soils. In this study, palm leaf and lemon peel biochars were pyrolyzed at 500 °C for 3h. The obtained biochar was sorted into three particle sizes of ≤ 0.8 , 0.8-2, and 2-4 mm, mixed into the soils at rate of 0.5%, 1%, 2%, and 4%wt, and incubated in a research glasshouse of Shiraz University for 15 months (2019 to 2020). Results showed that the application of 0.5%, 1%, 2%, and 4% of biochar caused a significant decrease in the mean value of K_{sat} in sandy loam by about 9%, 32%, 58%, and 65%, respectively, and also caused significant increase in the silty clay loam soil (except for 0.5%) by about 51%, 104%, and 231%, respectively, as compared to the control. Compared to lemon peel biochar, palm leaf biochar caused a significant increase in K_{sat} by 42% in the silty clay loam soil, but a significant decrease by 12% in the sandy loam soil. Furthermore, greater effects of the K_{sat} in both soils were observed after application of the fine size fraction of biochar (< 0.8 mm). The highest increase of K_{sat} in the silty clay loam soil and the highest decrease of K_{sat} in the sandy loam soil was observed in the soils treated by 4% of palm leaf biochar with particle size of smaller than 0.8 mm. In general, the results of this study can be used as a guide for selecting the amount and size of the applied biochar in terms of their effects on soil saturated hydraulic conductivity.

Keyword: Soil amendment, Palm leaf, Lemon peel, Sandy loam, Silty clay loam

¹ Corresponding Author: Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Comparison of the Effect of Chloride and Orthophosphate Anions on the Kinetics of Non-Exchangeable Potassium Release in Some Calcareous Soils

M. Barati Zanyani¹, A .R. Hosseinpur, and M. H. Salehi

MSc Student, Shahrekord University; E-mail: marziehbarati99@yahoo.com

Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University; E-mail: hossienpur-a@agr.sku.ac.ir

Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University; E-mail: mehsalehi@yahoo.com

Received: February, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

Arid region soils are generally considered rich in micaceous K minerals. These soils have a significant amount of interlayer K for plant uptake. Availability of nonexchangeable K (NEK) is not only dependent on the quantity of interlayer K, but also on the release rate from the mineral phase in the soil. The aim of this study was to compare the effect of H_2PO_4^- and Cl^- anions on the NEK release kinetics in 10 calcareous soils. The NEK release kinetics was studied by using 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ extractors in a periods of 1-2017 h. The results showed that the NEK release included an initial fast reaction (up to 168 h) and a slow reaction in the two extractants. The mean cumulative NEK released after 168 h in 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ was 220.3 and 137.5 mg.kg^{-1} , respectively. The mean cumulative NEK released after 2017 h in 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ was 391.3 and 252.3 mg.kg^{-1} , respectively. Higher NEK release rate in CaCl_2 than $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ was described by the zero order, simplified Elovich, power function and parabolic diffusion models in CaCl_2 and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ solutions and in both segments. The results of this research showed that anions associated with cation can affect the kinetics of NEK release.

Keywords: Zero order model, Simplified Elovich Model, Power function, Parabolic diffusion model

¹ Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University.

Comparison of the Characteristics and Effects of Commercial Humic Acid Extracted from Cattle and Sheep Manures on Soybean Growth

S. Hosseini¹, M. Hejazi-Mehrizi, M. Sarcheshmehpour, and M. Fekri

M.Sc. student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kerman;

E-mail: hosseini.s1989@gmail.com²

Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kerman;

E-mail: mhejazi@uk.ac.ir

Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kerman;

E-mail: msarcheshmeh@uk.ac.ir

Professor Assistant professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of

Kerman; E-mail: mfekri@uk.ac.ir

Received: April, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

Extraction of humic substances from animal manures can be considered as one of the optimal management solutions for these wastes. This research aimed to identify the characteristics of humic acid from two sources of cattle and sheep manure at two levels of 100 mg and 200 mg and compare their effects with commercial humic acid on the growth of soybeans in a completely random design in greenhouse conditions. Based on the spectrophotometric ratio, E3/E5, the lowest molecular weight was related to humic acid extracted from sheep manure. The infrared spectroscopy results indicated the presence of phenolic hydroxyl, carboxyl, and aromatic ring functional groups in extracted and commercial humic acid. Phenolic OH was abundant in humic acid extracted from sheep manure, and the peak related to aromatic and aliphatic ring was removed in commercial humic acid. The results showed that humic acids extracted from sheep manure in the amount of 200 mg caused 62% increase in the fresh weight of the shoot, 48% in fresh weight of the root; and cattle manure in the amount of 200 mg increased the height of the shoot by 31%. But, the use of commercial humic acid could not influence the mentioned traits. Based on the results of this study, sheep manure can be considered a suitable source for extracting humic acid; and its application to soybean can be recommendable due to its effect on growth indicators, at the rate of 100 mg.

Keywords: Sustainable agriculture, Spectroscopic ratios, Infrared spectroscopy, Humus

¹ Corresponding author; Soil Science Department, Faculty of Agricultural, University of Kerman, Iran

Evaluation of Boron Uptake Efficiency in Lettuce, Spinach and Leaf Beet

F. Akbarnezhad, R. Khorassani¹ and A. Fotovat

PhD student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad;

E-mail: fatemeh.akbarnezhad@mail.um.ac.ir

Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of

Mashhad; E-mail: khorassani@um.ac.ir

Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

E-mail: Afotovat@um.ac.ir

Received: May, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

Boron deficiency is an important disorder that can affect plant growth in calcareous soils. Various plants have different mechanisms of uptake. To investigate the different strategies of plants in increasing the efficiency of boron uptake, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The experiment was conducted with three levels of boron (B_0 , $B_{1.5}$, and B_3 kg/ha) in the form of boric acid and three plant species (spinach, lettuce, and leaf beet). The results revealed that addition of boron enhanced shoot dry matter content in all plants. Lettuce shoot biomass was increased by 32% at B_3 , indicating that lettuce had a greater growth response to boron levels. Differences in boron concentrations in spinach (61.8 mg kg^{-1}) and leaf beets (71.4 mg kg^{-1}) compared to lettuce (31 mg kg^{-1}) at the B_0 level showed the importance of root characteristics and other factors affecting boron solubility and uptake efficiency such as root exudates. The concentration and uptake of boron in spinach were more affected by boron levels compared to lettuce and leaf beet. In spinach, the shoot and root boron concentration increased by 44% and 30%, respectively, and uptake in shoot and root also increased by 53% and 37%, respectively, at B_3 , compared to the control. Generally, different efficiencies of these plants in boron uptake were due to the high boron influx into spinach and leaf beet and low influx into lettuce.

Keywords: Boron fertilization, Influx, Leafy vegetables, Root length, Root surface area

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad; Iran

Investigating the Possibility of Using Enriched Rock Phosphate to Supply Phosphorus in Tea Plantations

H. Besharati¹, H. Doroodian, and K. Shahbazi

Scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran; E-mail: besharati1350@yahoo.com

Assistant Professor, Azad University, Lahijan Branch, Department of Agronomy and Plant Breeding; E-mail: darya717@yahoo.com

Scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran; E-mail: shahbazikarim@yahoo.com

Received: June, 2022 , and Accepted: August, 2022

Abstract

Direct use of rock phosphate is considered as one of the alternatives to superphosphate, however, its use in acidic soils in the north of Iran has received less attention. This experiment was conducted as randomized complete block design. The treatments included: 1) control, 2) triple superphosphate (Tsp) fertilizer (based on soil test), 3) rock phosphate (to the extent that P addition was the same as Tsp), 4) compost at the rate of 10 tons per hectare, 5) rock phosphate+phosphate solubilizing fungi, 6) rock phosphate+phosphate dissolving fungi (Glomos), 7) rock phosphate + 10 tons per hectare compost, 8) rock phosphate + compost + phosphate solubilizing fungi (Pseudomonas), 9) rock phosphate+phosphate solubilizing fungi +compost. The results indicated the possibility of substituting rock phosphate for Tsp in acidic soils of tea plantations, and organic matter plays an important role in better dissolution of rock phosphate by microorganisms in acidic soils. Application of bacteria, fungi, and compost treatments along with rock phosphate significantly increased the yield of green tea leaves as well as soil available P, compared to the control. Also, the concentration of trace elements in treatments containing compost showed a significant increase. The use of rock phosphate alone significantly increased the soil available P compared to the control, but the highest amount of soil P was obtained by simultaneous application of rock phosphate with compost and microorganisms (biofertilizers).

Keywords: Phosphate solubilizing bacteria, Rock Phosphate, Phosphate solubilizing fungi, Mycorrhiza, Tea garden

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Imam Khomeini Boulevard, Meshkin Dasht Road, Karaj, Iran

Response of Safflower Cultivars to Different Levels of Phosphorus in Warm Regions

F. Nourgholipour¹, L. Rezakhani, K. Mirzashahi, H. Naghavi, M. Rajaei, and M. Yahyaabadi

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: nourfg@yahoo.com

Leila Rezakhani, Researcher, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran; E-mail: leila.rezakhani@yahoo.com

Kamran Mirzashahi, Assistant Professor, Dezful Agricultural and Natural Resources Research Center; AREEO, Dezful, Iran; E-mail: kamranmirzashahi@yahoo.com

Hormozd Naghavi, Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Kerman Province; AREEO, Kerman, Iran; E-mail: naghavii@yahoo.com

Associate Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars Province; AREEO, Shiraz, Iran; E-mail: rajaie.majid@yahoo.com

Mojtaba Yahyaabadi, Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan Province; AREEO, Isfahan, Iran; E-mail: yahyabadi@gmail.com

Received: May, 2022 , and Accepted: November, 2022

Abstract

In order to investigate the response of safflower cultivars to different levels of soil P for its optimum use, this study was carried out in Darab, Isfahan, Dezful, and Kerman regions as a factorial experiment with a randomized complete block design in three replications in two cropping seasons (2015-2016). The first factor was cultivar (Padideh and Goldasht cultivars for Isfahan and Darab and Goldasht and Soffe for Kerman and Dezful) and the second factor was different rates of triple super phosphate (TSP) including zero, 50, 100, 150, and 200 kg.ha⁻¹. The soil available phosphorus in Isfahan was 10.2, Darab 11, Kerman 7 and Dezful 7.18 mg kg⁻¹. Based on the results, the effect of cultivar on safflower seed yield in Isfahan and Dezful was significant ($p < 0.01$) and ($p < 0.05$), respectively, but in Darab and Kerman, the difference between the two cultivars was not significant. The effect of TSP rate on grain yield in all four regions was significant ($p < 0.01$). The interaction effect effects of cultivar-phosphorus on the grain yield was significant only in Isfahan region ($p < 0.05$). In Isfahan and Dezful, the highest yield was obtained from the Goldasht at the rate of 50 kg.ha⁻¹, significantly different than the control. In Kerman, the highest seed yield was obtained from Goldasht and at 150 kg ha⁻¹ TSP, significantly different than other treatments. With the application of TSP in Darab, Dezful and Isfahan, 20%, 78%, and 28%, increase in grain yield was observed compared to the control, respectively. The best benefit-to-cost ratio in Darab and Kerman regions was obtained from Goldasht for 100 and 150 kg.ha⁻¹ TSP, respectively, while in Dezful and Isfahan it was obtained for 150 kg ha⁻¹ TSP in Soffeh and Padideh, respectively. In general, for safflower in warm regions with soil available P of 10 mg kg⁻¹, 50 kg.ha⁻¹ TSP and for areas with soil available P of 7 mg.kg⁻¹, 150 kg ha⁻¹ TSP can be recommended.

Keywords: Benefit to cost ratio, Grain yield, Phosphorus fertilizer

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran

Effect of Plant Growth Stimulants on Yield and Yield Components of Canola

M. A. Khodshenas¹, J. Ghadbeiklou, and F. Nourgholipour

Scientific Member, Soil and Water Department, Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Markazi Province, AREEO, Arak, Iran; E-mail: khodshenasm@gmail.com

Scientific Member, Soil and Water Department, AREEO, Arak, Iran; E-mail: ghadbykloo@gmail.com

Scientific Member, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran;

E-mail: nourfg@yahoo.com

Received: May, 2022 , and Accepted: August, 2022

Abstract

Stresses reduce plant yield and production. Growth stimulants can help increase plant yield and resistance to abiotic stresses. For this purpose, the effect of several types of plant growth stimulants on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus L.*) was studied. The experimental design was split-factorial arrangement in randomized complete block design with three replicates. The study was conducted during 2019-21 in Arak Agricultural Research Station. The main variable was planting date (September and October) and the subplots were growth stimulant treatments including amino acid, fulvic acid, seaweed extract, humic acid, their composition, and the control treatment. The results showed that the effect of growth stimulants was significant on grain yield, phosphorus concentration, number of seeds per pod, leaf area, and potassium concentration. Experimental findings showed that the use of growth stimulants in the form of seed coating and foliar spraying at the six-leaf stage and the end of the rosette can be recommended in conditions similar to this study. Soil application of humic acid was effective in germination and six-leaf stages. September planting date was more appropriate than October. Application of growth stimulants on seed yield had a positive and similar effect in September planting, but was more effective in October planting when the plants were exposed to cold stress.

Keywords: Rapeseed nutrition, Humic acid, Seaweed extract, Amino acid, Fulvic acid

¹ Corresponding author: Markazi Agricultural and Resources Research and Training Center, Arak, Iran.

Contents

Subject	Page
Effect of Plant Growth Stimulants on Yield and Yield Components of Canola <i>M. A. Khodshenas, J. Ghadbeiklou, and F. Nourgholipour</i>	15
Response of Safflower Cultivars to Different Levels of Phosphorus in Warm Regions <i>F. Nourgholipour, L. Rezakhani, K. Mirzashahi, H. Naghavi, M. Rajaei, and M. Yahyaabadi</i>	16
Investigating the Possibility of Using Enriched Rock Phosphate to Supply Phosphorus in Tea Plantations <i>H. Besharati, H. Doroodian, and K. Shahbazi</i>	17
Evaluation of Boron Uptake Efficiency in Lettuce, Spinach and Leaf Beet <i>F. Akbarnezhad, R. Khorassani and A. Fotovat</i>	18
Comparison of the Characteristics and Effects of Commercial Humic Acid Extracted from Cattle and Sheep Manures on Soybean Growth <i>S. Hosseini, M. Hejazi-Mehrizi, M. Sarcheshmehpour, and M. Fekri</i>	19
Comparison of the Effect of Chloride and Orthophosphate Anions on the Kinetics of Non-Exchangeable Potassium Release in Some Calcareous Soils <i>M. Barati Zanyani, A .R. Hosseinpour, and M. H. Salehi</i>	20
Effect of Particle Size, Amounts, and Sources of Biochar on Saturated Hydraulic Conductivity in Two Texturally Different Soils <i>A. Yekzaban, A. A. Moosavi, A. M. Sameni, and M. Rezaei</i>	21

Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research Education and Extension Organization

Soil and Water Research Institute Soil Science Society of Iran

**Research and Scientific Journal
Iranian Journal of Soil Research**

**Vol. 36, No. 3
2022**

***Manager-in-Charge:* Hadi Asadi Rahmani, PhD
Director General, Soil and Water Research Institute
Editor-in-Chief: Hamid Siadat, PhD
Professor (Research), Soil and Water Research Institute**

Editorial Board

Mohammad Bybordi, PhD	University Lecturer
Hossein Besharati, PhD	Professor, Soil and Water Research Institute
Mohammad Reza Balali	Assistant Professor (Research), Soil and Water Research Institute
Amir Fotovat, PhD	Professor, Ferdowsi University, Mashhad
Manochehr Gorji, PhD	Professor, Tehran University
Gholamhosien Haghnia, PhD	Professor, Ferdowsi University, Mashhad
Kazem Khavazi, PhD	Professor, Soil and Water Research Institute
Aziz Momeni, PhD	Associate Professor, Soil and Water Research Institute
Mohammad R. Neyshaboori, PhD	Professor, Tabriz University
Mohammad H. Roozitalab, PhD	Associate Professor Agricultural Research, Education and Extension Organization
Hassan Towfighi, PhD	Associate Professor, Tehran University

English Editor: Hamid Siadat
Type and design: Kobra Alinezhad

**Address: P. O. Box: 31785-311, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36208796
Soil and Water Institute Website: www.swri.ir
Journal Website: www.srjournal.areeo.ir**



Soil and Water Research Institute



Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research

(Soil and Water Sciences)

[http:// www.srjournal.areeo.ir](http://www.srjournal.areeo.ir)

Volume 36 \ No. 3 \ 2022

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject	Page
Effect of Plant Growth Stimulants on Yield and Yield Components of Canola <i>M. A. Khodshenas, J. Ghadbeiklou, and F. Nourgholipour</i>	15
Response of Safflower Cultivars to Different Levels of Phosphorus in Warm Regions <i>F. Nourgholipour, L. Rezakhani, K. Mirzashahi, H. Naghavi, M. Rajaei, and M. Yahyaabadi</i>	16
Investigating the Possibility of Using Enriched Rock Phosphate to Supply Phosphorus in Tea Plantations <i>H. Besharati, H. Doroodian, and K. Shahbazi</i>	17
Evaluation of Boron Uptake Efficiency in Lettuce, Spinach and Leaf Beet <i>F. Akbarnezhad, R. Khorassani and A. Fotovat</i>	18
Comparison of the Characteristics and Effects of Commercial Humic Acid Extracted from Cattle and Sheep Manures on Soybean Growth <i>S. Hosseini, M. Hejazi-Mehrizi, M. Sarcheshmehpour, and M. Fekri</i>	19
Comparison of the Effect of Chloride and Orthophosphate Anions on the Kinetics of Non-Exchangeable Potassium Release in Some Calcareous Soils <i>M. Barati Zanyani, A. R. Hosseinpour, and M. H. Salehi</i>	20
Effect of Particle Size, Amounts, and Sources of Biochar on Saturated Hydraulic Conductivity in Two Texturally Different Soils <i>A. Yekzaban, A. A. Moosavi, A. M. Sameni, and M. Rezaei</i>	21