



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 ۳۷ / شماره ۱ سال ۱۴۰۲

عنوان	فهرست	صفحه
تأثیر کمبود آب و مقادیر نیتروژن بر برخی صفات مؤثر بر عملکرد دانه ذرت بهاره در شرایط آب و هوایی خوزستان	۱	پریرسا الهی، شهرام لک و مانی مجدم
بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف کشاورزی بر رطوبت بهینه خاک‌ورزی با استفاده از مدل درخت تصمیم دشت جیرفت	۱۷	حسین شیرانی - فائزه رضانی، سمیه صدر و عیسی اسفندیارپور
اثر نوع بیوچار و زیست توده بر رشد گیاه نعناع فلفلی (<i>piperita L Mentha</i>) در خاک آلوده به کادمیم	۳۳	فهمیه بهاروندی، محمد فیضیان، صمد عبدی و افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی
اثر کروم (VI) بر فعالیت برخی از آنزیم‌های خاک و شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه خرفه (<i>Portulaca Oleracea L.</i>)	۵۱	الهام عزیزی، آتنا میربلوک، راهله رهباریان و آسیه بهداد
بررسی اثر بیوچار ضایعات ساقه زرشک بر آبشویی نترات از یک خاک لومی حاوی ماده آلی	۶۷	علی شهیدی، حسین حمامی و حنان حنفی
تهیه و بررسی ویژگی‌های رس مونتموریلونیت تغییر یافته با سورفکتانت‌ها و تأثیر آن بر فرایند تولید آمونیاک از آرژنین در خاک	۸۱	محبوبه ابوالحسنی زراعتکار و امیر لکزیان

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی
پژوهش‌های خاک

جلد 37 شماره (1)

1402

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر محمد بای بوردی	مدرس دانشگاه
دکتر حسین بشارتی	استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر محمدرضا بلالی	استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر کامبیز بازرگان	دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر حسن توفیقی	دانشیار دانشگاه تهران
دکتر غلامحسین حق نیا	استاد دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر کاظم خاوازی	استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر محمدحسن روزی‌طلب	دانشیار پژوهش سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی
دکتر امیر فتوت	استاد دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر منوچهر گرجی	استاد دانشگاه تهران
دکتر عزیز مؤمنی	دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر محمدرضا نیشابوری	استاد دانشگاه تبریز

دکتر حمید سیادت

کبری علی نژاد

چهار شماره

ویراستار انگلیسی:

تایپ و صفحه آرایی:

تعداد انتشار در سال:

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

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC):
همچنین در پایگاه (ISC) از ضریب تأثیر (IF) برخوردار می‌باشد
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی:
پایگاه سیولیکا

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

www.isc.gov.ir
www.sid.ir
www.civilica

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 3177993545
تلفن و نمابر: 36208796 (026)
آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: www.srjournal.areeo.ir

- تأثیر کمبود آب و مقادیر نیتروژن بر برخی صفات مؤثر بر عملکرد دانه ذرت بهاره در شرایط
 آب و هوایی خوزستان 1
 پریسا الهی، شهرام لک و مانی مجدم
- بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف کشاورزی بر رطوبت بهینه خاک‌ورزی با استفاده
 از مدل درخت تصمیم دشت جیرفت 17
 حسین شیرانی - فائزه رضائی، سمیه صدر و عیسی اسفندیارپور
- اثر نوع بیوچار و زیست توده بر رشد گیاه نعناع فلفلی (*piperita L. Mentha*)
 در خاک آلوده به کادمیم 33
 فهیمه بهاروندی، محمد فیضیان، صمد عبدی و افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی
- اثر کروم (VI) بر فعالیت برخی از آنزیم‌های خاک و شاخص‌های فیزیولوژیک
 و مورفولوژیک گیاه خرفه (*Portulaca Oleracea L.*) 51
 الهام عزیزی، آتنا میربلوک، راهله رهباریان و آسیه بهداد
- بررسی اثر بیوچار ضایعات ساقه زرشک بر آبشویی نیترات از یک خاک لومی حاوی ماده آلی 67
 علی شهیدی، حسین حمای و حنان حنفی
- تهیه و بررسی ویژگی‌های رس مونتموریلونیت تغییر یافته با سورفکتانت‌ها و تأثیر
 آن بر فرایند تولید آمونیاک از آرژنین در خاک 81
 محبوبه ابوالحسنی زراعتکار و امیر لکزیان

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.

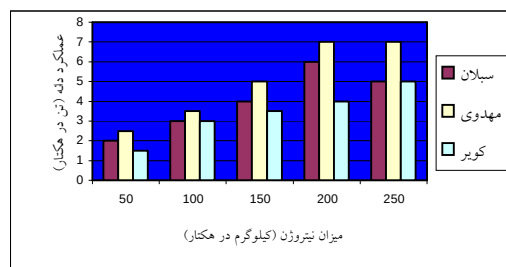
جدول نامناسب

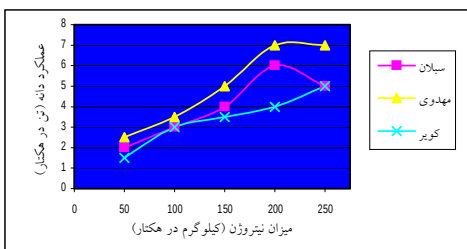
بافت	Mge xch	Kavail .	Pava il	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m- 1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/2	0-30
لومی رسی	305	295	0/6	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	332	0/5	0/21	33	9/5	7/8	60-90

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

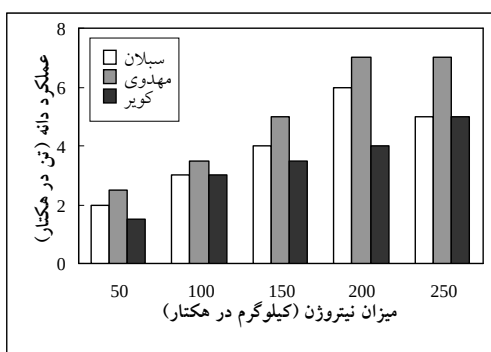
نامناسب



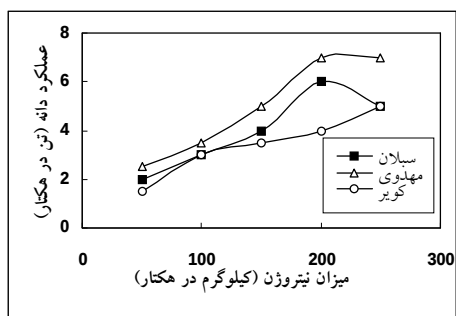


مناسب

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 اول سال 1402

دکتر حسین بشارتی	2 مقاله	دکتر محمدرضا نیشابوری	2 مقاله
دکتر محمدرضا جلال کمالی	1 مقاله	دکتر شادمان ویسی	1 مقاله
دکتر علی رضا جعفرنژادی	2 مقاله	دکتر علی رضا واعظی	1 مقاله
دکتر محمد حاج عباسی	1 مقاله		
دکتر هوشنگ خسروی	1 مقاله		
دکتر طاهره رئیسی	1 مقاله		
دکتر حسن روحی پور	1 مقاله		
دکتر مختار زلفی باوریانی	2 مقاله		
دکتر محسن سیلسپور	3 مقاله		
دکتر عبدالعلی غفاری	1 مقاله		
دکتر مهدی کریمی	1 مقاله		
دکتر کامران میرزاشاهی	1 مقاله		
دکتر محمدرضا مصدقی	1 مقاله		
دکتر فرهاد مشیری	3 مقاله		
دکتر عزیز مجیدی	1 مقاله		
دکتر منصور معیری	1 مقاله		
دکتر سیدعلی موسوی	1 مقاله		
دکتر عزیز مومنی	1 مقاله		
دکتر محمد حسین مهدیان	1 مقاله		

تأثیر کمبود آب و مقادیر نیتروژن بر برخی صفات مؤثر بر عملکرد دانه ذرت بهاره در شرایط آب و هوایی خوزستان

پریسا الهی، شهرام لک¹ و مانی مجدم

گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ Parisa_Elahi@gmail.com

استاد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ Sh.lack50@gmail.com

استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ manimojaddam@yahoo.com

ص 1- 15

دریافت: 1401/8/23 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

آب و نیتروژن از عوامل اصلی مؤثر بر عملکرد محصول هستند. به منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و مقادیر نیتروژن بر برخی صفات مؤثر بر عملکرد دانه ذرت بهاره، تحقیقی در سال زراعی 1393-94 به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری بعد از 130، 95، 60 Error! Bookmark not defined. میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A که حجم کل آب آبیاری در این تیمارها به ترتیب 5140 و 5620، 6435 و 220 کیلوگرم نیتروژن در مترمکعب در هکتار بود) و مقادیر نیتروژن مصرفی در سه سطح (شامل مصرف 80، 150 و 220 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) که به ترتیب در کرت‌های اصلی و فرعی قرار داده شدند. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری بر صفاتی چون شاخص سطح برگ بلال، محتوای رطوبت نسبی برگ، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین کاربرد کود نیتروژن به طور معنی‌داری صفات شاخص سطح برگ و نیتروژن برگ بلال، عملکرد و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار داد. بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری پس از 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و مصرف 220 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با میانگین 763/2 گرم در مترمربع به دست آمد که با آبیاری در تیمار 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و 150 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و بنابر این تیمار اخیر در شرایط آب و هوایی خوزستان پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ذرت، عملکرد بیولوژیکی، نیتروژن برگ ذرت

¹ نویسنده مسئول، آدرس الکترونیکی: Sh.lack50@gmail.com

مقدمه

گیاه ذرت به دلیل داشتن ویژگی‌های مطلوب از جمله سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون به سرعت در تمام دنیا گسترش یافته است. این گیاه در میان محصولات زراعی از نظر عملکرد و میزان تولید در دنیا رتبه اول و از نظر سطح زیر کشت مقام سوم را بعد از گندم و برنج به خود اختصاص داده است (فائو، 2018). با توجه به نیاز کشور به مواد پروتئینی و نیز نقش ذرت در تغذیه دام و طیور ضرورت افزایش تولید این محصول در ایران کاملاً محسوس می‌باشد. برای نیل به این هدف انجام تحقیقات به منظور بهره برداری صحیح از منابع آب و خاک و ظرفیت‌های زراعی مناطق خشک کشور و استفاده از ارقام اصلاح شده ضروری به نظر می‌رسد. یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان محدودیت آب و عدم توزیع صحیح آن در طول فصل رشد می‌باشد. به عبارتی برای تخصیص بهینه آب در تولید گیاهان زراعی باید رابطه‌ای صحیح بین میزان آب به کار برده شده و میزان محصول تولید وجود داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش از 50% افزایش تولیدات غذایی به واسطه استفاده از کودهای شیمیایی می‌باشد.

استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنی سهم قابل توجهی در افزایش تولید جهانی غذا در پنجاه سال اخیر داشته است. با این وجود چالش‌های زیست محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف این عنصر غذایی در کشاورزی لزوم توجه به کارایی مصرف آن را افزایش داده است (کشاورز، 1392). آدامازو و همکاران (2019) با مطالعه اثر تنش رطوبتی بر عملکرد ذرت گزارش کردند که سطوح مختلف تنش آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت داشت. بیشترین میزان عملکرد دانه (5524 کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل حاصل شد. ایسقهوی و همکاران (2022) معتقدند در گیاه ذرت که عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی در شرایط تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافتند.

نیتروژن نخستین عنصری است که کمبود آن در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح می‌شود در این مناطق میزان مواد آلی که عمده‌ترین منبع ذخیره نیتروژن به شمار می‌آیند به دلایلی از جمله دمای بالا، میانگین مصرف کم کودهای حیوانی، کود سبز و بارندگی کم، اندک می‌باشد، بخش عمده‌ای از اراضی جهان (از جمله ایران) در این مناطق واقع شده‌اند و حاصلخیزی خاک‌ها و مدیریت مصرف نهاده‌های شیمیایی به شدت به مسئله آب مربوط می‌شود و در سال‌های اخیر مصرف و مدیریت صحیح استفاده از کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن که علاوه بر رعایت مسائل زیست محیطی موجب ارتقاء کمیت محصولات کشاورزی گردیده متداول‌ترین تحقیقات به زراعی را به خود اختصاص داده است (لک و همکاران، 1386). کاظمی‌زاده و همکاران (1398) با بررسی عملکرد، بهره‌وری مصرف آب (آبیاری کامل و کم آبیاری به اندازه 30 درصد) و کارایی نیتروژن (160 و 200 کیلوگرم در هکتار) در کشت ذرت در استان خوزستان گزارش کردند که شاخص سطح برگ با کاربرد بیشتر نیتروژن در شرایط رطوبتی یکسان افزایش می‌یابد.

افزایش نیتروژن به شرط اینکه آب کافی در دسترس گیاه باشد؛ باعث افزایش وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت می‌شود. مصرف بهینه آب و کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه و در نتیجه افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. عملکرد پایین کشت بهاره و بارندگی بیشتر در دوره کشت پاییزه دلیل کارایی و بهره‌وری بیشتر مصرف آب در کشت پاییزه بود. در شرایط آب و هوایی خوزستان کاربرد ارقام زودرس به جای میان‌رس برای کشت بهاره به دلیل مواجه شدن زمان گرده‌افشانی با گرمای شدید توصیه می‌شود. براساس تحقیقات عمر و همکاران (2022) با بررسی چهار سطح کود نیتروژن (صفر، 50، 100 و 150 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) نشان دادند که کاربرد 50 تا 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار سبب افزایش عملکرد

دانه، میزان پروتئین و میزان نشاسته ذرت گردید.. در شرایطی که گیاه ذرت با تنش رطوبت مواجه باشد لازم است که مدیریت کود و تغذیه به گونه‌ای تغییر یابد که ضمن به‌دست آوردن عملکرد قابل قبول بر بازده مصرف منابع تولید افزوده گردد. این امر از یک طرف از هزینه تولید ذرت می‌کاهد و از طرف دیگر ممکن است از مصرف بی‌مورد نیتروژن که با افزایش عملکرد همراه نیست جلوگیری به عمل آورد (مجدم و مدحج، 1391). با توجه به اینکه 90 درصد اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند کمبود نیتروژن و تنش خشکی به‌ویژه در استان خوزستان با توجه به درجه حرارت بالا، مشهودتر است. این تحقیق با توجه به چالش‌های موجود درکشور و منطقه در رابطه با میزان مصرف کود نیتروژن در شرایط وقوع تنش رطوبتی (در صورت محدودیت منابع آبی منطقه) جهت رسیدن به یک بهره‌وری مناسب از نیتروژن و آب در کشت بهاره ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی 94-1393 در شهرستان اهواز با طول جغرافیایی 48 درجه و 40 دقیقه شرقی و عرض

جغرافیایی 31 درجه و 20 دقیقه شمالی و ارتفاع 22/5 متری از سطح دریا اجرا شد. به‌طور کلی آب و هوای خوزستان خشک و نیمه خشک، دارای تابستان گرم و خشک و طولانی است. دوره‌های بارندگی معمولاً بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت بوده که در مناطق شمال جلگه خوزستان میزان بارندگی بیشتر و در مناطق جنوبی و شرقی کمتر و محدودتر است. مجموع بارندگی در منطقه اهواز، 176/4 میلی‌متر، کمترین و بیشترین درجه حرارت به ترتیب 2 و 50 درجه، متوسط دما 25/1 درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر سال زراعی نیز 268/15 میلی‌متر برآورد گردید (آمار نامه هواشناسی، 1393). به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کاشت از اعماق 0-30 و 30-60 سانتی-متری خاک از پنج قسمت از خاک مزرعه نمونه‌برداری به‌عمل آمد و پس از خرد کردن کلوخه‌ها، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری گذرانده شدند و در نهایت یک نمونه مرکب تهیه شد. نمونه‌ی مرکب در آزمایشگاه از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	رسانایی الکتریکی (dSm ⁻¹)	pH	درصد اشباع	مواد آلی (%)	عناصر قابل جذب (ppm)			درصد اجزاء خاک			بافت خاک
					N	P	K	رس	لای	شن	
0-30	4/2	7/4	51/97	0/624	6/78	9/3	120/12	45	16	41	رسی لومی
30-60	6/2	7/2	55/94	0/702	3/99	7/4	91/4	44	15	42	رسی لومی

این آزمایش از 27 کرت تشکیل شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول پنج متر و فاصله بین خطوط کاشت (پشته‌ها) 0/75 متر و دارای عرض 4/5 متر و فاصله دو تکرار (بلوک) از هم دو متر بود. فاصله کرت‌های اصلی معادل سه خط نکاشت و فاصله میان کرت‌های فرعی دو خط نکاشت در نظر گرفته شد. تحقیق به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل

تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد مطالعه شامل رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری بعد از 60 (شاهد)، 95 و 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیرکلاس A) در کرت‌های اصلی و کود نیتروژن در سه سطح (شامل مصرف 80، 150 (شاهد) و 220 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. فاصله بذرها بر روی پشته با در نظر گرفتن تراکم 75/000 بوته در

هکتار، 17 سانتی متر محاسبه گردید. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم با گاو آهن برگردان دار و تکمیل آن با دیسک دو طرفه عمود بر هم و عملیات تسطیح با ماله و ایجاد نهر و جوی پشته با فاصله ای مناسب بود. پس از تسطیح نهایی نقشه آزمایش پیاده گردید. تکرارها به وسیله نهرکن از هم جدا شده و فاروها با استفاده از شیار بازکن ایجاد شد. برای تأمین نیتروژن مورد نیاز برای تیمارهای 80، 150 و 220 کیلوگرم نیتروژن در هکتار از کود اوره (46 درصد) استفاده شد. کود اوره برای هر کرت به صورت قبل از کاشت (پایه) و 50 درصد آن در مراحل رویشی (5 و 6 برگی) به صورت سرک مصرف شد. میزان

کود فسفر نیز براساس مصرف 60 کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپر فسفات تریپل در هنگام تهیه زمین مصرف شد. بذور ذرت هیبرید سینگل کراس 704 قبل از کشت به وسیله قارچ کش کربوکسین تیرام ضد عفونی شدند. بذور در اواخر بهمن 1393 به صورت دستی روی پشته ها در عمق چهار سانتی متری خاک کشت شدند. اولین آبیاری یک روز بعد از کشت انجام شد. از زمان کاشت تا مرحله استقرار گیاهچه (مرحله چهار تا پنج برگی) آبیاری ها به صورت معمول انجام شد و سپس تیمارهای آبیاری بر اساس تبخیر از تشت صورت گرفت. حجم آب آبیاری مورد نیاز هر تیمار در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 3- حجم آب آبیاری در مطالعه ذرت

تیمار	حجم کل آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)
آبیاری پس از تخلیه 30 درصد ظرفیت زراعی	6435
آبیاری پس از تخلیه 40 درصد ظرفیت زراعی	5620
آبیاری پس از تخلیه 50 درصد ظرفیت زراعی	5140

کم در آب مقطر قرار داده شدند، سپس وزن نمونه های برگ در حالت آماس (تورژسانس) اندازه گیری و به جهت تعیین وزن خشک به مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سانتی گراد آون قرار گرفتند. سپس با استفاده از رابطه زیر میزان آب نسبی برگ بر حسب درصد محاسبه گردید (رهنما، 2006).

$$RWC = (W_f - W_d / W_s - W_d) \times 100 \quad (2)$$

W_f = وزن تر برگ W_d = وزن خشک برگ W_s = وزن اشباع برگ

میانگین درصد لوله شدن برگ با استفاده از خط کش میلی متری در مزرعه از طریق زیر محاسبه گردید (سانوکا و آگاتا، 1996).

$$100 \times \text{بیشترین عرض پهنک برگ در حالت پیچ}$$

$$= \frac{\text{خوردگی}}{\text{بیشترین عرض پهنک همان برگ در شرایط طبیعی}} \times 100$$

بدون پیچ خوردگی (درصد)

گیاهچه های ذرت در مرحله شش برگی کامل، تنک شدند. کنترل علف های هرز به صورت وجین دستی انجام و جهت مبارزه با آفات و بیماری های از سموم مؤثر و سمپاش استفاده گردید. برای محاسبه سطح برگ ها در مرحله گلدهی، پنج بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و با استفاده از رابطه زیر محاسبه و به واحد سطح تعمیم داده شد (کوچکی و سرمندیا، 1384).

(1)

$$A = W \times L \times 0.175$$

A = سطح برگ بر حسب سانتی متر مربع، L و W = به ترتیب حداکثر طول و عرض برگ در پهن ترین قسمت. به منظور اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، نمونه برداری قبل از انجام آبیاری از تمام کرت ها در مرحله گلدهی و از برگ پرجم صورت گرفت. از نمونه ها دیسک های برگ به قطر یک سانتی متر تهیه و وزن تر آنها تعیین شد. این نمونه ها به مدت چهار ساعت در شدت نور

از چوب آن‌ها جدا گردیدند. دو نمونه 500 تایی از این دانه‌ها داخل آون 72 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت قرار گرفت سپس وزن گردید. در صورتی که اختلاف دو نمونه کمتر از 5 درصد بود مجموع وزن دو نمونه به عنوان وزن هزار دانه محاسبه گردید. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، به صورت درصد، محاسبه گردید.

تجزیه واریانس داده‌ها، در قالب طرح اسپلیت پلات و با نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری و نیتروژن و برهمکنش تیمارها قرار گرفت (جدول 3). بررسی اثرات متقابل تیمارها نشان داد پایین‌ترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار آبیاری بعد از 130 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) و 80 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 2/5 و بیشترین شاخص سطح برگ به تیمار آبیاری بعد از 60 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) و 220 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 4/4 تعلق داشت (جدول 5). این وضعیت احتمالاً ناشی از اختلال در فرآیند جذب نیتروژن توسط گیاه تحت شرایط کمبود رطوبت بود. ساکی‌نژاد (1382) نیز گزارش نمود که کمبود شدید آب در خاک موجب محدودیت توانایی گیاه جهت جذب نترات از خاک می‌شود. به‌نظر می‌رسد در تیمار آبیاری بعد از 130 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، سطح برگ و سرعت تنفس در طول فرآیند تنظیم سطح برگ کاهش یافته و علاوه بر این افزایش غلظت مواد قندی بافت‌ها در شرایط کمبود آب، باعث کاهش پتانسیل یونی آب برگ شده که ممکن است روی غشای سلولی تأثیر گذاشته و

برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن با استفاده از روش کج‌دال میزان معینی از نمونه را با استفاده از اسیدسولفوریک غلیظ (عامل اکسیدکننده) سولفات سدیم انیدر (بالا آورنده نقطه جوش محلول) و یک کاتالیزور هضم می‌شود. در نتیجه عمل هضم، نیتروژن ماده غذایی به جز نیتروژن نترات‌ها و نیتريت‌ها به سولفات آمونیوم تبدیل می‌شود که بعد از حرارت دادن آن با هیدروکسید سدیم در مجاورت بخار به گاز آمونیاک تبدیل می‌گردد و گاز آمونیاک در محلول اشباع اسید بوریک جمع‌آوری می‌گردد. سپس با تیتراسیون توسط اسیدکلریدریک استاندارد بورات آمونیوم اندازه‌گیری شده و میزان نیتروژن تخمین زده می‌شود (کینی و نلسون، 1982). رسیدگی دانه‌ها با ایجاد لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی انجام گرفت. نمونه‌برداری با حذف 50 سانتی‌متر از ابتدا و انتهای خطوط چهار، پنج و شش انجام گرفت. سطح برداشت نهایی معادل دو مترمربع بود. محصول کل هر کرت ابتدا بسته‌بندی و اتیکت‌گذاری شد و جهت انجام اندازه‌گیری‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه بال‌ها جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دانه جدا شدند.

جهت تعیین درصد رطوبت اندام‌های مختلف، دانه و محاسبه عملکرد ماده خشک کل و دانه، نمونه‌های تصادفی از محصول بخش‌های مختلف و دانه هر کرت برداشت و در دمای 72 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت در دستگاه آون خشک گردید. عملکرد دانه ذرت نیز در رطوبت 14 درصد محاسبه شد. اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بالال، تعداد دانه در بالال، و وزن هزار دانه با استفاده از بالال‌های موجود در سطح برداشت نهایی محاسبه گردید. تعداد ردیف در بالال‌های برداشت شده از هر کرت و تعداد دانه در ردیف بالال‌های برداشت شده از هر کرت شمارش و یادداشت گردید و از حاصل ضرب این دو مولفه، تعداد دانه در بالال به‌دست آمد. پس از جدا کردن غلاف بالال‌های برداشت شده از هر کرت، دانه‌های آن‌ها با دقت

کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی را در پی داشته و منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود. با افزایش تنش کمبود آب، اسمولیت‌ها با صرف انرژی زیاد در گیاه تجمع یافته و در نتیجه انرژی که می‌توانست برای رشد و توسعه برگ‌ها استفاده شود (ماهپارا و همکاران، 2014) که با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت.

میزان لوله شدن برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان لوله شدن برگ تنها تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت و اثر نیتروژن و برهم کنش تیمارها بر این صفت معنی دار نبود (جدول 3). بیشترین میزان لوله شدن برگ به تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) (با میانگین 29/05 درصد) و کمترین مقدار این مؤلفه هم به تیمار آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) (با میانگین 7/1 درصد) تعلق داشت (جدول 4). یکی از راه‌های مقابله با تنش کمبود آب در گندمیان، پیچش یا لوله شدن برگ‌ها می‌باشد. سازوکار این عمل مربوط به کاهش فشار آماس در سلول‌های بادکنکی (بالیفورم) است که در طول رگبرگ اصلی پهنک برگ‌ها قرار دارند، در هنگام بروز خشکی این سلول‌ها آب از دست داده و سبب پیچش و عمودی شدن برگ‌ها می‌شوند که در نتیجه آن جذب نور کاهش می‌یابد (ساکی‌نژاد، 1382).

باعث کاهش رشد برگ و نیز کاهش شاخص سطح برگ شود (ساه و همکاران، 2020). از سویی دیگر، در پتانسیل پایین آب برگ، شروع تشکیل برگ در مریستم‌ها و توسعه بعدی سطح برگ کاهش می‌یابد (کوچکی و سرمدنیا، 1384). آل‌کایسی و بین (2003) در آزمایشی بر روی ذرت نتیجه گرفتند که کمبود آب در مرحله رویشی گیاه، شاخص سطح برگ را کاهش داد که با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت. از طرفی مصرف کود نیتروژن سبب افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ شد (نعمتی و سیدشریفی، 2012). همچنان‌که مطالعات آدرنادیم و همکاران (2009) در گیاه ذرت نشان داد که کود نیتروژن اثر مثبت و معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشته است به طوری که حداکثر و حداقل شاخص سطح برگ به ترتیب با کاربرد 150 و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد.

میزان رطوبت نسبی برگ بلال

میزان رطوبت نسبی برگ بلال تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت، اما اثر نیتروژن و برهمکنش تیمارها بر این مؤلفه معنی دار نبود (جدول 3). بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ بلال در تیمار آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) با میانگین 88/5 درصد و کمترین نیز در تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) با میانگین 74/5 درصد مشاهده شد (جدول 4). کم بودن محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A را می‌توان به رابطه‌ی نزدیک این مؤلفه با پتانسیل آب گیاه نسبت داد (انیل و همکاران، 2006). تنش کم آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه‌ی برگ‌ها به دلیل کاهش فتوسنتز و مصرف سریع مواد فتوسنتزی می‌شود (نوروزی و همکاران، 1401). همچنین تنش شدید کمبود آب باعث افزایش دمای برگ و در نتیجه پژمردگی، پیچیدگی و پیری زودرس برگ‌ها شده که این وضعیت

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد مطالعه در ذرت دانه‌ای

منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	میزان رطوبت نسبی برگ	میزان لوله شدن برگ	نیترژن برگ بلال	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	2	0/002	34/5	11/6	1009/1	1038/1	94/7	4666	785	34/5
دور آبیاری	2	0/9*	40/5**	101/4*	95/1**	15160/3**	1024/9*	59896**	77117**	109/5**
خطای اصلی	4	0/1	3/8	13/6	1/9	190/6	82/1	641	3534	3/8
مقادیر کود نیترژن	2	0/1*	3/7 ^{n.s}	10/1 ^{n.s}	79/6**	2524/8**	242/2*	12764**	22518**	17/7*
دور آبیاری × مقادیر کود نیترژن	4	0/1*	2/5 ^{n.s}	4/6 ^{n.s}	30/1**	2179/8**	100/04 ^{n.s}	6287**	7337**	6/5 ^{n.s}
خطای فرعی	12	0/04	2/9	7/4	0/2	210/9	54/9	363	761	2/9
ضریب تغییرات (CV%)		5/7	2/1	16/5	19/7	3/4	2/9	2/6	2/1	4/2

ns، * و ** به ترتیب بیانگر تفاوت غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد می‌باشد.

جدول 4- نتایج مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ذرت تحت تأثیر دور آبیاری و مقادیر کود نیتروژن

تیمارها	شاخص سطح برگ	میزان رطوبت نسبی برگ (درصد)	میزان لوله شدن برگ (درصد)	نیتروژن برگ بلال (درصد)	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)	شاخص برداشت (درصد)
دور آبیاری									
آبیاری بعد از 60 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A	4/3 a	88/5a	7/1°	2/5a	495/7 a	186/8 a	685/3 a	1515/4 a	45/2 a
آبیاری بعد از 95 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A	3/5 b	80/3 b	13/3 b	2/3 b	431/8 b	167 b	533/6 b	1264/9 b	42/2 a
آبیاری بعد از 130 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A	2/63 c	74/5 c	29/05 c	1/9 c	327/9 c	152/5 c	370/2 c	1031/9 c	35/8 b
مقادیر کود نیتروژن									
80 کیلوگرم در هکتار	3/1 b	80/5 a	16/2 a	2/1 b	375/6 b	155/6 b	432/07 b	1165/5 b	37/07 a
150 کیلوگرم در هکتار	3/5 a	81/3 a	16/6 a	2/3 a	435/7 a	174/4 a	562/4 a	1308/6 a	42/9 a
220 کیلوگرم در هکتار	3/6 a	82/2 a	16/ 6 a	2/3 a	444/07 a	176/3 a	579/4 a	1337/9 a	43/3 a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد نیستند.

جدول 5- نتایج مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ذرت تحت تأثیر اثرات متقابل دور آبیاری و مقادیر کود نیتروژن

عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	تعداد دانه در بلال	نیتروژن برگ بلال (درصد)	شاخص سطح برگ	مقادیر کود نیتروژن	دور آبیاری
1331/6 b	566/07 b	437/02 b	2/5 b	3/7 b	80 کیلوگرم در هکتار	آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A
1587/4 a	734/6 a	519/1 a	2/6 a	4/3 a	150 کیلوگرم در هکتار	
1627/2 a	763/2 a	530/9 a	2/7 a	4/4 a	220 کیلوگرم در هکتار	
1149/1 c	410/3 c	378/6 c	2/3 c	3/1 bc	80 کیلوگرم در هکتار	آبیاری بعد از 95 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A
1306/6 b	594/5 b	455/6 b	2/4 b	3/6 b	150 کیلوگرم در هکتار	
1339/1 b	608/4 b	461/2 b	2/5 b	3/8 b	220 کیلوگرم در هکتار	
1016 d	335/4 d	311/2 d	2/02 d	2/5 d	80 کیلوگرم در هکتار	آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A
1032/1 d	383/3 d	332/5 d	2/04 d	2/6 d	150 کیلوگرم در هکتار	
1047/8 d	393/6 d	339/9 d	2/04 d	2/6 d	220 کیلوگرم در هکتار	

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد نیستند.

نیتروژن برگ بلال

بنابر نتایج جدول (3)، تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و کود نیتروژن و برهمکنش آن‌ها بر نیتروژن برگ بلال معنی‌دار بود. بیشترین نیتروژن برگ بلال به تیمار آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) و 220 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 2/7 درصد و کم‌ترین مربوط به تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) و 80 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 2/02 درصد اختصاص داشت (جدول 5). در شرایطی که آب در خاک به اندازه کافی فراهم باشد افزایش مصرف نیتروژن با افزایش جذب این عنصر همراه خواهد بود، درحالی‌که کاهش فراهمی آب در خاک با ایجاد اختلال در جذب نیتروژن، باعث کاهش درصد نیتروژن در برگ می‌شود.

یکی از زیان‌بارترین اثرات تنش خشکی، اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی است که علاوه بر تلفات کود، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (نوروزی و همکاران، 1401). در صورت کاهش رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد، اگر چه برخی از سیستم‌های انتقالی عناصر نظیر انتشار، به مقدار رطوبت کم‌تری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و در این راستا، با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی نیز روند جذب و انتقال برخی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه می‌یابد ولی برخی دیگر از جمله جریان توده‌ای، وابستگی زیادی به مقدار رطوبت دارند و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که توسط این جریان انتقال می‌یابند، روند جذب منفی خواهند داشت (تایز و زایگر، 1998). در همین راستا رضایی سوخت‌آبدانی و همکاران (2020) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه و نیتروژن برگ بلال در دور آبیاری 75 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و مصرف 240 کیلوگرم نیتروژن در سه تقسیط (50 درصد در زمان کاشت، 25 درصد در

مرحله 6 تا 8 برگی و 25 درصد در مرحله 10 تا 12 برگی) به‌دست آمد. لویس و همکاران (2001) گزارش نمودند با افزایش مصرف نیتروژن، درصد نیتروژن برگ بلال به‌صورت خطی افزایش یافت. آن‌ها اظهار داشت برای جذب نیتروژن، این عنصر باید در محلول آب خاک حرکت کند تا به ریشه برسد، از این رو تأمین میزان آب مناسب یکی از کارآترین شیوه‌های حرکت نیترات به سمت ریشه‌ها از طریق جریان توده‌ای می‌باشد.

تعداد دانه در بلال

تعداد دانه در بلال تحت تأثیر تنش کمبود آب و کود نیتروژن و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 3). پایین‌ترین تعداد دانه در بلال مربوط به تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) و 80 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 311/2 و بیشترین تعداد دانه در بلال به تیمار آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) و 220 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 530/9 تعلق گرفت (جدول 5). تأثیر مثبت افزایش مصرف نیتروژن بر تعداد دانه در بلال در شرایط آبیاری مطلوب، احتمالاً ناشی از جذب مناسب این عنصر در رژیم مطلوب رطوبتی خاک بوده است، می‌توان کم بودن تعداد دانه در بلال در تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A را با کاهش پتانسیل آب خاک و کم شدن آب مصرفی و نیز کمتر شدن طول و قطر بلال مرتبط دانست.

همچنان‌که هانون و کافکا (2004) نشان دادند که با کمبود رطوبت خاک در مراحل اولیه رشد گیاه ذرت، بلال و تعداد دانه در بلال کاهش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. قطاوی و همکاران (1390) اظهار داشت مهم‌ترین جزء عملکرد دانه، تعداد دانه است. نتایج تحقیقات بسم‌اله‌خان و همکاران (2001) نشان داد که تنش آبی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت مانند تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه را کاهش داد. افزایش مصرف

نیترژن، رقابت گیاهان برای جذب نیترژن کاهش داده و در نتیجه تعداد دانه در بلال بیشتر شد. این نتایج با یافته‌های عمر و همکاران (2022) که گزارش کردند افزایش تعداد دانه در بلال، متناسب با افزایش میزان نیترژن است مطابقت داشت. در مقابل کمبود عناصر غذایی به‌ویژه نیترژن، در زمان گلدهی باعث می‌شود دانه‌های کمتری تشکیل شوند. همچنان‌که مهبول آلام و همکاران (2003) گزارش کرد تأثیر نیترژن بر تعداد دانه ذرت مثبت و کمبود نیترژن در طول مرحله سبز شدن تا گسترش برگ‌های شش و هفت، تعداد دانه در بلال را کاهش می‌دهد که این نتایج با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مطابقت داشت.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به طور معنی داری تحت تأثیر تنش کمبود آب و کود نیترژن قرار گرفت ولی اثر متقابل تیمارها بر این مولفه معنی‌دار نبود (جدول 3). بیشترین وزن هزار دانه در تیمار آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تست تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) با میانگین 186/8 گرم و کمترین وزن هزار دانه مربوط نیز در تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تست تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) با میانگین 152/5 گرم مشاهده شد (جدول 4). برخورد دوره پرشدن دانه با تنش رطوبتی در تیمارهای تنش آب و کوتاه شدن این دوره به دلیل کاهش دوام سطح برگ عامل اصلی کاهش وزن دانه بود. در همین رابطه قاسمی‌گلدانی و همکاران (2018) گزارش نمودند اعمال تنش آبی سه هفته بعد از گرده‌افشانی در گیاه ذرت بدلیل تأثیر منفی آن بر فتوسنتز برگ و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها باعث کاهش وزن هزار دانه گردید. همچنین لک و همکاران (1386) معتقدند کاهش وزن هزار دانه در تنش شدید خشکی را می‌توان به کمتر بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای قبل از مرحله گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی و کاهش دوام سطح برگ در گیاهان تحت تیمار که در نتیجه دوره پر

شدن را کوتاه نموده، نسبت داد. با افزایش کاربرد نیترژن، وزن هزار دانه به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول 3). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار 220 کیلوگرم در هکتار کود نیترژن با میانگین 176/3 گرم بود (جدول 3). تأمین نیازهای گیاه (از لحاظ نور، آب و مواد غذایی) در طی دوره کاکل‌دهی و کمی پس از آن و همچنین در طی دوره پرشدن دانه بر تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه اثرات مثبتی دارد (موسانایی و همکاران، 2017). در همین راستا مهبول‌آلام و همکاران (2003) گزارش نمودند با افزایش مصرف نیترژن از صفر تا 90 کیلوگرم در هکتار، وزن هزار دانه همگام با افزایش عملکرد دانه در واحد سطح افزایش یافت. از طرفی هانان و همکاران (2008) اظهار داشتند که فراهمی کود نیترژن در مراحل رشد زایشی و عدم تنش کمبود مواد غذایی منجر به افزایش وزن هزار دانه می‌شود. آن‌ها علت این امر را به افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به تبع آن به افزایش در فرایند فتوسنتز نسبت دادند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

عملکرد دانه

میان سطوح مختلف آبیاری و نیترژن و اثر متقابل این تیمارها از نظر عملکرد دانه به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول 3). پایین‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تست تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) و 80 کیلوگرم در هکتار کود نیترژن به میزان 335/4 گرم در مترمربع و بیشترین عملکرد دانه به تیمار آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تست تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) و 220 کیلوگرم در هکتار کود نیترژن به میزان 763/2 گرم در مترمربع بود (جدول 5). به‌نظر می‌رسد این وضعیت ناشی از کاهش جذب و افزایش هدر روی نیترژن در شرایط کمبود آب در خاک بوده است. جذب نیترژن به‌طور مؤثری تحت تأثیر آب قابل استفاده در خاک قرار می‌گیرد و افزایش رطوبت خاک عملکرد ذرت

را در پاسخ به نیتروژن مصرفی افزایش داده است (کافی و همکاران، 2009). رضایی سوخت آبدانی و همکاران (2020) در تحقیقات خود نشان دادند که افزایش هم زمان رطوبت خاک و نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه می شود و در صورت تنش رطوبتی افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد دانه را به مقدار کم افزایش می دهد. همچنین مجدم و همکاران (1386) بیان کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی دار عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد می گردد و افزایش کود نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی عملکرد دانه و بیولوژیک را به طور معنی داری افزایش می دهد که با یافته های حاصل از این تحقیق مطابقت داشت.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک به طور معنی داری تحت تأثیر تنش کمبود آب، کود نیتروژن و برهمکنش آن ها قرار گرفت (جدول 3). بیشترین عملکرد بیولوژیک به تیمار آبیاری بعد از 60 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) و 220 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 1627/2 گرم در مترمربع و پایین ترین مربوط به تیمار آبیاری بعد از 130 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) و 80 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان 1016 گرم در مترمربع تعلق داشت (جدول 5). دلیل افزایش تولید کل ماده خشک در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب در مقادیر بیشتر مصرف نیتروژن، گسترش بیشتر و تداوم بهتر سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید (لک و همکاران، 1386). افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب، به دلیل گسترش بیشتر و تداوم بهتر سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی قوی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید. در شرایط کمبود آب به علت الفا هورمون آبسازیک اسید، روزه ها بسته

می شوند تا بدین طریق گیاه تعرق خود را پایین نگه دارد و هدایت روزه های کاهش یابد. این امر منجر به کاهش جذب دی اکسید کربن و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک می گردد (غلامی سالکویه و همکاران، 1390). در اثر کمبود نیتروژن به علت کاهش شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، نسبت فتوسنتز گیاه زراعی همچنین عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش می یابد (موسانایی و همکاران، 2017). نتایج مطالعه برانس و عباس (2005) نیز نشان داد که بالاترین میزان ماده خشک در واحد سطح از بالاترین مقدار نیتروژن بدست آمد. به طوری که با افزایش نیتروژن از صفر به 150 کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد ماده خشک افزایش یافت که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت، اما میان سطوح مختلف مصرف نیتروژن و برهم کنش تیمارها از لحاظ این صفت اختلاف معنی دار نبود (جدول 3). در تیمار آبیاری بعد از 60 میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) شاخص برداشت (با میانگین 45/2 درصد) به طور معنی داری نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود (جدول 4). عدم معنی دار شدن شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری مطلوب با تنش ملایم خشکی در این تحقیق نشان دهنده آن بود که در شرایط تنش موقت خشکی نه تنها مواد تولید شده در کل اندام گیاه کمتر بود بلکه اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی نیز به همان نسبت کاهش یافت. در همین راستا آدامزو و همکاران (2019) کاهش شاخص برداشت در سطوح مختلف تنش خشکی را به کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک نسبت داده اند. این محققین اظهار داشتند که در شرایط تنش اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه کمتر و این موضوع سبب کاهش عملکرد دانه و کاهش شاخص برداشت می شود. این نتایج با یافته های حاصل از این تحقیق مطابقت داشت.

رضایی سوخت‌آبدانی و همکاران (2020) بیان نمودند که تنش شدید در مرحله زایشی بیشتر بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد تا ماده خشک کل، بنابراین شاخص برداشت کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که آبیاری پس از 60 میلی‌متر تبخیر از تنش تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 6435 مترمکعب در هکتار) بر گیاه ذرت تأثیر بسیار مثبتی بر صفات شاخص‌های کارایی گیاه ذرت داشت، به‌طوری که تیمار آبیاری بعد از 130 میلی‌متر تبخیر از تنش تبخیر کلاس A (حجم کل آب آبیاری 5140 مترمکعب در هکتار) موجب کاهش عملکرد دانه به میزان 46 درصد شد. بنابراین عملکرد محصول رابطه نزدیکی با قابلیت دسترسی به آب دارد. به‌منظور دستیابی به عملکرد بهینه

ذرت، ناگزیر از دور آبیاری 60 میلی‌متر تبخیر از تنش تبخیر کلاس A هستیم. همچنین افزایش نیتروژن تا حد 220 کیلوگرم در هکتار موجب افزایش عملکرد دانه گردید. در پژوهش حاضر مشاهده شد که افزایش هم‌زمان رطوبت خاک و نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه حاصل شد، ولی مصرف مقادیر بالای نیتروژن در شرایط کمبود آب در خاک، عملکرد دانه را به علت کاهش جذب و افزایش هدر روی نیتروژن کاهش داد. بنابراین مصرف بالای نیتروژن در شرایط عدم دسترسی به آب کافی علاوه بر افزایش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست محیطی، مقدار عملکرد دانه ذرت را نیز کاهش می‌دهد. لذا در شرایط آب و هوایی استان خوزستان به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد دانه ذرت، مصرف 150 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در شرایط رطوبتی مناسب پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع:

1. آمارنامه اداره کل هواشناسی استان خوزستان، آمار و اطلاعات هواشناسی سال زراعی 1393-1394.
2. ساکی‌نژاد، ط. 1382. مطالعه اثر تنش آب بر روند جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم و سدیم در دوره‌های مختلف رشد، با توجه به خصوصیات مرفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ذرت در شرایط آب و هوایی اهواز. پایان‌نامه دوره دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اهواز. 288 صفحه.
3. غلامی سالکویه، س. ا. امیری، ح. ر. مبصر، س. ا. ع. موسوی. 1390. بررسی تأثیر آبیاری نوبتی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه. 1390.
4. قطاوی، ح. غ. معافپوریان و ع. بحرانی. 1390. تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی و دور آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و میزان پروتئین ذرت دانه‌ای. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. 4(1): 101-90.
5. کاظمی‌زاده، م. ع. ر. هوشمند، ع. ع. ناصری، م. گالی، و م. مسکر باشی. 1398. بررسی عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و کارایی نیتروژن در کشت ذرت در استان خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. 9(1): 40-26.
6. کشاورز، پ. 1392. راهبردهای افزایش کارایی مصرف نیتروژن در کشاورزی. نشریه مدیریت اراضی. 1(1): 53-47.
7. کوچکی، ع. و ع. س. 1384. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه) انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 467 صفحه.
8. لک، ش. ا. نادری، س. ع. سیادت، ا. آینه‌بند، ق. نورمحمدی و ه. موسوی. 1386. بررسی تأثیر تنش خشکی و مدیریت مصرف نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای در شرایط آب و هوایی خوزستان. 13: 705-691.
9. لک، ش. ا. نادری، س. ع. سیادت، ا. آینه‌بند و ق. نورمحمدی. 1386. اثرات تنش کمبود آب بر عملکرد دانه و کارایی نیتروژن ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس 704 در مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی 14(2): 15-1.

10. مجدم، م. و ع. مدحج. 1391. اثر سطوح نیتروژن بر کارایی مصرف آب، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت دانه‌ای در شرایط بهینه و تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. 10(3): 546-554.
11. نوروزی، ج. س. سیف‌زاده، ا. ارادتمند اصلی، ح. ر. ذاکرین و ا. حدیدی ماسوله. 1401. اثر تقسیط کود نیتروژن بر صفات اکوفیزیولوژیکی دو رقم ذرت در شرایط آبیاری معمول و تنش. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. 32(1): 115-132.
12. Admasu, R., A.W. Michael, and T. Hordofa. 2019. Effect of moisture stress on maize (*Zea Mays* L.) yield and water productivity. Inter. J. Environ. Sci. Natural Res. 16(4): 83-87.
13. Al-Kaisi, M. M. and X. Yin. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. Agron. J. 95:1475-1482.
14. Athernadeem, M., Z. Iqbal, M. Ayoub, and K. Mubeen. 2009. Effect of nitrogen application on forage yield and quality of maize sown alone and in mixture with legumes. Pakistan J. Life Society Sci. 7: 161-167.
15. Bismillah Khan, M., N. Hossain, and M. Iqbal. 2001. Effect of water stress on growth and yield components of maize variety YHS 202. J. Res. (sci). Bahauddin Zakaria University, Multan, Pakistan. 12(1):15-18.
16. Bruns, H.A. and H.K. Abbas. 2005. Ultra-high plant populations and nitrogen fertility effects on corn in the Mississippi Valley. Agron. J. 97:1136-1140.
17. FAOSTAT. 2018. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. FAO, Rome.
18. Ghassemi-Golezani, K., Sh. Heydari, and B. Dalil. 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. Acta Agric. Slovenica. 111(1): 25-32.
19. Hanan, S. S., G.A. Mona, and H.I. El-Alia. 2008. Yield and yield components of maize as affected by different sources and application rates of nitrogen fertilizer. Res. J. Agric. Biological Sci. 4: 399-412.
20. Hanon, B. and S. Kaffka. 2004. Use of drip irrigation for sugar beet production. Agric. Water Management. 19(2): 166-176.
21. Hu, H., and L. Xiong. 2014. Genetic engineering and breeding of drought resistant crops. Plant Biology. 65: 715-741.
22. Iseghohi, I., A. Abe, S. Meseka, W. Mengesha, M. Gedil, and A. Menkir. 2022. Effects of drought stress on grain yield, agronomic performance, and heterosis of marker-based improved provitamin-A maize synthetics and their hybrids. J. Crop. Improv. 36(2): 1-15.
23. Kafi, M., A. Borzoei, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi, and J. Nabati. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants (translated). Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) Press, Mashhad, Iran.
24. Keeney, D.R., and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen in organic forms. PP. 643-698. In: A. L. Page, R. H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Method of soil analysis. Part II.
25. Luis, S., E. Marcio, A.F.M. Guidolin, L.D. Almidia, and V.A. Konslanz. 2001. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. Crop Science. Pesq. agropec. bras. 36(5): 757-764.
26. Mahbubul Alam, M., M.D. Mainul Basher, A. Karim, and M. Rafiqueel Islam. 2003. Effect of rate of nitrogen fertilizer and population density on the yield and yield attributes of maize (*Zea mays*). Pakistan. J. Biological Sci. 6(20):1770-1773.
27. Mahpara, S., T. Hussain, and J. Farooq. 2014. Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). Cercetari Agrono. Moldova. 4(160): 133-140.
28. Mosanaei, H., H. Ajamnorizi, M.R. Dadashi, A. Faraji, and M. Pessarakli. 2017. Improvement effect of nitrogen fertilizer and plant density on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed deterioration and yield. Emirates. J. Food. Agric. 29(11): 899-910.

29. Nemati, A.R. and R. Seyed Sharifi. 2012. Effects of rates and nitrogen application timing on yield, agronomic characteristics and nitrogen use efficiency in corn. *Inter J. Agric. Crop Sci.* 4(9): 534-539.
30. Omar, S., R. Abd Ghani, H. Khaeim, A.H. Sghaier and M. Jolánkai. 2022. The effect of nitrogen fertilisation on yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Acta Alimentaria.* 51(2): 249-258.
31. O'Neill, P.M., J.F. Shanahan, and J.S. Schepers. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Sci.* 46(2) 681-687.
32. Rezaei Sokht-Abandani, R., S.A. Siadat, A. Pazoki, Sh. Lack, and M. Mojddam. 2020. Effect of drought stress, different levels of nitrogen and potassium fertilizer on some physiological and agronomical traits of maize hybrid (*Zea mays* L. CV. Single cross 704). *J. Plant Ecophysiol.* 12(40): 40-52.
33. Sah, R.P., M. Chakraborty, K. Prasad, M. Pandit, V.K. Tudum.K. Chakravarty, S.C. Narayan, M. Rana, and D. Moharana. 2020. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Sci.Reports.* 10: 1-15.
34. Saneoka, H. S. and Agata, W. 1996. Cultivar differences in dry matter production and leaf water relations in water-stressed maize. *Grassland. Sci.* 41(4): 294-301.
35. Taize, L. and E. Zeiger. 1998. *Plant Physiology* (2nd Ed). Sinager Associates. Inc. Publisher. Sunderland Massa Chussets. 757p.

بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف کشاورزی بر رطوبت بهینه خاک‌ورزی با استفاده از مدل درخت تصمیم در دشت جیرفت

حسین شیرانی، فائزه رمضانی، سمیه صدر¹، و عیسی اسفندیارپور

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ shirani@vru.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ F-ramezani@yahoo.com

استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور استان کرمان، مرکز رفسنجان؛ Ssadr@pnu.ac.ir

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ esfandiarpour@vru.ac.ir

ص 17 - 31

دریافت: 1401/9/9 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

رطوبت بهینه خاک برای خاک‌ورزی رطوبتی است که اگر خاک‌ورزی در آن انجام شود، با حداقل انرژی مصرفی بیشترین خردشدگی (نرم‌شدگی) در خاک ایجاد می‌شود. هدف از این پژوهش تعیین رطوبت بهینه برای عملیات خاک‌ورزی تحت کاربری‌های مختلف کشاورزی در منطقه‌ی جیرفت و بررسی کارایی مدل درخت تصمیم در این خصوص برای منطقه بود. برای این منظور نمونه‌های خاک (90 نمونه) از عمق صفر تا 20 سانتی‌متر به صورت دست نخورده برداشته شده و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید. برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، مقدار رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک 10، 30، 50، 100، 300، 500، 1000 و 1500 کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد نوع کشت تأثیر معناداری بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین رطوبت بهینه نداشته است. در ادامه این پژوهش مدل‌سازی رطوبت بهینه با درخت تصمیم انجام شد. در این پژوهش از سه معیار ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRSME) برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که استفاده از درخت تصمیم برای پیش‌بینی رطوبت بهینه خاک به دلیل دارا بودن NRMSE کمتر (0/017) و R^2 بالا (0/75)، مناسب است. همچنین نتایج مدل‌سازی رطوبت بهینه خاک نشان داد که ماده آلی مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بوده و پس از آن به ترتیب متغیرهای درصد کربنات کلسیم معادل، رسانایی الکتریکی، درصد رس، چگالی ظاهری و درصد شن و سیلت در پیش‌بینی رطوبت بهینه اهمیت دارند.

واژه‌های کلیدی: منحنی مشخصه رطوبتی، نقطه عطف، درخت تصمیم، رطوبت بهینه، خاک‌ورزی

¹. نویسنده مسئول؛ آدرس: Ssadr@pnu.ac.ir

مقدمه

چگونگی قرار گرفتن و اجتماع فضایی ذرات خاک، ساختمان خاک را می‌سازد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عوامل اکولوژیک و انسانی در درازمدت بر ساختمان خاک اثر می‌گذارند. همچنین ساختمان خاک با اثر بر چرخه‌ی کربن و دیگر عناصر غذایی، بر جذب، ذخیره و حرکت آب، تهویه، مقاومت مکانیکی و پایداری در برابر فرسایش، رشد گیاه و تولید محصول اثر به‌سزایی دارد (دیازوریتا و همکاران، 2002).

ساختمان خاک یک ویژگی متغیر و بسیار تأثیرپذیر است که به شدت تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی قرار می‌گیرد. تأثیر خاک‌ورزی بر ساختمان خاک، ناشی از وضعیت رطوبتی خاک است، به گونه‌ای که برای انجام عملیات خاک‌ورزی، پس از آبیاری و یا بارندگی، خاک باید به یک رطوبت بهینه (Optimum Water Content) برسد. رطوبت بهینه خاک‌ورزی رطوبتی است که اگر خاک‌ورزی در آن انجام شود، با حداقل انرژی مصرفی بیشترین خردشدگی (نرم‌شدگی) در خاک ایجاد می‌شود (دکستر و برد، 2001). کلوخه‌ای شدن زمانی که خاک در رطوبت پایین‌تر از شرایط بهینه خاک‌ورزی می‌شود، به‌وسیله الماراس و همکاران (1962) گزارش شده است. همچنین در این شرایط، عملیات خاک‌ورزی به انرژی بیشتری احتیاج دارد.

در زمانی که خاک‌ورزی در شرایط مرطوب‌تر از رطوبت بهینه انجام شود، کلوخه‌های بزرگ ایجاد شده و عبور و مرور ماشین‌های کشاورزی باعث گل‌خراپی خاک، تغییر شکل ماندگار در ساختمان خاک و به‌وجود آمدن سله‌ی سطحی می‌گردد.

پدیده‌های مخرب ذکر شده بر فرایندهای نفوذ آب و هوا در خاک، نگهداشت آب، هدایت هیدرولیکی و هدایت گرمایی خاک تأثیرگذار بوده و باعث افزایش روان‌آب سطحی و فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی و تولید محصول می‌گردد. خاک‌ورزی باغ‌های مرکبات و نخیلات با مزارع متفاوت است. در باغ‌ها با هر بار شخم

زدن و زیر و رو کردن زمین، میزان نفوذپذیری بستر خاک برای آب و هوا بیشتر و رشد آفات و علف‌های هرز نیز کاهش میابد (نادری و همکاران، 1392). نتایج مطالعات نادری و همکاران (1392) نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر تراکم و ترکیب علف‌های هرز باغات مرکبات داشته است به طوری که تراکم علف‌های هرز در تیمارهای کم خاک‌ورزی به طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای بدون خاک‌ورزی بود. در تیمارهای بدون خاک‌ورزی بیشتر علف‌های هرز چند ساله غالب بودند، در حالی که در تیمارهای کم خاک‌ورزی علف‌های هرز یکساله غالب بودند. در نخیلات نیز عملیات شخم و آبیاری تأثیر زیادی بر کاهش فعالیت آفت چوبخوار داشته است (لطیفیان، 1395). در سال‌های اخیر میانه کاری در فواصل درختان نخل، بسیار توصیه شده است چرا که علاوه بر اثرات مثبت اقتصادی به‌دلیل فعالیت‌های خاک‌ورزی (شخم، کود دهی، لایروبی نهرهای فرعی و ...) که در نخلستان انجام می‌شود بطور غیر مستقیم اثر بسیار مهمی در افزایش کمی و کیفی محصول خرما می‌نخیلات نیز دارد. لذا فعالیت‌های خاک‌ورزی و تعیین رطوبت بهینه رای انجام آن، نه تنها در مزارع بلکه در باغ‌ها نیز به منظور دستیابی به بالاترین راندمان خاک‌ورزی مورد نیاز است.

دکستر و بیرد (2001) روش‌هایی برای تعیین حدود رطوبتی بالایی و پایینی برای خاک‌ورزی معرفی کرده و مقدار رطوبت بهینه را بر حسب پارامترهای معادله وان‌گنوختن تعیین کردند. ایشان رطوبت بهینه خاک‌ورزی رطوبت بهینه خاک‌ورزی را برابر با مقدار رطوبت خاک در نقطه‌ی عطف منحنی مشخصه رطوبتی خاک (منحنی مقدار رطوبت خاک در برابر لگاریتم مکش ماتریک) می‌دانند. در این نقطه مقدار انحنای برابر صفر است. پژوهش‌های دکستر و همکاران (2005) به منظور توسعه‌ی روش‌هایی برای پیش‌بینی رطوبت بهینه خاک‌ورزی با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک،

نشان دادند که ویژگی‌های خاک (مقدار رس، مقدار مواد آلی و چگالی ظاهری خاک) بر رطوبت بهینه تأثیر دارند. آنها هم‌چنین نشان دادند که محدوده‌ی رطوبتی مناسب برای خاکورزی با کاهش کیفیت فیزیکی خاک، باریک‌تر می‌شود.

اندازه‌گیری منحنی مشخصه رطوبتی خاک به منظور رسیدن به نقطه‌ی عطف زمان‌بر، پرهزینه و دشوار است. لذا می‌توان رطوبت بهینه خاکورزی را که خود یک ویژگی دیریافت و دشوار محسوب می‌شود، به‌وسیله‌ی ویژگی‌های زودیافت خاک توسط روش‌هایی از جمله تکنیک‌های یادگیری ماشین با دقت قابل قبولی برآورد نمود. این روش‌ها علاوه بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه به شناسایی عوامل مؤثر بر رطوبت بهینه نیز کمک می‌کنند و قادرند روابط غیرخطی حاکم بین متغیرها را نیز شناسایی و مدل‌سازی کنند (شیرانی، 1396). روش الگوریتم طبقه‌بندی درخت تصمیم از جمله روش‌های تخمین پارامترهای مؤثر منحنی مشخصه رطوبتی است. درخت‌های تصمیم ابزار قدرتمند و در عین حال رایجی هم برای دسته‌بندی و هم برای تخمین یا رگرسیون هستند. درخت تصمیم ساختاری است که برای تقسیم مجموعه بزرگی از داده‌های جمع‌آوری شده به مجموعه‌های کوچکتر زنجیره‌وار داده‌ها، بر اساس یک سری قوانین ساده تصمیم‌گیری به کار می‌روند. در هر تقسیم‌بندی متوالی، اعضای مجموعه‌های حاصل بیش از پیش به یکدیگر شباهت پیدا می‌کنند. درخت تصمیم برای بررسی داده‌ها، به منظور کسب شناخت بهتر روابط موجود بین تعداد زیادی از متغیرهای ورودی کاندید شده برای یک متغیر هدف نیز به کار می‌رود که مسأله بسیار مهم در این مدل، انجام درست دسته‌بندی یا پیش‌بینی است. با این که گونه‌های زیادی از الگوریتم‌های درخت تصمیم وجود دارد ولی همه آنها از روند مشابهی پیروی می‌کنند که از تقسیم مکرر داده‌ها به گروه‌های کوچک و کوچک‌تر استفاده می‌شود به نحوی که با توجه به متغیر هدف، هر نسل جدید گروه‌ها، خالص‌تر از پیشینیان خود باشند.

سرانجام وقتی امکان یافتن تقسیم‌بندی‌های بیشتری در هیچ جای درخت وجود نداشته باشد، درخت تصمیم کامل رشد کرده است (شهرابی، 1392). الگوریتم‌های ساخت درخت تصمیم با تلاش در یافتن متغیر ورودی شروع می‌شود که بهترین تقسیم بندی داده‌ها را در میان گروه‌های دلخواه انجام می‌دهد. روش درخت تصمیم کاربرد وسیعی دراکتشاف داده‌ها، دسته‌بندی و امتیازدهی دارد (شهرابی، 1392). ساختار ایده‌آل درخت تصمیم در کاهش فضای طبقه‌بندی، حداقل کردن تعداد گره‌ها، کنترل در هم پوشانی بین کلاس‌ها و کنترل تعداد شاخه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. به همین جهت طراحی یک طبقه‌بندی کننده در درخت تصمیم‌گیری پیچیده است. مونکادا و همکاران (2014) مدل‌های درخت تصمیم را برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی در دو خاک گرمسیری و معتدل استفاده کردند. آن‌ها از ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک علاوه بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی استفاده و مشاهده کردند که کاربرد ویژگی‌های مورفولوژیکی در کنار سایر ویژگی‌های خاک، تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی را بهبود داده و درختی با یک ساختار ساده‌تر ایجاد می‌شود. پژوهش‌های متعددی بر روی کارایی درخت تصمیم در زمینه علوم طبیعی صورت گرفته است و این مدل به لحاظ سادگی و ایجاد قوانین پیش‌بینی ارجحیت دارد. از طرفی مدل درخت تصمیم قادر است بدون دخالت کاربر، ورودی‌های مهم‌تر را برای ایجاد قوانین استفاده و ورودی‌های ضعیفتر حذف نماید.

از جمله پژوهش‌های صورت گرفته با استفاده از درخت تصمیم می‌توان به پژوهش نمس و همکاران (2006) اشاره کرد که با استفاده از روش درخت تصمیم و K نزدیکترین همسایه، نگه داشت آب در دو پتانسیل ماتریک 33- و 1500- کیلوپاسکال را با استفاده از داده‌های زودیافت خاک تخمین زدند و برتری این روش را در امکان استفاده از داده‌های محلی بیان نمودند. حقوردی و همکاران (1389) برای برآورد میزان رطوبت در دو نقطه

ظرفیت زراعی و پرمردگی دائم از روش درخت تصمیم استفاده کردند.

شهرستان جیرفت از نظر کشاورزی بسیار پررونق و یکی از قطب‌های کشاورزی در کشور می‌باشد و محصولات عمده‌ی زراعی آن، سیب‌زمینی و پیاز و محصولات عمده‌ی باغی آن گردو، خرما و مرکبات می‌باشد. تا کنون هیچ کار پژوهشی در خصوص تعیین رطوبت بهینه تحت مدیریت‌های مختلف کشاورزی در این منطقه انجام نشده است. لذا در این پژوهش اهداف زیر دنبال می‌گردد: الف. تعیین رطوبت بهینه برای عملیات خاک‌ورزی تحت کاربری‌های مختلف کشاورزی در منطقه‌ی جیرفت. ب. مدل‌سازی رطوبت بهینه با استفاده از ویژگی‌های زودپافت خاک به وسیله تکنیک‌های یادگیری ماشین. ج. بررسی اهمیت ویژگی‌های مختلف خاک بر رطوبت بهینه.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

جیرفت، یکی از شهرستان‌های استان کرمان و یکی از مهم‌ترین دشت‌های ایران از نظر کشاورزی می‌باشد. این منطقه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی $28^{\circ}28'40''$ تا $28^{\circ}52'6''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $57^{\circ}30'8''$ تا $58^{\circ}4'27''$ شرقی واقع شده است. دشت جیرفت با میانگین ارتفاع 650 متر از سطح دریا، از جمله کم ارتفاع‌ترین دشت‌های داخلی ایران محسوب می‌شود (سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، 1382). میانگین بارندگی و دمای سالیانه‌ی جیرفت برای یک دوره‌ی آماری 20 ساله (سال‌های 1372 تا 1391) به ترتیب، $217/4$ میلی‌متر و $21/8$ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. اگرچه منطقه‌ی مورد مطالعه، دارای تنوع پوشش گیاهی است؛ ولی پوشش غالب آن شامل گونه‌هایی از تاغ، گز، گنار، خرزهره و هندوانه‌ی ابوچهل می‌باشد. هم چنین در مورد گیاهان غالب زراعی و باغی آن می‌توان از گندم، جو، ذرت، مرکبات، خرما و گیاهان جالیزی نام برد (بنایی، 1380).

نمونه برداری

در این پژوهش ابتدا با استفاده از نقشه‌ی کاربری اراضی جیرفت، سه کاربری مختلف شامل، محصولات زراعی (سیب‌زمینی و پیاز)، مرکبات و خرما انتخاب و در هر کاربری 30 نقطه به صورت تصادفی تعیین گردید و در هر نقطه نمونه دست نخورده از خاک سطحی (عمق صفر تا 20 سانتی‌متری) انجام گرفت. نمونه‌ها برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی لازم، به آزمایشگاه منتقل گردید.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی

پس از هوا خشک نمودن نمونه‌های برداشت شده و عبور آنها از الک دو میلی‌متری، تجزیه‌های آزمایشگاهی لازم بر روی آنها انجام شد. رسانایی الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (ریچارد، 1954)، واکنش خاک در گل اشباع با دستگاه پ.اچ متر (ریچارد، 1954)، بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، 1951)، چگالی ظاهری به روش کلوخه، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (جونز، 2001) و درصد ماده آلی کل به روش والکی - بلاک (نلسون و سامرز، 1996) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری منحنی مشخصه رطوبتی خاک

برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، مقدار رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک 10، 30، 50، 100، 300، 500، 1000 و 1500 کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد. سپس مقادیر رطوبت وزنی خاک در مکش‌های ماتریک مورد بررسی با مدل ونگنوختن (معادله 1) برازش داده شد (ونگنوختن، 1980).

معادله (1)

$$\theta = (\theta_{SAT} - \theta_{RES})[1 + (ah)^n]^{-m} + \theta_{RES}$$

در معادله فوق m و n ضرایب شکل منحنی بوده و θ

مقدار رطوبت وزنی خاک در مکش h ، θ_{SAT} مقدار رطوبت وزنی اشباع، θ_{RES} مقدار رطوبت وزنی باقیمانده‌ی خاک و α عکس مکش ورود هوا می‌باشد.

با استفاده از شکل ساده شده تئوری تنش موثر که توسط گریسن (1960) استفاده شد، تخمین زدند.

برای تعیین حد پایینی (θ_{LTL}) رطوبت بهینه خاکورزی از معادله 11 استفاده گردید (دکستر و همکاران، 2005). برای مطالعه جزئیات استخراج معادله مذکور به رفرانس مربوطه رجوع گردد.

معادله (5)

$$\theta_{LTL} = (\theta_{SAT} - \theta_{RES})[1 + (\alpha h_{LTL})^n]^{-m} + \theta_{RES}$$

دامنه رطوبتی مناسب برای خاکورزی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$R = \theta_{UTL} - \theta_{LTL} \quad \text{معادله (6)}$$

محاسبات آماری

در این پژوهش، به منظور بررسی اثر کاربری‌های مختلف (شامل 3 نوع کاربری محصولات زراعی، مرکبات و خرما) بر رطوبت بهینه خاکورزی، آنالیزهای آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی با 30 تکرار در محیط نرم‌افزار SPSS 24 بررسی شد.

مدل‌سازی تخمین رطوبت و مکش ماتریک بهینه به روش

درخت تصمیم

در این مطالعه از الگوریتم درخت تصمیم CRT^1 استفاده گردید. الگوریتم CRT ، یک درخت باینری یک متغیره ایجاد می‌کند یعنی شاخه‌های خود را به صورت دوتایی و تنها بر اساس یک فیلد (متغیر مستقل) ایجاد می‌کند و هر گره غیر برگ آن، به دو گره دیگر تفکیک می‌شود. معیار انشعاب و شاخه‌زدن در درخت رگرسیون براساس حداقل کردن گوناگونی زیرمجموعه‌ی داخلی است. گوناگونی کم عبارت است از مجموعه‌هایی که اعضای یک کلاس در آن بر سایر کلاس‌ها غلبه کند و بهترین شاخه‌زدن آن است که گوناگونی در مجموعه‌ها را تا حد امکان کم کند. این الگوریتم برای متغیرهای کمی توسعه یافته است اما می‌تواند برای متغیرهای دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرد. در این الگوریتم از ضریب

معادله (1) برای اکثر خاک‌ها به خوبی صادق است و منحنی مشخصه رطوبتی آنها را برازش می‌نماید. اگرچه تعدادی استثنا مربوط به خاک‌هایی که ساختمان یا ساختار منافذ آنها دو گانه است، وجود دارد اما در این پژوهش منحنی نگهداشت آب در خاک‌های مورد مطالعه از معادله (1) تبعیت کرد. در صورتی که منحنی معادله‌ی (1) به صورت $Ln(h)$ و یا h در برابر θ رسم شود، نقطه عطفی روی منحنی مشاهده می‌گردد که دارای خمیدگی صفر است. منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه‌ی عطف دارای دو ویژگی است: موقعیت و شیب آن. دکستر و بیرد (2001) نشان دادند که رطوبت مناسب برای خاکورزی می‌تواند با مقدار رطوبت در نقطه‌ی عطف منحنی مشخصه رطوبتی خاک (θ_{INFL}) مربوط باشد. در معادله ونگنوختن θ_{INFL} به صورت زیر به دست می‌آید (دکستر و بیرد، 2005):

معادله (2)

$$\theta_{INFL} = (\theta_{SAT} - \theta_{RES}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-m} + \theta_{RES}$$

مقدار پتانسیل ماتریک در نقطه عطف (بهینه برای خاکورزی) نیز از معادله زیر به دست می‌آید (دکستر و بیرد، 2005):

معادله (3)

$$h_{INFL} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{m} \right)^{\frac{1}{n}}$$

معادله‌های (2) و (3) برای بیان وضعیت رطوبت در شرایط بهینه برای خاکورزی به کار می‌رود. دکستر و بیرد (2001) اظهار داشتند که حد بالایی رطوبت (θ_{UTL}) برای خاکورزی می‌تواند به عنوان بخشی از رطوبت بین حد اشباع و رطوبت عطف به اضافه رطوبت عطف تخمین زده شود. آنها این بخش را برابر 0/4 در نظر گرفتند یعنی:

معادله (4)

$$\theta_{UITL} = \theta_{INFL} + 0.4(\theta_{SAT} - \theta_{INFL})$$

حد پایینی رطوبت (خشک) برای خاکورزی به طور قراردادی توسط دکستر و بیرد (2001)، رطوبتی تعریف گردید که در آن، مقاومت خاک دو برابر مقاومت آن در رطوبت بهینه خاکورزی است. این محققان این رطوبت را

¹ Classification and Regression Tree (CRT)

این شاخص از جذر میانگین مربعات خطا به دست می‌آید.

معادله (15) (شرباکوف و همکاران، 2013).

$$NRMSE = \frac{RMSE}{R_{train}}$$

در این روابطه، O_i مقدار متغیر هدف یا مقادیر مشاهداتی است که توسط معادلات ذکر شده برای هر رکورد (i) محاسبه گردیده است، $\bar{O}$ میانگین متغیرهای هدف یا مقادیر مشاهداتی، P_i مقدار خروجی مدل درخت تصمیم رگرسیونی به ازای رکورد i ام یا مقادیر تخمین زده شده، N تعداد مشاهدات، e_i مقدار خطا به ازای هر رکورد و R_{train} دامنه متغیر وابسته استفاده شده در آموزش مدل است (شرباکوف و همکاران، 2013). سپس اهمیت متغیرهای مؤثر بر رطوبت مناسب برای عملیات خاک‌ورزی با تحلیل حساسیت تعیین شد.

نتایج

مطالعات آماری

جدول‌های 1 و 2 به ترتیب خلاصه آماری داده‌ها به تفکیک نوع کاربری و نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد. با تعیین کلاس بافتی خاک در نمونه‌های خاک برداشته شده 8 نمونه کلاس بافت ریز تر از لوم، 28 نمونه کلاس بافت لوم و 54 نمونه کلاس بافت لومی شنی را نشان دادند و به طور متوسط بافت خاک هر سه کاربری لومی شنی تعیین گردید.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشاهده شد که درصد ماده آلی خاک و pH خاک در کاربری‌های مختلف در سطح 1 درصد و درصد شن و رس در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند.

در جدول 3 رطوبت و مکش بهینه و نیز دامنه رطوبتی بهینه برای خاک‌ورزی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. دکستر و بیرد (2011) رطوبت حد بالای خاک‌ورزی را برابر با رطوبت حد پلاستیک معرفی کردند آنها همچنین پیشنهاد کردند که رطوبت حد پایین

استاندارد جینی (شاخص جینی) برای تقسیم داده‌ها در گروه‌های مختلف استفاده می‌شود و همچنین می‌توان از شاخص‌هایی مانند آنتروپی با سرعت بالاتر استفاده کرد (یوهانس، 1999).

برای اجرای مدل‌سازی درخت تصمیم CRT از $MATLAB$ نسخه 2016 استفاده گردید و از آنجا که جامعیت دادن به مدل برای داده‌ها و مناطق دیگر مد نظر نبود، تمامی داده‌ها به عنوان داده آموزشی مورد استفاده قرار گرفت.

متغیرهای بافت خاک، رسانایی الکتریکی عصاره‌ی اشباع، واکنش (pH) گل اشباع، چگالی ظاهری، کربنات کلسیم و ماده آلی به عنوان متغیر مستقل وارد مدل درخت تصمیم به روش رگرسیونی شدند (کوئین‌لان، 1996؛ ویتن و فرانک، 2005) و شبیه‌سازی‌ها برای پیش‌بینی متغیر هدف یا وابسته (رطوبت و مکش ماتریک بهینه برای خاک‌ورزی به عنوان متغیر وابسته) صورت گرفت.

ارزیابی خطای مدل

پس از ساخت، مدل CRT بر روی داده‌های آزمون اجرا شده و نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر مشاهده شده برای متغیر هدف در آزمایشگاه، توسط معیارهای ارزیابی خطا شامل ضریب تبیین (R^2) (معادله 13)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) (معادله 14) و ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده ($NRMSE$) (معادله 15) مورد مقایسه قرار گرفت.

معادله (13) (شیرانی، 1396)

$$R^2 = \frac{\sum (F_i - \bar{O})^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} = 1 - \frac{\sum (O_i - F_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$

ضریب تبیین، نشان دهنده‌ی بخشی از تغییرات

کل است که به وسیله‌ی رابطه‌ی خطی موجود بین O و P توجیه می‌شود و اکثراً بر حسب درصد بیان می‌گردد. هرچه این ضریب به یک و یا بر حسب درصد به صد نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بهتر می‌باشد.

معادله (14) (شیرانی، 1396)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}$$

[illegible]

24 / بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف کشاورزی بر رطوبت بهینه خاک‌ورزی با استفاده از مدل درخت تصمیم

6/42	1/75	1/35	0/10	0/01	1/50	1/50	چگالی ظاهری ($g.cm^{-3}$)
16/60	3/50	1/3	0/47	0/224	2/85	2/85	ماده آلی (%)
34/16	27/5	9	4/6	21/20	12/00	13/50	کربنات کلسیم (%)
28/17	28/5	11/00	4/75	22/50	15/5	16/85	رس (%)
55/28	62/00	1/5	15/3	233/10	28/00	27/62	سیلت (%)
28/95	75/00	15	16/10	258/50	58/50	55/5	شن (%)
50/60	11/05	2/15	2/11	4/44	3/44	4/17	رسانایی الکتریکی (dSm^{-1})
2/00	8/22	7/65	0/16	0/02	7/90	7/90	pH

تعداد نمونه‌ها برای هر کاربری = 30

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس برخی از ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
EC	PH	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم	چگالی ظاهری	ماده آلی	
2/77 ^{ns}	0/23/**	37/7*	340/1 ^{ns}	607/86*	17/92 ^{ns}	0/002 ^{ns}	1/17**	2 کاربری
5/40	0/03	23/27	200/69	237/92	12/38	0/01	0/42	87 خطا

*, ** و ns به ترتیب نشان دهنده‌ی معنی دار بودن در سطح آماری 1 درصد، 5 درصد و عدم معنی داری می‌باشد.

جدول 3- خصوصیات آماری پارامترهای رطوبتی تخمین زده شده از معادلات منحنی مشخصه رطوبتی خاک در 90 نمونه از منطقه مطالعاتی

متغیر	واحد	میانگین	واریانس	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	CV(%)
رطوبت بهینه	$KgKg^{-1}$	0/18	0/002	0/044	0/12	0/42	25
مکش ماتریک بهینه	KPa	99/00	941/7	30/70	70	220	31
حد بالایی رطوبت بهینه	$KgKg^{-1}$	0/47	0/142	0/379	0/07	1/68	80
حد پایینی رطوبت بهینه	$KgKg^{-1}$	0/26	0/35	0/59	0/07	0/9	72
دامنه رطوبتی بهینه	$KgKg^{-1}$	0/21	0/04	0/20	0	1/01	95

جدول 4- تجزیه واریانس رطوبت بهینه، دامنه رطوبت بهینه و مکش بهینه برای سه نوع کاربری (زراعی، مرکبات و خرما)

میانگین مربعات				منابع تغییرات
رطوبت بهینه	مکش بهینه	دامنه رطوبت بهینه	درجه آزادی	
0/002 ^{ns}	1300/95 ^{ns}	0/001 ^{ns}	2	کاربری
0/002	933/5	0/001	12	خطا
33	72	43	-	%CV

*, ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده‌ی معنی دار بودن در سطح آماری 1 درصد، 5 درصد و عدم معنی داری می‌باشد.

جدول 5- ضریب همبستگی ساده (r) بین رطوبت بهینه خاک‌ورزی و خصوصیات خاک (n=90)

رطوبت بهینه	pH	رسانایی الکتریکی	کربنات کلسیم	ماده آلی	چگالی ظاهری	رس	سیلت	شن
0/14	0/184	0/037	+0/84**	0/026	0/36**	0/24	-0/45**	

* معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ** معنی دار در سطح احتمال 1 درصد

جدول 6- شاخص‌های خطا در تخمین رطوبت بهینه از مدل رگرسیون درخت تصمیم

ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده
R^2	$RMSE$	$NRMSE$
0/75	0/0052	0/017

همبستگی بین رطوبت بهینه خاکورزی و خصوصیات خاک

جدول 5 نتیجه همبستگی بین رطوبت بهینه خاکورزی و خصوصیات خاک 90 نقطه نمونه برداری در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. ثروتی و همکاران (1399) در تخمین رطوبت بهینه خاکورزی در میاندواب همبستگی معنی‌دار بین رطوبت بهینه و محتوای رس خاک در سطح احتمال 1 درصد را گزارش کردند این در حالی است که مهدوی‌فر و همکاران (1392) نیز میان رطوبت بهینه خاکورزی با درصد ماده آلی، رس، کربنات کلسیم معادل همبستگی مثبت و با چگالی ظاهری و درصد شن همبستگی منفی را گزارش کردند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، همبستگی معنی‌داری بین ماده آلی و درصد رس با رطوبت بهینه خاکورزی در سطح 1 درصد مشاهده گردید همچنین این ضریب بین رطوبت بهینه خاکورزی و شن همبستگی منفی معنی‌دار را در سطح 1 درصد نشان داد. که با نتایج سایر محققان هماهنگی دارد.

مدل‌سازی رطوبت بهینه با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم

شکل 1 الگوریتم درخت تصمیم به روش رگرسیونی را نشان می‌دهد. به طور کلی در ساختار درخت، انشعابات بالاتر بیانگر اهمیت بیش‌تر متغیر ورودی در مدل‌سازی است. درخت حاصل با 18 گره فرزند و 19 گره برگ تشکیل شده است.

ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی مدل درخت تصمیم از پارامتر ضریب تبیین (R^2) میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ریشه

میانگین مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE$) استفاده شد. نتایج این تحلیل در جدول 6 نشان داده شده است.

بحث

در این مطالعه نتایج نشان داد که pH خاک در این منطقه دارای کم‌ترین درصد ضریب تغییرات (2/56) می‌باشد. شاید بتوان دلیل این موضوع را آهکی بودن خاک‌های منطقه و همچنین خاصیت بافری بالای خاک عنوان کرد. این نتایج با گزارش‌های یثربی و همکاران (2008) و شیرانی و همکاران (1400) نیز همخوانی دارد. نتایج به‌دست آمده، نشان می‌دهد که واکنش خاک منطقه‌ی مورد مطالعه، در محدوده‌ی قلیایی می‌باشد. pH خاک بر عواملی مانند قابلیت استفاده عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، تحرک عناصر سنگین و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک مؤثر می‌باشد. pH خاک ممکن است در اثر مدیریت‌های مختلف اراضی تغییر نماید. کشت و زرع به دلیل تأثیر بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کربن آلی خاک موجب افزایش اسیدیته خاک خواهد شد (غلامی و همکاران، 1395). با توجه به واریانس کم pH تیرات اندک در این ویژگی می‌تواند باعث معنی‌دار شدن تفاوت آن در کاربری‌های مختلف شده باشد.

بیشترین ضریب تغییرات (62/2) مربوط به رسانایی الکتریکی می‌باشد. علت این امر می‌تواند عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی و استفاده از کوددهی باشد که باعث غیر یکنواختی EC لایه سطحی خاک می‌شود (ویل‌دینگ، 1985). بر اساس نتایج حاصل، بیش‌ترین مقدار ماده آلی مربوط به کاربری مرکبات می‌باشد. بالا بودن ماده آلی در کاربری مرکبات می‌تواند به واسطه پوشش درختی مطلوب، توان حفظ رطوبت

خاک و پویایی اکوسیستم باشد که در نتیجه بیش‌ترین میزان کربن آلی ورودی به خاک را داشته است. تقی‌پور و همکاران (1398) در بررسی خود در منطقه توتکابن استان گیلان گزارش کردند که بیش‌ترین مقادیر ماده آلی ذره‌ای، ماده آلی هم اندازه سیلت و رس، کربوهیدرات و ذخیره کربن مربوط به جنگل و کم‌ترین مقادیر مربوط به مرتع است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین درصد کربن آلی ذره‌ای در خاکدانه‌های درشت وجود دارد. بنابراین، عواملی که پایداری و تخریب این خاکدانه‌ها را کنترل می‌کند، می‌تواند ذخایر کربن آلی خاک را نیز کنترل نماید.

در مطالعه حاضر کم‌ترین ماده آلی مربوط به اراضی زراعی بود. رضایی‌نژاد و همکاران (1390) نیز در مطالعات خود در دشت سیرجان نشان دادند که تغییر کاربری اراضی از مرتع به کشاورزی، باعث افزایش ماده آلی خاک شده است. کم‌ترین مقدار ماده آلی نیز مربوط به کاربری مزرعه می‌باشد. شاید بتوان دلیل این موضوع را این‌گونه بیان کرد که در اراضی زراعی، بخش عمده‌ی گیاه برداشت می‌شود و تنها بخش اندکی از قسمت‌های هوایی و ریشه‌ها در خاک باقی می‌مانند و با هر بار کشت‌وکار در این اراضی، مقدار قابل توجهی از ماده‌ی آلی در خاک تجزیه می‌شود.

همچنین نتایج نشان داد اگر چه تفاوت معنی‌داری بین مقدار کربنات کلسیم در کاربری‌های مورد مطالعه مشاهده نشد اما کم‌ترین مقدار کربنات کلسیم در کاربری مرکبات و بیش‌ترین مقدار آن در کاربری نخیلات بود. کاهش این پارامتر در کاربری مرکبات نسبت به بقیه کاربری‌ها احتمالاً به دلیل آبیاری بیش‌تر در کاربری مرکبات نسبت به بقیه کاربری‌ها می‌باشد. همچنین پایین بودن کربنات کلسیم در کاربری مرکبات می‌تواند به دلیل عدم برگشت کلسیم به خاک در نتیجه برداشت محصول باشد (شیران‌پور و همکاران 1391). دلیل دیگری که می‌توان برای پایین بودن کربنات کلسیم در کاربری مرکبات بیان کرد این است که با توجه به این‌که اغلب کودهای نیتروژنی و بسیاری از کودهای آلی نیتروژن‌دار که در کاربری‌های زراعی و باغی

استفاده می‌شود، خاصیت اسیدی دارند و با اکسیداسیون هر کاتیون آمونیوم به آنیون نترات، دو یون پروتون تولید می‌شود، در نتیجه اسیدیته افزایش می‌یابد، لذا افزایش اسیدیته می‌تواند سبب آبشویی و کاهش میزان کلسیم گردد (شیران‌پور و همکاران 1391).

براساس نتایج، رسانایی الکتریکی در کاربری نخیلات بیش‌ترین مقدار و در مرکبات کم‌ترین مقدار را داشت. با این وجود مقدار رسانایی الکتریکی در کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. رسانایی الکتریکی خاک نماینده میزان املاح هادی محلول خاک می‌باشد. افزایش مقدار رسانایی الکتریکی در کاربری نخیلات احتمالاً وابسته به فعالیت‌های مدیریتی از جمله کوددهی است. نیک‌نهاد و مارامایی (1390) در مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات خاک حوضه آبخیز کچیک گزارش کردند که رسانایی الکتریکی خاک زراعی در مقایسه با جنگل و مرتع (مناطق بکر و دست نخورده) هر چند تفاوت معنی‌داری نداشت، اما شوری خاک زراعی بیش‌تر بود که دلیل این امر را افزایش کود به زمین زراعی بیان کردند بنابراین یکی از دلایل بیش‌تر بودن رسانایی الکتریکی اراضی نخل می‌تواند استفاده از کودهای شیمیایی در این کاربری باشد لازم به ذکر است که نمونه برداری از اراضی کاربری نخل بعد از کوددهی انجام شد در حالی‌که نمونه برداری از دو کاربری دیگر بعد از بارندگی شدید انجام شد بنابراین کم بودن رسانایی الکتریکی در دو کاربری دیگر می‌تواند به دلیل آبشویی ناشی از بارندگی باشد. همچنین کربنات کلسیم خاک کاربری نخل در مقایسه با دو کاربری دیگر بیش‌تر بود. در واقع در رسانایی الکتریکی پایین‌تر آهک و در رسانایی الکتریکی بالاتر $NaCl$ نقش اصلی را بر عهده دارند که تغییرات رسانایی الکتریکی خاک کاربری‌های مورد مطالعه نیز مؤید نقش آهک در آن‌ها است.

در کاربری‌های مختلف از نظر چگالی ظاهری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما بیش‌ترین چگالی ظاهری مربوط به کاربری زراعت و کم‌ترین مربوط به کاربری نخل است.

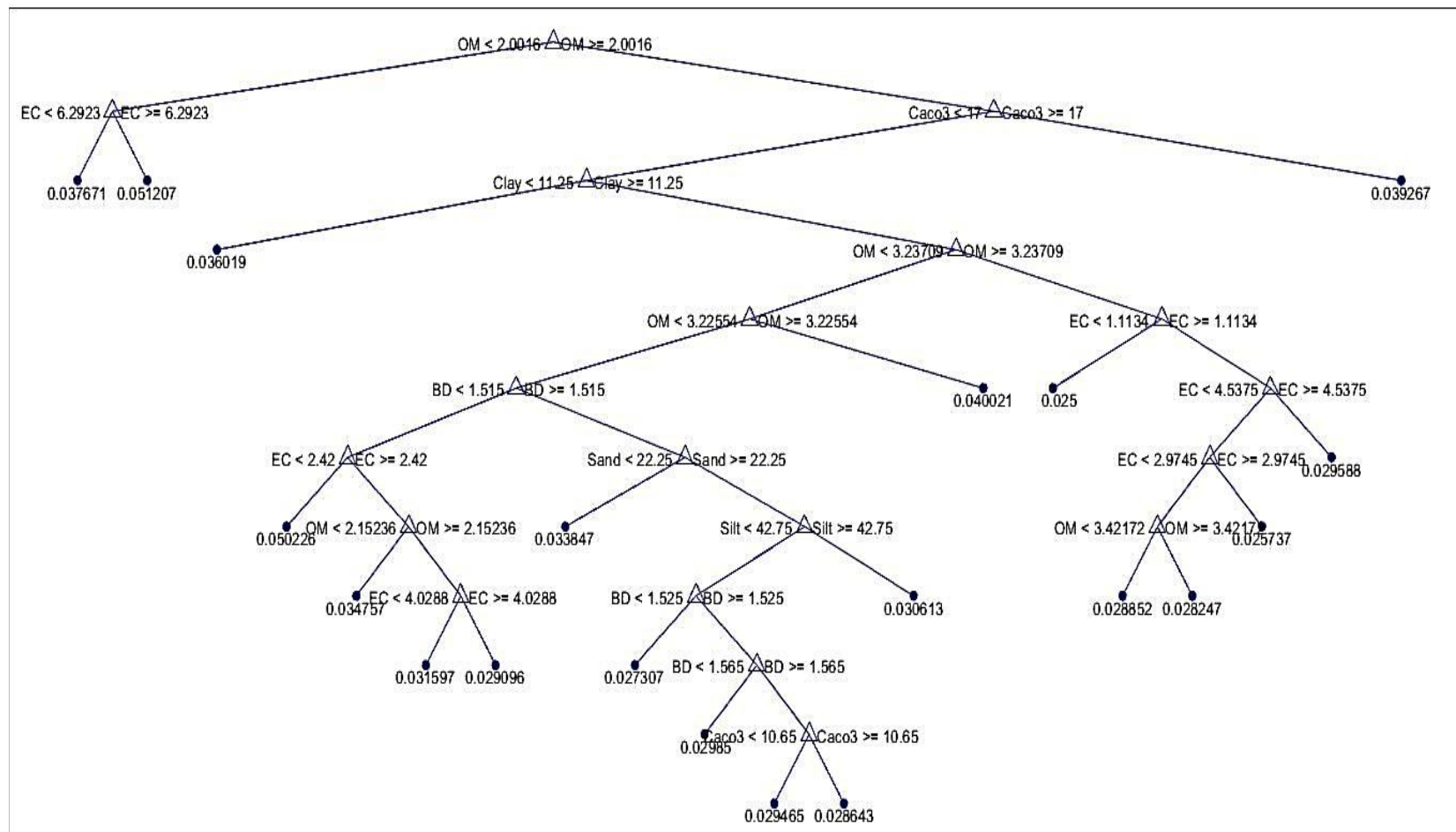
گره ها گرهی که در نهایت شاخه‌های فرزندان را به خلوص بهتری برساند انتخاب می شود.

نتایج مدل‌سازی رطوبت بهینه توسط الگوریتم درخت تصمیم (شکل 1) نشان داد که متغیر ماده آلی مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر رطوبت بهینه است که در اولین گره، نمونه‌ها را به دو گروه با مواد آلی کوچکتر از 2/0016 و نمونه‌های با مواد آلی بزرگتر و مساوی 2/0016 تقسیم نموده است و در طبقه بندی در بالاترین قسمت الگوریتم، یعنی در گره ریشه قرار دارد. پس از ماده آلی، درصد کربنات کلسیم معادل و هدایت الکتریکی پارامترهای اثرگذار بر رطوبت بهینه می‌باشند. اوپور و همکاران (2018) در مطالعه خود رابطه خطی مثبتی بین مقدار ماده آلی خاک و محدوده رطوبت بهینه خاک گزارش کردند این در حالی است که ثروتی و همکاران (1399) در بررسی کارایی مدل الخلافه در تخمین رطوبت بهینه خاکورزی گزارش کردند که ماده آلی همبستگی کمی با رطوبت بهینه خاکورزی دارد. مصری و همکاران (399) نیز منحنی مشخصه رطوبتی خاک را بیش تر تحت تأثیر کمیت های رطوبت اشباع، ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه معرفی کردند. در این مطالعه معیارهای ارزیابی در مدل‌سازی شامل ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و درصد میانگین مربعات خطا در نظر گرفته شد.

زیاد بودن چگالی ظاهری در کاربری زراعت می‌تواند به این دلیل باشد که در این کاربری میزان ماده آلی کمتر از دو کاربری دیگر بوده است. و همچنین میزان رس و سیلت نیز در این کاربری کمتر از کاربری مرکبات می‌باشد. این نتایج بیانگر آن است که عملیات کشت و کار و خاکورزی پس از تغییر کاربری جنگل، سبب افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری در اراضی زراعی و باغ شده است که با نتایج سلیم و همکاران (2005) در ترکیه و بهرامی و همکاران (2010) در شمال ایران مطابقت دارد.

بافت خاک یکی از خصوصیات فیزیکی پایدار خاک است و بر روی سایر خواص خاک مانند چگالی ظاهری خاک، ذخیره رطوبتی خاک، ساختمان خاک، نفوذپذیری خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رطوبت اشباع و مقدار ماده آلی خاک تأثیر می‌گذارد. مطابق جدول 2 تغییر کاربری منجر به تغییراتی در میانگین اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک بخصوص شن و رس شده است اما این تغییرات گرچه معنی دار بوده تأثیری در تغییر کلاس بافت نداشته است؛ هر چند به نظر می‌رسد که این پدیده شاید در درازمدت باعث تغییر کلاس بافتی این خاک‌ها شود. تحقیقات نشان می‌دهد که بافت خاک حساسیت کمی به تغییرات مدیریت دارد (کی، 1990). مفیدی و همکاران (2012) نیز بیان نمودند که تغییر کاربری سبب تغییر کلاس بافت خاک نمی‌شود. لذا علت و چگونگی اثر کاربری روی درصد شن و رس در این مطالعه به صورت قطعی مشخص نیست.

در ساختار درخت تصمیم (شکل 1) انشعابات بالاتر بیانگر اهمیت بیش‌تر متغیر ورودی در مدل‌سازی است. متغیری در گروهبندی داده‌ها اهمیت بالاتری دارد که در نهایت به کمترین ناخالصی برسد به این معنی که متغیر مورد نظر می‌تواند تفکیک بیشتر و خالص تری در داده‌ها داشته و اثر بیشتری روی متغیر هدف ایجاد کند در درخت باینری دو انشعابی الگوریتم‌های مدل برای هر متغیر، نقاط گره متفاوتی را تعیین می‌کند و از میان این



شکل 1- الگوریتم درخت تصمیم رطوبت بهینه خاکورزی به روش رگرسیونی

توانائی عالی مدل در تخمین است. به طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از مدل درخت تصمیم برای پیش‌بینی رطوبت بهینه به روش رگرسیون مناسب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد کاربری اراضی تأثیری بر خصوصیات رطوبتی خاک (رطوبت بهینه، مکش و دامنه رطوبت بهینه) نداشته و استفاده از درخت تصمیم برای پیش‌بینی رطوبت بهینه به دلیل دارا بودن خطای تخمین کمتر ضریب تبیین بالا، منطقی و قابل قبول است. هم‌چنین نتایج مدل‌سازی رطوبت بهینه در شکل 1 نشان داد که ماده آلی مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در پیش‌بینی رطوبت بهینه بوده و پس از آن به ترتیب متغیرهای درصد کربنات کلسیم معادل، هدایت الکتریکی، بافت خاک و چگالی ظاهری اهمیت دارند.

بررسی عملکرد مدل نشان داد که ضریب تبیین برای رطوبت بهینه خاک‌ورزی 0/75 بود که اعتبار مناسب درخت تصمیم را در مدل سازی نشان می‌دهد. مقدار آماره $RMSE$ همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیکتر باشد بهتر است. در مطالعه حاضر مقدار این شاخص 0/005 (معادل 0/5 درصد رطوبت وزنی) به دست آمده است. مناسبترین مدل تخمین، مدلی است که کمترین $NRMSE$ را داشته باشد. به عبارت دیگر مقدار $NRMSE$ بین صفر تا یک متغیر است که هر چه این مقدار به صفر نزدیکتر باشد، درستی تخمین مدل بیشتر است (اویانگ و همکاران، 2004). مقادیر کمتر از 0/1 برای آماره $NRMSE$ نشان دهنده دقت عالی مدل و بازه های 0/1 تا 0/2، 0/2 تا 0/3 و بیش از 0/3 به ترتیب نشان دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است (نیسی و همکاران، 1402). همان طور که در جدول 6 مشاهده می‌شود، در این پژوهش مقدار $NRMSE$ نشان‌دهنده

فهرست منابع:

1. بنایی، ح. م. 1380. نقشه‌ی منابع و استعداد خاک‌های ایران. مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب کشور. تهران، ایران.
2. تقی پور، م.، یغماییان مهابادی، ن. و م. شعلان پور شهرستانی. 1398. اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان کربن آلی خاک در منطقه توتکابن استان گیلان. نشریه پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب). 33(4): 577-590.
3. ثروتی، م.، بیرامی، ح. و ا. احمدی. 1399. ارزیابی کارایی مدل الخلافه در تخمین رطوبت بهینه خاک‌ورزی و شاخص میرایی خاک. نشریه علوم آب و خاک. 24(1): 159-186.
4. حقوردی، ا.، قهرمان، ب.، خشنود یزدی، ع. ا. و ز. عربی. 1389. برآورد رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی خاک های شمال و شمال شرق ایران با استفاده از روش‌های نزدیک ترین K همسایه و شبکه های عصبی مصنوعی. نشریه آب و خاک. 24(4): 804-814.
5. رضایی‌نژاد، ر.، ابطحی، ع.، زین‌الدینی، ع.، زارع، س. و س. شاه‌نظری. 1390. تأثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران. 12-14 شهریور. دانشگاه تبریز. ایران.
6. سازمان جغرافیایی و وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح. 1382. فرهنگ جغرافیای آبادی‌های استان کرمان، شهرستان جیرفت، جلد 5، صفحه‌ی 3.
7. شیران پور، ب.، بهرامی، ا. و م. شعبانپور. 1391. تأثیر تغییر کاربری جنگل به باغ چای بر حاصلخیزی خاک در استان گیلان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 26(4): 826-831.

10. شیرانی، ح.، اصغری نژاد، ن.، صدر، س.، اسفندیارپور، ع. و ح. شکفته. 1400. تخمین مقاومت کششی خاک با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی و تخمین‌گرهای خطا در برخی از اراضی پسته‌کاری رفسنجان. نشریه علمی پژوهش‌های خاک. 35(3): 303-320.
11. شیرانی، ح. 1396. شبکه‌های عصبی مصنوعی با رویکرد کاربرد در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه ولی عصر رفسنجان. 360 صفحه.
12. شهرابی، ج. 1392. داده کاوی 2. انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر).
13. غلامی، ل.، داوری، م.، نبی الهی، ک. و ح. جنیدی جعفری. 1395. تأثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: بانه). حفاظت منابع آب و خاک. 5(3): 13-27.
14. نیک نهاد، ح. و م. مارامایی. 1390. اثر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات خاک حوضه آبخیز کیچک. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. 1(2): 81 تا 96.
15. مهدوی فر، ع. قربانی، ش. مصدقی، م. ر. و م. ح. صالحی. 1392. برآورد رطوبت بهینه خاک برای خاک ورزی با استفاده از ویژگی‌های زود یافت در خاک‌های ورته سول، دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم، همدان.
16. نیسی، ک.، اگدر نژاد، ا. و ف. عباسی. 1402. ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت و بهره‌وری آب تحت مدیریت مختلف کاربرد کود نیتروژن در کرج. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. 3(1): 26-41.
17. نادری، ر.، یزدانی، ع. و ا. بیژن زاده. 1392. تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر پویایی جمعیت علف‌های هرز در باغ‌های مرکبات، همایش ملی پدافند غیر عامل در بخش کشاورزی، 30 آبان، قشم.
18. لطیفیان، م. 1395. مروری بر مدیریت تلفیقی آفات نخل خرما (چالش‌ها و راه‌کارها). فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره شناسی. 8(4): 271-287.
19. Allmaras, R.R., Burwell, R.E., and R.F. Holt. 1969. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 31: 550-556.
20. Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy*. 43: 434-438.
21. Bahrami, A., Emadodin, I., Ranjbar-Atashi, M. and H. Rudolf-Bork. 2010. Land use change and soil degradation: A case study, north of Iran. *Agr Biol J N Am*, 1(4): 600-605.
22. Berntsen, R., and B. Berre. 2002. Soil fragmentation and the efficiency of tillage implements. *Soil Till Res*. 64: 137-147.
23. Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern mediterranean highland of Turkey. *Soil Till Res*. 83: 270-277.
24. Dexter, A.R., and N.R.A. Bird. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil Till Res*. 57: 203-212.
25. Dexter, A.R., Czyz, E.A., Birkas, M., Diaz-Pereira, E., Dumitru, E., Enache, R., Fleige, H., Horn, R., Rajkaj, K., de la Rosa, D. and C. Simota. 2005. SIDASS project Part 3, The optimum and the range of water content for tillage - further developments. *Soil Till Res*. 82: 29-37.
26. Dexter, A.R., and N.R.A. Bird. 2011. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil Till Res*. 57: 203-212.
27. Diaz-Zorita, M., Grove, J.H. and E. Perfect. 2002. Disruptive methods for assessing soil aggregation: a review. *Soil Till Res*. 64: 3-22

28. Greacen, E.L. 1960. Water content and soil strength. *J. soil sci.* 11: 313–333.
29. Jones, J.B. 2001. *Laboratory Guides for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press, Boca Raton.
30. Kay, B.D. 2000. Soil Structure. p. 271-278. In E.M. Sumner (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton London, New York, Washington, D.C.
31. Loghavi, M. and A. Moradi, 1996. Draft and draw bar power requirement of moldboard plow in a clay loam soil. *Iran Agricultural Research*, 15 (2): 203-214
32. Moncada, M.P., Gabriels, D., and W.M. Cornelis. 2014. Data-driven analysis of soil quality indicators using limited data. *Geoderma*. 235: 271-278.
33. Mofidi, M., Rashtbari, M., Abbaspour, H., Ebadi, A., Sheidai, E., and J. Motamedi. 2012. Impact of grazing on chemical, physical and biological properties of soils in the mountain rangelands of Sahand, Iran. *Rangeland J.* 34: 297-303.
34. Mosaddeghi, M.R., Morshedizad, M., Mahboubi, A.A., Dexter, A.R., and R. Schulin. 2009. Laboratory evaluation of a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. *Soil Till Res.* 105: 242-250
35. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter: laboratory methods. P. 961-1010 In D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, Wisconsin*.
36. Nemes, A., Rawls, W.J., and Y.A Pachepsky. 2006. Use of the nonparametric nearest neighbor approach to estimate soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 2. 327-336.
37. Obour, P.B., Jensen, J.L., Lamandé, M., Watts, C.W., and L.J. Munkholm. 2018. Soil organic matter widens the range of water contents for tillage. *Soil Till Res.* 182: 57-65.
38. Ouyang, M., Welsh, W.J., and P. Georgopoulos 2004. Gaussian mixture clustering and imputation of microarray data, *J. Bioinform.* 20: 917-923.
39. Quinlan, J.R. 1996. Improved use of continuous attributes in $C_{4.5}$. *J Artif Intell Res.* 4: 77-90.
40. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline-Alkali Soils*. U.S.D.A. Hand book, 60. Washington, D.C., U.S.A.
41. Shcherbakov, M.V., Brebels, A., Shcherbakova, N.L., Tyukov, A.P., Janovsky, T.A., and Kamaev, V.A. 2013. A Survey of Forecast Error Measures. *World Applied Sciences Journal*, 24: 171-176.
42. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892–898.
43. Witten, I.H., Frank, E., and M.A. Hall. 2005. *Data mining Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier.
44. Wilding, L.P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. p. 166-187. In: D.R. Nielsen and J. Bouma (ed.). *Soil Spatial Variability. Workshop of the ISSS and the SSA, Las Vegas PUDOC, Wageningen*. 30 November-1 December.
45. Yasrebi, J.A., Saffari, M.A., Fathi, H.A., Karimiyan, N.A., Emadi, M.O., and M.A. Baghernejad. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in Southern *J Appl Sci.* 8: 1642-1650.
46. Yohaness, Y. 1999. *Classification and Regression Tree: an Introduction*. Research Institute of Washington, D.C.

اثر نوع بیوچار و زیست توده بر رشد گیاه نعنای فلفلی (*piperita L. Mentha*) در خاک آلوده به کادمیم

فهیمة بهاروندی، محمد فیضیان¹، صمد عبدی و افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی

دانشجوی دکترای علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران؛ Baharvandi.bahar@yahoo.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران؛ feizian.m@lu.ac.ir

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، لرستان، ایران؛ Sabdi1100@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران؛ alinezhadian.a@lu.ac.ir

ص 33 - 49

دریافت: 1401/2/19 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

امروزه روش‌های مختلفی برای کاهش اثرات منفی غلظت بالای فلزات سنگین موجود در خاک، استفاده می‌شود. در این راستا، استفاده از بیوچار، روش ارزان و نسبتاً جدیدی برای کاهش سمیت فلزات سنگین می‌باشد. در این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر بیوچارهای مختلف، به عنوان بهسازهای خاک، بر بهبود رشد گیاه نعنای فلفلی در خاک آلوده به کادمیم آزمایشی گلدانی به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل شامل سطوح آلودگی کادمیم (50 و 100 میلی گرم بر کیلوگرم)، نوع ماده آلی (خاک اره صنوبر، بیوچار خاک اره تهیه شده در دمای 300 و 600 درجه سلسیوس، کاه گندم، بیوچار کاه گندم در دمای 300 و 600 درجه سلسیوس) و مقدار ماده آلی (صفر، 2 و 4 درصد وزنی) بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد اسانس گیاه نعنای فلفلی انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح کادمیم، مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، میزان کاروتنوئید، میزان فتوسنتز، درصد اسانس و عملکرد اسانس به ترتیب کاهشی برابر 37/6٪، 54/9٪، 42/9٪، 31/6٪، 40/5٪، 34/8٪ و 83/3٪ را نشان دادند. نتایج حاکی از اثرات مثبت بیوچارها در کاهش اثرات منفی کادمیم بود. مقایسه تیمار کادمیم به تنهایی با تیمارهای کادمیم همراه بیوچار نشان داد که بیوچار علفی (کاه گندم) نسبت به سایر تیمارها توانایی بیشتری در کاهش اثرات منفی کادمیم دارد. در اغلب موارد، بیوچار کاه گندم تولید شده در دو دمای 300 و 600 درجه سلسیوس، در سطوح 2٪ و 4٪ برتری نسبی محسوس در بهبود رشد و عملکرد گیاه، نسبت به سایر تیمارها داشت. بیشترین درصد اسانس مربوط به بیوچار کاه گندم 600 درجه سلسیوس و سطح 2٪ و 50 میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم با 86٪ افزایش نسبت به شاهد (بدون کاربرد ماده آلی) بدست آمد. همچنین، این تیمار باعث افزایش 20 درصدی وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد گردید. میزان جذب نیتروژن، پتاسیم و فسفر در این تیمار به ترتیب 100٪، 73٪ و 76٪ افزایش نسبت به شاهد نشان داد. به طور کلی، نتایج بدست آمده بیانگر پتانسیل بالای بهساز بیوچار کاه و کلش گندم در افزایش و بهبود رشد گیاه نعنای فلفلی در خاک آلوده به کادمیم، نسبت به سایر مواد آلی استفاده شده در این پژوهش بود.

واژه‌های کلیدی: اسانس نعنای فلفلی، بهساز خاک، جذب عناصر غذایی، کاروتنوئید

¹ نویسنده مسئول، آدرس: feizian.m@lu.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر، بهره‌گیری از پساب‌ها و فاضلاب‌های خانگی و استفاده بی‌رویه از برخی کودهای شیمیایی سبب افزایش آلودگی خاک به فلزات سنگین شده است (فاجاردو و همکاران، 2019). وجود فلزات سنگین در خاک، تهدیدی برای کیفیت خاک، رشد گیاه و سلامتی جانداران خواهد بود (تانگ و همکاران، 2020). کادمیم به عنوان یکی از خطرناک‌ترین و سمی‌ترین فلزات سنگین می‌باشد که دارای تحرک زیادی در خاک بوده و به عنوان یک بازدارنده برای رشد گیاه محسوب می‌شود (وانگ و همکاران، 2019).

در سال‌های گذشته کاربرد بهسازهای آلی برای تثبیت فلزات سنگین خاک، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (وو و همکاران، 2017؛ لو و همکاران، 2017؛ یوان و همکاران، 2019). بیوچار یا زغال زیستی یک ماده متخلخل و سرشار از کربن است که در اثر حرارت زیست توده در شرایط اکسیژن کم یا نبود اکسیژن، از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی تولید می‌شود. کاربرد بیوچار به عنوان ماده‌ای برای ترسیب کربن، موجب کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن به هوا می‌شود (کیم و همکاران، 2012؛ ولف و همکاران، 2010).

افزایش مواد آلی خاک، نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش حاصلخیزی، ممانعت از آبهویی عناصر، تخلخل و تهویه زیاد، پتانسیل زیاد در بازیافت مواد مغذی، صرفه اقتصادی و ترسیب بلند مدت کربن از جمله مزایای کاربرد بیوچار در خاک است (گلاسرو و همکاران، 2002). داشتن تخلخل زیاد این امکان را به وجود می‌آورد که بیوچار به عنوان جاذب آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین، در پالایش خاک و یا آب‌های آلوده بسیار کارآمد باشد (تان و همکاران، 2015؛ وانگ و همکاران، 2018 و وو و همکاران، 2019). کاربرد بیوچار با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه بالای آن و حضور کربوکسیل و اکسیژن‌های سطحی قادر است تا سمیت و تحرک حاصل از آلاینده‌های آلی و

فلزات سنگین را کاهش داده، موجب تثبیت فلزات سنگین و بهبود وضعیت گیاه و خاک از لحاظ آلودگی به این آلاینده‌ها شود (وو و همکاران، 2019).

استفاده روزافزون از فواید گیاهان دارویی، اهمیت کشت آن‌ها را افزایش می‌دهد، اگرچه عوامل ژنتیکی عامل اصلی تولید متابولیت‌های ثانویه است، اما اهمیت عوامل محیطی در تولید آن‌ها نباید نادیده گرفته شود. در این زمینه کبیری و همکاران (2021) اثر زغال زیستی خاک اره تولید شده در دمای 450 درجه سلسیوس در سطح 1 و 2 درصد را بر پاسخ‌های مورفولوژیک گیاه ذرت در یک خاک آلوده به سرب و روی بررسی کردند و اظهار داشتند که کاربرد زغال زیستی در خاک آلوده به فلزات سنگین در سطح 2 درصد، می‌تواند فراهمی سرب و روی را کاهش داده و بهبود شاخص‌های رشدی گیاه ذرت را موجب شود. مطالعات کیم و همکاران (2015) نشان داد که استفاده از زغال زیستی خاک اره تولید شده در دمای 400 درجه سلسیوس، به عنوان یک جاذب کربنی متخلخل و با سطح ویژه بالا، می‌تواند با کاهش تحرک و فراهمی فلزات سنگین کادمیم و سرب رشد و نمو گیاه کاهو را افزایش دهد، به طوریکه علاوه بر کاهش فراهمی فلزات در خاک، کاهش میزان این عناصر در گیاه کاهو در خاک‌های تیمار شده با زغال زیستی مشاهده شده است.

گزارش لی و همکاران (2017) بیانگر اثر مثبت زغال زیستی کاه و کلش گندم در دمای 300 و 600 درجه سلسیوس بر جذب فلزات سنگین کادمیم و نیکل از آب آبیاری بود، که این اثر با افزایش دمای تولید زغال زیستی، افزایش می‌یابد. در پژوهشی که توسط لیو و همکاران (2020) انجام شد، مشخص شد که در خاک آلوده با 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم، رشد و میزان عناصر غذایی در گیاه سویا به طور معناداری کاهش نشان داد و کاربرد زغال زیستی ساقه برنج و کود آلی در دمای 300 درجه موجب کاهش میزان کادمیم در اندام‌های

هوایی و افزایش جذب عناصر غذایی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه شد.

گیاه نعنای فلفلی یک گیاه علفی، چند ساله ریزوم‌دار متعلق به راسته Lamiales و خانواده نعنائیان Lamiaceae است. ترکیب اصلی اسانس این گیاه منتول و متون می باشد که در صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی و بهداشتی استفاده می شود (گالوتی و همکاران، 2002؛ خیری و همکاران، 2017). نکته مهم در تولید گیاهان دارویی حفظ خواص کیفی و کمی آن‌ها از طریق حفظ کیفیت خاک، حذف عوامل بازدارنده رشد از جمله فلزات سنگین و در نهایت ایجاد بستری مناسب برای رشد گیاه است. یکی از اهداف مدیریتی کشت گیاهان دارویی بهبود خواص کمی و کیفی آنها بخصوص در شرایط تنش می باشد. آلودگی خاک یکی از عواملی است که رشد و ترکیب شیمیایی بسیاری از گیاهان را تحت تاثیر قرار می دهد. با توجه به پیامدهای منفی ناشی از وجود کادمیم در خاک و همچنین رویکردهای کشاورزی پایدار و استفاده از نهاده‌هایی که باعث افزایش کارایی سیستم کشت می شوند، این پژوهش به منظور بررسی توانایی چند نوع ماده آلی و بیوچار آنها در جذب فلز کادمیم و کاهش اثرات منفی کادمیم بر رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه نعنای فلفلی انجام شد.

مواد و روش

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در بهار 1399 اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نوع ماده آلی و بیوچار تهیه شده از آنها (کاه و کلش گندم، خاک اره صنوبر، بیوچار کاه گندم در دمای 300، بیوچار کاه گندم در دمای 600، بیوچار خاک اره در دمای 300 و بیوچار خاک اره در دمای 600) در سه مقدار از بیوچار و زیست توده (0، 2 و 4 درصد وزنی بیوچار و زیست توده) و کادمیم در دو سطح (50 و 100 میلی گرم در کیلوگرم) بود. در طول آزمایش میانگین دمای روزانه

گلخانه 22-28 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60-70 درصد بود.

تهیه بیوچار

برای تهیه بیوچار از خاک اره صنوبر بعنوان منبع بیوچار چوبی و کاه گندم، بعنوان منبع بیوچار علفی استفاده شد. زیتوده‌ها خشک و با آسیاب به ذرات ریز تبدیل گردید، پس از آن در کوره و بدون حضور اکسیژن در دو دمای 300 و 600 درجه سلسیوس به مدت 3 الی 4 ساعت گرماکافت (پیرولیز) شدند. این کار توسط کوره الکتریکی طراحی شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید.

تجزیه آزمایشگاهی خاک و بیوچارهای مورد استفاده

خاک مورد استفاده در این پژوهش از عمق 0 تا 30 سانتی‌متری از اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان نمونه‌برداری شد. پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب، اسیدیته خاک در خمیر اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده به وسیله عصاره‌گیری با بیکربنات سدیم (اولسن و همکاران، 1954)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، عناصر کم مصرف کاتیونی (منگنز، مس، آهن و روی) به روش عصاره‌گیری با DTPA (اندازه‌گیری توسط دستگاه طیف سنجی جذب اتمی)، و پتاسیم قابل جذب به وسیله عصاره‌گیری با استات آمونیوم به وسیله دستگاه شعله‌سنج اندازه‌گیری شد (جدول 1). مقادیر کادمیم کل و قابل دسترس، به ترتیب، با عصاره‌گیرهای 4مولار اسید نیتریک و DTPA استخراج و اندازه‌گیری گردید که مقادیر بدست آمده کمتر از حد تشخیص دستگاه و غیر قابل تشخیص بودند.

اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار در نسبت یک به ده نمونه به آب، کربن آلی به روش اکسیداسیون مرطوب و نیتروژن کل به روش کج‌لدال

اندازه‌گیری شد. به منظور تجزیه شیمیایی بیوچار یک گرم از هر نمونه برداشته شد و به طور جداگانه در کوره الکتریکی به مدت چهار ساعت در دمای 550 درجه سلسیوس خاکستر گردید و بعد در اسید کلریدریک دو نرمال حل شده و پس از عبور از کاغذ صافی با آب مقطر به حجم رسانده و غلظت آهن، منگنز، روی و مس با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (راجکوویچ و همکاران، 2011) (جدول 2).

جدول 1- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت	pH	EC (ds/m)	نیترژن (%)	پتاسیم	فسفر	آهن (mg/Kg)	روی	کادمیم
لوم سیلتی	6/9	0/26	0/09	279	14	4/68	1/03	nd

pH: واکنش خاک؛ EC: قابلیت هدایت الکتریکی؛ nd: غیر قابل تشخیص توسط دستگاه

جدول 2- برخی ویژگی‌های بیوچارها و زیست توده‌های آن

نوع بقایا	pH	EC ds /m	N %	P %	K gr/kg	Cd
ضایعات چوبی (خاک اره)	5/59	2/48	1/11	0/64	0/47	nd
ضایعات علفی (کاه گندم)	7/11	3/91	1/01	0/61	1/43	nd
بیوچار خاک اره 300	7/11	0/05	0/22	2/16	6/2	nd
بیوچار خاک اره 600	7/67	0/09	0/75	3/25	10/87	nd
بیوچار کاه 300	8/3	0/55	0/41	2/9	27/7	nd
بیوچار کاه 600	9/94	0/68	0/22	4/62	34/7	nd

pH: واکنش خاک؛ EC: قابلیت هدایت الکتریکی؛ N: نیترژن؛ P: فسفر؛ K: پتاسیم؛ Cd: کادمیم؛ nd: غیر قابل قرائت توسط دستگاه

کادمیم بطور جداگانه افزوده گردید. نمونه‌ها کاملاً مخلوط و در ظروف پلاستیکی ریخته شد و به مدت 4 ماه (120 روز) در فضای گلخانه و در دمای 25 درجه سلسیوس و رطوبت حدود ظرفیت مزرعه (تنظیم شده با روش توزین) خوابانیده شد. بعد از این بازه زمانی گلدان-های 5 کیلویی تهیه شده و در هر گلدان سه عدد ریزوم نعنای فلفلی قرار داده شد، آبیاری گلدان‌ها براساس روش وزنی تا حد ظرفیت زراعی صورت گرفت.

در پایان دوره رشد کامل بوته‌ها (هشت هفته بعد از کاشت)، ارزیابی میزان عناصر پر مصرف شامل نیترژن، پتاسیم و فسفر در اندام هوایی گیاه، عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز، مقادیر کادمیم، میزان و عملکرد اسانس، ارتفاع بوته و وزن خشک شاخساره انجام شد. برای تهیه عصاره اندام هوایی گیاه

مورفولوژی سطح بیوچارها و زیست توده‌های مورد استفاده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

پس از تهیه بیوچارها، مورفولوژی سطح نمونه‌ها با استفاده از مطالعات تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) دانشگاه لرستان انجام شد.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

در ابتدای این تحقیق نمونه خاک تهیه شده از عمق 0 تا 30 سانتی‌متر دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، با مقادیر 50 و 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم از منبع نمک نیترا ته تیمار شده، سپس مواد آلی اولیه و بیوچارهای تهیه شده از آنها در دو دمای 300 و 600 درجه سلسیوس در سه سطح (0، 2 و 4%) به هر خاک آلوده شده با فلز

فالكون 15 میلی‌لیتری ریخته شد و به مدت 15 دقیقه با دستگاه سانتریفیوژ (مدل 2-16 KL سیگما 4) با دور 4000 در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس محلول رویی برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب محلول در طول موج های 470، 662 و 645 نانومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ از روابط زیر محاسبه گردید.

$$\text{رابطه (3)} \quad CA = 11.24 \times A_{662} - 2.04 \times A_{645}$$

$$\text{رابطه (4)} \quad CB = 20.13 \times A_{645} - 4.19 \times A_{662}$$

$$\text{رابطه (5)} \quad C(A+B) = CA + CB$$

$$\text{رابطه (6)} \quad C(X+C) = 1000 \times (A_{470} - 1.90 CA - 63.14 CB) / 214$$

در این روابط CA میزان کلروفیل a، CB میزان کلروفیل b، C(A+B) میزان کلروفیل کل، C(X+C) میزان کاروتنوئید است.

اندازه‌گیری فتوسنتز

فتوسنتز با دستگاه فتوسنتز متر مدل GFS3000 بین ساعات 9 تا 12 و در شدت نور حدود 1100 میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه اندازه‌گیری شد. برای این کار از برگ‌های سالم و کاملاً توسعه یافته‌ی قسمت میانی بوته‌ها استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS 21 صورت گرفت و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون دانکن در سطح 0/05 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

برهمکنش مواد آلی و کادمیم بر صفات گیاه:
نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل نوع ماده آلی و سطوح کادمیم بر صفات اندازه‌گیری شده در جدول‌های 3 و 4 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده

بعد از شستشو با آب مقطر، گیاهان برداشت شده به مدت 48 ساعت درون آون با دمای 70 درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها نیز محاسبه گردید. سپس در دمای 550 درجه سلسیوس خاکستر شده و سپس 5 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 2 نرمال به آن افزوده شد تا نمونه حل شود. سپس نمونه‌های حل شده از کاغذ صافی عبور داده شد و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شد. فسفر به روش رنگ سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (وسترمن، 1996) و غلظت پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر میکرو و کادمیم در نمونه‌های تهیه شده با دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن گیاهی از روش تیتراسیون بعد از تقطیر و به کمک دستگاه کجل تک (Analyzer 2300 Kjeltex) FOSS انجام گرفت. وزن تر گیاه، وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ (بعد از 48 ساعت درون آون با دمای 70 درجه سلسیوس) نیز با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین مقدار اسانس در گیاه، نمونه‌های 14 گرمی از اندام‌های هوایی خشک شده نعنای فلفلی تهیه و به همراه 200 میلی‌لیتر آب مقطر (نسبت 1:10 ماده خشک به آب مقطر) در بالن ژوژه 500 میلی‌لیتری دستگاه کلونجر قرار داده شد. برای تعیین میزان درصد اسانس و عملکرد اسانس، به ترتیب از رابطه 1 و 2 استفاده شد.

$$\text{رابطه (1)} \quad \text{اسانس} = \frac{\text{وزن خشک} \times 100}{\text{وزن اسانس خارج شده (میلی گرم)}} \times \text{درصد}$$

$$\text{رابطه (2)} \quad \text{وزن خشک برگ در گلدان} \times \text{درصد اسانس} = \text{عملکرد اسانس}$$

برای سنجش میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید از روش لیختن تالر (1987) استفاده شد. در این روش ابتدا 0/1 گرم برگ توزین و در هاون چینی با ازت مایع کاملاً ساییده شد. سپس نمونه را با 10 میلی‌لیتر استون خالص مخلوط کرده، عصاره به دست آمده در

می‌شود تیمارها بر همه صفات اثر معنی‌دار در سطح یک درصد دارند. اثر متقابل نوع ماده آلی و سطوح کادمیم بر همه صفات به جز درصد اسانس، درصد فسفر و مس معنی‌دار است. پژوهشگران بیان کردند که بیوچار حاوی دامنه‌ای از عناصر غذایی است و این عناصر را با سرعت‌های متفاوتی آزاد می‌کند و اثرات مختلفی بر حاصلخیزی خاک دارد (مخرجی و زیمرمن، 2013). بیوچار می‌تواند یک منبع تغذیه مستقیم برای گیاه باشد و

جعفری دریافتند کاربرد کودهای آلی کمپوست مصرف شده و بیوچار آن باعث جذب بهتر عناصر غذایی و همچنین مولفه‌های رشدی در گیاه می‌گردد. این محققان میزان 3 درصد وزنی بیوچار را به عنوان مناسب‌ترین سطح پیشنهاد می‌کنند و دلیل موثر بودن بیوچار در افزایش مولفه‌های رشدی را به نقش بیوچار در کاهش تنش خشکی و شوری و قابلیت نگهداری آب نسبت می‌دهند. به طور کلی با استفاده از بیوچار می‌توان ضایعات را به

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس اثر نوع ماده آلی و سطح کادمیم بر ویژگی‌های رشدی و جذب عناصر گیاه نعنای فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر کل	وزن خشک کل	پتاسیم	نیتروژن	فسفر	کادمیم
سطوح کادمیم	1	554/84**	501/22**	22** 20	35/65**	0/18**	0/11**
نوع ماده آلی	12	58/22**	14/79**	0/86**	3/85**	0/02**	0/01**
سطوح کادمیم * نوع ماده آلی	12	3/74**	0/38**	0/15*	0/14**	0/00	0/00*
CV		24	28	21	21/3	30	12

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری در سطح 5% و 1% معنی‌دار می‌باشد.

نحو مؤثری مدیریت نمود، تا حد زیادی از تغییرات اقلیمی ناشی از آزاد شدن دی‌اکسید کربن خاک جلوگیری کرد و در نهایت خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک را بهبود بخشید (رودریگز، 2010). نجفی قیری (2014) در اثر کاربرد بیوچارهای حاصل از بقایای گیاهی تولید شده در دمای 450 درجه سلسیوس، افزایش فوق‌العاده‌ای در عناصر پتاسیم و نیتروژن نسبت به شاهد ملاحظه کرد. در تحقیق آزمایشگاهی دیگری که توسط زلفی و همکاران (2016) انجام شد، مصرف کود مرغی و تمامی بیوچارهایی که در دماهای مختلف، از آن ساخته شده بودند، در سطح 3 درصد سبب افزایش کربن آلی، شوری و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد.

موجب فراهمی بسیاری از عناصر برای گیاه شود و محققان، دلیل افزایش عناصر در گیاه را بهبود شرایط حاصلخیزی و افزایش غلظت عناصر قابل استفاده خاک در اثر افزودن بیوچار به خاک بیان کردند (لهمان و جوزف، 2015). در تحقیق عباس‌پور و همکاران (1396) بیوچار چوب درخت گردو، تولید شده در دمای 400 تا 700 درجه سلسیوس، به میزان 10 تن در هکتار اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه سیاه دانه نسبت به تیمار شاهد داشت. در پژوهش کرمی‌نیا (1398) در بررسی اثر کمپوست مصرف شده قارچ و بیوچار تولیدی آن در دمای 600 درجه سلسیوس تحت تنش شوری بر رشد گیاه

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر نوع ماده آلی و سطح کادمیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه نعنای فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	فتوستتر	اسانس	عملکرد اسانس
سطوح کادمیم	1	27/23**	21/33**	96/77**	11/58**	64/67**	6/18**	0/03**
نوع ماده آلی	12	3/06**	1/49**	7/94**	3/36**	4/37**	1/87**	0/00**
سطوح کادمیم * نوع ماده آلی	12	1/27**	0/49**	3/12**	0/07**	0/93**	0/07	0/00*
CV		18/3	23/9	25/7	29	29/8	17	17/1

محافظت کننده‌های اسمزی، عمدتاً پرولین، و تغییر پایداری ژنتیکی این گیاه و در نهایت به کاهش بیوماس گیاه منجر می‌شود.

اثرات نوع بیومس بر کاهش اثرات منفی کادمیم

با توجه به نتایج جدول 5 افزایش سطح بیومس شامل بیومس خام و بیوچار آنها از 2 درصد به 4 درصد باعث افزایش سطح صفات فیزیولوژیکی گیاه شده است، هر چند این افزایش در اغلب موارد از لحاظ آماری معنی‌دار نیست اما از لحاظ عددی افزایشی است، این موضوع نشان دهنده اثر بیوچار بر کاهش اثرات منفی کادمیم است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیوچار علفی 600 درجه در دو سطح 2 و 4 درصد در سطح کادمیم 50 باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a نسبت به تیمار کادمیم به تنهایی شده است. این روند در مورد کلروفیل b و کلروفیل کل نیز مشاهده می‌شود. در سطح کادمیم 50، میزان کاروتنوئید در تیمار بیوچار چوبی 300 درجه در سطح 2 درصد 57/7 درصد افزایش داده است در تیمار 100 کادمیم هم این روند در مورد کاروتنوئید مشاهده می‌شود. میزان فتوسنتز در اکثر تیمارهای بیوچار افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار کادمیم به تنهایی در دو سطح 50 و 100 کادمیم نشان می‌دهد. نکته قابل توجه افزایش معنی‌دار درصد اسانس در تیمارهای حاوی بیوچار نسبت به تیمار کادمیم به تنهایی است.

بررسی نتایج جدول 6 نیز حاکی از اثر مثبت بیوچار بخصوص بیوچار علفی در کاهش اثرات منفی کادمیم است. در همه صفات ذکر شده در جدول 6 بیوچار علفی نسبت به سایر تیمارها توانایی بیشتری در کاهش اثرات منفی کادمیم نشان می‌دهد. در سطح 50 کادمیم کمترین میزان جذب کادمیم در تیمار بیوچار علفی 2 درصد مشاهده می‌شود.

بر اساس گزارشات هو همکاران (2017)، وجود گروه‌های عاملی مختلف مانند کربوکسیل، فنل و گروه‌های اکسیژن در بیوچار، یون‌های عناصر سنگین را با فرآیند تبادل یونی تثبیت کرده و جذب آنها توسط گیاهان را

مقایسه میانگین اثرات متقابل ماده آلی و سطوح کادمیم بر ویژگی‌های گیاه نعنای فلفلی در جدول‌های 5 و 6 آمده است.

اثرات افزایش سطوح آلودگی کادمیم بر صفات فیزیولوژیکی و رشدی گیاه

با توجه به نتایج جدول 5 با افزایش سطح کادمیم در تیمار کادمیم 50 به 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم بدون ماده آلی میزان کلروفیل a 37/6 درصد کاهش، میزان کلروفیل b 54/9 درصد کاهش، کلروفیل کل 42/9 درصد کاهش، میزان کاروتنوئید 31/6 درصد کاهش، میزان فتوسنتز 40/5 درصد کاهش، درصد اسانس 34/8 درصد کاهش، عملکرد اسانس 83/3 درصد کاهش نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول 6 با افزایش سطح کادمیم وزن تر کل 18/8 درصد کاهش، وزن خشک کل 56/6 درصد کاهش، میزان فسفر 42/8 درصد کاهش، میزان پتاسیم 46/3 درصد کاهش، 54/4 درصد کاهش، میزان کادمیم 33/3 درصد افزایش نشان می‌دهند. فلزات سنگین با ورود به گیاه، سبب تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد می‌شوند، که در نتیجه آن منجر به اکسیداسیون کنترل نشده و واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال شده و در نهایت به مولکول‌های زیستی سلولی مانند اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها آسیب می‌رسانند و سبب کاهش بیوماس گیاه می‌شوند (فانیندرا و همکاران، 2015).

بر اساس گزارشات انجام گرفته، کادمیم با اثر سمیت خود بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن سبب کاهش رشد و بیوماس گیاه می‌شود (آلکانتارا و همکاران، 1994؛ ماتیس، 1975). همچنین فودور (1995) گزارش داد که تجمع کادمیم فعالیت ATPase غشای پلاسمایی را کاهش می‌دهد و نفوذپذیری غشاء و هموستاز یون‌های فلزی را تغییر می‌دهد. الخطیب و الکاسمه (2014) در بررسی پایداری ژنتیکی گیاه *Solanum nigrum* متأثر از وجود کادمیم نشان دادند که سطوح بالای این عنصر سبب کاهش سطح

محققین همچنین نشان دادند که یون‌های مختلفی از جمله سیلیسم، گوگرد و کلر در ساختار بیوچار نیز با عناصر سنگین ترکیب می‌شوند و تحرک آن‌ها در خاک را کاهش می‌دهند. کائو و هریس (2010) گزارش کردند که مواد معدنی موجود در بیوچار با تشکیل رسوبات نامحلول از عناصر سنگین، دسترسی و تحرک آن‌ها را در خاک کاهش می‌دهند. که به عنوان مثال میتوان به ترسیب سرب و کاهش تحرک و در دسترس بودن آن بواسطه وجود فسفر معدنی موجود در بیوچار، اشاره کرد (لیانگ و همکاران، 2021).

کاهش می‌دهد. در گزارشی دیگر، لی و همکاران (2015) نشان دادند، که بیوچار با رهاسازی کلسیم و منیزیم موجود بر روی سطوح خود (به دلیل CEC بالاتر) سبب تثبیت عناصر سنگین شده و میزان دسترسی آن‌ها برای گیاهان را کاهش می‌دهد. زو و همکاران (2017) نیز نشان دادند که بیوچارها دسترسی فلزات سنگین و اثرات مضر آن‌ها بر گیاهان، را با تشکیل کمپلکس‌های سطحی کاهش می‌دهند. تان و همکاران (2017) در تحقیقات خود نشان دادند که گروه‌های عاملی مانند COOH و OH در بیوچار، محل اتصال عناصر سنگین را به کمپلکس‌هایی که جذب این عناصر را افزایش می‌دهند، فعال می‌کنند. این

جدول 5- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل ماده آلی و سطوح کادمیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه نعنای فلفلی

عملکرد اسانس (گرم در کدان)	اسانس (%)	فتوستنتر (میکرومول CO ₂ بر متر مربع بر ثانیه)	کارتونوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	تیماز
میلی گرم بر گرم وزن تر							
0/06 ^{de}	1/72 ^{hi}	5/18 ⁱ	1/52 ^k	7/32 ^{efg}	2/24 ^{efg}	5/07 ^e	کادمیم 50 بدون ماده آلی
0/09 ^{bcd}	3/21 ^a	6/68 ^{ab}	3/60 ^a	9/51 ^d	3/23 ^{cd}	6/28 ^c	بیوچار چوبی 300 درجه 2%؛ کادمیم 50
0/1 ^{cd}	2/80 ^{abc}	6/83 ^{bcd}	3/83 ^{ab}	10/11 ^c	3/62 ^{bc}	6/49 ^c	بیوچار چوبی 300 درجه 4%؛ کادمیم 50
0/11 ^{abcd}	2/60 ^{abc}	6/70 ^{dce}	3/32 ^{cd}	9/90 ^{dc}	3/78 ^{bc}	6/12 ^c	بیوچار چوبی 600 درجه 2%؛ کادمیم 50
0/13 ^{ab}	2/90 ^{ab}	6/54 ^{def}	3/31 ^{cd}	9/98 ^c	3/83 ^{ab}	6/15 ^c	بیوچار چوبی 600 درجه 4%؛ کادمیم 50
0/14 ^a	3/15 ^a	7/08 ^{ab}	3/12 ^{de}	10/84 ^b	3/52 ^{bc}	7/32 ^b	بیوچار علفی 300 درجه 2%؛ کادمیم 50
0/14 ^a	3/21 ^a	7/12 ^{ab}	3/16 ^{de}	10/79 ^b	3/23 ^c	7/56 ^{ab}	بیوچار علفی 300 درجه 4%؛ کادمیم 50
0/12 ^{abc}	3/17 ^a	7/13 ^{ab}	3/32 ^{cd}	11/50 ^a	3/77 ^{ab}	7/73 ^a	بیوچار علفی درجه 600 2%؛ کادمیم 50
0/11 ^{abcd}	3/15 ^a	7/15 ^a	3/50 ^{bc}	11/96 ^a	4/20 ^a	7/76 ^a	بیوچار علفی درجه 600 4%؛ کادمیم 50
0/08 ^{de}	2/00 ^{fgh}	6/24 ^{fg}	1/84 ⁱ	7/78 ^{ef}	2/66 ^{ef}	5/12 ^{de}	ماده چوبی آلی 2%؛ کادمیم 50
0/08 ^{de}	1/79 ^{ghi}	6/33 ^{efg}	1/92 ^j	7/49 ^{efg}	2/34 ^{efgh}	5/15 ^{de}	ماده چوبی آلی 4%؛ کادمیم 50
0/09 ^{de}	2/14 ^{efgh}	6/38 ^{defg}	1/91 ^j	7/40 ^{efg}	2/16 ^{fgh}	5/23 ^{de}	ماده علفی آلی 2%؛ کادمیم 50
0/09 ^{de}	2/42 ^{cdef}	6/29 ^{fg}	2/11 ^{ij}	7/62 ^{efg}	2/31 ^{efgh}	5/29 ^{de}	ماده علفی آلی 4%؛ کادمیم 50
0/01 ^g	1/12 ^j	3/08 ^m	1/04 ^m	4/18 ^h	1/01 ⁱ	3/16 ^f	کادمیم 100 بدون ماده آلی
0/03 ^{fg}	2/47 ^{bcd}	5/02 ⁱ	2/74 ^{fg}	7/41 ^{efg}	2/14 ^{gh}	5/27 ^{de}	بیوچار چوبی 300 درجه 2%؛ کادمیم 100
0/05 ^f	2/50 ^{bcd}	5/83 ^h	2/87 ^{ef}	7/48 ^{efg}	2/21 ^{efgh}	5/26 ^{de}	بیوچار چوبی 300 درجه 4%؛ کادمیم 100
0/06 ^{de}	2/20 ^{defg}	4/57 ⁱ	2/43 ^{gh}	7/75 ^{ef}	2/59 ^{efg}	5/16 ^{de}	بیوچار چوبی 600 درجه 2%؛ کادمیم 100
0/09 ^{de}	2/23 ^{defg}	4/88 ^{ij}	2/62 ^{fgh}	7/88 ^e	2/70 ^{de}	5/18 ^{de}	بیوچار چوبی 600 درجه 4%؛ کادمیم 100
0/1 ^{bcd}	2/51 ^{bcd}	6/08 ^{gh}	2/59 ^{fgh}	7/50 ^{efg}	2/12 ^{gh}	5/38 ^{de}	بیوچار علفی 300 درجه 2%؛ کادمیم 100
0/1 ^{bcd}	2/74 ^{abc}	6/12 ^{gh}	2/39 ^{hi}	7/50 ^{efg}	2/16 ^{fgh}	5/33 ^{de}	بیوچار علفی 300 درجه 4%؛ کادمیم 100
0/11 ^{abcd}	2/65 ^{bcd}	6/11 ^{gh}	2/45 ^{gh}	7/39 ^{efg}	2/09 ^{gh}	5/29 ^{de}	بیوچار علفی درجه 600 2%؛ کادمیم 100
0/11 ^{abcd}	2/53 ^{bcd}	6/13 ^{gh}	2/32 ^{hi}	7/54 ^{efg}	2/13 ^{gh}	5/40 ^d	بیوچار علفی درجه 600 4%؛ کادمیم 100
0/03 ^{fg}	1/80 ^{ghi}	3/19 ^m	1/44 ^{kl}	7/09 ^g	2/00 ^h	5/08 ^e	ماده چوبی آلی 2%؛ کادمیم 100
0/03 ^{fg}	1/39 ^{ij}	3/35 ^{lm}	1/20 ^{klm}	7/21 ^{fg}	2/07 ^{gh}	5/14 ^{de}	ماده چوبی آلی 4%؛ کادمیم 100
0/04 ^f	1/39 ^{ij}	3/62 ^l	1/15 ^{lm}	7/16 ^g	2/01 ^h	5/14 ^e	ماده علفی آلی 2%؛ کادمیم 100
0/05 ^f	1/41 ^{ij}	4/00 ^k	1/21 ^{klm}	7/14 ^g	2/04 ^h	5/10 ^{de}	ماده علفی آلی 4%؛ کادمیم 100

حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح 5 درصد، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

ادامه جدول 6- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل ماده آلی و سطوح کادمیم بر ویژگی‌های رشدی و جذب عناصر گیاه نعنای فلفلی

میزان کادمیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	میزان نیتروژن %	میزان پتاسیم %	میزان فسفر %	وزن خشک کل (گرم)	وزن تر کل (گرم)	تیمار
0/27 ^{cde}	2/26 ⁱ	2/03 ^{hijk}	0/21 ^{efg}	10/27 ^f	35/81 ^g	کادمیم 50
0/22 ^{efghij}	3/70 ^d	2/8 ^{bcd}	0/32 ^{bc}	12/86 ^{bc}	38/92 ^{bc}	بیوپار چوبی 300 درجه 2؛ کادمیم 50
0/2 ^{ghij}	3/77 ^d	2/76 ^{cde}	0/35 ^{ab}	13/21 ^b	39/92 ^b	بیوپار چوبی 300 درجه 4؛ کادمیم 50
0/17 ^{hijk}	3/93 ^{cd}	2/43 ^{defgh}	0/35 ^{ab}	12/48 ^{bc}	38/77 ^{bcd}	بیوپار چوبی 600 درجه 2؛ کادمیم 50
0/16 ^{jk}	3/83 ^{cd}	2/56 ^{defg}	0/36 ^{ab}	12/60 ^{bc}	39/49 ^b	بیوپار چوبی 600 درجه 4؛ کادمیم 50
0/22 ^{efghi}	4/01 ^{cd}	2/9 ^{bcd}	0/36 ^{ab}	13/87 ^a	42/66 ^a	بیوپار علفی 300 درجه 2؛ کادمیم 50
0/22 ^{efghi}	4/66 ^a	3/5 ^a	0/36 ^{ab}	14/38 ^a	43/03 ^a	بیوپار علفی 300 درجه 4؛ کادمیم 50
0/15 ^k	4/43 ^{ab}	3/33 ^{ab}	0/34 ^{ab}	14/14 ^a	43/11 ^a	بیوپار علفی درجه 600 2؛ کادمیم 50
0/17 ^{ijk}	4/13 ^{bc}	3/1 ^{abc}	0/37 ^a	14/29 ^a	43/11 ^a	بیوپار علفی درجه 600 4؛ کادمیم 50
0/20 ^{ghij}	2/64 ^{gh}	2/73 ^{cdef}	0/26 ^{cde}	10/94 ^e	36/63 ^f	ماده چوبی آلی 2؛ کادمیم 50
0/21 ^{fghi}	2/57 ^h	2/4 ^{efghi}	0/24 ^{de}	10/97 ^e	37/64 ^e	ماده چوبی آلی 4؛ کادمیم 50
0/23 ^{defgh}	2/62 ^h	2/26 ^{fghi}	0/28 ^{cd}	11/51 ^{de}	38/10 ^{de}	ماده علفی آلی 2؛ کادمیم 50
0/23 ^{defgh}	2/67 ^{gh}	2/2 ^{ghij}	0/26 ^{cde}	12/08 ^{cd}	38/41 ^{cde}	ماده علفی آلی 4؛ کادمیم 50
0/36 ^a	1/03 ^l	1/09 ^m	0/12 ⁱ	4/76 ^m	29/07 ^l	کادمیم 100
0/25 ^{cdef}	2/07 ^j	1/63 ^{kl}	0/23 ^{de}	7/55 ^j	34/64 ^h	بیوپار چوبی 300 درجه 2؛ کادمیم 100
0/24 ^{cdef}	1/78 ^j	1/7 ^{ikl}	0/24 ^{de}	8/22 ⁱ	35/93 ^{fg}	بیوپار چوبی 300 درجه 4؛ کادمیم 100
0/22 ^{efghi}	2/83 ^{efgh}	1/9 ^{ijk}	0/27 ^{cd}	6/82 ^k	35/15 ^{gh}	بیوپار چوبی 600 درجه 2؛ کادمیم 100
0/22 ^{fghi}	2/9 ^{efgh}	2/06 ^{hijk}	0/26 ^{cde}	7/61 ^j	35/16 ^{gh}	بیوپار چوبی 600 درجه 4؛ کادمیم 100
0/27 ^{cde}	2/99 ^{efg}	2/06 ^{hijk}	0/26 ^{cde}	9/54 ^{gh}	38/38 ^{cde}	بیوپار علفی 300 درجه 2؛ کادمیم 100
0/27 ^{cd}	3/09 ^e	2/03 ^{hijk}	0/27 ^{cd}	10/03 ^{fg}	39/03 ^{bc}	بیوپار علفی 300 درجه 4؛ کادمیم 100
0/27 ^{cde}	2/72 ^{fgh}	2/03 ^{hijk}	0/27 ^{cd}	9/19 ^h	38/36 ^{cde}	بیوپار علفی درجه 600 2؛ کادمیم 100
0/27 ^{cd}	3/06 ^{ef}	2/1 ^{ghijk}	0/22 ^{def}	9/85 ^{fg}	38/84 ^{bcd}	بیوپار علفی درجه 600 4؛ کادمیم 100
0/32 ^{ab}	1/22 ^{kl}	1/1 ^m	0/15 ^{hi}	4/95 ^m	30/08 ^{ik}	ماده چوبی آلی 2؛ کادمیم 100
0/28 ^{bc}	1/2 ^{kl}	1/33 ^{lm}	0/15 ^{hi}	5/96 ^l	29/32 ^{kl}	ماده چوبی آلی 4؛ کادمیم 100
0/33 ^{ab}	1/36 ^{kl}	1/4 ^{lm}	0/17 ^{gh}	6/51 ^{kl}	30/82 ^{ij}	ماده علفی آلی 2؛ کادمیم 100
0/32 ^{ab}	1/40 ^k	1/33 ^{lm}	0/18 ^{fgh}	6/67 ^k	31/48 ⁱ	ماده علفی آلی 4؛ کادمیم 100

حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح 5 درصد، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

وزن تر و خشک؛ بیشترین وزن تر و خشک

مربوط به تیمارهای بیوپار علفی 300 و 600 درجه در سطح دو و چهار درصد در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم است و بین این دو تیمار اختلاف معنی دار وجود ندارد. فخرآبادی و خوش سیمای چنار (1400) در یک آزمایش گلدانی بیشترین وزن تر و خشک گیاه ریحان را در سطح 10 درصد حجمی بیوپار کاه و کلش گندم در دمای 300 درجه برای گیاه ریحان گزارش کردند. این محققان بیان می کنند که بیوپار تا حدی حاوی نیتروژن است و می تواند نیتروژن کل خاک را افزایش دهد و اثر مثبتی بر ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه داشته باشد. در

پژوهش هایی که توسط سایر محققان صورت گرفته نتایج مشابهی در رابطه با افزایش وزن تر و خشک گیاه با کاربرد بیوپار مشاهده شده که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (بوالحسنی و همکاران، 1398؛ اسمیدر و سینگ، 2014). جذب فلزات سنگین می تواند باعث اختلال در سوخت و ساز گیاه و کاهش رشد شود و از طرف دیگر مقادیر زیاد این فلزات در خاک باعث کاهش فعالیت زیستی و حاصلخیزی خاک می شود و در نتیجه باعث کاهش وزن خشک گیاه می شود (امانی و علیزاده سالطه، 1399). از طرف دیگر برخی محققان بیان می کنند کادمیم به دلیل اختلال در جذب آب باعث کاهش

جوانه زنی و کاهش رشد گیاه می شود (ناگاجیوتی و همکاران، 2010).

نیترژن اندام هوایی: بیشترین مقدار نیترژن اندام هوایی در تیمار کاربرد 4 و 2 درصد بیوچار علفی تولید شده در دمای 300 درجه سلسیوس در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. پیرولیز در دماهای مختلف باعث تولید بیوچار با محتوای غذایی متفاوت می شود. پیرولیز انجام شده در دمای خاص می تواند منجر به تجمع عناصر غذایی خاص در بیوچار گردد. دمای پایین پیرولیز برای حفظ و نگهداری نیترژن مناسب است برای اینکه نیترژن حساس به گرما است (چان و همکاران، 2007). بیوچار می تواند تثبیت بیولوژیکی خاک را افزایش دهد و در نتیجه محتوای نیترژن گیاه را افزایش یابد (میا و همکاران، 2014). نیگوسی و همکاران (2012) گزارش کردند بیوچار در سطوح 5 و 10 تن در هکتار می تواند محتوای نیترژن کاهو را افزایش دهد.

فسفر اندام هوایی: بیشترین مقدار فسفر اندام هوایی در تیمار کاربرد 4 و 2 درصد بیوچار علفی تولید شده به ترتیب در دمای 300 و 600 درجه سلسیوس، در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید ضمن اینکه این تیمارهای با بیوچار چوبی با همین تیمارهای حرارتی و سطوح اختلاف معنی دار ندارند. ژنگ و همکاران بیان کردند، افزودن بیوچار کاه و کلش برنج در سطح 5 درصد منجر به افزایش معنی دار فسفر قابل استفاده به مقدار 13/8% در مقایسه با تیمار بدون بیوچار می گردد (ژنگ و همکاران، 2013). افزایش فسفر اندام هوایی با کاربرد بیوچار در ذرت (ژنگ و همکاران، 2012)، ریحان (فخرآبادی و خوش سیمای چنار، 1400) و گلرنگ (عرب بافرانی و همکاران، 1399) نیز گزارش شده است. چیتالا و همکاران (2019) گزارش کردند، بیوچار می تواند قابلیت استفاده فسفر را از طریق جذب سطحی و همچنین از طریق افزایش CEC خاک، افزایش دهد و به دنبال آن جذب فسفر توسط گیاه ذرت افزایش یافت.

پتاسیم اندام هوایی: بیشترین میزان پتاسیم در تیمار بیوچار علفی 300 درجه با مقدار 4 درصد در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد و این تیمار با تیمار بیوچار علفی 600 درجه در دو سطح 2 و 4 درصد اختلاف معنی دار ندارد. وان زیوتن و همکاران (2010) بیان می کنند که بیوچار با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک فراهمی پتاسیم برای گیاه را افزایش می دهد ضمن اینکه بیوچار یک منبع سرشار از کاتیون های محلول است. عرب بافرانی و همکاران (1399) در بررسی اثر بیوچار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ دریافتند بالاترین میزان پتاسیم اندام هوایی در سطح 4 درصد بیوچار به دست می آید.

درصد اسانس

بیشترین درصد اسانس مربوط به تیمارهای بیوچار علفی 300 و 600 درجه در سطح دو و چهار درصد در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم است ضمن اینکه این تیمارها با تیمار بیوچار چوبی 2 درصد با سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی دار ندارند. اسانس، ترکیبات پیچیده ترپنوییدی هستند که واحدهای ایزوپنتینیل پیروفسفات و دی متیل آلیل پیروفسفات نیاز به آت پ و آن آ دی پی اچ و عناصری از جمله نیترژن، آهن، منیزیم و فسفر دارند و بیوچار با افزایش دسترسی گیاه به این عناصر، موجب افزایش غدد ترشح کننده اسانس و در نهایت افزایش منجر به افزایش ترکیبات تشکیل دهنده اسانس می شود. نیترژن، پتاسیم و فسفر موجود در بیوچار، درصد و عملکرد اسانس را با افزایش توسعه و تقسیم سلول های حاوی اسانس و بیوستز مواد موثره را در گیاهان دارویی افزایش می دهد (امیدبیگی، 1379).

میزان کادمیم

در تمام صفات اندازه گیری شده بالا رفتن میزان کادمیم باعث کاهش میزان صفات اندازه گیری شده است. بیوچار از طریق مکانیسم هایی مانند جذب سطحی، تشکیل کلات ها پایدار، تبادلات یونی و یا رسوب و

میزان کلروفیل کل را در 6 تن در هکتار بیوپچار به همراه 100 درصد آبیاری برای گیاه نعنای فلفلی گزارش کردند. مشاهده می‌شود با افزایش سطح کادمیم میزان کلروفیل گیاه کاهش می‌یابد. فلز کادمیم با دخالت در بیوستز کلروفیل و دخالت در فرایند پراکسیداسیون لیپید در غشاهای فتوستزی باعث کاهش محتوی کلروفیل می‌شود (گونکالوز و همکاران 2007).

فتوستز

بیشترین میزان فتوستز مربوط به تیمارهای بیوپچار علفی 300 و 600 درجه در سطح دو و چهار درصد در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم است و بین این دو تیمار اختلاف معنی دار وجود ندارد. بیوپچار با افزایش محتوای عناصر در خاک با افزایش نسبت اندام هوایی به ریشه باعث افزایش سطح فعال فتوستزی گیاه می‌شود (اشمیت و همکاران، 2014). از طرف دیگر افزایش میزان کادمیم باعث کاهش میزان فتوستز شده است. عنصر کادمیم میل ترکیبی بالایی برای اتصال به گروههای سولفیدریل آنزیم‌ها دارد و در نتیجه باعث غیرفعال شدن آنزیم‌های دخیل در مراحل فیزیولوژی گیاه بخصوص فتوستز (با اختلال در چرخه کلوین و واکنش‌های نوری) می‌شود. حضور این عنصر در محیط رشد گیاه باعث تشکیل انواع ROS در گیاه می‌شود که باعث آسیب جدی به ترکیبات سلولی می‌شود (گونکالوز و همکاران 2007).

مورفولوژی سطح بیوپچار و زیست توده

نتایج حاصل از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل‌های 1 و 2 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در هر دو زیست توده علفی و چوبی فرایند آتشکافت باعث ایجاد حفرات زیادی در نمونه شده که در نتیجه باعث افزایش سطح به حجم بیوپچار نسبت به زیست توده خام می‌شود و ظرفیت تبادل یونی بیوپچار را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر به وضوح مشاهده می‌شود که تعداد حفرات در بیوپچار خاک اره صنوبر نسبت به بیوپچارکاه وکلش گندم بسیار بیشتر

کمپلکس با مواد آلی، تحرک و فراهمی فلزات سنگین را در خاک کاهش می‌دهد (دای و همکاران، 2018). براساس گزارشات محققان، بیوپچار به علت داشتن گروه‌های عاملی اکسیژنی و سطح ویژه بالاتر نسبت به زیست توده اولیه، توانایی جذب فلزات سنگین را دارد (علی و همکاران، 2019). برخی محققان، کاهش فراهمی عناصر سنگین از جمله کادمیم را به تغییر اجزا و اشکال فلزات سنگین و انتقال آن‌ها به اجزای پایدارتر خاک نسبت می‌دهند (احمد و همکاران، 2016). غلظت زیاد کادمیم در محیط رشد، جذب آهن توسط گیاه را مختل می‌کند. سمیت کادمیم ممکن است باعث کمبود فسفر یا بروز مشکلات مربوط به انتقال منگنز در گیاه شود به طور معمول کادمیم در جذب و انتقال عناصری مانند کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و همچنین آب در گیاه دخالت دارد. کادمیم بر فرایندهای اصلی گیاهان نظیر فتوستز، تکثیر سلولی و جذب آب توسط ریشه گیاه تأثیر می‌گذارد (راموس و همکاران، 2002).

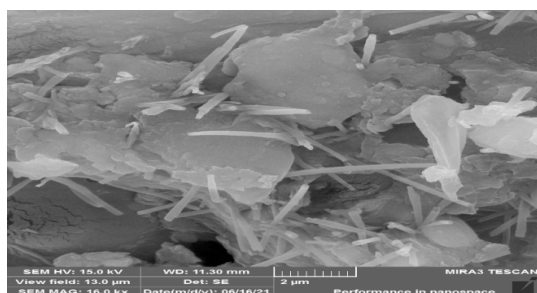
کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل:

بیشترین میزان کلروفیل a در تیمارهای بیوپچار علفی 300 درجه با سطح 4 درصد و بیوپچار علفی 600 درجه در دو سطح 2 و 4 درصد با میزان 50 میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. بیشترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمار بیوپچار علفی 600 درجه در دو سطح 2 و 4 درصد با میزان 50 میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد.

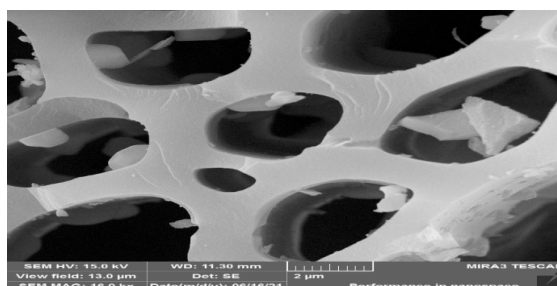
کارت و همکاران (2013) در بررسی اثر بیوپچار بر خصوصیات خاک و رشد دو گیاه کلم و کاهو افزایش میزان کلروفیل را با افزایش بیوپچار گزارش کردند. این نتیجه با نتایج گامارل دوالا و همکاران (2017) و تانر و همکاران (2019) مطابقت دارد. بین محتوای نیتروژن و شاخص سبزینگی همبستگی مثبت وجود دارد و از آن جا که اضافه کردن بیوپچار به خاک باعث اضافه شدن نیتروژن به خاک و در نتیجه افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود، از این طریق سبزینگی نیز افزایش می‌یابد (اسمیل و ژنگ، 1994). کوشکی و همکاران (1400) بیشترین

منفی در نتیجه کاربرد بیوپچار ظرفیت تبدیلی خاک افزایش چشمگیری می‌یابد. علاوه بر این لهما و جوزف (2015) بیان می‌کنند در سطح بیوپچار برخی از گروههای عاملی اکسیژن‌دار مانند گروه‌های کربوکسیلاتی و هیدروکسیلی افزایش می‌یابند و در نتیجه ظرفیت تبادل کاتیونی آن افزایش می‌یابد.

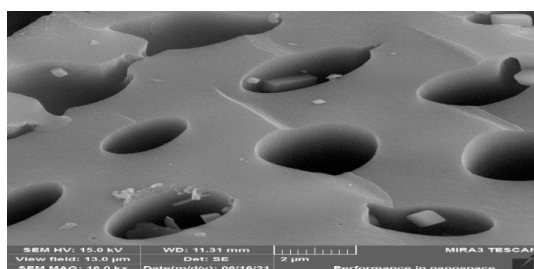
است و مطابق نتایج به دست آمده از مباحث قبلی کارایی بیوپچار با بافت چوبی از بیوپچار با بافت علفی، به دلیل داشتن درصد حفرات و تخلخل زیادتر همچنین سطح ویژه بالاتر، در تثبیت و نگهداری کادمیم و کاهش جذب آن توسط گیاه نعناع فلفلی بیشتر است. ماجور و همکاران (2010) بیان می‌کنند به واسطه ایجاد سطوح دارای بار



الف

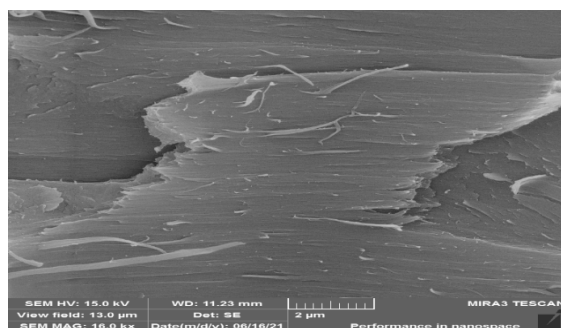


ب

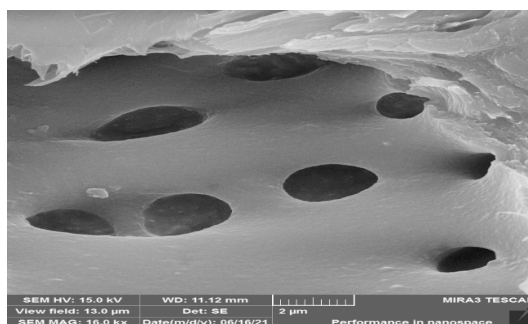


ج

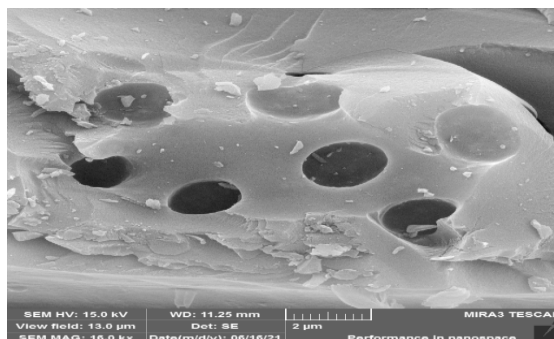
شکل 1- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از زیست توده علفی (الف)، بیوپچار علفی 300 درجه سانتی گراد (ب) بیوپچار علفی 600 درجه سانتی گراد (ج)



الف



ب



ج

شکل 2- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از زیست توده چوبی (الف)، بیوچار چوبی 300 درجه سانتی گراد (ب) بیوچار چوبی 600 درجه سانتی گراد (ج)

نتیجه گیری

آلودگی محیط زیست باشد. احتمالاً بیوچار با بافت علفی (کاه گندم) به دلیل داشتن محتوای غذایی غنی- تر نسبت به بیوچار با بافت چوبی (خاک اره صنوبر) باعث بهبود مقدار کلروفیل، سطح برگ و ارتفاع گیاه و نهایتاً زیست توده گیاه گردید. همچنین کاربرد بیوچار چوبی (خاک اره صنوبر) در خاک آلوده به کادمیم، به دلیل بافت متخلخل غنی تر، سطح ویژه و CEC بالاتر نسبت به بیوچار علفی موجب کاهش جذب عنصر کادمیم توسط نعنای فلفلی گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد تیمار 2 و 4 درصد بیوچار کاه و کلش گندم تولید شده در دمای 300 و 600 درجه سلسیوس، در سطح کادمیم 50 میلی گرم بر کیلوگرم بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه نعنای فلفلی نسبت به سایر تیمارها معنی دار است و با توجه به اینکه در مزارع کشاورزی حجم زیادی از کاه و کلش گندم بر جا می ماند تبدیل این بقایا به بیوچار می تواند گامی موثر در جهت کشاورزی پایدار و کاهش

فهرست منابع:

1. امانی، م.، علیزاده سالطه، س. 1399. تأثیر تنش فلزات سنگین (کادمیم) بر ویژگی های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان دارویی مختلف. فصل نامه علمی ایمنی زیستی. 11 (4): 49-76.
2. امیدبیگی، ر.، 1379. رهیافتهای تولید و فراوری گیاهان دارویی (جلد سوم). انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، 397 صفحه.
3. بوالحسنی، ز.، ع. م. رونقی، ر. قاسمی، و م. زارعی. 1398. اثر بیوچار پوسته برنج و باکتری محرک رشد بر عملکرد و ترکیب شیمیایی اسفناج در خاک تحت تنش شوری. نشریه پژوهش های خاک (علوم آب و خاک). الف 33: (3): 335-349.
4. خیری، ع.، ه. توری، و ن. مرتضوی. 1396. تأثیر تنش خشکی و جاسمونیک اسید روی صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران 33(2): 268-280.
5. عباس پور، ف.، ح. ر. اصغری، پ. رضوانی مقدم، و ح. عباسدخت. 1396. تأثیر کاربرد بیوچار در بهبود برخی ویژگی های خاک و رشد گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش آبی، کنفرانس بین المللی علوم کشاورزی، گیاهان دارویی و طب سنتی، مشهد.

6. عرب بافرانی، ز.، م.ج. قانع بافقی، و م. شیرمردی. 1399. اثر بیوچار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. 10(3): 73-94.
7. فخرآبادی، ح.، و م. خوش سیمای چنار. 1400. اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 15(4): 941-954.
8. کرمی نیا، ف.، ن. رنگز، ح. نادیان، و ا. لطفی جلال آبادی. 1398. اثر کمپوست مصرف شده قارچ و بیوچار آن بر عملکرد گیاه جعفری تحت تنش شوری. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، 50(6)، 1453-1465.
9. کوشکی، ا.، ا. عالی نژادیان بیدآبادی، و ع. ملکی. 1400. بررسی اثر بیوچار پوسته برنج و رژیم‌های مختلف آبیاری بر رشد، درصد اسانس و غلظت برخی عناصر غذایی در نعنای فلفلی (*Mentha piperita L.*). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران 37(5): 733-752.

10. Ahmad, M., A.U. Rajapaksha., J.E. Lim., B.Y. Kim., J.H. Ahn., Y.H. Lee., M.I. Al-Wabel., S.E. Lee., and S.S. Lee. 2016. Lead and copper immobilization in a shooting range soil using soybean stover- and pine needle-derived biochars: chemical, microbial and spectroscopic assessments. *Journal of Hazardous Materials*. 301:179–186
11. Al- Khateeb W., and Al-Qwasemeh H. 2014. Cadmium, copper and zinc toxicity effects on growth, proline content and genetic stability of *Solanum nigrum L.*, a crop wild relative for tomato; comparative study. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20(1): 31-39.
12. Alcántara E., Romera F. J., Cañete M., and De la Guardia M. D. 1994. Effects of heavy metals on both induction and function of root Fe (III) reductase in Fe-deficient cucumber (*Cucumis sativus L.*) plants. *Journal of Experimental Botany*, 45(12): 1893-1898.
13. Ali, N., S. Khan., Y. Li., N. Zheng., and H. Yao. 2019. Influence of biochars on the accessibility of organochlorine pesticides and microbial community in contaminated soils. *Science of the Total Environment*. 647: 551–560.
14. Cao X., and Harris W. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource technology*. 101(14), 5222-5228.
15. Carter, S., S. Shackley., S. Sohi., T. Suy., and S. Haefele. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3: (2) 404-418.
16. chicken manure in different temperatures, on chemical properties of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Science*, 75: 73-86. (In Persian with English abstract).
17. Chintala R., Mollinedo J., Schumacher T.E., Malo D.D., and Julson J.L. 2014a. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60: 393–404.
18. Dai, Z. M., A. Enders., J. Rodrigues., K. Hanley., P. Brookes., J. M. Xu. 2018. Soil fungal taxonomic and functional community composition as affected by biochar properties. *Soil Biology and Biochemistry*. 126: 159–167.
19. Fajardo, C., G. Costa., M. Nande., P. Botías., J. García-Cantalejo., and M. Martín. 2019. Pb, Cd, and Zn soil contamination: monitoring functional and structural impacts on the microbiome. *Applied Soil Ecology*. 135 : 56-64.
20. Fodor E., Szabó-Nagy A., and Erdei L. 1995. The effects of cadmium on the fluidity and H⁺-ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. *Journal of plant physiology*, 147(1), 87-92.
21. Galeotti, N., L.D.C. Mannelli., G. Mazzanti., A. Bartolini., and C. Ghelardini. 2002. Menthol: a natural analgesic compound. *Neuroscience Letters*. 322(3): 145-148.
22. Gamareldawla, H.D., B.Agbnaa., S. Donglia., Z. Liu., A. Nazar., S.G. Elshikh., and C.T. Luis. 2017. Effect of irrigation and biochar on the growth, yield and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*. 245: 667-675.

23. Glaser, B., J. Lehmann., and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A Review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.
24. Goncalvez, J., Beker, A., Cargnelutti, D., Tabaldi, L., Pereira L., Battisti, V., Spanevello, R., Morsch, V., Nicoloso, F. and Schetinger, M. 2007. Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response of the antioxidant system in cucumber seedling. *Brazilian Journal Plant Physiology*. 19 (3): 223-232.
25. Ho S. H., Zhu S., and Chang J. S. 2017. Recent advances in nanoscale-metal assisted biochar derived from waste biomass used for heavy metals removal. *Bioresource technology*. 246, 123-134.
26. Kabiri, P., H. Motaghian., and A. Hosseinpur. 2021. Impact of biochar on release kinetics of Pb (II) and Zn (II) in a calcareous soil polluted with mining activities. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(1), 22-34.
27. Kim, H. S., K. R. Kim., H. J. Kim., J. H. Yoon., J. E. Yang., Y. S. Ok., G. Owens., and K. H. Kim. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environmental Earth Sciences*. 74(2), 1249-1259.
28. Kim, K. H., J. Y. Kim., T. S. Cho., and J. W. Choi. 2012. Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). *Bioresource technology*, 118: 158-162.
29. Lehmann, J., and S. Joseph. 2015. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, Routledge. 976 p.
30. Li M., Lou Z., Wang Y., Liu Q., Zhang Y., Zhou J., and Qian G. 2015. Alkali and alkaline earth metallic (AAEM) species leaching and Cu (II) sorption by biochar. *Chemosphere*. 119, 778-785.
31. Li, H., X. Dong., E. B. da Silva., L. M. de Oliveira., Y. Chen, and L. Q. Ma. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*. 178: 466-478.
32. Liang M., Lu L., He H., Li J., Zhu Z., and Zhu Y. 2021. Applications of Biochar and Modified Biochar in Heavy Metal Contaminated Soil: A Descriptive Review. *Sustainability*, 13(24), 14041.
33. Liu, M., Z. Zhao., L. Wang., and Y. Xiao. 2021. Influences of rice straw biochar and organic manure on forage soybean nutrient and Cd uptake. *International Journal of Phytoremediation*. 23(1): 53-63.
34. Lu, K., X. Yang., G. Gielen., N. Bolan., Y. S. Ok., N. K. Niazi., S. Xu., Y. Guodong., X. Chen., X. Zhang., D. Liu., Z. Song., X. Liu., and H. Wang. 2017. Effect of bamboo and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil. *Journal of environmental management*, 186: 285-292.
35. Major, J., M. Rondon., D. Molina., S.J. Riha., and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*. 333: 1-2. 117-128.
36. Mathys W. 1975. Enzymes of heavy-metal-resistant and non-resistant populations of *Silene cucubalus* and their interaction with some heavy metals in vitro and in vivo. *Physiologia Plantarum*, 33(2): 161-165.
37. Mia, S., M. Abuyusuf., M.A. Sattar., A.B. Islam., T. Hiemstra., and S. Jeffery. 2014. Biochar amendment for high nitrogen and phosphorous bioavailability and its potentiality of use in Bangladesh agriculture: a review. *The Patuakhali Science and Technology University*. 5: 145-156.
38. Mukherjee, A. and A. R. Zimmerman. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma*, 193, 122-130.

39. Nagajyoti, P.C., Sreekanth, T.V.M. and Lee, K.D. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 8 (3): 199–216.
40. Najafi ghiri M. 2014. The effect of different biochars on some soil properties and availability of some nutrients in a calcareous soil. *Journal of Soil Researches*, 29(2): 351-358.
41. Nigussie, A., E. Kissi., and M. Misganaw. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12 (3): 369-376.
42. Olsen, S.R., C.V. Cole., F.S. Watanabe., and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture. Circular, Washington DC, 939: 1-18.
43. Phaniendra A., Jestadi D. B., and Periyasamy L. 2015. Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian journal of clinical biochemistry*. 30(1): 11-26.
44. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., and Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.
45. Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J. and Garate, A. ,2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* spp. Cd-Mn interaction. *Plant Science*. 162 (5): 761-767.
46. Rodriguez Tejerina, V.M. 2010. Biochar as a Strategy for Sustainable Land Management, Poverty Reduction and Climate Change Mitigation/Adaptation? Thermolysis of lignin for value-added products.
47. Schmidt, H.P., C. Kammann., C. Niggli., M.W. Evangelou., K.A. Mackie., and S. Abiven. 2014. Biochar and biocharcompost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191: 117-123.
48. Smeal, D., and H. Zhang. 1994. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 9-10. 1495-1503.
49. Smider, B. and B. Singh. 2014. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*: 191, 99-107.
50. Tan Z., Wang Y., Zhang L., and Huang Q. 2017. Study of the mechanism of remediation of Cd-contaminated soil by novel biochars. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 24844-24855.
51. Tang, J., M. He., Q. Luo., M. Adeel., and F. Jiao. 2020. Heavy Metals in Agricultural Soils from a Typical Mining City in China: Spatial Distribution, Source Apportionment, and Health Risk Assessment. *Polish Journal of Environmental Studies*. 29(2):1379–1390.
52. Tanure, M.M.C., L.M. da Costa., H.A. Huiz., R.B.A. Fernandes., P.R. Cecon., J.D.P. Junior., and J.M.R. da Luz. 2019. Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192: 164-173.
53. Van Zwieten, L., S. Kimber., S. Morris., K.Y. Chan., A. Downie., J. Rust., S. Joseph., and A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*. 327(1): 235-246.
54. Wang, P., H. Chen., P. M. Kopittke., and F. J. Zhao. 2019. Cadmium contamination in agricultural soils of China and the impact on food safety. *Environmental pollution*, 249, 1038-1048.
55. Wang, S., Y. Xu., N. Norbu, and Z. Wang. 2018. Remediation of biochar on heavy metal polluted soils. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 108, No. 4, p. 042113). IOP Publishing.

56. Westermann, R., K. Spies., G. Stahl, and F. W. Hesse. 1996. Relative effectiveness and validity of mood induction procedures: A meta-analysis. *European Journal of social psychology*, 26(4), 557-580.
57. Woolf, D., J. E. Amonette., F. A. Street-Perrott., J. Lehmann., and S. Joseph. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1(1), 1-9.
58. Wu, B., Z. Wang., Y. Zhao., Y. Gu., Y. Wang., J. Yu., and H. Xu. 2019. The performance of biochar-microbe multiple biochemical material on bioremediation and soil micro-ecology in the cadmium aged soil. *Science of the total environment*. 686 : 719-728.
59. Wu, H., C. Lai., G. Zeng., J. Liang., J. Chen., J. Xu., J. Dai., X. Li., J. Liu., M. Chen., L. Lu., L. Hu, and J. Wan. 2017. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. *Critical reviews in biotechnology*, 37(6), 754-764.
60. Xu X., ZhaoY., Sima J., Zhao L., Mašek O., and Cao X. 2017. Indispensable role of biochar-inherent mineral constituents in its environmental applications: A review. *Bioresource Technology*. 241, 887-899.
61. Yuan, C., F. Li., W. Cao., Z. Yang., M. Hu., and W. Sun. 2019. Cadmium solubility in paddy soil amended with organic matter, sulfate, and iron oxide in alternative watering conditions. *Journal of hazardous materials*, 378, 120672.
62. Zhang, A., Y. Liu., G. Pan., Q. Hussain., L. Li., J. Zheng., and X. Zhang. 2012. Effect of biochar on maize yield and greenhouse emission from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and soil*. 351(1): 263-275
63. Zhang, Q.Z., X.H. Wang., Z.L. Du., X.R. Liu., and Y.D. Wang. 2013. Impact of biochar on nitrate accumulation in an alkaline soil. *Soil Research*. 51(6): 521-528.
64. Zolfi M., Rownaghi A.M., Karimian N., Ghasemi R., and Yasrebi J. 2016. The effect of biochars produced of

اثر کروم (VI) بر فعالیت برخی از آنزیم‌های خاک و شاخص‌های فیزیولوژیک و

Portulaca Oleracea L. مورفولوژیک گیاه خرفه

الهام عزیزی، آتنا میربلوک¹، راهله رهباریان و آسیه بهداد

دانشیار گروه زراعت، دانشگاه پیام نور، ایران؛ azizi.e@pnu.ac.ir

دانش آموخته دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشگاه ارومیه؛ atena.mirbolook@yahoo.com

استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران؛ ra_rahbarian@yahoo.com

دانش آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه شیراز؛ Behdad_a@yahoo.com

ص 51 - 66

دریافت: 1400/6/23 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

هدف این پژوهش بررسی اثر فلز سنگین کروم بر فعالیت‌های آنزیمی خاک و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه خرفه بود. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. نمونه‌های خاک با غلظت‌های متفاوت کروم (0، 25، 50، 75 و 100 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) آلوده شد و پس از برقراری تعادل در خاک، گیاه خرفه کشت گردید. پس از کامل‌شدن مراحل رشد گیاه، فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، فسفاتاز و اوره‌آز و همچنین ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه خرفه تحت آلودگی کروم اندازه‌گیری شدند و روابط همبستگی بین آنها بررسی گردید. نتایج نشان داد که فعالیت‌های آنزیمی خاک با افزایش غلظت کروم در خاک کاهش یافت. بیشترین همبستگی منفی بین وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه خرفه با افزایش غلظت کروم در خاک مشاهده شد. نقش آنزیم‌های خاک در ارزیابی وضعیت آلودگی کروم با شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک تعیین شد که این شاخص بالاترین همبستگی منفی را با وزن خشک اندام هوایی گیاه خرفه نشان داد. بین افزایش غلظت کروم در خاک با همه شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه خرفه همبستگی بالاتر از 90 درصد مشاهده شد. فعالیت آنزیم دهیدروژناز در همبستگی با شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه، رفتاری مشابه با شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک نشان داد. به طور کلی، طبق نتایج این تحقیق، شاخص‌های گیاه خرفه با حساسیت بالاتری نسبت به شاخص‌های مورفولوژیک آن توانستند شدت آلودگی فلز کروم را در گیاه نشان دهند.

واژه‌های کلیدی: شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک، آلودگی کروم، دهیدروژناز

¹ نویسنده مسئول، آدرس: atena.mirbolook@yahoo.com

مقدمه

توسعه صنعت و تمدن در سال‌های اخیر باعث افزایش بیش از حد فلزات سنگین در خاک شده است. کروم یکی از ده عنصر فراوان در پوسته زمین است که به طور عمده بر اثر فعالیت‌های مختلف صنعتی و کشاورزی مانند دباغی چرم، فولاد، زغال سنگ و استفاده از کودهای فسفاته و سیلیکاته حاصل می‌شود (اتابنگ، 1989). گزارش شده است که حداکثر غلظت کروم در کودهای سیلیکاته و فسفاته دارای 3 تا 4 درصد کروم کل و حدود 0/1 درصد کروم محلول در اسید سیتریک دارند (واتاناب، 1984). طبق گزارشات WHO غلظت کروم شش ظرفیتی در خاک و آب به ترتیب 0/1 و 0/05 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در کشور ایران در مناطق صنعتی مخصوصاً در اطراف کارخانجات تولید سیمان، فولاد و چرم به شدت آلودگی به فلز کروم در خاک، محصولات علوفه‌ای و حتی دامها مشاهده شده است. سلامت دوست و همکاران (1396) گزارش کردند که در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از منطقه صوفیان در اطراف کارخانه سیمان، تجمع بالایی از فلز کروم با میانگین تجمع 29/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد.

این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که در گیاه خارشتر کشت شده موجود در این نواحی تجمع کروم به 3/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید که این علوفه‌ها به مصرف دامهای موجود در منطقه می‌رسد. احمدی و اردکانی (1396) همچنین به بررسی آلودگی کروم در مناطق اطراف شهرک صنعتی اراک پرداختند و مشاهده کردند که میانگین غلظت کروم در خاک‌های سطحی 15/5 و در خاک‌های عمقی 13/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از حدود آستانه تعیین شده توسط WHO بیشتر بود. تجمع کروم در خاک و جذب توسط گیاهان، منجر به ورود کروم به زنجیره‌ی غذایی شده و مشکلات جدی را برای خاک-ها و محیط ایجاد می‌کند. حضور کروم در محیط به یکی از دو صورت کروم سه ظرفیتی ($Cr(III)$) و کروم شش

ظرفیتی ($Cr(VI)$) است، کروم شش ظرفیتی برای گیاهان و حیوانات سمی است و به راحتی در خاک حل می‌شود (بانرژ و همکاران، 2004)، در مقابل کروم سه ظرفیتی سمی نیست و حلالیت کمی دارد. سمیت کروم شش ظرفیتی 100 تا 1000 برابر بیشتر از سه ظرفیتی است و این ویژگی نشان دهنده اهمیت بررسی بیشتر اثرات کروم بر روی گیاهان و میکروارگانیسم‌ها است (انتا و هاتوری، 1983). کیفیت و حاصلخیزی خاک به فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک بستگی دارد و فلزات سنگین مانند کروم شش ظرفیتی تأثیر منفی بر زیست توده خاک می‌گذارد (باراباس و همکاران، 1998). بنابراین فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌تواند برای ارزیابی کیفیت یا سلامت خاک مورد استفاده قرار گیرد.

میزان بیومس میکروبی کربن، تنوع میکروبی و فعالیت آنزیم‌ها از جمله خصوصیات میکروبیولوژیکی هستند که می‌توانند به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک مورد استفاده قرار گیرند (سیکورا و همکاران، 1995). آنزیم‌ها نیز در تکمیل چرخه عناصر غذایی و در تجزیه مواد آلی نقش دارند، همچنین در واکنش‌های مختلف و فرایندهای متابولیکی مانند کاتالیزورهای بیولوژیکی عمل می‌کنند. میزان فعالیت آنزیم‌های خاک یکی از ارزاترین و آسانترین روش‌ها برای تعیین میزان آلودگی خاک است (دیک و همکاران، 2000). فلزات سنگین با تأثیر بر سوسترای آنزیمی و تغییر پروتئین آنزیمی، بر مکان‌های فعال تأثیر می‌گذارند و مانع فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند. در واقع فلزات با ایجاد تغییر در جامعه میکروبی که باعث سنتز آنزیم‌ها می‌شود، به طور غیر مستقیم بر فعالیت آنزیم‌ها تأثیر می‌گذارند (بلیاوا و همکاران، 2005). تحقیقات در مورد اثرات منفی فلزات سنگین بر فعالیت آنزیم‌ها در خاک‌ها کم است. در پژوهشی که توسط مرزادوری و همکاران (1996) انجام شد، اثر آلودگی سرب بر فعالیت آنزیم‌های خاک مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق بیشترین کاهش فعالیت

آنزیم‌ها در بالاترین غلظت سرب حاصل شد. بالاترین اثر بازدارندگی فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز توسط جیوه، آرسنیک و مولیبدن در تحقیق جاما و طباطبایی (1978) گزارش شد، آن‌ها همچنین بیان کردند، جیوه، کادمیوم، وانادیوم و آرسنیک بر روی فعالیت آنزیم فسفومونوآستراز نیز تأثیر می‌گذارد.

هانگ و شیندو (2001) تأثیر مس، روی و کادمیوم را بر فعالیت اسید فسفاتاز در خاک مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج نشان داد توانایی مس در کاهش فعالیت این آنزیم بیشتر از روی بوده و توانایی کادمیوم ناچیز است. الخفاجی و طباطبایی (1979) نشان دادند که وجود کروم در خاک باعث کاهش قابل توجه فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز شده است.

استپنیوواکا و ولینسکا (2005) دریافتند که کاربرد کروم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی در خاک تأثیر منفی زیادی بر فعالیت دهیدروژناز دارد، تفاوت بین کروم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی ناشی از این واقعیت است که کروم شش ظرفیتی سمی‌ترین و متحرک‌ترین نوع کروم است و مشخص شده است که نسبت به کروم سه ظرفیتی اثر بسیار قوی‌تری بر روی موجودات زنده دارد. فلز کروم همچنین می‌تواند بر روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و رشد گیاه تأثیر بگذارد (ورنی 2007). ساندراامورسی و همکاران (2010) نشان داد که کروم باعث کاهش طول اندام‌هوایی و ریشه و همچنین کاهش در تعداد شاخه‌های جانبی گیاه برنج شد.

از جمله سبزیجات برگ‌ی و گیاهان دارویی که ترکیبات شیمیایی و مواد مغذی آن‌ها به طور گسترده کمتر مطالعه شده است، گیاه خرفه (*Portulaca oleracea*) می‌باشد (آجا و همکاران، 2010). این گیاه بومی ایران است و سابقه کشت آن به بیش از 2000 سال بر می‌گردد. خرفه در مناطق جنوبی کشور (به خصوص بهبهان و اهواز) به عنوان یک سبزی مهم مورد کشت و کار قرار می‌گیرد و به پرپین (مخصوص استان خوزستان) مشهور است. این گیاه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف

گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد (استفان، 1994). خرفه یک گیاه گوشتی است که در ایران بیشتر بین ماه مارس و دسامبر یا فصل‌های گرم سال رشد می‌کند و برای اهداف غذایی و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایران، این گیاه بیشتر به عنوان ماده غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا سرشار از ویتامین‌هایی مانند A و C و اسیدهای چرب امگا 3 است (ازکیو و همکاران، 1999). خرفه به سهولت در خاک‌های اسیدی و شور رشد می‌کند و به همین دلیل از جمله گیاهان هالوفیت می‌باشد.

مقاومت خرفه به شرایط شوری و تحمل پذیری آن به غلظت‌های بالای عناصر سنگین در تحقیقات زیادی گزارش شده است (عزیزی و میربلوک 2016، الیزوری و همکاران، 2013). اله بخش و همکاران (1397) گزارش کردند که گیاه خرفه از سرعت رشد و تکثیر بالایی برخوردار است و کاربرد آن به عنوان یک گیاه بیش اندوز در گیاه پالایی بدون اشکال و مقرون به صرفه خواهد بود. آن‌ها نشان دادند که کاربرد سیلیسوم منجر به افزایش توان بردباری گیاه خرفه در شرایط آلودگی کادمیوم شد و این می‌تواند راهکار مناسبی برای پاکسازی خاک‌های آلوده به کروم باشد. عزیزی و همکاران (1395) گزارش کردند که گیاه خرفه دارای فاکتور تجمع بیولوژیکی بیشتر از 1 برای کروم است و قابلیت رشد در خاک‌های آلوده به کروم را دارد و می‌تواند به عنوان یک گیاه بیش تجمع دهنده برای حذف آلودگی‌های ناشی از کروم شش ظرفیتی مورد استفاده قرار گیرد.

آیمان و همکاران (2014) گزارش دادند که گیاه خرفه، فلز کروم را در ریشه بیشتر از ساقه می‌تواند تجمع دهد و این ویژگی خرفه را به یک گیاه بیش انباشت برای کروم تبدیل می‌کند. نامبرگان همچنین اظهار کردند که افزایش فلز کروم، پارامترهای رشد گیاه را تغییر داد.

باتوجه به نقش گیاهان در شناسایی و احیای خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، هدف از انجام این آزمایش تعیین شاخص‌های مناسب برای ارزیابی وضعیت

آلودگی کروم در خاک با استفاده از پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه خرفه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال 1398 در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج سطح کروم با غلظت‌های صفر، 25، 50، 75 و 100 میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک بودند. ابتدا یک نمونه از خاک برداشته شد و پس از هوا خشک کردن و گذراندن از الک دو میلی متری، برای تعیین برخی از ویژگی‌های

فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه پیام نور مشهد منتقل شد. خصوصیات اصلی خاک مورد آزمایش در جدول 1 آورده شده است. میزان نیتروژن کل پس از هضم نمونه ها با اسید سولفوریک غلیظ با دستگاه کج‌دال اندازه گیری شد (بریمنر، 1982). به منظور تعیین پتاسیم قابل دسترس از متد سیمارد (1993) و فسفر قایل دسترس با متد اولسن (1954) استفاده شد. pH و EC نمونه در نسبت 1 به 10 (وزنی) اندازه گیری شدند.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	میزان عناصر غذایی ($mg\ kg^{-1}$)			pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	غلظت کروم کل ($mg\ kg^{-1}$)
	پتاسیم قابل دسترس	فسفر قابل دسترس	نیتروژن کل			
لوم سیلتی	118	7/1	298	7/7	1/14	4/5

به‌منظور آلوده کردن خاک با فلز سنگین کروم از نمک دی‌کرومات پتاسیم استفاده شد که به گلدان‌های حاوی 2 کیلوگرم خاک در سه تکرار اضافه شدند و برای ایجاد غلظت‌های برابر پتاسیم در خاک، کلرید پتاسیم در غلظت‌های معکوس به همه گلدان‌ها افزوده شد. سپس گلدان‌ها به مدت 120 روز در رطوبت 70 درصد ظرفیت مزرعه (به منظور ایجاد شرایط رطوبتی متوسط در خاک) و در دمای تقریبی 23 تا 25 درجه سانتی‌گراد انکوباسیون گردیدند که حفظ رطوبت از طریق وزن کردن روزانه گلدان‌ها و اضافه نمودن آب لازم برای دستیابی به ظرفیت رطوبتی موردنظر انجام شد. هر گلدان به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و در آن، 10 عدد بذر گیاه خرفه کاشته شد. شرایط گلخانه با دمای تقریبی 25 تا 30 درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داشته شد و گلدان‌ها هر بار به میزان 75 درصد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند (اله بخش، 1395). پس از کامل شدن دوره رشد (60 روز)، گیاهان از درون گلدان‌ها برداشت شدند و بعد از شستشو با آب

مقطر برخی پارامترهای رشد شامل وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول اندام‌های هوایی و ریشه و همچنین پارامترهای فیزیولوژیک گیاه خرفه به صورت زیر اندازه گیری شدند.

درصد نشت الکترولیت‌ها به روش پرمچاندرا و همکاران (1993) اندازه‌گیری و طبق معادله 1 میزان MSI سنجیده شد.

$$MSI = 1 - \frac{EC_{40}}{EC_{100}}$$

پتانسیل آب برگ به روش بارس و واترلی (1962) اندازه‌گیری و طبق معادله زیر محاسبه شد.

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (2)$$

که در آن FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن اشباع برگ است.

برای سنجش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها از روش لیچتنتالر (1987) استفاده شد و در نهایت، میزان کلروفیل کل، کلروفیل a ، b ، نسبت کلروفیل a به b و میزان

سانتی‌گراد انجام شد. در ادامه محلول $KCl-Ag_2SO$ (2/5 مولار نسبت به KCl و 100 میلی‌گرم در لیتر نسبت به Ag_2SO_4) به نمونه‌ها افزوده شد و مقدار آمونیوم‌آزادشده در سوسپانسیون به روش رنگ سنجی تعیین و برحسب میلی‌گرم آمونیوم به ازای هر گرم خاک ($mgN-NH_3/gr\ soil.2hr$) گزارش گردید (طباطبائی و همکاران، 1982). درصد کربن آلی خاک نیز به روش اکسیداسیون‌تر تعیین شد (والکی، 1947).

در انتها بر اساس فعالیت‌های آنزیمی خاک و میزان کربن، شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک (M_w) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$M_w = \left(\frac{Ure}{10} + Deh + Pal + Pac \right) \cdot \%C \quad (7) \quad \text{معادله}$$

در این معادله Ure : فعالیت آنزیم اوره آز، Deh : فعالیت آنزیم دهیدروژناز، Pal : فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی، Pac : فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و C : مقدار کربن خاک است (ویسکوسکا و همکاران، 2001). نتایج حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار $MINTAB$ بر مبنای طرح کاملاً تصادفی مورد آنالیز قرار گرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح معنی‌داری 0/05 مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

فعالیت‌های آنزیمی خاک‌ها یکی از شاخص‌های بیولوژیکی مهم در ارزیابی کیفیت خاک‌ها به حساب می‌آیند (رت و همکاران، 2010). حضور فلزات سنگین در خاک‌ها توازن بیولوژیکی خاک‌ها را مختل می‌کند و ممکن است فعالیت‌های آنزیمی خاک‌ها را تحریک کند و در مقادیر بالا اثر ممانعت‌کنندگی خواهد داشت (فرانکنبرگر و همکاران، 1983). تأثیر فلزات سنگین بر خاک‌ها بستگی به نوع و ویژگی‌های آن فلز آلاینده دارد. نتایج تجزیه واریانس اثر کروم بر فعالیت آنزیمی شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک در جدول 2 نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود اثر غلظت های مختلف کروم بر فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، اوره

کاروتنوئیدها از طریق معادله‌های 3، 4، 5 و 6 محاسبه گردید.

$$Chl_b = 21.21A_{647} - 5.1A_{664} \quad (3) \quad \text{معادله}$$

$$Chl_a = 12.25A_{664} - 2.79A_{647} \quad (4) \quad \text{معادله}$$

$$Chl_T = Chl_a + Chl_b \quad (5) \quad \text{معادله}$$

$$carotenoid = \frac{1000A_{470} - 1.8Chl_a - 85.02Chl_b}{198} \quad (6) \quad \text{معادله}$$

میزان فلورسانس کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه فلورسانس سنج ($SCIENCES-OPTI$) مدل OS-30 در آزمایشگاه پژوهشکده گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شدند.

همچنین نمونه‌برداری از خاک نزدیک ریشه گیاه (خاک رایزوسفری) نیز صورت گرفت و نمونه‌ها برای اندازه‌گیری برخی از آنزیم‌های خاک به آزمایشگاه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه پیام نور مشهد منتقل شدند. فعالیت آنزیم دهیدروژناز با استفاده از روش تالمن (1968) و تبدیل ۵،۳،۲- تری فنیل تترازولیوم کلراید (TTC) به ۵،۳،۲- تری فنیل فورمازان (TPF) و اندازه‌گیری جذب در طول موج 466 با دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد. در اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی ابتدا یک گرم خاک توزین و سپس 0/25 میلی‌لیتر تولوئن و 4 میلی‌لیتر بافر فسفات با ($pH=11$) برای فسفاتاز قلیایی و با ($pH=6.5$) برای فسفاتاز اسیدی و یک میلی‌لیتر از محلول سوبسترای پارا نیترو فنل به آن افزوده شد و پس از انکوباسیون نمونه‌ها برای یک ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد، 4 میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم 0/5 مولار و یک میلی‌لیتر کلرید کلسیم 0/5 مولار برای اتمام یافتن فعالیت آنزیمی به آن افزوده شد و به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج 410 نانومتر اندازه‌گیری انجام شد (طباطبائی و برمر، 1969).

فعالیت آنزیم اوره آز با افزودن بافر تریس (تریس هیدرو کسی متیل آمینو متان ($pH=9$) و انکوباسیون نمونه‌ها به مدت 2 ساعت در دمای 37 درجه

آز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی و شاخص بیوشیمیایی باروری خاک معنی‌دار بود ($P < 0.05$). آنزیم دهیدروژناز با اولین افزایش در غلظت کروم یعنی تیمار 25 میلی‌گرم در کیلوگرم، ابتدا به میزان 11/5 درصد افزایش پیدا کرد و سپس در مقادیر بالاتر کروم در خاک، کاهش یافت (جدول 3).

جدول 2- تجزیه واریانس فعالیت‌های آنزیمی و شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک تحت سطوح مختلف کروم

منابع تغییر	درجه آزادی	فعالیت آنزیم دهیدروژناز ($\mu\text{g TPF/gr soil.day}$)	فعالیت آنزیم اوره آز ($\text{mgN-NH}_3/\text{gr}$)	فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی ($\mu\text{molPNP/gsoil.h}$)	فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ($\mu\text{molPNP/gsoil.h}$)	شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک
کروم	4	**2/8988	**59/041	**9029/000	**19416/000	**29575/688
خطا	10	2/348	2/348	1352	2387	3696/961
ضریب تغییرات (%)		8/283	8/283	3/076	13/685	8/580

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ns: غیر معنی‌دار

دهیدروژناز نیز همراه بود. ولی این افزایش با ادامه حضور آلاینده‌ها و افزایش غلظت آن‌ها نمی‌تواند ادامه پیدا کند و میکروارگانیزم‌های حساس از بین می‌روند (دیز-راوینا و باس 1996). فعالیت آنزیم اوره‌آز با افزایش غلظت کروم در خاک تا 75 میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش و پس‌از آن افزایش یافت. فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی نیز در ابتدای افزایش آلاینده زیاد و سپس کاهش یافتند که به دلیل مقاومت میکروارگانیزم‌ها در برابر تنش ناگهانی وارد شده به آن‌هاست (جدول 3).

در میان آنزیم‌های خاک، دهیدروژناز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌هایی است که به‌عنوان شاخص فعالیت‌های میکروبی استفاده می‌شود زیرا در همه سلول‌های میکروبی زنده به‌صورت درون‌سلولی تولید می‌شود (سالازار و همکاران 2011). از طرفی میکروب‌ها در هنگام روبه‌رو شدن با تنش‌های وارد شده به خاک مانند آلاینده‌های فلزی، فعالیت‌های زیستی خود را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهند و انرژی بیشتری را برای روبه‌رو شدن با آلاینده‌ها به کار می‌برند که با افزایش ترشح آنزیم

جدول 3- تأثیر سطوح مختلف فلز کروم بر فعالیت‌های آنزیمی و شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک

غلظت کروم در خاک (mg Cr. kg)	فعالیت آنزیم دهیدروژناز ($\mu\text{g TPF/gr soil.day}$)	فعالیت آنزیم اوره آز ($\text{mgN-NH}_3/\text{gr}$)	فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی ($\mu\text{molPNP/gsoil.h}$)	فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ($\mu\text{molPNP/gsoil.h}$)	شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک
0	^a 2/870	^a 33/750	^a 459/950	^c 1633/220	^c 1099/70
25	^a 3/120	^a 32/180	^b 339/940	^a 1839/460	^a 1156/45
50	^a 2/60	^c 25/520	^a 466/780	^a 1792/870	^b 1114/40
75	^b 1/190	^c 23/130	^a 413/820	^{ab} 1763/190	^c 1090/25
100	^b 0/960	^b 28/540	^a 467/630	^{bc} 1702/330	^d 1015/38
LSD	^a 2/870	^a 33/750	66/890	88/880	61/660

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.

هر یک از آنزیم‌های خاک، به‌گونه‌ای متفاوت توانایی بیان وضعیت کیفی خاک‌ها را دارند، به همین دلیل استفاده از مجموع نتایج آنزیمی خاک‌ها، شاخص قابل‌قبول‌تری برای بررسی کیفیت خاک‌ها خواهد بود. پژوهشگران برای این منظور از شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک استفاده می‌کنند که ارتباط بین آنزیم‌های دهیدروژناز، اوره آز، فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی را با درصد کربن آلی خاک نشان می‌دهد (کاچارسکی، 1997). با توجه به نتایج جدول 3 شاخص حاصلخیزی خاک ابتدا در تیمار غلظتی 25 میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم افزایش و سپس با افزایش غلظت کروم کاهش یافته و کمترین میزان آن در غلظت 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. احتمالاً در ابتدا افزایش اندکی در غلظت کروم نقش تحریک‌کنندگی روی میکروارگانیسم‌ها و به دنبال آن فعالیت‌های آنزیمی خاک‌ها داشته است. یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز تأثیر منفی فلزات سنگین را بر فعالیت‌های آنزیمی خاک‌ها نشان می‌دهد (طباطبائی و برمر 1969، کبوس 1995 و مارچیوری و همکاران 1998). البته تأثیر

فلز سنگین به سطح آلاینده در خاک بستگی دارد. رونوسکا و هرینزاک (1992) گزارش کرد که وقتی غلظت فلز سنگین در خاک به‌تدریج افزایش یابد فعالیت‌های آنزیمی می‌توانند تحریک شوند اما در غلظت‌های بالاتر تأثیر ممانعت‌کنندگی آن‌ها چشم‌گیر است.

نتایج تجزیه واریانس معنی‌داری صفات وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی، ارتفاع بوته و درصد بقاء تحت تأثیر سطوح مختلف کروم در جدول 4 نشان داده شده است.

بیشترین مقدار کل صفات مورد بررسی در شاهد مشاهده شد و با افزایش غلظت کروم، وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی روند کاهشی معنی‌داری نشان دادند. همچنین با افزایش غلظت کروم تا 75 پی پی ام، صفات درصد بقاء، ارتفاع بوته و طول ریشه، کاهش و سپس در 100 پی پی ام کروم، افزایش یافت (جدول 5).

جدول 4- تجزیه واریانس برخی خصوصیات مورفولوژیک گیاه خرفه تحت سطوح مختلف کروم

منابع تغییر		درجه آزادی		میانگین مربعات			
نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی	درصد بقاء	ارتفاع ساقه (cm)	طول ریشه (cm)	وزن خشک اندام‌های هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	وزن خشک کل (g)	
**0/034	**1566/867	**113/846	**45/653	**0/191	**0/213	**0/800	4 کروم
0/000	82/417	0/623	0/221	0/001	0/001	0/002	10 خطا
1/470	18/740	10/090	7/520	0/86	1/910	0/980	ضریب تغییرات

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ns: غیر معنی‌دار

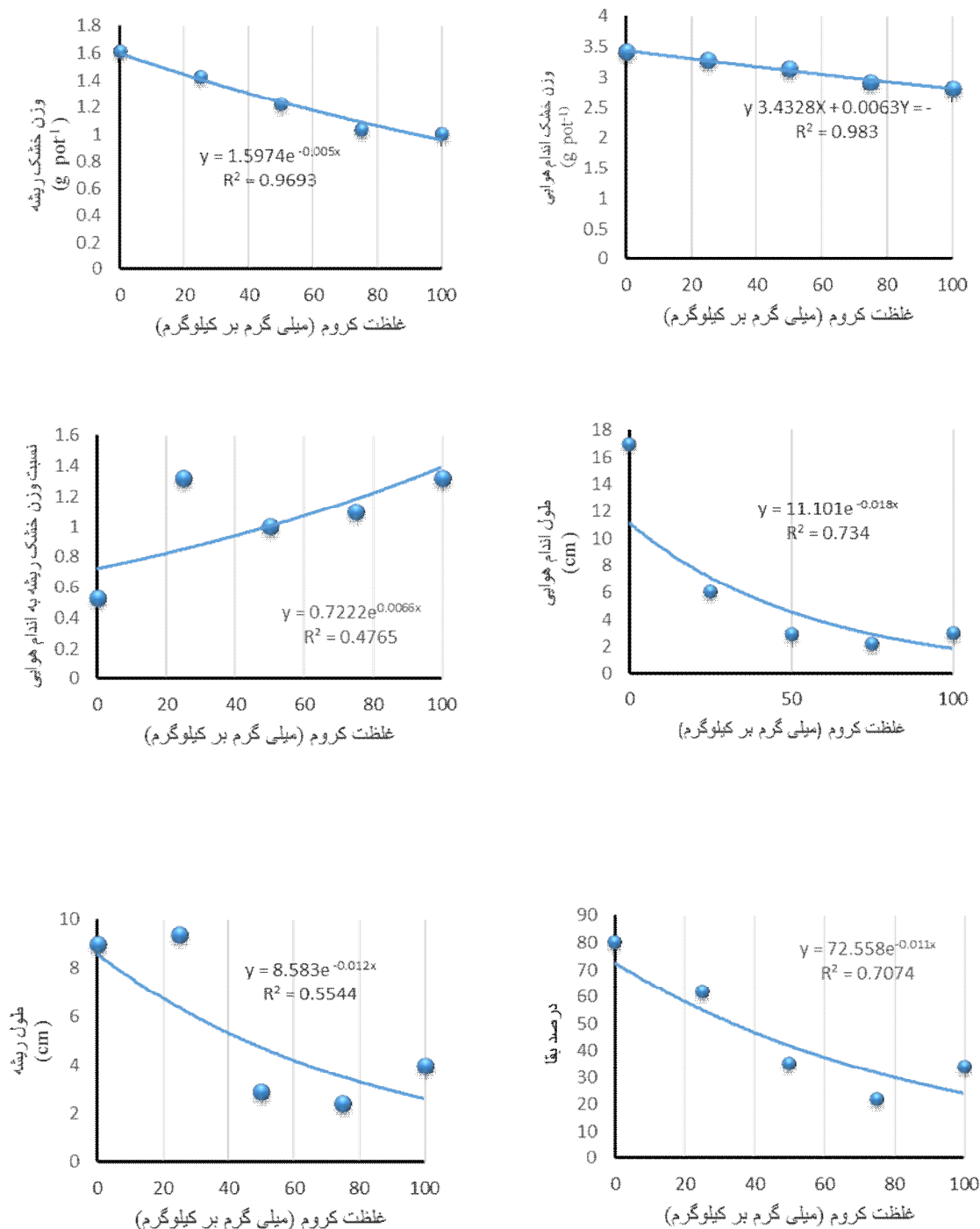
جدول 5- مقایسه میانگین خصوصیات مورفولوژیک گیاه خرفه تحت سطوح مختلف کروم

سطوح مختلف کروم (پی پی ام)	درصد بقا	ارتفاع ساقه (سانتی متر)	طول ریشه (سانتی متر)	وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	وزن خشک کل (گرم در بوته)	نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی
شاهد	^a 80/000	^a 16/940	^b 9/000	^a 3/420	^a 1/613	^a 5/033	^c 0.52
25	^b 61/670	^b 6/000	^a 9.39	^b 3/306	^b 1/427	^b 4/713	^a 1.32
50	^c 35/000	^d 2/900	^d 2/900	^c 3/124	^c 1/217	^c 4/341	^b 1
75	^d 21/670	^d 2/267	^d 2.4	^d 2.913	^d 1/011	^d 3/912	^b 1.1
100	^c 33.89	^c 3.01	^c 4	^e 2/823	^d 1/000	^e 3/823	^a 1.32
LSD	16/520	1/436	0/855	0/057	0/057	0/081	0/011

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.

بین شدت کاربرد کروم در خاک و پارامترهای رشد گیاه خرفه همبستگی منفی مشاهده شد (شکل 1). بیشترین همبستگی منفی ($R^2 = 0.98$) در رابطه بین وزن خشک اندام‌های هوایی و غلظت کروم در خاک مشاهده شد. بعد از آن به ترتیب وزن خشک ریشه‌ها ($R^2 = 0.96$)، طول اندام هوایی ($R^2 = 0.73$)، درصد بقا ($R^2 = 0.70$) و طول ریشه‌ها ($R^2 = 0.55$) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر منفی آلودگی کروم بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه است که در نهایت منجر به کاهش تقریباً 100 درصدی عملکرد گیاه می‌شود. وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه خرفه می‌تواند به عنوان یک شاخص حساس برای ارزیابی وضعیت گیاه نسبت به تنش کروم در خاک، استفاده شود. کاهش در وزن خشک به علت اختلال در متابولیسم کلی سلول‌ها است. نتایج حاصل از تحقیقات پژوهشگران نشان داده است که میزان پروکسیداسیون چربی‌ها به علت افزایش مقدار پروکسید هیدروژن در

سلول در حضور فلزات سنگین افزایش می‌یابد. این موضوع باعث برهم خوردن تعادل آبی و تغذیه‌ای سلول شده که مهم‌ترین عامل در کاهش وزن گیاه می‌باشد (سانیتا و گابریلی 1999). تنش فلز کروم از جمله عوامل محدودکننده‌ی رشد ریشه گیاه است و کاهش رشد ریشه فعالیت‌های رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین عدم توسعه ریشه منجر به کاهش سطوح جذب کننده‌ی مواد غذایی نیز می‌شود. این تغییرات منجر به تغییر در ساختار غشای سلولی و کاهش جذب و محتوای آب می‌شود. به طور کلی کاهش رشد ریشه و اندام هوایی تحت تأثیر فلزات سنگین نشان دهنده‌ی کاهش و اختلال در سنتز پروتئین‌ها و همچنین کاهش فعالیت دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (مانیواساگاپرومال و همکاران 2011). با اینکه طول ریشه‌ها و اندام هوایی در تنش کروم کاهش یافت ولی نسبت طول ریشه به اندام هوایی با افزایش غلظت کروم در خاک همبستگی مثبت نشان داد (شکل 1).



شکل 1- نمودارهای رگرسیون بین سطوح مختلف غلظتی کروم با پارامترهای مورفولوژیک گیاه خرفه

2016) در تحقیق روی تحمل گیاه خرفه به تنش کروم، نشان داد که ریشه‌های گیاه خرفه قادر به تجمع مقادیر بالای کروم هستند و گیاه خرفه به عنوان یک گیاه بیش

این نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کروم در خاک طول ریشه‌ها افزایش و طول اندام هوایی کاهش می‌یابد. نتایج عزیزی و همکاران (عزیزی و همکاران

اندوز برای فلز کروم معرفی شده است. نتایج این تحقیق در افزایش طول ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی می‌تواند به دلیل سازگاری گیاه نسبت به شرایط تنش باشد، بدین صورت که گیاه خرفه با افزایش طول ریشه، توانایی خود را برای جذب فلز افزایش داده است. مک فارلن و بارچیت (2001) گزارش کردند که در انتقال فلز کروم از ریشه به اندام هوایی محدودیت وجود دارد که دلیل این امر، اتصال یون کروم در جایگاه‌های تبادلی کاتیونی در ریشه و در نتیجه غیر متحرک شدن آن می‌باشد. در نتیجه بیشترین مقدار کروم جذب شده توسط گیاه در ریشه‌ها باقیمانده. ضرایب همبستگی بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و شاخص بیولوژیکی حاصلخیزی خاک با شاخص‌های رشد گیاه خرفه در جدول 6 نشان داده شده است. در بین آنزیم‌های خاک، اوره آز بالاترین ضرایب همبستگی با شاخص‌های رشد گیاه نشان داد و می‌تواند به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی میزان تأثیر

آلودگی بر رشد گیاه خرفه به کار رود. شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک بالاترین ضریب همبستگی را در بین پارامترهای رشد خرفه، با وزن خشک اندام هوایی نشان داد. ویسکوزکا و همکاران (2001) بالاترین ضریب همبستگی را بین فعالیت آنزیم دهیدروژناز و شاخص حاصلخیزی خاک با وزن خشک اندام هوایی گیاه لوبیا مشاهده کردند. مطالعات دیگری، همبستگی معنی‌داری را بین میزان کربن آلی و فعالیت آنزیم دهیدروژناز در خاک‌ها گزارش نموده‌اند (آلوی و جکسون 1991، لیتینسکی و همکاران 1976). طباطبائی و برمنر (1969) نیز pH را به عنوان یک شاخص مناسب برای ارزیابی فعالیت‌های آنزیمی در حضور فلزات سنگین در خاک‌ها معرفی کرد. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که در بین پارامترهای رشد گیاه، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه‌ها و درصد بقا برای ارزیابی تأثیر آلودگی در گیاه خرفه مناسب‌تر هستند.

جدول 6- ضرایب همبستگی بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک با پارامترهای مورفولوژیک گیاه خرفه در شرایط تنش کروم

متغیر	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	طول اندام هوایی	طول ریشه	طول ریشه به اندام هوایی	درصد بقا
دهیدروژناز	-0/893**	-0/790*	-0/447*	-0/857**	0/420*	-0/674*
اوره آز	-0/666*	-0/825**	-0/850**	-0/931**	0/324 ^{ns}	-0/957**
فسفاتاز اسیدی	-0/883**	-0/860**	-0/458*	-0/968**	0/133 ^{ns}	-0/831**
فسفاتاز قلیایی	-0/192 ^{ns}	-0/091 ^{ns}	-0/035 ^{ns}	-0/298 ^{ns}	0/615*	-0/073 ^{ns}
شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک	-0/631*	-0/379 ^{ns}	-0/102 ^{ns}	-0/368 ^{ns}	0/686*	-0/176 ^{ns}

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار

به منظوریافتن شاخص‌های مناسب‌تر در ارزیابی بهتر تأثیر فلز سنگین کروم بر گیاه خرفه و ارتباط آن با فعالیت‌های آنزیمی خاک، چندین پارامتر فیزیولوژیکی گیاهی نیز در گیاه خرفه اندازه‌گیری و بررسی شدند. شکل 2 معادله رگرسیونی و ضرایب همبستگی بین غلظت‌های مختلف کروم در خاک و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه خرفه را نشان می‌دهد. کلیه پارامترهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده ضرایب همبستگی بالای 90 درصد را با

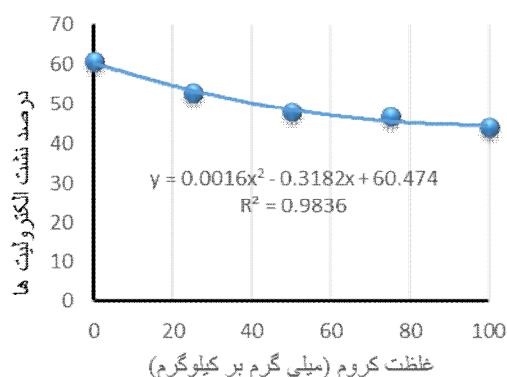
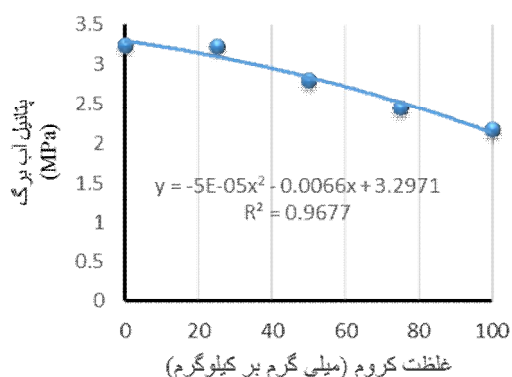
افزایش غلظت کروم در خاک نشان دادند. درصد نشت الکترولیت‌ها با $R^2=0.98$ بیشترین تأثیر منفی را با افزایش غلظت کروم در خاک متحمل شده است. نتایج نشان می‌دهد که این پارامترها بسیار حساس نسبت به افزایش غلظت کروم در خاک می‌باشند. در واقع با اندازه‌گیری درصد نشت الکترولیت‌ها می‌توان برآوردی از مقدار آسیب غشاء در تنش فلزات سنگین به دست آورد. فلزات سنگین با غیر فعال کردن آنزیم‌های غشای، تخریب آنزیم

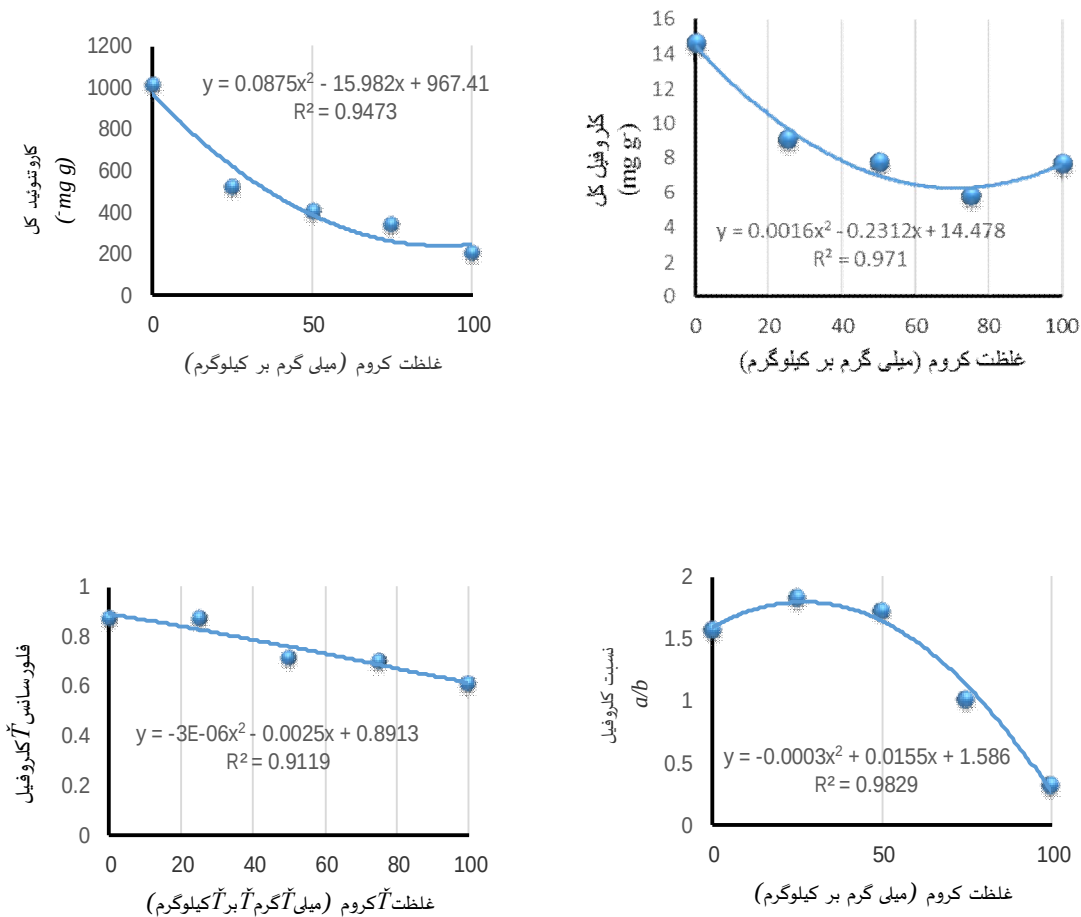
تأثیر تنش غیر زیستی قرار می‌گیرد، لذا میزان پلاستیدهای جدید، کلروفیل a و b و همچنین کاروتنوئید کاهش می‌یابد (زرافشار و همکاران 2015). در واقع با ورود فلزات سنگین به داخل کلروپلاست و تجمع آن‌ها در بین اندامک‌ها ممکن است تنش‌های اکسیداتیو اتفاق بیفتد که موجب پروکسیداسیون کلروپلاست‌ها می‌شود (سینگ 1995). همچنین فلزات سنگین به طور مستقیم ساختار و عملکرد کلروپلاست‌ها را با اتصال به گروه‌های سولفیدریل آنزیم‌ها از هم گسیخته می‌کنند و روی بیوستز کلروفیل تأثیر می‌گذارند. با توجه به افزایش میزان کلروفیل b در سطح 100 ppm نسبت به سطوح پایین‌تر کروم، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که احتمالاً گیاه خرفه از طریق افزایش میزان کلروفیل b ، مکانیسم‌هایی را جهت تحمل سطوح بالای تنش فعال می‌کند و در نتیجه در سطوح بالای تنش با افزایش میزان کل کلروفیل تا حدودی اثرات تخریبی ناشی از تنش جبران می‌شود.

های آنتی اکسیدانی و تخریب چربی‌های غشاء سلولی سبب افزایش آسیب‌های غشایی در گیاه می‌شود. این چنین آسیب‌هایی به دلیل مکانیسم‌های متنوعی مانند اکسیداسیون و مهار پروتئین‌های غشایی می‌باشد.

افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک می‌تواند سبب جذب بیشتر این فلزات با گیاه گردد که در نتیجه آن، جانشینی فلزات سنگین با فلزات ضروری در سلول‌های گیاهی رخ می‌دهد. از آنجائی که فلزات ضروری در تشکیل رنگیزه‌ها و آنزیم‌ها نقش مهمی دارند بنابراین در حضور فلزات سنگین تشکیل رنگیزه‌ها دچار اختلال می‌شود (بارسلو و پوسچنریدر 2004).

داویس و همکاران (2002) کروم را به‌عنوان بازدارنده فتوسنتز و فتوسیستم II معرفی کرده‌اند که این بازدارندگی به تنش اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) نسبت داده می‌شود. عملکرد فتوسیستم II از دیگر جایگاه‌هایی است که به شدت تحت





شکل 2- نمودارهای رگرسیون بین سطوح مختلف غلظتی کروم با پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه خرفه

حاصلخیزی خاک نیز بالاترین همبستگی را با نسبت کلروفیل a/b داشت. در نتیجه نسبت کلروفیل a/b شاخص مناسبی است که بالاترین همبستگی را با اکثر آنزیم‌های خاک نشان داد. شاید بتوان از این نسبت به عنوان شاخص مناسب در سنجش تأثیر آلاینده‌ها بر گیاه استفاده نمود. کاهش میزان رنگدانه‌ها در گیاهان به دلیل تنش فلزات سنگین به علت آسیب شدید اکسیداتیو است و بازدارندگی مراحل مختلف سنتز کلروفیل است.

ضرایب همبستگی بین فعالیت آنزیم‌های خاک و پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه خرفه در جدول 7 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که آنزیم‌های دهیدروژناز و فسفاتاز اسیدی همبستگی بالایی را با پتانسیل آب برگ و نسبت کلروفیل a/b نشان دادند. آنزیم اوره آز بالاترین همبستگی را با درصد نشت الکترولیت‌ها نشان داد و آنزیم فسفاتاز قلیایی با نسبت کلروفیل a/b همبستگی بالایی را نشان داد. شاخص بیوشیمیایی

جدول 7- ضرایب همبستگی بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک با پارمترهای فیزیولوژیکی گیاه خرفه در شرایط تنش کروم

متغیر	پتانسیل آب برگ (مگا پاسکال)	درصد نشت الکترولیت‌ها (%)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کاروتینوئید کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	فلورسانس کلروفیل	نسبت کلروفیل a/b
دهیدروژناز	0/928**	0/565*	0/433*	0/480*	0/810**	0/921**
اوره آز	0/633*	0/904**	0/814**	0/845**	0/773*	0/319 ^{ns}
فسفاتاز اسیدی	0/977**	0/711*	0/505*	0/578*	0/975**	0/889**
فسفاتاز قلیایی	0/335 ^{ns}	0/303 ^{ns}	0/031 ^{ns}	0/042 ^{ns}	0/280 ^{ns}	0/690*
شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک	0/680*	0/608*	0/650*	0/297 ^{ns}	0/721*	0/905**

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns}: غیر معنی دار

نتیجه گیری

درصد نشت الکترولیت‌ها، پتانسیل آب برگ و شاخص‌های فتوسنتز شد. نتایج نشان دادند که شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه خرفه نسبت به شاخص‌های موفولوژیک آن حساسیت بالاتری را نسبت به تنش فلز سنگین کروم دارند. بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه به همراه شاخص‌های بیوشیمیایی خاک یکی از بهترین راه‌ها برای ارزیابی وضعیت آلاینده در خاک و گیاه می‌باشد.

با افزایش غلظت فلز سنگین کروم در خاک، فعالیت‌های آنزیمی خاک به طور معنی‌داری کاهش یافتند. شاخص بیوشیمیایی حاصلخیزی خاک که از مجموع فعالیت‌های آنزیمی قابل محاسبه است، همبستگی بالایی را با شاخص‌های رشد گیاه خرفه مخصوصاً وزن خشک اندام هوایی نشان داد. افزایش غلظت کروم در خاک منجر به کاهش پارامترهای فیزیولوژیک خاک مثل

فهرست منابع:

1. احمدی ا، اردکانی سهیل، 1396، بررسی تجمع کروم و نیکل در خاک اطراف شهرک صنعتی شماره 3 اراک، علوم و تکنولوژی محیط زیست، 22، 5: 87-97.
2. اله بخش ا، سیروس مهرع، ابراهیمی ا، شهرکی ن، 1397، اندوزش و تحمل آلودگی کادمیومی و تأثیر تیمار سیلیسوم بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea*)، مجله پژوهشهای گیاهی، 31، 2: 235-247.
3. سلامت دوست ر، قربانی ا، 1396، بررسی تأثیر کروم بر آسیب پذیری منطقه ترانزیستی تبریز-صوفیان، فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، 8، 2: 31-40.
4. Aja, P. M., Okaka, A. N. C., Onu, P. N., Ibiom, U., and A. J. Urako. 2010. Phytochemical composition of *Talinum triangulare* (water leaf) leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*. 9(6): 527-530.
5. Al-Khafaji, A. A., and M. A. Tabatabai. 1979. Effects of trace elements on arylsulfatase activity in soils. *Soil Science*. 127(3): 129-133.
6. Alloway, B. J., and A. P. Jackson. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *Science of the Total Environment*. 100: 151-176.

7. Alyazouri, A. H., Jewsbury, R. A., Tayim, H. A., Humphreys, P. N., and M. H. Al-Sayah. 2013. Phytoextraction of Cr (VI) from soil using *Portulaca oleracea*. *Toxicological & Environmental Chemistry*. 95(8): 1338-1347.
8. Azizi, E., Rahbarian, R., and A. Mirbolook 2016. Phytoremediation of Cr⁺⁶ in Contaminated Soil using *portulaca oleracea*. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*. 30 (2): 161-172.
9. Banerjee, M., Mishra, S., and J. Chatterjee. 2004. Scavenging of nickel and chromium toxicity in *Aulosirafertilissima* by immobilization Effect on nitrogen assimilating enzymes. *Electronic Journal of Biotechnology*. 7(3): 13-14.
10. Barabasz, W., Chmiel, M., Galus, A., and I. Paśmionka. 1998. *Ekotoksykologiacchromu. ChemiaiInżynieriaEkologiczna*. 5(8-9): 665-674.
11. Barcelo, J., and C. Poschenrieder. 2004. Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. In *Heavy metal stress in plants* (pp. 223-248). Springer, Berlin, Heidelberg.
12. Barrs, H. D., and P. E. Weatherley. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian journal of biological sciences*. 15(3): 413-428.
13. Belyaeva, O. N., Haynes, R. J., and O. A. Birukova 2005. Barley yield and soil microbial and enzyme activities as affected by contamination of two soils with lead, zinc or copper. *Biology and Fertility of Soils*. 41(2): 85-94.
14. Bremner. J.M. and Mu Lvaney. R.G. (1982) Nitrogen total.
15. Davies Jr, F. T., Puryear, J. D., Newton, R. J., Egilla, J. N., and J. A. Saraiva Grossi. 2002. Mycorrhizal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: influence on tissue mineral concentration, growth, and gas exchange. *Journal of Plant Nutrition*. 25(11): 2389-2407.
16. Diaz-Ravina, M., and E. Baath. 1996. Development of metal tolerance in soil bacterial communities exposed to experimentally increase metal levels. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(8): 2970-2977.
17. Dick, W. A., Cheng, L., and P.Wang. 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry*. 32(13): 1915-1919.
18. Di Toppi, L. S., and R. Gabbrielli. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and experimental botany*. 41(2): 105-130.
19. Ezekwe, M. O., Omara-Alwala, T. R., and T. Membrahtu. 1999. Nutritive characterization of purslane accessions as influenced by planting date. *Plant Foods for Human Nutrition*. 54(3): 183-191.
20. Frankenberger Jr, W. T., Johanson, J. B., and C. O. Nelson. 1983. Urease activity in sewage sludge-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 15(5): 543-549.
21. Hiroyuki, O., and H. Tsutomu. 1983. Oligotrophic bacteria on organic debris and plant roots in a paddy field soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 15(1): 1-8.
22. Huang, Q., and H.Shindo. 2001. Contparison of the influence of Cu, Zn, and Cd on the activity and kinetics of free and intntobilized acid phosphatase. *Soil Science and Plant Nutrition*. 47(4): 767-772.
23. Juma, N. G., and M. A. Tabatabai. 1978. Distribution of phosphomonoesterases in soils. *Soil Science*. 126(2): 101-108.
24. Kobus, J. 1995. *Biologiczneprocesy a kształtowanieżyznoscigleby. ZeszytyProblemowePostępówNaukRolniczych*. 421: 209-219.
25. Kucharski, J. 1997. *Relacjemiedzyaktywnościąenzymów a żyżnościagleby. W: Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywnościżnaczenie. Pr. zbior. Red. W. Barabasz. Kraków. AR. 327-347.*

26. Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*. 148: 350-382.
27. Lityński T. Jurkowska H and Gorlach E.; 1976. *Analizachemiczno-rolnicza* [Chemical and agricultural analysis]. PWN Warszawa: 129-132; [in Polish].
28. MacFarlane, G. R., and M. D. Burchett. 2001. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Marine pollution bulletin*. 42(3): 233-240.
29. Manivasagaperumal, R., Vijayarengan, P., Balamurugan, S., and G.Thiyagarajan. 2011. Effect of copper on growth, dry matter yield and nutrient content of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Journal of Phytology*. 3(3): 53-62.
30. Marchiori, M., DeMelo, W. J., Chelli, R. A., and S. A. S. Leite 1998. Total soil nitrogen, nitrogen in the microbial biomass and enzyme activity in a soil under different types of use. In *Proc. 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France*, CD ROM.
31. Marzadori, C., Ciavatta, C., Montecchio, D., and Gessa, C. 1996. Effects of lead pollution on different soil enzyme activities. *Biology and Fertility of Soils*. 22(1): 53-58.
32. Olsen. S.R., Cole. C.V., Watanabe. F.S. and Dean. L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circ. U.S.Dep. Agric.* 939.
33. Otabbong, E. 1989. Chemistry of Cr in Some Swedish Soils: 1. Chromium Speciation in Soil Extracts: A Comparison of Different Methods. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 39(2): 119-129.
34. Parry, O., Okwuasaba, F. K., and C. Ejike. 1987. Skeletal muscle relaxant action of an aqueous extract of *Portulaca oleracea* in the rat. *Journal of ethnopharmacology*, 19(3): 247-253.
35. Premachandra, G. S., Saneoka, H., Fujita, K., and S. Ogata. 1993. Water stress and potassium fertilization in field grown maize (*Zea mays* L.): effects on leaf water relations and leaf rolling. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 170(3): 195-201.
36. Rath, M., Mishra, C. S. K., and R. C. Mohanty. 2010. Microbial population and some soil enzyme activities in iron and chromite mine spoil. *International journal of Ecology and Environmental sciences*. 36(2/3): 187-193.
37. Runowska-Hrynczuk, B. 1992. Przydatnosc wskaźnikow aktywnosci biologicznej gleby do oceny stanu jej żyzności. *Pamiętnik Puławski*. 100: 187-200.
38. Salazar, S., Sánchez, L. E., Alvarez, J., Valverde, A., Galindo, P., Igual, J. M., and I. Santa-Regina. 2011. Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. *Ecological Engineering*. 37(8): 1123-1131.
39. Sikora, L.J., Yakovchenko, V., and D.D. Kaufman. 1995. A proposed soil-quality indicator. In: Cook, H.F., and Lee, H.C. (Eds.): *Soil Management in Sustainable Agriculture*. Wye College Press: 312 – 318.
40. Simard. R.R. (1993) Ammonium acetate extractable elements. In: Martin, R., Carter, S. (Eds), *soil sampling and method of Analysis*. Lewis publisher, Florida, USA, pp.39-43.
41. Singh, V. P. 1995. Toxic metal cadmium: phytotoxicity and tolerance in plants. *Advances in environmental science technology*. New Delhi: Ashish Publication House. 225-256.
42. Stephan, J. M., 1994. Purslane. Fact sheet HS-651. Florida Cooperative Extension Service Institute of Food and Agriculture Science. University of Florida. 7 pp.
43. Stępniewska, Z., A. and Wolinska. 2005. Soil dehydrogenase activity in the presence of chromium [III] and [VI]. *International Agrophysics*. 19(1).
44. Unnikannan P and Baskaran L. 2010. Chromium stress in paddy; (i) Nutrient status of paddy under chromium stress; (ii) Phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. *Comptes Rendus Biologies*. 333(8): 597-607.
45. Tabatabai, M. A., and J. M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil biology and biochemistry*. 1(4): 301-307.

46. Tabatabai M.A. Page AL. Miller RH and Keeney DR. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Soil enzymes. Soil Science of America, Madison.* 907-943.
47. Thalmann, A. 1968. *Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittelstriphenyltetrazoliumchlorid (TTC).* LandwirtschForsch. 21: 249-258.
48. Vernay, P., Gauthier-Moussard, C., and A. Hitmi. 2007. *Interaction of bioaccumulation of heavy metal chromium with water relation, mineral nutrition and photosynthesis in developed leaves of Lolium perenne L.* Chemosphere. 68(8): 1563-1575.
49. Walkley, A. 1947. *Organic carbon by the Walkley-Black oxidation procedure.* Soil science. 63: 251-264.
50. Watanabe, H., 1984. *Accumulation of chromium from fertilizers in cultivated soils.* Soil Science and Plant Nutrition, 30(4), pp.543-554.
51. Wyszowska, J., Kucharski, J., Jastrzebska, E., and A. Hlasko. 2001. *The biological properties of soil as influenced by chromium contamination.* Polish Journal of Environmental Studies. 10(1): 37-42.
52. Zarafshar, M., Akbarnia, M., Asgari, H., Hosseini, M., and M. Rahaie. 2015. *Physiological and biochemical changes in wild pear (Pyrus boissieriana) seedlings in response to irrigation changes.* Applied Biology. 28 (1): 59-78.

بررسی اثر بیوپار ضایعات ساقه زرشک بر آبشویی نیترات از یک خاک لومی حاوی ماده آلی

حسین حمامی¹ علی شهیدی، و حنان حنفی

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند؛ عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی؛ عضو گروه پژوهشی

آبهای نامتعارف؛ hhamami@birjand.ac.ir

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند؛ ashahidi@birjand.ac.ir

دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند؛ hannan.hanafi77@gmail.com

ص 67 - 80

دریافت: 1399/11/21 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

با توجه به آلودگی منابع آبی به آلاینده‌های مختلف مانند نیترات، استفاده از مواد اصلاح‌کننده نظیر بیوپار می‌تواند به عنوان راهکاری برای حل این مشکل محیط زیستی مورد توجه قرار گیرد. به منظور بررسی اثر بیوپار ضایعات ساقه زرشک بر آبشویی نیترات، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال 1399 در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل اندازه ذرات بیوپار در دو سطح (کمتر از 1 میلی‌متر و بزرگتر از 2/8 میلی‌متر (اندازه ذرات طبیعی)) و مقدار بیوپار در سه سطح (به مقدار 1%، 2% و 3% وزن خاک) بود. تیمار شاهد بدون بیوپار نیز برای مقایسه تیمارها با شاهد وجود داشت. بیوپار طی فرآیند تجزیه حرارتی (دمای 400 درجه سانتیگراد به مدت 6 ساعت) و در شرایط اکسیژن محدود تولید شد. گلدان‌ها تحت چرخه‌های مرطوب (ظرفیت مزرعه‌ای بعلاوه 20%) و خشک شدن (رطوبت پژمردگی دائم) قرار گرفته و غلظت نیترات در آب زهکش شده حاصل از آبیاری، در دو مرحله با فاصله شش هفته اندازه‌گیری شد. بیشترین و کمترین میزان آبشویی نیترات در نمونه‌گیری‌های انجام‌شده به ترتیب مربوط به تیمار شاهد بدون بیوپار و تیمار بیوپار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 1% وزنی بود. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن بیوپار به خاک در مقایسه با شاهد (بدون بیوپار) سبب کاهش آبشویی نیترات شد. تیمارهای بیوپار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 1%، 2% و 3% وزنی و بیوپار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 1%، 2% و 3% وزنی در مقایسه با شاهد در نمونه‌برداری دوم به ترتیب 83/6%، 82/4%، 76/8%، 81/7%، 64/2% و 60/2% درصد کاهش آبشویی را نشان دادند. افزون بر این، نتایج نشان داد که اثر بیوپار بر کاهش آبشویی نیترات در مورد ذرات با اندازه کمتر از 1 میلی‌متر بیشتر از ذرات بزرگتر از 2/8 میلی‌متر بود. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که کاربرد بیوپار ضایعات شاخه ناشی از برداشت زرشک می‌تواند سبب کاهش آبشویی نیترات و خطر انتقال آلودگی به سایر نقاط خاک شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، آلودگی زه آب، مواد اصلاح‌کننده خاک

¹ نویسنده مسئول، آدرس: hhamami@birjand.ac.ir

مقدمه

نیترات یک ماده شیمیایی با فرمول NO_3 است. نیترات اکسیدکننده‌ترین شکل نیتروژن است که در سیستم‌های طبیعی یافت می‌شود. نیترات یک ترکیب با بار منفی (آنیون) است که با یون‌های بار مثبت (کاتیون) ترکیب می‌شود و به صورت نمک‌های نیترات پتاسیم یا نیترات سدیم در می‌آید که به عنوان کود در کشاورزی به کار می‌رود. نیترات یکی از محلول‌ترین آنیون‌هایی است که شناخته شده است. نیترات به صورت نیترات سدیم و نیترات پتاسیم به عنوان کود کشاورزی به کار می‌رود. تولید صنعتی کودهای نیتروژنی توسط بشر از سال 1950 به طرز چشمگیری در سطح جهانی افزایش یافته است. در نتیجه افزایش جمعیت جهان، فشار به سیستم‌های کشاورزی و طبیعی برای افزایش تولید غذا به شدت افزایش یافته است. برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز برای جمعیت در حال افزایش جهان سیستم‌های تک کشتی مبتنی بر مصرف کودهای شیمیایی و ارقام اصلاح‌شده با کودپذیری بالا گسترش یافته‌اند.

بنابراین هدرروی کودهای شیمیایی مورد استفاده به ویژه کودهای نیتروژنی و آلودگی منابع آب و خاک روی می‌دهد. تولید روزافزون کودهای شیمیایی در سراسر جهان از مهم‌ترین منابع افزایش نیتروژن در زمین است. فضولات انسانی و حیوانی، اکسیدهای نیتروژن ناشی از فعالیت‌های صنعتی و تثبیت نیتروژن اتمسفر توسط گیاهان خانواده حبوبات از جمله سایر منابع عمده افزاینده نیتروژن در زمین هستند. منابع آلی و غیر آلی نیتروژن طی فرایندهای معدنی شدن، هیدرولیز و نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شوند (فیلدز، 2004). در هر صورت کاربرد کودهای نیتراته در سیستم‌های کشاورزی به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب به عنوان یک ضرورت شناخته شده است که در نتیجه آن آلودگی آب و خاک روی می‌دهد. به عنوان مثال در یک گزارش میزان آبشویی نیترات در یک سامانه زراعی معمول 25 تا 90 کیلوگرم در هکتار در سال عنوان شده است (باسو و

ریچ، 2005). یا به عبارتی دیگر حدود 50 درصد کودهای نیتروژنه مورد استفاده در سیستم‌های کشاورزی توسط گیاه جذب نشده و به هدر می‌رود. محققان ثابت کرده‌اند که در مناطق با ورودی نیتروژن زیاد و خاک‌های با زهکشی خوب، آب‌های زیرزمینی در معرض خطر تجمع نیترات می‌باشند (نولان و همکاران، 2002؛ ریفنگ و همکاران، 2014). نیترات در بسیاری از فرآیندهای صنعتی تولید شده و به محیط خاک، آب و هوا به عنوان آلاینده وارد می‌شود.

نیترات یک ماده مهم برای تغذیه گیاهان محسوب می‌شود ولی از نظر سلامت جامعه یک آلاینده‌ی مهم است. نیترات و فسفات، مواد مغذی مهمی برای رشد جلبک‌ها بوده و در نتیجه یکی از مسبب‌های اصلی تولید بو و رنگ در دریاچه‌های پشت سدها هستند (چن و همکاران، 2007).

نیترات به مقدار کم توسط گیاه جذب می‌شود. یون نیترات دارای بار منفی است که توسط ذرات رس خاک که آن‌ها هم عمدتاً دارای بار منفی هستند، جذب نمی‌شود و در نتیجه توسط آب باران و یا آب آبیاری شسته شده و از دسترس ریشه دور می‌شوند (تایلوا و همکاران، 2005؛ گولسبای، 2000). بنابراین مستقیماً وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهد شد. ممکن است نیترات به مقدار زیادی در خاک و منابع آب وجود داشته باشد، اما غلظت طبیعی آن در منابع آب زیرزمینی معمولاً کمتر از 10 میلی‌گرم در لیتر (معادل 0/16 میلی‌اکی والان در لیتر) است. غلظت بیشتر نیترات در منابع آب، اغلب دلالت بر تخلیه مستقیم نیترات موجود در کودها و آلودگی ناشی از ترکیبات آلی (فاضلاب و پساب‌ها) داشته و در نتیجه نشان‌دهنده آلودگی آب است. سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر مجاز غلظت نیترات در آب شرب را 50 میلی‌گرم در لیتر تعیین نموده است (سازمان بهداشت جهانی، 2004).

خاک می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌گردد (سایدت و همکاران، 2021). علاوه بر این کاهش اثر منفی تنش خشکی در نتیجه کاربرد بیوپچار تأیید شده است (اگرا و همکاران، 2016؛ آر و همکاران، 2017؛ پاتچ و همکاران، 2018). نتایج بررسی‌های متعدد نشان داده است که کاربرد بیوپچار نه تنها سبب کاهش آبشویی نیترات و ممانعت از انتشار آلودگی نیترات به سایر نقاط می‌شود بلکه سبب افزایش حضور نیتروژن در محدوده رشد ریشه گیاه می‌شود (ون - ژوئیتن و همکاران، 2009؛ لی و همکاران، 2014؛ برانتلی و همکاران، 2015؛ حیدر و همکاران، 2017؛ چنگ و همکاران، 2017؛ دمیرتاز و همکاران، 2018). از سوی دیگر بهبود شرایط برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک در حضور بیوپچار سبب افزایش فعالیت باکتری‌های موثر در تولید نیترات می‌شود (ون - ژوئیتن و همکاران، 2009؛ برانتلی و همکاران، 2015). بنابراین کاربرد بیوپچار از جنبه‌های مختلف بیولوژیکی و اکولوژیکی سبب بهبود شرایط خاک می‌شود.

کشت زرشک در خراسان جنوبی قدمتی بیش از 200 سال دارد (کافی و همکاران، 2004). سطح زیر کشت زرشک در استان خراسان جنوبی حدود 11 هزار هکتار با تولید سالانه 9200 تن میوه خشک است (رادمهر، 2010). یکی از روش‌های بسیار متداول در برداشت زرشک به دلیل سخت بودن برداشت، هرس و برداشت زرشک با شاخه است که این شاخه‌ها پس از برداشت زرشک به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. با توجه به اینکه ضایعات برداشت محصول زرشک (ناشی از هرس سالیانه) بسیار زیاد است (حدود 36 تن در سال از کل باغات زرشک استان خراسان جنوبی). بنابراین بخش زیادی از شاخه‌های زرشک به عنوان ضایعات یا سوزانده شده و یا دور ریخته می‌شود بنابراین از این ضایعات می‌توان برای تولید بیوپچار استفاده کرد. از سوی دیگر با توجه به کمبود نیتروژن خاک‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد کودهای مختلف شیمیایی و

غلظت زیاد نیترات در آب آشامیدنی، تأثیر زیادی در افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های خطرناک برای انسان از جمله دیابت، سرطان غدد لنفاوی، سرطان روده بزرگ و عوارض جانبی برای تولیدمثل خواهد داشت و گاهی منجر به مرگ می‌شود (برندر و همکاران، 2004؛ وارد و همکاران، 2005). علاوه بر این، آبشویی املاح مختلف نیتروژن دار منجر به کاهش کارایی کودهای نیتروژنی در تولید محصولات زراعی می‌شود. برای حل این مشکل، ایجاد شرایطی برای حفظ نیتروژن در لایه سطحی خاک نظیر استفاده از کودهای کنترل رهش (گتیل و همکاران، 2009) و یا افزایش سطوح جاذب املاح در خاک (لمان و همکاران، 2003) مورد توجه محققین است. چگونگی اثر کودهای کنترل رهش بر کاهش آبشویی در شرایط آبشویی شدید به خوبی شناخته شده نیست ولی استفاده از بیوپچار به عنوان افزایش‌دهنده سطوح جاذب می‌تواند نقش تأثیرگذاری در این زمینه ایفا کند (هالیستر و همکاران، 2013؛ ژانگ و همکاران، 2015). بیوپچار محصول تجزیه‌ی حرارتی موادی نظیر چوب، برگ گیاهان، باقیمانده‌های کشاورزی و کود حیوانی در یک فضای بسته‌ی فاقد اکسیژن یا دارای اکسیژن محدود و تحت حرارت زیاد است. بیوپچار مقاومت زیادی در برابر تجزیه داشته و توانایی بسیار زیادی در جذب یون‌ها در مقایسه با سایر اشکال مواد آلی خاک دارا است (لیانگ و همکاران، 2006؛ لمان، 2007). سطح ذرات خاک، پارامتر فیزیکی مهمی است که نگهداری آب در خاک، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند (ون - ژوئیتن و همکاران، 2009؛ برانتلی و همکاران، 2015). تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک در ایجاد فضایی برای حفظ مواد مغذی مؤثر است. سطح ویژه زیاد بیوپچار، فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آن‌ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود می‌دهد (لی و همکاران، 2014). بیوپچار منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در

آلی به منظور تأمین نیاز گیاهان کشت شده در این مناطق گسترش یافته است. علاوه بر این با وجود کم آبی شدیدی منطقه متاسفانه هنوز سیستم آبیاری در اغلب نقاط استان خراسان جنوبی و بیرجند بصورت غرقابی شدید (آبیاری بسیار سنگین) با مدار 14 تا 20 روزه است. بنابراین استفاده از این نوع بیوچار که از ضایعات شاخ ها و برگ ها زرشک تهیه می شود می تواند علاوه بر بهبود نگهداری آب در خاک های منطقه و افزایش ماده آلی خاک به کاهش آبشویی عناصر غذایی مانند نیتروژن کمک کند. لذا به منظور استفاده مطلوب از ضایعات شاخه های زرشک و ارزیابی اثر بیوچار زرشک در کاهش آبشویی نیترات از یک خاک لومی در بازه زمانی 3 ماهه این مطالعه انجام شد.

مواد و روش ها

ساقه های ناشی از برداشت و جمع آوری زرشک (به نوعی برای برداشت گیاه هرس می شود) از باغ دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند تهیه شد (برگ از ساقه ها جدا شد). ساقه ها در شرایط سایه قرار داده شده تا خشک شوند (پاییز سال 1398). بیوچار از ساقه های دورریز زرشک در دمای بالا درون کوره (400 درجه سانتیگراد) و طی فرآیند تجزیه حرارتی در شرایط اکسیژن محدود طی مدت زمان 6 ساعت تهیه شد (شکل 1). بیوچار تهیه شده از الک دارای مش 18 (اندازه سوراخ ها 1 میلی متر) عبور داده شد و بخش های عبور کرده به عنوان تیمار دارای اندازه ذرات کمتر از 1 میلی متر استفاده شد. بخش باقیمانده با الک دارای مش 7 (اندازه سوراخ ها 2/8 میلی متر) غربال شده و بخش باقیمانده بر روی این مش به عنوان تیمار دارای اندازه ذرات طبیعی بیشتر از 2/8 میلی متر استفاده شد.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از لایه سطحی (0 تا 20 سانتی متر) نهالستان دانشگاه بیرجند تهیه شد و سپس در سایه خشک شده و از الک 2 میلی متری عبور

داده شدند. میزان آب مورد نیاز در ظرفیت زراعی خاک در آزمایشگاه تعیین شد. به این منظور ابتدا میزان آب مورد نیاز برای حالت اشباع محاسبه شد. ابتدا ظرف توزین شد و سپس 100 گرم خاک خشک (72 ساعت در آون خشک شده بود) به ظرف منتقل شد و آب برای ایجاد گل اشباع به خاک اضافه شد (گل دارای سطح براق بوده و پس از ایجاد شیار روی آن، با ضربه های آهسته به ظرف شیار بسته می شد). ظرف حاوی گل اشباع توزین شده و سپس به مدت 48 ساعت در درون آون با دمای 80 درجه قرار داده شد و دوباره توزین شد. به این طریق میزان آب مورد نیاز برای ایجاد حالت اشباع محاسبه شد. در یک ظرف زهکش دار میزان آب مورد نیاز برای ایجاد حالت اشباع به خاک اضافه شد و ظرف با فاصله هر 12 ساعت توزین شد تا زمانی که در 3 مرتبه اندازه گیری وزن ثابت شد. سپس میزان آب مورد نیاز برای ایجاد ظرفیت زراعی محاسبه شد (کلوت، 1986؛ رومانو و سانتینی؛ 2002).

خصوصیات خاک و ماده آلی اضافه شده به خاک، مورد استفاده برای انجام آزمایش به ترتیب در جدولهای 1 و 2 نشان داده شده است. خصوصیات بیوچار نیز در جدول 3 نشان داده شده است. درصد ذرات و بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک و بوسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی، کربن آلی به روش اکسیداسیون مرطوب (والکلی و بلک، 1934)، نیتروژن خاک به روش کج لادل، فسفر به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتوفوتومتر (السن و همکاران، 1954)، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، روی، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی و سطح ویژه بیوچار بوسیله روش BET اندازه گیری و تعیین شدند.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

درصد ذرات اولیه										کلاس بافتی خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)	pH خمیر اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن خاک (%)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب
رس (%)	سیلت (%)	شن (%)															
13/3	42/6	44/1	لوم	1/38	2/58	7/3	0/511	5/3	11/01	285/4							

جدول 2- برخی ویژگی‌های خاک برگ پوسیده شده به عنوان منبع ماده آلی خاک

قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	pH خمیر اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن	نسبت کربن به نیتروژن	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	فسفر
0/24	7/58	5/88	0/74	7/95	78/00	50/00	45/70	23/20

جدول 3- برخی ویژگی‌های بیوجار تولید شده از شاخه‌های زرشک در دمای 400 درجه سانتی‌گراد

قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	سطح ویژه (مترمربع بر گرم)	pH خمیر اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	روی	آهن	منگنز
3/4	216/9	3/7	72/4	22/3	11/01	958/8	232/5	1469/6	3/11	33/79	20/99

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در انتهای سال 1398 و ابتدای سال 1399 در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل اندازه ذرات بیوجار در دو سطح (کمتر از 1 میلی‌متر و بیشتر از 2/8 میلی‌متر (اندازه ذرات طبیعی)) و مقدار بیوجار در سه سطح (به مقدار 1، 2 و 3 درصد وزنی) بود. از تیمار شاهد بدون بیوجار برای مقایسه تیمارها با شاهد استفاده شد. نتایج آنالیز یک درصد ماده آلی با هدف ایجاد منبع نیتروژنی برای تولید نیترات (خاک برگ کاملاً پوسیده)، به طور یکنواخت با یک کیلوگرم خاک مخلوط شده و به هر واحد آزمایشی که شامل گلدان پلاستیکی زهکش‌دار به حجم یک لیتر بود، اضافه گردید (مجموعاً 21 گلدان) (شکل 2). گلدان‌ها در اسفند ماه 1398 آماده شده و آبیاری به صورت مداوم و هر دو هفته به وسیله آب مقطر و به میزان 20 درصد بیشتر از ظرفیت زراعی انجام شد.

نمونه‌برداری‌ها در دو مرحله و در 21 فروردین‌ماه و اول خردادماه 1399 با فاصله شش هفته انجام شد (شکل 3). میزان نیترات آب زهکش شده به وسیله دستگاه پالین تست 7100 مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل 4). به این منظور ابتدا نیترات به کمک پودر نیترات (بر پایه روی) احیا شده و سپس با استفاده از قرص نیترات لخته سازی در داخل لوله آزمایش مخصوص انجام شد. بدین منظور 20 میلی‌لیتر نمونه به لوله نیترات منتقل شد. سپس یک پیمانه پودر نیتراتست و یک قرص سالم نیتراتست به لوله نیترات اضافه گردید و پس از بستن درب آن به مدت یک دقیقه هم زده شد. سپس یک دقیقه به حال خود رها شد و دوباره 3 تا 4 بار لوله وارونه گردید تا به لخته سازی کمک شود. لوله به مدت 5 دقیقه به حال خود رها شده تا رسوب کامل مشاهده شود. سپس از محلول شفاف 10 میلی‌لیتر را به یک سل منتقل کرده و یک عدد قرص نیتریکول را خرد کرده و به آن اضافه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بصورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی به همراه شاهد مستقل و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. آزمون مقایسه میانگین بر اساس LSD محافظت شده انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

می‌کنیم و هم می‌زنیم و اجازه می‌دهیم تا تغییر رنگ به صورت کامل و یکنواخت ظاهر شود. این کار به بیش از 10 دقیقه زمان نیاز دارد. سپس طیف‌سنج را برای قرائت نیترات تنظیم کرده و محتوای نیترات نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر قرائت شد (وگنر، 1972).



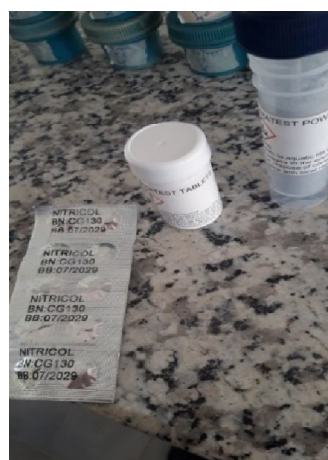
شکل 1- نمونه‌های بیوجار تهیه‌شده: شکل سمت راست) اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر؛ شکل سمت چپ) اندازه ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر



شکل 2- گلدان‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش (شکل سمت راست) و نمونه‌های جمع‌آوری شده از زهکشی گلدان‌ها (شکل سمت چپ)



شکل 3- نمونه‌های جمع‌آوری شده از زهکش گلدان‌ها



شکل 4- دستگاه مورد استفاده برای تعیین نیترات نمونه‌های آب (پالین تست 7100)

نتایج و بحث

آزمایش بصورت فاکتوریل با تیمار شاهد آنالیز شد. نتایج آزمایش نشان داد که تیمارهای آزمایشی در هر دو مرحله نمونه برداری اثر معنی داری بر غلظت نیترا در آب زهکش شده دارند ($P < 0/001$) (جدول 4). علاوه بر این نتیجه مقایسه تیمارها با شاهد در هر دو مرحله نمونه برداری نیز نشان دهنده اثر معنی دار تیمارها در مقایسه با شاهد بود ($P < 0/01$) (جدول 4). اندازه ذرات و مقدار بیوچار در اندازه گیری اول در سطح 5 درصد معنی دار بودند در حالی که این نوع تیمارها در اندازه گیری دوم در سطح 1 درصد معنی دار بودند. اثر متقابل اندازه ذرات در مقدار بیوچار در اندازه گیری اول معنی دار نبود. در حالی که این اثر در اندازه گیری دوم معنی دار بود ($P < 0/001$) (جدول 4).

نتایج سایر بررسی ها نیز نشان داده است که کاربرد بیوچارهای مختلف باعث کاهش آبتیوی نیترا

می گردد که این نتایج به دلیل سطح ویژه فوق العاده زیاد و ظرفیت جذب آنیونی بسیار بالای بیوچار بویژه در شرایط تهیه بیوچار در دماهای بالا است به دلیل افزایش نسبت کربن به نیتروژن و همچنین محتوای بالایی از کاتیون های مختلف در ترکیب بیوچار است (جدول 3) (داونی و همکاران، 2007؛ ون - ژوئیتن و همکاران، 2009؛ لارید و همکاران، 2010؛ لی و همکاران، 2014؛ برانتلی و همکاران، 2015؛ حیدر و همکاران، 2017؛ چنگ و همکاران، 2017؛ دمیرتاژ و همکاران، 2018). بطور کلی خصوصیات خاک نظیر اسیدته، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی و همچنین ظرفیت بافری خاک تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرار می گیرد که میزان تأثیر بیوچار به ماده خام، شرایط دمایی و فقدان یا کمبود اکسیژن و همچنین مقدار کاربرد بیوچار وابسته است (لهمن و جوزف، 2009؛ سایدت و همکاران، 2021).

جدول 4- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان نیترا آبتیوی شده

منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان نیترا نمونه برداری اول (میلی گرم بر لیتر)	میزان نیترا نمونه برداری دوم (میلی گرم بر لیتر)
تیمارها	6	100128/96 ***	126318/30 ***
مقایسه تیمارها با شاهد	1	540833/53 ***	685100/64 ***
اندازه ذرات	1	19012/50 *	32004/50 ***
مقدار بیوچار	2	16334/72 *	14691/17 ***
اندازه ذرات * مقدار بیوچار	2	4129/17 ^{ns}	5711/17 ***
خطا	12	2663/49	254/13
ضریب تغییرات (%)	--	20/62	6/44

به ترتیب *** معنی داری در سطح احتمال 0/1 درصد، * معنی داری در سطح احتمال 5 درصد، ^{ns} غیر معنی داری را نشان می دهند.

افزودن بیوچار به خاک دارای بافت رسی به میزان 20 گرم در کیلوگرم باعث افزایش سطح ویژه خاک از 130 به 150 مترمربع شد (لارید و همکاران، 2010). علاوه بر این بیوچار به دلیل نسبت بالای کربن به نیتروژن

دارای قدرت جذب آنیونی زیادی است (هالیستر و همکاران، 2013؛ لی و همکاران، 2014؛ ژانگ و همکاران، 2015) که باعث جذب آنیون های مختلف نظیر نیترا می شود و در نتیجه آبتیوی آنیون های دارای حلالیت بالا

در آب نظیر نیترات را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. کاهش آبشویی ترکیبات فسفات‌ها نیز در نتیجه کاربرد بیوپچار گزارش شده است (لایرد و همکاران، 2010؛ ژانگ و همکاران، 2021). کاربرد بیوپچار منجر به کاهش آبشویی نیترات و فسفات شده و در نتیجه باعث بهبود حاصلخیزی خاک شد و در نهایت رشد بهتر گیاهان کشت شده را با بهبود خصویات رشدی سبب شد (ژانگ و همکاران، 2021). کاهش آبشویی نیترات در آزمایش‌های گلخانه‌ای (نلسون و همکاران، 2011؛ برون و همکاران، 2012؛ هاید و همکاران، 2015) و مزرعه‌ای (هایدر و همکاران، 2016؛ هان و همکاران، 2016) گزارش شده است. کاهش آبشویی نیترات و در نتیجه افزایش میزان نیتروژن در دسترس ریشه گیاه به دلیل کاربرد بیوپچار در خاک گزارش شده است. به عنوان مثال نتایج بررسی 4 ساله‌ای نشان داد که کاربرد بیوپچار نه تنها باعث افزایش میزان نیترات در دسترس گیاه (کاهش آبشویی) می‌شود بلکه سبب افزایش محتوای رطوبت خاک نیز می‌گردد (هایدر و همکاران، 2017). افزودن بیوپچار به خاک نه تنها باعث کاهش آبشویی نیترات می‌شود بلکه با رهاسازی تدریجی نیترات میزان فراهمی آن را برای جذب به وسیله ریشه افزایش می‌دهد بنابراین گیاه در طول دوره رشد با کمبود نیتروژن به مقدار کمتری مواجه می‌شود. البته در ابتدای دوره رشد ممکن است کمبود نیتروژن شدیدتر باشد بنابراین مدیریت کود دهی در این دوره از رشد گیاه باعث ممانعت از کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (هایدر و همکاران، 2017).

مقایسه میانگین محتوای نیترات نمونه‌های آب زهکش شده با توجه به عدم معنی‌داری اثر متقابل اندازه ذرات در مقدار بیوپچار در اندازه‌گیری اول (جدول 4) مقایسه میانگین اثرات ساده اندازه ذرات و مقدار بیوپچار بررسی شد (جدول‌های 5 و 6). نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از نمونه‌برداری اول ناشی از اثر اندازه ذرات در جدول 5 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر اندازه ذرات در هر دو نوبت نمونه‌برداری بر آبشویی نیترات کاهشی و معنی‌دار در مقایسه با شاهد بدون بیوپچار است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آبشویی در نمونه‌برداری اول به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و تیمار بیوپچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر مشاهده شد. البته میزان آبشویی اختلافی معنی‌دار را ناشی از اندازه ذرات در نمونه‌برداری اول نشان نداد (جدول 5). اندازه ذرات کمتر از 1 و بیشتر از 2/8 میلی‌متر به ترتیب منجر به کاهش آبشویی به میزان 76/3 و 66/2 در مقایسه با شاهد در نمونه‌برداری اول شدند. در نمونه برداری دوم علاوه بر اختلاف تیمارها با شاهد، بین اندازه ذرات نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و کاهش 80/9 و 68/7 درصدی میزان آبشویی به ترتیب در اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر و بیشتر از 2/8 میلی‌متر مشاهده شد.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر اندازه ذرات بر میزان نیترات آبشویی شده

تیمارها	میزان نیترات نمونه‌برداری اول (میلی‌گرم بر لیتر)	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی‌گرم بر لیتر)
شاهد	643/33 ^a	690/33 ^a
کمتر از 1 میلی‌متر	152/22 ^b	131/67 ^c
بیشتر از 2/8 میلی‌متر	217/22 ^b	216/00 ^b
LSD 5%	68/43	21/14

وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است.

نتایج مقایسه میانگین اثر مقدار کاربرد بیوچار بر میزان آبشویی نیترات در جدول 6 نشان داده شده است. بطور کلی با نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمترین مقدار آبشویی در کاربرد مقدار 1 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد به میزان 79/7 و 82/6 درصد به ترتیب در نمونه برداری اول و دوم مشاهده شد. افزایش مقدار وزنی بیوچار منجر به کاهش توان ممانعت کنندگی بیوچار در آبشویی نیترات شد و این وضعیت در هر دو نوبت اندازه‌گیری مشاهده شد. از آنجا که کاربرد بیوچار ممکن است سبب کاهش در دسترس قرار گرفتن نیترات برای گیاه شود بنابراین مقدار کمتر بیوچار باعث کاهش خطر افت عملکرد گیاه زراعی بویژه در ابتدای دوره رشد

می‌شود (هایدر و همکاران، 2017). با وجود اینکه کاربرد بیوچار سبب کاهش آبشویی نیترات و همچنین افزایش محتوای رطوبت خاک شد ولی کاهش عملکرد گیاه ذرت و جو را باعث شد بنابراین مقدار بیوچار و کود دهی در شرایط استفاده از بیوچار به عنوان عوامل بسیار مهم و تأثیر گذار در عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شوند (هایدر و همکاران، 2017).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه ذرات در مقدار بیوچار بر میزان نیترات در نمونه‌برداری دوم نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد بیوچار زرشک بر آبشویی نیترات وجود دارد (جدول 7).

جدول 6- مقایسه میانگین اثر مقدار بیوچار بر میزان نیترات آبشویی شده

تیمارها	میزان نیترات نمونه‌برداری اول (میلی گرم بر لیتر)	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی گرم بر لیتر)
شاهد	643/33 ^a	690/33 ^a
1 درصد وزنی	130/83 ^c	120/00 ^d
2 درصد وزنی	188/33 ^{bc}	184/17 ^c
3 درصد وزنی	235/00 ^b	217/33 ^b
LSD 5%	72/58	22/42

وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه ذرات و مقدار بیوچار بر میزان نیترات آبشویی شده در نمونه برداری دوم

اندازه ذرات	مقدار بیوچار	میزان نیترات نمونه‌برداری دوم (میلی گرم بر لیتر)
شاهد بدون بیوچار	صفر	690/33 ^a
اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر	1 درصد وزنی	113/33 ^d
	2 درصد وزنی	121/67 ^d
	3 درصد وزنی	160/00 ^c
اندازه ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر	1 درصد وزنی	126/67 ^d
	2 درصد وزنی	246/67 ^b
	3 درصد وزنی	274/67 ^b

وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است.

نیترات شد. بر این اساس و به طور قطعی می‌توان دریافت که افزودن بیوپچار به خاک موجب کاهش آبشویی نیترات از خاک می‌شود و این اثر حداقل برای سه ماه پایدار بوده است. قابلیت جذب آنیونی و سطح ویژه‌ی بالای بیوپچار از جمله دلایل اصلی برای جذب یون‌های نیترات و نگهداری آن در خاک می‌باشند. در تحقیق حاضر افزایش مقدار بیوپچار تأثیری بر افزایش کارکرد بیوپچار در جلوگیری از آبشویی نیترات نداشت. کاهش تأثیر حجم‌های بیش تر بیوپچار در ممانعت از آبشویی نیترات ممکن است به دلیل بافت نسبتاً سبک خاک و همچنین افزایش منافذ درشت خاک در این تیمارها باشد که منجر به افزایش محتوای نیترات آبشویی شده باشد. با این وجود بین تیمار حجم‌های بالای بیوپچار و تیمار شاهد باز هم مقدار آبشویی نیترات کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. علاوه بر این بطور کلی اندازه ذرات کوچک‌تر بیوپچار کارایی بیش‌تری در ممانعت از آبشویی نیترات در مقایسه با ذرات درشت داشت که می‌توان این رویداد را مربوط به افزایش منافذ درشت خاک دانست. افزایش سطح جذب ذرات کوچک‌تر بیوپچار نسبت به ذرات بزرگ‌تر باعث اثر بازدارندگی بیشتر آن‌ها بر آبشویی نیترات گردیده است. با توجه به استفاده از ضایعات زرشک به عنوان بیوپچار، به نظر می‌رسد که کاربرد بیوپچار زرشک نه تنها می‌تواند خطر انتقال آلودگی نیترات به سایر نقاط را کاهش دهد بلکه می‌تواند به عنوان یک راهکار اقتصادی و دوستدار محیط زیست برای کاهش آلودگی آب و خاک به نیترات نیز مورد استفاده قرار گیرد.

در تیمارهای بیوپچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 1 درصد وزنی، بیوپچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 2 درصد وزنی، بیوپچار با اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر به مقدار 3 درصد وزنی، بیوپچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 1 درصد وزنی، بیوپچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 2 درصد وزنی و بیوپچار با اندازه ذرات طبیعی به مقدار 3 درصد وزنی در مقایسه با شاهد به ترتیب 64/2، 81/7، 76/8، 82/4، 83/6 و 60/2 درصد کاهش آبشویی نیترات مشاهده شد که در مقایسه با شاهد همگی کاهش معنی‌دار را نشان دادند. بطور کلی بیشترین میزان کاهش آبشویی در اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر مشاهده شد (جدول 7). در مجموع تفاوت معنی‌داری بین مقدار 1 و 2 درصد وزنی در اندازه ذرات کمتر از 1 میلی‌متر و 1 درصد وزنی در ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر مشاهده نشد. علاوه بر این بین غلظت‌های 2 و 3 درصد وزنی با اندازه ذرات بیشتر از 2/8 میلی‌متر نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر مشاهده نشد. بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان داشت که حداقل در طی سه ماه اثرات پایدار بیوپچار زرشک بر کاهش آبشویی نیترات مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که افزودن بیوپچار به خاک در هر سه سطح و هر دو اندازه ذرات موجب کاهش معنی‌دار آبشویی نیترات در مقایسه با عدم کاربرد بیوپچار به عنوان شاهد گردید. در بین تیمارها، کاربرد بیوپچار زرشک با اندازه کمتر از 1 میلی‌متر و مقدار 1 درصد وزنی منجر به کمترین میزان آبشویی

فهرست منابع:

1. Are, K. S., Adelana, A. O., Fademi, I. O., Aina, O. A. 2017. Improving physical properties of degraded soil: Potential of poultry manure and biochar. *Agriculture and Natural Resources*, 51(6), 454-462.
2. Basso, B., and J.T. Ritchie. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize- alfalfa rotation in Michigan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108: 329-341.

3. Brantley, K.E., Brye, K.R., Savin, M.C., and D.E. Longer. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. *Open. J. Soil. Sci.* 5:1–10.
4. Brender, J.D., Olive, J.M., Felkner, M. Suarez, L. Marckwardt, W., and K.A. Hendricks. 2004. Dietary nitrites and nitrates, nitrosatable drugs, and neural tube defects. *Epidemiology.* 15:330–336.
5. Bruun, E.W., Ambus, P., Egsgaard, H., and H. Hauggaard-Nielsen. 2012. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil. Biol. Biochem.* 46:73–79.
6. Chen, X.M., Wu, H.S. and F. Wo. 2007. Nitrate vertical transport in the main paddy soils of Tai Lake region, China. *Geoderma.* 142:136–141.
7. Cheng, H., Jones, D. L., Hill, P., Bastami, M. S., Tu, C. L. 2018. Influence of biochar produced from different pyrolysis temperature on nutrient retention and leaching. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(6), 850-859.
8. Demiraj, E., Libutti, A., Malltezi, J., Rroço, E., Brahushi, F., Monteleone, M., Sulçe, S. 2018. Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil of Shkodra district, Albania. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 93-102.
9. Downie, A., Van Zwieten, L., Doughty, W., and F. Joseph. 2007. Nutrient retention characteristics of chars and the agronomic implications. In *Proceedings, International Agrichar Initiative Conference*, 30th April-2nd May.
10. Fields, S. 2004. Global nitrogen: cycling out of control. *Environ. Health. Perspect.* 112:557–563.
11. Gentile, R., Vanlauwe, B., van Kessel, C., and J. Six. 2009. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. *Agric. Ecosyst. Environ.* 131:308–314.
12. Goolsby, D.A. 2000. Mississippi basin nitrogen flux believed to cause Gulf hypoxia. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81:321–327.
13. Greenberg, A., and A. Eaton. 2005. *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water.* American Public Health Association.
14. Han, F., Ren, L., and X.C. Zhang. 2016. Effect of biochar on the soil nutrients about different grasslands in the Loess Plateau. *Catena.* 137:554–562.
15. Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C., and C. Kammann. 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. *Plant. Soil.* 395:141–157.
16. Haider, G., Steffens, D., Müller, C., and C.I. Kammann. 2016. Standard extraction methods may underestimate nitrate stocks captured by field-aged biochar. *J. Environ. Qual.* 45:1196–1204.
17. Haider, G., Steffens, D., Moser, G., Müller, C., and Kammann, C.I. 2017. Biochar reduced nitrate leaching and improved soil moisture content without yield improvements in a four-year field study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 237:80–94.
18. Hollister, C.C., Bisogni, J.J., and J. Lehmann. 2013. Ammonium, nitrate, and phosphate sorption to and solute leaching from biochars prepared from corn stover and oak wood. *J. Environ. Qual.* 42:137–144.
19. Kafi, M., and A. Balandari. 2004. *Barberry (Berberis vulgaris): Production and processing.* Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran.
20. Knowles, O.A., Robinson, B.H., Contangelo, A. and L. Clucas. 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Sci. Total Environ.* 409:3206–3210.

21. Laird, D.A., Fleming, P., Davis, D.D., Horton, R., Wang, B., and D.L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158:443–449.
22. Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyang, J., Grossman, J., O'Neill, B. Skjemstad, J.O., Thies, J. Luiza, F.J., Peterson, J., and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases CEC in soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 70:1719–1730.
23. Lie, J.H., Lv, G.H., Bai, W.B., Liu, Q., Zhang, Y.C., and J.Q. Song. 2014. Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum* L.) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination. Water. Treat.* 57:4681–4693.
24. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* 5: 381–387.
25. Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C.J., Nehls, T., Zech, W., and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant. Soil.* 249:343–357.
26. Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). 2015. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.
27. Nelson, N.O., Agudelo, S.C., Yuan, W., and J. Gan. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Sci.* 176: 218–226.
28. Nolan, B.T., Hitt, K.J., and B.C. Ruddy. 2002. Probability of nitrate contamination of recently recharged groundwaters in the conterminous United States. *Environ. Sci. Technol.* 36: 2138–2145.
29. Ogura, T., Date, Y., Masukujane, M., Coetzee, T., Akashi, K., Kikuchi, J. 2016. Improvement of physical, chemical and biological properties of aridisol from Botswana by the incorporation of torrefied biomass. *Scientific reports*, 6(1), 28011.
30. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19). Washington, DC: US Department of Agriculture.
31. Paetsch, L., Mueller, C. W., Kögel-Knabner, I., Von Lützow, M., Girardin, C., Rumpel, C. 2018. Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. *Scientific reports*, 8(1), 6852.
32. Radmehr, A. 2010. Results of sampling survey of garden product in 2009. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.
33. Ri-Feng, K., Zhang, N.M., Jing, S., Li, B., and C.G. Zhang. 2014. Effects of biochar-based fertilizer on soil fertility, wheat growth and nutrient absorption. *Soil. Fertilizers.* 6:33-38.
34. Siedt, M., Schäffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Roß-Nickoll, M., van Dongen, J. T. 2021. Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. *Science of the Total Environment*, 751, 141607.
35. Troeh, F. R and L.M. Thompson. 2005. *Soils and Soil Fertility*, Blackwell Publishing, Iowa, US.
36. Tylova, M.E., Lorenzen, B., Brix, H., and O. Votrubova. 2005. The effects of NH_4 and NO_3 on growth, resource allocation and nitrogen uptake kinetics of *Phragmites australis* and *Glyceria maxima*. *Aquat. Bot.* 81:326–342.
37. Van Zwieten, V.L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A., and Y.K. Chan. 2009. Biochar and emissions of non- CO_2 greenhouse gases from soil. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan Press, UK, PP. 227–249.
38. Walkley, A., Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37(1): 29-38

39. Ward, M.H., deKok, T.M., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B.T., and J. VanDerslice. 2005. Drinking-Water Nitrate and Health Recent Findings and Research Needs. *Environ. Health. Perspect.* 113: 1607–1614.
40. Wegner, T. N. 1972. Simple and sensitive procedure for determining nitrate and nitrite in mixtures in biological fluids. *J. dairy sc.* 55: 642-644.
41. WHO, 2004. *Guidelines for Drinking Water Quality*. 3rd Ed, Vol. 1, Recommendations. Geneva: World Health Organization.
42. Zhang A.P., Liu, R.L., Gao, J., Zhang, Q.W., Xiao, J.N., Chen, Z., Yang, S.Q., Hui, J.Z., and L.Z. Yang. 2015. Effects of Biochar on Nitrogen Losses and Rice Yield in Anthropogenic alluvial Soil Irrigated with Yellow River Water. *J. Agro-Environ. Sci.* 33:2395–2403.
43. Zhang, C., Huang, X., Zhang, X., Wan, L., Wang, Z. 2021. Effects of biochar application on soil nitrogen and phosphorous leaching loss and oil peony growth. *Agricultural Water Management*, 255, 107022.

تهیه و بررسی ویژگی‌های رس آلی مونتموریلونیت تغییر یافته با سورفکتانت‌ها و تأثیر آن بر فرایند تولید آمونیاک از آرژنین در خاک

محبوبه ابوالحسنی زراعتکار¹ و امیر لکزیان

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ m.abolhasani@uk.ac.ir

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

ص 81 - 94

دریافت: 1401/8/3 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

رس‌های مونتموریلونیت تغییر یافته با مواد آلی به علت کاربردهای گسترده در زمینه‌های مختلف بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، سه نوع رس مونتموریلونیت آلی شده با سورفکتانت آلی هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم با مقادیر متفاوت بر اساس ظرفیت تبادل کاتیونی (HMM 0/5 و HMM 1 و HMM 2) تهیه شد. خصوصیات رس‌های تهیه شده با کمک دستگاه‌های پراش اشعه ایکس، طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه، میکروسکوپ الکترونی روبشی و همچنین قابلیت پراکندگی رس‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس نشان داد که فاصله بین لایه‌ای رس‌های مونتموریلونیت افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی طیف سنجی مادون قرمز نشان داد که باندهای شناسایی شده جدید در رس‌های مونتموریلونیت در اثر اشباع با سورفکتانت‌های آلی بوده است. بررسی مورفولوژی رس‌ها با کمک میکروسکوپ الکترونی نشان داد که رس مونتموریلونیت حالت توده‌ای داشته اما پس از تغییر با سورفکتانت‌های آلی به لایه‌های کوچک‌تر با سطوح متخلخل تغییر یافت. مطالعه قابلیت پراکندگی رس‌ها نشان داد که سطوح رس‌های مونتموریلونیت آلی شده از آب‌دوست به آب‌گریز تبدیل شده که در جذب آلودگی‌های آلی و آنزیم‌ها بسیار مؤثر خواهد بود. سپس تأثیر افزودن رس‌های مونتموریلونیت آلی شده بر فرایند تولید آمونیاک از آرژنین در خاک بررسی شد. آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل خاک تیمار شده با رس مونتموریلونیت، خاک تیمار شده با مونتموریلونیت آلی و خاک مزرعه بدون تیمار به عنوان شاهد در پنج زمان (1، 3، 7، 14 و 21 روز) با سه تکرار انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین فرایند تولید آمونیاک از آرژنین خاک در نمونه‌های حاکی بود که با رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم (HMM) تیمار شده بودند.

واژه‌های کلیدی: رس آلی مونتموریلونیت، سورفکتانت آلی، پراش اشعه ایکس، تبدیل فوریه

¹ نویسنده مسئول، آدرس: m.abolhasani@uk.ac.ir

مقدمه

کمپوزیت رس آلی مونتموریلونیت (ارگانومونتموریلونیت) رس‌های مونتموریلونیتی هستند که به کمک سورفکتانت‌های آلی ساخته شده‌اند (آناکلی، 2019؛ آلسابانات و آلنازی، 2019؛ جانانات و همکاران، 2020). این رس‌ها موادی هستند که به علت کاربردهای گسترده به عنوان جاذب در آلودگی‌های آلی محیط زیست (تنگ و همکاران، 2008؛ سانا و همکاران، 2018)، ماده پایه در تهیه نانوکمپوزیت‌ها (سینری و اوکاموتو، 2003)، پیش ماده در تهیه ترکیبات با تخلخل متوسط (ایشی و همکاران، 2005) و داروسازی (الیسکو و همکاران، 2011) بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. سیلیکات‌های لایه‌ای که معمولاً برای سنتز کمپوزیت‌های رس آلی استفاده می‌شود از خانواده کانی‌های رسی 2:1 می‌باشند. در بین آن‌ها کانی‌های گروه اسمکتایت به ویژه مونتموریلونیت بخاطر ویژگی‌هایی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، تورم پذیری، سطح ویژه بالا بیشترین کاربرد را دارد، به جزء مونتموریلونیت کانی‌های رسی دیگر از قبیل هکتوریت (وگاریس و پتریدیس، 2002)، سیپولیت (اکیز و همکاران، 2003)، بتونیت (جانانات و همکاران، 2020) و زئولیت (زوهی و همکاران، 1999) نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

عوامل مختلفی از جمله نوع رس‌های آلی، درجه آب دوست بودن، نوع ملکول آلی جذب شده، انحلال‌پذیری در آب، نوع حلال، رس میزبان، شکل و اندازه ملکول‌ها در جذب و نگهداری مواد آلی و معدنی نقش دارند (پیوا و همکاران، 2008؛ هی و همکاران، 2010). رس‌های تغییر یافته در جذب آلاینده‌ها از خاک، آب و هوا، صنعت رنگ‌سازی و غیره کاربرد زیادی دارند. سورفکتانت‌های متفاوتی در تهیه رس‌های آلی استفاده می‌شود، از جمله آن‌ها سورفکتانت‌های کاتیونی یک لایه و دو لایه (ایلماز و یاپار، 2004)، سورفکتانت‌های یونی و غیر یونی (زانگ و همکاران، 2015؛ آناکلی، 2019؛

جانانات، 2020) و سورفکتانت‌های کاتیونی-آنیونی (زانگ و همکاران، 2013) می‌باشند.

یافته‌ها نشان می‌دهد که رس‌های آلی تهیه شده هم تحت تأثیر نوع سورفکتانت و هم نوع رس مونتموریلونیت بکار برده شده قرار دارند.

زیست توده میکروبی جزء زنده ماده آلی خاک (رایت و همکاران، 2005) و در برگیرنده باکتری‌ها، اکتینومایست‌ها، قارچ‌ها، پروتوزآها، جلبک‌ها و ریزجانداران خاک می‌باشد. معمولاً کربن زیست توده میکروبی را به عنوان برآوردی از فعالیت و حیات توده میکروبی خاک محسوب می‌کنند (پیچ و همکاران، 1982). تغییرهای زیستی و غیرزیستی مختلف می‌تواند بر فعالیت و توده زنده میکروبی خاک موثر باشد. فعالیت آنزیمی خاک و کربن توده زنده میکروبی خاک شاخص‌های حساس به متغیرهای محیطی هستند و از این پارامترها برای تجزیه و تحلیل اثر عوامل محیطی و تنش‌های وارد بر جمعیت میکروبی خاک استفاده می‌شود (کیلهام، 1994). آرژنین یکی از 20 اسید آمینه ضروری بوده و دارای سه گروه آمین می‌باشد. بیش از 50 گونه باکتری از آرژنین به عنوان منبع کربن و انرژی استفاده می‌کنند.

میکروارگانیزم‌ها به وسیله یک یا تعداد بیشتری از چهار مسیر (آرژنین اوره‌آز، آرژنین ترانس‌میداز، آرژنین دامیناز و آرژنین دکربوکسیلاز) آرژنین را تجزیه می‌کنند. در همه مسیرها به جز مسیر آرژنین ترانس‌میداز، محصول نهایی آمونیوم است که به آرامی می‌تواند به نیترات تبدیل شود (لین و بروکس، 1999). آمونیوم حاصل از معدنی شدن آرژنین طی فرایند تجزیه می‌تواند به راحتی از خاک عصاره‌گیری شده و مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. همچنین فرایند آرژنین آمونیفیکاسیون یک روش سریع تخمین توده زنده میکروبی خاک به شمار می‌رود (لین و بروکس، 1999؛ هاند و همکاران، 1988). پژوهش حاضر به منظور تهیه و بررسی خصوصیات رس‌های آلی و کارایی آن بر

آمونیفیکاسیون ال-آرژنین (تخمین زیست توده میکروبی) در خاک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

رس مونتموریلونیت: رس مونتموریلونیت سدیم‌دار مورد استفاده در این پژوهش از کشور آمریکا با خلوص 95 درصد و سطح ویژه 725 مترمربع بر گرم تهیه شد. این رس در ابتدا از الک 200 مش (74 میکرومتر) عبور داده شد. در این پژوهش رس مونتموریلونیت تهیه شده MM نام‌گذاری شد. به منظور تهیه کمپوزیت رس آلی، سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم بروماید ($HDTMA-Br$) با وزن مولکولی 364/46 تهیه شد. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه از نوع آزمایشگاهی مرک ($Merck$) و جهت تهیه محلول‌ها و شستشو از آب مقطر و آب بدون یون استفاده شد. در ابتدا رس مونتموریلونیت در هاون ساییده و از الک 200 مش عبور داده شد. نمونه تهیه شده در قوطی‌های درب‌دار برای استفاده‌های بعدی نگهداری شد. برای تهیه رس‌های آلی مونتموریلونیت سدیم‌دار با هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم بروماید معادل 0/5، 1 و 2 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس با توجه به معادله (1) به ترتیب مقادیر 1/42، 2/84 و 5/68 گرم از سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم برداشته شد (زو و همکاران، 2008).

معادله (1)

$$Q_a = Q_m CEC \times 10^{-3} Q_s M$$

Q_a = مقدار سورفکتانت مورد نیاز برای رسیدن به مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی مورد نظر (گرم)؛ Q_m = مقدار رس مونتموریلونیت مورد استفاده (گرم)؛ CEC = ظرفیت تبادل کاتیونی رس مونتموریلونیت ($Cmol$) M = وزن مولکولی سورفکتانت (364/46)؛ Q_s = مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی مورد نظر. هر کدام از مقادیر سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم بروماید برداشته شده را در 20 میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و با همزن مغناطیسی به مدت 30 دقیقه در دمای 80 درجه سانتی‌گراد همزده شد تا ذرات سورفکتانت بخوبی از هم

جداسازی شدند. سپس 10 گرم رس مونتموریلونیت در 200 میلی‌لیتر آب بدون یون ریخته و جهت پراکندگی یکنواخت رس در سوسپانسیون به مدت 15 دقیقه در مقابل امواج ماورای صوت (اولتراسونیک) قرار گرفت. محلول سورفکتانت به رس مونتموریلونیت اضافه و به مدت سه ساعت در دمای 60 درجه سانتی‌گراد همزده شد. این سوسپانسیون 8 بار متوالی با آب مقطر شسته شد. عدم وجود یون بروماید با استفاده از تست نیترات نقره بررسی گردید. سپس در دمای 60 درجه سانتی‌گراد خشک و در هاون کوبیده و از الک 200 مش عبور داده شد (زو و همکاران، 2008؛ لی و همکاران، 2010). در این پژوهش رس‌های آلی تهیه شده با استفاده از سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم HMM و بر اساس ظرفیت تبادل کاتیونی HMM 0/5، HMM 1، HMM 2 نام‌گذاری شد.

خصوصیات رس‌های تهیه شده:

ساختار کمپوزیت‌ها با استفاده از نتایج روش‌های مشخصه‌یابی کمپوزیت‌ها سنجیده می‌شود. فاصله بین لایه‌ای رس‌ها با روش پراش اشعه ایکس (XRD) بررسی و توسط نرم‌افزار ($X'pert$) تعیین گردید. دستگاه پراش اشعه ایکس سیستم $X'pert-MPD$ شرکت فیلیپس بود. طیف‌های دیفراکتومتری اشعه ایکس در محدوده زوایه‌های 2-40 درجه و لامپ هدف مس با تابش $K\alpha Cu$ ($\lambda=1.544^\circ$) بود. در این آزمایش‌ها ولتاژدهی شتاب دهنده 40 کیلووات و جریان پرتو 30 میلی‌آمپر بکار گرفته شد. در ضمن سرعت روبش زاویه θ روی میزان یک درجه در دقیقه تنظیم شد. با استفاده از دستگاه طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه ($FTIR$) گروه‌های عامل سطحی رس‌ها شناسایی و بررسی شد. طیف سنجی با دستگاه طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه با دتکتور $RT-DLATGS$ و در محدوده 4000 cm^{-1} -400 با تهیه قرص‌های KBr صورت گرفت. 0/5 گرم از هرکدام از رس‌های تهیه شده در 100 میلی‌لیتر آب بدون یون (حلال غیرآلی) و اتانول (حلال آلی) در دمای اتاق

ریخته شد. سوسپانسیون حاصل به مدت 15 دقیقه همزده و سپس وضعیت ظاهری آن‌ها بررسی شد. خصوصیات ساختاری و مورفولوژی با میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FESEM) تعیین شد. لذا جهت تهیه تصاویر از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل *Tscan Vega-II* استفاده شد.

تأثیر کاربرد رس آلی شده بر فرایند تولید آمونیاک از آرژنین خاک:

نمونه برداری مرکب از عمق 20 سانتی‌متر خاک مزرعه صورت گرفت. ذرات درشت و سنگ‌ها از خاک جداسازی شد. خاک مزرعه ابتدا از الک 8 میلی‌متر و سپس از الک 2 میلی‌متر عبور داده شد. خاک دارای بافت لوم شنی، هدایت الکتریکی $4/2$ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی $0/4$ درصد و pH $7/9$ بود. صد گرم نمونه خاک در ظروف پلاستیکی ریخته و جهت تهیه چند سوراخ روی درب آن ایجاد شد. سپس نمونه‌های خاک به مدت 7 روز در انکوباتور با دمای 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت روزانه 60 درصد ظرفیت نگهداری آب انکوباسیون شدند. بعد از گذشت 7 روز از شروع انکوباسیون به ازای هر گرم خاک 10 میلی‌گرم رس تغییر یافته (نسبت 1 درصد وزنی) اضافه شد و بدین ترتیب نمونه‌های تیمار شده جهت مراحل بعدی تحقیق آماده شد. آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل دو نوع رس (1 HMM , MM) و خاک مزرعه بدون تیمار به عنوان شاهد (C) در پنج زمان (1، 3، 7، 14 و 21 روز) با سه تکرار انجام شد.

بدین منظور نمونه‌های خاک مزرعه با دو نوع رس تیمار و یک نمونه خاک بدون تیمار به عنوان شاهد انتخاب شد. نمونه‌های تهیه شده به مدت 21 روز در دمای 25 درجه سانتی‌گراد در تاریکی انکوباسیون شد. یک نمونه خاک نیز به طور جداگانه سترون شد و با علامت اختصاری S نام‌گذاری شد. برای اندازه‌گیری آمونیفیکاسیون ال-آرژنین 3 گرم از هر نمونه خاک در بالن 50 میلی‌لیتری ریخته، $0/2$ میلی‌لیتر تولوئن، 5

میلی‌لیتر بافر تریس و 2 میلی‌لیتر محلول ال-آرژنین (2/5 درصد) به عنوان سوبسترا به صورت قطره قطره اضافه، چرخانده و مخلوط شد. درب بالن را بسته به مدت 2 ساعت در حمام آب گرم با دمای 37 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس بلافاصله 30 میلی‌لیتر محلول کلرید پتاسیم دو مولار اضافه و در همزن دورانی با سرعت rpm 200 به مدت یک ساعت هم زده و حجم نهایی محلول به 50 میلی‌لیتر رسانده و در نهایت از کاغذ صافی عبور داده شد. آمونیوم حاصل از معدنی شدن آرژنین به وسیله کلرید پتاسیم استخراج شد (کندلر و همکاران، 2011). تیمار شاهد نیز در نظر گرفته شد، این تیمار قبل از انکوباسیون سوبسترا دریافت نکرد. میزان نیتروژن آمونیومی استخراج شده با روش ایندوفنل بلو (بشور و سابق، 2007) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم بر اساس میکروگرم آمونیوم آزاد شده به ازای یک گرم خاک خشک پس از دو ساعت انکوباسیون گزارش شد.

نتایج حاصل با نرم‌افزار *MINITAB* مورد آنالیز قرار گرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح $0/05$ مقایسه شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار *Microsoft Excel XP* استفاده گردید.

نتایج و بحث

دیفراکتوگرام اشعه ایکس (XRD) در شکل 1 مربوط به رس مونتموریلونیت (MM) است و با توجه به شکل فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول (d_{001}) این رس 11 آنگستروم است. شکل‌های 2 تا 4 به ترتیب مربوط به رس‌های آلی تهیه شده با هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم معادل $0/5$ ، 1 و 2 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس است. با توجه به دیفراکتوگرام اشعه ایکس فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول در رس‌های $0/5\text{ HMM}$ ، 1 HMM و 1 HMM 2 به ترتیب $13/8$ ، $18/1$ و $19/4$ آنگستروم است. با توجه به نتایج، افزایش فاصله بین لایه‌ای در رس مونتموریلونیت (MM) بعد از تبدیل به رس‌های آلی مشاهده شد. یکی از مهم‌ترین روش‌های بررسی فاصله بین لایه‌ای، در نتیجه میان افزایی لایه‌های رس ناشی از

ورود سورفکتانت‌ها، استفاده از تکنیک پراش اشعه ایکس است. این روش با بررسی فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول (d_{001}) در نتیجه ورود سورفکتانت‌ها، یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای بررسی موفقیت آمیز بودن تغییرات ایجاد شده در رس است. در این پژوهش افزایش فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول (d_{001}) در رس‌های آلی تهیه شده با مقادیر متفاوت سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم نشان می‌دهد که سورفکتانت آلی در فضاهای بین لایه‌ای رس مونتموریلونیت قرار گرفته و کمپوزیت رس آلی را بوجود آورده است. در این پروسه با قرارگیری سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم در یک فرایند تبادل یونی به جای یون‌های سدیم، فاصله لایه‌ها افزایش یافته است. تعداد یون‌های مثبت موجود در ساختار رس مونتموریلونیت فرایند تبادل یونی رس با سورفکتانت آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیر افزودن سورفکتانت‌ها بر فضای بین لایه‌ای رس‌های آلی موضوعی است که توسط برخی از پژوهشگران مورد تحقیق قرار گرفته است. در پژوهش‌هایی که توسط محققین دیگر صورت گرفته نیز مشاهده شده است که فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول (d_{001}) رس‌های آلی با افزودن سورفکتانت‌های مختلف افزایش پیدا کرده است (لاگالی و دکانی، 2005؛ آناکلی، 2019؛ جانانان و همکاران، 2020).

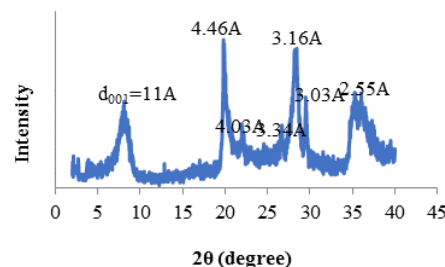
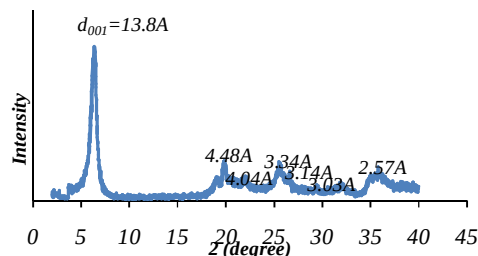
در پژوهشی زورا و همکاران (2008) رس بتونیت را به میزان معادل ظرفیت تبادل کاتیونی با کاتیون آلی ستیل تری‌متیل آمونیوم بروماید (CTAB) اصلاح کرده و مشاهده نمودند که فاصله بین لایه‌ای در رس بتونیت بعد از تبدیل به رس آلی از 12 آنگستروم به 19 آنگستروم افزایش یافت. در مطالعه دیگر نیز مشاهده شد که فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول (d_{001}) رس بتونیت که با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم (HDTMA) معادل با ظرفیت تبادل کاتیونی آلی شده بود، از 14/97 آنگستروم به 21/96 آنگستروم افزایش یافت (کوانجیو و همکاران، 2011). هم‌چنین بایاس و آلسوی (2011) نیز رس مونتموریلونیت را با پلی‌اکریلیک اسید تغییر داده و

مشاهده کردند که فاصله بین لایه‌ای (d_{001}) رس از 12/4 آنگستروم به 14/4 آنگستروم افزایش یافت. در تحقیقی کاسوجو و همکاران (2010) به رس بتونیت، سورفکتانت ستیل تری‌متیل آمونیوم بروماید (CTAB) معادل 1/5 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس اضافه نموده و گزارش کردند که فاصله بین لایه‌ای رس پیک رده اول (d_{001}) از 12/3 آنگستروم به 25/1 آنگستروم افزایش یافت که نشان دهنده ورود سورفکتانت در ساختار بتونیت بود. پژوهشگران دیگر هم از سورفکتانت کاتیونی ستیل تری‌متیل آمونیوم بروماید (CTAB) رس بتونیت را تغییر داده و نتایج مشابهی را گزارش کردند (سانتوس و همکاران، 2018؛ سانا و همکاران، 2018؛ آناکلی و همکاران، 2019). در کمپوزیت میان لایه‌ای، سورفکتانت با افزایش فاصله بین لایه‌ها به فضای رس نفوذ می‌یابد اما در کمپوزیت ورقه‌ای، لایه‌های رس بصورت انفرادی در فضای زمینه سورفکتانت با فاصله متوسطی که به نسبت رس به سورفکتانت بستگی دارد، پخش می‌شوند. معمولاً مقدار رس به سورفکتانت در کمپوزیت ورقه‌ای بسیار کمتر از کمپوزیت لایه‌ای است. با توجه به دیفراکتوگرام اشعه ایکس در شکل‌های 2 تا 4 مشاهده شد که افزودن مقادیر مختلف سورفکتانت بر فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول رس (d_{001}) تأثیر داشته و هر چه مقدار سورفکتانت افزایش داده شد فاصله بین لایه‌ای نیز افزایش یافت.

با مقایسه شکل 2 با 4 مشاهده شد که وقتی مقدار سورفکتانت اضافه شده از معادل ظرفیت تبادل کاتیونی رس به دو برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس افزایش یافت فاصله بین لایه‌ای پیک رده اول رس (d_{001}) فقط 1/3 آنگستروم افزایش داشت که این افزایش با توجه به دو برابر شدن مقدار سورفکتانت قابل توجه نیست. در این زمینه همی و همکاران (2010) گزارش کردند که مقداری از سورفکتانت‌ها که بیشتر از سطح مورد نیاز برای حداکثر فاصله بین لایه‌ای رس باشد باعث گسترش بین لایه‌ها نمی‌شود و فقط منافذ بین ذرات در ساختار خاکدانه را پر می‌کند. در این میان ظرفیت تبادل کاتیونی رس هم

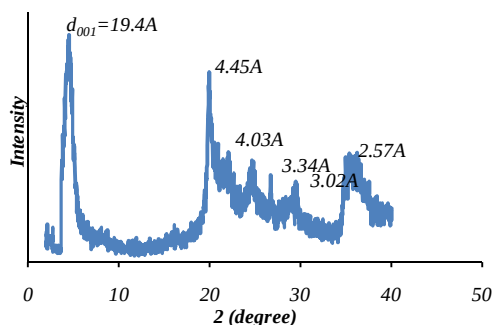
تعیین کننده مقدار سورفکتانت مورد نیاز برای رسیدن به حداکثر فاصله بین لایه‌ای است، بطوری که رس مونتموریلونیت با ظرفیت تبادل کاتیونی کم به مقدار

سورفکتانت کمتری برای رسیدن به حداکثر فاصله بین لایه‌ای نیاز دارد.

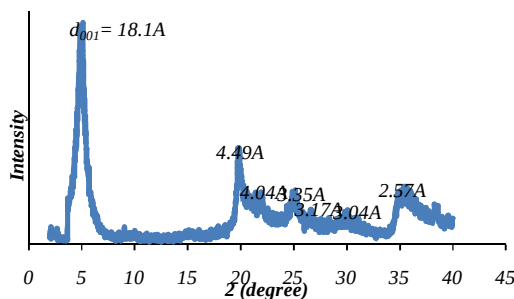


شکل 1- ديفراکتوگرام اشعه ایکس رس مونتموریلونیت سدیم دار (MM)

شکل 2- ديفراکتوگرام اشعه ایکس رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم معادل 0/5 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس (0/5 HMM)



شکل 4 - ديفراکتوگرام اشعه ایکس رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم معادل 2 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس (2 HMM)



شکل 3- ديفراکتوگرام اشعه ایکس رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم معادل ظرفیت تبادل کاتیونی رس (1 HMM)

گروه‌های عامل رس‌ها:

طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوری جهت تشخیص گروه‌های عامل رس‌ها استفاده شد. یک گروه عامل خاص تمایل به جذب اشعه مادون قرمز در دامنه طول موج خاص دارد. در نتیجه حضور یا تغییر گروه‌های عامل جدید می‌تواند بوسیله جذب طول موج مربوط یا شیفت باندهای مادون قرمز نمایش داده شود. در این پژوهش برخی باندهای شناسایی شده جدید در رس‌های مونتموریلونیت تغییر یافته مشاهده شد که وجود این باندها ورود سورفکتانت‌ها به رس مونتموریلونیت را تأیید می‌کنند. در شکل 5 طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوری رس مونتموریلونیت (MM) قابل مشاهده است. در این

شکل باند جذبی $3626/53\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی گروه OH ساختاری رس، باند جذبی $3438/02\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی H-OH، باند جذبی $2363/77\text{ cm}^{-1}$ مربوط به گروه عامل C-O-C، باند جذبی $1633/47\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان خمشی H-OH، باند جذبی $1045/48\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی در گروه‌های Si-O-Si، باند جذبی $919/23\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی Al-OH، باند جذبی $799/97\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی Si-O در رس، باند جذبی $526/13\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان‌های خمشی Si-O-Al در لایه اکاهدال رس، باند جذبی $466/34\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان‌های

موجود در رس مونتموریلونیت اولیه (MM) در همان محدوده طول موج‌ها و با نوسان‌های خمشی و کششی یکسان، برخی باندهای جذبی جدید شامل باندهای جذبی $2851/37\text{ cm}^{-1}$ ، $2930/34\text{ cm}^{-1}$ ، $1479/11\text{ cm}^{-1}$ و $621/46\text{ cm}^{-1}$ متعلق به گروه‌های عامل جدید سورفکتانت در این رس‌های آلی است. شناسایی باندهای جدید ورود سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم را به فضای بین لایه‌ای رس مونتموریلونیت تأیید می‌کند. بر اساس تحقیقات پژوهشگران دیگر وجود این باندها نشان می‌دهد، سورفکتانت آلی در سطوح مونتموریلونیت استقرار یافته و اینترکلیت شدن ملکول‌های سورفکتانت بین لایه‌های سیلیکاتی را تأیید می‌کند (لی و وئو، 2010)

قابلیت پراکندگی رس‌ها:

در این آزمایش مشاهده شد که رس‌های مونتموریلونیت سدیم‌دار (MM) آب بطور کامل پراکنده شدند و حالت گل آلود ایجاد کردند، اما در اتانول (حلال آلی) پراکندگی صورت نگرفت. رس‌های مونتموریلونیت آلی شده با سورفکتانت‌های هگزادسیل تری متیل آمونیوم (HMM.0/5 و HMM.1 و HMM.2) در محیط آبی پراکنده نشدند، اما در اتانول به خوبی پراکنده شدند. نتایج بدست آمده از آزمایش قابلیت پراکندگی رس‌ها نشان دهنده آن است که رس‌های مونتموریلونیت سدیم‌دار (MM) آب‌دوست هستند. اما رس‌های مونتموریلونیت آلی شده با هگزادسیل تری متیل آمونیوم آب‌گریز هستند.

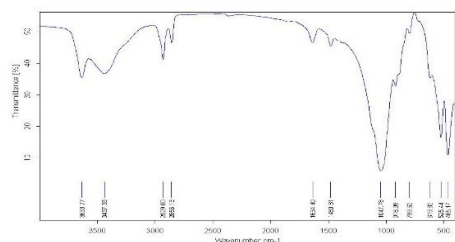
این رس‌های آلی ترکیبات پایدار هستند و سورفکتانت‌ها به راحتی نمی‌توانند جدا شوند و ما می‌توانیم آن‌ها را تا حدودی با انتخاب نوع سورفکتانت مورد استفاده اختصاصی کنیم. رویز هیزکی و وان (2006) استفاده از سورفکتانت‌هایی مانند آلکیل آمونیوم‌ها را در تشکیل کمپوزیت رس آلی برای آب‌گریز شدن رس‌ها و سازش‌پذیری با پلیمرهای آلی مؤثر دانستند. بدین ترتیب که گروه‌های عامل آمونیوم سورفکتانت‌ها، از طریق تبادل یونی، با کاتیون‌های سدیم رس‌ها جانشین شده و

خمشی Si-O-Si در لایه اکتاهدرال رس است (زورا و همکاران، 2008؛ سیرپاتراوان و هارت، 2010؛ لی و وئو، 2010). به طور معمول نوسان کششی Si-O-Si در باند جذبی $1000-1100\text{ cm}^{-1}$ به وجود می‌آید (زورا و همکاران، 2008). شکل‌های 6 تا 8 به ترتیب مربوط به طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه رس‌های آلی تغییر یافته با هگزادسیل تری متیل آمونیوم معادل 0/5، 1 و 2 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس مونتموریلونیت (HMM.0/5، HMM.1 و HMM.2) است.

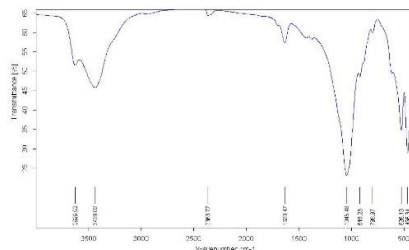
در این شکل‌ها باند جذبی $3627/07\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی گروه OH ساختاری رس، باند جذبی $3435/76\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی H-OH، باندهای جذبی $2851/37\text{ cm}^{-1}$ و $2930/34\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی متقارن و نامتقارن متیلن و متیل CH_3 و CH_2 ، باند جذبی $2368/29\text{ cm}^{-1}$ مربوط به گروه عامل C-O-C، باند جذبی $1639/32\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان خمشی H-OH، باند جذبی $1479/11\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان خمشی آمونیوم (NH_4^+) و یا گروه متیلن (CH_2) ، باند جذبی $1046/28\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی در گروه‌های Si-O-Si ورقه تراهدرال رس، باند جذبی $917/43\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی Al-OH، باند جذبی $799/4\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان کششی Si-O در رس، باند جذبی $621/46\text{ cm}^{-1}$ مربوط به گروه‌های عامل جدید سورفکتانت، باند جذبی $524/64\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان‌های خمشی Si-O-Al در لایه اکتاهدرال رس، باند جذبی $464/1\text{ cm}^{-1}$ مربوط به نوسان‌های خمشی Si-O-Si در لایه اکتاهدرال رس است (زورا و همکاران، 2008؛ سیرپاتراوان و هارت، 2010؛ لی و وئو، 2010). با توجه به طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه در این سه رس آلی تهیه شده با مقادیر متفاوت هگزادسیل تری متیل آمونیوم مشاهده شد که تمام پیک‌های این سه رس آلی یکسان است. با مقایسه طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه رس مونتموریلونیت اولیه با رس‌های آلی تهیه شده با هگزادسیل تری متیل آمونیوم مشاهده شد که در این سه رس آلی تهیه شده علاوه بر باندهای جذبی

زنجیره‌های آلکیل آب‌گریز این سورفکتانت‌ها با پلیمرهای

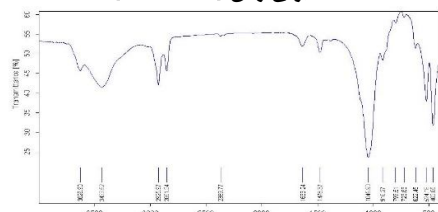
آلی واکنش می‌دهند.



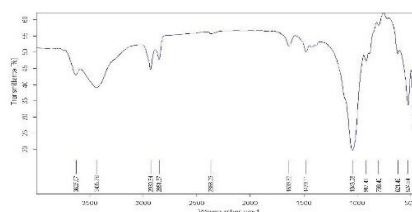
شکل 6- طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم معادل 0/5 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس (0/5 HMM)



شکل 5- طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه رس مونتموریلونیت سدیم‌دار (MM)



شکل 8- طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم معادل 2 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس (2 HMM)



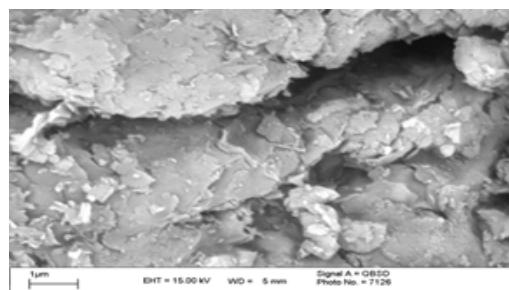
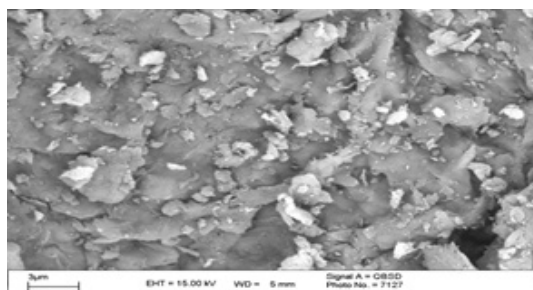
شکل 7- طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم معادل ظرفیت تبادل کاتیونی رس (1 HMM)

در نتیجه افزودن سورفکتانت‌های آلی به رس‌ها و تبدیل آن‌ها به رس آلی سطح رس از ارگانوفلیک به ارگانوفیلیک تبدیل شده و می‌تواند ترکیبات آلی و آنزیم‌ها را بخوبی جذب و نگهداری کنند (ویکلین و همکاران، 2011؛ فوجیموری و همکاران، 2014؛ آن و همکاران، 2015).

خصوصیات ساختاری و مورفولوژی رس‌ها:

در شکل 9 مورفولوژی رس مونتموریلونیت سدیم‌دار (MM) در بزرگنمایی‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود مونتموریلونیت بیشتر حالت توده‌ای داشته و لایه‌های سیلیکاتی در بزرگنمایی زیاد در آن قابل تشخیص نیست. ساختار یکپارچه و کم تخلخل رس در این تصاویر به وضوح قابل مشاهده است.

هم‌چنین ماهش و همکاران (2011) در مطالعه خود گزارش دادند که رس مونتموریلونیت دارای کاتیون‌های هیدراته در سطح خود است و در نتیجه آب‌دوست است و تمایلی به جذب و نگهداری پلیمرهای آلی در سطح خود ندارد. سورفکتانت‌های آلی در فضای بین لایه‌ای رس وارد شده و رس را از حالت آب‌دوست به آب‌گریز تبدیل می‌کنند که نتیجه این کار افزایش فاصله بین لایه‌ای، ایجاد سطح جذب جدید و افزایش تخلخل است. رس‌های آلی مونتموریلونیت با سورفکتانت‌ها توسط جایگزینی تبدیلی (سدیم و کلسیم) موجود در رس مونتموریلونیت با کاتیون‌های آلی (کاتیون‌های کواترنری آمونیوم) ساخته می‌شوند. رس‌های آلی شده نسبت به رس‌های طبیعی تغییر نیافته آب‌گریز بوده و برای جذب و نگهداری ملکول‌های آلی و غیرقطبی مناسب هستند (آی و همکاران، 2011). پژوهشگران دیگر نیز بیان کردند که



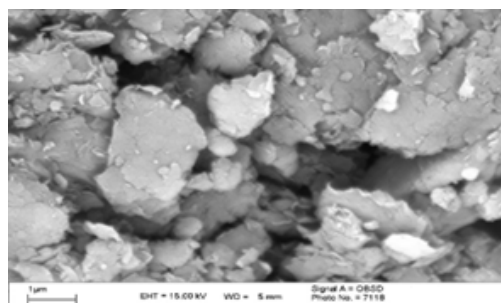
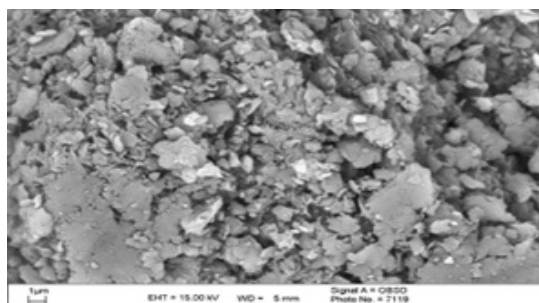
شکل 9- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) رس مونتموریلونیت سدیم‌دار (MM) در بزرگنمایی‌های مختلف

مقدار سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم سورفکتانت بیشتری در فضای بین لایه‌ای وارد شده و لایه‌های رس را بیشتر از هم باز کرده و تخلخل بیشتری مشاهده شد.

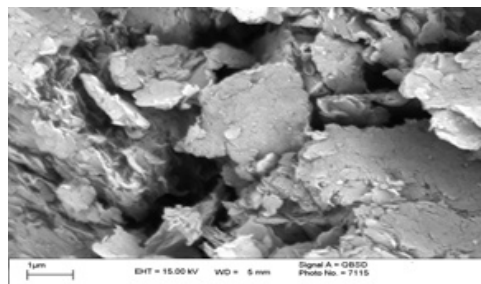
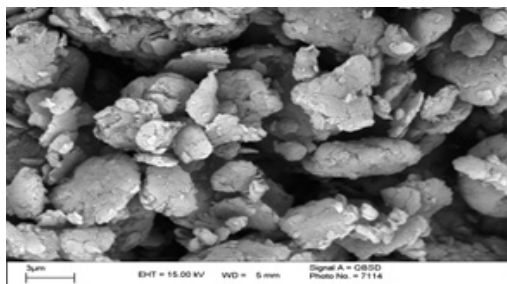
تأثیر کاربرد رس آلی شده بر فرایند تولید آمونیاک از آرژنین خاک

بر اساس مطالعات صورت گرفته گزارش شده که فرایند آرژنین آمونیفیکاسیون متناسب با مقدار توده زنده میکروبی است و اختلاف در این فرایند حاکی از اختلاف در توده زنده میکروبی در خاک است (لین و بروکس، 1999).

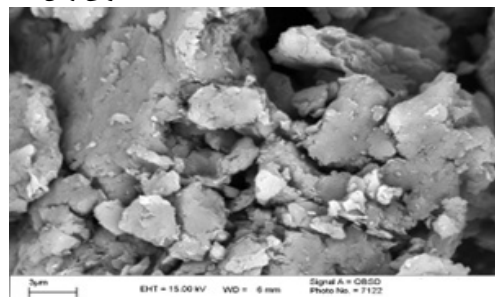
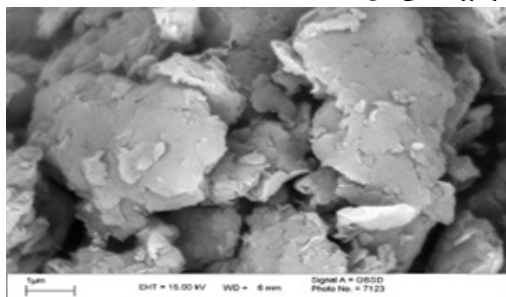
تصاویر موجود در شکل‌های 10 تا 12 مورفولوژی رس‌های تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم (HMM و $HMM.0/5$ و $2 HMM$) در بزرگنمایی‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر مشاهده شد که پس از تغییر رس مونتموریلونیت با مقادیر متفاوت سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم ذراتی با سطوح متخلخل ایجاد شد و لایه‌های سیلیکاتی، به دلیل ورود سورفکتانت آلی به فضای بین لایه‌ای و واکنش زنجیره‌ای کربن این سورفکتانت با سطوح رس، انبساط پیدا کرده و ضخامت ورقه‌های سیلیکاتی رس‌های آلی نانومتری شده است (شکل‌های 10 تا 12). ناهمواری‌ها و خلل و فرج بر روی سطح رس‌های آلی در تصاویر کاملاً مشخص است. با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی رس‌های آلی (HMM و $HMM.0/5$ و $2 HMM$) مشاهده شد که با افزایش



شکل 10- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم معادل 0/5 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس ($HMM.0/5$) در بزرگنمایی‌های مختلف



شکل 11- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم معادل ظرفیت تبادل کاتیونی رس (HMM 1) در بزرگنمایی‌های مختلف



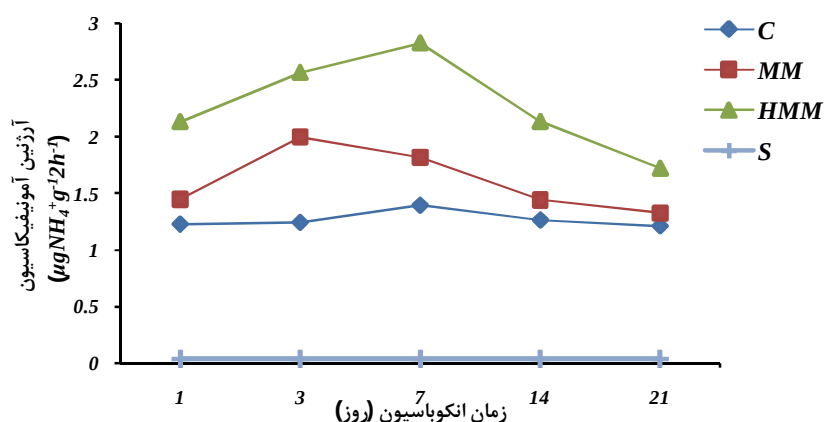
شکل 12- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) رس تغییر یافته با سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم معادل 2 برابر ظرفیت تبادل کاتیونی رس (HMM 2) در بزرگنمایی‌های مختلف

آمونیفیکاسیون پس از 7 روز به وضوح آشکار است. میزان فرایند آرژنین آمونیفیکاسیون در این نمونه‌ها به طور چشم‌گیری بالاتر از نمونه شاهد (C) و رس مونتموریلونیت (MM) است. فعالیت آنزیمی و توده زنده میکروبی ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند زیرا تبدیل عناصر آلی مهم از طریق میکروارگانیسم‌ها صورت می‌پذیرد. لین و بروکس (1999) مشاهده کردند که با افزودن محلول آرژنین به 13 نوع خاک و اندازه‌گیری مجموع نیترات و آمونیوم پس از دو ساعت انکوباسیون مقدار نیتروژن معدنی کل با مقدار ATP خاک، توده زنده کربن و تنفس ناشی از سوبسترا (SIR) همبستگی زیادی داشت ($r=0/83$ تا $0/91$). آلف و همکاران (1988) به وجود همبستگی معنی‌دار بین آرژنین آمونیفیکاسیون و سرعت معدنی شدن نیتروژن خاک اشاره نمودند. گاتاهی و همکاران (2016) تأثیر نانوکمپوزیت کیتوسان و نانوسیلیکا بر سلامت ریزوسفر گوجه فرنگی را مورد بررسی قرار دادند و نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که نانوکمپوزیت مورد استفاده در منطقه ریزوسفر گیاه باعث کنترل بیولوژیک و مقاومت ریشه گیاه در برابر عوامل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمار نوع رس، مدت زمان انکوباسیون و اثر متقابل آن‌ها بر فرایند آرژنین آمونیفیکاسیون خاک در سطح 5 درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین میزان آرژنین آمونیفیکاسیون با اضافه کردن رس مونتموریلونیت (MM) به خاک 1/3 برابر و رس مونتموریلونیت آلی تغییر یافته با هگزادسیل تری متیل آمونیوم (HMM) 1/8 برابر افزایش نشان داد (شکل 13). بر اساس این پژوهش بیشترین میزان آرژنین آمونیفیکاسیون مربوط به خاک تیمار شده با رس تغییر یافته با هگزادسیل تری متیل آمونیوم (HMM)، پس از گذشت 7 روز انکوباسیون و کمترین میزان آرژنین آمونیفیکاسیون مربوط به خاک شاهد (C) در زمان شروع آزمایش بود. با بررسی شکل 13 مشاهده شد که با گذشت زمان در نمونه شاهد به طور تقریبی آرژنین آمونیفیکاسیون در طول زمان ثابت است، در نمونه‌های خاک تیمار شده با رس تغییر یافته با هگزادسیل تری متیل آمونیوم (HMM) میزان آرژنین آمونیفیکاسیون در ابتدا تا 7 روز افزایش یافته و سپس با شیب تند کاهش یافته تا به روند ثابت رسیدند. بیشترین شیب کاهش میزان آرژنین

در نتیجه افزایش تولید محصول شد.

بیماری‌زا موجود در خاک و همچنین حفظ توده زنده میکروبی و افزایش فعالیت آنزیم‌های کتیناز و گلوکاناز و



شکل 13- فعالیت آرژنین آمونیفیکاسیون در خاک در حضور رس مونتموریلونیت و رس آلی با گذشت زمان انکوباسیون در دمای 25 درجه سانتی‌گراد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش رس مونتموریلونیت با موفقیت توسط مقادیر متفاوت سورفکتانت *HDTMA* اصلاح شد. افزودن رس مونتموریلونیت (*MM*) و رس مونتموریلونیت اصلاح شده با سورفکتانت آلی (*HMM*) به طور معنی‌داری تولید آمونیاک از آرژنین در خاک را افزایش داد. در هر چهار مسیر تجزیه آرژنین آنزیم‌ها نقش اصلی را ایفا می‌کنند و محصول نهایی آمونیوم است. آنزیم‌های داخل و خارج سلولی رها شده به درون خاک مدت زمان کوتاهی در خاک فعالیت دارند زیرا به محض ورود به خاک به سرعت تجزیه یا غیرفعال شده، ساختمان خود را از دست داده و از بین می‌روند. با مهندسی آنزیم می‌توان بر عیب بزرگ طول عمر کوتاه آنزیم‌ها غلبه کرد. در مهندسی آنزیم برای افزایش پایداری آنزیم‌ها روش‌های مختلفی استفاده می‌شود، از جمله این روش‌ها تثبیت آنزیم، اصلاح آنزیم و مهندسی محیط پیرامون آنزیم‌ها است (هگدوس و ناگی، 2009). در روش مهندسی محیط پیرامون آنزیم‌ها با استفاده از تغییر در محیط اطراف آنزیم و نه تغییر ساختار آن می‌توان سبب افزایش پایداری آنزیم شد (هگدوس و ناگی، 2009؛ کیم و همکاران، 2006). در

پژوهش حاضر از رس مونتموریلونیت استفاده و با افزودن سورفکتانت‌های آلی (*HMM*) سطح کانی رسی از حالت آب‌دوست به آب‌گریز تبدیل شد، که در نتیجه موفق آمیز بودن این تغییر توانایی جذب و نگهداری آنزیم‌ها افزایش می‌یابد (آن و همکاران، 2015؛ ویکلین و همکاران، 2011؛ فوجیموری و همکاران، 2014). در تحقیقات صورت گرفته مشاهده شده است که با جذب و نگهداری آنزیم‌ها روی کانی‌های رسی و رس‌های آلی شده موجود در محیط پیرامون آنزیم‌ها از طریق جذب سطحی، به دام افتادن و هم‌پلیمریزه شدن می‌توان پایداری آن‌ها را افزایش داد. زیرا از دسترس فلزات سنگین و آنزیم‌های پروتئولیتیک خارج شده و پروتئین آنزیم‌ها هیدرولیز نمی‌شود. در سطح مولکولی، آنزیم‌ها با کمپلکس‌های رسی و هوموسی همراه می‌شود، این عمل سبب پایداری آنزیم برای دوره‌های طولانی مدت می‌شود (باستیدا و همکاران، 2008). در نتیجه با این تغییرات رس آلی تهیه شده به خوبی قادر به نگهداری آنزیم‌ها است و این تغییرات برای تهیه رس آلی مونتموریلونیت ارزان به منظور افزایش فعالیت و پایداری آنزیم‌های خاک و همچنین افزایش ذخیره سازی آنزیم‌ها در حفظ محیط

زیست، کشاورزی پایدار و تجارت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

فهرست منابع:

1. Ai, L., Zhou, Y., and Jiang, J. 2011. Removal of methylene blue from aqueous solution by montmorillonite/CoFe₂O₄ composite with magnetic separation performance. *Desalination*. 266: 72-77.
2. Akyuz, S., and Akyuz, T. 2003. FTIR spectroscopic investigations of surface and intercalated 2-aminopyrimidine adsorbed on sepiolite and montmorillonite from Anatolia. *J. Mol. Struct.* 651: 205-210.
3. Alef, K., Beck, T., Zelles, L., and Kleiner, D. 1988. A comparison of methods to estimate microbial biomass and N mineralization in agricultural and grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 20: 561-565.
4. Alshabanat, M., and AL-Anazy, M. 2019. Effect of cationic-surfactant-modified Saudi bentonite on the thermal and flammability properties of poly (vinyl alcohol)-based nanocomposite films. *J. Taibah. Univ. Sci.* 13 (1): 360-369.
5. An, N., Zhou, C.H., Zhuang, X.Y., Tong, D.S., and Yu, W.H. 2015. Immobilization of enzymes on clay minerals for biocatalysts and biosensors. *Appl. Clay Sci.* 114: 283-296.
6. Anakli, D. 2019. Effects of the three types of surfactants on the structure of organo-modified bentonite. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Appl. Sci. and Eng.* 20: 30-35.
7. Bashour, I.I., and Sayegh, A.H. 2007. Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
8. Bastida, F.Z.A., Hernandez, H., and Garcia, C. 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*. 147: 159-171.
9. Baybas, D., and Ulusoy, U. 2011. Polyacrylamide-aluminosilicate composites for thorium adsorption. *Appl. Clay Sci.* 51: 138-146.
10. Fujimori, A., Arai, S., Soutome, Y., and Hashimoto, M. 2014. Improvement of thermal stability of enzyme via immobilization on Langmuir-Blodgett films of organo-modified aluminosilicate with high coverage. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 448: 45-52.
11. Gatahi, D.M., Wanyika, H.N., Mumo Kavoo, A., Kihurani, A.W., and Ateka, E.M. 2016. Enhancement of bacterial wilt resistance and rhizosphere health in tomato using bionanocomposites. *Int. J. Hortic. Sci. Technol.* 3: 129-144.
12. He, H., Ma, Y., Zhu, J., Yuan, P., and Qing, Y. 2010. Organoclays prepared from montmorillonites with different cation exchange capacity and surfactant configuration. *Appl. Clay Sci.* 48: 67-72.
13. Hegedus, I., and Nagy, E. 2009. Improvement of chymotrypsin enzyme stability as single enzyme nanoparticles. *Chem. Eng. Sci.* 64: 1053-1060.
14. Hund, K., Zelles, L., Scheunert, I., and Fort, F. 1988. A critical estimation of methods for measuring side effects of chemicals on microorganisms in soil. *Chemosphere*. 17: 1183-1188.
15. Iliescu, R., Andronescu, E., Voicu, G., Ficai, A., and Covaliu, C.I. 2011. Hybrid materials based on montmorillonite and cytostatic drugs: Preparation and characterization. *Appl. Clay Sci.* 52: 62-68.
16. Ishii, R., Nakatsuji, M., and Ooi, K. 2005. Preparation of highly porous silica nanocomposites from clay mineral: a new approach using pillaring method combined with selective. *Micropor. Mesop. Mat.* 79: 111-119.

17. Johnatan, D., Castro-Castro, J.D., Macías-Quiroga, I.F., Sanabria-González, N.R. 2020. Adsorption of Cr (VI) in Aqueous Solution Using a Surfactant-Modified Bentonite. *Sci. World J.* Article ID 3628163, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2020/3628163>.
18. Kandeler, E., Poll, C., Frankenberger, W.T., and Tabatabai, M.A. 2011. Nitrogen Cycle Enzymes. In: Dick R.P., (ed.). *Methods of soil enzymology*, pp. 211-245. Soil Science Society of America. Madison.
19. Killham, K. 1994. *Soil Ecology*. Cambridge University Press.
20. Kim, J., Grate, J.W., and Wang, P. 2006. Nanostructures for enzyme stabilization. *Chem. Eng. Sci.* 61: 1017-1026.
21. Koswojo, R., Utomo, R.P., Ju, Y.H., Ayucitra, A., Soetaredjo, F.E., Sunarso, J., and Ismadji, S. 2010. Acid green 25 removal from wastewater by organo-bentonite from Pacitan. *Appl. clay sci.* 48: 81-86.
22. Koyuncu, H., Yildiz, N., Salgin, U., Koroglu, F., and Calimlt, A. 2011. Adsorption of o-m and p-nitrophenols onto organically modified bentonites. *J. Hazard. Mater.* 185, 1332-1339.
23. Lagaly, G., and Dekany, I. (2005). Adsorption on hydrophobized surfaces: clusters and self organization. *Adv. Colloid Interface Sci.* 114:189-204.
24. Li, S. and Wu, P. 2010. Characterization of sodium dodecyl sulfate modified iron pillared montmorillonite and its application for the removal of aqueous Cu (II) and Co (II). *J. Hazard. Mater.* 173: 62-70.
25. Li, S., Wu, P., Li, H., Zhu, N., Li, P., Wu, J., Wang, X., and Dang, Z. 2010. Synthesis and characterization of organomontmorillonite supported iron nanoparticles (Zero-valent iron). *Appl. Clay Sci.* 45: 330-336.
26. Lin, Q., and Brookes, B.C. 1999. Arginine ammonification as a method to estimate soil microbial biomass and microbial community structure. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1985-1997.
27. Ozturk, H., Pollet, E., Phalip, V., Guvenilir, Y., Averous, L. 2016. Nanoclays for Lipase Immobilization: Biocatalyst Characterization and Activity in Polyester Synthesis. *Polym. J.* 416: 1-17.
28. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, In Soil Science Society of America, Madison Publisher, Wisconsin. USA.
29. Paiva, L.B., Morales, A.R., and Diaz, F.R.V. 2008. Organoclays: Properties, preparation and applications. *Appl. Clay Sci.* 42: 8-24.
30. Ruiz Hitzky, E., and Van, A. 2006. Clay Mineral and Organoclay Polymer Nanocomposite. In: Bergaya, F., Theng, B.K.G., and Lagaly, G. (eds.) *Handbook of clay science. Developments of clay science*. p. 583-621. Elsevier Science Ltd. Amsterdam.
31. Sana, A., and Khizra, Y. 2018. Removal of Organic Pollutants by Using Surfactant Modified Bentonite. *J. Chem. Soc. Pak.* 40(3): 447-456.
32. Santos, D.A., Viante, M.F., Pochapski, D.J., Downs, A.J., Almeida, C.A.P. 2018. Enhanced removal of p-nitrophenol from aqueous media by montmorillonite clay modified with a cationic surfactant. *J. Hazard. Mater.* 355(5): 136-144.
33. Sinha Ray, S., and Okamoto, M. 2003. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Prog. Polym. Sci.* 28: 1539-1641.
34. Siripatrawan, U., and Harte, B.R. 2010. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocoll.* 24: 770-775.
35. Theng, B.K.G., Churchman, G.J., Gates, W.P., and Yuan, G. 2008. Organically Modified Clays for Pollutant Uptake and Environmental Protection. In: Huang, Q., Huang, P.M.,

- and Violante, A. (eds.) *Soil mineral microbe organic interactions: Theories and applications*. p. 145–174. Springer Verlag. Berlin.
36. Vougaris, D., and Petridis, D. 2002. Emulsifying effect of dimethyldioctadecylammoniumhectorita in polystyrene/poly (ethylmethacrylate) blends. *Polym.* 43: 2213–2218.
 37. Wicklein, B., Darder, M., Aranda, P., and Ruiz Hitzky, E. 2011. Phospholipid sepiolite biomimetic interfaces for the immobilization of enzymes. *ACS Applied Materials Interfaces*, 3: 4339–4348.
 38. Wright, A.L., Hons, F.M., and Matocha, J.E. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Appl. Soil Ecol.* 29: 85–92.
 39. Zhang, Z., Zhang, J., Liao, L. and Xia, Z. 2013. Synergistic effect of cationic and anionic surfactant for the modification of Ca-montmorillonite. *Mater. Res. Bull.* 48: 1811–1816.
 40. Zhaohui, L., Bowman, R., and Jones, K. 1999. Enhanced reduction of chromate and pelletized surfactant modified zeolite/zerovalent iron. *Environ. Sci. Technol.* 33: 4326–4330.
 41. Zhou, Q., He, H.P., Zhu, J.X., Shen, W., Frost, R.L., and Yuan, P. 2008. Mechanism of p-nitrophenol adsorption from aqueous solution by HDTMA⁺-pillared montmorillonite implications for water purification. *J. Hazard. Mater.* 154: 1025–1032.
 42. Zhuang, G., Zhang, Z., Guo, J., Liao, L., and Zhao, J. 2015. A new ball milling method to produce organomontmorillonite from anionic and nonionic surfactants. *Appl. Clay Sci.* 104: 18–26.
 43. Zohra, B., Aicha, K., Fatima, S., Norredine, B., and Zoubir, D. 2008. Adsorption of direct red 2 on bentonite modified by cetyltrimethylammonium bromide. *J. Chem. Eng.* 136: 295–305.

Preparation and Evaluation of the Organo-Montmorillonite Clay Modified with Surfactants and Their Effects on Ammonia Production Process from Arginine in Soil

M. Abolhasani Zeraatkar¹ and A. Lakzian

Assistant Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman; E-mail: m.abolhasani@uk.ac.ir

Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad; E-mail: lakzian@um.ac.ir

Received: October, 2022, and Accepted: February, 2023

Abstract

Organo-clays, like organo-montmorillonite, have attracted interest in different sciences, due to their wide range of applications. In this study, three types of organo-montmorillonite clay were produced based on Cation Exchange Capacity (2 HMM, 1HMM, 0.5 HMM), using different amounts of hexadecyl trimethyl ammonium bromide surfactant. To analyze their properties, X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, and field emission scanning electron microscope (FE-SEM) were employed and clays' dispersive capability was investigated. Results of XRD showed that the basal spacing of the treated organo-clay increased. Results of FTIR spectra also illustrated that the newly identified bands in organo-montmorillonite were due to organic surfactants. SEM morphological study of clays depicted that although the montmorillonite clay was in agglomerative form, treating with organic surfactants altered it to the shorter layers with porous surfaces. Results of XRD indicated that treatment on organo-montmorillonite changes the surface properties from hydrophilic to hydrophobic, and this affects the absorbance of organic pollutants and enzymes. This study has an important role in preparing the cheap organo-clays, employing such additives to decrease the environmental pollutants and increase the biological activities of the soil, specifically to activate the soil enzymes. Effects of applying the organo-clay on L-arginine ammonification process were then determined. Experiments were carried out using a completely randomized design with factorial arrangement employing three clay types (montmorillonite, montmorillonite intercalated with hexa decyl trimethyl ammonium bromide, and the control) for five durations (1, 3, 7, 14, and 21 days) with three replications. Results indicated that the highest ammonification of L-arginine, as an estimate of the soil microbial biomass, was in the soil samples that were treated with montmorillonite intercalated with hexa decyl trimethyl ammonium bromide (HMM) surfactant. Results indicated that the change in the soil. Environment surrounding the enzymes with the organic surfactant increased activity and stability of enzymes in soil during the 21-day incubation period.

Keywords: Organic surfactant, Interlayer spacing, X-ray diffraction, Fourier transform infrared

¹. Corresponding author: E-mail: m.abolhasani@uk.ac.ir

Investigation of the Effects of Barberry Stems Biochar on Nitrate Leaching from a Loam Soil Containing Organic Matter

H. Hammami,¹ A. Shahidi, and Hannan Hanafi

Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Member of the Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran. Member of the Unconventional Water Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran.

E-mail: hhammami@birjand.ac.ir

Associate Professor and Member of the Unconventional Water Research Group Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

E-mail: ashahidi@birjand.ac.ir

PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: hannan.hanafi77@gmail.com

Received: February, 2021, and Accepted: February, 2023

Abstract

Due to the pollution of water resources by various pollutants such as nitrate, the use of amendments such as biochar can be considered as an approach to solve this environmental problem. To investigate the effect of barberry stem biochar on nitrate leaching, a research was conducted using a factorial and completely randomized design in 2021, in the soil laboratory of the Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. Experimental factors were particle size of biochar at two levels (less than 1 mm, more than 2.8 mm) and biochar volume in three rates (1, 2, and 3 mm on weight basis). Biochar was produced during the thermal decomposition process under limited oxygen conditions (400 °C for 6 h). The pots were subjected to wet cycles (field capacity plus 20%) and drying (permanent wilting moisture) and the nitrate concentration in the drained water from irrigation was measured in two stages with an interval of six weeks. The highest and lowest nitrate leaching rates in the samples were observed in the control treatment without biochar and biochar with particle size less than 1 mm at the rate of 1% by weight, respectively. The results of this study showed that addition of the biochar to the soil significantly reduced nitrate leaching compared to the control without biochar. At the two measuring times, biochar treatments with particle size of less than 1 mm and 1%, 2% and 3%, biochar with natural particle sizes of 1%, 2%, and 3% showed decrease in nitrate leaching by, respectively, 83.6%, 82.4%, 76.8%, 81.7%, 64.2%, and 60.2 % compared to the treatment without biochar. Moreover, the results showed that biochar particles less than 1 mm had more effects on reducing nitrate leaching than biochar particles more than 2.8 mm. According to the results of this study, it seems that application of barberry branch waste biochar left after harvesting can reduce nitrate leaching and the risk of transmitting contamination to other soil.

Keywords: Pollutant, Contaminated drainage water, Soil amendments

¹ Corresponding author: E-mail: hhammami@birjand.ac.ir

Effect of Cr (VI) on Some Soil Enzymatic Activities and Physiological and Morphological Indices of Portulaca Oleracea L.

E. Azizi, A. Mirbolook¹, R. Rahbarian, and A. Behdad

Associate Professor, Department of Agronomy, Payame Noor University, Iran; E-mail: azizi40760@gmail.com

PhD in Soil Chemistry, Urmia University, Urmia, Iran; E-mail: atena.mirbolook@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University, Ira; E-mail: ra_rahbarian@yahoo.com

PhD in plant physiology, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: Behdad_a@yahoo.com

Received: September, 2021, and Accepted: February; 2023

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of chromium heavy metal on soil enzymatic activities and some physiological and morphological indices of portulaca oleracea L., with the local name of Khorfeh. The study was carried out based on a completely randomized design with three replications. Soil samples were infected with different concentrations of chromium (0, 25, 50, 75, and 100 mg kg⁻¹ soil). After reaching equilibrium in the soil, Khorfeh plants were grown. The activity of dehydrogenase, phosphatase, and urease, and some physiological and morphological characteristics of plants was determined under chromium stress, then, the correlation between them was determined. The results showed that soil enzyme activities decreased with increasing chromium concentration in the soil. Root and shoot dry weights had the most negative correlation with chromium concentration. The role of soil enzyme activity in the evaluation of chromium contamination status was determined by the biochemical index of soil fertility, which showed the most negative correlation with shoot dry weight. The correlations between Cr concentration in soil and all the physiological indices of plants were above 0.9%. The dehydrogenase activity in relation to plant physiological indices showed similar behavior to the biochemical index of soil fertility. In general, according to the results of this study, the physiological indices of the plant with higher sensitivity than its morphological indices could indicate Cr contamination in the plant.

Keywords: Biochemical index of soil fertility, Cr contamination, Dehydrogenase

¹ Corresponding author: atena.mirbolook@yahoo.com

Effect of Different Feedstock and Their Biochars on the Growth of Peppermint (*Piperita L.*) in Cadmium-Contaminated Soil

F. Baharvandi, M. Feizian¹, S. Abdi, and A. Alinejadian Bidabadi

Ph.D. Student Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran; E-mail: Baharvandi.bahar@yahoo.com

Corresponding Author, Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran; E-mail: Feizian.m@lu.ac.ir

Assistant Professor of Soil and Water research institute, Lorestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agriculture Research Lorestan, Iran;

E-mail: Sabdi1100@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan, Iran;

E-mail: Alinezhadian.a@lu.ac.ir

Received: May, 2021, and Accepted: February; 2023

Abstract

Today, various methods are used to reduce the negative effects of high concentration of heavy metals in the soil. In this regard, the use of biochar is a relatively cost effective and new method to reduce the toxicity and mobility of heavy metals. In this study, in order to investigate the effect of biochar on improving peppermint plant growth in cadmium-contaminated soil, a pot experiment was conducted using a factorial design in the form of a completely randomized design. Treatments included three factors of cadmium (Cd) levels (50 and 100 mg/kg), the type of organic matter (spruce sawdust, sawdust biochar prepared at 300 and 600 °C, wheat straw, wheat straw biochar at 300 and 600 °C) and the amount of organic matter (zero, 2%, and 4 % by weight). Growth characteristics and performance of peppermint plant essential oil were determined. The results showed that with increasing Cd level, there was a reduction in chlorophyll a 37.6%, chlorophyll b 54.9%, total chlorophyll 42.9%, carotenoid level 31.6%, photosynthesis rate 40.5%, essential oil percentage 34.8%, and essential oil content showed 83.3% reduction. The results indicate the positive effects of biochar in reducing the negative effects of Cd. Comparison of Cd treatment alone with Cd treatments along with biochar showed that herbal biochar had a greater ability to reduce the negative effects of Cd than other treatments. In most cases, wheat straw biochar at two temperatures of 300 and 600 degrees at the level of 2% and 4% was superior in improving plant growth and performance. The highest percentage of essential oil belonged to wheat straw biochar at 600 °C and level of 2% and 50 mg/kg of Cd with 86% increase compared to the control, with an increase of 20% in the weight of aerial parts. The amount of N, K, and P absorption in this treatment increased by 100%, 73%, and 76%, respectively, compared to the control. The obtained results show the ability of straw and wheat stubble biochar to increase and improve plant growth compared to other organic materials used in this study.

Keywords: Peppermint essential oil, Soil amelioration, Nutrients uptake, Carotenoid, Mentha, Biochar

¹. Corresponding author: E-mail: Feizian.m@lu.ac.ir

Investigating the Effect of Different Agricultural Land Uses on the Optimal Water Content for Tillage Using Decision Tree Model in Jiroft Plain

H. Shirani, F. Ramezani, S. Sadr¹, and I. Esfandiarpour

Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.; E-mail: shirani@vru.ac.ir

MSc Graduate, Vali-e-Asr University of Rafsanjan; E-mail: F-ramezani@yahoo.com

Assistant Professor of Agriculture, Payame Noor University, Kerman Province, Rafsanjan Center; E-mail: Ssadr@pnu.ac.ir

Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan; E-mail: esfandiarpour@vru.ac.ir

Received: March, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

Optimum soil water content (OSWC) for tillage is the moisture at which, if tillage is done, the maximum amount of crushing (friability) is created in the soil with minimum energy consumption. The purpose of this research was to determine the OSWC for tillage operations under different agricultural land uses in Jiroft Plain, Iran, and to evaluate the effectiveness of the decision tree model in this regard for the region. For this purpose, soil samples (90 samples) were taken intact from 0 to 20 cm depth and some of its physical and chemical characteristics were determined. To determine the soil water characteristics curve, the soil water contents at matric suctions of 10, 30, 50, 100, 300, 500, 1000 and 1500 kPa were measured using a pressure plate device. The results showed that the type of cultivation did not have a significant effect on the physical and chemical characteristics of the soil, including the optimum weighted humidity. OSWC prediction was done with decision tree. In this research, three prediction accuracy criteria, namely, coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), and normalized root mean square error (NRSME) were used to evaluate the model performance. The results showed that use of decision tree for predicting the OSWC was appropriate due to having a lower NRMSE (0.017) and a high R^2 (0.75). Also, the results of OSWC modeling showed organic matter as the most influencing variable, followed by the equivalent calcium carbonate percentage, electrical conductivity, apparent density, and percentage of sand and silt.

Keywords: Soil Water Characteristic Curve, Inflection point, Decision tree regression, Soil tillage

¹ Corresponding author: E-mail: Ssadr@pnu.ac.ir

Effect of Water Deficit and Nitrogen Levels on Some Traits Affecting Spring Corn Grain Yield in Khuzestan Climate

P. Elahi, S. Lak¹, and M. Mojaddam

Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran;

E-mail: Parisa_Elahi@gmail.com

Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran;

E-mail: Sh.lack50@gmail.com

Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran;

E-mail: manimojaddam@yahoo.com

Received: November, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

Water and nitrogen are among the main factors affecting crops yield. In order to investigate the effect of different levels of irrigation and amounts of nitrogen on some traits affecting yield of spring corn, a research was carried out in the form of split plots and use of a completely randomized block design with three replications in the research farm of the Islamic Azad University, Ahvaz branch. Treatments included irrigation at three levels (irrigation after 60, 95, 130 mm of evaporation from class A evaporation pan, and the total volume of irrigation water in each treatment was, respectively, 6435, 5620 and 5140 m³/ha) and amounts of nitrogen consumption at three levels (including 80, 150, and 220 kg.N.ha⁻¹), which were placed in the main and sub plots, respectively. The results showed that irrigation treatment had a significant effect on traits such as leaf area index, leaf relative water content, grain yield and its components, and harvest index. Also, application of nitrogen fertilizer significantly affected the characteristics of leaf area index and cob leaf nitrogen, yield and yield components, biological yield and harvest index. The highest seed yield from the irrigation treatment was obtained after 60 mm of evaporation and 220 kg.ha⁻¹ of nitrogen fertilizer with an average of 763.2 g.m⁻², which had no statistically significant difference with the treatment of 60 mm of class A evaporation pan and 150 kg/ha of nitrogen fertilizer; therefore, this treatment is suggested for the climatic conditions of Khuzestan.

Keywords: Biological yield, Maize leaf nitrogen content, Corn irrigation

¹· Corresponding author: E-mail: Sh.lack50@gmail.com

Contents

Subject	Page
Effect of Water Deficit and Nitrogen Levels on Some Traits Affecting Spring Corn Grain Yield in Khuzestan Climate 1 <i>P. Elahi, S. Lak, and M. Mojaddam</i>	1
Investigating the Effect of Different Agricultural Land Uses on the Optimal Water Content for Tillage Using Decision Tree Model in Jiroft Plain 2 <i>H. Shirani, F. Ramezani, S. Sadr, and I. EsFandiarpour</i>	2
Effect of Different Feedstock and Their Biochars on the Growth of Peppermint (<i>Piperita</i> L.) in Cadmium-Contaminated Soil..... 3 <i>F. Baharvandi, M. Feizian, S. Abdi, and A. Alinejadian Bidabadi</i>	3
Effect of Cr (VI) on Some Soil Enzymatic Activities and Physiological and Morphological Indices of <i>Portulaca Oleracea</i> L. 4 <i>E. Azizi, A. Mirbolook, R. Rahbarian, and A. Behdad</i>	4
Investigation of the Effects of Barberry Stems Biochar on Nitrate Leaching from a Loam Soil Containing Organic Matter 5 <i>H. Hammami, A. Shahidi, and Hannan Hanafi</i>	5
Preparation and Evaluation of the Organo Montmorillonite Clay Modified with Surfactants and Their Effects on Ammonia Production Process from Arginine in soil..... 6 <i>M. Abolhasani Zeraatkar and A. Lakzian</i>	6

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

Soil and Water Research Institute Soil Science Society of Iran

**Research and Soientific Journal
Iranian Journal of Soil Research**

**Vol. 37, No.1
2023**

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
Kambez bazargan	Associate Professor, 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 37 \ No. 1 \ 2023

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject	Page
Effect of Water Deficit and Nitrogen Levels on Some Traits Affecting Spring Corn Grain Yield in Khuzestan Climate <i>P. Elahi, S. Lak, and M. Mojaddam</i>	1
Investigating the Effect of Different Agricultural Land Uses on the Optimal Water Content for Tillage Using Decision Tree Model in Jiroft Plain <i>H. Shirani, F. Ramezani, S. Sadr, and I. EsFandiarpour</i>	2
Effect of Different Feedstock and Their Biochars on the Growth of Peppermint (<i>Piperita</i> L.) in Cadmium-Contaminated Soil..... <i>F. Baharvandi, M. Feizian, S. Abdi, and A. Alinejadian Bidabadi</i>	3
Effect of Cr (VI) on Some Soil Enzymatic Activities and Physiological and Morphological Indices of <i>Portulaca Oleracea</i> L. <i>E. Azizi, A. Mirbolook, R. Rahbarian, and A. Behdad</i>	4
Investigation of the Effects of Barberry Stems Biochar on Nitrate Leaching from a Loam Soil Containing Organic Matter..... <i>H. Hammami, A. Shahidi, and Hannan Hanafi</i>	5
Preparation and Evaluation of the Organo Montmorillonite Clay Modified with Surfactants and Their Effects on Ammonia Production Process from Arginine in soil..... <i>M. Abolhasani Zeraatkar and A. Lakzian</i>	6