



مدیریت اراضی

شاپا ۶۲۰۵-۲۳۴۵

جلد ۸ / شماره ۱ / سال ۱۳۹۹

صفحه	عنوان
۱۰.....	ارزیابی پتانسیل تولید گندم در برخی از دشت‌های کشور..... علی زین الدینی میمند، سید علیرضا سیدجلالی، میرناصر نویدی، فاطمه ابراهیمی میمند، اصغر فرج نیا و غلامرضا زارعیان
۱۳.....	پایش تغییرات سطح اراضی کشاورزی تحت سیستم اگروفارستری در باغباغوثیه جیرفت..... حمید سودایی‌زاده و عاطفه جبالی
۲۷.....	بررسی حاصلخیزی خاک‌های تحت کشت گندم دشت قزوین و ارائه راهکارهای ترویجی..... جعفر شهابی‌فر
۴۷.....	محرک‌های رشد گیاهی، نقش آنها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی..... سید علی غفاری‌نژاد، فریدون نورقلی‌پور و محمدنبی غیبی
۶۹.....	بررسی تحقیقات کاربرد ورمی کمپوست در کشاورزی..... جلال امیدی و سمانه عبدالحمیدی
۸۳.....	بررسی نقش اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم در فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک..... ندا مرادی
۹۷.....	بررسی تاثیر مدیریت مصرف آب شور بر رشد رویشی نهال‌های خرما..... مجید علی‌حوری
۱۰۵.....	اثرات بلند مدت کودهای شیمیایی بر ریزجانداران خاک..... هادی اسدی رحمانی و حسین کاری دولت‌آباد

نشریه
مدیریت اراضی
صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

جلد ۸ شماره (۱)
سال ۱۳۹۹

مدیر مسؤول: دکتر هادی اسدی رحمانی رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
سر دبیر: دکتر حسین بشارتی استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران	دکتر حسین اسدی
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر حسین بشارتی
استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر محمدرضا بلالی
دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس	دکتر حسینعلی بهرامی
استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان	دکتر محمدعلی حاج عباسی
دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی	دکتر محمدحسن روزی طلب
استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر سعید سعادت
دانشیار مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)	دکتر محمدرضا شاهپسند
استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز	دکتر ناصر علی اصغرزاد
استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران	دکتر منوچهر گرجی
دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران	دکتر محمدحسین محمدی
دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر عزیز مومنی

دکتر فرهاد مشیری
مهندس فاطمه آقاجانی
دو شماره

مدیر داخلی:
صفحه آرایی:
تعداد/انتشار در سال:

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می شود:
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: www.sid.ir
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC): www.isc.gov.ir
پایگاه سیولیکا: <https://civilica.com>
پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran): <https://www.magiran.com>

پایگاه الکترونیکی نشریه مدیریت اراضی: <http://lmj.areo.ir>
آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: lmj@areo.ir
آدرس الکترونیکی مجله: jolm9297@gmail.com

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

راهنمای نگارش مقاله برای چاپ در مجله علمی - ترویجی مدیریت اراضی

مقاله علمی-ترویجی، مقاله ای تخصصی است که به معرفی، ترویج و بسط آگاهی های علمی در بین جامعه علمی مربوطه پرداخته و سطح دانش را ارتقاء می بخشد و مخاطبان را با مفاهیم علمی جدید آشنا می سازد تا دانش بشری را اشاعه و نگرش عالمانه به جهان پیرامونی را تقویت نماید. مقاله علمی-ترویجی در زمینه ترویج و بسط آگاهی های علمی دارای ارزش و اعتبار ویژه خود بوده و هیچگاه به معنای مقاله علمی-پژوهشی ضعیف تلقی نمی گردد.

با توجه به اهمیت انتقال یافته های پژوهشی و گسترش رهیافت های علمی برای حل مسائل و لزوم انتشار و معرفی دیدگاه ها، نظریات و فن آوریهای نوین در مدیریت اراضی، موسسه تحقیقات خاک و آب بر آن شد تا نسبت به انتشار مجله علمی ترویجی مدیریت اراضی به عنوان اولین مجله تخصصی در حوزه ترویج علم مدیریت اراضی اهتمام ورزیده و سطح آگاهی ها و دانش موجود را در این زمینه ارتقاء بخشد. باشد تا جامعه علمی و کارشناسان حوزه کشاورزی و منابع طبیعی با مفاهیم جدید علمی در زمینه مدیریت اراضی آشنا گردند.

مقالات پژوهشی کاربردی، گردآوری، علمی مروری، ترجمه ای، تحلیلی و انتقادی در زمینه های زیر و با هدف اشاعه دانش و ارتقاء سطح آگاهی مخاطبان مشروط بر این که بر اساس مبانی علمی نگاشته شده و با نگرشی عالمانه به مسائل مدیریت اراضی پرداخته باشند در این مجله قابل پذیرش خواهند بود.

- 1- مدیریت حاصلخیزی خاک
- 2- مدیریت آب در اراضی کشاورزی
- 3- مدیریت اراضی در حوزه آبخیز
- 4- مباحث اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در مدیریت اراضی
- 5- مدیریت اراضی و محیط زیست
- 6- نقش قوانین و مقررات در مدیریت اراضی
- 7- مدیریت بهره برداری پایدار از اراضی
- 8- نقش ویژگیهای خاک در مدیریت اراضی

شرایط پذیرش مقاله:

مقاله می بایست حاوی موضوعی تازه بوده و قبلاً در هیچ یک از نشریات فارسی زبان و در مجلات لاتین با همین عنوان و محتوا منتشر نشده باشد و یا همزمان برای مجله دیگر فرستاده نشده باشد. مقالاتی که خلاصه آنها در مجامع علمی داخلی و خارجی ارائه و چاپ شده باشد با افزودن مطالب جدید و تبدیل به مقاله کامل قابل بررسی خواهند بود. دفتر مجله در ویراستاری، چاپ و یا عدم چاپ مقالات آزاد است. مسئولیت صحت مطالب بر عهده نگارنده/گان می باشد. مقاله باید به زبان فارسی روان و عاری از غلط های نگارشی باشد. از آوردن واژه های بیگانه که معادل فارسی دارند جدا پرهیز گردد. گواهی پذیرش مقاله فقط پس از اتمام مراحل ویراستاری، تایید داور نهایی و تصویب هیات تحریریه صادر و مراتب با درج شماره جلد به اطلاع نگارنده/گان خواهد رسید. مقالات ارسالی به دفتر مجله پس از طی مراحل داوری مسترد نمی شود.

نامه درخواست و تعهد نامه:

ارسال نامه درخواست بررسی مقاله خطاب به سردبیر مجله با امضای نویسنده مسئول مقاله ضروری است. در فرم تعهدنامه، لازم است نویسندگان نسبت به امضای آن اقدام نمایند. فرم تعهد نامه از وبگاه مجله (www.jolm.ir) قابل دریافت می باشد. تصویر الکترونیک نامه درخواست و فرم تعهد نامه تکمیل شده در قسمت پرونده مقاله در صفحه شخصی نویسنده مسئول (ارسال کننده مقاله) قابل بارگزاری می باشد.

برگ شناسه:

برگ شناسه مقاله در یک صفحه مجزا به دو زبان فارسی و انگلیسی شامل عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی نگارنده/گان، موقعیت شغلی نگارنده/گان، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده/گان در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده/گان، پست الکترونیکی همه نویسندگان و نام و مشخصات نگارنده مسئول می باشد. برگ شناسه مقاله در قسمت پرونده مقاله در صفحه شخصی نویسنده مسئول (ارسال کننده مقاله) قابل بارگزاری می باشد.

نحوه ارسال مقاله

پیشنهاد چاپ مقالات در این مجله به صورت الکترونیکی بوده و در وبگاه مجله به آدرس www.jolm.ir اطلاعات لازم آمده است. برای ارسال مقاله به صورت الکترونیکی، مراحل زیر لازم است:

1. پر کردن فرم ثبت نام و ورود به وبگاه با نام کاربری اختصاصی
2. ورود به صفحه شخصی (در بالای صفحه)
3. پر کردن فرم ارسال مقاله و اطلاعات و مشخصات مربوط
4. بررسی مقاله در صفحه شخصی و افزودن ضمائم و اطلاعات مرتبط
5. تأیید نهایی مقاله برای آغاز بررسی آن

راهنمای تهیه مقالات:

- 1- مقاله حداکثر در 15 صفحه A4 با فاصله خطوط 1/5 و حاشیه های 3 سانتی متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word2007 تایپ شود.
- 2- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (1) استفاده شود.

جدول 1- نوع قلم و اندازه

موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	B Nazanin پررنگ	14
متن مقاله	B Nazanin	12
عناوین بخش های مقاله	B Nazanin پررنگ	12
نام مولفان	B Nazanin پررنگ	12
کلمات کلیدی	B Nazanin پررنگ	12
عناوین جدول ها و شکل ها	B Nazanin پررنگ	11
متن جدول ها و شکل ها	B Nazanin پررنگ	11
منابع	B Nazanin پررنگ	11
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

- 1- موازین ادبیات فاسی در نگارش مقاله رعایت شده باشد.
- 2- شروع هر پاراگراف با یک دکمه Tab همراه باشد.
- 3- آخرین خط هر پاراگراف با تیتیر بعدی، یک خط فاصله داشته باشد.
- 4- نقطه و کاما بلافاصله پس از کلمه قرار گرفته و آنگاه با یک فاصله، کلمه بعدی را شروع شود.
- 5- مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا 300 کلمه)، واژه های کلیدی، مقدمه، مواد و روش ها، نتایج و بحث، نتیجه گیری، پیشنهادها، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد. در نگارش مقالات

گردآوری، مروری، تحلیلی و انتقادی بر اساس شرایط مقاله قسمت های مواد و روش ها و همچنین نتایج و بحث می تواند حذف گردد. در این شرایط نگارش سایر قسمت های مقاله الزامی است.

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر، مفید و جذاب بوده و در برگیرنده محتوای موضوع پژوهش 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، پست الکترونیک نویسندگان درج گردد.

چکیده

چکیده بایستی شامل حداکثر 300 کلمه بوده و بیانگر زمینه و هدف پژوهش، روش بررسی، یافته ها، نتیجه گیری 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 واژه های کلیدی از تکرار واژه هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید. واژه های کلیدی خیلی عمومی نباشد.

مقدمه

مقدمه باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده باشد و به بیان مساله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با پژوهش که در گذشته انجام شده بپردازد و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد کند. در ادامه مطالب، وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتهای مقدمه هدف اصلی پژوهش نگاشته شود. مقالاتی که موضوع آن 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 کننده ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد.

مواد و روشها

در این قسمت باید شرح مواد و روشهای مورد استفاده در پژوهش، جامعه آماری، روشهای نمونه گیری، اندازه گیریهای آزمایشی و نحوه تجزیه و تحلیل آماری آورده شود. در صورتی که از روشهای متداول یا قبلاً منتشر شده استفاده شده باشد، از شرح جزئیات خودداری و فقط به ارائه اصول و ذکر مأخذ اکتفا شود. در نگارش مقالات گردآوری، مروری، تحلیلی و انتقادی بر اساس شرایط مقاله این قسمت می تواند حذف گردد.

نتایج و بحث

در این بخش، نتایج بدست آمده از پژوهش به صورت نوشتار همراه شکل و جدول بیان گردد. از بکار بردن عنوان هایی مانند نمودار، عکس و نقشه خودداری و کلیه آنها با عنوان "شکل" درج شوند. نتایج ارائه شده در جدول ها یا شکل ها نباید به صورت دیگری مانند منحنی و یا متن نوشتاری در مقاله تکرار گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون ها و متن جدول تشکیل می شود. 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 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 نشانه های 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 شکل ها و جدول ها باید در زیرنویس توضیح داده شوند. تمام اعداد متن و توضیحات جدول ها و شکل ها 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 باشند. جدول ها و نمودارها حتی المقدور در متن مقاله جاسازی شوند. در صورت لزوم می توان از تصاویر و یا عکس های مناسب و گویا در مقاله

استفاده نمود. محل ارائه تصاویر در متن مقاله مشخص شده باشد. فایل الکترونیک تصاویر در قسمت پرونده مقاله در صفحه شخصی نویسنده مسئول و یا ارسال کننده مقاله در وبگاه مجله بارگزاری گردد.

در این بخش 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. یافته‌های جدید و یافته‌های پیش بینی شده مقایسه شود. در نگارش مقالات گردآوری، مروری، تحلیلی و انتقادی بر اساس شرایط مقاله بخش نتایج و بحث می تواند حذف شده و مطالب در قالب عناوینی متناسب با موضوع مقاله ارائه گردد. لازم است عناوین مناسب و جذابی برای این قسمت‌ها انتخاب شده و در مورد آنها به صورتی کاملاً مستند مطلب نوشته شود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در این قسمت باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از پژوهش و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد. این بخش منعکس کننده نظر و برداشت کلی نگارنده/گان نسبت به محتوا و مطالب مقاله می باشد. نکته بسیار مهم این است که خواننده دریابد که در این مقاله یک مطلب یا موضوعی بدیع و نو عرضه شده است. در این بخش ارائه یک پیام بطور روشن حائز اهمیت می باشد. راهکارها و فرضیه‌های جدید نیز پیشنهاد گردد. پیشنهادهایی برای پژوهش های آینده در این بخش ارائه شود.

تشکر و قدردانی

در این بخش نگارنده/گان می توانند از اشخاص، سازمانها و افراد ذیربطی که در اجرای پژوهش همکاری داشته اند، تشکر و قدردانی 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 Science Society of America Journal . 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...

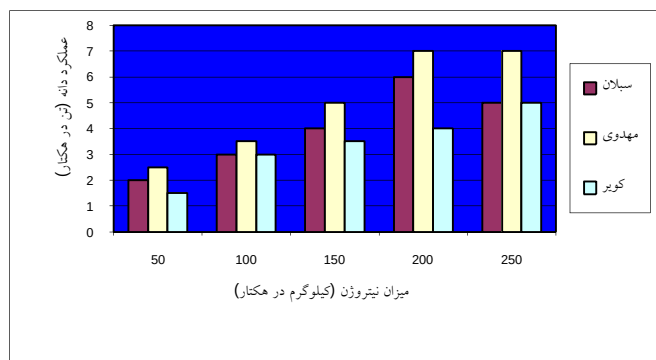
جدول نامناسب

عمق (cm)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	TNV (%)	OC (%)	(Mg.kg-1)			بافت
					Pavail	Kavai l.	Mg exc h	
0-30	8/2	7/6	28	0/62	3/6	290	300	لومی رسی
30-60	8/2	7/2	30	0/50	0/6	295	305	لومی رسی
60-90	7/8	9/5	33	0/21	0/5	332	286	لومی شنی

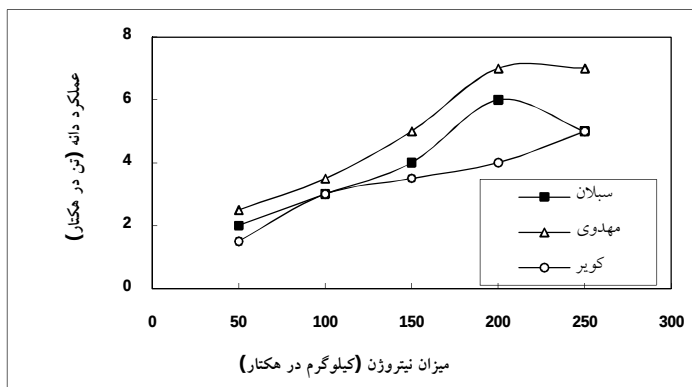
جدول مناسب

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

شکل نامناسب



شکل مناسب



- دکتر محمدسعید تدین..... ۱ دآوری
- دکتر نورایر تومانیان..... ۳ دآوری
- دکتر هوشنگ خسروی..... ۱ دآوری
- دکتر عبدالامیر راهنما..... ۳ دآوری
- دکتر حامد رضایی..... ۳ دآوری
- دکتر تیمور رضوی پور..... ۱ دآوری
- دکتر عادل ریحانی تبار..... ۱ دآوری
- دکتر فریدون سرمیدیان..... ۳ دآوری
- دکتر کریم شهبازی..... ۱ دآوری
- دکتر حسین صفاری..... ۳ دآوری
- دکتر محمدمهدی طهرانی..... ۱ دآوری
- دکتر ناصر علی اصغر زاد..... ۱ دآوری
- دکتر حسینعلی علیخانی..... ۳ دآوری
- دکتر سیدعلی غفاری نژاد..... ۲ دآوری
- دکتر محسن فرحبخش..... ۱ دآوری
- دکتر محی الدین گوشه..... ۱ دآوری
- دکتر محمدحسین محمدی..... ۱ دآوری
- دکتر فرهاد مشیری..... ۱ دآوری
- دکتر فریدون نورقلی پور..... ۱ دآوری

فرم تعهد نامه

نشریه مدیریت اراضی

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

۱. کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر مجله شما آگاهند
۲. مقاله قبلاً در هیچ مجله داخلی و خارجی منتشر نشده است
۳. مقاله تا زمان پایان بررسی در آن مجله به مجله دیگری ارسال نخواهد شد.
۴. هیچگونه تغییری در تعداد نویسندگان یا ترتیب ذکر اسامی انجام نخواهد شد.
۵. نامه پذیرش براساس ترتیب و تعداد نویسندگان در فرم تعهدنامه صادر میگردد.

نام نام خانوادگی نویسنده اول:

امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم:

امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم:

امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم:

امضاء نویسنده چهارم مقاله

ارزیابی پتانسیل تولید گندم در برخی از دشت‌های کشور

علی زین‌الدینی میمند^۱، سید علیرضا سید جلالی، میرناصر نویدی، فاطمه ابراهیمی میمند،

اصغر فرج‌نیا و غلامرضا زارعیان

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ali_zeinadin@yahoo.com

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ajalali@areeo.ac.ir

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. nnavidi@swri.ir

محقق موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. f_meymand@yahoo.com

مریی پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تبریز، ایران. farajnia1966@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

زرقان، ایران. zareian48@yahoo.com

دریافت: بهمن ۱۳۹۷ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

در راستای توسعه کشاورزی پایدار و حفظ منابع خاک، شناخت خصوصیات، تعیین پتانسیل تولید اراضی و استفاده از اراضی با توجه به خصوصیات آنها برای محصولات مهم زراعی از جمله گندم ضروری می‌باشد. لذا، این مطالعه با هدف ارزیابی نوع و شدت خصوصیات محدود کننده اراضی و بررسی رابطه بین عملکرد واقعی با پتانسیل تولید گندم در چهار منطقه انتخابی کشور با وسعتی در حدود ۶۰ هزار هکتار و تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید انجام شد. نتایج نشان داد میانگین تاثیر خصوصیات ذاتی خاک بر کاهش تولید گندم در مناطق انتخابی حدود ۲۳۸۸ کیلوگرم در هکتار (۲۸/۷۴٪) است. تفاوت بین میانگین پتانسیل تولید اراضی با متوسط عملکرد مزارع نیز حدود ۲۱۹۲ کیلوگرم در هکتار (۲۶/۳۷٪) است که نسبتاً زیاد بوده و نشان دهنده عدم مدیریت صحیح و محقق نشدن عملکرد بهینه تولیدی نسبت به میزان پتانسیل تولید اراضی می‌باشد. نکته قابل توجه در مناطق انتخابی این است که درصد محصول تولیدی بهره برداران پیشرو در برخی واحدهای خاک خیلی مناسب (S1) برای گندم آبی نسبت به پتانسیل تولید اراضی دارای اختلاف نسبتاً کم ولی برای واحدهای خاک با تناسب متوسط و کم، نسبتاً زیاد می‌باشد. بنابراین ترویج روش‌های مدیریت مناسب (کشاورزان پیشرو) در هر منطقه برای افزایش تولید و ارتقاء بهره‌وری مناسب خاک ضروری است. در صورت اعمال مدیریت بهینه، افزایش عملکرد در مزارع گندم آبی تا حدود ۸۵٪ پتانسیل تولید اراضی قابل تولید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گندم، تناسب اراضی، پتانسیل تولید اراضی، خصوصیات خاک

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات ارزیابی اراضی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مقدمه

ارزیابی اراضی فرایند پیش‌بینی و تعیین پتانسیل تولید اراضی بر اساس خصوصیات آنها برای کاربری‌های خاص است. خصوصیات فیزیکی اراضی از جمله شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک، نوع کاربری زمین، مدیریت اراضی و مسائل اقتصادی-اجتماعی، تعیین‌کننده پتانسیل تولید اراضی می‌باشند. به منظور افزایش تولید محصول در واحد سطح باید خصوصیات اراضی انتخابی متناسب با نیازهای رویشی محصول مورد نظر باشد. برای رسیدن به این هدف، لازم است برای گیاه انتخابی ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی انجام شود. در مطالعات تناسب اراضی کمی، کلاس تناسب بر اساس مقدار تولید در واحد سطح تعیین می‌شود. در کشت آبی، پس از اعمال محدودیت‌های زمین و خاک بر پتانسیل اقلیمی، پتانسیل تولید اراضی به دست می‌آید. گندم یکی از غلات کلیدی است که در سراسر جهان کشت می‌شود، کالری اولیه و منبع تغذیه برای میلیون‌ها نفر از مردم جهان را فراهم می‌کند. (بکور و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تقاضای جهانی برای مواد غذایی به مدت حداقل تا ۴۰ سال دیگر رو به افزایش است. (چارلز و همکاران، ۲۰۱۰).

برای افزایش تولید مواد غذایی، لازم است محصولات کشاورزی از منابع پایدارتر و با پتانسیل بالاتر تامین شوند. در شرایط فعلی با توجه به منابع محدود در دسترس برای تولید، لزوم استفاده از ابزارهای جدید برای برآورد تولید و ارتقاء بهره‌وری ضروری است (پادی لا و همکاران، ۲۰۱۲).

ایران در زمره معدود کشورهایی است که به علت شرایط آب و هوایی و خاکهای متنوع در بسیاری از مناطق آن کشت گندم صورت می‌گیرد. در چنین شرایط اقلیمی متنوعی، کمیت و کیفیت گندم تولید شده می‌تواند متأثر از اقلیم و یا متأثر از خصوصیات خاکی کنترل‌کننده رشد گیاه قرار داشته باشد (زین الدینی و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین تعیین پتانسیل تولید اراضی در دشت‌های

تحت کشت گندم در اقلیم‌های غالب در کشور و برآورده نمودن نیازهای رویشی آن نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش کمی و کیفی این محصول مهم خواهد داشت. در واقع افزایش تولید در واحد سطح نیازمند کسب اطلاعات و به کارگیری تکنیک‌های نوین در زمینه برنامه‌ریزی برای مدیریت تولید گندم می‌باشد.

متخصصین معتقدند که بایستی از اراضی، متناسب با خصوصیات و با توجه به پتانسیل تولید اراضی مرتبط استفاده نمود که لازمه این مهم انجام ارزیابی‌های دقیق از وضعیت موجود و استفاده صحیح از این منابع مبتنی بر پتانسیل تولید آن‌ها و در نهایت ایجاد زمینه لازم برای اعمال مدیریت مناسب می‌باشد. بدیهی است که کسب آگاهی و شناخت از قابلیت بالقوه و بالفعل و نیز اطلاع از محدودیت‌های منابع اراضی می‌تواند در تبیین سیاست‌ها و ارائه راهکارهای مناسب برای استفاده بهینه از این منابع تأثیر به سزایی داشته باشد. در همین راستا یافتن پاسخ مناسب برای سؤالاتی از قبیل شناخت قابلیت‌ها و محدودیت‌های مختلف اراضی برای تولید یک محصول بخصوص، نوع توصیه‌های ارائه شده برای استفاده از اراضی موجود، پیش‌بینی نوع واکنش این اراضی در قبال کاربرد نهاده‌ها و اعمال مدیریت‌های جدید و دلایل تغییر مقدار محصول در زمان‌ها و مکانهای مختلف و در نهایت ایجاد توازن بین نیازهای بشری و استفاده از این منابع می‌تواند منجر به ارائه راه حل‌های مناسبتری برای استفاده از اراضی گردد.

شناخت بیشتر و دقیقتر از خصوصیات اراضی و میزان تطابق آنها با نیازهای رویشی گندم و ارزیابی محدودیت‌های اراضی که موجب کاهش تولید محصول می‌شوند برای اجرای برنامه ریزی تولید در سطح ملی بسیار مهم می‌باشد. ضمناً باید توجه داشت که محصول گندم به عنوان یک محصول اقتصادی، سیاسی و اجتماعی به خصوص در کشور ما در درجه اول اهمیت قرار دارد. لذا مطالعه و تحقیق در خصوص آن امری الزامی به شمار می‌رود. دینگ رونگ و همکاران (۲۰۰۶) مطالعاتی را

برای تعیین پتانسیل تولید اراضی برای گندم زمستانه در اراضی شمال چین انجام دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که قسمت‌های شمالی به علت فراهم بودن آب، پتانسیل بالاتری را برای تولید گندم دارند. از طرفی نتایج آنان نشان داد بهبود در مدیریت کشت، مواد غذایی و مدیریت آفات و بیماری‌ها که بیشترین محدودیت را ایجاد کرده‌اند می‌تواند باعث افزایش عملکرد شوند. باقرزاده و قلی‌زاده ۲۰۱۶، با بررسی پتانسیل تولید اراضی برای گندم در مناطق شمال شرقی کشور، شاخص اراضی را از ۶۲/۷۱ در شرق و غرب منطقه مطالعاتی تا ۸۷/۲۴ در مرکز منطقه برآورد و در این محدوده کلاس‌های با تناسب متوسط (S2) تا تناسب زیاد (S1) برای کشت گندم به روش پارامتریک تفکیک کردند. موسوی و همکاران (۲۰۱۷) تناسب اراضی دشت قزوین برای کشت گندم آبی را انجام و مشخص نمودند که فاکتورهایی مثل شوری خاک، درصد سنگریزه، عمق خاک، گچ، ماده آلی و بافت و ساختمان خاک محدود کننده می‌باشند.

مطالعات انجام شده توسط زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۳) در خصوص پتانسیل تولید اقلیمی، پتانسیل تولید اراضی و عملکرد واقعی در دشت‌های مهم تحت کشت گندم کشور نشان داد اختلاف عملکرد پتانسیل اراضی با تولید واقعی حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد. همچنین بررسی‌های زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۷)، زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۶)، زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۶)، زین‌الدینی و ابراهیمی (۱۳۹۵)، زین‌الدینی و ابراهیمی (۱۳۹۳) در ارتباط با تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید گندم بر اساس روش فائو در مزارع گندم مناطق بافت، ارزویی، دشتاب، بم و نورماشیر، بردسیر و شهداد استان کرمان نشان داد مهمترین عوامل محدود کننده برای گندم به ترتیب شوری و قلیائیت خاک، خصوصیات فیزیکی و ویژگی‌های حاصلخیزی می‌باشند و اختلاف میانگین عملکرد واقعی مزارع با متوسط پتانسیل تولید اراضی در مناطق بررسی شده استان کرمان، نسبتاً زیاد (حدود ۲۷ درصد) می‌باشد که مربوط به عوامل محدود کننده خاک و مدیریت استفاده از اراضی می‌باشد.

پیش‌بینی پتانسیل تولید اراضی محصولات به اقلیم، خصوصیات اراضی و مدیریت بستگی دارد، با ارزیابی تناسب اراضی امکان مقایسه پتانسیل تولیدی اراضی مختلف امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین با مقایسه بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی و محصول می‌توان صحت نتایج ارزیابی تناسب اراضی و دقت کلاس‌های تفکیکی را تعیین نمود. قدم نخست در برآورد پتانسیل تولید اراضی، محاسبه پتانسیل اقلیمی هر منطقه برای تولید محصول است. در این مرحله حداکثر تولید گونه بخصوصی از هر محصول با توجه به داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه و در شرایط عاری بودن گیاهان از آفات و بیماری‌ها و وجود شرایط مطلوب رطوبتی و عناصر غذایی تخمین‌زده می‌شود. برای محاسبه پتانسیل تولید از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که مهمترین آنها مدل فائو و مدل واگنینگن است که در تحقیق حاضر از روش فائو که عمومیت بیشتری دارد استفاده شده است. این مدل امکان تخمین «تولید بیوماس خالص»^۲ را با استفاده از اطلاعات مربوط به تابش خورشیدی و دما فراهم نموده و در واقع میزان عملکرد یک وارسته پرمحصول را بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های زراعی نشان می‌دهد (سایس و همکاران، ۱۹۹۱). هدف از این تحقیق بررسی تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید اقلیمی گندم در شرایط آبی و پتانسیل تولید فعلی اراضی در مناطق انتخابی کشور به منظور شناسایی عوامل محیطی محدود کننده عملکرد و بررسی علل فاصله گرفتن تولید پتانسیل اقلیمی، پتانسیل اراضی و عملکرد واقعی مشاهده شده توسط زارع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بررسی خصوصیات اراضی و تعیین ارتباط بین این پارامترها با ویژگی‌های گیاهان مهم هر منطقه و ارزیابی پتانسیل تولید برای ارتقاء مدیریت بهره‌وری خاک و پایداری تولید ضروری است. در همین راستا مناطق مهم

خفیف می‌باشد. در این منطقه تعداد نه واحد خاک بررسی شد. کلاس‌های تناسب در شرایط فعلی از S2 (مناسب) تا S3 (تناسب بحرانی) و در شرایط آبی نیز S1 (خیلی مناسب) تا S3 (تناسب بحرانی) تفکیک گردیدند. بررسی‌ها نشان می‌دهد عوامل محدود کننده آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت خاک است.

استان کرمان - دشت ارزوئیه و صوغان

دشت ارزوئیه از مناطق مهم و مستعد کشت گندم در جنوب شرق کشور می‌باشد. وسعت کل دشت حدود ۴۰ هزار هکتار است که ۲۵ هزار هکتار آن تحت کشت گندم می‌باشد. در این دشت ۱۲ واحد خاک انتخاب و ارزیابی شد. نتایج طبقه‌بندی تناسب اراضی گندم نشان می‌دهد در شرایط فعلی کلاس‌های تناسب از S1 (خیلی مناسب) تا N1 (نامناسب) با محدودیت‌های شوری و قلیائیت، خصوصیات حاصلخیزی و خصوصیات فیزیکی (بافت و ساختمان خاک، سنگریزه و آهک) متغیر است. در این اراضی شوری و قلیائیت بیشترین تاثیر را بر کاهش عملکرد گندم دارد. و در شرایط آبی از S1 (خیلی مناسب) تا S3 (تناسب بحرانی) تفکیک شده است. عمده‌ترین محدودیت برای گندم در دشت ارزوئیه شوری و قلیائیت خاک است.

استان فارس - دشت سپیدان

دشت سپیدان به مساحت ۱۰۶۰۰ هکتار به فاصله ۷۰ کیلومتری شمال غرب شیراز واقع شده است. بر اساس آمار هواشناسی، این منطقه جزء اقلیم سرد و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود، دشت سپیدان دارای رژیم رطوبتی زیرک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشد. بررسی نتایج طبقه‌بندی تناسب اراضی در شرایط حال نشان می‌دهد نه واحد خاک ارزیابی شده در کلاس‌های S1 (خیلی مناسب) تا S3 (تناسب بحرانی) و در شرایط آبی در کلاس‌های S1 (خیلی مناسب) تا S3 (تناسب بحرانی) با

تحت کشت گندم برای مطالعات تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید بررسی و در نهایت چهار منطقه مهم از لحاظ کشت و تولید گندم که تنوع خاک و اقلیمی داشته باشند انتخاب و پروژه مورد نظر انجام گردید.

مناطق مورد مطالعه در دشت‌های انتخابی استان - های خوزستان، کرمان، فارس و آذربایجان شرقی واقع شده‌اند. وسعت اراضی مطالعه شده در مناطق انتخابی حدود ۶۰ هزار هکتار می‌باشد. بدین منظور برای ارزیابی تناسب اقلیمی گندم از اطلاعات آب و هوایی از قبیل دما، بارندگی، رطوبت نسبی و تابش خورشید از ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری گردید و برای ارزیابی خصوصیات اراضی و زمین‌نما با دامنه تغییرات ویژگی‌های خاک و عملکرد زیاد، خاک‌های انتخابی از مطالعات خاکشناسی مربوط به این مناطق استخراج شدند. اطلاعات مربوط به دشت انتخاب شده در استان خوزستان از گزارش تعیین تناسب اراضی و پتانسیل تولید گندم دیم و آبی میان آب شوشتر (سیدجلالی، ۱۳۷۸)، در استان کرمان از گزارش تعیین تناسب اراضی و پتانسیل تولید برای گندم آبی در دشت ارزوئیه (زین‌الدینی، ۱۳۸۱)، برای استان فارس از نتایج مطالعات پتانسیل تولید گندم آبی، دشت سپیدان (زارعیان، ۱۳۸۶) و از مطالعات تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید گندم دشت تبریز برای استان آذربایجان شرقی (فرج‌نیا، ۱۳۸۱) استفاده گردید. سپس واحدهای خاک انتخابی نمونه برداری خاک شدند، بر روی نمونه‌های خاک آزمایش‌های مورد نیاز انجام و پرسش‌نامه‌های کاربری اراضی تهیه شدند. در نهایت با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده تجزیه و تحلیل‌های لازم صورت گرفت.

موقعیت نقاط مطالعاتی

استان خوزستان - میان آب شوشتر

این منطقه به مساحت ۳۶۲۰۵ هکتار در منطقه میان آب شوشتر، استان خوزستان قرار دارد. با توجه به ایستگاه هواشناسی شوشتر که نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه می‌باشد، این منطقه جزء اقلیم نیمه بیابانی

محدودیت‌های خصوصیات فیزیکی، توپوگرافی، اسیدیته و ماده آلی طبقه‌بندی می‌شوند.

آذربایجان شرقی - دشت تبریز

وسعت دشت تبریز حدود ۱۰۰ هزار هکتار است که در جنوب شهرستان تبریز و در حاشیه دریاچه ارومیه واقع شده است. بررسی نتایج طبقه‌بندی تناسب اراضی گندم نشان می‌دهد کلاسهای تناسب اراضی در شرایط فعلی از S1 (خیلی مناسب) تا S3 (تناسب بحرانی) و در شرایط آبی از S1 (خیلی مناسب) تا S2 (تناسب متوسط) طبقه‌بندی می‌شود. مهمترین خصوصیات اراضی محدود کننده برای گندم در این دشت شوری و قلیائیت خاک و شرایط فیزیکی نامطلوب (بافت خاک سنگین) می‌باشد.

ارزیابی خصوصیات اراضی

برای ارزیابی اراضی خصوصیات اراضی با نیازهای نوع کاربری اراضی تطبیق داده شد و کلاس اراضی به روش پارامتریک از نوع ریشه دوم تعیین گردید (سایس و همکاران، ۱۹۹۱). در روش پارامتریک به هر خصوصیت از اراضی یک درجه‌بندی عددی اختصاص داده می‌شود (بین ۰ و ۱۰۰). اگر خصوصیت اراضی برای نوع استفاده از اراضی دارای شرایط مطلوب باشد به آن عدد ۱۰۰ و اگر شرایط نامطلوب باشد نسبت به محدودیتی که ایجاد می‌کند عدد کمتری اختصاص می‌یابد. از این درجه‌بندی عددی برای تعیین شاخص استفاده خواهد شد. در این روش ابتدا خصوصیات اقلیمی از قبیل بارندگی، درجه حرارت، رطوبت نسبی و تابش خورشید برای نوع کاربری اراضی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و برای هر گروه اقلیمی پارامتری که کمترین عدد را داشته باشد درجه آن گروه را تعیین می‌کند، سپس بر اساس این درجه‌بندی شاخص‌های اقلیمی تعیین و بعد شاخص کل به درجه‌بندی عددی تبدیل و همراه با سایر درجه بندی‌های اراضی، شاخص اراضی به روش ریشه دوم تعیین

می‌گردد. پس از آن شاخص‌های اراضی تبدیل به کلاسهای تناسب اراضی می‌شود.

پتانسیل تولید اقلیمی در شرایط آبی (RPP) (مدل رشد محصول)^۳

این مدل مقدار تولید بیوماس و عملکرد محصول را برای بهترین واریته در شرایط مطلوب از نظر تابش خورشید، درجه حرارت، آب و مواد غذایی و در شرایط کنترل آفات و بیماریها، تخمین می‌زند (فائو، ۱۹۷۹).

پتانسیل تولید اراضی^۴ (LPP)

برای تخمین پتانسیل تولید اراضی با استفاده از پتانسیل تولید اقلیمی و تأثیر محدودیتهای خاک که بصورت شاخص خاک محاسبه شده از رابطه زیر استفاده می‌شود. در این رابطه اثر کاهش عملکرد به علت محدودیتهای اقلیمی (تابش خورشید، درجه حرارت) و خصوصیات خاک دیده شده و پتانسیل تولید اراضی برای گندم آبی تخمین می‌گردد؛ که در آن LPP: پتانسیل تولید اراضی، RPP: پتانسیل تولید اقلیم در شرایط آبی (kg/ha) و SI: شاخص خاک^۵ (این شاخص بر اساس روش پارامتریک تعیین گردید) می‌باشد.

$$LPP = RPP \times \frac{SI}{100} \quad (1)$$

نتیجه‌گیری کلی

بررسی نتایج طبقه بندی تناسب اراضی گندم در مناطق انتخابی کشور نشان می‌دهد کلاس‌های تناسب اراضی از خیلی مناسب تا نامناسب با محدودیت‌های شوری و قلیائیت، خصوصیات فیزیکی (بافت و ساختمان خاک، آهک و سنگریزه زیاد)، ویژگی‌های حاصلخیزی (اسیدیته و درصد کربن آلی)، توپوگرافی و شیب و زهکشی می‌باشند. شدت و نوع محدودیت‌ها در مناطق

³Irrigated potential yield (radiation-thermal production potential yield)=RPP

⁴ Land Productivity Potential

⁵ Soil Index

می‌باشد. اختلاف میانگین پتانسیل تولید اراضی با پتانسیل تولید اقلیمی حدود ۲۳۸۸ کیلوگرم در هکتار (۲۸/۷۴٪) می‌باشد که بیانگر تاثیر خصوصیات ذاتی خاک بر کاهش تولید گندم در مناطق انتخابی کشور می‌باشد. همچنین میانگین پتانسیل اراضی با متوسط عملکرد زارع حدود ۲۱۹۲ کیلوگرم در هکتار (۲۶/۳۷٪) اختلاف دارند که نشان دهنده عدم مدیریت صحیح و بهره‌وری صحیح از منابع تولید در مزارع گندم آبی است. شکل ۱ مقایسه متوسط پتانسیل تولید اقلیمی، پتانسیل اراضی و عملکرد واقعی مزارع گندم در مناطق بررسی شده را نشان می‌دهد.

مختلف متفاوت است. بیشترین پراکنش کلاس‌های تناسب اراضی S2 و S3 می‌باشد. برخی از محدودیت‌ها نظیر شوری و قلیائیت قابل اصلاح ولی خصوصیات فیزیکی نظیر بافت خاک تقریباً غیر قابل اصلاح هستند. جدول ۱، نتایج طبقه بندی تناسب اراضی، عوامل محدود کننده و پتانسیل تولید برخی واحدهای خاک و جدول ۲ پتانسیل اقلیمی، متوسط پتانسیل تولید اراضی و عملکرد گندم در دشت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۲ در دشت ارزوئیه استان کرمان، اختلاف میانگین پتانسیل تولید اراضی با پتانسیل تولید اقلیمی ۳۹۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که معادل ۳۸ درصد کاهش عملکرد است. همچنین اختلاف بین پتانسیل اراضی و متوسط عملکرد زارع حدود ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۳٪ کاهش) است. در دشت شوشتر استان خوزستان، اختلاف میانگین پتانسیل تولید اراضی با پتانسیل تولید اقلیمی ۱۹۰۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که کاهشی معادل ۳۰ درصد دارد. همچنین اختلاف بین پتانسیل اراضی و متوسط عملکرد زارع حدود ۱۶۹۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۷ درصد کاهش) است. همچنین در دشت تبریز، استان آذربایجان شرقی و دشت سپیدان، استان فارس اختلاف میانگین پتانسیل تولید اراضی با پتانسیل تولید اقلیمی به ترتیب ۷۰۰ و ۲۹۹۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که معادل ۱۱ و ۳۰ درصد کاهش است. همچنین اختلاف بین پتانسیل اراضی و متوسط عملکرد زارع نیز به ترتیب حدود ۱۷۷۵ و ۲۸۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که معادل با ۲۸ و ۳۰ درصد کاهش است.

پتانسیل تولید اقلیمی گندم در مناطق مختلف متفاوت و از ۱۰۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در استان کرمان تا حدود ۶۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در استان خوزستان متغیر است. میانگین پتانسیل تولید اقلیمی ۸۳۱۱ کیلوگرم در هکتار است. پتانسیل تولید اراضی از ۴۴۹۵ تا ۶۸۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است و متوسط پتانسیل تولید اراضی مناطق بررسی شده حدود ۵۹۲۳ کیلوگرم در هکتار

جدول ۱- نتایج طبقه بندی تناسب اراضی و پتانسیل تولید گندم برای برخی واحدهای خاک مناطق انتخابی

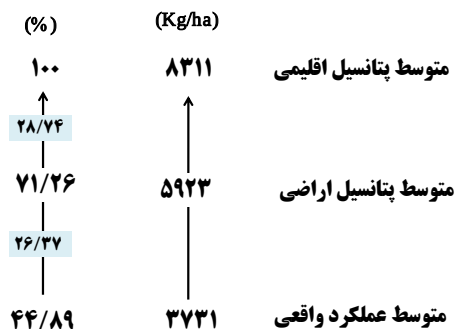
منطقه مطالعاتی	واحد خاک	طبقه بندی تناسب اراضی در حال حاضر	عوامل محدود کننده	طبقه بندی در شرایط آتی	پتانسیل (پتانسیل) اقلیمی	پتانسیل تولید اراضی	عملکرد واقعی	اختلاف عملکرد واقعی با پتانسیل تولید اراضی در شرایط حال
دشت شوشتر، استان خوزستان	کیلوگرم در هکتار							
	۱،۱	S2sw	زهکشی و آهک	S2s	۸۰۰۰	۴۰۰۳	۲۰۰۰	۲۰۰۳
	۲،۱	S3nsw	شوری، قلیائیت، زهکشی و آهک	S2s		۲۵۰۰	۲۳۱۲	۱۸۸
	۲،۲	S2sw	زهکشی و آهک	S2s		۳۶۹۳	۱۷۰۰	۱۹۹۳
	۲،۴	S3nsw	شوری، قلیائیت، زهکشی و آهک	S2s		۳۳۱۹	۲۵۰۰	۸۱۹
	۲،۶	S3nsw	شوری، قلیائیت، زهکشی و آهک	S2s		۲۵۰۰	۲۲۱۵	۲۶۵
	۲،۷	S2s	آهک	S2s		۴۰۰۰	۳۷۹۷	۲۰۳
	۴،۲	S3nsw	شوری، قلیائیت، زهکشی و آهک	S2s		۳۰۶۷	۲۵۰۰	۵۶۷
	۸،۱	S2sw	زهکشی و آهک	S2s		۳۸۰۰	۳۵۱۹	۲۵۱
	۹،۱	S2ns	شوری، قلیائیت، و آهک	S2s		۳۸۲۳	۲۵۰۰	۱۳۲۳
	۱،۱	S3n	بافت خاک، شوری و قلیائیت	S3s	۱۰۵۰۰	۲۹۶۰	۲۶۵۰	۳۱۰
دشت ارومیه، استان کرمان	۲،۱	S2n	شوری و قلیائیت	S1		۴۰۰۰	۳۵۰۰	۵۰۰
	۲،۲	S1	-	S1		۵۶۰۰	۴۶۰۰	۱۰۰۰
	۲،۲	S1	-	S1		۵۹۷۰	۵۱۰۰	۸۷۰
	۳،۱	S2ns	بافت خاک، شوری و قلیائیت	S2s		۵۲۰۰	۴۲۰۰	۱۰۰۰
	۳،۲	S2s	شرایط فیزیکی	S2s		۵۰۹۰	۴۳۲۵	۷۶۵
	۴،۱	N1n	شوری و قلیائیت	S3n		۱۴۵۰	۱۴۰۰	۵۰
	۴،۲	S2sf	ماده آلی، بافت خاک	S2s		۴۹۴۰	۴۳۲۰	۶۲۰
	۵،۱	S3nf	شوری و قلیائیت	S2n		۴۶۷۰	۴۱۰۰	۵۷۰
	۵،۲	N1n	شوری و قلیائیت	S3n		۱۹۲۰	۱۷۲۰	۲۳۰
	۶،۱	S2fn	شوری و قلیائیت	S2f		۵۹۱۰	۳۶۰۰	۳۱۰

ادامه جدول ۱

۸۶۴	۶۵۰۰	۷۳۶۴	S1	-	S1	۱,۱	سپیدان، استان فارس دشت
۸۰۳	۶۰۰۰	۶۸۰۳	S1	پستی و بلندی	S2t	۱,۲	
۷۰۲	۶۲۰۰	۹۶۰۲	S2s	کربنات کلسیم	S2s	۲,۱	
۷۳۳	۳۵۰۰	۴۲۳۳	S3s	کربنات کلسیم، سنگ و سنگریزه	S3s	۲,۲	
۱۱۴۶	۵۵۰۰	۶۶۴۶	S2sf	کربنات کلسیم و پ هاش	S2sf	۳,۱	
۵۶۰	۲۰۰۰	۲۵۶۰	S3sf	کربنات کلسیم و پ هاش	S3sf	۳,۲	
۱۰۸۲	۴۵۰۰	۵۵۸۲	S1	کربنات کلسیم، سنگ و سنگریزه	S2s	۴,۱	
۱۰۱۰	۶۰۰۰	۷۰۱۰	S1	سنگ و سنگریزه	S2s	۴,۲	
۱۸۰۰	۴۰۰۰	۵۸۰۰	S1	-	S1	۱,۱	دشت تبریز، استان آذربایجان شرقی
۷۰۰	۳۲۰۰	۳۹۰۰	S1		S2	۴,۲	
۵۸۰	۲۶۰۰	۳۱۸۰	S2	شوری خاک، بافت خاک و شوری آب آبیاری	S3	۳,۱	

جدول ۲- پتانسیل اقلیمی، متوسط پتانسیل تولید اراضی و عملکرد گندم در مناطق انتخابی

استان	نام دشت	وسعت دشت	سطح زیر کشت گندم	پتانسیل تولید اقلیمی	متوسط پتانسیل اراضی	متوسط عملکرد واقعی
				<i>Kg/ha</i>	<i>Kg/ha</i>	%
کرمان	ارزوئیه	۴۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۰۵۰۰	۶۵۵۰	۳۹
خوزستان	میان آب شوشتر	۳۶۰۰۰	۱۲۷۲۷	۶۴۰۰	۴۴۹۵	۷۳
آذربایجان شرقی	تبریز	۵۰۰۰۰	۱۴۶۷۰	۶۵۰۰	۵۸۰۰	۶۱
فارس	سپیدان	۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۹۸۴۶	۶۸۵۰	۴۰



شکل ۱- مقایسه میانگین پتانسیل تولید اقلیمی، پتانسیل اراضی و عملکرد واقعی مزارع گندم

جدول ۳- حداکثر و حداقل عملکرد مشاهده شده برای گندم در مناطق انتخابی

استان	نام دشت	حداکثر عملکرد مشاهده شده	میانگین حداکثر عملکرد ۱۰ درصد از کشاورزان (پیشرو)	حداقل عملکرد مشاهده شده	علل کاهش تولید در برخی از مزارع
کیلوگرم در هکتار					
کرمان	ارزوئیه	۱۰۰۰۰	۸۱۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	شوری و قلیائیت، شرایط حاصلخیزی و شرایط فیزیکی
خوزستان	میان آب	۷۰۰۰	۶۵۰۰	۱۷۰۰	شوری، قلیائیت، زهکشی، آهک و مدیریت اراضی
فارس	سپیدان	۹۲۵۰	۸۲۰۰	۲۰۰۰	آهک، شرایط حاصلخیزی، توپوگرافی، بافت و سنگریزه
آذربایجان شرقی	تبریز	۶۵۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰	شوری خاک، بافت و شوری آب آبیاری

پیشنهادات ترویجی

انجام مطالعات تناسب اراضی و پتانسیل تولید برای محصولات مهم زراعی و باغی کشور در راستای انتخاب ترکیب کشت مناسب، تولید بهینه و استفاده منطقی از منابع اراضی ضروری است. با بررسی‌های تناسب اراضی برای هر گیاه قابلیت‌ها و محدودیت‌ها و شدت تاثیر خصوصیات اراضی تعیین می‌شود و با تخمین پتانسیل تولید اقلیمی و اراضی و تعیین عملکرد واقعی می‌توان وضعیت کلی تولید را نسبت به پتانسیل (امکان) تولید بررسی و مقایسه و دلایل افت عملکرد را بررسی نمود. با انجام این مطالعات مقدار عملکرد مورد انتظار برای محصولات گوناگون در سطوح مختلف قابل برنامه‌ریزی است. در مزارع با پتانسیل اراضی و عملکرد بالا برای هر محصول امکان ایجاد مزارع الگویی بر مبنای تجربه و مدیریت کشاورزان پیشرو وجود دارد تا سایر بهره‌برداران ضمن بازدید از این واحدهای الگویی، نتیجه روش‌های مدیریت مناسب را مشاهده و آموزش‌های لازم را فراگیرند.

پتانسیل تولید اراضی بیانگر میزان محصولی است که در صورت مدیریت صحیح تا حدودی قابل حصول است. مویید این نکته تولید محصول در برخی مزارع که خصوصیات آن‌ها برای گندم خیلی مناسب و مناسب بوده و دارای شاخص اراضی بالا می‌باشند

بررسی‌ها نشان می‌دهد سطح این نوع بهره‌وری در مقایسه با وسعت کل اراضی تحت کشت گندم کمتر از ۱۰ درصد است. در هر صورت مدیریت برخی بهره‌برداران مشخص می‌نماید که در بعضی مزارع امکان تولید تا حدود پتانسیل اراضی وجود دارد. شیوه مدیریت این بهره‌برداران می‌تواند الگویی برای سایر کشاورزان باشد، ولی بررسی‌های انجام شده در مزارع گندم کشور نشان می‌دهد میزان تولید واقعی بخشی از پتانسیل اراضی است که متأسفانه اختلاف نسبتاً زیادی (۲۶/۳۷٪) با یکدیگر دارند. به طور کلی اگر با اعمال مدیریت مناسب، برای خاک‌های متفاوت میزان تولید گندم نزدیک به پتانسیل تولید اراضی ارتقاء یابد اختلاف میزان محصول تولیدی با وضعیت فعلی تولید در سطح مزارع کشور قابل توجه می‌باشد. جدول ۳، حداکثر و حداقل عملکرد مشاهده شده در دشت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با اعمال مدیریت مناسب حدود ۲۰ درصد افزایش عملکرد قابل حصول است. در خصوص اختلاف پتانسیل تولید اراضی با پتانسیل اقلیمی گندم مشخص می‌شود برخی خصوصیات اراضی محدود کننده نظیر نظیر شوری و قلیائیت قابل اصلاح و بعضی ویژگی‌ها غیر قابل اصلاح است برای ارتقاء شاخص اراضی آبشویی و انجام عملیات اصلاحی توام با مدیریت تغذیه و حاصلخیزی خاک و بهره‌گیری از مدیریت کشاورزان پیشرو پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

۱. آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۶. آمار تولید محصولات زراعی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباط، معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی.
۲. زارعیان، غ. ۱۳۸۶. مطالعات تخمین پتانسیل تولید گندم آب در خاک‌های آهکی (دشت سپیدان استان فارس). نشریه فنی شماره ۱۳۴۱ موسسه تحقیقات خاک و آب.
۳. زین الدینی میمند، ع؛ ابراهیمی میمند، ف و ع، سید جلالی. ۱۳۹۵. تخمین پتانسیل تولید گندم در مناطق مهم تحت کشت استان کرمان. دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، کرمان، ایران.

۴. زین‌الدینی میمند، ع؛ نویدی، م.ن؛ محنت کش، ع؛ فرج‌نیا، الف؛ زارعیان، غ. ر؛ محمداسماعیل، ز و ف، ابراهیمی میمند. ۱۳۹۳. ارزیابی پتانسیل تولید اراضی برای زراعت گندم آبی کشور. اولین همایش ملی مدیریت خاک و آب در تولید گندم. تهران، ایران.
۵. زین‌الدینی میمند، ع و ف، ابراهیمی میمند. ۱۳۹۳. بررسی وضعیت خاک و ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات مهم دشت بلوک-فارباب، منطقه کهنوج، استان کرمان. اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، کرمان، ایران.
۶. زین‌الدینی میمند، ع و ف، ابراهیمی میمند. ۱۳۹۳. ارزیابی تناسب اراضی کیفی و کمی محصولات مهم منطقه شهداد کرمان. اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، کرمان، ایران.
۷. زین‌الدینی میمند، ع و ف، ابراهیمی میمند. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی گندم، یونجه و خرما در دشت نورماشیر، استان کرمان. دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، کرمان، ایران.
۸. زین‌الدینی میمند، ع؛ نویدی، م.ن و ف، ابراهیمی میمند. ۱۳۹۶. بررسی وضعیت خاک‌ها و ارزیابی تناسب کیفی گندم، ذرت و هندوانه در مناطق خیلی گرم استان کرمان. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. اصفهان، ایران.
۹. زین‌الدینی، ع. ۱۳۸۱. ارزیابی تناسب کیفی اراضی و تخمین پتانسیل تولید گندم آبی دشت ارزوئیه استان کرمان. نشریه فنی شماره ۱۱۴۳. موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۰. سید جلالی، س، ع. ۱۳۷۹. تخمین تولید خالص بیوماس و عملکرد اقتصادی محصولات یک‌ساله به روش مدل رشد فائو وزارت کشاورزی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۴ صفحه.
۱۱. سید جلالی، س، ع. ۱۳۷۹. طبقه‌بندی تناسب و تعیین پتانسیل تولید اراضی میان آب شوشر برای گندم. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۴، شماره ۲. صفحه ۱۵۳-۱۴۱.
۱۲. فرج‌نیا، ا. ۱۳۸۱. تعیین تناسب و پتانسیل تولید گندم در مناطق شور ایران (آذربایجان شرقی). نشریه فنی شماره ۱۱۳۴. موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۳. گیوی، جواد. ۱۳۷۶. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی و باغی، نشریه شماره ۱۰۱۵. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۰۰ صفحه.
۱۴. محنت‌کش، ع. ۱۳۷۸. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی منطقه شهرکرد برای محصولات زراعی مهم منطقه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
15. Bagherzadeh, A., A, Gholizadeh. 2016. Modeling land suitability evaluation for wheat production by parametric and TOPSIS approaches using GIS, northeast of Iran. Model Earth Syst Environ. P: 2-126.
16. Dingrong, W.U., Qiongg, Chang He. Lu, and Dij. Huibheng. 2006. Quantifying production of winter wheat in the north china plain, Europe. j. Agronomy 24: 226-235.
17. FAO. 1991. Land planning application proceeding of expert consultation 1990. Rome. Italy, 10-14 December 1990. World soil Resources. 68, Rome. FAO.
18. Information System: A case study of Qazvin plain, Iran. Eurasian J Soil Sci, 6 (3). P: 275.

19. Mousavi S, R., F, Sarmadian, Z, Alijani, A, Taati. 2017. Land suitability evaluation for irrigating wheat by Geopedological approach and Geographic Information System: A case study of Qazvin plain, Iran. Eurasian J Soil Sci, 6 (3). P: 275.
20. Seyed Jalali, S, A, 1377. Principles of crop specific land evaluation. Bulletin NO: 1035. Soil and Water Institute.P:45.
21. Soil Survey Stuff, 2010. Keys to soil taxonomy, 10th ed. UASA. NRCS.
22. Sys, C, E. VanRanst, J. Debaveye, and F. Beerhaert. 1993. Land evaluations. Part III. Crop requirement FAO. P. 199.
23. Sys. C., E. Van Rants and J. Debaveye. 1991. Land evaluation. Part I. principles in land evaluation and crop production calculation. FAO.P. 274.

پایش تغییرات سطح اراضی کشاورزی تحت سیستم اگروفارستری در باغباغوئیه

جیرفت

حمید سودایی زاده^۱ و عاطفه جبالی

دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی و کورشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

hsodaie@yazd.ac.ir

دکترای تخصصی بیابان‌زدایی دانشکده منابع طبیعی و کورشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

at.jebali@stu.yazd.ad.ir

دریافت: خرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

سیستم‌های اگروفارستری در پاسخ به افزایش تقاضای مواد غذایی و افزایش بهره‌برداری مناسب از اراضی کشاورزی ایجاد گردیده است. حضور ردیف‌های درختی در اطراف مزارع با ایجاد شرایط میکرواقلیمی مناسب، نقش مؤثری در افزایش تولید محصولات زراعی دارد. در پژوهش حاضر تغییرات سطح اراضی کشاورزی بخشی از دشت جیرفت کرمان تحت سیستم اگروفارستری در طی ۲۲ سال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مطالعه گردید. بدین منظور، با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی نظارت شده، دو طبقه پوشش اراضی شامل اراضی کشاورزی و اراضی بدون پوشش از تصویر سنجنده TM لندست و سه طبقه پوشش اراضی شامل اراضی کشاورزی، پوشش درختی و اراضی بدون پوشش از تصویر ماهواره لندست ۸ معرفی گردید. در ادامه تغییرات پوشش‌های اراضی مذکور در فاصله زمانی ۲۲ سال، با استفاده از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی بررسی شد. نتایج نشان داد که در ۵/۱٪ از اراضی بدون پوشش و ۱۵/۴٪ از اراضی کشاورزی بادشکن درختی احداث گردیده و ۲۶/۹٪ از اراضی بدون پوشش به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. سطح اراضی زراعی در سال ۱۹۹۲ برابر با ۵۵۶ هکتار بوده و در سال ۲۰۱۴ به ۷۴۱ هکتار رسیده است. یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که مدیریت مناسب در اجرای سیستم اگروفارستری، شرایط مناسبی را برای افزایش سطح اراضی کشاورزی ایجاد نموده است. به‌منظور اجرای بهتر این سیستم، استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا گزینه مناسبی در بررسی و تعیین مناسب-ترین جهت‌های احداث بادشکن و بهترین نوع گونه درختی در حفاظت از اراضی و ایجاد شرایط مناسب تولیدات زراعی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بادشکن، تولید کشاورزی، تصویر ماهواره‌ای، شناسایی تغییرات

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کورشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

مقدمه

افزایش جمعیت و تقاضا برای تأمین غذای بیشتر، سبب رویکرد بشر به بهره‌برداری بیشتر از اراضی شده است. به‌طوریکه، این موضوع افزایش میزان جنگل-زدایی، افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، کاهش منابع آب و خاک، فرسایش خاک و افزایش سیلاب‌ها و به‌طورکلی افزایش روند بیابان‌زایی در نواحی مختلف به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک را به دنبال داشته است. از سوی دیگر اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف زندگی بشر بر کسی پوشیده نیست و بخش کشاورزی به دلیل وابستگی زیاد به منابع اقلیمی، حساسیت و آسیب‌پذیری بیشتری را نشان می‌دهد (امیرنژاد و همکاران، ۱۳۹۸)؛ بنابراین استفاده از روش‌ها و برنامه‌های مدیریتی مناسب در جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و در راستای افزایش بهره‌وری اراضی کشاورزی امری ضروری به‌شمار می‌آید. در این راستا، استفاده از سیستم‌های اگروفارستری به‌عنوان، یکی از روش‌های مؤثر در برنامه‌های زراعی می‌تواند منبع مؤثری را برای استفاده بهینه از اراضی کشاورزی فراهم آورد (گودرزیان و همکاران، ۱۳۹۲). به‌طورکلی اگروفارستری از جمله فناوری‌های به‌کارگرفته شده در سیستم‌های کاربری زمین است که در آن، گیاهان چوبی چندساله به‌طور دلخواه با گیاهان علفی و یا دام در یک مکان و یا زمان با یک نظم مشخص رشد می‌کنند. در گذشته، درختان، محصولات زراعی و دام به‌طور سنتی در کنار هم پرورش می‌یافتند و امروزه با پیشرفت علوم و فناوری‌ها، این سیستم قدیمی و سنتی به‌صورت سیستمی مدرن به‌نام اگروفارستری بیان می‌گردد (پینهو، ۲۰۱۲). در سیستم اگروفارستری، درختان همواره جزء مکملی هستند که کاشت آن‌ها به‌منظور کاهش شکنندگی سیستم‌های زراعی و منوط به تمایل زارع در این امر، صورت می‌پذیرد. این سیستم در نقاط مختلف با توجه به شرایط متفاوت محیطی و رویشی گیاهان به صورت‌های مختلفی قابل اجرا می‌باشد. به‌عنوان مثال در مناطق ایران و تورانی کشور ایران با توجه به شرایط

اقلیمی محدود کننده، در بیشتر سیستم‌های مورد اجرای این منطقه، درختان در نقش بادشکن می‌باشند. از درختان بلندقامت مانند بید، چنار و سپیدار در مصارف صنعتی نیز استفاده می‌شود. همچنین برخی از درختان مورد استفاده در این سیستم، نقش حصار زنده را دارند که در آفتاب شدید این منطقه، ویژگی سایه‌اندازی آن‌ها بسیار مفید و مورد توجه است (متین خواه ۱۳۸۲). سیستم اگروفارستری با اهداف زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی رویکردی نوین در استفاده از اراضی است، در این سیستم تولیدات درختی و زراعی در زمینی مشترک با ترکیبی از کاشت درختان و کشت زراعی همراه با پرورش دام به‌منظور بهبود عملکرد سیستم زراعی می‌باشد (بی‌نام، ۲۰۱۰).

حضور درختان در نقش بادشکن به‌عنوان بخشی از عملیات اگروفارستری دارای مزایای قابل توجه‌ای است. مطالعات نشان می‌دهد که ردیف‌های درختی به‌عنوان بادشکن، نقش مؤثری را در بخش‌های مختلف کشاورزی و عملکرد اراضی دارند، به‌طوری‌که در مناطق بادخیز عملکرد اولیه بادشکن‌ها به‌صورت حفاظت از اراضی و خاک به‌وسیله کاهش در سرعت باد نشان داده می‌شود (پراساد و مرتیا، ۲۰۰۹). همچنین بادشکن‌ها به‌عنوان پناهگاه حیات وحش، منبعی جهت سوخت و علوفه و نیز افزایش‌دهنده راندمان انرژی در مزارع می‌باشند (کابل، ۱۹۹۹؛ گیوستی، ۲۰۱۹). از دیگر مزایای بادشکن‌ها در سیستم اگروفارستری کاهش میزان سوخت، افزایش رطوبت در دسترس برای محصولات زراعی، کاهش انتقال آفات (یوکار و هال، ۲۰۰۱) و افزایش تولیدات زراعی (برندل و همکاران، ۲۰۰۴) است. احداث ردیف‌هایی از درختان در اطراف مزارع سبب ایجاد میکرواقلیمی مناسب در محدوده تحت تأثیر بادشکن گردیده (کمپی و همکاران، ۲۰۰۹) و با کاهش در میزان تبخیر (کمپی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیانو و همکاران، ۲۰۱۵؛ مارکویتز، ۲۰۱۸) و تغییر در درجه حرارت خاک (رانگ‌ژین و همکاران، ۲۰۱۱) علاوه بر ترسیب کربن (ون‌هیو و

همکاران، ۲۰۱۴) در افزایش سرعت رشد سبزیجات و گیاهان زراعی نقش مؤثری دارد (کورت، ۱۹۸۸؛ ساین و همکاران، ۱۹۹۸؛ دولینگر و جوز، ۲۰۱۸). همچنین افزایش میزان درجه حرارت مناطق دارای بادشکن، سبب رسیدگی سریع‌تر بسیاری از محصولات زراعی می‌شود و بازاریابی سریع‌تر و درآمد بیشتری را از طریق فروش محصولات برای تولیدکنندگان به‌همراه خواهد آورد (برندل و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین در سیستم اگروفارستری، درختان در افزایش حاصلخیزی مزارع و حفاظت از سایر اکوسیستم‌ها نقش مؤثری را برعهده دارند (جعفری میانایی و همکاران، ۱۳۹۵). این مزایا سبب شده است تا تمایل کشاورزان به کاشت درختان در اطراف مزارع و استفاده از این سیستم روز به روز افزایش یابد. پایش تغییرات سطح اراضی کشاورزی استفاده کننده از کاشت درختان در اطراف مزارع تحت سیستم اگروفارستری، علاوه بر نشان دادن تأثیر استفاده از این نوع سیستم در بخش کشاورزی، گزینه مناسبی برای ترغیب کشاورزان به بهره‌گیری از این سیستم در راستای مدیریت بهینه اراضی و توسعه پایدار کشاورزی است. پیشرفت و گستردگی علوم سنجش از دوری در سراسر کره زمین و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات پایش و بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش اراضی را، در سطح وسیع، همراه با صرفه‌جویی در زمان و هزینه، امکان‌پذیر ساخته است.

روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده از جمله روش‌های معمول در استخراج کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف اراضی هستند که با معرفی خصوصیات طیفی متفاوت عوارض موجود بر روی زمین، کاربری‌ها و پوشش‌های متفاوت را از یکدیگر تفکیک می‌نمایند (لیلسند و کیفر، ۲۰۰۰؛ ژولیو، ۲۰۱۹). روش‌های تفریق تصاویر و مقایسه بعد از طبقه‌بندی^۱ نیز از گسترده‌ترین روش‌های مورد استفاده در شناسایی تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای هستند؛ به‌طوریکه، در

روش تفریق تصاویر، محدوده گسترش تغییرات به صورت پیکسلی و در روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی، اطلاعاتی در مورد علل این تغییرات، به‌صورت طبقه‌ای نشان داده می‌شود (اولیورا و همکاران، ۲۰۰۸؛ ژولیو، ۲۰۱۹). حضور ردیف‌های درختی در تصاویر ماهواره‌ای به‌شکل خطی، تفاوت در طیف‌ها و مقادیر رقومی پوشش-های درختی نسبت به سایر پوشش‌های گیاهی و سایر کاربری‌ها، از جمله فاکتورهای مؤثر در شناسایی و معرفی بادشکن‌های درختی نسبت به سایر کاربری‌ها و پوشش-های اراضی است.

تاکنون، مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناسایی پوشش‌های مختلف اراضی و پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی با روش‌های مختلف سنجش از دوری انجام شده است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود: لیکنز و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور تفکیک پوشش‌های درختی از اراضی کشاورزی ناحیه داکوتای شمالی و جنوبی، از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده نمودند؛ در این مطالعه مشخص شد که شناسایی موقعیت درست و دقیق پوشش‌های درختی نیازمند استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا است. گیمایر و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و بهره‌گیری از برنامه تصاویر ملی کشاورزی^۲ و استفاده از تکنیک طبقه‌بندی شی‌گرا، موفق به تفکیک بادشکن‌های موجود در منطقه کانزاس ایالات متحده آمریکا از سایر اراضی گردیدند. ریزوی و همکاران (۲۰۱۶) با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده LISSIII ماهواره IRS اقدام به تهیه نقشه پوشش اراضی دارای سیستم اگروفارستری در مناطق بتیندا و پاتیلای پنجاب با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی نظارت شده نمودند. در این بررسی سطح استفاده از اراضی دو منطقه با کاربرد سیستم اگروفارستری و مناطق بدون استفاده از این سیستم مدرن کشاورزی تعیین گردید. ژولیو و همکاران (۲۰۱۹) در ازبکستان اقدام

^۲ National Agriculture Imagery Program (NAIP)^۱ Post Classification

به بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه بوستانلیک تاشکند نمودند. با اجرای عملیات طبقه‌بندی نظارت شده تحت الگوریتم حداکثر احتمال بر روی تصاویر سنجنده TM (۱۹۸۹) و سنجنده OLI لندست ۸ (۲۰۱۷)، شش طبقه کاربری شامل پوشش برفی، خاک بدون پوشش، اراضی جنگل، آب، ساختمان و اراضی کشاورزی از یکدیگر تفکیک گردید. در این پژوهش، روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی برای پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی در طی یک دوره ۲۸ ساله به کار گرفته شد و تغییرات مساحت آشکاری در بخش اراضی جنگلی، ساختمان، اراضی بدون پوشش و مناطق دارای پوشش برفی مشاهده گردید. پژوهشگران این مطالعه، استفاده از عملیات طبقه‌بندی نظارت شده و بهره‌گیری از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی را در تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی و پایش تغییرات آن‌ها را مناسب ارزیابی نموده‌اند.

رفعیان و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و به روش طبقه‌بندی نظارت شده، پوشش‌های درختی جنگل‌های شمال کشور را جداسازی و تغییرات گستره جنگلی را بررسی نمودند. مظاهری و همکاران (۱۳۹۲) به پایش تغییرات کاربری اراضی منطقه جیرفت با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست پرداختند. در این بررسی از روش طبقه‌بندی نظارت شده در تفکیک چهار کاربری مسکونی، اراضی زراعی، باغی و بایر استفاده شد و نقش این تصاویر در بررسی تغییرات کاربری اراضی مثبت ارزیابی گردید. محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳) از اطلاعات باندهای ماهواره‌ای سنجنده‌های ETM+ و OLI لندست در تهیه نقشه پوشش گیاهی و بررسی تغییرات پوشش گیاهی شهرستان بهبهان استفاده نمودند. در این بررسی برای تفکیک پوشش گیاهی از شاخص اختلاف نرمال پوشش گیاهی^۱ استفاده شد. شهرستان جیرفت در جنوب شرقی استان کرمان دارای شرایط بسیار مساعدی برای کشت

محصولات کشاورزی است. این شهرستان، به‌عنوان قطب تولید سبزی، صیفی و مرکبات در کشور مطرح است. در طی دهه‌های اخیر، سیستم آگروفرستری برای تداوم تولید محصولات زراعی و رسیدن به کشاورزی پایدار در این منطقه اجرا گردیده است که سبب افزایش سطح زیر کشت محصولات شده است. هدف از این پژوهش، بررسی میزان تغییر سطح اراضی زیرکشت با ایجاد سیستم آگروفرستری در شهرستان جیرفت است؛ بنابراین در این مطالعه تلاش گردیده است تا با استفاده از قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در معرفی کاربری‌های مختلف اراضی، تغییرات سطح زیر کشت اراضی زراعی در طی دوره ۲۲ ساله یعنی در فاصله نبود سیستم آگروفرستری در قالب کاشت ردیف‌های درختی به‌عنوان بادشکن در اطراف مزارع و بعد از اجرای این سیستم با احداث بادشکن‌های درختی، مورد پایش قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

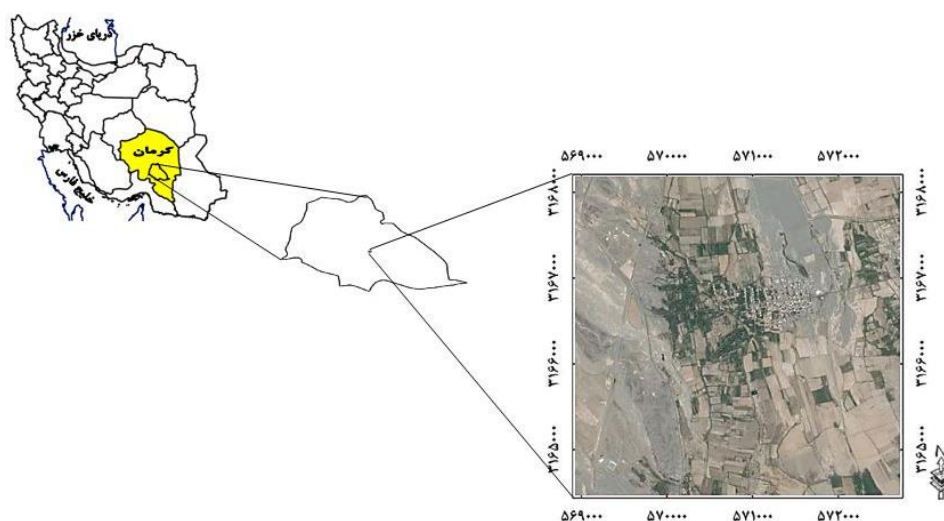
شهرستان جیرفت با وسعتی در حدود ۱۲۹۳۰/۲۵ کیلومترمربع در جنوب استان کرمان، شامل روستاهای متعدد و چهار بخش، مرکزی، جبال‌بارز، ساردوئیه و اسفندقه است. میزان بارندگی سالانه به‌طور متوسط ۱۸۰ میلیمتر و ارتفاع آن از سطح دریا ۶۸۵ متر می‌باشد. حداکثر سرعت باد منطقه ۵۴ کیلومتر بر ساعت و جهت باد غالب جنوب به شمال گزارش شده است. مرکبات، خرما و محصولات جالیزی، تولیدات اصلی این شهرستان بوده و کشت به صورت چهار فصل سال در آن رواج دارد (عادل‌ساردویی و همکاران، ۱۳۹۰). تنوع اقلیمی خاص این منطقه، انواع پوشش‌های گیاهی اعم از گونه‌های جنگلی و مرتعی را در خود جای داده است. به‌منظور جلوگیری از اثرات بادهای گرم و سرد و حفاظت از محصولات زراعی، کشاورزان این منطقه با بهره‌گیری از دانش بومی اقدام به کاشت گونه‌های جنگلی مختلف در اطراف مزارع خود نموده‌اند. به‌طورکلی، چهار نوع سیستم

^۱ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

که در محدوده طول ۵۶۹۰۰۰ تا ۵۷۲۷۰۰ متر شرقی و عرض ۳۱۶۴۸۰ تا ۳۱۶۸۱۷۰ متر شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). این منطقه با احداث بادشکن‌های درختی تحت سیستم اگروفارستری زراعت جنگلکاری، در طی ۲۲ سال گذشته توانسته است سطح اراضی تحت کشت و در نتیجه میزان تولیدات کشاورزی خود را افزایش دهد.

اگروفارستری در منطقه جیرفت شامل ۱- سیستم زراعت جنگلکاری ۲- سیستم جنگلکاری مرتعداری ۳- سیستم زراعت، جنگلکاری، مرتعداری و ۴- سیستم زراعت، جنگلکاری، مرتعداری و پرورش ماهی و حیوانات گزارش شده است (امیری و درینی، ۱۳۹۳).

بخش مطالعاتی معروف به باغباغویه، به وسعت ۱۴۰۰/۵ هکتار یکی از روستاهای شهرستان جیرفت است



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

فاصله زمانی و نیز یکسان بودن زمان بررسی تصاویر در نظر گرفته شد و به منظور جداسازی پوشش بادشکن درختی از تصویر لندست ۸ سال ۲۰۱۴ در ماه جولای مصادف با زمان برداشت و آیش اراضی کشاورزی استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات تصاویر مورد استفاده ارائه شده است.

داده‌های سنجش از دور

به منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی شامل اراضی کشاورزی و بادشکن‌های درختی منطقه مطالعاتی، از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI_TIRS به ترتیب مربوط به ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۱۴ معادل با سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۳ شمسی استفاده گردید. در انتخاب تصاویر، دارا بودن کیفیت بالا و حداکثر

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

سنجنده	سکو	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	گذر	ردیف	قدرت تفکیک مکانی (متر)
TM	لندست ۵	۱۹۹۲/۴/۲۸	۱۳۷۱/۰۲/۰۸	۱۵۹	۴۰	۳۰
OLI_TIRS	لندست ۸	۲۰۱۴/۴/۲۵	۱۳۹۳/۰۲/۰۵	۱۵۹	۴۰	۳۰
OLI_TIRS	لندست ۸	۲۰۱۴/۷/۳۰	۱۳۹۳/۰۵/۰۸	۱۵۹	۴۰	۳۰

پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

در اولین گام از پژوهش، تصاویر ماهواره لندست ۸ در محیط نرم افزار ENVI، تصحیح رادیومتریک و هندسی شد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالاتر تصاویر باند بانکروماتیک ماهواره لندست نسبت به سایر باندهای این تصویر، عملیات ادغام‌سازی^۱ تصویر، تحت روش Brovey و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، بر روی تصاویر ماهواره‌ای، به‌منظور افزایش دقت استخراج پوشش درختی و اراضی کشاورزی، قبل از اجرای عملیات‌های پردازش و طبقه‌بندی پوشش اراضی، انجام شد. در ادامه از تکنیک‌های بارزسازی تصاویر، نظیر ترکیب‌های رنگی و شاخص اختلاف نرمال پوشش گیاهی (NDVI) برای آشکارسازی و استخراج هرچه کامل‌تر اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای، بهره گرفته شد و به ترتیب ترکیب رنگی ۷۴۳ و ۷۵۴ به‌عنوان مناسب‌ترین ترکیب رنگی جهت جداسازی پوشش و کاربری اراضی در تصویر سنجنده TM و ماهواره لندست ۸ استفاده گردید. با انجام بازدید میدانی و استفاده از اطلاعات جانبی نظیر تصاویر حاصل از گوگل ارث و معرفی نمونه‌های تعلیمی مناسب به‌عنوان نماینده صحیحی از مشخصات طیفی طبقات پوشش و کاربری اراضی، کاربری‌های موجود در منطقه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال، در سه طبقه اراضی کشاورزی، بادشکن‌های درختی و سایر اراضی، معرفی گردید. نظر به اینکه زمان برداشت محصولات کشاورزی، مناسب‌ترین زمان برای تفکیک پوشش درختی از پوشش زراعی است؛ به‌منظور تفکیک بهتر پوشش درختی از اراضی کشاورزی، ابتدا تصویر ماهواره لندست ۸ مربوط به ماه جولای مورد عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده قرار گرفت. براین اساس تصویر مذکور به‌دلیل هم‌زمانی با فصل برداشت، در اکثر اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه، تفکیک پوشش درختی مناسبی را نسبت به پوشش زراعی نشان داد. برای افزایش دقت در استخراج پوشش-

گیاهی، شاخص گیاهی NDVI و کاربری حاصل از نقشه طبقه‌بندی نظارت‌شده، مقایسه و بهترین لایه اطلاعاتی از پوشش گیاهی استخراج شد.

با توجه به قرارگیری شاخص NDVI در محدوده ارزشی ۱- تا ۱، با اجرای روش آزمون و خطا در تعیین حدود آستانه متفاوت، مناسب‌ترین حد آستانه در تفکیک پوشش گیاهی شامل اراضی کشاورزی و بادشکن درختی معرفی شد. این حد آستانه در معرفی پوشش گیاهی در تمامی تصاویر ۰/۱۵ تا ۰/۵۳ معرفی گردید.

برای ارزیابی نمونه‌های تعلیمی در تمامی طبقات کاربری، نمودارهای حاصل از متوسط مقادیر عددی نمونه‌های تعلیمی مربوط به هر کاربری، در محور مختصات واحد، بررسی گردید، چنانچه نمودار هر کاربری تداخلی با نمودار سایر کاربری‌ها نداشت، آن کاربری به‌طور صحیح تفکیک شده است. همچنین به-منظور ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات، از پارامتر آماری شاخص واگرایی تبدیل‌شده استفاده گردید. این شاخص یک واریانس فاصله وزنی، بین میانگین طبقات می‌باشد که مقدار آن بین ۰ تا ۲۰۰۰ متغیر است. شاخص واگرایی بالاتر، بیانگر فاصله آماری بیشتر بین نمونه‌های تعلیمی و در نتیجه احتمال طبقه‌بندی صحیح‌تر طبقات کاربری است. مقادیر کمتر از ۱۵۰۰ برای این پارامتر نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری پایین و تداخل خصوصیت نمونه‌های تعلیمی بین کلاس‌ها است (لیلسند و کیفر، ۲۰۰۰). در نهایت طبقه کاربری بادشکن به بخش پوشش-گیاهی تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از لندست ۸ مربوط به ماه آوریل تحت فرمان همپوشانی^۲ اضافه گردید و نقشه کاربری اراضی استخراج شد.

برآورد صحت نقشه‌های پوشش اراضی

پس از تولید نقشه‌های پوشش اراضی، عملیات ارزیابی صحت با محاسبه ماتریس خطا صورت پذیرفت. نقاط کنترل زمینی به طور تصادفی از طریق بازدید میدانی،

^۲ Overlay^۱ Fusion

پوشش اراضی در آن‌ها تغییر نموده است، مشخص می‌گردد. در نهایت، شش حالت در تغییرات پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه، بعد از گذشت ۲۲ سال به‌صورت، پیکسل‌های ثابت کشاورزی به کشاورزی، بدون پوشش به بدون پوشش و پیکسل‌های متغیر شامل تبدیل اراضی بدون پوشش به کشاورزی، اراضی کشاورزی به بادشکن، اراضی بدون پوشش به بادشکن و اراضی کشاورزی به مناطق بدون پوشش مشاهده گردید.

در روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی، تصاویر مربوط به زمان‌های متفاوت به‌طور مجزا طبقه‌بندی و کدگذاری و با مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی، سطح تغییرات مشخص شد. این روش می‌تواند به‌عنوان راهی میان‌بر برای غلبه بر دشواری‌های حاصل از بررسی تغییرات در آنالیز تصاویر بدست آمده از زمان‌های متفاوت و یا با سنجنده‌های مختلف در نظر گرفته شود (لونت و دی‌الویج، ۱۹۹۹). از دیگر مزایای استفاده از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی می‌توان به حداقل کردن اثرات اتمسفری و تفاوت‌های سنجنده و اختلافات محیطی بین تصاویر چند زمانه و فراهم نمودن ماتریس کاملی از تغییرات اشاره نمود، در حالی‌که حساسیت زیاد به صحت طبقه‌بندی‌های جداگانه برای هر تصویر از نقاط ضعف این روش می‌باشد (لو و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاستلنا و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین، در صورتی‌که تصاویر طبقه‌بندی شده دارای صحت زیاد و قابل قبول باشند، اجازه استفاده از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی برای ارزیابی تغییرات داده می‌شود (کاستلنا و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج

نقشه پوشش اراضی

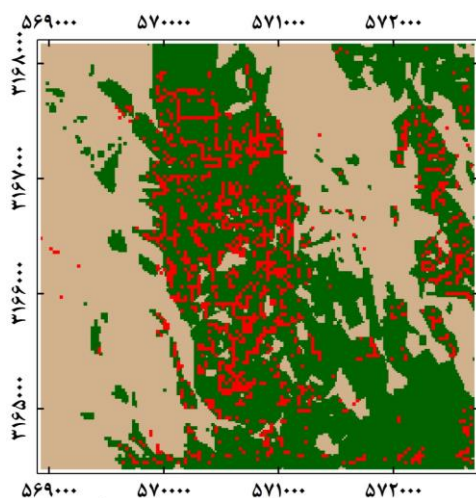
نقشه پوشش اراضی حاصل از تصویر سنجنده TM شامل اراضی بدون پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی (شکل ۲ الف) و نقشه پوشش اراضی حاصل از سنجنده لندست ۸ شامل سه طبقه اراضی کشاورزی، بادشکن درختی و مناطق بدون پوشش (شکل ۲ ب) با صحت قابل قبول ارائه گردید (جدول ۲). برطبق نتایج

نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصویر گوگل ارث به عنوان داده‌های مرجع برداشت گردید. صحت کلی، ضریب کاپا، خطای حذف، خطای اضافه، صحت کاربر و صحت تولیدکننده برای هر یک از نقشه‌های تولیدی محاسبه شد. برطبق بررسی‌های به‌عمل آمده، تعداد نقاط کنترلی مورد نیاز برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی حداقل ۵۰ عدد است که این میزان نسبت به وسعت و اهمیت کاربری موردنظر قابل تغییر می‌باشد (لیلسند و کیفر، ۲۰۰۰). در بررسی حاضر، با توجه به هم‌زمانی تصویر ماهواره لندست ۸ با زمان انجام پژوهش، عملیات میدانی با استفاده از سامانه GPS در منطقه مطالعاتی انجام و ۱۲۹ نقطه کنترلی به‌صورت تصادفی برداشت گردید. در نقشه حاصل از سنجنده TM، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی موجود دارای فاصله زمانی نزدیک به سال نقشه کاربری تهیه شده، ۱۰۷ نقطه کنترلی به‌صورت تصادفی استخراج شد.

استخراج و تهیه نقشه تغییرات اراضی کشاورزی

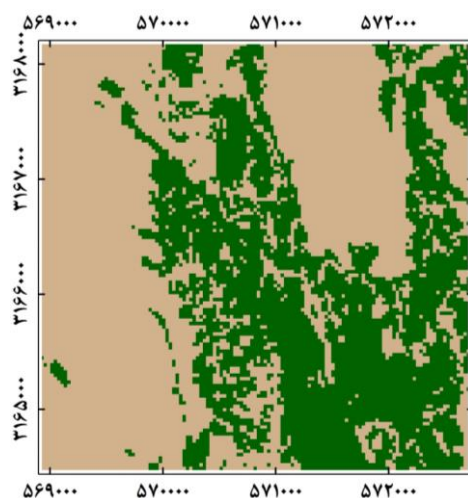
به‌منظور آشکارسازی تغییرات سطح اراضی کشاورزی، عملیات شناسایی تغییرات به روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی انجام شد. این روش بر مبنای تفریق نقشه تولیدی پوشش اراضی سال ۱۹۹۲ از نقشه تولیدی سال ۲۰۱۴ عمل می‌نماید؛ بنابراین در خروجی نقشه نهایی، سه مقدار متمایز یک، صفر و منهای یک ارائه می‌گردد. این مقادیر بیانگر تغییرات ثابت، افزوده و یا کاهش یافته در دوره مورد مطالعه است. به‌طوری‌که ارزش یک نشان‌دهنده تغییرات پوشش اضافه شده، ارزش منهای یک نشان‌دهنده پوشش حذف شده از منطقه و ارزش صفر، نمایانگر مناطق بدون تغییر در پوشش اراضی می‌باشند. در شکل (۳) مجموع تغییرات رخ داده شده در طی ۲۲ سال بررسی تغییرات، با مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه‌های حاصل از دو زمان مورد بررسی با بهره‌گیری از نرم افزار IDRISI، ارائه شده است. در مقایسه پیکسل‌های دو نقشه مذکور، پیکسل‌هایی که پوشش اراضی در آن‌ها ثابت مانده و یا

احداث بادشکن‌های درختی، سطح تولید منطقه با افزایش سطح زیر کشت، افزایش یافته است.



(ب)

بدست آمده، در طی ۲۲ سال گذشته، سطح اراضی کشاورزی افزایش یافته است. این درحالی است که با



(الف)

متر ۰ ۵۰۰ ۱۰۰۰ ۲۰۰۰
بادشکن درختی اراضی بدون پوشش اراضی کشاورزی

شکل ۲- نقشه پوشش اراضی حاصل از سنجنده TM (۱۹۹۲) (الف) و OLI_landsat8 (۲۰۱۴) (ب) با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده

در جدول (۲) مقدار خطای اضافه که طبق تعریف، طبقه بندی ناصحیح پیکسل‌ها در کلاسی است که واقعاً به آن تعلق ندارند و همچنین مقدار خطای حذف که مربوط به پیکسل‌هایی است که به کلاس معین تعلق دارند ولی جزء آن کلاس طبقه بندی نشده‌اند، ارائه گردیده است. در کاربری اراضی کشاورزی حاصل از تصویر سنجنده OLI لندست ۸، مقدار خطای اضافه ۱۵/۲۲ درصد و خطای حذف ۱۱/۳۶ درصد است که نشان‌دهنده طبقه بندی نادرست آن در کاربری اراضی بدون پوشش و کاربری پوشش درختی است. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود شباهت‌های طیفی کاربری‌های کشاورزی و پوشش درختی با یکدیگر باشد.

مقادیر شاخص NDVI در دامنه عددی ۱- و +۱ قرار گرفته است و هرچه این شاخص به سمت یک متمایل شود بیانگر حضور پوشش گیاهی متراکم است. ابرها، برف و آب در شاخص NDVI با مقادیر منفی مشخص می‌شوند و سنگ و اراضی بایر دارای مقادیر نزدیک به صفر هستند. هر اندازه فاصله شاخص یک پیکسل از میزان اندازه خاک بیشتر باشد، تراکم بیشتر پوشش گیاهی را در آن منطقه نشان داده و از نظر بصری پیکسل‌های تشکیل دهنده آن روشنایی بیشتری را دارند (کاسترو و دو آمارال، ۲۰۱۷).

صحت نقشه‌های تولیدی در تصاویر TM و لندست ۸ به ترتیب ۹۱/۶٪ و ۹۰/۷٪ و ضریب کاپای کلی به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۶ برآورد گردید (جدول ۲). همچنین

جدول ۲- مساحت پوشش اراضی حاصل از آنالیز داده‌های سنجنده‌های مختلف

پوشش اراضی	اراضی کشاورزی	اراضی بدون پوشش	بادشکن درختی	کاپای کلی
تصویر	TM-۱۹۹۲			
مساحت (ha)	۵۵۵/۵۶	۸۴۴/۹۴	-	-
مساحت (%)	۳۹/۷	۶۰/۳	-	-
صحت کاربر (%)	۹۱/۸۴	۹۱/۳۸	-	۰/۸۳
صحت تولیدکننده (%)	۹۰	۹۲/۹۸	-	-
خطای حذف (%)	۱۰	۷/۰۲	-	-
خطای اضافه (%)	۸/۱۶	۸/۶۲	-	صحت کلی
ضریب کاپا	۰/۸۵	۰/۸۲	-	%۹۱/۶
تصویر	OLI_Landsat8-۲۰۱۴			
مساحت (ha)	۶۱۲/۳۶	۶۵۹/۵۷	۱۲۸/۵۷	کاپای کلی
مساحت (%)	۴۳/۷	۴۷/۱	۹/۲	-
صحت کاربر (%)	۸۴/۷۸	۹۳/۵۵	۹۴/۲۳	۰/۸۶
صحت تولیدکننده (%)	۸۸/۶۴	۸۷/۸۸	۹۴/۲۳	-
خطای حذف (%)	۱۱/۳۶	۱۲/۱۲	۵/۷۷	-
خطای اضافه (%)	۱۵/۲۲	۶/۴۵	۵/۷۷	صحت کلی
ضریب کاپا	۰/۷۷	۰/۹۱	۰/۹۰	%۹۰/۷

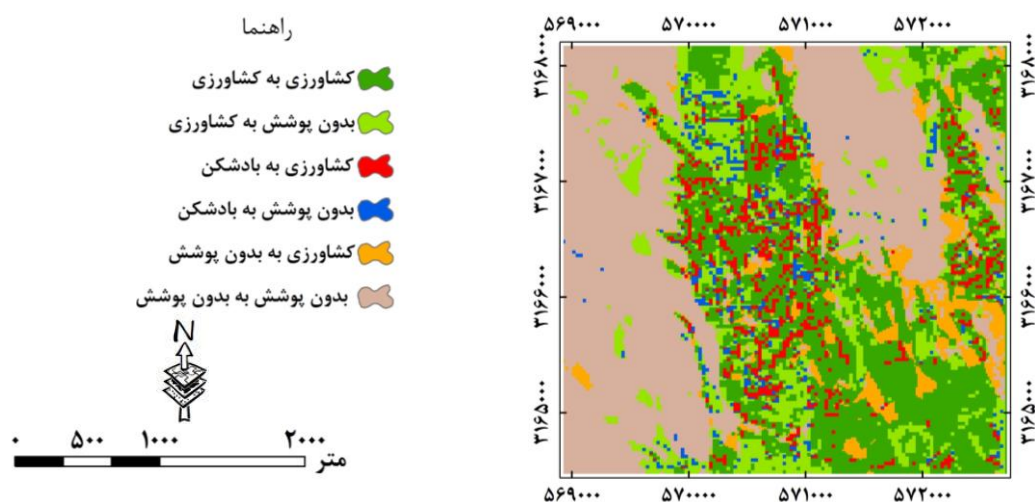
همان‌گونه که ضریب کاپای مربوط به بادشکن-های درختی نشان می‌دهد (جدول ۲)، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با زمان مناسب، یعنی زمانی که منطقه فاقد پوشش زراعی بر روی اراضی است، نقش مؤثری در تفکیک بهتر پوشش درختی از سایر پوشش‌های گیاهی خواهد داشت. بر این اساس تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط نیز قادر به تفکیک پوشش درختی از پوشش‌های زراعی می‌باشند.

آشکارسازی تغییرات

تغییرات پوشش اراضی منطقه مطالعاتی در ۲۲ سال گذشته

نتایج حاصل از شناسایی تغییرات پوشش اراضی در طی دوره مطالعاتی بیانگر افزایش سطح درونی و بیرونی اراضی کشاورزی است. هرچند که بخشی از سطح اراضی کشاورزی توسط بادشکن‌های درختی اشغال

گردیده است با این وجود بادشکن‌های درختی نیز به-عنوان پوشش گیاهی به‌شمار آمده و فضای بین درختان نیز تحت تأثیر سیستم آگروفرستری به‌کار رفته در منطقه، توسط پوشش‌های زراعی اشغال شده است؛ بنابراین در مجموع افزایش سطح اراضی تحت کشت در منطقه مشاهده گردید (شکل ۳)، این در حالی است که در سال ۱۹۹۲، بادشکن‌های درختی در منطقه وجود نداشته و تمامی سطح توسط پوشش زراعی اشغال شده بود (شکل ۲). سطح اراضی زراعی با مساحت ۵۵۶ هکتار در سال ۱۹۹۲ به ۶۱۲ هکتار در سال ۲۰۱۴ رسید. مجموع سطح پوشش درختی و پوشش زراعی، در قالب سطح اراضی کشاورزی منطقه، ۷۴۱ هکتار بود؛ بنابراین، در طی ۲۲ سال مطالعاتی، ۱۸۵ هکتار بر سطح اراضی کشاورزی منطقه افزوده شد. در جدول (۳) سطح تغییرات کاربری-های اراضی منطقه مطالعاتی ارائه شده است.



شکل ۳- تغییرات پوشش اراضی در طی دوره مطالعاتی (۱۹۹۲-۲۰۱۴)

جدول ۳- تغییرات مساحتی کاربری‌های اراضی منطقه مطالعاتی در طی دوره ۲۲ ساله			
تغییرات کاربری	مساحت تغییرات (ha)	درصد سطح تغییرات	روند تغییرات کاربری
اراضی کشاورزی ← اراضی کشاورزی	۳۸۵/۳۳	۶۹/۳۶	بدون تغییر
اراضی بدون پوشش ← اراضی کشاورزی	۲۲۷/۰۳	۲۶/۹	افزایش پوشش گیاهی
اراضی کشاورزی ← بادشکن درختی	۸۵/۵۵	۱۵/۴	تغییر در نوع پوشش گیاهی
اراضی بدون پوشش ← بادشکن درختی	۴۳/۰۲	۵/۱	افزایش پوشش گیاهی
اراضی کشاورزی ← اراضی بدون پوشش	۸۴/۶۷	۱۵/۲۴	کاهش پوشش گیاهی
اراضی بدون پوشش ← اراضی بدون پوشش	۵۷۴/۹	۶۸	بدون تغییر

پیشنهادات ترویجی

در پژوهش حاضر، میزان تغییرات سطح زیر کشت اراضی زراعی، در زمان قبل و بعد از بکارگیری سیستم آگروفرستری در قالب احداث بادشکن‌های درختی در شهرستان جیرفت، با استفاده از پایش تصاویر ماهواره‌ای، بررسی گردید. بر طبق نتایج به دست آمده ۵/۱٪ از اراضی بدون پوشش و ۱۵/۴٪ از اراضی کشاورزی، برای احداث بادشکن درختی اشغال شده است و ۲۶/۹٪ از اراضی بدون پوشش تبدیل به اراضی کشاورزی شده‌اند که با کسر ۱۵/۲۴٪ کاهش پوشش گیاهی و تبدیل این اراضی به اراضی بدون پوشش، در حدود ۱۱/۷٪ افزایش در سطح اراضی کشاورزی منطقه وجود دارد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تغییر کاربری اراضی در منطقه جیرفت بر روی اراضی کشاورزی است؛ به طوری که از وسعت اراضی بایر کاسته و به سطح

اراضی کشاورزی و مسکونی افزوده شده است (مظاهری و همکاران، ۱۳۹۲). به طوری که کنترل فرسایش بادی، حفاظت از خاک (امیری و خنامانی، ۱۳۹۳)، افزایش توان تولید و توان اکوسیستم‌های ایجاد شده در بهره‌برداری از شرایط محیطی، کشاورزان را به استفاده از این سیستم ترغیب نموده است.

از نتایج کاربردی مطالعات پایش تغییرات پوشش/کاربری اراضی، ارائه تغییرات مثبت و یا منفی یک منطقه در قالب نقشه‌های موضوعی است. ارائه نقشه‌های مذکور و تحلیل نتایج آن در اتخاذ تصمیمات کارآمد مدیریتی برای ترغیب و یا کنترل و کاهش فعالیت‌های موجود در یک منطقه، افزایش بهره‌وری و استفاده از پتانسیل‌های محدوده مطالعاتی و اشاعه نتایج مدیریتی آن در مناطق مشابه دیگر، گامی مهم و مؤثر است. در پژوهش حاضر، نقشه تغییرات پوشش اراضی نشان داد، با وجود اینکه بکارگیری سیستم آگروفرستری به صورت کاشت

درخت در اطراف مزارع، باعث گردیده تا بخشی از سطح اراضی کشاورزان توسط درختان اشغال گردد، اما بخش زیادی از اراضی بایر اطراف مزارع با بکارگیری سیستم مذکور و ایجاد شرایط مساعد، قابلیت کشت و تولید محصولات زراعی را یافته‌اند.

از مزایای بهره‌گیری از تکنیک‌های سنجش از دور در مطالعات پایش تغییرات پوشش و کاربری اراضی، صرفه‌جویی در هزینه، وقت و افزایش دقت، در سطوح وسیع مطالعاتی است. با این وجود، توجه به تأیید صحت نقشه‌های تولیدی، در ارزیابی نتایج به‌دست آمده نقش بسزایی دارد (مخدوم و همکاران، ۱۳۸۶؛ کاستلنا و همکاران، ۲۰۰۷). از اینرو، صحت بالای ۸۵٪ و ضریب کاپای بیش از ۸۲٪ در نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده برای پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی توصیه می‌گردد (مظاهری و همکاران، ۱۳۹۲).

از موانع تهیه نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی، تفکیک مناطق دارای ویژگی‌های طیفی مشابه مانند تفکیک انواع پوشش گیاهی و یا تفکیک اراضی بایر از اراضی آیش و بدون پوشش است؛ بنابراین، انتخاب زمان مناسب بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای، در تفکیک این پوشش و کاربری‌ها، اهمیت دارد. در پژوهش حاضر نیز، انتخاب تصاویر ماهواره‌ای در زمان مناسب، افزایش صحت و دقت تفکیک پوشش‌های زراعی و درختی را به همراه داشت.

در پژوهش حاضر، نقشه پوشش اراضی سال ۲۰۱۴، عملکرد مثبت سیستم اگروفرستری در مدیریت

بهینه اراضی و توسعه پایدار کشاورزی را نشان داد که موجب ترغیب بخش کشاورزی به استفاده از این سیستم شده است؛ با این وجود در اجرای این روش، لازم است که سطح سواد، دانش کشاورزی پایدار، تعداد نیروی کار خانوادگی، مشارکت اجتماعی، مالکیت خصوصی و نظام دام - زراعت (اگروفرستری)، به‌عنوان متغیرهای مثبت و تأثیرگذار بر کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد. در پایان پیشنهاد می‌گردد که: برای بررسی بهتر عملکرد سیستم اگروفرستری در شهرستان جیرفت، آماربرداری از نوع محصولات زیرکشت و میزان تولید سطح زیرکشت برای تعیین تولید خالص و میزان مازاد محصولات کشاورزی این منطقه انجام پذیرد. با توجه به کاهش نزولات جوی و بروز خشکسالی‌های طولانی مدت کشور و در نتیجه، افزایش سطح برداشت آب‌های زیرزمینی در طی سال‌های اخیر، روش‌های نوین در آبیاری، تغییرات مناسب در الگوی کشت در کنار بهره‌گیری از سیستم اگروفرستری توصیه می‌گردد.

به‌منظور احداث بادشکن در اطراف اراضی زراعی، استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برای تعیین مناسب‌ترین جهت‌ها و ردیف‌های درختی و در ادامه، تعیین مناسب نوع گونه درختی، متناسب با شرایط منطقه مورد اجرا، پیشنهاد می‌گردد تا بدین وسیله، علاوه بر افزایش دقت، در زمان، در هزینه بررسی مطالعات، در سطوح وسیع نیز صرفه‌جویی به عمل آید.

فهرست منابع

۱. امیرنژاد، ح.، عمویی، ع. و مجاوریان، س. م. ۱۳۹۸. پیامدهای تغییر اقلیم در کشاورزی و ارتباط آن با رانت شالیکاران (مطالعه موردی استان مازندران). فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱۱(۴۱): ۱۴۸-۱۳۱.
۲. امیری، ا. و خنامانی، ع. ۱۳۹۳. نقش اگروفرستری در مناطق خشک با تأکید بر بادشکن زنده (مطالعه موردی: منطقه جیرفت). اولین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی، دانشگاه جیرفت.

۳. امیری، ا. و درینی، ج. ۱۳۹۳. شناسایی و ثبت سیستم‌های آگروفارستری موجود در منطقه جیرفت. اولین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی، دانشگاه جیرفت.
۴. رفیعیان، ا.، ع.ا. درویش صفت و م. نمیرانیان. ۱۳۸۵. تعیین تغییرات گستره جنگل‌های شمال کشور بین سال‌های ۷۳ تا ۸۰ با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ (مطالعه موردی در جنگل‌های بابل). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۳(ب)): ۲۷۷-۲۸۶.
۵. عادل‌ی ساردویی، م.، ب. حیاتی، ش. ظریفیان و س.د. حسینی نسب. ۱۳۹۰. عوامل مؤثر بر پایداری عملیات کشاورزی در شهرستان جیرفت (مطالعه موردی محصولات: پیاز، سیب زمینی و گوجه فرنگی). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۴): ۴۶۸-۴۵۹.
۶. گودرزیان، پ.، س.ی. عرفانی فرد و ح. صادقی. ۱۳۹۲. شناسایی و طبقه‌بندی سامانه‌های آگروفارستری موجود در استان فارس (مطالعه موردی: شهرستان کازرون). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۱): ۷۰-۵۵.
۷. متین خواه، س.ح. ۱۳۸۲. بررسی سیستم‌های موجود آگروفارستری و روشهای اصلاح آن در زاگرس (مطالعه موردی در استان کهگیلویه و بویراحمد). رساله دکتری جنگلداری. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، ۴۰۳ صفحه.
۸. محمدیاری، ف.، ح.ر. پورخباز، م. توکلی و ح. اقدر. ۱۳۹۳. تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان). فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۳(۹۲): ۳۴-۲۳.
۹. مخدوم، م.، درویش صفت، ع. ا.، جعفرزاده، ه. و مخدوم، ع. ۱۳۸۶، ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، انتشارات دانشگاه تهران.
۱۰. مظاهری، م.ر.، م. اسفندیاری، م.ح. مسیح آبادی و ا. کمالی. ۱۳۹۲. پایش تغییرات زمانی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: جیرفت، استان کرمان). کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۴(۲): ۳۹-۲۵.
11. Anonymous, 2010, Design Guidelines for Farmyard, Field, Roadside, Livestock, Wildlife, Riparian Buffer Plantings on the Prairies. Agriculture and Agri-Food Canada, Agri-Environment Services Branch, Agroforestry Development Centre, Shelterbelts , Her Majesty the Queen in Right of Canada.
12. Allison E W. 1989. Monitoring drought affected vegetation with AVHRR Digest, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4: 1965-1967.
13. Barkhordar, F., and Mohammadinejad, A. 2018. Factors Influencing Growth of Crop Production and Horticulture Subsectors in Iran. Agricultural Economics Research, 10(38), 15-32.
14. Brandle J.R., Hodges L., and Stuthman J. 1995. Windbreaks and specialty crops for greater profits .in Agroforestry and Sustainable Systems: Symposium Proceedings. R.W.J. (ed.). Editor. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rpt. RM-GTR-261. 81-91.
15. Brandle J.R., Hodges L., and Zhou X H. 2004. Windbreaks in North American Agricultural Systems, Agroforestry Systems, 61: 65-78.
16. Cable T. 1999. Nonagricultural benefits of windbreaks in Kansas. Great Plain Res, A J Nat Soc Sci, 417: 41-55.

17. Campi P., Palumbo A.D., and Mastroilli M. 2009. Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in Mediterranean environment, *Europ J. Agronomy*, 30: 220-227.
18. Campi P., Palumbo A.D., and Mastroilli M. 2012. Evapotranspiration estimation of crops protected by windbreak in a Mediterranean region, *Agricultural Water Management*, 104: 153-162.
19. Castellana L., D'Addabbo A., and Pasquariello G. 2007. A composed supervised_unsupervised approach to improve change detection from remote sensing, *Pattern Recognition Letters*, 28(4): 405-413.
20. Castro, A. L., and do Amaral, A. C. 2017. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis for evaluation of forest fires in the summer of 2016 in Portugal.
21. De Giusti, G., Kristjanson, P., and Rufino, M. C. 2019. Agroforestry as a climate change mitigation practice in smallholder farming: evidence from Kenya. *Climatic Change*, 153(3), 379-394.
22. Dollinger, J., and Jose, S. 2018. Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92(2), 213-219.
23. Ghimire K., Dulin M.W., Atchison R.L., Goodin D.G., and Hutchinson J.M.S. 2014. Identification of windbreaks in Kansas using object-based image analysis, GIS techniques and field survey, *Agroforest Syst* (Published online: 01 August 2014).
24. Juliev, M., Pulatov, A., Fuchs, S., and Hubl, J. 2019. Analysis of Land Use Land Cover Change Detection of Bostanlik District, Uzbekistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(5), 3235–3242.
25. Kort J. 1988. Benefits of windbreaks to field and forage crops., *Agric Ecosyst Environ* 22/23: 165-190.
26. Liknes G.C., Perry C.H., and Meneguzzo D.M. 2010. Assessing Tree Cover in Agricultural Landscapes Using High-Resolution Aerial Imagery, *Journal of Terrestrial Observation*, 2(1): 38-55.
27. Lillesand T.M., and Kiefer R.W. 2000. remote sensing and image interpretation. New York, John Wiley and Sons.
28. Lu D., Mausel P., Brondizio E., and Moran E. 2004. Change detection techniques, *INT. J. Remote Sensing*, 25(12): 2365–2407.
29. Lunetta R.s., and D.Elvidge C. 1999. Remote sensing change detection(Environmental Monitoring Methodes and Applications). Taylor & Francis Ltd.
30. Markwitz, C., Knohl, A., and Siebicke, L. 2018. Evapotranspiration over agroforestry systems in Germany and microclimatic effects. Paper presented at the 20th EGU General Assembly, Vienna, Austria.
31. Oliveira F.S.C., Kampel M., and Amaral S. 2008 .Multitemporal assessment of the geomorphologic evolution of the Restinga of Marambaia, Rio de Janeiro, Brazil, *International Journal of Remote Sensing*, 29: 5585-5594.
32. Pinho, R. C., Miller, R. P., and Alfaia, S. S. 2012. Agroforestry and the Improvement of Soil Fertility: A View from Amazonia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, 1-11.
33. Prasad R., and Mertia R.S. 2009. Tree windbreaks and their shelter benefits on farmland in arid region of western rajasthan, *Journal of soil and water conservation*, 8(4): 46-50.
34. Qiao C., Sun R., Xu Z., Zhang L., Liu L., Hao L., and Jiang G. 2015. A Study of Shelterbelt Transpiration and Cropland Evapotranspiration in an Irrigated Area in the Middle Reaches of the Heihe River in Northwestern China, *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, 12(2): 369-373.

35. Rizvi, R., Newaj, R., Karmakar, P. S., Saxena, A., and Dhyani, S. 2016. Remote Sensing Analysis of Agroforestry in Bathinda and Patiala Districts of Punjab using Sub-pixel Method and Medium Resolution Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44(4), 657–664.
36. Rong-xin D., Ying L., Shu-wen Z., Wen-juan W., and Xiao-liang S. 2011. Assessment of the effects of the shelterbelt on the soil temperature at regional scale based on MODIS data, *Journal of Forestry Research*, 22(1): 65–70.
37. Singh H.P., Kohli R.K., and Batish D.R. 1998. Effect of Poplar (*Populus deltoides*) shelterbelt on the growth and yield of wheat in Punjab, India, *Agroforestry Systems*, 40: 207-213.
38. Ucar T., and Hall F.R. 2001. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review., *Pest Management Science*, 57(8): 663-675.
39. Wenhui L., Jiaojun Z., Quanquan J., Xiao Z., Junsheng L., Xuedong L., and Lile H. 2014. Carbon Sequestration Effects of Shrublands in Three-North Shelterbelt Forest Region, China, *Chin. Geogra. Sci.*, 24(4): 444-453

بررسی حاصلخیزی خاک‌های تحت کشت گندم دشت قزوین و ارائه راهکارهای ترویجی

جعفر شهابی^۱

استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،
قزوین، ایران. Shahabifar1@yahoo.com

دریافت: شهریور ۱۳۹۷ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۸

چکیده

افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی به استفاده منطقی از کودهای شیمیایی وابسته است. شناخت جامع و دقیق حاصلخیزی خاک‌های تحت کشت از جمله ابزارهای مهم در این زمینه است. در این مقاله مروری به وضعیت حاصلخیزی خاک‌های تحت کشت گندم دشت قزوین پرداخته و برخی راهکارهای ترویجی برای بررسی چالش‌ها و محدودیت‌های مرتبط با تولید گندم ارائه می‌دهد. بدین منظور از ۴۳۱۲۰ داده‌های آزمایشگاهی مربوط به ۲۶۹۵ نمونه خاک استفاده شد. ۱۲ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک شامل: بافت، pH، آهک، هدایت الکتریکی، کربن آلی، فسفر، پتاسیم آهن، روی، مس، منگنز و بور قابل جذب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که خاک‌های تحت کشت گندم دشت قزوین دارای محدودیت‌های کمی از نظر شوری، پتاسیم قابل جذب، منگنز، مس و بور بوده، اما دارای محدودیت‌های شدید از نظر کربن آلی، روی و آهن هستند؛ به‌طوری‌که ۹۳/۵ درصد خاک‌های دشت کمتر از یک درصد کربن آلی دارند. حدود ۷۴ درصد اراضی تحت مطالعه دچار کمبود آهن و ۶۴ درصد کمبود روی می‌باشند. این نتایج نشان داد که وضعیت عناصر غذایی در گندمزارهای استان از نظر توزیع جغرافیایی یکسان نمی‌باشد. بنابراین لازم است جهت جلوگیری از افزایش هزینه تولید و دستیابی به عملکرد مطلوب توصیه بر اساس نیاز گیاه انجام و از مصرف یکسان کودهای شیمیایی در اراضی با کمبودهای متفاوت خودداری شود.

واژه‌های کلیدی: آهک، حاصلخیزی خاک، عناصر غذایی، عناصر کم مصرف

^۱ آدرس نویسنده: بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران.

مقدمه

حاصلخیزی خاک بیان‌کننده میزان توانایی و قابلیت خاک برای تأمین شرایط رشد پایا، بهینه و مطلوب گیاه است. در گذشته حاصلخیزی خاک، صرفاً برای تأمین نیاز عنصری نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده است. پس‌از آن اهمیت ماده آلی مورد توجه قرار گرفت و سرانجام بحث ریزمغذی‌ها مطرح شد (اسمیت، ۲۰۰۵).

بر اساس آمارهای موجود در بیش از ۶۰ درصد اراضی کشاورزی کشور میزان کربن آلی خاک کمتر از یک درصد می‌باشد درحالی که حد مطلوب کربن آلی خاک برای دستیابی به تولید پایدار بایستی ۲-۳ درصد باشد (طهرانی و همکاران، ۱۳۹۱). میزان ماده آلی خاک ارتباط مستقیمی با میزان عملکرد گیاه دارد به‌طوری‌که با افزایش هر یک درصد کربن آلی خاک، میزان افزایش تولید در کشورهای درحال توسعه می‌تواند ۵۰-۳۰ میلیون تن در سال افزایش یابد. وضعیت ماده آلی خاک در اکثر اراضی کشاورزی در حد بحرانی می‌باشد و توجه به این امر می‌تواند در افزایش پتانسیل تولید در اراضی کشاورزی سهم به‌سزایی داشته باشد. با توجه به اینکه اهمیت مواد آلی در کشاورزی بر هیچ‌کس پوشیده نیست ولی جهت دستیابی به مدیریت بهینه مواد آلی مشکلات مختلفی بر سر راه آن وجود دارد (سماوات، ۱۳۸۹).

ملکوتی (۲۰۰۶) در بررسی و تعیین درصد میزان عناصر غذایی بر اساس مطالعات انجام‌شده در ۳۰ کشور جهان گزارش داد که ۳۰ درصد خاک‌های کشورهای مورد مطالعه به نوعی به کمبود یک یا چند عنصر کم‌مصرف مبتلا هستند. در جمع‌بندی و میانگین‌گیری از درصد کمبود عناصر در خاک‌های کشورهای مذکور عدد ۳۱/۱ به دست آمد. کمترین حد منگنز در این خاک‌ها ۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. درحالی‌که در بسیاری از کشورهای جهان کمبود این عنصر رشد گیاهانی نظیر گندم، برنج، ذرت و بادام‌زمینی را دچار مشکل ساخته است. با اعلام حد بحرانی یک میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک برای منگنز به نظر می‌رسد این مقدار تا ۲-۳ برابر قابل‌افزایش باشد.

شارما و همکاران (۱۹۹۳) و تاکار و والکر (۱۹۹۳) در بررسی پراکنش عنصر روی در خاک‌های هند گزارش دادند که کمبود این عنصر در بیش از ۵۰ درصد خاک‌های ایالت پنجاب هند و ۳۸ درصد خاک‌های راجستان وجود دارد. ضیائیان (۱۳۷۸) اعلام کرد که در ایران گزارش کامل و مستندی از وضعیت و پراکندگی کمبود آهن در نباتات وجود ندارد؛ اما شواهد موجود حاکی از کمبود شدید آهن (بخصوص در درختان میوه) در اغلب استان‌های کشور است. زردی برگ ناشی از آهک شکل خاصی از کمبود این عنصر در گیاهان بوده که بخش وسیعی از کشور را فراگرفته است. استان‌های تهران، قزوین، خوزستان، خراسان، فارس، اصفهان و آذربایجان شرقی بیش از سایر مناطق دچار این مشکل هستند.

تاندون (۱۹۹۵) در بررسی وضعیت مس در خاک‌های مختلف زراعی نشان داد که کمبود این عنصر عمدتاً در خاک‌های شنی و خاک‌های شدیداً آهکی متداول است. همچنین ۳۰ درصد خاک‌های ایالت آکرا در هند با کمبود این عنصر مواجه شدند و با انجام بیش از ۲۵ آزمایش در ایالت بیهار دریافتند که پاسخ گیاهان به مس در ۶۰ درصد موارد مثبت بودند. چاخماق و همکاران (۱۹۹۶) بر اساس نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام‌یافته بر روی ۷۶ نمونه خاک، ۱۲۰ نمونه گندم و ۱۶ نمونه جو در ترکیه به این نتیجه رسیدند که ۹۲ درصد خاک‌ها و ۸۶ درصد نمونه‌های گیاهی که بین ماه‌های اردیبهشت تا خرداد برداشت شده بود دچار کمبود روی بودند. مورت و (۱۹۹۱) بر اساس مطالعات انجام‌یافته تخمین زده می‌شود که بیش از ۴/۸ میلیون هکتار و یا حدود پنج درصد اراضی تحت کشت در ۲۲ ایالت غرب رودخانه می‌سی‌سی‌پی گیاهان با کمبود آهن مواجه هستند. ۳۰ درصد از اراضی تحت کشت سویا در این ایالت با کمبود این عنصر مواجه هستند.

حاصلخیزی خاک‌های ایران توسط تعدادی از محققان مورد بررسی قرار گرفته (خادمی، ۱۳۸۴؛ شهبازی، ۱۳۸۶؛ طهرانی و همکاران، ۱۳۹۱) و نقشه‌های

نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر ذکرشده را GIS در محیط تهیه کردند.

بهپرا و همکاران (۲۰۱۸) برای مدیریت پایدار عناصر خاک، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های pH، EC، کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس، کلسیم و منیزیم تبادلی، سولفور و بور را در بخشی از اراضی منطقه اندرها پرادش هندوستان به کمک روش زمین‌آماري کريجينگ معمولی بررسی کرده و نقشه‌های پراکنش مکانی این ویژگی‌ها را در محیط GIS به دست آوردند. روینسون و مترنیچت (۲۰۰۶) دقت روش کريجينگ را برای درون-یابی تأثیر خصوصیات فصلی پایدار خاک شامل: pH هدایت الکتریکی و درصد ماده آلی خاک بر روی تولید محصول مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با روش‌های وزن دهی، فاصله معکوس و نوارهای باریک مقایسه نمودند. در این تحقیق، روش کريجينگ بهترین نتایج را در مورد pH و هدایت الکتریکی نسبت به روش‌های دیگر نشان داده است.

کراوچنکو و بولاک (۱۹۹۹) نیز در تحقیق مشابهی در مورد فسفر و پتاسیم خاک در ۳۰ مزرعه بزرگ، گزارش نمودند که هرچند هر دو روش کريجينگ و وزن دهی فاصله معکوس نتایج قابل قبولی دارد؛ اما روش کريجينگ از برتری محسوسی نسبت به روش دیگر برخوردار است. نتایج مشابهی نیز با کربن آلی خاک، (کومار و لال، ۲۰۱۱) هدایت الکتریکی، اسیدیته و درصد کربنات کلسیم (عمران ۲۰۱۲) گزارش شده است. هدف از انجام این پژوهش بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های تحت کشت گندم اراضی استان قزوین با ارائه راهکارهای کاربردی و ترویجی برای گندم‌کاران استان است.

مواد و روش‌ها

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳ کیلومترمربع در حوزه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۵ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۶ دقیقه ۳۶ درجه و

حاصلخیزی برای بعضی از مناطق تهیه گردیده است (علی احيائي، ۱۳۸۰ و طهرانی و همکاران، ۱۳۹۰).

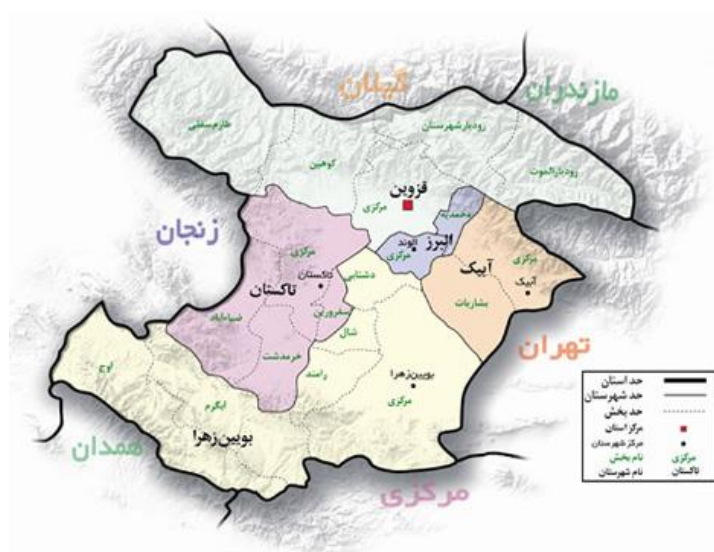
کريجينگ یک تخمین‌گر زمین‌آماري است که به دلیل واریانس نااریب و حداقل، در اغلب موارد به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نااریب شناخته شده است. بررسی‌های انجام‌شده نشان داده‌اند که روش کريجينگ با در نظر گرفتن ساختار و تغییرپذیری مکانی متغیرها از طریق نیم تغییرنما، نسبت به روش‌هایی همانند عکس فاصله وزن‌دار و اسپلین‌ها در اکثر شرایط برتری دارد. همچنین علاوه بر درون‌یابی و تخمین متغیر هدف، مقدار خطا را نیز برآورد می‌کند (روزماری و همکاران، ۲۰۱۷). اسمایل و جونوزی (۲۰۰۹) تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در مالزی با استفاده از روش‌های زمین‌آماري مورد بررسی قرار دادند. نقشه‌های تخمین این خاک‌ها نشان دادند که مناطقی که دارای کمبود نیتروژن می‌باشد در حالی که مقادیر فسفر و پتاسیم در حد کفایت است. آی‌شاه و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی خصوصیات شیمیایی خاک شالیزاری در مالزی پرداختند. نقشه‌های حاصل از روش کريجينگ نشان داد که بخش وسیعی از منطقه دارای نیتروژن اضافی است.

بوگانوویک و همکاران (۲۰۱۷) ویژگی‌های pH، ماده آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس را در اراضی شرق کرواسی با استفاده از روش زمین‌آماري کريجينگ معمولی پهنه‌بندی کردند. واسو و همکاران (۲۰۱۷) در منطقه دیکان هندوستان تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های pH، کربن آلی، ازت، پتاسیم، فسفر و سولفور را در جهت مدیریت مقادیر عناصر در مزرعه مورد مطالعه قرار دادند و ضمن تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این ویژگی‌ها با استفاده از روش کريجينگ معمولی در محیط GIS به کارآیی زمین‌آمار و GIS در ترسیم محیط نقشه‌های با دقت زیاد اشاره کرده‌اند.

رمضان و وانی (۲۰۱۸) در خاک‌های کشاورزی منطقه سرینگر در جامو و کشمیر، برای مدیریت بهینه استفاده عناصر کم‌مصرف شامل روی، مس، منگنز، آهن، نیکل، کادمیوم و سرب با استفاده از روش کريجينگ معمولی

می‌باشد. این استان در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده که به دلیل داشتن ارتفاعات متعدد و بارندگی‌های متوسط از نقاط معتدل کشور به شمار می‌آید (شکل ۱).

۴۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. این استان از سمت شمال به استان‌های گیلان و مازندران، از غرب به استان‌های زنجان و همدان، از سمت جنوب به استان مرکزی و از سمت شرق به استان البرز محدود



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان قزوین

توجه به سطح اراضی تحت کشت گندم آبی به شرح جدول ۱ تعیین شد. در این بررسی برخی از ویژگی‌های خاک‌ها شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (بویکوس، ۱۹۶۲)، pH خاک در گل اشباع (توماس، ۱۹۹۶)، هدایت الکتریکی (راول، ۱۹۹۴) کربنات کلسیم معادل به روش خشی‌سازی با اسیدکلریدریک به روش آلیسون و مودی (۱۹۶۵)، تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک ۲ نرمال (آنجیونونی و همکاران، ۱۹۹۶)، میزان کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (والکی و بلک، ۱۹۳۴)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (کائو، ۱۹۹۶)، غلظت عناصر کم‌نیاز در خاک به روش آزومتین H و با عصاره‌گیری DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی (علی‌احیایی، ۱۳۷۲) اندازه‌گیری شدند.

در این مطالعه برای بررسی وضعیت عناصر غذایی به همراه اسیدیته، کربنات کلسیم و بافت خاک اراضی کشاورزی دشت قزوین از ۴۳۱۲۰ داده تجزیه خاک استفاده شده است. این داده‌ها مربوط به ۲۶۹۵ نمونه خاک آزمایشگاه‌های خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان و بخش خصوصی در طی سالیان ۱۳۸۳-۱۳۹۳ بوده است. نمونه‌برداری خاک از نقاط مزبور از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری متری به صورت مرکب که هر نمونه متشکل از ۱۰ نمونه فرعی بود، تهیه شد. محل‌های نمونه‌برداری مکان‌هایی بودند که محصولات کشت گندم آبی استان در آن قرار گرفت. این مکان‌ها به تفکیک مناطق (شهرستان‌ها) تقسیم‌بندی و تعداد نمونه خاک هر منطقه با

جدول ۱- توزیع منطقه‌ای تعداد نمونه‌های خاک

منطقه	نمونه خاک
قزوین	۸۶۸
تاکستان	۲۰۴
بویین‌زهره	۹۲۶
آبیک	۶۹۷
کل دشت	۲۶۹۵

در دهه‌های اخیر، با پیشرفت نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای کامپیوتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پردازش و مدل‌سازی داده‌های مکانی افزایش یافته است. زمین‌آمار روشی مناسب برای توصیف متغیرهای منطقه‌ای باملاحظه پیچیدگی‌های آمار مکانی ارائه می‌کند. در زمین-آمار می‌توان یک رابطه رابین ارزش‌های کمی در جامعه نمونه، فواصل و جهت مکانی نمونه‌ها در ارتباط با یکدیگر توسعه داد. زمین‌آمار روشی است که خصوصیات خاک را در نقاط نمونه‌برداری نشده، با استفاده از اطلاعات نقاط نمونه‌برداری شده مجاور برآورد می‌کند؛ بنابراین زمین‌آمار در ترکیب با GIS می‌تواند ابزاری مناسب برای تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک باشد (اسدزاده و همکاران، ۲۰۱۲).

در تهیه نقشه‌های پراکنش عناصر غذایی در این مطالعه از روش کریجینگ با فواصل نقاط دو کیلومتر در دو کیلومتر استفاده شد و نقشه‌های پراکنش کربن آلی، آهن و روی تهیه و ترسیم گردید.

به منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای (مزرعه‌ای) به داده‌های مکانی می‌توان از قابلیت‌های زمین‌آمار^۲ استفاده نمود. زمین‌آمار شاخه‌ای از علم کاربردی است که با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده، است (حسنی‌پاک، ۱۳۹۲). روش‌های موجود در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مبتنی بر قوانین و روابط ریاضی-آمار امکان فراهم نمودن نقشه‌های پهنه‌بندی شده با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و روش‌های قطعی مانند معکوس وزنی، توابع پایه شعاعی یا اسپلاین و چند جمله‌ای‌های سراسری و محلی را فراهم نموده است (فرنیا و همکاران، ۱۳۹۷). روش‌های درون‌یابی در تخمین و تحلیل داده‌های اقلیمی در بررسی کاظمی و قربانی (۱۳۹۴)، زندکریمی و مختاری (۱۳۹۷) مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور بالابردن دقت در درون‌یابی داده‌های اقلیمی خسروی و

همکاران (۱۳۹۳)، نادى و همکاران (۱۳۹۱) به کارگیری متغیر کمکی ارتفاع را برای بهینه کردن روش‌های آماری مورد استفاده قرار دادند. علاوه بر درون‌یابی داده‌های اقلیمی، روش‌های ذکر شده بر روی داده‌های دیگر در تحقیقات متعددی اعمال شده از جمله آن‌ها کابوسی و مجیدی (۱۳۹۶) تاریخ‌های کاشت و برداشت و طول مراحل رشد گندم دیم استان گلستان را بر اساس داده‌های بارش و دما با استفاده از روش IDW پهنه‌بندی نمودند. نظری‌فر و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روش‌های پنمن مانیت و تورنت وایت تبخیر و تعرق گیاه در همدان را برآورد نمودند و با استفاده از مدل‌های کریجینگ، وزنی عکس فاصله و کوکریجینگ با بکارگیری متغیر کمکی ارتفاع با مشخص نمودن دوره‌های خشک، نرمال و تر توسط شاخص 3SPI تبخیر و تعرق را در مکان‌هایی که دسترسی به داده‌های هواشناسی مقدور نبود، تخمین زدند. آنان برای دوره‌های تر و نرمال در مزارع تحت آبیاری و دیم روش کریجینگ و در دوره‌های خشک برای مزارع دیم روش IDW و برای مزارع تحت آبیاری روش کریجینگ را مناسب معرفی نمودند. Mondal و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش رگرسیون کریجینگ اقدام به تخمین مواد آلی خاک در حوزه رودخانه Narmada هند نمودند.

محققین در این تحقیق از شاخص‌های روشنایی، سبزی‌نگی، رطوبت، NDVI، دمای گیاه، ترکیب شاخص-های توپوگرافی و شیب و مدل رقومی منطقه به عنوان متغیرهای کمکی استفاده نمودند. آنان ۱۲۰ نمونه خاک را مورد آنالیز قرار دادند. نتایج عملکرد مدل در واسنجی و اعتبارسنجی، مقادیر RMSE به ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۲۸ و مقادیر ME به ترتیب برابر ۰/۶۷ و ۰/۷۲ را نشان دادند. بررسی مطالعات انجام شده در خصوص قابلیت‌های زمین‌آمار نشان دهنده مزیت روش‌های مبتنی بر زمین‌آمار در تحلیل مکانی اطلاعات نقطه‌ای آن است که در صورت وجود همبستگی مکانی بین نقاط، استفاده از این روش‌ها و به کارگیری داده کمکی مناسب منجر به افزایش دقت

³ Standardized Precipitation Index² Geostatistics

کریجینگ عمومی (UK):^۵ روش کریجینگ

عمومی تلفیق روش کریجینگ معمولی با روند محلی است. بر اساس فرضیات نظریه تغییرپذیری ناحیه‌ای، تغییرات فضایی هر متغیر Z با جمع دو مؤلفه اصلی بیان می‌شود. اگر مکانی در یک فضای دو بعدی باشد Z در X به صورت رابطه ۳ بیان می‌شود:

$$z(x_0) = m(x) + \varepsilon(x) \quad (3)$$

که در آن:

$m(x)$ مؤلفه همبستگی فضایی است که به عنوان متغیر ناحیه‌ای $\xi(x)$ شناخته می‌شود (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۶).

کو کریجینگ (Co k):^۶ همان‌طور که در آمار

کلاسیک روش‌های چندمتغیره وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان از روش کوکریجینگ و بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف، برای تخمین استفاده نمود. این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیشتر تخمین‌ها گردد. از نظر تئوری کوکریجینگ با کریجینگ تفاوتی ندارد. سیستم معادلاتی کوکریجینگ را می‌توان به هر تعداد متغیر ثانویه تعمیم داد. با فرض وجود یک متغیر مکانی کمکی در کنار متغیر مکانی اصلی مقدار نامعلوم متغیر در نقطه برابر است که در تخمین گر کوکریجینگ به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵):

$$z^*(x_0) = \sum_{e=1}^n \lambda_e' \cdot x_0 \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot y(xk) \quad (4)$$

که در آن:

$z^*(x_0)$ مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_0 ، λ_i وزن مربوط به متغیر z ، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی y و $y(xk)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی می‌باشد.

ارزیابی روش‌های درونیابی: روش‌های مختلفی

برای بررسی اعتبارسنجی روش‌های درونیابی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها اعتبارسنجی متقاطع است. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای

تخمین خواهد شد و انتخاب روش مناسب وابسته به عوامل محیطی و متغیرهای مورد استفاده در منطقه مطالعاتی دارد.

کریجینگ: کریجینگ روش درونیابی پیشرفته-

ای است که با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد کمیت مجهول به دست می‌آید. در روش‌های زمین آمار اطلاعات موقعیت مکانی داده‌ها نیز در محاسبات وارد می‌گردد و سعی می‌شود تا رابطه‌ای به صورت یک مدل ریاضی ارائه شود تا از این طریق بتوان تغییرپذیری را شبیه‌سازی نمود؛ بنابراین می‌توان برای آن‌ها همبستگی مکانی را تعریف نمود که یکی از ابزارهای بررسی نیم تغییرنا می‌باشد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵). این روش بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول خطای مرتبط با آن تخمین را نیز حساب می‌کند؛ بنابراین می‌توان فاصله اطمینان تخمین را برای هر مقدار برآورد شده توسط رابطه ۱ محاسبه کرد (فرنیا و همکاران، ۱۳۹۷).

$$z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i z(x_i)] \quad (1)$$

که در آن:

$z^*(x_i)$ مقدار برآورد در نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر $Z(x_i)$ و مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

کریجینگ معمولی (OK):^۴ این روش، تخمین-

گری است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. برآورد مقدار Z در نقطه x_0 به وسیله این روش به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود:

$$Z_{ok}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

در این معادله:

$z^*(x_0)$ و λ_i به ترتیب تخمین متغیر در نقطه x_0 و وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i و n نیز تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ است (حسنی‌پاک، ۱۳۹۲).

⁶ Co Kriging

⁴ Ordinary Kriging

⁵ Universal kriging

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}}{n} \quad (7)$$

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}}{Z(x_i)} \right| \quad (8)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i)) (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))^2 \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i))^2}} \quad (9)$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصله از داده‌های آزمایشگاهی پراکنش عناصر غذایی و وضعیت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق و بر اساس حدود بحرانی عناصر غذایی و نیز برخی مطالعات انجام‌شده در خاک‌های زراعی استان و حدود بحرانی عناصر غذایی در خاک و دامنه‌های زیر در نظر گرفته شد (بلالی، ۱۳۸۴)

به وسیله روش‌های درونیابی تخمینی انجام می‌شود و سپس مقدار تخمین زده شده با مقدار مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در نهایت مدلی که کمترین مقدار خطا در تخمین داشته باشد به عنوان بهترین مدل شناخته می‌شود (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷). معیارهای اعتبارسنجی متقاطع که در این تحقیق استفاده شده عبارت است از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)^۷، میانگین انحراف مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)^۸، میانگین انحراف خطا (MBE)^۹ و میانگین خطای مطلق (MARE)^{۱۰} بین مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده، می‌باشد. روابط مربوط به معیارهای ارزیابی رابطه‌های ۵ تا ۹ می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad (5)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x_i)} \quad (6)$$

جدول ۲- ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه بر اساس دامنه تغییرات در نظر گرفته شده

ویژگی خاک	دامنه تغییرات
pH	$< 8, < 7, < 6, < 5$
آهک (درصد)	$< 5, < 10, < 15, < 20, < 25, < 30, < 35, < 40, < 45, < 50, < 55, < 60, < 65, < 70, < 75, < 80, < 85, < 90, < 95, < 100$
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	$< 2, < 4, < 6, < 8, < 10, < 12, < 14, < 16, < 18, < 20, < 22, < 24, < 26, < 28, < 30, < 32, < 34, < 36, < 38, < 40, < 42, < 44, < 46, < 48, < 50, < 52, < 54, < 56, < 58, < 60, < 62, < 64, < 66, < 68, < 70, < 72, < 74, < 76, < 78, < 80, < 82, < 84, < 86, < 88, < 90, < 92, < 94, < 96, < 98, < 100$
کربن آلی (درصد)	$< 0.5, < 1, < 1.5, < 2, < 2.5, < 3, < 3.5, < 4, < 4.5, < 5, < 5.5, < 6, < 6.5, < 7, < 7.5, < 8, < 8.5, < 9, < 9.5, < 10, < 10.5, < 11, < 11.5, < 12, < 12.5, < 13, < 13.5, < 14, < 14.5, < 15, < 15.5, < 16, < 16.5, < 17, < 17.5, < 18, < 18.5, < 19, < 19.5, < 20, < 20.5, < 21, < 21.5, < 22, < 22.5, < 23, < 23.5, < 24, < 24.5, < 25, < 25.5, < 26, < 26.5, < 27, < 27.5, < 28, < 28.5, < 29, < 29.5, < 30, < 30.5, < 31, < 31.5, < 32, < 32.5, < 33, < 33.5, < 34, < 34.5, < 35, < 35.5, < 36, < 36.5, < 37, < 37.5, < 38, < 38.5, < 39, < 39.5, < 40, < 40.5, < 41, < 41.5, < 42, < 42.5, < 43, < 43.5, < 44, < 44.5, < 45, < 45.5, < 46, < 46.5, < 47, < 47.5, < 48, < 48.5, < 49, < 49.5, < 50, < 50.5, < 51, < 51.5, < 52, < 52.5, < 53, < 53.5, < 54, < 54.5, < 55, < 55.5, < 56, < 56.5, < 57, < 57.5, < 58, < 58.5, < 59, < 59.5, < 60, < 60.5, < 61, < 61.5, < 62, < 62.5, < 63, < 63.5, < 64, < 64.5, < 65, < 65.5, < 66, < 66.5, < 67, < 67.5, < 68, < 68.5, < 69, < 69.5, < 70, < 70.5, < 71, < 71.5, < 72, < 72.5, < 73, < 73.5, < 74, < 74.5, < 75, < 75.5, < 76, < 76.5, < 77, < 77.5, < 78, < 78.5, < 79, < 79.5, < 80, < 80.5, < 81, < 81.5, < 82, < 82.5, < 83, < 83.5, < 84, < 84.5, < 85, < 85.5, < 86, < 86.5, < 87, < 87.5, < 88, < 88.5, < 89, < 89.5, < 90, < 90.5, < 91, < 91.5, < 92, < 92.5, < 93, < 93.5, < 94, < 94.5, < 95, < 95.5, < 96, < 96.5, < 97, < 97.5, < 98, < 98.5, < 99, < 99.5, < 100$
فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 10, < 15, < 20, < 25, < 30, < 35, < 40, < 45, < 50, < 55, < 60, < 65, < 70, < 75, < 80, < 85, < 90, < 95, < 100$
پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 150, < 200, < 250, < 300, < 350, < 400, < 450, < 500, < 550, < 600, < 650, < 700, < 750, < 800, < 850, < 900, < 950, < 1000$
آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 10, < 15, < 20, < 25, < 30, < 35, < 40, < 45, < 50, < 55, < 60, < 65, < 70, < 75, < 80, < 85, < 90, < 95, < 100$
روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 1, < 2, < 3, < 4, < 5, < 6, < 7, < 8, < 9, < 10, < 11, < 12, < 13, < 14, < 15, < 16, < 17, < 18, < 19, < 20, < 21, < 22, < 23, < 24, < 25, < 26, < 27, < 28, < 29, < 30, < 31, < 32, < 33, < 34, < 35, < 36, < 37, < 38, < 39, < 40, < 41, < 42, < 43, < 44, < 45, < 46, < 47, < 48, < 49, < 50, < 51, < 52, < 53, < 54, < 55, < 56, < 57, < 58, < 59, < 60, < 61, < 62, < 63, < 64, < 65, < 66, < 67, < 68, < 69, < 70, < 71, < 72, < 73, < 74, < 75, < 76, < 77, < 78, < 79, < 80, < 81, < 82, < 83, < 84, < 85, < 86, < 87, < 88, < 89, < 90, < 91, < 92, < 93, < 94, < 95, < 96, < 97, < 98, < 99, < 100$
مس (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 1, < 2, < 3, < 4, < 5, < 6, < 7, < 8, < 9, < 10, < 11, < 12, < 13, < 14, < 15, < 16, < 17, < 18, < 19, < 20, < 21, < 22, < 23, < 24, < 25, < 26, < 27, < 28, < 29, < 30, < 31, < 32, < 33, < 34, < 35, < 36, < 37, < 38, < 39, < 40, < 41, < 42, < 43, < 44, < 45, < 46, < 47, < 48, < 49, < 50, < 51, < 52, < 53, < 54, < 55, < 56, < 57, < 58, < 59, < 60, < 61, < 62, < 63, < 64, < 65, < 66, < 67, < 68, < 69, < 70, < 71, < 72, < 73, < 74, < 75, < 76, < 77, < 78, < 79, < 80, < 81, < 82, < 83, < 84, < 85, < 86, < 87, < 88, < 89, < 90, < 91, < 92, < 93, < 94, < 95, < 96, < 97, < 98, < 99, < 100$
منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 10, < 15, < 20, < 25, < 30, < 35, < 40, < 45, < 50, < 55, < 60, < 65, < 70, < 75, < 80, < 85, < 90, < 95, < 100$
بور (میلی گرم بر کیلوگرم)	$< 1, < 2, < 3, < 4, < 5, < 6, < 7, < 8, < 9, < 10, < 11, < 12, < 13, < 14, < 15, < 16, < 17, < 18, < 19, < 20, < 21, < 22, < 23, < 24, < 25, < 26, < 27, < 28, < 29, < 30, < 31, < 32, < 33, < 34, < 35, < 36, < 37, < 38, < 39, < 40, < 41, < 42, < 43, < 44, < 45, < 46, < 47, < 48, < 49, < 50, < 51, < 52, < 53, < 54, < 55, < 56, < 57, < 58, < 59, < 60, < 61, < 62, < 63, < 64, < 65, < 66, < 67, < 68, < 69, < 70, < 71, < 72, < 73, < 74, < 75, < 76, < 77, < 78, < 79, < 80, < 81, < 82, < 83, < 84, < 85, < 86, < 87, < 88, < 89, < 90, < 91, < 92, < 93, < 94, < 95, < 96, < 97, < 98, < 99, < 100$

اسیدیته

اسیدیته (pH) یکی از مهم‌ترین خصوصیت شیمیایی خاک است؛ زیرا قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک توسط گیاه و بسیاری از واکنش‌های شیمیایی خاک از جمله اکسیداسیون و احیا به این ویژگی خاک بستگی دارد. با توجه به جدول ۳ بیش از ۷۸ درصد خاک‌های

دشت قزوین دارای pH هفت تا هشت بوده که نشان از قلیایی بودن خاک دارند. این در حالی است که به دلیل شرایط طبیعی تشکیل خاک در دشت اثری از خاک‌های اسیدی (pH کمتر از هفت) دیده نمی‌شود. با توجه به این بررسی ۱۰۰ درصد خاک‌های دشت حالت قلیایی (pH بیش از هفت) دارند.

⁹ Mean Bias Error

¹⁰ Mean Absolute Relative Error

⁷ Root Mean Square Error

⁸ Normalized Root Mean Square Error

جدول ۳- دامنه تغییرات اسیدیته خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه

نام منطقه	< 7	$7 \leq - < 8/0$	$\geq 8/0$
قزوین	۰	۸۲/۷	۱۷/۳
تاکستان	۰	۹۱/۱	۸/۹
بویین‌زهره	۰	۷۰/۲	۲۹/۸
آبیک	۰	۶۹/۵	۳۰/۵
کل دشت	۰	۷۸/۴	۲۱/۶

شوری

در بحث شوری خاک ملاک تشخیص خاک شور از غیر شور هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک کمتر از دو دسی زیمنس بر متر است. بر این اساس ۴۷/۱ درصد اراضی دشت در زمره خاک‌های غیر شور قرار می‌گیرند. این در حالی است که ۳۹/۴ درصد اراضی مشکل کمی از نظر شوری دارند (هدایت الکتریکی بین ۲-۴ دسی زیمنس بر متر). بیشترین سهم اراضی شور در دشت از آن منطقه بویین‌زهره بوده که در مقادیر هدایت الکتریکی بالاتر از ۴ دسی زیمنس بر متر به‌تنهایی ۲۸/۱ درصد خاک‌های تحت بررسی را شامل می‌شود (جدول ۴).

شوری خاک و آب آبیاری از جمله تهدیدهای مهم برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. یک خاک زمانی به‌عنوان خاک شور محسوب می‌گردد که میزان هدایت الکتریکی آن بیش از چهار دسی زیمنس بر متر باشد (USDA, 2008). مشکل شوری در ایران نه‌تنها مرتبط با خاک شور، بلکه با آب شور نیز هست. بر اساس آمار منتشره ۲۰ درصد اراضی کشور متأثر از شوری است (مؤمنی و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین از مجموع ۱۰۰ میلیارد متر مکعب منابع آب کشور حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب آن دارای شوری بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشند (شیعی، ۱۹۹۸).

جدول ۴- پراکنش هدایت الکتریکی خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	$< 2^*$	$2 \leq - < 4$	$4 \leq - < 8$	$8 \leq - < 16$	$16 \leq - < 32$	≥ 32
قزوین	۴۷/۵	۴۵/۰	۵/۰	۲/۵	۰	۰
تاکستان	۵۵/۹	۳۵/۷	۷/۴	۱/۰	۰	۰
بویین‌زهره	۲۸/۴	۴۳/۵	۲۲/۲	۴/۳	۱/۲	۰/۴
آبیک	۵۶/۶	۳۳/۲	۷/۳	۲/۵	۰/۴	۰
کل دشت	۴۷/۰	۳۹/۴	۱۰/۵	۲/۶	۰/۴	۰/۱

* دامنه هدایت الکتریکی بر حسب دسی زیمنس بر متر است

کربنات کلسیم معادل

کربنات کلسیم که در اینجا به عنوان درصد مواد خنثی شونده در خاک معرفی شده است، از ویژگی‌های مهم خاک بوده که نه‌تنها در تفسیر حاصلخیزی خاک از آن استفاده به عمل می‌آید، بلکه در طبقه‌بندی خاک‌ها نیز کاربرد دارد. به دلیل شرایط آهکی حاکم بر عمده خاک‌های کشور که دشت قزوین هم از آن مستثنی نیست، خاک‌های کشاورزی تحت تأثیر مقادیر آهک (کربنات کلسیم) هستند. بر اساس داده‌های جدول ۵ کلیه خاک‌های دشت

قزوین متأثر از مقادیر مختلف آهک بوده و دشت‌های تاکستان و بویین‌زهره در زمانی که این میزان کربنات کلسیم در مقادیر بالای ۱۵ درصد قرار گیرند، نسبت به سایر مناطق از میزان بیشتری برخوردار هستند. در این بررسی بیش از ۹۶ درصد اراضی دارای کربنات کلسیم بالای پنج درصد بوده که از این نظر متأثر از آهک هستند. در خاک‌های آهکی کانی‌های کربناتی به دلیل حلالیت نسبتاً بالا، واکنش‌پذیری و خاصیت قلیایی، به صورت بافر عمل کرده و اسیدیته اکثر خاک‌ها در محدوده ۷/۵ تا

۸/۵ قرار می‌گیرد؛ بنابراین کربنات‌ها نقش مهمی در فرآیندهای خاکسازی و واکنش‌های شیمیایی در این خاک‌ها بازی می‌کنند.

جدول ۵- پراکنش کربنات کلسیم خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	< ۵	۵ ≤ - < ۱۰	۱۰ ≤ - < ۱۵	۱۵ ≤ - < ۲۰	۲۰ ≤ - < ۳۰	≥ ۳۰
قزوین	۹/۶*	۵۱/۰	۲۷/۴	۱۰/۴	۱/۶	۰
تاکستان	۱/۵	۱۳/۲	۲۱/۸	۳۱/۷	۳۰/۳	۱/۵
بویین‌زهر	۰/۲	۷/۰	۱۴/۲	۴۴/۴	۳۲/۹	۱/۳
آبیک	۱/۸	۳۲/۹	۱۹/۳	۲۷/۲	۱۸/۸	۰
کل دشت	۳/۳	۲۶/۰	۲۰/۷	۲۸/۴	۲۰/۹	۰/۷

*دامنه پراکنش کربنات کلسیم برحسب درصد است

مواد آلی خاک

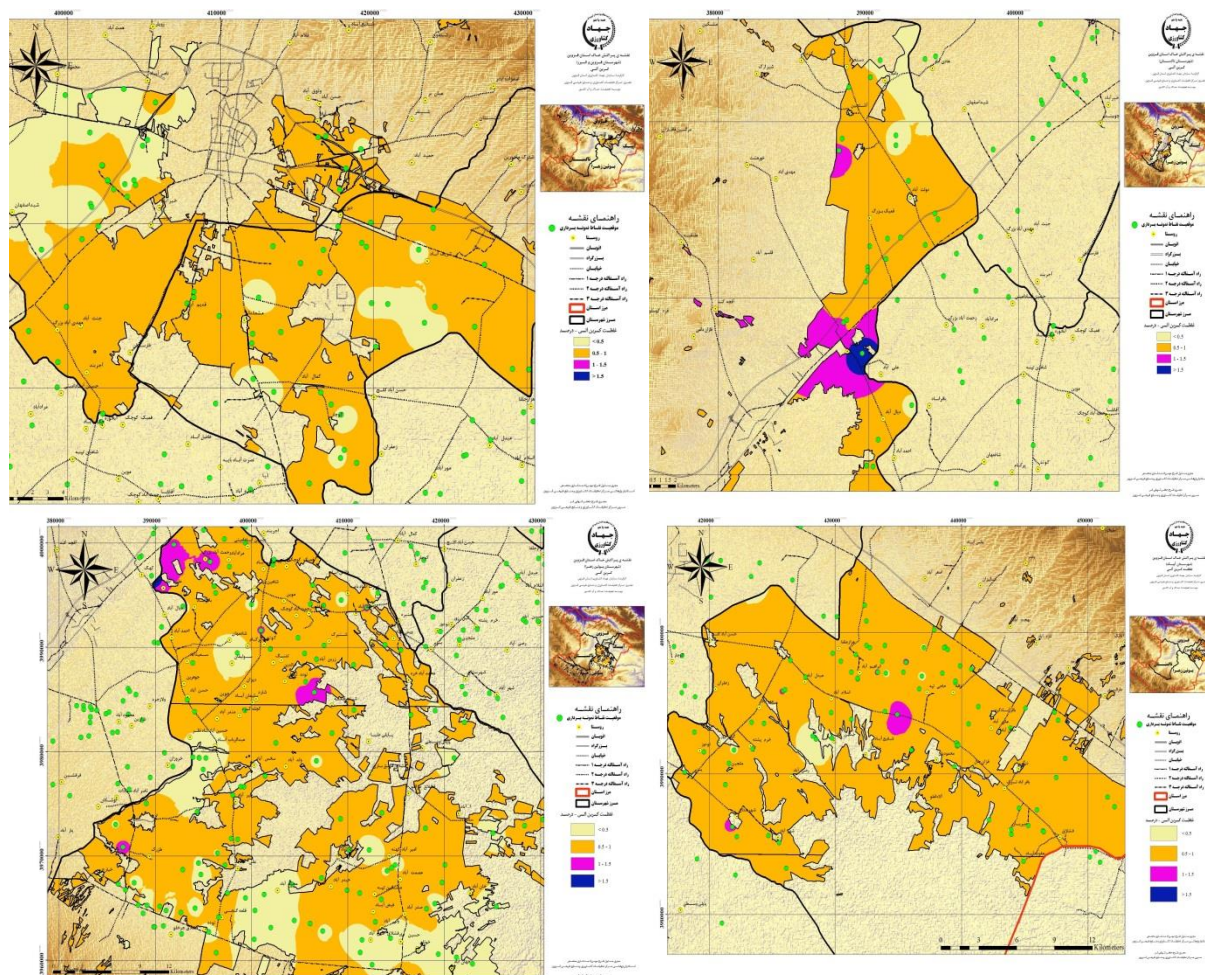
ماده آلی خاک شامل بقایای گیاهی و جانوری، سلول و بافت‌های جانداران خاک و مواد حاصل از ریشه و میکروب‌های خاک است. در بیشتر خاک‌ها ماده آلی خاک بین یک درصد (در صحراها) تا بیش از ۵۰ درصد وزنی در خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها) می‌باشد (باربر، ۱۹۸۴). ماده آلی خاک، قلب کشاورزی پایدار است. در کشاورزی پایدار تمرکز بر سیستمی است که در آن تولید پایدار و اقتصادی باشد. از این منظر خاک بایستی از قابلیت لازم برای بروز کارکردهای خوب خود برخوردار باشد. خاک به‌عنوان بستر تولید، زمینه رسیدن به چنین رویکردی را فراهم می‌کند. در این بین ماده آلی به این کارکردها کمک معنی‌داری می‌کند. به عبارتی ماده آلی یک از شاخص‌های مهم کیفیت خاک می‌باشد (استیونسون، ۱۹۹۴؛ آنون، ۱۹۸۲). در تفسیر ویژگی ماده آلی در خاک از

کربن آلی به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری استفاده می‌کنند. جدول ۶ توزیع اراضی کشاورزی را در دسته‌های مختلف کربن آلی در مناطق مختلف دشت قزوین نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود ۹۳/۵ درصد خاک‌های دشت کمتر از یک درصد کربن آلی دارند، این مسئله با توجه به اهمیت ماده آلی در تولید محصولات کشاورزی و محیط‌زیست می‌تواند چالشی مهم برای آینده کشاورزی استان قزوین باشد. عدم توجه به افزایش و نگهداری مواد آلی خاک می‌تواند در آینده نزدیک خسارات جبران‌ناپذیری به تولید پایدار کشاورزی وارد آورد. در شکل ۲ نقشه پراکنش کربن آلی در مناطق مختلف دشت نشان داده شده است. داده‌ها حاکی از کمبود شدید کربن آلی در اراضی تحت کشت گندم آبی است. به طوری که خاک‌های دارای کربن آلی کمتر از یک درصد بیش از ۹۰ درصد اراضی را شامل می‌گردد.

جدول ۶- پراکنش کربن آلی خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	< ۰/۵*	۰/۵ ≤ - < ۱	۱ ≤ - < ۱/۵	≥ ۱/۵
قزوین	۴۱/۵	۵۴/۲	۳/۶	۰/۷
تاکستان	۳۲/۶	۵۶/۹	۹/۲	۱/۳
بویین‌زهر	۴۵/۳	۴۸/۳	۵/۵	۰/۹
آبیک	۴۴/۸	۵۰/۲	۴/۸	۰/۲
کل دشت	۴۱/۱	۵۲/۴	۵/۸	۰/۷

*دامنه پراکنش کربن آلی برحسب درصد است



شکل ۲- پراکنش کربن آلی در مناطق دشت قزوین

فسفر و پتاسیم

جداول ۶ و ۷ وضعیت پراکنش فسفر و پتاسیم قابل جذب را در خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهند. فسفر و پتاسیم دو عنصر غذایی مهم در تولید محصول در شرایط خاک‌های آهکی هستند. درحالی که پراکنش فسفر در اراضی دشت‌های قزوین در محدوده‌های وسیع‌تری قرار دارد (جدول ۶)، اما پراکنش پتاسیم در دامنه‌های پایین (محدوده‌های کمتر از ۲۰۰ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک) کمتر بوده به‌طوری‌که اکثریت خاک‌های تحت بررسی از نظر میزان

پتاسیم قابل جذب بالا هستند (جدول ۷). چنانچه حد بحرانی فسفر در خاک به‌طور متوسط ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شود، حدود ۲۷ درصد اراضی دشت برای تولید گندم نیازی به استفاده از کودهای فسفوری ندارند. با در نظر گرفتن حد بحرانی ۲۰۰ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک بیش از ۹۵ درصد خاک‌های دشت نیازمند استفاده از کودهای حاوی پتاسیم نیستند. از نظر میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک‌های مناطق تحت بررسی منطقه قزوین بیشترین پراکنش فسفر بالا و منطقه بویین‌زهرا بیشترین پراکنش پتاسیم بالا را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۶- پراکنش فسفر قابل جذب خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	فسفر قابل جذب			
	≥ 15	$10 < \leq 15$	$5 < \leq 10$	
قزوین	۳۵/۱	۱۷/۲	۲۸/۱	۱۹/۶
تاکستان	۲۱/۱	۱۸/۷	۳۸/۷	۲۱/۵
بویین‌زهره	۲۰/۱	۳۱/۴	۳۳/۸	۱۴/۷
آبیک	۲۶/۷	۱۹/۶	۳۵/۴	۱۸/۳
کل دشت	۲۵/۹	۲۱/۸	۳۴/۰	۱۸/۳

جدول ۷- پراکنش پتاسیم قابل جذب خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	پتاسیم قابل جذب			
	≥ 300	$200 < \leq 300$	$150 < \leq 200$	
قزوین	۷۹/۷	۱۶/۷	۳/۲	۰/۴
تاکستان	۸۲/۲	۱۰/۸	۲/۷	۴/۳
بویین‌زهره	۸۳/۳	۱۴/۴	۱/۷	۰/۶
آبیک	۹۰/۲	۸/۷	۱/۰	۰/۱
کل دشت	۸۳/۹	۱۲/۷	۲/۱	۱/۳

آهن

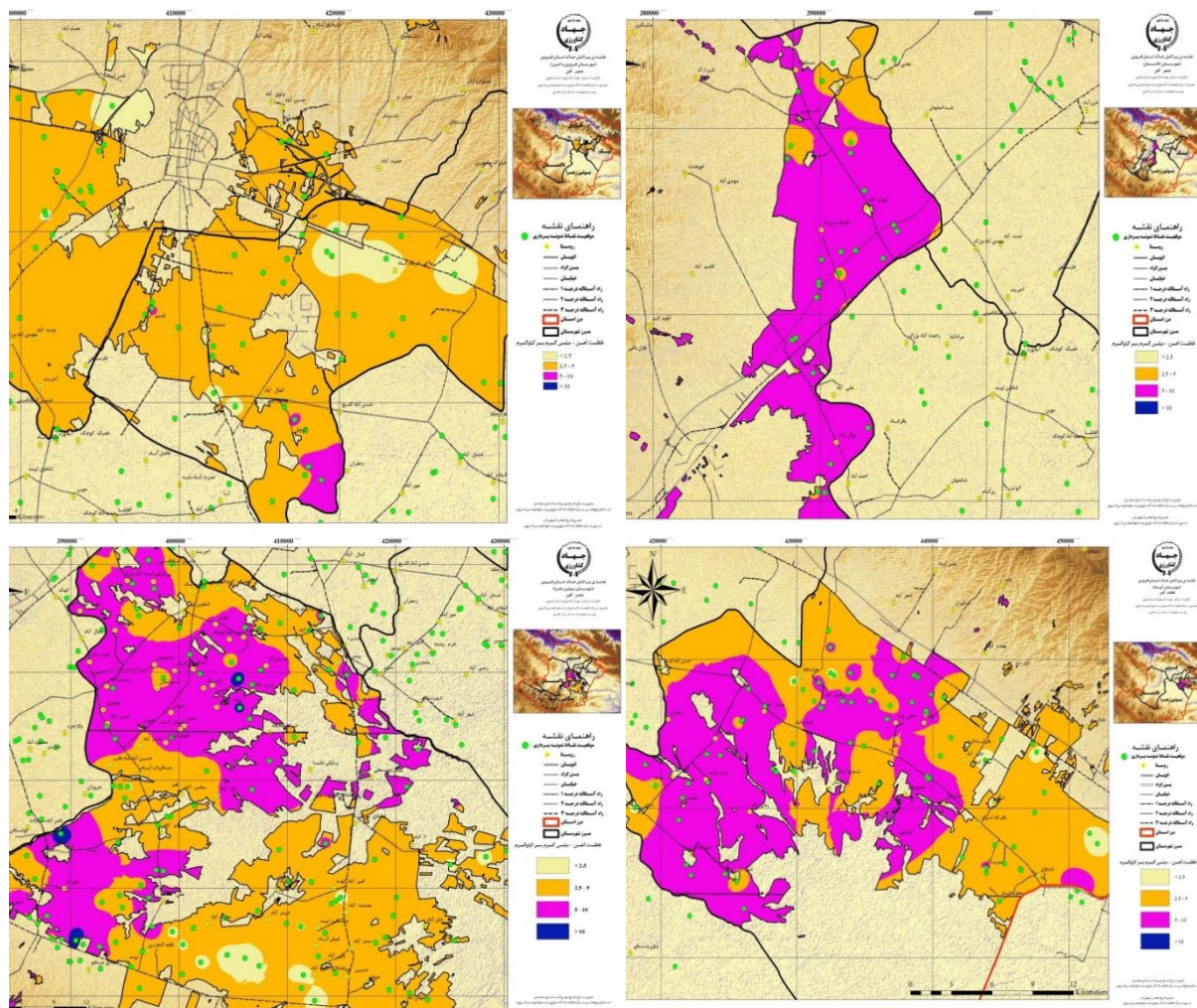
اراضی تحت مطالعه دچار کمبود آهن هستند. این کمبود ذاتی است یعنی اینکه خاک ذاتاً دچار کمبود آهن است. زمانی که شرایط آهن را در خاک در این مطالعه دخالت دهیم آنگاه کمبود آهن بیشتر جلب توجه می‌نماید. در بین مناطق مورد مطالعه قزوین و آبیک بیشترین کمبود این عنصر را نشان می‌دهند. نقشه پراکنش آهن در نقاط مختلف دشت قزوین در شکل ۳ نشان داده شده است. با در نظر گرفتن پنج میلی گرم بر کیلوگرم به عنوان حد بحرانی آهن قابل جذب در خاک، عمده مناطق تحت کشت گندم آبی استان دچار کمبود ذاتی این عنصر هستند.

در خاک‌های آهنی اندازه‌گیری آهن قابل جذب خاک با عصاره‌گیری خاک به روش DTPA تعیین می‌شود (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸). حدود بحرانی آهن قابل جذب خاک با این روش ۲/۵ تا ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمده است. در شرایط خاک‌های دشت قزوین با در نظر گرفتن کشت گندم به‌عنوان کشت غالب منطقه حد بحرانی آهن پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است. بر این اساس و با استناد به داده‌های جدول ۸ حدود ۷۴ درصد

جدول ۸- پراکنش آهن خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	≥ 10	$5 < \leq 10$	< 5	
قزوین	۰	۵	۹۵	
تاکستان	۰	۵۰	۵۰	
بویین‌زهره	۵	۳۱	۶۴	
آبیک	۲	۸	۹۰	
کل دشت	۱/۸	۲۳/۵	۷۴/۷	

*دامنه پراکنش آهن برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است



شکل ۳- نقشه پراکنش آهن در مناطق دشت قزوین

روی

قابل جذب بر کیلوگرم خاک تعیین شده است. بر این اساس و با استناد به داده‌های جدول ۹ حدود ۶۴ درصد خاک‌های مورد بررسی دچار کمبود ذاتی روی قابل جذب هستند. منطقه تاجکستان بیشترین تهدید از نظر کمبود روی بوده و حدود ۹۱ درصد اراضی این منطقه دچار کمبود این عنصر می‌باشند. پس از آن مناطق بوبین‌زهره و آبیک قرار دارند. تنها هشت درصد اراضی نیازمند استفاده از کودهای حاوی روی برای تولید محصولات کشاورزی نیستند.

در شرایط خاک‌های آهکی اندازه‌گیری روی قابل جذب خاک همانند آهن با عصاره‌گیری خاک به روش DTPA تعیین می‌شود. حدود بحرانی روی قابل جذب خاک با این روش ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده است (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸)؛ اما این حد با توجه به انجام پژوهش‌های انجام شده در استان یک میلی‌گرم روی

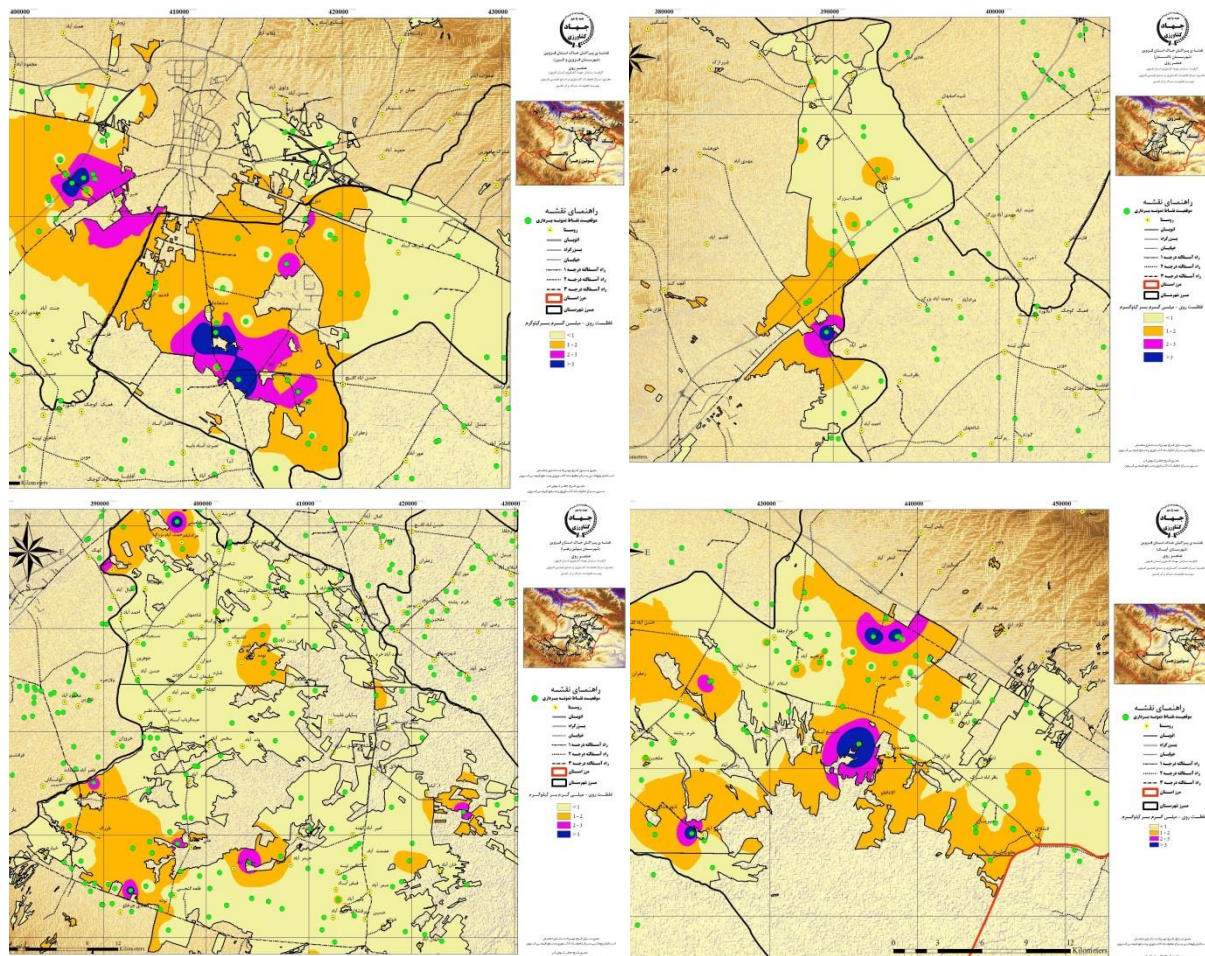
جدول ۹- پراکنش روی خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	* < ۱	۱ < - ۳	≥ ۳
قزوین	۲۰	۶۰	۲۰
تاجکستان	۹۰/۹	۶/۸	۲/۳
بوبین‌زهره	۷۵	۲۳	۲
آبیک	۷۲	۲۰	۸
کل دشت	۶۴/۵	۲۷/۵	۸/۰

* دامنه پراکنش روی برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است

۹۰ درصد اراضی تحت کشت گندم آبی در خاک‌های استان دچار کمبود ذاتی روی هستند.

در شکل ۴ پراکنش روی در نقاط مختلف دشت قزوین نشان داده شده است. با در نظر گرفتن حد بحرانی یک میلی گرم روی قابل جذب بر کیلوگرم خاک، بیش از



شکل ۴- نقشه پراکنش روی در مناطق دشت قزوین

اختصاص داده است، لذا کمبود این عنصر در شرایط خاک‌های دشت جدی به نظر نمی‌آید. با توجه به داده‌های جدول ۹ تنها حدود ۱۷ درصد خاک‌های دشت نیازمند استفاده از کودهای حاوی منگنز هستند. منطقه تاکستان از این نظر با دارا بودن ۵۰ درصد خاک‌های کمتر از پنج میلی گرم منگنز بر کیلوگرم خاک بیشترین کمبود را نشان می‌دهد.

منگنز

جدول ۱۰ وضعیت خاک‌های دشت قزوین را از نظر منگنز قابل جذب نشان می‌دهد. سطح بحرانی منگنز از ۱ تا ۴/۵ میلی گرم بر کیلوگرم این عنصر حکایت دارد. نظر به اینکه پراکنش منگنز در محدوده‌های بیش از پنج میلی گرم بر کیلوگرم (سطح بحرانی به دست آمده در خاک‌های دشت قزوین) حدود ۸۳ درصد را به خود

جدول ۱۰- پراکنش منگنز خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

نام منطقه	$< 5^*$	$5 \leq - < 10$	≥ 10
قزوین	۰	۴۵	۵۵
تاکستان	۵۰	۵۰	۰
بویین‌زهره	۵	۳۰	۶۵
آبیک	۱۴	۶۰	۲۶
کل دشت	۱۷/۳	۴۶/۲	۳۶/۵

* دامنه پراکنش روی برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است

مس و بور

بور از جمله عناصری است که حدود بحرانی، کفایت و بیش بود آن به هم نزدیک بوده لذا توصیه این عنصر به عنوان کود از دقت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار است. مناطق دارای خاک و آب‌شور معمولاً از نظر غلظت این عنصر بالا بوده و در این مناطق نیازی به استفاده از کودهای حاوی بور نیست. با توجه به اینکه عمده مناطق شور و لب‌شور دشت قزوین در منطقه بویین‌زهره واقع است، لذا خاک‌های این مناطق در بین سایر مناطق مورد بررسی از میزان بور قابل جذب بیشتری برخوردارند (جدول ۱۱). چنانچه حد بحرانی بور برای خاک‌های تحت

کشت گندم دشت قزوین یک میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شود، ۲۷ درصد اراضی دشت نیازمند استفاده از کود حاوی بور هستند و در بین آن‌ها منطقه قزوین از شدت نیاز بیشتری برخوردار است. مقادیر گزارش شده برای حد بحرانی مس از ۲/۰ تا ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم متفاوت می‌باشد. چنانچه سطح بحرانی مس را یک میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر بگیریم، حدود ۳۰ درصد خاک‌های اراضی دشت قزوین دارای مس کمتر از این رقم بوده و نیازمند استفاده از مس به عنوان عنصر غذایی ضروری برای تولید محصول هستند. بیشترین مقدار مس خاک در منطقه تاکستان دیده می‌شود (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- پراکنش بور و مس قابل جذب خاک‌های دشت قزوین به تفکیک مناطق مورد مطالعه (درصد)

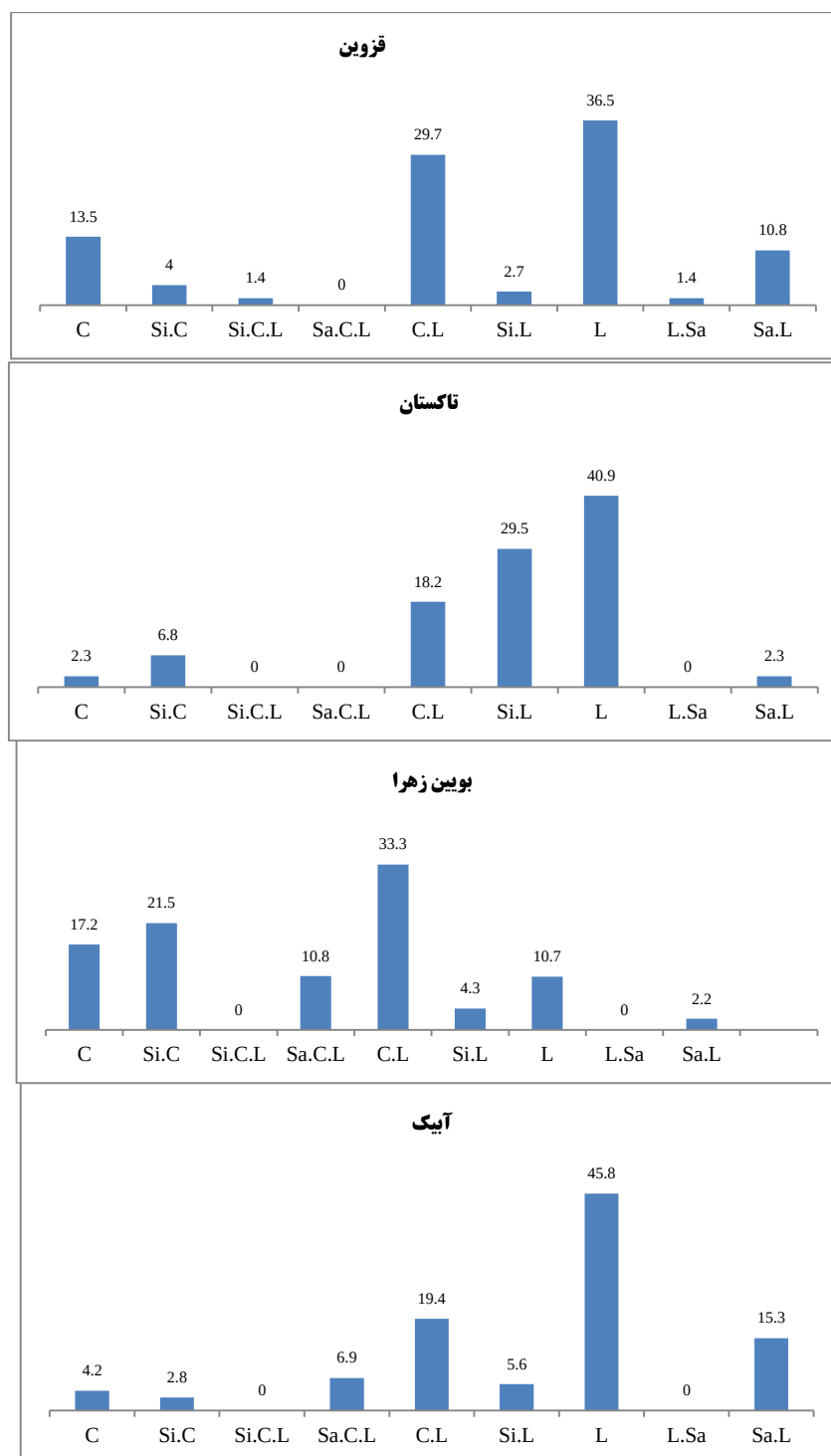
نام منطقه	بور قابل جذب			مس قابل جذب		
	$< 1^*$	$1 \leq - < 3$	≥ 3	< 1	$1 \leq - < 3$	≥ 3
قزوین	۵۰	۳۵	۱۵	۳۵	۴۰	۲۵
تاکستان	۹/۱	۷۷/۳	۱۳/۶	۱۸/۱	۸۱/۹	۰
بویین‌زهره	۱۱	۵۲	۳۷	۳۷	۶۲	۱
آبیک	۳۸	۵۰	۱۲	۳۲	۶۴	۴
کل دشت	۲۷/۰	۵۳/۶	۱۹/۴	۳۰/۵	۶۲/۰	۷/۵

* دامنه پراکنش بور و مس برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است

بافت خاک

بافت خاک مهم‌ترین ویژگی فیزیکی خاک است که بر تولید محصول و مدیریت مزرعه مؤثر است. گروه بافتی یک خاک با اندازه‌گیری درصد ذرات شن، سیلت و

رس تعیین می‌شود. در مناطق قزوین، تاکستان و آبیک بیشترین گروه بافتی خاک از نوع لوم بوده که به ترتیب ۳۶/۵، ۴۰/۹ و ۴۸/۵ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. گروه بافتی غالب در منطقه بویین‌زهره لوم رسی (C.L) بوده که ۳۳/۳ درصد اراضی را شامل می‌گردد (شکل ۲).



شکل ۵- پراکنش بافت خاک‌های مناطق مورد بررسی

نمود. بر پایه یافته‌های مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (مشیری و همکاران، ۱۳۹۳) و مستندات موجود در استان (شهابی فر، ۱۳۹۳) به شرح ذیل توصیه می‌شود:

پیشنهادهای ترویجی

وضعیت عناصر غذایی در گندم‌زارهای استان از نظر توزیع جغرافیایی یکسان نمی‌باشد. بنابراین لازم است جهت جلوگیری از افزایش هزینه تولید و دستیابی به تولید مطلوب از توصیه مصرف کود به‌طور یکسان خودداری

توصیه کاربرد کودهای پرمصرف

در مناطقی که میزان کربن آلی آن‌ها کمتر از ۰/۵ درصد است برای عملکردهای پایین (۳-۴ تن در هکتار) ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و برای عملکردهای متوسط (۵-۶ تن در هکتار) ۳۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و برای عملکردهای بالا (بیش از هفت تن در هکتار) ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در دوره رشد گندم مصرف گردد. در مناطقی که میزان کربن آلی آن‌ها بین ۰/۵ تا ۱ درصد است برای عملکردهای پایین ۲۱۰ کیلوگرم اوره در هکتار و برای عملکردهای متوسط ۳۳۰ کیلوگرم اوره در هکتار و برای عملکردهای بالا ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار در دوره رشد گندم مصرف گردد.

در مناطقی که میزان فسفر قابل استفاده آن‌ها کمتر از پنج میلی گرم بر کیلوگرم خاک است برای عملکردهای پایین ۲۱۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، برای عملکردهای متوسط ۲۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار و برای عملکردهای بالا ۳۱۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار در دوره رشد گندم مصرف گردد. در مناطقی که میزان فسفر قابل استفاده آن‌ها حاوی ۱۰-۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است برای عملکردهای پایین ۸۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، برای عملکردهای متوسط ۱۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار و برای عملکردهای بالا ۱۷۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار در دوره رشد گندم مصرف گردد. در مناطقی که میزان فسفر قابل استفاده آن‌ها حاوی ۱۰-۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است برای عملکردهای پایین ۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، برای عملکردهای متوسط ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار و برای عملکردهای بالا ۱۳۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار در زمان قبل از کشت گندم و پس از عملیات خاکورزی مصرف گردد.

در مناطقی که میزان پتاسیم قابل استفاده آن‌ها بین ۱۰۰-۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است برای عملکردهای پایین ۱۶۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار،

برای عملکردهای متوسط ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار و برای عملکردهای بالا ۲۳۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در دوره رشد گندم مصرف گردد. در مناطقی که میزان پتاسیم قابل استفاده آن‌ها حاوی ۱۵۰-۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است برای عملکردهای پایین ۶۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار، برای عملکردهای متوسط ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار و برای عملکردهای بالا ۱۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در زمان قبل از کشت گندم و پس از عملیات خاکورزی مصرف گردد.

توصیه کاربرد کودهای کم مصرف

در توصیه کودهای حاوی عناصر کم مصرف با توجه به کمبود بسیار شدید آهن و روی توصیه کودهای حاوی این عناصر در درجه اول اهمیت هستند. نظر به اینکه استفاده از کودهای حاوی آهن تنها از منبع کلات و یا سکوسترین به صورت پایه و قبل از کشت امکان پذیر است، به دلیل کمیابی و گرانی این نوع کودها توصیه بر این است که کمبود آهن در دوره رشد گندم با محلول پاشی کلات‌های مایع و یا سولفات آهن تولید داخل که به خوبی جواب داده‌اند در زمان‌های فنولوژیکی رشد در پنجه زنی و ابتدای ساقه رفتن انجام پذیرد. برای رفع کمبود روی مصرف قبل از کشت کود حاوی این عنصر شامل سولفات روی در شرایط خاک‌های آهکی به خوبی جواب داده و برای مناطقی که میزان روی قابل استفاده آن‌ها کمتر از یک میلی گرم بر کیلوگرم خاک است، ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار هر سه سال یکبار توصیه می‌گردد.

در مناطقی که میزان بور و مس قابل استفاده خاک کمتر از یک میلی گرم بر کیلوگرم خاک است، به ترتیب ۲۵ و ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک و سولفات مس قبل از کشت گندم هر سه سال یک بار توصیه می‌گردد.

برای مناطقی که میزان منگنز آن‌ها در خاک کمتر از پنج میلی گرم بر کیلوگرم خاک است، به میزان ۳۰

کیلوگرم سولفات منگنز در هکتار هر سه سال یک بار توصیه می‌گردد.

جمع‌بندی

فسفر: چنانچه نقطه بحرانی فسفر در خاک ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شود، در این صورت برای کشت گندم در ۷۴/۱ درصد اراضی دشت قزوین نیازمند استفاده از کود فسفاته بوده که این میزان برای ۱۸/۳ درصد اراضی ۱۵۰، ۳۴/۰ درصد اراضی ۱۰۰ و ۲۱/۸ درصد اراضی ۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار برآورد می‌گردد.

پتاسیم: بررسی داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که دشت قزوین از ذخیره پتاسیم قابل جذب خوبی برخوردار است به طوری که با در نظر گرفتن نقطه بحرانی ۲۰۰ میلی‌گرم پتاسیم قابل جذب بر کیلوگرم خاک ۹۶/۶ درصد اراضی نیازمند استفاده از کود پتاسیمی برای کشت گندم نبوده و تنها ۳/۴ درصد اراضی به مقادیر کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نیاز دارند. آهن: با در نظر گرفتن نقطه بحرانی پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن قابل جذب در خاک به عنوان مرز میان کمبود و کفایت، دشت قزوین از نظر این عنصر کاملاً فقیر بوده به طوری که در ۷۴/۷ درصد اراضی دشت در زمان کشت گندم نیازمند استفاده از این کود بوده که مصرف پایه آن ۱۰ کیلوگرم در هکتار سکوسترین آهن هر سه سال یک بار و یا محلول‌پاشی در زمان‌های پنجه‌زنی، ابتدای ساقه رفتن و ابتدای خوشه رفتن در زمان داشت توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

۱. اسفندیاری، ف. قراچورلو، م. و عبادی الف. ۱۳۹۷. ارزیابی و برآورد مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت سراب با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی. جغرافیا و توسعه. شماره ۵۱، صفحه‌های ۶۵ تا ۸۰.
۲. بلالی، م. ر. ۱۳۸۴. تأثیر عناصر کم‌مصرف و اثر متقابل آن‌ها برافزایش تولید گندم آبی. نشریه شماره ۱۲۰۳.
۳. حسنی پاک ع. ۱۳۹۲. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران.

روی: با در نظر گرفتن نقطه بحرانی ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی قابل جذب در خاک به عنوان مرز میان کمبود و کفایت، دشت قزوین از نظر این عنصر کاملاً فقیر بوده به طوری که در ۶۴/۵ درصد اراضی دشت در زمان کشت گندم نیازمند استفاده از این کود بوده که مصرف پایه آن ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی خشک هر سه سال یک بار توصیه می‌گردد.

منگنز: چنانچه نقطه بحرانی منگنز در خاک‌های اراضی تحت کشت گندم پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز قابل جذب در نظر گرفته شود، ۱۷/۳ درصد از اراضی تحت کشت گندم در دشت قزوین نیازمند استفاده از ۳۰ کیلوگرم سولفات منگنز در هکتار به صورت پایه در هر سه سال یک بار هستند.

بور: چنانچه نقطه بحرانی بور در خاک‌های اراضی تحت کشت گندم یک میلی‌گرم بر کیلوگرم بور قابل جذب در نظر گرفته شود، ۳۸ درصد از اراضی تحت کشت گندم در دشت قزوین نیازمند استفاده از ۲۵ کیلوگرم اسید باریک در هکتار به صورت پایه در هر سه سال یک بار هستند.

مس: چنانچه نقطه بحرانی مس در خاک‌های اراضی تحت کشت گندم ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس قابل جذب در نظر گرفته شود، ۳۲ درصد از اراضی تحت کشت گندم در دشت قزوین نیازمند استفاده از ۲۰ کیلوگرم سولفات مس در هکتار به صورت پایه در هر سه سال یک بار هستند.

۴. خادمی، ز. ۱۳۸۴. "شناسایی و انتخاب هدفمند مکان‌های مطالعاتی در خاک‌های تحت کشت گندم". مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ایران.
۵. زندکریمی، الف. و مختاری، د. ۱۳۹۷. ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در تخمین مقادیر بارش جهت انتخاب بهینه‌ترین الگوریتم (مطالعه موردی: استان کردستان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۲، صفحه‌های ۳۲۳ تا ۳۳۸.
۶. سماوات، س. ۱۳۸۹. نقش مدیریت مواد آلی خاک در حاصلخیزی خاک (مسائل و محدودیت‌ها) (اولین کنگره چالش‌های کود در ایران)، تهران، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. https://www.civilica.com/Paper-FERTILIZER01-FERTILIZER01_051.html
۷. شهابی فر، ج. و مستشاری، م. ۱۳۹۳. تعیین پراکنش عناصر غذایی (پرمصرف و کم‌مصرف) در اراضی تحت کشت آبی استان قزوین. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی به شماره فروست ۴۵۷۱۹. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۸. شهبازی، ک. ۱۳۸۶. "تهیه بانک اطلاعات مکان‌دار حاصلخیزی خاک در کشور". مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ایران. شماره ۱۳۵۴.
۹. ضیائی‌ان، ع. ح. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۸. بررسی گلخانه‌ای اثرات مصرف آهن، منگنز، روی و مس بر تولید گندم در خاک‌های شدیداً آهکی استان فارس. مجموعه مقالات تغذیه متعادل گندم. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. کرج. ایران.
۱۰. طهرانی، م. م. م. پسندیده، م. ح. داودی ۱۳۹۰. گزارش نهایی تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم‌مصرف در اراضی تحت کشت آبی استان‌های گیلان، مازندران، همدان، کرمانشاه، آذربایجان و اصفهان. مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران. شماره ۱۶۱۸.
۱۱. طهرانی، م. م. م. ر. بلالی، ف. مشیری، ع. دریا شناس ۱۳۹۱. توصیه و برآورد کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، ۱۴۴-۱۲۴.
۱۲. علی‌احیائی، م. و ا. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. جلد اول. نشریه فنی شماره ۸۹۳ مؤسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.
۱۳. علی‌احیائی، م. ۱۳۸۰. تهیه نقشه عناصر ریزمغذی در خاک‌های زراعی استان‌های کرمانشاه، تهران، قم و گرگان. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ایران. شماره ۱۲.
۱۴. غیبی، م. ح. سدری، ن. رشیدی، س. سعادت و ز. خادمی. ۱۳۹۳. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه گندم. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
۱۵. فرنیاء، الف. قربانی، خ. و سالاری جزی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی روش کریجینگ بی‌زن تجربی در پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۱، صفحه‌های ۱۶۵ تا ۱۸۲.
۱۶. ۱۵- کابوسی، ک. و مجیدی، ع. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی تاریخ‌های کاشت و برداشت و طول مراحل رشد گندم دیم بر اساس - داده‌های بارش و دما در استان گلستان. نشریه زراعت دیم ایران، شماره ۱، صفحه‌های ۱۰۳ تا ۱۴۴.
۱۷. کاظمی، ح. و قربانی، خ. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور تخمین و پهنه‌بندی متغیرهای بارش در ۱۶- اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا جهت کشت دیم غلات پاییزه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، صفحه‌های ۱ تا ۲۳.

۱۸. نادى، م. جامعى، م. و بذرافشان ج. ۱۳۹۱. ارزيابى روش‌هاى مختلف درون‌يابى داده‌هاى بارندگى ماهانه و سالانه (مطالعه موردى استان خوزستان). پژوهش‌هاى جغرافياى طبيعى، شماره ۴، صفحه‌هاى ۱۱۷ تا ۱۳۰.
۱۹. مشيرى، ف. ع. ا. شهابى، پ. کشاورز، ز. خوگر، و. فيضى اصل، م. ه. طهرانى، ه. اسدى رحمانى، س. سماوات، م. ن. غيبى، م. ح. سدرى، ن. رشيدى، س. سعادت و ز. خادمى. ۱۳۹۳. دستورالعمل مديريت تلفيقى حاصلخيزى خاک و تغذيه گياه گندم. موسسه تحقيقات خاک و آب. كرج. ايران.
۲۰. ملكوتى، م. ج. پ. کشاورز و ن. ع. كريميان. ۱۳۸۷. روش جامع تشخيص و توصيه بهينه كود براى كشاورزى پايدار. انتشارات مركز نشر دانشگاه تربيت مدرس. تهران. ايران.
۲۱. مومنى، ع. ۱۳۸۹. پراكنش جغرافيايى و سطوح شورى منابع خاک ايران. پژوهش هاى خاک، دوره ۲۴، شماره ۳. صفحه هاى ۲۱۵-۲۰۳.
22. Aishah, AW. S., Zauyah, A.R., Anuar, and CI. Fauziah,. 2010. Spatial variability of selected chemical characteristics of paddy soils in Sawash Sempadon, Selangor, Malaysia. Malaysi. Journal of Soil Science. 14: 1. 27-39.
23. Allison, L.E., and CD. Moodi. 1962. Carbonates. PP 1379-1396. In: C.A. Black et al. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2, Am. Soc Agron., Madison, WI.
24. Anghiononi, I., VC. Baligar. and R.J. Wright. 1996. Phosphorus sorption isotherm characteristics and availability parameters of Appalachian acidic soils. Communication of Soil Science and Plant Analysis. 27: 2033-2048.
25. Anon. 1982. Organic material and soil productivity in the near east. FAO. Soil Bulletin, No. 45.
26. Asadzadeh, F., A., Akbarzadeh, AA. Zolfaghari, R., Taghizadeh Mehrjardi, M., Mehrabani, H., Rahimi Lake, and MA. Sabeti. 2012. Study and comparison of some geostatistical methods for mapping cation exchange capacity in soils of northern Iran. Annals of Faculty Engineering Hunedoara. 1: 1. 59-66.
27. Barber, S. A. 1984. Soil nutrient bioavailability. John Wiley and Sons Pub. New York.
28. Behera, SK., RK. Mathur, AK., Shukla, K., Suresh, and C., Prakash. 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. Catena. 165: 251-259.
29. Bogunovic, I., S., Trevisani, M., Seput, D., Juzbasic, and B. Durdevic. 2017. Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. Catena. 154: 50-62.
30. Bouyoucos. C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal. 45: 464-465.
31. Cakmak, I., A., Yilmaz, M., Kalayci, H., Ekiz, B., Torun, B., Erenoglu, and H.J. Brown. 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia. Plant Soil. 180, 165-172.
32. Isimail, MH. and R., Junusi. 2009. Determining and mapping soil nutrient content using geostatistical technique in a Durian orchard in Malaysia. Journal of Agricultural Science. 1: 1. 86-91.
33. Kravchenko, AN., and DG. Bullock. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. Journal of Agronomy 91: 393-400.
34. Kumar, S., and R., Lal. 2011. Mapping the organic carbon stocks of surface soils using local spatial interpolator. Journal of Environmental Monitoring, 13(11): 3128-35.
35. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis. (pp. 869-921). SSSA. Madison, Wisconsin, USA.

36. Mondal A, Khare D, Kundu S, Mondal S, Mukherjee S and Mukhopadhyay A, 2017. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 1: 61-70.
37. Mortvedt, JJ. 1991. Correcting iron deficiencies in annual and perennial: present technologies and future prospects in L. Y. Chen and Y. Hadar (Eds). *Iron Nutrition and Interaction in Plants*. Pp. 315-321. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands.
38. Nazarifar, MH, Momeni R and Kanani MH, 2014. Comparison of spatial interpolation methods for wheat water requirement and its temporal distribution in Hamedan province (IRAN). *Journal of Urban and Environmental Engineering* 2: 218-224.
39. Omran, ESE. 2012. Improving the prediction accuracy of soil mapping through geostatistics. *International Journal of Geosciences*. 3: 574-590.
40. Ramzan, Sh., and MA, Wani, 2018. Geographic information system and geostatistical techniques to characterize spatial variability of soil micronutrients including toxic metals in an agricultural farm. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 49: 4. 463-477.
41. Robinson, TP., and G., Metternicht. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50: 97-108.
42. Rosemary, F., UWA, Vitharana, S.P., Indraratne, R., Weerasooriya, and U., Mishra. 2017. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena*. 150: 53-61.
43. Rowell, DL. 1994. *Soil Science: Methods and Application*. Longman Group, Harlow.
44. Sharma, S.K. and F., Lal. 1993. Estimation of critical limit of DTPA zinc for wheat in polluters of southern Rajasthan. *Indian Society of Soil Science*. 41 (1) 197-198.
45. Shiati, K. 1998. Brackish water as a source of irrigation: behavior and management of salt-affected reservoirs (Iran). In: 10th Afro-Asian Conf. Bali, Indonesia.
46. Smith, P. 2005. An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of 1429 direct human-induced, indirect and natural effects. *European Journal of Soil Science*, 56, 673-680.
47. Stevenson, FG. 1994. *Humus Chemistry*. John Wiley and Sons Pub. New York.
48. Takkar, PN. and C.D., Walker. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency in soils and plants (Ed: Rabson, A.D.). Kluwer Academic pub.
49. Tandon, H. 1995. *Micronutrients in soil crops and fertilizers*. Fertilizer Development and consultation organization, New Delhi, India.
50. Thomas, GW. 1996. Soil pH and soil acidity. In "Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods" (Ed. DL Sparks). Pages 475-490. Soil Science Society America. Madison, WI. USDA-ARS. 2008. Research Databases. Bibliography on Salt Tolerance.
51. George E. Brown, Jr. Salinity Lab. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8908>.
52. Vasu, D., SK., Singh, N., Sahu, P., Tiwary, VP. Duraisami, V., Ramamurthy, M., Lalitha, and B. Kalaiselvi, 2017. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil and Tillage Research*. 169: 25-34.
53. Walkey, A., and I.A., Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Science*, 79: 459-465.

محرك های رشد گیاهی، نقش آنها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش های محیطی

سید علی غفاری نژاد^۱، فریدون نورقلی پور و محمدنبی غیبی

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Ma_ghaffari51@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Nourfg@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

mngheibi@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۳۹۷ و پذیرش: تیر ۱۳۹۸

چکیده

بهبود کیفیت، پایداری سیستم کشت و کاهش هزینه های تولید از اهداف کشاورزی نوین است. از طرف دیگر تغییرات اقلیمی در جهان و ایران سبب شده گیاهان زراعی با تنش های مختلفی مواجه گردند. به نظر می رسد مواد محرك رشد گیاهی بتوانند گیاهان را در مواجه با این تنش ها یاری نمایند. این ترکیبات شامل مواد هیومیکی، عصاره جلبک های دریایی، اسیدهای آمینه، مایه تلقیح میکروبی، مواد معدنی مانند عناصر مفید، نمک های غیر آلی مانند فسفیت، مواد ضد تعرق، و غیره هستند. تأثیر این مواد در گونه های مختلف و حتی ارقام یک گونه گیاهی ممکن است متفاوت باشد. لذا نحوه کاربرد مواد محرك رشد در کشاورزی و باغبانی باید با توجه به نتایج بررسی های محلی و منطقه ای اصلاح گردد. استفاده از مواد محرك رشد گیاهی در چند سال اخیر در جهان و ایران، افزایش چشمگیری داشته است. هدف این مقاله، فراهم کردن درک بهتر از این مواد بر اساس یافته های علمی و عملی در کشاورزی و باغبانی است. موارد بیان شده در این مقاله نشان می دهد که مواد محرك رشد گیاهی باعث بهبود و افزایش پایداری تولید محصول شده و همزمان باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های غیرزنده و افزایش کیفیت محصول شده اند. تحقیقات در زمینه این مواد در آینده باید با تأکید بر تعیین مکانیسم عمل باشد. درک بهتر مکانیسم تأثیر این مواد در بهینه کردن استفاده از این ترکیبات در مدیریت پایدار کشاورزی مفید خواهد بود.

واژه های کلیدی: تنش، جذب عناصر، فیزیولوژی گیاه، کارایی، محرك رشد

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران

مقدمه

در سال های اخیر توجه متخصصین کشاورزی به بهبود کیفیت، پایداری سیستم کشت و کاهش هزینه های تولید با کاهش نهاده های مصرفی، معطوف گردیده است. در این راستا توجه زیادی به مواد محرک رشد در کشاورزی پایدار شده است. کلمه محرک رشد گیاه برای اولین بار توسط متخصصان باغبانی، برای توصیف موادی که رشد گیاه را تحریک می کنند اما جزء مواد مغذی، بهبود دهنده های خاک یا آفت کش ها نیستند، استفاده شده است. محرک رشد گیاه، هر ماده یا ریزجانداری است که به منظور افزایش راندمان تغذیه، تحمل به تنش غیرزیستی و یا کیفیت محصول، صرف نظر از محتوای عناصر غذایی آن، به گیاهان داده می شود (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس توافقات انجام شده، مواد محرک رشد را از مواد کنترل کننده زیستی جدا می نمایند؛ بنابراین تنش زیستی در تعریف محرک های رشد در نظر گرفته نشده است (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴، براون و سا، ۲۰۱۵ و دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵).

طبیعت مواد محرک رشد تنوع زیادی دارد و هم مواد و هم موجودات زنده را شامل می شود. این مواد می توانند یک ترکیب خاص یا مخلوطی از چند ترکیب با منشأ بیولوژیک یکسان مانند عصاره جلبک دریایی باشند که ترکیب و ماده بیولوژیک فعال آن نامشخص است. مایه تلقیح های میکروبی ممکن است از یک نژاد باکتری یا مخلوطی از میکروارگانیسم هایی باشند که بر روی یکدیگر اثر افزایشی دارند (بولغاری و همکاران، ۲۰۱۴).

اثرات فیزیولوژیکی مواد محرک رشد، متنوع است. این مواد می توانند به طور مستقیم بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه اثر بگذارند (شکل ۱) (ناردی و همکاران، ۲۰۰۹). مواد محرک رشد به روش های مختلفی سبب افزایش رشد و توسعه گیاه طی چرخه رشد از جوانه زنی بذر تا بلوغ، می شوند. این روش ها شامل افزایش کارایی متابولیسم گیاه در راستای بهبود عملکرد و کیفیت محصول، افزایش مقاومت گیاه به تنش های غیر زنده،

تسهیل جذب، انتقال و استفاده از عناصر غذایی، افزایش کارایی مصرف آب، بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد ریزجانداران خاک هستند. آنها معمولاً همراه با کودهای رایج به گیاه داده می شوند تا کارایی مصرف کود را افزایش دهند (هکمن، ۱۹۹۴)، ولی با کودها تفاوت دارند زیرا بر متابولیسم گیاه اثر گذاشته و میزان عناصر غذایی در آنها ناچیز است.

بسیاری از ترکیبات فعال موجود در مواد محرک رشد در غلظت های بسیار کم وجود دارند و گاهی مقدار آنها کم تر از حد تشخیص روش های اندازه گیری می باشد. با این وجود اثرات بیولوژیک بسیار زیادی دارند. پیچیدگی عصاره ها و دامنه وسیع ملکول های موجود در این مواد، تشخیص ترکیبات فعال در آنها را مشکل می کند. علاوه بر این جداسازی و مطالعه یک ترکیب خاص موجود در ماده محرک رشد، سبب رسیدن به جواب های نامطمئن می شود؛ زیرا تأثیر بر روی گیاه ممکن است به دلیل وجود ترکیبات مختلف و اثرات هم افزایی آنها با هم باشد. مطالعه بر روی مکانیسم هایی که توسط مواد محرک رشد فعال می شوند ادامه دارد (گوینان و همکاران، ۲۰۱۳).

در سال های اخیر، استفاده از مواد محرک رشد در دنیا رو به افزایش بوده است. انجمن صنایع محرک رشد در اروپا^۲ اعلام کرد که در سال ۲۰۱۲ در بیش از ۶/۲ میلیون هکتار از اراضی این قاره از مواد محرک رشد، استفاده شده است. یکی از دلایل افزایش مصرف این مواد، سیاست های کشاورزی و محیط زیستی است. دلیل دیگر، آگاهی عمومی مبتنی بر کشاورزی پایدار در سراسر جهان است که به دنبال افزایش عملکرد و افزایش کارایی منابع به طور هم زمان است. دلیل دیگر سرمایه گذاری زیاد شرکت های تجاری اروپایی (بین ۳ تا ۱۰ درصد گردش مالی سالانه) در تحقیق و توسعه این مواد می باشد (گرانث و همکاران، ۲۰۱۳).

استفاده از مواد محرک رشد در چند سال اخیر در ایران، افزایش چشمگیری داشته است، اما اطلاعات مدونی در مورد این ترکیبات وجود ندارد. هدف این مقاله فراهم کردن درک بهتر از محرک‌های رشد گیاهی بر اساس یافته‌های علمی و عملی در کشاورزی و باغبانی

است. به این منظور ابتدا اشاره کوتاهی به انواع مواد محرک رشد شده و هر گروه از این مواد به طور خلاصه توصیف می‌شود و در هر مورد به کاربرد آن نیز اشاره می‌گردد.



شکل ۱- تأثیرات فیزیولوژیک مواد محرک رشد

انواع مواد محرک رشد

علیرغم تلاش‌های اخیر، هیچ تعریف منظمی از دسته‌بندی محرک‌های رشد گیاهی درجهان، وجود ندارد. با این وجود، برخی از دسته‌بندی‌های اصلی، بطور گسترده توسط دانشمندان، تولیدکنندگان و استفاده‌کنندگان به رسمیت شناخته شده‌اند. (دوجاردین، ۲۰۱۵ و کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). این ترکیبات شامل مواد هیومیکی، عصاره جلبک‌های دریایی، اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات حاوی نیتروژن، مایه تلقیح میکروبی، مواد معدنی از جمله عناصر مفید، نمک‌های غیر آلی از جمله فسفیت، مواد ضد تعرق، ویتامین‌ها، کیتین، کیتوزان و پلی یا الیگوساکاریدهاست (دو جاردین، ۲۰۱۲: بولغاری و همکاران، ۲۰۱۴).

مواد هیومیکی (هیومیک و فولویک اسید)

مواد هیومیکی اجزای طبیعی مواد آلی خاک هستند. ترکیبات آنها در نتیجه تعامل بین مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها و ریشه‌های گیاهان ایجاد می‌گردند (دوجاردین، ۲۰۱۵). مواد هیومیکی محلول، در خاک، نقش‌های کلیدی در روابط خاک مانند قابلیت دسترسی عناصر غذایی، تبادل اکسیژن و کربن بین خاک و اتمسفر و تغییر و تبادلات مواد شیمیایی سمی ایفا می‌کنند. بعلاوه مواد هیومیکی در خاک، فیزیولوژی گیاهی، ترکیب و روابط میکروارگانیسم‌های ریزوسفر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (پیکولو و اسپیتلر، ۲۰۰۳). تفاوت در اثرات مواد هیومیکی ناشی از منبع تشکیل مواد هیومیکی، شرایط محیطی، نوع محصول گیاهی، مقدار و روش کاربرد مواد هیومیکی است (رز و همکاران، ۲۰۱۴). بر اساس جمع‌بندی نتایج حاصل از کاربرد مواد هیومیکی در گیاهان از

طریق روش آماری متا آنالیز تصادفی، افزایش $4 \pm 22\%$ در رشد اندام هوایی و افزایش $6 \pm 21\%$ در رشد ریشه گیاهان، مشاهده گردید (رز و همکاران، ۲۰۱۴).

تأثیر مواد هیومیکی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

بر اساس بررسی های انجام شده، مواد هیومیکی می توانند در تمامی گونه های گیاهی از جمله در محصولات مهم زراعی مثل سویا، گندم، برنج، ذرت و در صیفی جات مثل گوجه فرنگی، خیار، سیب زمینی، فلفل و سبزی شاهی و در درختان میوه مثل مرکبات و انگور، باعث بهبود خصوصیات رشدی گردند. بیشتر این مطالعات انجام شده در شرایط گلخانه و هیدروپونیک بوده است (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴؛ آرانکون و همکاران، ۲۰۰۳).

یکی از اثرات مواد هیومیکی به صورت بهبود توسعه سیستم ریشه گیاه است که از طریق این مکانیسم، باعث افزایش جذب عناصر غذایی کم و پرمصرف، می گردند. از طرفی افزایش جذب، ناشی از افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک حاوی پلی آنیون های مواد هیومیکی است. این مواد می توانند باعث تغییر در شکل معماری ریشه نیز گردند. به عنوان مثال توسعه ریشه جانبی یا افزایش ریشه دهی در گوجه فرنگی، شاهی، گندم، ذرت و فلفل گزارش شده است (هالپرن و همکاران، ۲۰۱۵؛ آرانکون و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش رشد اندام هوایی نیز در خیار، گوجه، گندم و ذرت گزارش گردید (اصلی و نئومان، ۲۰۱۰). افزایش توسعه ریشه ها موجب تسریع در رشد گیاه می گردد که این مطلب به کوتاه شدن دوره رشد و افزایش کارایی آب منجر می گردد. تأثیر مواد هیومیکی در افزایش و تسریع رشد ریشه ها و در پی آن رشد اندام هوایی گندم و گلزا در مناطق مختلف کشور به اثبات رسیده است (غیبی، ۱۳۹۷).

خصوصیات ساختمانی ویژه مواد هیومیکی از جمله تعداد زیاد گروه های فعال اکسیژنی (CO_2H_2 ، OH ، فنلی و C=O) به آنها این اجازه را می دهد که بتوانند یون های فلزی را کلات کنند و در تغذیه گیاه موثر

باشند (بربارا و گارسیا، ۲۰۱۴). چگونگی تأثیر مواد هیومیکی بر جذب یون ها بستگی به نوع و غلظت مواد هیومیکی، pH محیط کشت و نوع گونه گیاهی دارد (ناردی و همکاران، ۲۰۰۹).

افزایش جذب عناصر غذایی در اثر استفاده از مواد هیومیکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (موریللو و همکاران، ۲۰۰۵ و کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). در گیاه زینتی ژربرا جذب بهتر کلسیم با استفاده از هیومیک اسید، سبب افزایش خصوصیات پس از برداشت گل شد. در تولید گل های زینتی درکشت های هیدروپونیک، هیومیک اسید می تواند به عنوان ترکیب کمکی برای جذب بهتر عناصر غذایی استفاده شود (نیکبخت و همکاران، ۲۰۰۸).

کاربرد هیومیک اسید در خاک های با مواد آلی مختلف واکنش متفاوتی به همراه داشت و جذب عناصر در خاکی که ماده آلی کمتری داشت، به میزان بیشتری افزایش نشان داد (فاگینرو و آگبولا، ۱۹۹۳).

مطالعات مختلفی در خصوص اثر متقابل اسید فولیک با آهن، گزارش شده است. اسید فولیک می تواند باعث کمپلکس شدن Fe^{3+} در خاک به شکل محلول گردد تا بتواند به وسیله گیاه جذب گردد (استوس داسیلوا و همکاران، ۱۹۹۸). این اثرات در گیاه آفتابگردان و برنج باعث افزایش قابلیت جذب آهن شد (پاندا و همکاران، ۱۹۹۸ و بوکانگرا و همکاران، ۲۰۰۶).

نقش مواد هیومیکی در مقابله با تنش های غیر زنده

برخی از نتایج تحقیقات نشان داده که کاربرد اسید های هیومیک می تواند باعث بهبود مواجهه با تنش شوری گردد (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). کاهش هدایت الکتریکی خاک، کاهش تجمع سدیم، افزایش پرولین و اسید آبسزیک در گیاه از جمله مکانیسم هایی است که سبب مقاومت به شوری گیاه در اثر کاربرد اسید هیومیک می شود (محمد، ۲۰۱۲).

می‌گردند؛ این امر می‌تواند در ارتباط با افزایش سطح ریشه و در بعضی موارد افزایش تراکم ریشه باشد (کانالاس و همکاران، ۲۰۰۹؛ جیندو و همکاران، ۲۰۱۲).

روش دیگر تأثیر مواد هیومیکی بر رشد گیاه از طریق تأثیر آن بر گروه‌های فعال اکسیژن (O_2 , O_2^- , $OH^\cdot$) می‌باشد (سوزوکی و همکاران، ۲۰۱۲). در گیاه برنج در زمان کاربرد اسید هیومیک، گروه‌های فعال اکسیژن تولید شده در گیاه، باعث پراکسیداسیون لیپید نشدند و رشد ریشه جانبی افزایش یافت (بربارا و گارسیا، ۲۰۱۴). تجزیه به روش بررسی عملکرد و ساختار پروتئین‌ها^۳ در گیاهان ذرت و کلزا، نشان داد که تولید ۴۲ پروتئین مختلف به وسیله اسید هیومیک بیان شده و شامل پروتئین‌های مرتبط با انرژی، متابولیسم و نقل و انتقال سلولی می‌باشد. از جمله می‌توان به متابولیسم ساکروز، ملات دهیدروژناز، $ATPase$ و پروتئین‌های اسکلت سلولی^۴ اشاره نمود (کارلتی و همکاران، ۲۰۰۸). در گیاه برنج مواجه با تنش خشکی، اسید هیومیک باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌ها و ریشه‌ها گردید که باعث کاهش مقدار پراکسید هیدروژن، نگهداری قابلیت نفوذ غشاء و افزایش مقدار پرولین گردید (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش مقدار کلروفیل متعاقب کاربرد اسید فولویک در گیاهان سویا و چاودار، مشاهده شد (چن و همکاران، ۲۰۰۴).

محلول‌پاشی گیاه گندم با اسید فولویک، قبل از مواجهه با تنش خشکی، عملکرد را به ۹۷ درصد میزان گیاه بدون تنش رساند (خودان، ۱۹۸۶). در سه مزرعه گندم در استرالیا، محلول‌پاشی اسید فولویک، افزایش معنی‌داری در عملکرد ایجاد نکرد. این امر نشان می‌دهد که تأثیر این مواد در مناطق مختلف، متفاوت است (دانستن و همکاران، ۱۹۸۸). در بررسی انجام گرفته در شرایط مزرعه بر روی گیاه فلفل در ایران، کاربرد فولویک اسید به صورت کود آبیاری، تأثیری بر عملکرد نداشت ولی بر کیفیت میوه از جمله فعالیت آنتی اکسیدانت، کل

تحقیق در خصوص اثرات اسید هیومیک در کمک به گیاه برای مقاومت در برابر تنش خشکی، در سالیان اخیر شروع شده است. کاربرد اسید هیومیک در جوانه‌های برنج، باعث کاهش علائم ظاهری خشکی گردید و در این گیاهان سطوح کلروفیل، کاروتینوئیدها، پروتئین و کربوهیدرات‌ها بیشتر از گیاهان شاهد بود و این نشان می‌دهد که ظرفیت فتوسنتزی این گیاهان افزایش یافته است (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۲).

اسیدهای فولویک به دو طریق گیاه را در برابر تنش‌های غیر زنده و به خصوص تنش‌های اسمزی مقاوم می‌سازند. اسیدهای فولویک با بیان ژن‌های انتقال دهنده مواد، موجب تسریع جذب مواد غذایی و افزایش غلظت شیره سلولی می‌گردد و از طرفی جذب مواد فولویکی در سیتوپلاسم موجب ایجاد فشار اسمزی لازم جهت مقابله با تنش‌های اسمزی از جمله شوری، خشکی و یخبندان می‌گردد (غیبی، ۱۳۹۷) تأثیر مصرف مواد فولویکی بر کاهش اثرات مضر عناصری مثل مقدار زیاد سلنیوم، سرب و آلومینیوم و تنش خشکی از جمله در گندم و ذرت، گزارش شده است. کمپلکس ایجاد شده از طریق فولویک اسید با آلومینیوم، قابل جذب به وسیله ریشه گیاه نبوده و یا در مورد عناصر دیگر، قابلیت جذب کاسته شد که البته غلظت اسید فولویک استفاده شده نیز موثر بود (پنگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ آسپ و برگگرن، ۱۹۹۰).

تأثیر مواد هیومیکی بر متابولیسم و فیزیولوژی گیاه

اسید هیومیک اثر شبه هورمونی، مثل اکسین و ایندول استیک اسید بر گیاهان دارد و این اثر اولیه به عنوان مهمترین فاکتور بیولوژیکی موثر در گیاهان می‌باشد (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۳؛ ناردی و همکاران، ۲۰۱۶). به عنوان مثال افزایش رشد ریشه‌های جانبی به وسیله مواد هیومیکی (اسید هیومیک و فولویک) در ارتباط با تقسیمات سلولی بوده که در کنترل هورمون اکسین است (ترويسان و همکاران، ۲۰۱۰). اسیدهای هیومیک در سلول‌های ریشه، باعث افزایش فعالیت آنزیم $H^+-ATPase$

مواد جامد قابل حل، مقدار کل فنولیک ها، کربوهیدرات ها، کاپسایسین^۵ و کاروتینوئیدها موثر بود (امینی فرد و همکاران، ۲۰۱۲).

عصاره جلبک دریایی

استفاده از جلبک دریایی تازه به عنوان منبع ماده آلی و کود در کشاورزی از زمان های قدیم شناخته شده است، اما اخیراً محرک رشد بودن آن ثابت شده است. طبق گزارش فائو (۲۰۰۶) مقدار قابل توجهی از عصاره جلبک های دریایی (۱۵ میلیون تن در سال) به عنوان محرک رشد، اصلاح کننده خاک و مکمل تغذیه ای در کشاورزی استفاده می شود. عصاره جلبک های دریایی ترکیب پیچیده ای از موادی است که ترکیب آن بسته به منبع جلبک، فصل جمع آوری و روش عصاره گیری متفاوت است (شارما و همکاران، ۲۰۱۲).

پلی ساکاریدها و اولیگوساکاریدها، لامینارین، آلژینات ها و کارائینازها و محصولات تجزیه آنها از اجزاء مهم این مواد هستند که بر فیزیولوژی گیاه تأثیر دارند. تعدادی از این ترکیبات در واقع منحصراً از منبع جلبک استخراج می شوند که این امر دلیل افزایش علاقه به این گروه از موجودات در ساخت مواد محرک رشد است. اغلب گونه های جلبک که از آنها این عصاره ها تهیه می شود، به شاخه جلبک های قهوه ای تعلق دارند که دومین گروه فراوان جلبک ها با حدود ۲۰۰۰ گونه است که آسکوفیلوم^۶، فوکوس^۷ و لامیناریا^۸ گونه های اصلی آن می باشند؛ اما کارائیناز از جلبک های قرمز استخراج می شود که از یک شاخه فیلوژنی مجزا منشاء گرفته است (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵).

عصاره جلبک های دریایی بر خاک و گیاه تأثیر می گذارند (کرایجی و همکاران، ۲۰۰۸، کرایجی، ۲۰۱۱ و خان و همکاران، ۲۰۰۹). این عصاره ها به عنوان کلات

کننده، بهبود دهنده جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبود دهنده ساختمان و تهویه خاک عمل می کنند (گونزالس و همکاران، ۲۰۱۳). این مواد را می توان به خاک داد، به صورت محلول در کشت هیدروپونیک به کار برد و یا برگ پاشی نمود. پلی ساکاریدهای آنها در خاک سبب تشکیل ژل، نگهداری آب و بهبود تهویه می شود. ترکیبات پلی آنیونی موجود در جلبک ها سبب تثبیت و تبادل کاتیونی می شوند. از این خاصیت در تثبیت فلزات سنگین و اصلاح خاک استفاده می شود.

تأثیر عصاره جلبک دریایی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

تحقیقات نشان داده که برگ پاشی عصاره جلبک دریایی منجر به بهبود توسعه ریشه در گونه های مختلفی مانند ذرت، گوجه فرنگی، انگور، توت فرنگی شده است (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش تشکیل ریشه های جانبی، حجم کل ریشه و طول ریشه به وجود هورمون های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین در عصاره جلبک دریایی نسبت داده شده است (خان و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده از عصاره جلبک دریایی، سبب بهبود جذب عناصر غذایی در گیاهانی مانند کاهو، انگور، سویا و گوجه فرنگی نیز شده است. افزایش جذب هم در مورد عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد) و هم در مورد عناصر کم مصرف (آهن، منگنز و روی) دیده شده است (زوداپ و همکاران، ۲۰۱۱). تحریک غیر مستقیم رشد ریشه به دلیل افزایش جمعیت ریزجانداران خاک نیز ممکن است به وقوع بپیوندد (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش رشد ریشه و بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و آب می تواند سبب افزایش رشد و مقاومت به تنش های زنده و غیرزنده شود. گزارش های زیادی در زمینه افزایش رشد و عملکرد با استفاده از عصاره جلبک دریایی وجود دارد (کرایجی، ۲۰۱۱، الم و همکاران، ۲۰۱۳، خان و همکاران، ۲۰۱۳ و جانین و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش غلظت کلروفیل در اثر استفاده

5 - Capsaicin
6 - Ascophyllum
7 - Fucus
8 - Laminaria

اکسیدانت‌ها و وجود تنظیم کننده‌های ژن‌های داخلی که به تنش پاسخ می‌دهند، در عصاره جلبک می‌تواند موثر باشد (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). حضور ملکول‌های فعال زیستی مانند بتاین و سیتوکینین در این عصاره‌ها ممکن است در این زمینه، نقش داشته باشد. این عصاره‌ها غلظت مولکول‌های مرتبط با تنش مانند سیتوکینین، پرولین، آنتی اکسیدانتها و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را در گیاه افزایش می‌دهند. سیتوکینین اثر منفی رادیکال‌های آزاد را به دو روش از بین بردن مستقیم و یا جلوگیری از تشکیل با ممانعت از اکسید شدن زانتین^۹ خنثی می‌کند (فان و همکاران، ۲۰۱۳). پلی‌ساکاریدهای موجود در عصاره جلبک‌های دریایی می‌توانند مقاومت در برابر بیماری‌های قارچی را افزایش دهند. این ترکیبات در شبکه اعلام ضد تنش، بویژه تنش زیستی وارد می‌شوند (بولغاری، ۲۰۱۴).

تأثیر عصاره جلبک دریایی بر متابولیسم و فیزیولوژی

گیاهی

عصاره جلبک دریایی تأثیرات زیادی بر فیزیولوژی گیاه دارد. بررسی بیان ژن‌ها برخی از مکانیسم‌های آن را مشخص کرده است (فان و همکاران، ۲۰۱۳). فان و همکاران (۲۰۱۳)، افزایش میزان پروتئین محلول، ظرفیت آنتی اکسیدانی و میزان فنل‌ها و فلاونوئیدها را در اثر کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای مشاهده کردند. این تأثیرات با افزایش بیان آنزیم‌های کلیدی موثر در افزایش متابولیسم نیتروژن، ظرفیت آنتی اکسیدانی و ساخت گلیسین بتاین، همراه بود. یکی از ترکیبات آلی موجود در جلبک دریایی آلژینیک اسیدها است. آلژینات‌ها از نظر شیمیایی جز خانواده کربوکسی سلولوزها هستند. آلژینیک اسید نقش کمپلکس کننده دارد و قابلیت اتصال به کاتیون‌های فلزی را دارند. این مطلب باعث می‌شود علاوه بر جذب کاتیون‌ها از مسیر قطبی از مسیر غیرقطبی نیز جذب شود و جذب کل افزایش پیدا می‌کند (الکساندر، ۱۹۸۵).

از عصاره جلبک دریایی در گیاهان مختلف گزارش شده است. این افزایش به دلیل کاهش تخریب کلروفیل و تأخیر در پیری آن بوده و مربوط به افزایش تولید کلروفیل نمی‌باشد (جانین و همکاران، ۲۰۱۳).

عصاره جلبک دریایی سبب گلدهی و تشکیل میوه زود هنگام در برخی گیاهان می‌شود. افزایش عملکرد در اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی احتمالاً به دلیل حضور هورمون‌های رشد نظیر سیتوکینین در آنها است (خان و همکاران، ۲۰۰۹). سیتوکینین در مرحله رشد رویشی سبب توزیع بهتر عناصر غذایی و در مرحله رشد زایشی سبب تحرک عناصر غذایی می‌شود. استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب تسهیل تکثیر غیر جنسی در برخی گیاهان می‌شود. استفاده از جلبک‌های دریایی چه به صورت خاکی و چه به صورت محلول‌پاشی، سبب افزایش رشد ریشه و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌شود (خان و همکاران، ۲۰۰۹).

نقش عصاره جلبک دریایی در مقاومت به تنش‌های غیر

زنده

استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب افزایش تحمل به تنش‌های خشکی، شوری و دمای می‌شود (کرایجی، ۲۰۱۱). جلبک‌های دریایی مخلوطی از مواد آلی و معدنی هستند مواد معدنی آنها در درجه اول پتاسیم و مواد آلی شامل اسیدهای آمینه و آلژینیک اسید می‌باشد. در عصاره جلبک دریایی ۱۶ تا ۱۷ نوع اسید آمینه وجود دارد که مهمترین آنها بتاین یا گلیسین بتاین است. این اسید آمینه دارای خواص اسمولیتی است که باعث تنظیم فشار اسمزی داخل سلول می‌شود. گلیسین بتاین باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش سرما و خشکی می‌گردد (الکساندر، ۱۹۸۵). با توجه به نقش اسیدهای آمینه در تولید آنزیم‌های مورد نیاز گیاه به هنگام تنش و نقش کو فاکتوری پتاسیم برای فعال سازی غالب آنزیم‌ها می‌توان نقش جلبک‌های دریایی را در کنترل تنش‌ها مشخص کرد. هر دو مکانیسم وجود ترکیبات محافظ مانند آنتی

عصاره جلبک دریایی حاوی دامنه وسیعی از هورمون های گیاهی شامل سیتوکینین، اکسین، آبسزیک اسید، جبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید است. در بین این ترکیبات سیتوکینین، اکسین و ترکیبات شبیه به آنها بیشتر گزارش شده اند (خان و همکاران، ۲۰۰۹). والی و همکاران (۲۰۱۳) غلظت هورمون های گیاهی را در ۱۲ عصاره مختلف جلبک دریایی از منابع مختلف اندازه گیری کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که غلظت هورمون های گیاهی در این عصاره ها برای تأثیر بر گیاه کافی نیست. آنها نشان دادند که تغییر در شکل ظاهری گیاه در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی به دلیل تغییر در ساخت، مقدار و نسبت داخلی هورمون های گیاه است و ربطی به میزان آنها در عصاره جلبک دریایی ندارد. آنها افزایش غلظت سیتوکینین و آبسزیک اسید و ترکیبات مرتبط با آنها و کاهش غلظت اکسین در برگ های تیمار شده با عصاره جلبک را مشاهده کردند. بنابه نظر آنها افزایش غلظت سیتوکینین و آبسزیک اسید و کاهش غلظت اکسین در گیاه ممکن است، افزایش رشد رویشی و مقاومت به تنش های غیر زنده را به همراه داشته باشد.

اسیدهای آمینه و ترکیبات پپتیدی

اسیدهای آمینه و ترکیبات پپتیدی از هیدرولیز آنزیمی و شیمیایی مواد پروتئینی، پسماندهای مواد کشاورزی-صنعتی از منابع گیاهی (بقایای محصولات) و بقایای حیوانی، تولید می گردند (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴، هالپرن و همکاران، ۲۰۱۵؛ دو جاردین، ۲۰۱۵). بر اساس مطالعات انجام شده از طریق نشان دار کردن اسیدهای آمینه، مشخص شده که ریشه گیاهان قادر به جذب اسیدهای آمینه و پپتیدها هستند. جذب برگی اسیدهای آمینه نیز گزارش شده است (ناردی و همکاران، ۲۰۱۶). ترکیبات پروتئینی، می توانند در دو گروه اصلی قرار گیرند. هیدرولیزهای پروتئینی که ترکیبی از پپتیدها و آمینو اسیدهای با منشاء حیوانی یا گیاهی و اسیدهای آمینه منحصر بفرد مثل گلوتامات، گلوتامین، پرولین و گلیسین

بتائین هستند (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴؛ ناردی و همکاران، ۲۰۱۶). نسبت پپتید به پروتئین و مقدار اسید آمینه آزاد ترکیبات هیدرولیزی، متفاوت بوده و در محدوده به ترتیب ۱ تا ۸۵ و ۲ تا ۱۸ درصد (وزنی به وزنی) قرار دارد. اسیدهای آمینه اصلی شامل آلانین، آرژنین، گلیسین، پرولین، گلوتامات، گلوتامین، والین و لوسین است (ارتانی و همکاران، ۲۰۰۹). ترکیبات غیر پروتئینی موجود در این مواد هیدرولیزی نیز دارای اثرات تحریک کنندگی در رشد گیاهان است.

دسته دوم مواد با بنیان پروتئینی، اسیدهای آمینه خاص می باشند. این مواد شامل ۱۲ اسید آمینه ساختمانی است که در سنتز پروتئین نقش دارند و نیز اسیدهای آمینه غیر پروتئینی که به مقدار فراوان در برخی از گونه های گیاهی، یافت می شوند. گزارش هایی نیز وجود دارد که کاربرد اسیدهای آمینه ساختمانی و غیر پروتئینی از جمله گلوتامین، هیستیدین، پرولین و گلیسین بتائین، باعث محافظت در برابر تنش های زیست محیطی شده یا در ارسال سیگنال های سوخت و ساز فعالند (ناردی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ورنووا و همکاران، ۲۰۱۱؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۱۳). گیاهان پس از جذب اشکال مختلف نیتروژن در مسیرهای مختلف آلی سازی این اشکال که همگی انرژی بر هستند در نهایت ۸۵٪ نیتروژن را به اسید آمینه تبدیل می کنند (مارشور ۲۰۱۱) این مطلب از آنجا اهمیت دارد که در زمانهای که گیاه در رشد سریع رویشی قرار دارد مصرف مستقیم اسیدهای آمینه منجر به ذخیره انرژی و رشد مناسب و به هنگام گیاه می گردد.

تأثیر اسیدهای آمینه و ترکیبات پپتیدی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

نتایج تحقیقات ارائه شده در منابع علمی نشان دهنده اثرات ترکیبی کاربرد این مواد بوده و در آنها به بهبود عملکرد و جذب عناصر غذایی اشاره شده است. این اثرات در گیاه گوجه فرنگی به صورت افزایش ارتفاع، تعداد گل ها، تعداد میوه ها در هر گیاه، افزایش عملکرد

آمین‌ها در اکثر موارد موجب افت فشار اسمزی سیتوپلاسم در گیاه می‌شوند و این مطلب می‌تواند در صورت زیاد بودن مقدار این ترکیبات در موارد محلول پاشی شده نتیجه معکوس به همراه داشته باشد؛ بنابراین در زمان استفاده از اینگونه ترکیبات باید تلاش شود بیشتر از اسیدهای آمینه آزاد استفاده شود (غیبی ۱۳۹۷).

نقش اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات حاوی نیتروژن در مقابله با تنش‌های غیر زنده

منابع قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد، هیدرولیزهای پروتئینی و اسیدهای آمینه خاص از جمله پرولین، بتالین، مشتقات آنها و مواد اولیه حاصل از آنها، می‌توانند سیستم دفاعی گیاه را تحریک کنند و باعث افزایش تحمل گیاه به انواع مختلف تنش‌های غیر زنده از جمله شوری، خشکی، دما و شرایط اکسیدکننده گردند (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴؛ دو جار کاربرد دین، ۲۰۱۵؛ ارتانی و همکاران، ۲۰۱۳b). مکانیزم گیاهان در برابر تنش‌های محیطی، سازگاری و ایجاد ساز و کار فیزیولوژیکی برای رفع تنش است. گیاهان با تولید آنزیم‌های مختلف علاوه بر انجام فرایندهای بیوشیمیایی با تنش‌های محیطی هم مقابله می‌کنند. با ایجاد تنش، ژن بیان‌کننده تولید آنزیم در گیاه تعریف می‌شود و با تولید آنزیم توسط ریبوزوم و استفاده از اسیدهای آمینه آزاد شرایط برای گذر از تنش‌های محیطی فراهم می‌شود. واحد های mRNA با انتخاب اسیدهای آمینه تعریف شده برای تولید آنزیم مورد نیاز، این کار را بر روی ریبوزوم انجام می‌دهند. کاتیون‌های فلزی می‌تواند به عنوان کو فاکتور برای فعال‌سازی آنزیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنزیم‌های تولید شده با تغییر رفتار فیزیولوژیکی سلول موجبات گذر از تنش را فراهم می‌کند؛ بنابراین تنش‌های دمایی، نور، رادیکال‌های آزاد ... می‌تواند با این فرایند کنترل کرد؛ بنابراین وجود اسیدهای آمینه آزاد برای رفع تنش در گیاه ضروری است (غیبی، ۱۳۹۷).

میوه (تعداد یا وزن میوه) مشاهده شد (پارادو و همکاران، ۲۰۰۸). در گیاه پاپایا (خربزه درختی)، با محلول‌پاشی ماهیانه این ترکیبات، عملکرد ۲۲ درصد افزایش یافت (مورالس-پایان و استال، ۲۰۰۳). ترکیب آمینی حاصل از هیدرولیز یونجه، باعث رشد بهتر برگ ذرت، مقدار قند آن و کاهش نیترات در شرایط شور و غیر شور شد. (ارتانی و همکاران، ۲۰۱۳ a و b). هیدرولیز گوشت حاصل از ضایعات دباغی پوست، باعث افزایش رشد، مقدار عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و کاهش مقدار نیترات، سولفات و فسفات جوانه‌های ذرت، شد (ارتانی و همکاران، ۲۰۱۳ a و b). مطالعه بر روی اسیدهای آمینه خاص نشان داده که این ترکیبات ممکن است دارای نقش اعلام در تنظیم جذب نیتروژن (کاهش نیترات، جریان ورودی آمونیوم و رنویسی ناقلین) به وسیله ریشه باشند که این امر در گیاه جو مشاهده شد (میلر و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر اثرات مثبت محرک‌های رشد گیاهی، مطالعات متعددی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد محلول-پاشی هیدرولیزهای پروتئینی تجاری از منبع حیوانی، باعث مسمومیت گیاهی و توقف رشد شده‌اند.

در برخی از موارد ممکن است غلظت اشتباه ماده استفاده شده و یا شرایط زیست محیطی مثل موقعیت خاص مزرعه، باعث عدم واکنش به این مواد باشد (ناردی و همکاران، ۲۰۱۶). نتایجی نیز نشان می‌دهد که این ترکیبات بر اسفناج و کاسنی تأثیری نداشتند (گاجک - وولسکا و همکاران، ۲۰۱۲؛ کونیچکی و همکاران، ۲۰۱۰). در برخی از گیاهان مثل هویج، در یک سال از سه سال آزمایش، مقدار قندهای محلول و کاروتنوئیدها افزایش و نیترات، کاهش یافت (گرایوسکا و همکاران، ۲۰۱۲). در توضیح این نتایج می‌توان گفت که هیدرولیز پروتئینی ترکیبات گیاهی یا حیوانی منجر به تولید اسیدهای آمینه، پپتیدها، پلی‌پپتیدها و پلی‌آمین‌ها می‌گردد. گیاهان با استفاده از اسیدهای آمینه آزاد می‌توانند با توجه به شرایط رشدی گیاه، ایجاد تنش‌های محیطی و نوع ژن بیان شده برای تولید پروتئین یا آنزیم توسط ریبوزوم‌ها آنها را مصرف کنند ولی ترکیبات پپتیدها، پلی‌پپتیدها و پلی

آسپاراجین، گلوتامین، سیستئین و پپتیدهایی مثل گلوکاتئون و کلات های گیاهی در کلات کردن عناصر روی، نیکل، مس، کادمیوم و آرسنیک موثرند (سیتار و همکاران، ۲۰۱۳).

تأثیر اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات حاوی نیتروژن بر متابولیسم و فیزیولوژی گیاه

هیدرولیزهای پروتئینی بر متابولیسم نیتروژن و کربن اثر گذاشته و باعث بهبود آن شده و احیاء و جذب درونی نیتروژن را نیز افزایش دهند. تأثیر بر متابولیسم نیتروژن و کربن، به عنوان اثر مستقیم این مواد در نظر گرفته می شود (کولا و همکاران، ۲۰۱۴). ممکن است افزایش پروتئین در زمان کاربرد این مواد به این دلیل باشد که اسیدهای آمینه استفاده شده، مستقیماً می توانند در ساخت پروتئین استفاده شده و همچنین در افزایش غلظت کربوهیدرات برگ، اثر نمایند (بلغاری و همکاران، ۲۰۱۴). کربوهیدرات ها به عنوان اسکلت کربنی، برای اتصال نیترات احیاء شده (آمونیا) در اسیدهای آمینه بوده و باعث افزایش ساخت پروتئین، می گردند. در گیاه ذرت، با کاربرد اسیدهای آمینه، افزایش فعالیت آنزیم های، وابسته به نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید^{۱۰} شامل گلوتامات دهیدروژناز، نیترات ردوکتاز و مالات دهیدروژناز، مشاهده شد. فعالیت سه آنزیم موثر در چرخه تری-کربوکسیلیک اسید (مالات دهیدروژناز، ایزوسیترات دهیدروژناز، سیترات سینتاز) و پنج آنزیم موثر در احیاء و جذب درونی نیترات (نیترات ردوکتاز، نیتريت ردوکتاز، گلوتامین سینتاز، گلوتامات سینتاز و آسپارات آمینوترانسفراز) در گیاه ذرت، بر اثر کاربرد اسیدهای آمینه حاصل از ترکیبات یونجه، افزایش یافت (اسچیاون و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج نشان داده که ترکیبات حاصل از هیدرولیز پروتئینی، می توانند باعث بهبود احیاء و جذب درونی^{۱۱} نیتروژن شوند و این کار را از طریق تعامل با تنظیم متابولیسم کربن و نیتروژن انجام می دهند (فورده و لی، ۲۰۰۷). کاربرد

اسیدهای آمینه گلايسين بتاين (ترکیباتی که ان -متیل در گلايسين جایگزین شده) و پرولين، به عنوان محافظ اسمزی، عمل می نمایند و باعث تثبیت پروتئین ها، آنزیم ها و غشاها در برابر اثرات غیرطبیعی غلظت زیاد نمک و دماهای زیاد غیر فیزیولوژیکی می گردند. کاربرد و تجمع اسیدهای آمینه گلايسين، بتاين و پرولين، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های غیرزیستی در گیاهان ذرت، جو، سویا، یونجه و برنج شد (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). این دو اسید آمینه، باعث کاهش اثرات منفی گروه های فعال اکسیژن می گردند. اسیدهای آمینه دیگر نیز در مقاومت به تنش های غیر زیستی موثرند. از جمله کاربرد گلوتامات و یا اورنیتین (پیش ماده پرولين) نیز می تواند در افزایش مقاومت به تنش شوری، موثر باشند (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۳). آرژنین که در ذخیره نیتروژن و انتقال آن در گیاه نقش مهمی دارد در شرایط تنش های زنده و غیر زنده در گیاه تجمع می یابد (لی و همکاران، ۲۰۰۶). اسیدهای آمینه غیر پروتئینی بتا و نیز گاما آمینو- بوتیریک اسید، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های زنده و غیرزنده می گردند و به صورت مولکول های علامت دهنده خارجی، عمل می نمایند (وو و همکاران، ۲۰۱۰).

آمینواسیدها و پپتیدها در افزایش مقاومت گیاه به تنش های ناشی از مسمومیت انواعی از فلزات سنگین، نقش دارند که این کار را از طریق خنثی نمودن رادیکال های آزاد به وسیله ترکیبات نیتروژنی، انجام می دهند (کولا و همکاران، ۲۰۱۴). مقدار زیادی از پرولين در زمان مواجه شدن با تنش عناصر سنگین در بسیاری از گیاهان، تجمع می یابد و در گیاهان مقاوم به این نوع تنش، در زمانی که مقدار زیاد فلز سنگین تجمع نیافته نیز وجود دارد. پرولين باعث کلات شدن یون فلز در بین سلول های گیاهی و در شیره آوند چوبی، می گردد و ممکن است به عنوان آنتی اکسیدانت عمل نماید و با جذب فلز سنگین از اثرات رادیکال های آزاد، بکاهد (شارما و دیتز، ۲۰۰۶). نتایج بررسی ها نشان می دهد که اسیدهای آمینه

گیاه (PGPR^{۱۲}) که باکتری‌های آزادزی هستند، به طور وسیعی مطالعه شده‌اند.

تأثیر مایه تلقیح میکروبی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

افزایش رشد و عملکرد توسط مایه تلقیح میکروبی در برخی موارد به افزایش جذب و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه ارتباط دارد. مکانیسم‌های متعددی برای افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه توسط مایه تلقیح میکروبی عنوان شده است. از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به تثبیت غیر همزیستی نیتروژن، محلول کردن عناصر غذایی، کلات کردن آهن با تولید سیدروفور و تولید ترکیبات فرار آلی اشاره کرد. باکتری‌های با توان تثبیت غیرزیستی نیتروژن به جنس‌های مختلف تعلق دارند. در بین این جنس‌ها بیشترین مطالعه بر روی آزوسپریلوم صورت گرفته است. آزوسپریلوم در ارتباط نزدیک با ریشه گیاه و حتی در داخل آن است. توانایی آزوسپریلوم در تثبیت نیتروژن در گیاهان مختلف گزارش شده است. افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن گیاه با تلقیح با آزوسپریلوم در گیاهان مختلف مانند پنبه، گندم، نیشکر و ذرت گزارش شده است (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴). باید به این نکته توجه کرد که تنها اثر مثبت آزوسپریلوم بر رشد، تثبیت نیتروژن نیست. بعضی از ریزجانداران سبب افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی با افزایش حلالیت آنها و افزایش کارایی جذب می‌شوند. دسترسی کم شکل‌های فسفر در خاک، مشکل مهمی در سیستم‌های کشاورزی است. حتی وقتی کودهای حاوی فسفر به خاک اضافه می‌شوند، ممکن است توسط گیاه جذب نشوند؛ زیرا فسفر به آسانی به اجزا خاک پیوند شده و برای گیاه غیر قابل جذب می‌شود (گیناشوار و همکاران، ۲۰۰۲). جنس‌های متنوعی از باکتری‌های شامل سودوموناس، باسیلوس، برخولدریا، استرپتومایسیس،

گلوتامات باعث کاهش رشد ریشه اولیه و افزایش رشد ریشه جانبی در قسمت انتهایی ریشه، در گیاه شاهی شد. این امر نشان می‌دهد که این ماده دارای نقش علامت دهنده بوده و باعث قرارگیری دقیق‌تر ریشه در نقاط دارای مواد غذایی در خاک می‌گردد (فورده و لی، ۲۰۰۷).

مایه تلقیح‌های میکروبی

استفاده از مایه تلقیح میکروبی طی دو دهه اخیر در راستای مقابله با مشکلات کشاورزی مدرن، افزایش چشمگیری داشته است (حیات و همکاران، ۲۰۱۰). مایه تلقیح میکروبی به دو گروه کلی عوامل کنترل بیولوژیک (آفت‌کش‌های زیستی) و کودهای زیستی تقسیم می‌شود. در این مقاله مایه تلقیح میکروبی که به عنوان کود زیستی عمل می‌کند به عنوان محرک رشد شناخته می‌شود. کود زیستی حاوی ریزجانداران بوده و زمانی که به بذر، سطح گیاه یا خاک داده می‌شود سبب تحریک رشد گیاه با مکانیسم‌های مختلفی مانند افزایش فراهمی عناصر غذایی، افزایش زیست توده یا سطح ریشه و افزایش ظرفیت جذب عناصر غذایی می‌شود (واسی، ۲۰۰۳). کودهای زیستی را می‌توان به عنوان مکمل کودهای شیمیایی به گیاه داد. مایه تلقیح میکروبی عمده‌تاً شامل باکتری‌های آزادزی، قارچ‌ها و قارچ‌های میکوریزی هستند که از محیط‌های متنوعی مانند خاک، گیاه، بقایای گیاهی، آب و کود دامی کمپوست شده استخراج می‌شوند. قارچ‌ها به روش‌های مختلف، از همزیستی تا انگلی، با ریشه گیاه در ارتباط هستند. قارچ‌های میکوریزی گروه‌های متنوعی از قارچ‌ها هستند که با بیش از ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی ارتباط همزیستی دارند. با توجه به اثرات مفید قارچ‌های میکوریزی در افزایش کارایی عناصر غذایی، تعادل آب در گیاه و محافظت از گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیر-زنده، علاقه روز افزون به استفاده از این قارچ‌ها در کشاورزی پایدار وجود دارد (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵). در بین کودهای زیستی باکتری‌های محرک رشد

اکرموباکتر^{۱۳}، میکروکوکوس، فلاووباکتریوم^{۱۴}، اروینیا و آزوسپریلوم حل کننده فسفر هستند. دو مکانیسم عمده ای که سبب حل شدن فسفر توسط این ریزجانداران می شود ترشح اسیدهای آلی و تولید آنزیم فسفاتاز به منظور آزاد سازی فسفر آلی است. اسیدهای آلی شکل غیر قابل حل فسفر را با استفاده از گروه های کربوکسیل و هیدروکسیل محلول می کنند. این گروه ها، فلز پیوند شده با فسفر را کلات کرده و آن را محلول می کنند. اسیدهای آلی همچنین سبب کاهش pH ریزوسفر شده و سبب آزاد سازی فسفر می شوند (کالو و همکاران، ۲۰۱۴). اسیدهای آلی مختلفی در محلول کردن فسفر نقش دارند. نوع اسید آلی در جنس های مختلف باکتری متفاوت است. به عنوان مثال برخی گونه های جنس باسیلوس مخلوطی از لاکتیک، ایزوالریک، ایزوبوتیریک و استیک اسید تولید می کنند. گلوکونیک اسید، مهمترین اسید آلی است که توسط گونه های مختلف جنس های آزوسپریلوم، سودوموناس، اروینیا و برخولدریا تولید می شود (رودریگوز و فاگا، ۱۹۹۹). فسفر آلی که ۳۰ تا ۸۰ درصد فسفر خاک را تشکیل می دهد نقش عمده ای در چرخه فسفر در خاک دارد. فیتات^{۱۵} شکل غالب فسفر آلی در خاک است که تا ۶۰ درصد فسفر آلی خاک را تشکیل می دهد. فسفر موجود در این ماده قابل جذب توسط گیاه نیست و باید تحت تأثیر آنزیم فیتاز و فسفاتاز قرار گیرد. باکتری های گرم منفی مانند سودوموناس، برخولدریا، انتروباکتر، سیتروباکتر و سراتیا^{۱۶} این آنزیم ها را تولید می کنند (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵). قارچ های آربوسکولار مایکوریزا در سیستم های طبیعی نقش عمده ای در تغذیه فسفر دارند.

علاوه بر فسفر، پتاسیم عنصر غذایی ضروری دیگری است که توسط ریزجانداران خاک و مایه تلقیح های میکروبی محلول می شود. این ریزجانداران پتاسیم موجود در کانی های حاوی این عنصر مانند میکا، ایلپت و

اورتوکلاز را با ترشح اسید آلی حل می کنند. مکانیسم عمل، شامل حل کردن کانی ها و کلات کردن سیلیکات های پیوند یافته با پتاسیم است.

افزایش حلالیت سایر عناصر غذایی توسط مایه های تلقیح میکروبی گزارش شده است که مکانیسم های مربوطه در دست بررسی است. افزایش زیست توده ریشه، سطح ریشه یا تارهای کشنده ریشه، مکانیسمی غیرمستقیم است که سبب افزایش جذب عناصر غذایی می شود. دامنه وسیعی از ریزجانداران خاک شامل سودوموناس، آسیتوباکتر^{۱۷} آزوسپریلوم، باسیلوس و آربوسکول مایکوریزا سبب افزایش جذب روی، مس، منگنز، کلسیم، منیزیم و گوگرد می شوند (کالو و همکاران، ۲۰۱۴). باکتری ها سیستم انتقال آهن III را دارند که آنها را قادر می کند در محیط های با غلظت بسیار کم آهن رشد کنند. عوامل کلات کننده آهن که به عنوان سیدروفور شناخته می شوند، آهن III را کلات کرده و آن را به داخل سلول هدایت می کنند. انواع مختلفی از سیدروفورها در جنس های مختلف باکتری مانند باسیلوس شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته است (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۶). ارتباط بین تولید سیدروفور با تحریک رشد گیاه و جذب آهن در گونه های مختلف گیاه و ریزجانداران گزارش شده است (شارما و همکاران، ۲۰۱۳). مواد آلی فرار ترکیباتی با وزن ملکولی کم مانند الکل ها، آلدئیدها، کتون ها و هیدروکربن ها هستند که در شرایط طبیعی فشار بخار زیادی دارند که بخار شده و وارد اتمسفر می شوند. ابتدا این مواد به عنوان کنترل کننده زیستی برخی ریزجانداران معرفی شدند. بعدها نقش آنها در تحریک رشد گیاه گزارش شد (ریو و همکاران، ۲۰۰۳).

نقش مایه تلقیح میکروبی در مقاومت به تنش های غیرزنده

اخیراً مشخص شده که برخی مایه تلقیح های میکروبی علاوه بر تحریک رشد، سبب مقاومت در برابر تنش های زنده و غیر زنده می شوند. برخی گونه های

13 - *Achromobacter* spp.

14 - *Flavobacterium* spp.

15 - phytates (inositol hexa- and penta-phosphates)

16 - *Serratia*

17 - *Acinetobacter* spp.

سایر مواد محرک رشد

کیتوزان‌ها، فرم آستیل شده بیوپلیمرهای کیتین هستند که به صورت طبیعی و مصنوعی، تولید می‌گردند. پلی و الیگومرهای با اندازه‌های متنوع و کنترل شده آن در صنایع غذایی، آرایشی، دارویی و کشاورزی، استفاده می‌گردد. اثرات فیزیولوژیکی الیگومرهای کیتوزان در گیاهان، وابسته به ظرفیت پلی کاتیونی این ترکیب، برای اتصال با تعداد وسیعی از ترکیبات سلولی مثل DNA، غشای پلاسمایی و ترکیبات دیواره سلولی و دریافت کننده‌های ویژه‌ای می‌باشد که در فعال شدن ژن‌های دفاعی موثرند (کاتیار و همکاران، ۲۰۱۵). کیتین و کیتوزان از دریافت کننده‌های و مسیرهای علامت‌دهنده ویژه‌ای مثل تجمع پراکسید هیدروژن و تراوش Ca^{2+} به داخل سلول، استفاده می‌نمایند. چرا که این دو، بازیگران کلیدی در علامت‌دهی واکش به تنش هستند (فرری و همکاران، ۲۰۱۴). در کشاورزی از کیتوزان‌ها، برای کنترل عوامل بیماری‌زای قارچی در گیاهان، استفاده شده است این مواد همچنین در افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مثل خشکی، شوری و تنش سرما و نیز خصوصیات کیفی مرتبط با متابولیسم اولیه و ثانویه گیاه نیز موثرند.

شرایط موجود از لحاظ مواد محرک رشد در ایران

بر طبق آمار موجود در سازمان فائو، میزان مصرف جهانی تنظیم کننده‌های رشد در سال ۱۳۷۷، ۱۶۶۹۱ تن ماده فعال بوده که در سال ۱۳۹۲ به ۴۲۷۰۰ تن ماده فعال، یعنی بیش از ۲/۵ برابر افزایش یافته است. در سال ۱۳۹۲ در بین کشورهای آسیایی، تایلند، کره جنوبی، ژاپن و هند (از ۱۲۲۸۰ تن تا ۱۲۵۰ تن) به ترتیب بیشترین میزان مصرف این مواد را داشتند. با توجه به آمار ارائه شده از فائو (۲۰۱۸)، میزان مصرف مواد تنظیم کننده رشد در ایران نیز در چند سال اخیر، افزایش یافته است و مقدار مصرف تنظیم کننده های رشد از دو تن در سال ۱۳۷۲ به ۵۰/۵۳ تن ماده فعال در سال ۱۳۹۲، رسید (فائو، ۲۰۱۸). نتایج برخی از تحقیقات انجام

باکتری مانند ریزوبیوم و آزوسپریلوم، سبب افزایش تحمل به شوری می‌شوند (باسیلیو و همکاران، ۲۰۰۴).

در تحمل به تنش خشکی، تولید ترکیبات شبه هورمونی توسط باکتری‌ها، نقش اساسی دارد. علاوه بر ایندول استیک اسید، آبسزیک اسید نیز هورمون گیاهی است که در تحمل به تنش خشکی نقش دارد. افزایش میزان این هورمون در گیاهان تلقیح شده با مایه تلقیح میکروبی دیده شده‌است. تخریب هورمون تنشی اتیلن با آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلات^{۱۸} دامیناز سبب تحمل به تنش خشکی می‌شود (کالوو و همکاران، ۲۰۱۴).

قارچ‌های میکوریزی آربوسکول‌دار نیز سبب تحمل به تنش خشکی می‌شوند. مکانیسم این کار شامل بهبود جذب آب، تغذیه بهتر گیاه، تغییر مورفولوژی ریشه، تغییر برخی فعالیت‌های فیزیولوژیک و آنزیمی گیاه بویژه آنهایی که در ارتباط با پاسخ به تنش‌های اکسیداتیو هستند و القا هورمون گیاهی آبسزیک اسید هستند. به علاوه، این قارچ‌ها سبب بهبود ساختمان خاک می‌شوند. تلقیح هم زمان قارچ‌های میکوریزی آربوسکول‌دار و باکتری‌های محرک رشد گیاه، روشی امیدوار کننده در مقابله با تنش خشکی است که بیش از تلقیح جداگانه هر کدام از این دو ریزجاندار موثر است (ویواس و همکاران، ۲۰۰۳).

گزارشاتی مبنی بر افزایش تحمل به تنش شوری در اثر استفاده از مایه تلقیح میکروبی و قارچ‌های میکوریزی وجود دارد (پورسل و همکاران، ۲۰۱۲ و کاردلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از مکانیسم‌های دخیل در این زمینه توانایی مایه تلقیح میکروبی در تولید هورمون‌های گیاهی است. تلقیح گیاهان با باکتری‌هایی که سبب افزایش تولید ACC دامیناز می‌شوند با کاهش هورمون اتیلن، گیاه را در مقابله با تنش‌های گوناگون مانند غرقاب، ترکیبات سمی (معدنی و آلی)، غلظت زیاد نمک، خشکی و عوامل بیماری‌زا کمک می‌کنند (سلیم و همکاران، ۲۰۰۷).

گرفته در ایران طی سال های اخیر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه مواد محرک رشد در ایران

نوع ماده محرک رشد	محصول	نوع اثر	توضیحات	منبع
اسید آمینه و جلبک	گلرنگ	افزایش رشد رویشی و زایشی به ترتیب توسط اسید آمینه و جلبک		پوریوسف و شاهی (۱۳۹۵)
اسید هیومیک و جلبک	لوبیا	افزایش ۱۸ تا ۳۲ درصدی عملکرد	واکنش متفاوت دو رقم مورد آزمایش	حسینی (۱۳۹۵)
اسید هیومیک و کلات کلسیم	شب بو	افزایش وزن تر و خشک	افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی	هناو (۱۳۹۵)
جلبک	گوجه فرنگی	افزایش عملکرد و اجزا آن	واکنش متفاوت ارقام مورد آزمایش	شهریاری (۱۳۹۵)
اسید هیومیک، فولویک و اسید آمینه	خیار	افزایش میزان پرولین، آنتی اکسیدان، فنل و قند محلول		نجفی (۱۳۹۵)
اسید هیومیک و جلبک	ذرت	بهبود صفات مورفولوژیکی و عملکرد	تفاوت تأثیر مقدار مختلف مواد	محمدزاده و تاج بخش (۱۳۹۴)
جلبک	گندم	افزایش عملکرد و اجزا آن	افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی	غفاری زاده (۱۳۹۴)
اسید هیومیک	آفتابگردان	افزایش رشد و عملکرد بیولوژیک	موثرتر بودن محلول پاشی نسبت به مصرف خاکی	طالع فراهی (۱۳۹۳)
اسید هیومیک	سیب زمینی	افزایش قطر، وزن خشک و عملکرد غده	کاهش اثرات تنش خشکی	خواجه (۱۳۹۱)
اسید هیومیک، فولویک و اسید آمینه	گندم	افزایش شاخص های جوانه زنی و رشد گیاهچه		بهزاد (۱۳۹۰)
اسید آمینه	کلزا	افزایش چین خوردگی و ضخامت پهنای برگ	قطر بیشتر دسته جات آوندی ریشه	کشاوری (۱۳۸۹)

باشد. تاکنون جمع بندی جامعی در خصوص اثربخشی این مواد در کشور انجام نشده است. رفیعی و همکاران (۲۰۱۶) اثر مواد محرک رشد را بر گیاهان دارویی جمع بندی نمودند و نشان دادند که هر گیاه دارویی به روش مختلفی (بر اساس ترکیب شیمیایی و محتویات، زمان و مقدار کاربرد) به مواد محرک رشد، واکنش نشان می دهد. در جمع بندی مرادی (۱۳۹۵) بیشتر به جنبه های تجاری این مواد پرداخته شده است. خسروی (۱۳۹۲) تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از مایه تلقیح میکروبی و چالش ها و فرصت های موجود در این زمینه در ایران را مورد بررسی قرار داد.

بررسی های انجام شده مربوط به چند سال اخیر در ایران نشان می دهد که تعداد تحقیقات در زمینه کاربرد این مواد، هم در مراکز تحقیقاتی و هم مراکز دانشگاهی، افزایش یافته است. با توجه به بررسی منابع انجام شده، خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه بیشتر مورد توجه بوده و در تعداد اندکی خصوصیات فیزیولوژیکی، اندازه گیری شده است. به ندرت تحقیقی در ایران، مکانیسم عمل این مواد را بررسی نموده است. ولی تنوع زیادی در زمینه محصولات زراعی و باغی، گیاهان دارویی، همراه با کاربرد انواعی از اسیدهای هیومیک، فولویک، اسید آمینه و عصاره جلبک دریایی و نیز تیمار ترکیبی این مواد مشاهده می گردد. توجه به تنش های خشکی و شوری از مواردی است که مدنظر محققان بوده است. همانند تحقیقات انجام شده در سایر کشورها، در ایران نیز بررسی تأثیر مواد محرک رشد در شرایط گلخانه و کنترل شده، بیشتر می-

ریسک استفاده از مواد محرک رشد

به نظر می‌آید با توجه به اینکه این مواد دارای منبع طبیعی بوده، فاقد ریسک برای محیط زیست و گیاه هستند (درویک و همکاران، ۲۰۱۹)، اما ارزیابی آنها از نظر ایجاد آلودگی زیست محیطی و خطر آنها برای سلامت انسان و جانوران نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

پیشنهادهای ترویجی

موارد بیان شده در این مقاله نشان می‌دهد که مواد محرک رشد گیاهی می‌توانند سبب بهبود تولید محصول و پایداری آن از طریق افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از آلودگی زیست محیطی شده و همزمان باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیر زنده و افزایش کیفیت درونی و بیرونی محصول تولیدی گردند. در بسیاری از تحقیقات انجام شده در گذشته به تأثیر این مواد بر رشد گیاهان اشاره شده است، اما در مقالات جدید مکانیسم تأثیر این مواد نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ریسک استفاده از این مواد در ایجاد آلودگی زیست محیطی و ایجاد خطر برای سلامت انسان و جانوران نیاز به بررسی بیشتر دارد.

اسیدهای هیومیک و فولویک می‌توانند با عناصر غذایی خاک تعامل نمایند و باعث ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیکی در گیاهان گردند که منجر به افزایش رشد گیاه و در مواردی باعث بهبود مواجهه با تنش محیطی، می‌گردند. با توجه به گزارش‌های ارائه شده، کاربرد مواد هیومیکی در حال افزایش است.

عصاره جلبک دریایی که حاوی ترکیب پیچیده‌ای از پلی‌ساکاریدها، عناصر غذایی کم‌مصرف، هورمون‌های گیاهی است سبب تحریک رشد گیاه و مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود. روش‌های علمی جدید سر نخ‌هایی را در زمینه بیان ژن، روش‌های بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیولوژیکی ارائه می‌کند. درک

بهرتر مکانیسم تأثیر این عصاره‌ها در بهینه کردن استفاده از این ترکیبات در مدیریت پایدار کشاورزی مفید خواهد بود.

اگرچه برخی نگرانی‌ها در خصوص ایمنی کاربرد هیدرولیزهای ضایعات حیوانی وجود دارد ولی گزارش‌های جدید نشان می‌دهد که هیدرولیزهای آنزیمی و شیمیایی این مواد، دارای اثر سمی یا سمی ژنی بر میکروب‌های خاک و مخمرها نمی‌باشند و برای استفاده در سیستم‌های کشاورزی مرسوم و آلی ایمن هستند. در خصوص ایمنی استفاده از هیدرولیزهای پروتئینی بدست آمده از ضایعات حیوانی، در چرخه غذایی اطمینان وجود ندارد، به همین دلیل اتحادیه اروپا کاربرد این نوع هیدرولیزهای پروتئینی را در قسمت‌های خوراکی محصولات ارگانیک، ممنوع نموده است.

در مجموع مایه تلقیح میکروبی به دلیل توانایی آنها در کشاورزی و حل برخی مشکلات محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر تمرکز بر افزایش جذب عناصر غذایی با استفاده از مایه تلقیح میکروبی در مدیریت تلفیقی کشاورزی است. با توجه به تغییر اقلیم در سال‌های اخیر و وارد شدن انواع تنش‌ها به محصولات زراعی و باغی، مواد محرک رشد گیاهی می‌توانند گیاهان را در مواجهه با این تنش‌ها یاری نمایند. باید در نظر داشت که اثر مواد محرک رشد از یک گونه به گونه دیگر گیاهی و حتی از یک رقم به رقم دیگر متفاوت خواهد بود، چرا که تأثیر این مواد منوط به ورود آنها به درون گیاه است. قسمت‌های سطحی برگ و اندام‌های گیاهی در گونه‌ها و ارقام گیاهی متفاوت بوده و به نحو متفاوتی از لحاظ اجازه ورود به مواد، عمل می‌نمایند. اثربخشی این مواد همچنین می‌تواند تحت تأثیر محیط رشد گیاه، قرار گیرد. لذا نحوه کاربرد کشاورزی و باغبانی مواد محرک رشد نیاز به تحقیق و تجربه کاربردی دارد.

فهرست منابع

۱. بهزاد م.، م. پارسا، ح. ر. احیایی و ر. ی. بیوکی. ۱۳۹۰. بررسی شاخص های جوانه زنی و رشد گیاهچه های ارقام مختلف بذور گندم تیمار شده با هیومیک، فولویک و سالیسیک اسید. دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، مشهد، ایران.
۲. پوریوسف میاندوآب، م. و م. شاهی. ۱۳۹۵. اثر محلول پاشی محرک های رشد و زمان کاربرد آنها بر عملکرد و برخی ویژگی های زراعی گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، سال هشتم، شماره سی و دوم، ۲۵-۴۳.
۳. حسینی، س. ع. ۱۳۹۵. محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و مصرف اسید هیومیک بر رشد و عملکرد دو رقم لوبیا (*Phasaeolous vulgaris*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۴. خسروی، ه. ۱۳۹۲. کودهای زیستی محرک رشد گیاه در ایران: نقاط قوت و ضعف. مدیریت اراضی. ۴۶-۳۳: ۱(۱)
۵. خواجه، ع. ۱۳۹۱. اثر متقابل تنش خشکی و کاربرد اسید هیومیک بر رشد و عملکرد سیب زمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران.
۶. شهریار فخرآباد، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر محلول پاشی زیست محرک رشد عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) روی برخی خصوصیات کمی و کیفی سه رقم گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicon Mill.*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۷. طالع فراهی، ف. ۱۳۹۳. بررسی اسید هیومیک استخراج شده از لجن، بیوپار و کود حیوانی بر عملکرد گیاه آفتابگردان کشت شده در خاک آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۸. غفاری زاده، آ. ۱۳۹۴. تأثیر عصاره جلبک قهوه ای *Nizamuddinina zanardinii* بر شاخص های رشد، بیوشیمیایی و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه گندم رقم چمران ۲. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم پایه، اهواز، ایران.
۹. غیبی، م. ن. ۱۳۹۷. اصول کاربردی تغذیه گیاه. نشر توانگران. تهران، ایران. ۶۲ ص.
۱۰. کشاورز، ح. ۱۳۸۹. پاسخ فیزیولوژیک و آناتومیک دو رقم کلزا (حساس و مقاوم به سرما) به محلول پاشی اسید سالیسیلیک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، فیزیولوژی گیاهی، تهران، ایران.
۱۱. محمدزاده، س. و م. تاج بخش. ۱۳۹۴. اثر پرایمینگ و محلول پاشی بر خصوصیات رشد و عملکرد کمی و کیفی ذرت (*Zea mays L.*)، پژوهش در گیاهان زراعی، جلد ۳ شماره ۲، ۸۷-۷۶.
۱۲. مرادی، ف. ۱۳۹۵. تنظیم کننده های گیاهی در گذشته، حال و آینده. نشریه علمی ترویجی یافته های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، جلد ۵، شماره ۲، صفحه ۹۵-۷۱.
۱۳. نجفی، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر اسید هیومیک و اسید فولویک و اسید آمینه به صورت کودآبیاری بر روی صفات کمی و کیفی خیار سوپر دامینوس تحت تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مشهد، ایران.
۱۴. هتاو، ز. ۱۳۹۵. تأثیر کلات کلسیم و اسید هیومیک بر برخی ویژگی های کمی و کیفی شب بو (*Matthiola incana*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، علوم باغبانی، ارومیه، ایران.

15. Alam, M. Z., G. Braun, J. Norrie, D. M. Hodges .2013. Effect of Ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. Canadian. Journal of Plant Science. 93:23–36
16. Aminifard, M. H., H. Aroiee, H. Nemati, M. Azizi, and H. Z. E . Jaafar. 2012. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. African Journal of Biotechnology. 68: 13179-13185.
17. Arancon, N.Q., S. Lee, C.A. Edwards, and R. Atiyeh. 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermi-composts on growth of greenhouse plants: the 7th international symposium on earthworm ecology. Pedobiologia 47: 741-744.
18. Asli, S., and P.M. Neumann. 2010. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. Plant and Soil 336:313–322.
19. Bacilio, M., h. Rodriguez, M. Moreno, J. P. Hernandez, and Y. Bashan. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged *Azospirillum lipoferum*. Biology and Fertility of Soils 40:188–193
20. Berbara, R.L.L., and A.C. García. 2014. Humic substances and plant defense metabolism. pp 297–319. In: P. Ahmad, and M.R. Wani (eds) Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: volume 1. Springer Science + Business Media, New York.
21. Bocanegra, M.P., J.C. Lobartini, and G.A. Orioli. 2006. Plant uptake of iron chelated by humic acids of different molecular weights. Communications in Soil Science and Plant Analysis 37: 239-248.
22. Brown, P. and S. Saa. 2015. Biostimulants in agriculture. Frontiers in plant science 6:1-3.
23. Bulgari, R., G. Cocetta, A. Trivellini, P. Vernieri, and A. Ferrante. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. Biological Agriculture & Horticulture, 31: 1-17.
24. Calvo, P., L. Nelson, and J. W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil, 383(1-2): 3-41.
25. Canellas, L.P., R. Spaccini, A. Piccolo, L.B. Dobbss, A.L. Okorokova-Façanha, G. Araújo Santos, F.L. Olivares, and A.R. Façanha. 2009. Relationships between chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian oxisols. Soil Science, 174:611-620.
26. Carletti, P., A. Masi, B. Spolaore, P.P. De Laureto, M. De Zorzi, L. Turetta, M. Ferretti, and S. Nardi. 2008. Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. Journal of chemical ecology 34:804–818.
27. Chen, Y., C.E. Clapp, and H. Magen. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo-iron complexes. Soil Science and Plant Nutrition 50:1089–1095.
28. Colla, G., Y. Rouphael, R. Canaguier, E. Svecova, M. Cardarelli. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. Frontiers in Plant Science 5: 1–6.
29. Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. Journal of Applied Phycology. 23, 371–393.
30. Craigie, J.S., S. L. MacKinnon, J. A. Walter. 2008. Liquid seaweed extracts identified using 1H NMR profiles. Journal of Applied Phycology. 20: 665–671.
31. Drobek, M., M. Frac and J. Cybulska. 2019. Plant biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—a review. Agronomy 9(6): 335- 352.
32. Du Jardin, P., 2012. The Science of Plant Biostimulants—A bibliographic analysis. Ad hoc Study Report to the European Commission DG ENTR. 2012; http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_bio_2012en.pdf.

33. Du Jardin, P., 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196:3-14.
34. Dunstone, R.L., R.A. Richards, H.M. Rawson. 1988. Variable responses of stomatal conductance, growth, and yield to fulvic acid applications to wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 39:547-553.
35. Ertani, A., L. Cavani, D. Pizzeghello, E. Brandellero, A. Altissimo, C. Ciavatta, and S. Nardi. 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. *Journal of plant nutrition and soil science* 172:237-244.
36. Ertani, A., D. Pizzeghello, A. Altissimo, and S. Nardi. 2013a. Use of meat hydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 176:287-296.
37. Ertani, A., M. Schiavon, A. Muscolo, and S. Nardi. 2013b. Alfalfa plant derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. *Plant and Soil* 364:145-158.
38. Esteves da Silva, J.C.G., A.A.S.C. Machado, and C.J.S. Oliveira. 1998. Effect of pH on complexation of Fe (III) with fulvic acids. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17:1268-1273.
39. Fagbenro, J.A. and A.A. Agboola. 1993. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 16:1465-1483.
40. Fan, D., D. M. Hodges, A. T. Critchley, B. Prithiviraj. 2013. A commercial extract of Brown Macroagla (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. *Communication in Soil Science Plant Analysis*. 44:1873-1884
41. Ferri, M., M. Franceschetti, M.J. Naldrett, G. Saalbach, A. Tassoni. 2014. Effects of chitosan on the protein profile of grape cell culture sub cellular fractions. *Electrophoresis* 35:1685-1692.
42. Food and Agricultural Organization. 2006. Yearbook of fishery statistics. Rome: Food and Agricultural Organization of United Nations.
43. Food and Agricultural Organization. 2018. Plant growth regulators (item). FAO statistics. <http://www.fao.org/faostat/en/?#search/Plant-Growth%20Regulator>.
44. Forde, B.G., and P.J. Lea. 2007. Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signaling. *Journal of Experimental Botany* 58:2339-2358.
45. Gajc-Wolska, J., K. Kowalczyk, M. Nowecka, K. Mazur, A. Metera. 2012. Effect of organic mineral fertilizers on the yield and quality of Endive (*Cichorium endivia* L.). *Acta Scientiarum Polonorum* 11:189-200.
46. García, A.C., R.L.L. Berbara, L.P. Farías, F.G. Izquierdo, O.L. Hernández, R.H. Campos, and R.N. Castro. 2012. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology* 11:3125-3134.
47. Garnett, T., M. C. Appleby, A. Balmford, I. J. Bateman, T. G. Benton, P. Bloomer, B. Burlingame, M. Dawkins, L. Dolan, D. Fraser, M. Herrero, I. Hoffmann, P. Smith, P. K. Thornton, C. Toulmin, S. J. Vermeulen, H. C. J. Godfray. 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*. 341, 33-34.
48. González A., J. Castro, J. Vera, A. Moenne. 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *Journal of Plant Growth Regulations*. 32:443-448
49. Grabowska, A., E. Kunicki, A. Sekara, A. Kalisz, and R. Wojciechowska. 2012. The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. *Vegetable Crops Research Bulletin* 77:37-48.
50. Guinan, K.J., N. Sujeeth, R. B. Copeland, P.W. Jones, N.M. O'Brien, H.S. S. Sharma, P. F. G. Prouteau, and J. T. O'Sullivan. 2013. Discrete roles for extracts of *Ascophyllum nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stresses. *Acta Hortic*. 1009:127-136.

51. Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L. J. Parekh, and P. S. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil* 245:83–93.
52. Halpern, M., A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller, U. Yermiyahu. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. pp. 141–174, Vol. 129. In: D.L. Sparks, (Ed.), *Advances in Agronomy*.
53. Heckman, J. R. 1994. Effect of an organic bio-stimulant on cabbage yield. *J Home Consum Hortic*.1:11–113.
54. Hayat, R., S. Ali, U. Amara, R Khalid, and I. Ahmed .2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology*. 60:579–598
55. Jannin, L., M. Arkoun, P. Etienne. 2013. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. *Journal of Plant Growth Regulations*. 32:31–52.
56. Jindo, K., S.A. Martim, E.C. Navarro, N.O. Aguiar, and L.P. Canellas. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant and Soil* 353:209–220.
57. Karlidag H, M. Turan, M. Pehlivan, and F. Donmez .2013. Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterious effects of salt stress on strawberry plants (*Fragaria×ananassa*). *Horticultural Science* 48:563–567
58. Katiyar, D., A. Hemantaranjan, and B. Singh. 2015. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology* 20: 1–9.
59. Khan, W., U. P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, A. T. Critchley, J. S. Craigie, J. Norrie, B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts asbiostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulations*. 28,386–399.
60. Khan W., D. Hiltz, A. T. Critchley, B. Prithiviraj. 2011. Bioassay to detect *Ascophyllum nodosum* extract-induced cytokinin-like activity in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Applied Phycology*. 23:409–414
61. Kunicki, E., A. Grabowska, A. Sękara, and R. Wojciechowska .2010. The effect of cultivar type, time of cultivation, and bio stimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea* L). *Folia Horticulturae* 22:9–13.
62. Lea, P.J., L. Sodek, M.A.J. Parry, P.R. Shewry, and N.G. Halford .2006. Asparagine in plants. *Annals of Applied Biology* 150:1–26.
63. Liang, X.W., L. Zhang, S.K. Natarajan, D.F. Beckker .2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxid Redox Signaling* 19:998–1011.
64. Marschner, H. 2011. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
65. Miller, A.J., X. Fan, Q. Shen, and S.J. Smith .2007. Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition. *Journal of Experimental Botany* 59:11–119.
66. Mohamed, W.H. 2012. Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6:597–604.
67. Morales-Payan, J.P., and W.M. Stall .2003. Papaya (*Carica papaya*) response to foliar treatments with organic complexes of peptides and amino acids. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 116:30–32.
68. Nardi, S., p. Carletti, D. Pizzeghello, A. Muscolo. 2009. Biological activities of humic substances. In: Senesi N, Xing B, Huang PM, editors. *Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems*. Vol 2. Hoboken, NJ: Wiley; p. 305–340.
69. Nardi, S., D. Pizzeghello, M. Schiavon, and A. Ertani. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola* 73: 8-23.

70. Nikbakht, A., M. Kafi, M. Babalar, Y.P. Xia, A. Luo, and N.A. Etemadi. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition* 31:2155-2167.
71. Pandeya, S.B., A.K. Singh, and P. Dhar .1998. Influence of fulvic acid on transport of iron in soils and uptake by paddy seedlings. *Plant and Soil* 198:117-125.
72. Parrado, J., J. Bautista, E.F. Romero, A.M. García-Martínez, V. Friaiza, and M. Tejada. 2008. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. *Bioresource Technology* 99: 2312-2318.
73. Peng, A., Y. Xu, and Z.J. Wang .2001. The effect of fulvic acid on the dose effect of selenite on the growth of wheat. *Biological Trace Element Research* 83:275-279.
74. Piccolo, A., and M. Spiteller .2003. Electro spray ionization mass spectrometry of terrestrial humic substances and their size fractions. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 377:1047-1059.
75. Porcel, R., R. Aroca, and J. M. Ruiz-Lozano. 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. *Agronomy for Sustainable Development*. 32:181-200
76. Rafiee, H., H. Naghdi Badi, A. Mehrafarin, A. Qaderi, N. Zarinpanjeh, A. Sekara, and E. Zand. 2016. Application of plant biostimulants as new approach to improve the biological responses of medicinal plants-A critical review. *Journal of Medicinal Plants*. 59 (3): 6-39.
77. Rose, M.T., A.F. Patti, K.R. Little, A.L. Brown, W.R. Jackson, and T.R. Cavagnaro. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. Vol. 124, pp. 37-89. In: D.S. Sparks, (Ed.), *Advances in Agronomy*.
78. Rodriguez, H., and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. 17:319-339.
79. Ryu, C. M, M. A. Farag, C. H. Hu et al .2003. Bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 100:4927-4932.
80. Saleem, M., M. Arshad, S. Hussain, and A. Bhatti. 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*. 34:635-648.
81. Schiavon M, A. Ertani, S. Nardi. 2008. Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in *Zea mays* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:11800-11808.
82. Sharma, S.S., K. J. Dietz .2006. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *Journal of Experimental Botany* 57:711-726
83. Sharma, S. H. S., G. Lyons, C. Mc Roberts, D. Mc Call, E. Carmichael, F. Andrews, R. Swan, R. McCormack, and R. Mellon. 2012. Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigna mungo* L.) and pak choi (*Brassica Rapa chinensis* L.). *Journal of Applied Phycology*. 24:1081-1091.
84. Sharma, A., D. Shankhdar, S. C. Shankhdhar .2013. Enhancing grain iron content of rice by the application of plant growth promoting rhizobacteria. *Plant and Soil Environment*. 59:89-94
85. Suzuki, N., S. Koussevitzky, R. Mittler, and G. Miller .2012. ROS and redox signaling in the response of plants to abiotic stress. *Plant, Cell & Environment* 35:259-270.
86. Sytar, O., A. Kumar, D. Latowski, P. Kuczynska, K. Strzałka, and M.N.V. Prasad. 2013. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 35:985-999.
87. Trevisan, S., O. Francioso, S. Quaggiotti, and S. Nardi. 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling Behavior* 5:635-643.

88. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255:571–586.
89. Vivas, A., A. Marulanda, J. Ruiz-Lozano, J. Barea, and R. Azcón. 2003. Influence of a *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG induced drought stress. *Mycorrhiza* 13:249–256.
90. Vranova, V., K. Rejsek, K.R. Skene, and P. Formanck .2011. Non-protein amino acids: plant, soil and eco system interactions. *Plant and Soil* 342:31–48.
91. Wally, O. S. D., A. T. Critchley, D. Hiltz, J. S. Craigie, X. Han, L. I. Zaharia, S. R. Abrams, B. Prithiviraj. 2013. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in *Arabidopsis* Following treatment with commercial extract from the marine macro alga *ascophyllum nodosum*. *Journal of Plant Growth Regulation*. 32,324–339.
92. Wu, C.C., P. Singh, M.C. Chen, L. Zimmerli .2010. L-Glutamine inhibits beta-amino butyric acid-induced stress resistance and priming in *Arabidopsis*. *Journal of experimental botany* 61:995–1002.
93. Xudan, X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 37:343–350.
94. Zodape, S.T., A. Gupta, S. C. Bhandari. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Sci. Ind. Res.* 70:215–219.

بررسی تحقیقات کاربرد ورمی کمپوست در کشاورزی

جلال امیدی و سمانه عبدالمحمدی^۱

کارشناس ارشد باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

jalalomidi58@yahoo.com

کارشناس ارشد باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

abu_tilon@yahoo.com

دریافت: اسفند ۹۷ و پذیرش: دی ۹۸

چکیده

از یک سو مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست‌محیطی، افت کیفیت محصولات کشاورزی، ایجاد مقاومت در امراض و آفات گیاهی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها شده است. از سوی دیگر امنیت غذایی و افزایش کیفیت محصولات کشاورزی از دغدغه‌های رایج بسیاری از جوامع می‌باشد. این در حالی است که بیش از ۶۰ درصد زمین‌های کشاورزی ایران را خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند که از نظر مواد آلی فقیر می‌باشند، لذا برای بهبود باروری این خاک‌ها، افزودن مواد آلی به آن‌ها ضروری است. بخش عمده‌ای از تحقیقات گذشته در زمینه تاثیر ورمی کمپوست بر عملکرد محصولات مختلف زراعی-باغی-زینتی و داروئی، کاهش آثار تنش‌ها و اثرات این کود آلی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک متمرکز شده است. با توجه به مطالعات انجام شده و در راستای کاهش و مصرف متعادل کودهای شیمیایی، کاربرد ورمی کمپوست به میزان پنج تا ۱۰ تن در هکتار در گیاهان دارویی، ۲۰-۳۰ درصد حجمی در گلدان گیاهان زینتی، ۲۰-۶۰ تن در هکتار در گیاهان زراعی، ۴۰-۸۰ تن در هکتار هر دو یا سه سال یکبار در سبزی و صیفی و ۳۰-۶۰ تن در هکتار هر سه سال یکبار در درختان میوه به تنهایی یا به صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی توصیه شده است. به نظر می‌رسد که کاربرد کود ورمی کمپوست با بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، سبب کاهش چشم‌گیر مصرف کودهای شیمیایی شده و اثرات مثبت بسیاری در جهت پایداری تولید محصولات کشاورزی به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: زباله، مشکلات زیست‌محیطی، ورمی کمپوست

مقدمه

کشاورزان ایرانی به طور محدود از ورمی کمپوست استفاده می کنند. استفاده از روش تولید ورمی کمپوست از دو جهت اهمیت دارد، نخست اینکه حجم زیادی از مواد زاید آلی با این روش بازیافت می شود و از نقطه نظر اقتصادی و محیط زیست مهم است. دوم اینکه استفاده از ورمی کمپوست تولید شده در اراضی کشاورزی سبب بهبود کیفیت خاک و رشد گیاهان می شود که صرفه اقتصادی فراوانی را می تواند به دنبال داشته باشد (ارزانش و عباسی، ۱۳۹۰). کمپوست یک کود آلی است که حاصل تبدیل و تغییر انواع پسماندهای گیاهی و حیوانی در نتیجه فعالیت ریزجانداران بوده و یک کود بیولوژیک محسوب می شود (خواوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). ورمی کمپوست نیز کمپوست تولید شده به کمک کرم های خاکی می باشد که در نتیجه هضم بقایای آلی ضمن عبور از دستگاه گوارش کرم ها به وجود می آید (جهانی و همکاران، ۱۳۹۰).

کشور ایران سالیانه فقط از منابع زباله های شهری، ظرفیت توان تولید بیش از چهار میلیون تن کود آلی ورمی کمپوست را دارا می باشد. در سال ۲۰۰۳ میزان تولید ورمی کمپوست در ایسلند یک میلیون تن برآورد شده است. در کشور هندوستان ۲۰۰ هزار نفر کشاورز در این بخش مشغول به کار هستند و یک شرکت نیز در همین کشور با داشتن ۱۰ هزار نفر کارگر، ماهیانه ۵۰ هزار تن ورمی کمپوست تولید می کند. کشاورزان کوبایی در جهت تولید و مصرف ورمی کمپوست تا آنجا پیشرفت داشته اند که به جای کودهای شیمیایی نیز از این کود استفاده می کنند، در حالی که در کشور ایران با دارا بودن مشکلاتی همچون بیکاری، کمبود مواد آلی خاک های کشور، گران بودن و مشکلات زیست محیطی کودهای شیمیایی و ... هنوز



شکل ۱- کرم های خاکی تولیدکننده ورمی کمپوست

ظاهری مثل کود گیاهی دارد و دارای تخلخل بالا و فعالیت گسترده میکروبی و آنزیمی است و توانایی بسیاری در نگه داری رطوبت و آب دارد. ورمی کمپوست توانایی خاک را در زهکشی، هوادهی و نگه داری آب بالا می برد و معمولاً حاوی مواد غذایی در فرم های قابل دسترس مانند نیترات، فسفات، کلسیم و پتاسیم محلول است (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۵). فعالیت میکروبی باکتری ها در ورمی کمپوست گسترده و بسیار زیاد است. ورمی کمپوست شامل تنظیم کننده های رشد گیاهی مانند جیبرلین، سیتوکینین، اکسین و سایر مواد موثر بر رشد (ویتامین های گروه B) تولید شده

ورمی کمپوست نوعی کود آلی بیولوژیک با pH تنظیم شده، سرشار از مواد هیومیک و عناصر غذایی به شکل قابل جذب برای گیاه، دارای انواع ویتامین ها و هورمون های محرک رشد است که در اثر عبور مواد آلی از دستگاه گوارش کرم های خاکی به وجود می آید (پیوست و الفتی، ۱۳۸۷؛ درزی و همکاران، ۱۳۸۸). ورمی کمپوست حاصل تخریب مواد آلی از طریق تعاملات بین ریزسازواره های خاک و کرم خاکی است. ورمی کمپوست کود مناسبی با نسبت C:N کافی برای خاک به شمار می رود (راماسامی و همکاران، ۲۰۱۱). مواد تشکیل دهنده ورمی کمپوست

مواد مختلف برای تولید ورمی کمپوست

از ویژگی‌های جوامع سنتی آن است که هیچ چیز دور ریخته نمی‌شود. این جوامع برخلاف جوامع صنعتی سرمایه‌داری زباله‌ساز نیستند. چرخه مواد در چنین فرهنگ-هایی در طبیعت گسسته نمی‌شود و هر زباله، نخاله و تفاله بی‌فایده‌ای سودمند می‌گردد و به عبارت دیگر به کود تبدیل می‌شود (فرهادی، ۱۳۸۲). یکی از این مواد فضولات دامی است. بر اساس آمار مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۱) سالانه بیش از ۲۰ میلیون تن کود دامی تولید می‌گردد که می‌توان از این پتانسیل بالا در جهت تولید ورمی کمپوست استفاده نمود. بخش عظیمی از محصولات کشاورزی اعم از زراعی، باغی و دامی که با صرف هزینه‌های گران تولید می‌شود به دلایل متعدد در چرخه تولید تا مصرف ضایع شده و از بین می‌رود. میزان این ضایعات در کشور ما بالا است و برای محصولات مختلف از ۱۰ تا ۵۰ درصد و بیش از آن نیز گزارش شده است (پورقاسم و همکاران، ۱۳۹۲). ضایعات الواری و چوبی از منابع دیگر برای تولید ورمی کمپوست هستند اما مطالعات بسیار کمی مربوط به کاربرد این مواد در تولید ورمی کمپوست صورت گرفته است. بقایای گندم، یونجه، ذرت و سویا که به صورت کاه در مزارع کشاورزی باقی می‌مانند که از این بین کاه گندم به دلیل انعطاف‌پذیرتر بودن نسبت به دیگر مواد ترجیح داده می‌شود (گیگلیوتی و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین مطالعات زیادی روی تولید ورمی کمپوست از ضایعات حیوانی، لجن فاضلاب، زباله شهری و ضایعات کشاورزی-صنعتی صورت گرفته است (اندوا و همکاران، ۱۹۹۹).

توسط ریزسازواره‌ها است (جک و همکاران، ۲۰۱۱). ورمی کمپوست حاصلخیزی خاک را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد چرا که عناصر معدنی موجود در آن به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود. مطالعات بسیاری نشان دادند که ورمی کمپوست می‌تواند رشد و زیست‌توده گیاهان را افزایش دهد (سعیدنژاد و رضوانی مقدم، ۲۰۱۱؛ درزی و همکاران، ۲۰۱۲). اثرات ورمی کمپوست در گیاهان مختلف برای اهداف متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله می‌توان به مطالعات انجام شده در جهت عملکرد (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۴؛ پاکزاد اصل و همکاران، ۱۳۹۵؛ جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ کوزه‌گرکالجی، ۱۳۹۷)، خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود و گوجه‌فرنگی (صدقیانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶)، جوانه‌زنی و وضعیت فیزیولوژیکی ترتیزک (کاربر و همکاران، ۱۳۹۶)، عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی (جهانگیری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵)، خصوصیات کیفی گیاه دارویی همیشه‌بهار (راحی کاریزی و همکاران، ۱۳۹۷)، فاکتورهای رشد و نمو، عملکرد بذر و میزان روغن گیاه دارویی گل مغربی (نعمتی و عزیزی، ۱۳۹۲)، جذب عناصر N, P, K و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (درزی و همکاران، ۱۳۸۸)، عملکرد رویشی و اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی (نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵)، خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی تاتوره (نورافکن و همکاران، ۱۳۹۵)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۰)، میزان عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک و غلظت آن‌ها در گیاه گل‌گاوزبان (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۰)، تغییرات فسفر در خاک آهکی (ضرابی و همکاران، ۱۳۹۶)، بهبود خواص بیولوژیک خاک آلوده به سرب (خدایی و همکاران، ۱۳۹۵) و ... اشاره نمود.



شکل ۲- مواد حاصل از ضایعات کشاورزی و جنگلی

جدول ۱- مقایسه خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست و کمپوست باغی (علیخانی و ثواقبی، ۱۳۸۵)

ورمی کمپوست	کمپوست باغی	ویژگی
۶/۸	۷/۸	pH
۱۱/۷	۳/۶	EC(dS/m)
۱/۹۴	۰/۸	نیتروژن کل (%)
۹۰۲	۱۸۶/۵	نیترات (mg/kg)
۰/۴۷	۰/۳۵	فسفر کل (%)
۰/۷	۰/۴۸	پتاسیم کل (%)
۴/۴۰	۲/۲۷	کلسیم کل (%)
۰/۰۲	<۰/۰۱	سدیم کل (%)
۰/۴۶	۰/۵۷	منیزیم کل (%)
۷۵۶۳	۱۱۶۹۰	آهن کل (mg/kg)
۲۷۸	۱۲۸	روی کل (mg/kg)
۴۷۵	۴۱۴	منگنز کل (mg/kg)
۲۷	۱۷	مس کل (mg/kg)
۳۴	۲۵	بر کل (mg/kg)

اثر ورمی کمپوست زباله شهری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

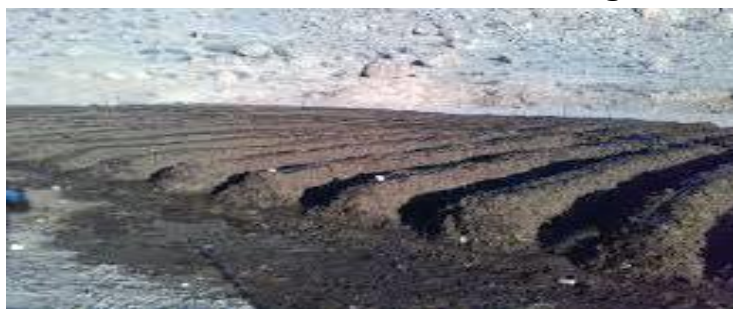
ورمی کمپوست زباله شهری علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی، pH موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک مانند EC، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز بر خواص فیزیکی خاک تأثیر می‌گذارد (ماتوس و آراند، ۲۰۰۳). در یک پژوهش اثر کاربرد ورمی کمپوست و کود دامی در خاک بر بهبود وضعیت فیزیکی خاک را گزارش کردند و بیشترین اثر را به ورمی کمپوست نسبت دادند (تجادا و گونزالس، ۲۰۰۸). محققان گذشته با به کارگیری ورمی کمپوست در خاک، بیان کردند که

معمولاً ورمی کمپوست را در باغبانی با نسبت- های برابر با کود دامی مخلوط و برای هر درخت بین سه تا پنج کیلوگرم در چاله‌ای به عمق ۱۵ تا ۳۰ و عرض ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در اطراف پایه‌ی درخت قرار می‌دهند. سپس این قسمت با مخلوطی از ورمی کمپوست و کود دامی پر می‌شود. بر روی این مخلوط نیز یک لایه خاک می‌ریزند. در زراعت به طور مثال در گندم نیز می‌توان ورمی کمپوست را به میزان پنج تا ۱۰ تن در هکتار در هنگام کاشت به همراه نیمی از مقدار توصیه کودی منطقه استفاده نمود (ناگاوالم و همکاران، ۲۰۰۴).

این نوع کود سبب اسفنجی شدن بافت خاک و افزایش درصد خلل و فرج و در نهایت کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می شود (میرزایی تالارپشتی و همکاران، ۱۳۸۸). کاربرد ورمی کمپوست به همراه کود شیمیایی در خاک های زراعی به عنوان کود آلی، دارای تأثیر مثبت بر وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک داشته و کاربرد آن در خاک به عنوان کود باعث بهبود نفوذپذیری خاک و افزایش محتوای آب خاک می شود. ورمی کمپوست می تواند به عنوان یک کود مناسب و مقرون به صرفه نسبت به کودهای شیمیایی و همچنین برای جبران کمبود مواد آلی در خاک و به دنبال آن شرایط نامناسب خاک استفاده شود (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۰). کرم های خاکی در هنگام مصرف ماده آلی مقداری زیادی خاک نیز می خورند. مواد حاصل از تغذیه کرم خاکی بعد از دفع، خاکدانه های مستحکمی را تشکیل می دهد که یکی از پایدارترین انواع خاکدانه ها و همچنین بهترین نوع خاکدانه ها یعنی خاکدانه های کروی هستند (ادواردز، ۲۰۰۴). ورمی کمپوست در خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر بسزایی دارد. این کود اصلاح کننده خصوصیات

فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است. ورمی کمپوست علاوه بر قابلیت جذب آب با حجم بالا، شرایط مناسب جهت دانه بندی و قدرت نگه داری مواد غذایی مورد نیاز گیاهان را فراهم می نماید (سینگ، ۲۰۰۴). ورمی کمپوست حاوی عناصر غذایی بسیار غنی به ویژه ازت بوده که به تدریج آن ها را در اختیار گیاه قرار می دهد (این نکته از نظر حاصلخیزی خاک بسیار پر اهمیت است). این کود در مقایسه با سایر کودهای آلی دارای میزان عناصر اصلی غذایی بالاتری است. همچنین علاوه بر تأثیر در غلظت عناصر غذایی موجود در خاک بر هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و pH خاک نیز تأثیر می گذارد (ماتوس و آراندا، ۲۰۰۳).

استفاده از کودهای آلی مانند ورمی کمپوست می تواند علاوه بر حفظ ماده آلی و عناصر غذایی خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد و کیفیت محصول تولیدی را تضمین نماید. بنابراین می توان گفت افزایش میزان تولید در واحد سطح نباید هزینه های زیادی به اکوسیستم تحمیل نماید (شهدی کومله، ۱۳۹۸).



شکل ۳- ورمی کمپوست زباله شهری

اثر ورمی کمپوست بر جذب عناصر غذایی

ورمی کمپوست حاوی اکثر عناصر غذایی قابل دسترس مثل نیترات، فسفر، کلسیم و پتاسیم محلول برای گیاه است و شواهد بسیاری مبنی بر کیفیت بهتر کود حاصل از این روش و تأثیر مثبت آن بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف وجود دارد (گوتیرز و همکاران، ۲۰۰۷). وجود عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای کود

ورمی کمپوست می باشد (عطیه و همکاران، ۲۰۰۰). بالا بودن میزان عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در مقایسه با سایر کودهای آلی و به علاوه دارا بودن عناصر میکرو مانند آهن، روی، مس و منگنز از مزایای ورمی کمپوست است (حسین زاده و همکاران، ۲۰۱۶). از ویژگی های ورمی کمپوست مواد هیومیکی است که در اثر عبور مواد آلی از دستگاه گوارش کرم های

خاکی به وجود می‌آید. این مواد دارای اثرات مشابه تنظیم-کننده‌های رشد و هورمون‌ها است (بودن و همکاران، ۲۰۱۰). پیوست و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر ورمی-کمپوست بر رشد و عملکرد اسفناج گزارش کردند که مخلوط ۱۰ درصد ورمی کمپوست و خاک اثر معنی‌داری بر افزایش سطح برگ، میزان پتاسیم، فسفر، نیتروژن، کلسیم و عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی و منگنز داشته است.

اثر ورمی کمپوست بر عملکرد گیاهان زارعی، دارویی و باغی

استفاده از ورمی کمپوست در کشاورزی پایدار علاوه بر افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک (مانند قارچ میکوریزا و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات) در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبودی رشد و عملکرد گیاه زراعی می‌شود (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۴). عطیه و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات خود به افزایش معنی‌دار عملکرد گیاهان کشت داده شده در خاک تحت تیمار با ورمی کمپوست اشاره داشته‌اند که این به محتوای بالای عناصر غذایی ورمی کمپوست و همچنین بهبود خصوصیات خاک از نظر فیزیکی (بهبود تهویه و ظرفیت نگهداشت آب)، شیمیایی (کربن آلی و عناصر تغذیه‌ای) و زیستی در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست مربوط می‌شود.

ورمی کمپوست منبع غنی از عناصر پرمصرف، کم‌مصرف، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه است. از این‌رو استفاده از آن در کشاورزی پایدار علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، سبب رشد زیاد و سریع گیاهان از جمله گیاهان دارویی می‌گردد (پرابها و همکاران، ۲۰۰۷). کاربرد شش تن در هکتار کود ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه‌تر و خشک علف قناری نسبت به کود شیمیایی و همچنین شاهد گردید (ورناصری قندعلی و همکاران، ۱۳۹۵). کاربرد هشت تن ورمی کمپوست در

مقایسه با چهار تن ورمی کمپوست و شاهد، باعث افزایش وزن هزار دانه رازیانه گردید (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴). تلقیح بذور گلرنگ با باکتری‌های *آزوسپریلیوم* و *ازتوباکتر* باعث افزایش ۲۱ و ۳۵ درصدی عملکرد و اجزاء عملکرد دانه این گیاه می‌شود. بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در اثر کاربرد کودهای بیولوژیک علت این افزایش اعلام شد (سلیمانی فرد و سیادت، ۲۰۱۱). هم‌چنین مصرف هم‌زمان کمپوست و ورمی کمپوست نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها در بهبود صفات کمی و کیفی به‌لیمو مؤثرتر بود (اصغری و همکاران، ۱۳۹۵). با کاربرد سطوح مختلف کود ورمی-کمپوست (صفر، چهار و ۱۲ تن در هکتار) در گیاه شوید گزارش شد که حداکثر عملکرد زیست‌توده و ارتفاع بوته به ترتیب در سطوح چهار و ۱۲ تن ورمی کمپوست در هکتار به دست آمد (درزی و حاج سید هادی، ۲۰۱۲). استفاده از کود ورمی کمپوست باعث بهبود صفات رویشی گیاه به‌لیمو شد (سعیدنژاد و رضوانی مقدم، ۱۳۸۹).

اثر ورمی کمپوست بر ماده مؤثره گیاهان دارویی

کاربرد کودهای آلی (ورمی کمپوست) باعث افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی می‌شود (عطیه و همکاران، ۲۰۰۰). در تحقیقی دیگر، مقدار اسانس و نیز مقدار ترکیبات ضروری گیاه دارویی بابونه، در شرایط کشت ارگانیک یعنی استفاده از ورمی کمپوست به جای کودهای شیمیایی به مراتب بالاتر از کشت رایج آن بود (ویلدووا و همکاران، ۲۰۰۶). کاربرد کودهای زیستی مانند ورمی-کمپوست علاوه بر عملکرد سبب افزایش میزان اسانس گیاه دارویی رازیانه می‌شود (آزاز و همکاران، ۲۰۰۹). تحقیقات روی گیاه دارویی بابونه آلمانی نشان داد، بیشترین درصد اسانس مربوط به کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار و کمترین درصد اسانس مربوط به عدم استفاده از آن بود. در پژوهشی دیگر بیشترین میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبو در شرایط کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی بیوسولفور، نیتروکسین و بیو فسفر به‌دست آمد (رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳). مونا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش

در گیاهان شد و از طریق کاهش اثرات مضر شوری، باعث افزایش عملکرد در این گیاه شد (آدامی پور و همکاران، ۲۰۱۹).

استفاده از کود ورمی کمپوست می تواند اثرات منفی ناشی از تنش های محیطی را کاهش دهد. به منظور بررسی اثر کود ورمی کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیکی و غلظت عناصر برگ و ریشه گیاه نخود (رقم پیروز) در شرایط تنش کم آبی آزمایشی صورت گرفت. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش، کود ورمی-کمپوست منجر به افزایش معنی دار تمامی صفات مورد بررسی شد. در شرایط تنش ملایم، کاربرد ورمی کمپوست به صورت معنی داری ارتفاع بوته، تعداد برگ و غلاف در گیاه، وزن خشک ریشه، طول، سطح و حجم ریشه، غلظت پتاسیم و کلسیم در برگ و ریشه را افزایش داد. در شرایط تنش شدید، افزودن ورمی کمپوست به خاک منجر به افزایش معنی دار تعداد برگ و غلاف در گیاه، قطر ریشه، غلظت پتاسیم و کلسیم در برگ و ریشه شد. بر طبق نتایج این مطالعه، استفاده از مخلوط کود ورمی کمپوست و خاک به منظور بهبود شرایط تنش کم آبی توصیه می شود (حسین-زاده و همکاران، ۱۳۹۶). محققان در طی مطالعه ای به این نتیجه رسیدند که کاربرد کمپوست و ورمی کمپوست در خاک های آلوده به فلزات سنگین باعث افزایش راندمان شاخص های میکروبی خاک آلوده می گردد (بلایاوا و همکاران، ۲۰۰۵).

مشکلات و موانع مختلف در تولید و کاربرد ورمی-

کمپوست

منابع زباله شهری، حجم بقایای گیاهی و سایر مواد آلی قابل کمپوست شدن در ایران بسیار زیاد است. هم اکنون بسیاری از بقایای گیاهی و ضایعات محصولات کشاورزی به دلیل عدم وجود مکانیسم مناسب کمپوست شدن، سوزانده می شوند. در حالی که می توان بسیاری از این بقایای حیوانی و گیاهی را تبدیل به کود ورمی کمپوست کرد. در کشور ما به دلیل آشنا نبودن بسیاری از کشاورزان

کردند که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش عملکرد اسانس رازیانه شد.

کاربرد تلفیقی کود آلی و شیمیایی، میزان اسانس را در گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa L.*) نسبت به استفاده انفرادی آن افزایش داده است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴). در گیاه مریم گلی با مصرف ۳۰ تن ورمی-کمپوست در هکتار بیشترین درصد اسانس (۰/۷۹ درصد) به دست آمد و کمترین درصد اسانس با کاربرد یک تن ورمی کمپوست در هکتار به مقدار (۰/۳۹ درصد) حاصل شد. بین استفاده از باکتری محرک رشد و عدم استفاده تفاوت حدود ۱۰ درصدی بوده و کاربرد باکتری عملکرد اسانس را بهبود بخشیده است (نیک نژاد و همکاران، ۱۳۹۵).

اثر ورمی کمپوست در کاهش آسیب تنش های محیطی

پژوهش های متعدد نشان داده است که اصلاح خاک با مواد آلی، به دلیل دارا بودن خصوصیات مطلوبی نظیر قابلیت نگهداری بالای آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش جذب عناصر غذایی و سایر مشخصه های سودمند فیزیکی، شیمیایی و زیستی، منجر به افزایش پایداری تولیدات کشاورزی در شرایط تنش های محیطی می گردد (هیرتا و همکاران، ۲۰۱۰). خواص شیمیایی هیومیک اسید موجود در کودهای آلی مانند ورمی کمپوست از طریق نگه داری عناصر غذایی و افزایش هورمون های تنظیم کننده رشد و فعالیت میکروارگانیسم ها، سبب افزایش تجمع نیتروژن، فسفر و سایر عناصر مورد نیاز در گیاه شده و عملکرد را نیز بهبود می بخشد و گیاه را در مقابل تنش های محیطی مقاوم می کند (اصغری لجایر و همکاران، ۱۳۹۳).

برخی مطالعات در زمینه برهم کنش استفاده از کود ورمی-کمپوست و تنش شوری نشان داد که این کود آلی می تواند اثرات زیان آور تنش شوری را در گیاه آفتابگردان کاهش دهد و در نهایت منجر به افزایش رشد و تولید محصول شود (رفیق و نصرت، ۲۰۰۹). استفاده از ورمی کمپوست در شرایط تنش شوری در گیاه همیشه بهار، سبب افزایش شاخص های مورفولوژیکی و جذب عناصر معدنی

بهینه از آن‌ها، آموزش‌های لازم طراحی شده و برنامه‌ریزی‌هایی صورت گیرد (برینر و همکاران، ۲۰۰۶).

پیشنهادهای ترویجی

در کشور ما به دلیل نارسایی‌های موجود در سیستم نگهداری، تبدیل و توزیع مقداری زیادی از محصولات کشاورزی ضایع می‌شود و سالیانه مقادیر فراوانی پسماند در بخش کشاورزی تولید می‌شود که متأسفانه بخش قابل توجهی از آن به شکل غیراصولی و به دور از ملاحظات زیست‌محیطی در محیط رها شده و یا دفن می‌گردد. از سوی دیگر حجم عظیم زباله‌های تولید شده در جوامع شهری نیز بر این مشکل افزوده است. در حالیکه می‌توان از ضایعات به جامانده از محصولات کشاورزی و زباله تولید شده در سطح شهرها، برای تولید ورمی کمپوست در مقیاس صنعتی استفاده کرد و مقادیر فراوانی کود ورمی کمپوست که مرغوب‌ترین کود آلی می‌باشد، تولید نمود. با تولید و مصرف ورمی کمپوست، از یک طرف کمبود مواد آلی که در خاک‌های کشاورزی ایران وجود دارد مرتفع شده و در مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیز صرفه‌جویی می‌شود. از طرف دیگر معضل زیست محیطی زباله‌های شهری و ضایعات کشاورزی هم حل می‌گردد. علاوه بر آن با تولید ورمی کمپوست، سالیانه مقادیر قابل توجهی بیومس کرم‌خاکی تولید می‌شود. این زیست‌توده تولیدی به‌عنوان یک منبع پروتئینی ایده‌آل برای تغذیه دام، طیور و آبزیان محسوب شده و می‌تواند از جنبه اقتصادی حایز اهمیت باشد. بدون شک استفاده از کودهای بیولوژیک و طبیعی نظیر کود ورمی کمپوست به حفظ و بهبود کیفیت خاک کمک می‌کند و نه تنها موجب احیاء و باز توانی و تغذیه خاک برای افزایش عملکرد و کمیت محصول می‌گردد بلکه موجب افزایش کیفیت، طعم و عطر محصولات شده و تقاضای بازار را افزایش می‌دهد (محمدی، ۱۳۹۶). خوشبختانه کشاورزان از فواید و آثار کود ورمی کمپوست آگاه بوده و تنها باید شرایط لازم جهت

با کرم‌های خاکی و نقش آن‌ها و حتی آشنا نبودن کارشناسان و برخی از محققین با ورمی‌کولوزی و به ویژه گونه‌های کمپوست‌کننده کرم‌های خاکی، از پتانسیل بالای این موجودات خاکزی استفاده نمی‌شود. در زمینه موضوعات تحقیقاتی نیز کمبودهای زیادی در بخش‌های پژوهشی مربوط به کرم‌های خاکی به چشم می‌خورد. بررسی مقالات منتشر شده در این زمینه در کشور و در سالیان اخیر (۱۳۹۷-۱۳۹۴) نشان می‌دهد که بیش از ۹۶ درصد از مقالات فقط در ارتباط با کاربرد کرم‌های خاکی و ورمی کمپوست در تغذیه گیاهی هستند و پژوهش‌های بسیار ناچیزی در رابطه با سایر موضوعات مانند اصلاح خاک و شناسایی و طبقه‌بندی کرم‌ها به انجام رسیده است. این در حالی است که در سایر کشورهای جهان، تحقیقات مربوط به کرم‌های خاکی در همه زمینه‌ها رشد کرده است. از طرف دیگر مسائل مربوط به اقتصاد و بازار خرید و فروش کرم‌های خاکی و ورمی کمپوست تولید شده از برنامه و انسجام لازم برخوردار نیست (بنی‌اعمام و بهزادنسب، ۱۳۹۷). صنعت ورمی کمپوست در ایران هنوز در نخستین مراحل رشد و عدم بلوغ به سر می‌برد و اکثر فعالیت‌های آن در جهت توسعه مصرف داخلی و در مقیاس کوچک متمرکز شده است. در این راستا، مسائل و مشکلات زیادی، تولیدکنندگان و محققین بخش کشاورزی ایران را به چالش کشیده است. از یک سو مسائلی همچون کیفیت ورمی کمپوست تولید شده و عدم وجود نظارت مناسب، نوع گونه‌های مورد استفاده در این فرآیند، کاهش تنوع زیستی کرم‌های خاکی بومی و اثرات نامطلوب کرم‌های خاکی غیر بومی، از جایگاه تحقیقاتی برخوردار نیست، از طرفی دیگر تولیدکنندگان ورمی کمپوست عمدتاً فاقد آشنایی لازم با این فرآیند بوده و مرجع نظارتی معتبر در این زمینه وجود ندارد (یحیی‌آبادی و خاوازی، ۱۳۸۹). یکی از عوامل موثر در عدم استفاده از کود آلی ورمی کمپوست در مزارع، موانع آموزشی در این زمینه می‌باشد. امروزه لازم است که در نظام فرهنگی هر کشور، در ارتباط با اهمیت منابع طبیعی و نحوه استفاده

۴- مراکز علمی و تحقیقاتی ذیصلاح، استاندارد کیفی لازم برای تهیه ورمی کمپوست را تدوین نمایند که در این استاندارد گونه‌های بومی کرم خاکی در اولویت باشند.

۵- واردات کرم‌های خاکی غیربومی به وسیله کمیته‌ای مشخص نظارت و بازرسی مستمر شود.

۶- مسایل مربوط به تولید، توزیع، قیمت‌گذاری و فروش ورمی کمپوست و کرم‌های خاکی توسط یک انجمن تخصصی متشکل از متخصصان و تولیدکنندگان متعهد انجام شود تا دست دلالان در این عرصه کوتاه شود.

۷- لزوم توجه به تولید محصول سالم و ارگانیک و ضرورت بکارگیری کودهای آلی همانند ورمی کمپوست در تولید این محصولات ترویج و توصیه شود.

استفاده از ورمی کمپوست تسهیل شود لذا پیشنهادات ذیل برای استفاد بهتر از ورمی کمپوست ارائه می‌گردد.

۱- به دلیل آشنا نبودن بسیاری از تولیدکنندگان بخش کشاورزی با مسائل ورمی کمپوست، لازم است وضعیت کمبود مواد آلی در خاک‌های ایران بررسی شده و همچنین اهمیت به‌کارگیری کودهای آلی مانند ورمی کمپوست در کشاورزی مد نظر قرار گرفته و ترویج شود.

۲- سیاست‌های اختصاص یارانه‌ای در جهت تشویق کشاورزان به تولید و استفاده از کودهای آلی تدوین شود و بخشی از یارانه اختصاص یافته به کودهای شیمیایی حذف شده و این یارانه به کودهایی مانند ورمی کمپوست تخصیص یابد.

۳- کارگاه‌های آموزشی مناسب برای تولیدکنندگان ورمی کمپوست و کاربران این کودها برگزار شود تا روش‌های علمی و ترویجی علمی و به روز به آنان انتقال داده شود.

فهرست منابع

۱. احمدآبادی، ز.، قاجار سپانلو، م و بهمنیار، م. ع. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد ورمی کمپوست بر میزان عناصر غذایی کم مصرف در خاک و غلظت آنها در گیاه گاوزبان (*Borago officinalis*). مجله به‌زراعی کشاورزی. دوره ۱۳، شماره ۲: ۱-۱۲.
۲. احمدآبادی، ز.، قاجار سپانلو، م و رحیمی آلاشتی، س. ۱۳۹۰. اثر کاربرد ورمی کمپوست بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال پانزدهم، شماره ۵۸: ۱۳۷-۱۲۵.
۳. ارزانش، م. ح. و عباسی، ن. ۱۳۹۰. ورمی کمپوست از تولید تا مصرف. نشریه ترویجی، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی. ص ۱۵-۱.
۴. اصغری لجایر، ح.، متشعزاده، ب.، ثوابی فیروزآبادی، غ. و هادیان، ج. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد مس و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پرمصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis L.*) در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. سال پنجم، شماره ۱۹: ۹۵-۱۱۱.
۵. اصغری، م.، یوسفی‌راد، م. و معصومی زواریان. ا. ۱۳۹۵. بررسی اثرات کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست بر روی صفات کمی و کیفی گیاه دارویی به‌لیمو. فصلنامه علمی و پژوهشی گیاهان دارویی. سال پانزدهم، دوره دوم، شماره ۵۸: ۷۱-۶۳.

۶. بنی‌اعمام، م. و بهزادنسب، ج. ۱۳۹۷. مدیریت تولید کود ورمی کمپوست (مسائل و مشکلات). دومین کنفرانس ملی توسعه کشاورزی، زمین سالم. سالن همایش پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. انجمن علمی علوم و صنایع چوب و کاغذ ایران- سازمان بسیج مهندسین کشاورزی و منابع طبیعی استان البرز.
۷. پاکزاد اصل، س.، عزیزی، پ.، و کسرای، پ. ۱۳۹۵. بررسی اثر کودهای بیولوژیک (ورمی کمپوست) بر میزان عملکرد گیاه ماش. مجله پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر. جلد ۱۳، شماره ۳: ۱۸۰-۱۷۳.
۸. پورقاسم، ف.، علی بیگی، ا. ح. و زرافشان، ک. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی مدیریت ضایعات و بقایای زراعی: مورد مطالعه روستای حسن‌آباد شهرستان روانسر استان کرمانشاه. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۴، پیاپی ۵۲، شماره ۴: ۱۰۲-۸۱.
۹. پیوست، غ. و الفتی چیرانی، ج. ۱۳۸۷. سبزی‌کاری با کمپوست. انتشارات عبدی. ۱۰۶ ص.
۱۰. جلیلیان، ع.، حامدی، ف.، نعمتی، ع.، شیخ‌الاسلامی، م.، ثابتی، پ. و زندیان، پ. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر ورمی-کمپوست بر عملکرد و کیفیت چغندر قند و ارزیابی اقتصادی آن. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. دوره ۳۰، شماره ۳، پیاپی ۱۱۶: ۱۳-۱.
۱۱. جهانگیری نیا، ا.، سیادت، ع.، کوچک‌زاده، ا.، سیاح‌فر، م. و مرادی تلاوت، م. ر. ۱۳۹۵. اثر ورمی کمپوست و تلقیح میکوریزا بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی سویا (*Glycine max L.*) تحت شرایط تنش کم آبی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. جلد ۸، شماره ۴: ۵۹۷-۵۸۳.
۱۲. جهانی، م.، بشارتی، ح. و گلچین، ا. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد ورمی کمپوست‌های غنی شده بر درصد ظهور گیاهچه و وزن خشک بوته ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). دوره ۲۵، شماره ۱: ۳۸-۳۳.
۱۳. حسین‌زاده، س. ر.، امیری، ح. و اسماعیلی، ا. ۱۳۹۶. اثر سطوح ورمی کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود (*Cicer arietinum L. cv. Pirouz*) تحت شرایط تنش آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد دهم، شماره ۴: ۵۴۵-۵۳۱.
۱۴. خاوازی، ک. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۰. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. مجموعه مقالات، نشر آموزش کشاورزی. ۶۰۰ ص.
۱۵. خدایی، پ.، رسولی صدقیانی، م. ح.، و خداوردیلو، ح. ۱۳۹۵. تأثیر ورمی کمپوست هرس درختان سیب بر بهبود برخی خواص بیولوژیک خاک آلوده به سرب. مجله تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۴، شماره ۱: ۶۴-۵۴.
۱۶. درزی، م. ت.، فلاوند، ا. و رجالی، ف. ۱۳۸۸. تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک روی جذب عناصر K، P، N و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill.*). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۵ (۱): ۱۹-۱.
۱۷. راحمی کاریزکی، ع.، رحیمی، ر.، قلی‌زاده، ع.، غلامعلی‌پور علمداری، ا.، صبوری، ح. و داودی، س. ح. ۱۳۹۷. اثر ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهی و ورمی کمپوست بر خصوصیات کیفی گیاه دارویی همیشه-بهار (*Calendula officinalis L.*). دو ماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۳۴، شماره ۵: ۷۲۳-۷۱۱.

۱۸. رسولی صدقیانی، م. ح.، مرادی، ن. و حمزه‌نژاد، ر. ۱۳۹۴. تأثیر نوع و نسبت ورمی‌کمپوست بر برخی شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای، مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال ششم، شماره ۲۴: ۱۲۷-۱۱۵.
۱۹. سعیدنژاد، ا. ح.، رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۹. ارزیابی اثر مصرف کمپوست، ورمی‌کمپوست و کودهای دامی روی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum*) نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۴، شماره ۲: ۱۴۸-۱۴۲.
۲۰. شهبازی، ش.، فاتح، ا. و آینه‌بند، ا. ۱۳۹۴. مطالعه اثر کاربرد هومیک اسید و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم نواحی گرمسیری. مجله تولیدات گیاهی (علمی کشاورزی). جلد ۳۸، شماره ۲: ۱۱۰-۹۹.
۲۱. شهدی کومله، ع. ۱۳۹۸. مروری بر کاربرد کودهای آلی رایج در کشت و تولید برنج سالم و ارگانیک. نشریه مدیریت اراضی. جلد ۷ شماره ۲: ۱۶۵-۱۴۳.
۲۲. صالحی، ع.، فلاح، س.، عباسی، ع.، ایرانی‌پور، ر.، و حیدری، م. ۱۳۹۴. اثر مدیریت تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و خصوصیات کیفی (*Nigella sativa* L.) سیاهدانه. دوماهنامه علمی - پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۳۱، شماره ۲: ۲۶۱-۲۴۸.
۲۳. ضرابی، م.، عصارپناه، م. و کلاه‌چی، ز. ۱۳۹۶. اثر ورمی‌کمپوست دامی و زباله شهری بر تغییرات فسفر از منابع مختلف در یک خاک آهکی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). الف، جلد ۳۱، شماره ۲: ۲۳۰-۲۱۵.
۲۴. علیخانی، ح. و ثواقبی، غ. ۱۳۸۵. تولید ورمی‌کمپوست برای کشاورزی پایدار (ترجمه). مرکز نشر جهاد دانشگاهی. ۲۸۶ ص.
۲۵. غلامی، ا.، اکبری، ا. و عباس‌دخت، ح. ۱۳۹۴. بررسی کاربرد کود های زیستی و آلی بر خصوصیات رشد و عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. جلد ۷، شماره ۲: ۲۲۴-۲۱۵.
۲۶. فرهادی، م. ۱۳۸۲. کشتکاری و فرهنگ، چون و چراهایی بر کشاورزی صنعتی و شیوه‌های صنعتی بهورزی و بهداری و توان‌بخشی زمین در ایران. موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی.
۲۷. کاربر، م.، علیدادی، ح. و نیکروح، ن. ۱۳۹۶. تأثیر ترکیب ورمی کمپوست‌های مختلف بر جوانه زنی و وضعیت فیزیولوژیکی گیاه ترتیزک. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. دوره سوم، شماره ۱: ۷۳-۶۷.
۲۸. کوزه‌گر کالجی، م.، اردکانی، م. ر.، خداپنده، ن. و علوی فاضل، م. ۱۳۹۷. اثر همزیستی میکوریزایی همراه با ورمی‌کمپوست و چای کمپوست بر عملکرد نعنای آبی (*Mentha aquatic* L.). نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد دوازدهم، شماره ۳ (۴۷): ۴۷۶-۴۶۱.
۲۹. محمدی، ف. ۱۳۹۶. موانع آموزشی و ترویجی به کارگیری کود ورمی‌کمپوست توسط کشاورزان (مطالعه موردی: شهرستان اسدآباد). فصلنامه آموزش محیط زیست و توسعه پایدار. سال ششم، شماره ۱: ۲۷-۱۹.
۳۰. میرزایی تالارپشتی، ر.، کامبوزیا، ج.، صباحی، ح. و دامغانی، ع. ۱۳۸۸. اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و تولید محصول و ماده خشک گوجه فرنگی. پژوهش‌های زراعی ایران. ۷ (۱): ۲۶۷-۲۵۷.

۳۱. نعمتی، ه. و عزیزی، م. ۱۳۹۲. اثر سطوح ورمی کمپوست و تراکم بوته بر فاکتورهای رشد و نمو، عملکرد بذر و میزان روغن گیاه دارویی گل مغربی (*Oenothera biennis* L.). تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی). جلد ۳۶، شماره ۲: ۲۳-۳۴.
۳۲. نورافکن، ح.، محمودی راد، ز. و پویان فر، م. ۱۳۹۵. اثر محلول پاشی چای ورمی کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی تاتوره. فصلنامه بوم شناسی گیاهان زراعی. جلد ۱۲، شماره ۲: ۱۷-۱۱.
۳۳. نیک نژاد، ی.، فلاح، ه. و محمودی، م. ۱۳۹۵. اثر ورمی کمپوست و کودهای زیستی بر عملکرد رویشی و اسانس گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis*). مجله علمی پژوهشی اکو فیزیولوژی گیاهان زراعی. دوره ۸، شماره ۴: ۴۴۲-۴۳۱.
۳۴. ورناصری قندعلی، و.، رضوانی مقدم، پ. و خرم دل، س. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد علوفه علف قناری (*Phalaris canariensis* L.) در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری، کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی. نشریه پژوهش های زراعی ایران. جلد ۱۴، شماره ۳: ۵۳۸-۵۲۶.
۳۵. یحیی آبادی، م و خاوازی، ک. ۱۳۸۹. استفاده از کرم های خاکی در تولید ورمی کمپوست (مسائل و مشکلات). اولین کنگره چالش های کود در ایران. تهران، موسسه تحقیقات. ص: ۸-۱.
36. Adamipour, N., Khosh-Khui, M., Salehi, H., Rho, H. 2019. Effect of vermicompost on morphological and physiological performances of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity conditions. *Advances in Horticultural Science*, 33(3): 345-358.
37. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., Lucht, C. 2005. Effects of vermin composts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedo biologia*, 49(4): 297-306.
38. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93: 145-153.
39. Atiyeh, R.M., S. Subler, C.A. Edwards, G. Bachman, J.D. Metzger and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo biologia*, 44: 579-590.
40. Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A., and Metzger, J.D. 2002. The influence of arthworm processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*, 81: 103-108.
41. Azzaz N.A., Hassan E.A., Hamad E.H. 2009. The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of fennel plants treated with organic and biofertilizer instead of mineral fertilizer. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (2): 579-587.
42. Belyaeva O.N., Haynes R.J. and Birukova O.A. 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: 85-94.
43. Birner, R., K. Davis, J. Pender & M. Choen. 2006. "From Best practice to Best fit: A framework for analyzing pluralistic agricultural advisory services worldwide international food policy research institute".
44. Bowden, C.L., Evanylo, G.K., Zhang, X., Ervin, E.H., Seiler, J.R. 2010. Soil carbon and physiological responses of corn and soybean to organic amendments. *Compost Science and Utilization*, 18:162-173.
45. Darzi, M.T., Haj Seyed Hadi, M.R., Rejali, F. 2012. Effects of the application of vermicompost and phosphate solubilizing bacterium on the morphological traits and seed yield of anise (*Pimpinella anisum* L.). *J. Medicinal Plants Reserch*, 6(2): 215-219.
46. Edwards, Clive A. (Ed.) *Earthworm Ecology*. Boca Raton: CRC Press, 2004. Second revised edition.

47. Gigliotti G. Kaiser K. Guggenberger G. and Haumaier L. 2002. "Differences in the chemical composition of dissolved organic matter from waste materials of different sources". *Biology and Fertility of Soils*, 36: 321-329.
48. Gutierrez-Miceli, F.A., B. Moguel-Zamudio, M. Abud-Achila and V.F. Gutierrez-Oliva. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*, 98(15): 2781-2786.
49. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54 (1): 87-92.
50. Huerta, E., Vidal, O., Jarquin, A., Geissen, V., Gomez, R. 2010. Effect of vermicompost on the growth and production of Amashito Pepper, Interactions with Earthworms and Rhizobacteria. *Compost Science and Utilization*, 18: 282-288.
51. Jack, A.L.H., Rangarajan, A., Culman, S.W., Sooksa-Nguan, T., Thies, J.E. 2011. Choice of organic amendments in tomato transplants has lasting effects on bacterial rhizosphere communities and crop performance in the field. *Applied Soil Ecology*, 48(1): 94-101.
52. Matos G D and Arrunda M A Z. 2003. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. *Process Biochemistry*, 39: 81-88.
53. Mona, Y., Kandil, A.M., and Swaefy Hend, M.F. 2008. Effect of three different compost levels on fennel and alvia growth character and their essential oils. *Biological Sciences*, 4: 34-39.
54. Nagavallem, KP. Wani, SP. Lacroix, S. Padmajas, VV. Vineela, C. Baburao, M. Sahrawat, KL. 2004. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. *Global themr on Agroecosystems*, report. No. 8.
55. Ndegwa P. M. Thompson S. A. and Das K. C. 1999. "Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids". *Bioresource technology*, 71: 5-12.
56. Peyvast, G. Olfati, J.A. Madeni, S. and Forghani, A. 2008. Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea*L.). *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6: 110-113.
57. Prabha, M.L., Jayraaj, I.A., Jayraaj, R. and Rao, D.S. 2007. Effective of vermicompost and growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 9 (2): 321- 326.
58. Rafiq, A., Nusrat, J., 2009. Demonstration of growth improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by the use of organic fertilizers under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 41: 1373-1384.
59. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidary, G.R. and Pirzad, A.R. 2011. Effect of biofertilizers application on some morphological traits and yield of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 25(3): 335-343.
60. Ramasamy, P.K., Suresh, S.N. 2011. Effect of vermicompost on root numbers and length of sunflower plant (*Helianthus annuus* L.). *Journal of pure and applied microbiology*, 4(1): 297-302.
61. Saeid Nejad, A.H., Rezvani Moghaddam, P. 2011. Evaluation of compost, vermin compost and cattle manure application on yield, yield components and essential oil percent in cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal Horticulture Science*, 24(2): 142-148.
62. Singh, D.P. 2004. Vermiculture biotechnology and biocomposting In: *Environmental microbiology and biotechnology* (Eds: Singh, D.P., and Dwivedi, S.K.). New Age International (P) Limited Publishers, New Delhi: 239 pp.
63. Soleymanifard, A., and Siadat, S.A. 2011. Effect of inoculation with biofertilizer in different nitrogen levels on yield and yields components of safflower under dry land conditions. *American-Eurasian Journal Agriculture Environment Science*, 11: 473.-477.
64. Tejada M and Gonzalez J L (2008) Influence of two organic amendments on the soil physical properties. *Geoderma*, 145: 325-334.
65. Vildova, A., Stolcova, M., and Kloucek Orsak, P. M. 2006. Quality characterization of chamomile (*Matricaria recutita* L.) in organic and traditional agricultures. *International Symposium on Chamomile Research, Development and Production Presov*: 81-82.

بررسی نقش اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم در فراهمی عناصر غذایی کم مصرف در خاک

ندا مرادی^۱

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

n.moradi@scu.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۷ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

فراهمی عناصر غذایی کم مصرف در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاهان به ویژگی‌های خاک (مانند مواد آلی، کربنات کلسیم و pH) و برهمکنش‌های بین ریشه‌های گیاه و ریزجانداران خاک بستگی دارد. زیست‌فراهمی عناصر کم مصرف آهن (Fe)، منگنز (Mn)، مس (Cu) و روی (Zn) در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل کمبود مواد آلی، pH بالا و رسوب توسط کربنات‌ها، اندک می‌باشد. یکی از محدودیت‌های عمده تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی، زیست‌فراهمی اندک عناصر غذایی کم مصرف می‌باشد. نتایج مطالعات نشان داده که در شرایط کمبود عناصر غذایی، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم مانند اسید سیتریک، اسید اگزالیک و اسید مالیک توسط ریشه گیاهان آزاد شده و سبب افزایش حلالیت عناصر کم مصرف می‌شوند. اسیدهای آلی ترشح شده در ریزوسفر گیاهان، در افزایش تحرک و زیست‌فراهمی عناصر غذایی کم مصرف در خاک و به دنبال آن افزایش جذب آن‌ها توسط گیاهان موثر شناخته شده‌اند. افزون بر این، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم در سمیت زدایی فلزات سنگین و بهبود فعالیت میکروبی خاک موثر هستند. بنابراین مطالعه حاضر به بررسی تاثیر اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم در افزایش زیست‌فراهمی عناصر کم مصرف شامل آهن، منگنز، مس و روی می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: ترشحات ریشه، حلالیت، خاک آهکی، عناصر کم مصرف، ریزوسفر

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

مقدمه

آهن، منگنز، مس و روی از جمله عناصر غذایی کم مصرف ضروری برای رشد و نمو گیاهان می باشند. این عناصر نقش مهمی در تغذیه گیاهان و بسیاری از فرآیندهای گیاهی دارند (کومار و همکاران، ۲۰۱۶). تحرک و فراهمی عناصر کم مصرف در خاک به ویژگی های خاک از جمله pH، مواد آلی، مقدار کربنات کلسیم، کانی های رس و اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزات بستگی دارد (میلانو و همکاران، ۲۰۱۰).

بخش زیادی از خاک های ایران آهکی هستند. واکنش کربنات کلسیم در خاک های آهکی با تولید یون هیدروکسید (OH^-) و مصرف یون هیدروژن (H^+) سبب افزایش pH خاک در حد ۷/۵ تا ۸/۵ می گردد (رنگل، ۲۰۱۵). در pH های بالا حلالیت عناصر آهن، منگنز، مس و روی در خاک کاهش می یابد؛ بنابراین شکل قابل دسترس این عناصر برای گیاهان فراهم نمی باشد. به دلیل فراهمی اندک این عناصر در خاک های آهکی، کمبود این عناصر در گیاهان سبب ایجاد مشکلات تغذیه ای شده است (رنگل، ۲۰۱۵). کمبود این عناصر غذایی در گیاهان و بویژه غلات سبب کمبود این عناصر غذایی در تغذیه جوامع بشری شده است و امروزه جمعیت زیادی از مردم جهان از کمبود عناصر غذایی کم مصرف به ویژه آهن و روی رنج می برند (رنگل، ۲۰۱۵).

نتایج مطالعات مختلف نشان داده که هنگام کمبود عناصر غذایی کم مصرف در خاک، ریشه های گیاهان اسیدهای آلی ترشح می کنند (کلارهوم و همکاران، ۲۰۱۵). پژوهش گران بیان کرده اند که اسیدهای آلی نقش مهمی در انحلال عناصر کم مصرف برای رشد گیاه ایفا می کنند (رنگل، ۲۰۱۵؛ بوش و همکاران، ۲۰۱۶؛ ما و همکاران، ۲۰۱۶). ترشحات ریشه ای، نگهداری فلزات توسط مواد آلی خاک، اکسیدها و رس ها را تعدیل کرده و رهاسازی آن ها را افزایش می دهند (چن و همکاران، ۲۰۰۳). اگر چه نتایج مطالعات مختلف نشان داده که کاربرد کلات کننده ها مانند اتیلن دی آمین تترا استیک

اسید (EDTA) در افزایش زیست فراهمی فلزات موثر بوده است، اما به دلیل پایداری محیطی EDTA و احتمال آبتیوی فلزات، استفاده از آن با چالش هایی روبرو است. این در حالی است که اسیدهای آلی به سرعت در خاک تجزیه می شوند و خطر آبتیوی نیز ندارند (ناسیمتو و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج مطالعات نشان داده اسیدهای با وزن مولکولی کم مانند اسید سیتریک^۲، اسید اگزالیک^۳ و اسید مالیک^۴ کمپلکس هایی را با یون های فلزی تشکیل داده و حلالیت عناصر غذایی کم مصرف را در خاک افزایش دهند (رنگل، ۲۰۱۵؛ کلارهوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ بوش و همکاران، ۲۰۱۶).

آنیون اسیدهای آلی مانند سیتریک، مالیک و اگزالیک در بسیاری از فرآیندهای ریشه شرکت می کنند که این فرآیندها شامل سهولت جذب عناصر غذایی، سمیت زدایی فلزی، هوازدگی کانی ها و جذب عوامل بیماری می باشد. البته تا زمانی که ساز و کار رهاسازی اسیدهای آلی و سرنوشت این ترکیبات در خاک کاملاً درک نشود، ارزیابی اسیدهای آلی در فرآیندهای ذکر شده میسر نخواهد بود (مرادی و همکاران، ۲۰۱۲)؛ بنابراین در این مطالعه اهمیت اسیدهای آلی در خاک و نقش و تاثیر آن ها بر حلالیت عناصر غذایی کم مصرف و جذب و واجذب آن ها در خاک آهکی و همچنین جذب نقش این ترکیبات در جذب عناصر کم مصرف توسط گیاهان، بررسی شده است.

عناصر غذایی کم مصرف و اهمیت آن ها در تغذیه گیاهان

عناصر غذایی کم مصرف برای رشد و نمو گیاهان ضروری هستند و گیاهان در مقادیری کم تر از عناصر غذایی پرمصرف به آن ها نیاز دارند (کومار و همکاران، ۲۰۱۶). عناصر غذایی ضروری کم مصرف که در رشد گیاهان و فعالیت های متابولیکی آن ها موثرند به دو شکل کاتیون و آنیون در خاک وجود دارند. کاتیون ها

2. Citric acid
2. Oxalic acid
3. Malic acid

آنیون‌های اسید آلی با زنجیره کوتاه، اسیدهای آمینه و ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم باشد (رنگل، ۲۰۱۵).

اسیدهای آلی

اسیدهای آلی از نظر شیمیایی ترکیبات کربنی هستند که ویژگی اصلی آن‌ها دارا بودن حداقل یک گروه کربوکسیل ($R-COOH$) می‌باشد و به دلیل نقش اصلی که در متابولیسم سلولی دارند، در تمام ارگانیسم‌های زنده یافت می‌شوند (مارچنر، ۱۹۹۵). اگرچه این تعریف شامل تعداد زیادی از ترکیبات با ساختارهای متنوع می‌شود، اما اغلب اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم حائز اهمیت هستند (کلارهوم و همکاران، ۲۰۱۵).

در خاک‌ها ریشه گیاهان، قارچ‌ها و همچنین باکتری‌ها، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم، شامل مونوکربوکسیلیک اسید (مانند اسید استیک)، دی کربوکسیلیک اسید (مانند اسید اگزالیک و اسید مالیک) و همچنین تری کربوکسیلیک اسید (مانند اسید سیتریک و اسیدتارتاریک)، تولید می‌کنند (کلارهوم و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین منشأ دیگر تولید اسیدهای آلی در خاک، تجزیه مواد آلی در خاک می‌باشد (بوشر و همکاران، ۲۰۱۶).

معمولاً محدوده وسیعی از غلظت اسیدهای آلی در محلول خاک‌ها وجود دارند. برای مثال در محلول خاک‌های هوازی این مقدار ۰/۱ تا ۵۰ میکرومولار گزارش شده است (ساندنس و همکاران، ۱۹۹۵). به‌طور کلی در بیش‌تر مطالعاتی که اسیدهای آلی از خاک‌های مختلف با پوشش‌های گیاهی گوناگون استخراج شده‌اند غلظت آنها در محلول خاک کم‌تر از ۵۰ میکرومولار گزارش شده است (استرویل، ۲۰۰۱). نتایج مطالعات نشان داده که غلظت اسیدهای مونوکربوکسیلیک (فرمیک، استیک، پروپونیک، بوتیریک، لاکتیک و والریک) در محلول خاک نسبت به اسیدهای دی و تری کربوکسیلیک مثل اگزالیک، مالیک و سیتریک بیش‌تر است (ساندنس و همکاران، ۱۹۹۵).

شامل آهن، منگنز، مس و روی و آنیون‌ها شامل بور و مولیبدن و کلر می‌باشند (کومار و همکاران، ۲۰۱۶). عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، مس و روی از اجزای تشکیل دهنده بسیاری از آنزیم‌ها و پروتئین‌ها در گیاهان بوده و در فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های گیاهی موثرند (رنگل، ۲۰۱۵). این عناصر همچنین نقش بسیار مهمی در فرآیندهای گیاهی مانند فتوسنتز و تنفس، تعادل تغذیه‌ای گیاهان و عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان دارند. کمبود هر یک از این عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک می‌تواند مانع رشد گیاهان شود، حتی اگر سایر عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم مصرف در مقدار کافی وجود داشته باشند (کومار و همکاران، ۲۰۱۶).

ترشحات آزاد شده از ریشه گیاهان در ریزوسفر

ریزوسفر منطقه‌ای از خاک در پیرامون ریشه‌ی گیاه است که تحت تاثیر فعالیت‌های ریشه قرار دارد. در این منطقه‌ی حساس، گیاهان بیشترین واکنش را نسبت به محیط خود نشان می‌دهند. در شرایطی که گیاه دارای رشد و نمو معمولی باشد، مقادیر فراوانی از مواد آلی و معدنی بین ریشه و خاک تبادل می‌یابند که به طور اجتناب-ناپذیری منجر به تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ریزوسفر می‌شود (بوشر و همکاران، ۲۰۱۶). گیاهان به طور متوسط ۶۰-۳۰ درصد از کربن حاصل از فتوسنتز خود را به‌صورت ترکیبات آلی مختلف در ریزوسفر خود آزاد می‌کنند. بخشی از این ترکیبات اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم هستند (بوشر و همکاران، ۲۰۱۶). ترشحات ریشه گیاهان شامل ترکیبات آلی متنوع (آنیون‌های کربوکسیلاتی، کربوهیدرات‌ها، فنول‌ها، اسیدهای آمینه) و یون‌های غیرآلی (پروتون‌ها، فسفات و غیره) شیمی و بیولوژی ریزوسفر را تغییر داده و فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف را افزایش می‌دهند (رنگل، ۲۰۱۵). افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف ممکن است در اثر اسیدی شدن خاک ریزوسفر انحلال و تحرک

تغییرات و پایداری اسیدهای آلی در خاک

اسیدهای آلی بیشترین ذخایر کربن موجود در خاک هستند و زمانی که در خاک آزاد می‌شوند به سرعت توسط ریزجانداران خاک جذب و یا تجزیه می‌شوند افزون بر این جذب بر روی سطوح جامد خاک نیز می‌تواند نیمه عمر و سایر رفتارهای آن‌ها را در خاک را تغییر دهد؛ بنابراین اهمیت آن‌ها به ویژگی‌های فاز جامد خاک، فعالیت میکروبی در ریزوسفر، ویژگی‌های شیمیایی اسیدهای آلی و ترکیب سایر ترشحات آزاد شده از ریشه بستگی دارد (اوبرگر و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از مسایل مهم در ارتباط با استفاده از اسیدهای آلی در خاک، تجزیه این ترکیبات توسط ریزجانداران خاک است. به طور کلی ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم به آسانی تجزیه می‌شوند و در نتیجه نیمه عمر کوتاهی بین ۰/۱ تا ۲۶ ساعت دارند (ون هس و همکاران، ۲۰۰۸). پایداری و نیمه عمر اسیدهای آلی مختلف در خاک‌های با ویژگی‌های مختلف نیز متفاوت است. برای مثال ون هس و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند اسید اگزالیک نسبت به سایر اسیدهای آلی پایداری بیشتری در خاک‌های آهکی دارد و با سرعت کمتری تجزیه می‌شود. همچنین فوجی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند اسید اگزالیک نسبت به اسید سیتریک مدت زمان بیشتری باقی می‌ماند و اسید سیتریک سریع‌تر توسط ریزجانداران خاک تجزیه می‌شود.

مکانیسم آزاد شدن اسیدهای آلی توسط ریشه گیاهان

رهاسازی اسیدهای آلی از ریشه به عنوان راهکاری عمومی برای انحلال فلزات از خاک‌هایی با فاز معدنی بسیار نامحلول پیشنهاد شده است (کلارولم و همکاران، ۲۰۱۵). عموماً ریشه گیاهان اسیدهای آلی بسیاری ترشح می‌کنند که در طول زنجیره با هم تفاوت دارند (جونز و همکاران، ۱۹۹۴). در حالی که برخی از این اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید مالیک در تولید انرژی به عنوان واسطه‌ی چرخه تری‌کربوکسیل شرکت دارند و سایر آنها مانند، اسید اگزالیک در سلول‌ها برای

تبادل بار الکتریکی و یا حفظ و نگهداری پتانسیل اسمزی حضور دارند (جونز، ۱۹۹۸).

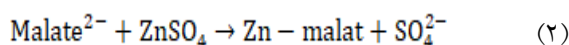
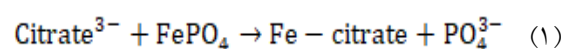
ترشح اسیدهای آلی از ریشه مربوط به افزایش فعالیت آنزیم‌های PEP کربوکسیلاز، مالات دهیدروژناز و سیترات سنتتاز می‌باشد. این آنزیم‌ها نقش اساسی در تولید اسیدهای آلی دارند. با کاهش فعالیت پیرووات کیناز و افزایش فعالیت آنزیم PEP کربوکسیلاز، مسیر کربن به سمت تولید اسیدهای آلی می‌رود (بوشر و همکاران، ۲۰۱۶).

همواره ترشح اسیدهای آلی در ریزوسفر انجام می‌شود، چرا که غلظت اسیدهای آزاد در سیتوزول بسیار بیش‌تر از محلول خاک است (جونز و داراه، ۱۹۹۶). افزون بر این شیب بار الکتریکی چشم‌گیری در غشا پلاسمایی وجود دارد که ناشی از فعالیت ATP به عنوان نیروی محرکه پمپ پروتونی (H^+ -ATP) و توان نفوذپذیری K^+ سیتوزول است. هنگام پمپاژ یون هیدروژن به وسیله H^+ -ATP به درون آپوپلاست، اختلاف بار ایجاد شده که سبب خارج شدن اسیدهای آلی به خارج از سلول‌ها و به داخل محلول خاک شده و در نهایت جذب کاتیون‌ها از محلول خاک را افزایش می‌دهد (سامولز و همکاران، ۱۹۹۲). نتایج بررسی‌ها نشان داده گیاهانی که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند نسبت به گیاهانی که در خاک‌های با pH کم‌تر رشد می‌کنند، مقدار اسیدهای آلی بیشتری ترشح می‌کنند (استروم و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج مطالعات همچنین نشان داده گیاهانی که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند، بیش‌تر اسیدهایی با دو یا سه گروه کربوکسیل (سیترات، اگزالات و مالات) ترشح می‌کنند که این اسیدهای آلی توانایی بالایی در افزایش حلالیت عناصر کم مصرف دارند (استروم و همکاران، ۲۰۰۵).

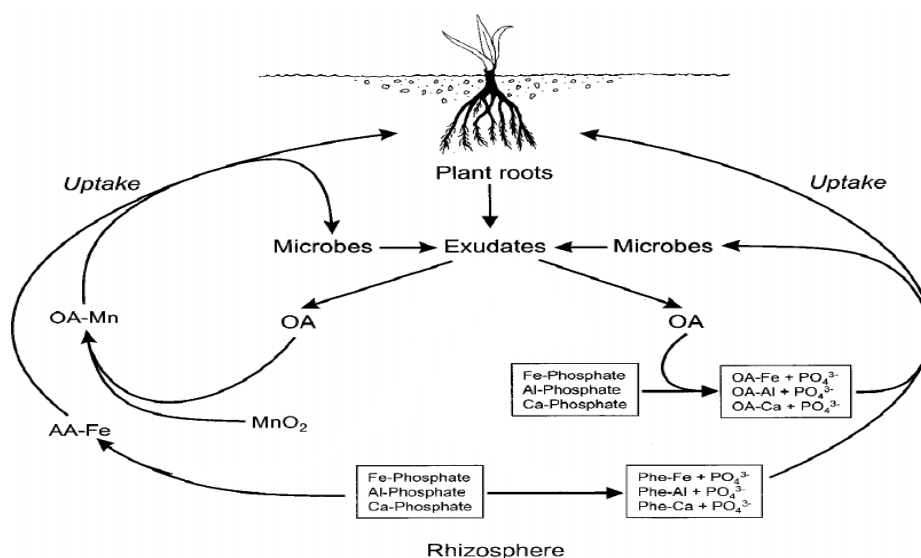
نقش اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه گیاهان

اسیدهای آلی معمولاً در ریزوسفر آزاد می‌شوند و ترشح آنها از ریشه‌های گیاه عمدتاً در واکنش به کمبود عناصر غذایی و تنش یون‌های معدنی است (جونز،

(۲۰۰۱). یکی از ویژگی‌های خاک‌های آهکی فراهمی اندک عناصر غذایی کم‌مصرف می‌باشد (مارچنر، ۱۹۹۵). نتایج پژوهش‌ها نشان داده اسیدهای آلی آزاد شده از ریشه مانند اسید سیتریک و اسید مالیک می‌توانند با عناصر کم‌مصرف در خاک کمپلکس‌های قوی تشکیل داده و فراهمی این عناصر را افزایش دهند (دوکارا و فیلیپس، ۲۰۰۲؛ خادمی و همکاران، ۲۰۰۹). این اسیدها می‌توانند کلات‌های پایداری با کاتیون‌های چند ظرفیتی تشکیل دهند (رابطه ۱) و یا جایگزین آنیون‌ها در خاک گردند (رابطه ۲) (مارشنر، ۱۹۹۵).



کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف سبب تجمع اسیدهای آلی در بافت‌های ریشه و همچنین افزایش ترشح H^+ می‌شود (کلارهولم و همکاران، ۲۰۱۵). دگریس و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند اسید سیتریک ترشح شده توسط ریشه سبب افزایش واجذب روی از خاک و ورود آن به فاز محلول شده و با تشکیل کمپلکس با روی سبب افزایش تحرک آن در خاک می‌شود. آن‌ها همچنین گزارش کردند که ترشح اسیدهای آلی توسط ریشه گیاهان اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) و گوجه‌فرنگی (*Salanum lycopersicum* L.) تحرک مس را در خاک‌های آهکی افزایش می‌دهد.



شکل ۱- تاثیر اسیدهای آلی (OA) ترشح شده از ریشه بر فراهمی عناصر غذایی و جذب آن‌ها توسط گیاهان و ریزجاندانان در ریزوسفر (دوکارا و فیلیپس، ۲۰۰۲)

نتایج مطالعات مختلف نشان داده که درجه کمپلکس‌شدن اسیدهای آلی با فلزات محلول خاک به نوع اسید آلی واکنش‌دهنده و تعداد گروه‌های کربوکسیل آن، نوع فلز و pH محلول خاک بستگی دارد (بوشر و همکاران، ۲۰۱۶). اسیدهای آلی با یک گروه کربوکسیل از جمله لاکتات و استات و فرمات توانایی اندکی در تشکیل کمپلکس‌های فلزی دارند (بوشر و همکاران، ۲۰۱۶). به-طور کلی گروه‌های عاملی اسیدهای آلی، مانند گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل، مهم‌ترین مکان‌های پیوندی

برای یون‌های فلزی آزاد در محلول و فلزات جذب سطحی شده بر روی سطح ذرات خاک هستند. این گروه-های عاملی توانایی تشکیل کمپلکس درون کره‌ای و برون کره‌ای با فلزات را دارند (ووانا و همکاران، ۲۰۱۰). گروه-های کربوکسیل در اسیدهای آلی بار منفی ایجاد می‌کنند. بدین ترتیب که دی‌پروتونه شدن این گروه‌های عاملی در pHهای محدوده خاک‌های قلیایی و آهکی سبب به‌وجود آمدن بارهای منفی میشود؛ بنابراین این گروه‌های عاملی می‌توانند با کاتیون‌های فلزی کمپلکس تشکیل دهند

سرعت بخشیدن ترشح اسیدهای آلی توسط گیاه میزبان سبب بهبود فراهمی آهن، مس و روی، افزایش چشم‌گیر زیست‌توده اندام هوایی و همچنین افزایش تجمع این عناصر در گیاه تاج‌ریزی (*Solanum nigrum* L.) شدند.

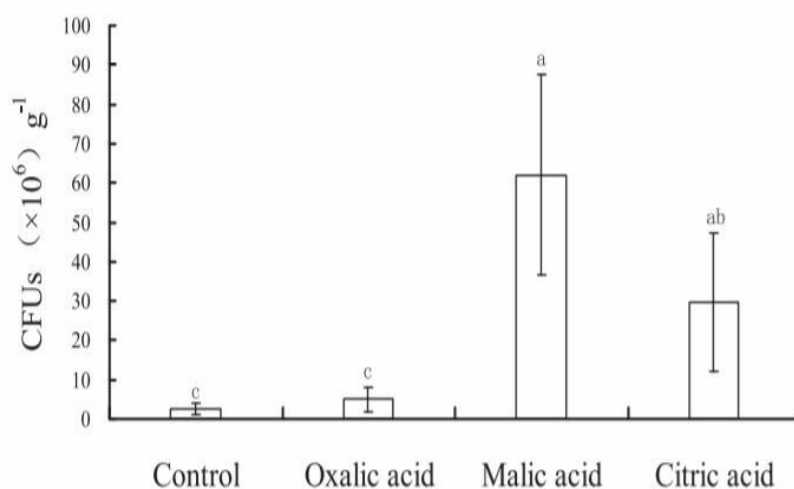
تاثیر اسیدهای آلی بر فعالیت ریزجانداران خاک

اسیدهای آلی افزون بر شرکت در بیشتر فرآیندهای خاک از جمله حلالیت عناصر غذایی، در فعالیت ریزجانداران خاک در ریزوسفر نیز موثرند (جونز، ۱۹۹۸). تاثیر اسیدهای آلی بر فعالیت میکروبی به مقدار و نوع اسیدهای آلی رها شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. افزوده شدن اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم به خاک، به‌عنوان منبع کربن برای ریزجانداران خاک عمل نموده و سبب افزایش رشد و فعالیت میکروبی در خاک می‌شود (مارتین و همکاران، ۲۰۱۶). اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه همچنین یک عامل برای جذب ریزجانداران خاک و افزایش همزیستی آن‌ها با گیاهان در ریزوسفر می‌باشند (بدری و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج پژوهش لینگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که افزودن اسیدهای آلی می‌تواند نقش مهمی را به عنوان منبع غذایی برای باکتری‌های محرک رشد گیاه ایفا نموده و سبب افزایش فعالیت و جمعیت آن‌ها شوند (شکل ۲).

(آدلیک و همکاران، ۲۰۱۷). هر چه تعداد گروه‌های کربوکسیل اسیدهای آلی بیش‌تر باشد توانایی آن‌ها در تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های فلزی بیش‌تر است. به همین دلیل توانایی اسیدهای آلی برای تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های فلزی معمولاً بدین ترتیب است: اسیدهای آلی دارای سه گروه کربوکسیل (مانند اسید سیتریک و اسیدتارتاریک) < اسیدهای آلی دارای دو گروه کربوکسیل (مانند اسید مالیک و اسید فوماریک) < اسیدهای آلی دارای دو گروه کربوکسیل (مانند اسید لاکتیک، اسید فرمیک و اسید استیک) (ووانا و همکاران، ۲۰۱۰؛ آدلیک و همکاران، ۲۰۱۷).

اسیدهای آلی ترشح شده توسط ریزجانداران خاک

اسیدهای آلی ترشح شده توسط ریزجانداران خاک نیز در بهبود حلالیت عناصر در خاک موثرند. باکتری‌ها و قارچ‌ها از جمله ریزجانداران خاک هستند که توانایی ترشح اسیدهای آلی را دارند (راجکومار و همکاران، ۲۰۱۲؛ کلارهولم و همکاران، ۲۰۱۵؛ بوشر و همکاران، ۲۰۱۶). کلارهولم و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند قارچ‌های میکوریز از جمله ریزجانداران خاک هستند که توانایی بالایی در تولید اسیدهای آلی دارند. چن و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند اسیدهای آلی تولید شده توسط باکتری‌های *Pseudomonas* sp. LK9 با

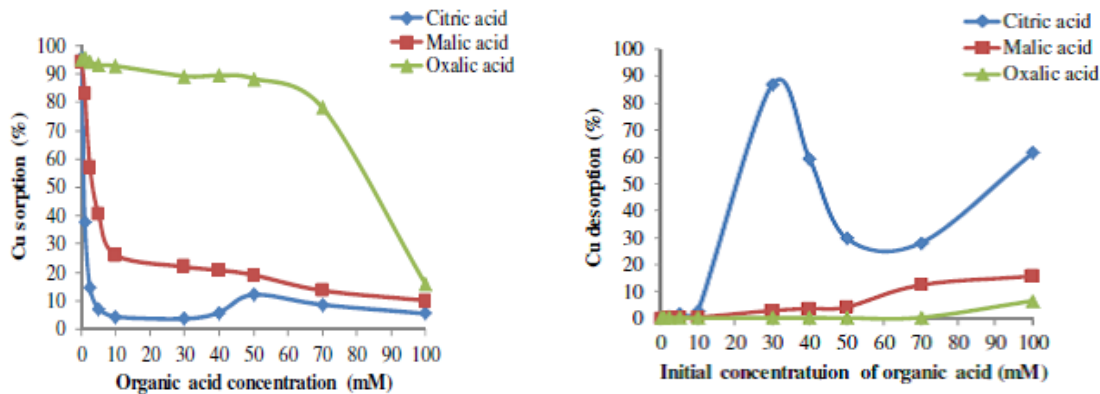


شکل ۲- جمعیت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه پس از افزودن اسیدهای آلی (لینگ و همکاران، ۲۰۱۱)

تاثیر افزودن اسیدهای آلی در جذب و واجذب عناصر کم‌مصرف در خاک

حضور اسیدهای آلی در خاک جذب عناصر بر روی سطوح ذرات خاک را کاهش داده و فراهمی آن‌ها را برای گیاهان افزایش می‌دهد. تشکیل کمپلکس اسیدهای آلی با فلزات سبب کاهش در غلظت یون فلزی در محلول خاک می‌شود و این باعث می‌شود تعادل شیمیایی جذب - واجذب به سمت واجذب پیش برود (کین و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج مطالعات همچنین نشان داده حضور اسیدهای آلی موجب تغییر در ویژگی‌های سطح خاک و توزیع رقابتی یون فلز بین سطح خاک و لیگاند آلی در محلول و انحلال نسبی کانی‌ها در خاک شود (کین و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج مطالعه کین و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد در حضور اسید مالیک و اسید سیتریک جذب عناصر کم‌مصرف مس و روی توسط ذرات خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آن‌ها گزارش کردند اسید سیتریک به‌دلیل بار منفی بیشتر، سطح ویژه بالاتر و گروه‌های عاملی بیشتر، توانایی بیشتری در واجذب این عناصر از سطح ذرات خاک داشت. پیری و همکاران (۲۰۱۹) با انجام پژوهشی تاثیر اسید سیتریک در جذب و واجذب روی در یک خاک آهکی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد اسید سیتریک سبب جذب روی توسط ذرات خاک را بیش از ۴۹ درصد کاهش داد. آن‌ها دلیل نتایج خود را افزایش رقابت در مکان‌های تبادل ذرات خاک و همچنین تشکیل کمپلکس محلول روی - اسید سیتریک گزارش کردند. رسولی صدقیانی و همکاران

(۱۳۹۴) بیان کردند حضور اسیدهای آلی در خاک اسیدی و آهکی منجر به کاهش تثبیت آهن شد، که تأثیر اسیدها در تثبیت آهن در خاک آهکی و اسیدی بدین‌ترتیب بود: اسید سیتریک > اسید اگزالیک > اسید مالیک > شاهد بود. آن‌ها دلیل این نتیجه را به اشغال مکان‌های جذب فلزات در سطوح کانی‌های خاک توسط لیگاندهای آلی نسبت دادند. نجفی و جلالی (۲۰۱۵) با بررسی تاثیر افزودن اسیدهای آلی مختلف در جذب و واجذب مس در خاک‌های آهکی ایران دریافتند افزایش غلظت اسیدسیتریک، اسید مالیک و اسید اگزالیک سبب کاهش pH محلول خاک، کاهش جذب مس توسط ذرات خاک و همچنین افزایش واجذب مس در خاک می‌شود (شکل ۳). همچنین بر اساس نتایج آن‌ها اسید سیتریک و اسید اگزالیک به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر را در کاهش جذب و افزایش واجذب مس توسط خاک داشتند. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد افزایش غلظت اسید سیتریک به‌کار برده شده تا غلظت ۳۰ میلی مولار سبب کاهش چشم‌گیر جذب مس توسط خاک شد، اما با افزایش غلظت آن از ۳۰ میلی مولار تا ۵۰ میلی مولار جذب مس توسط خاک با شدت کمی افزایش یافت (شکل ۳). اعتمادیان و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند کاربرد اسیدهای آلی سیتریک، اگزالیک و استیک به دو نوع خاک آهکی، سبب کاهش معنی‌دار pH خاک و افزایش آزادسازی آهن، منگنز، روی و مس در محلول خاک، شد. آن‌ها دلیل اصلی نتایج خود را قدرت کلات کنندگی این اسیدهای آلی گزارش کردند.



شکل ۳- تاثیر افزودن اسیدهای آلی مختلف بر درصد جذب و واجذب مس در خاک (نجفی و جلالی، ۲۰۱۵)

اصلی موثر در افزایش انحلال و فراهمی عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی، در اثر کاربرد اسیدهای آلی هستند. در اثر افزودن اسیدهای آلی به خاک‌های آهکی، pH خاک کاهش یافته و سبب افزایش غلظت عناصر کم مصرف در فاز محلول خاک می‌شود (آدلیک و همکاران، ۲۰۱۷). کلاته کردن و یا تشکیل کمپلکس اسید آلی با عناصر غذایی کم مصرف سبب افزایش فراهمی این عناصر می‌شود، چرا که این ترکیبات در مقایسه با عناصر به شکل کاتیون آزاد، قابلیت دسترسی بیشتری در خاک دارند. اسیدهای آلی همچنین می‌توانند با شکستن پیوندهای بین کاتیون - اکسیژن بر روی ساختارهای کانی‌ها سبب آزاد شدن کاتیون‌های فلزی و افزایش فراهمی آن‌ها در خاک شوند (آدلیک و همکاران، ۲۰۱۷). تاثیر اسیدهای آلی بر فراهمی عناصر غذایی کم مصرف در خاک به نوع اسید آلی بستگی دارد. برای مثال ویو و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند تاثیر اسید مالیک در افزایش فراهمی روی بیش‌تر از اسید سیتریک و اسید اگزالیک بود، در حالی که تاثیر اسید سیتریک در افزایش فراهمی مس بیش‌تر از اسید اگزالیک و اسید مالیک بود (جدول ۱).

تاثیر افزودن اسیدهای آلی در فراهمی عناصر کم مصرف در خاک

در سال‌های اخیر استفاده از اسیدهای آلی در افزایش فراهمی عناصر کم مصرف برای بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان و همچنین افزایش فراهمی فلزات سنگین سمی برای گیاه‌پالایی آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است. نتایج مطالعات نشان داده که اسیدهای آلی می‌توانند با افزایش غلظت عناصر غذایی کم مصرف در محلول خاک قابلیت دسترسی آن را برای گیاه افزایش دهند (کلارهوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ چن و همکاران، ۲۰۱۶). محمد و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند افزودن اسید سیتریک به خاک سبب تشکیل کمپلکس قابل جذب اسیدسیتریک- روی شده و افزایش فراهمی مس در خاک شد. سوئنگ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزودن اسیدهای آلی با راهکارهایی همچون کاهش pH خاک، تشکیل کمپلکس و جلوگیری از جذب عناصر توسط کانی‌های رسی، سبب افزایش چشم‌گیر زیست‌فراهمی عناصر کم مصرف آهن و روی در خاک شد. به‌طور کلی، اسیدی کردن، کلاته کردن و واکنش‌های تبدیلی سه مکانیسم

جدول ۱- تاثیر اسید اگزالیک (OA)، اسید سیتریک (CA) و اسید مالیک (MA) در غلظت فراهم مس و روی در خاک (ویو و همکاران، ۲۰۰۳)

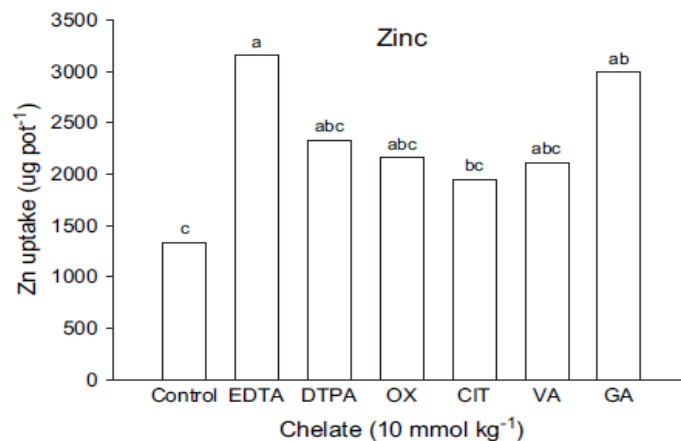
Zn		Cu		تیمارها
Zn درصد کل	mg l ⁻¹	Cu درصد کل	mg l ⁻¹	
۱۸/۵	۰/۶ b	۵/۳	۰/۰۱ b	شاهد
۵/۴۹	۲/۸ b	۴۶/۴	۰/۰۵ b	اسید اگزالیک (OA)
۳۲/۰	۳/۰ b	۵۲/۷	۰/۰۹ b	اسید سیتریک (CA)
۴۲/۸	۱۲/۸ a	۴۲/۹	۰/۰۵ b	اسید مالیک (MA)

همکاران (۲۰۰۶) نشان داد کلات‌کننده‌های EDTA، DTPA و اسیدهای آلی مختلف (اسید سیتریک، اسید اگزالیک، اسید وانیلیک و اسید گالیک) سبب افزایش جذب روی توسط گیاه خردل هندی شدند (شکل ۴). سانچز رودریگز و همکاران (۲۰۱۴) با انجام پژوهشی تاثیر کاربرد اسیدهای آلی به‌صورت ترکیبی از اسید سیتریک، اسید اگزالیک و اسید مالیک در زیست‌فراهمی آهن در خاک و جذب آن توسط گیاه نخود را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزودن اسیدهای آلی به خاک، کلروز ناشی از کمبود آهن در گیاه نخود کاهش یافت که این نتایج به‌دلیل افزایش جذب آهن و افزایش غلظت کلروفیل برگ بود. در مطالعه دوارتی و همکاران (۲۰۱۱) افزودن اسید سیتریک و اسید مالیک سبب افزایش جذب روی در اندام‌های هوایی گیاه *Spartina maritima* و افزودن اسید استیک سبب کاهش جذب روی در گیاه شد (شکل ۵). نتایج آن‌ها همچنین نشان داد کاربرد اسید سیتریک جذب روی در ریشه گیاه را افزایش داد، اما کاربرد اسید مالیک سبب کاهش غلظت روی در ریشه گیاه *Spartina maritima* شد (شکل ۵). آگنلو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند افزودن اسید سیتریک به یک خاک آهکی با کاهش pH خاک و کاهش جذب مس و روی توسط ذرات خاک سبب افزایش فراهمی آن‌ها و به‌دنبال آن افزایش جذب و تجمع آن‌ها در یونجه شد. حسنی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تاثیر اسید سیتریک بر رشد ذرت و جذب عناصر غذایی توسط آن، گزارش کردند کاربرد اسید سیتریک، سبب افزایش غلظت آهن و روی در ریشه و اندام هوایی و همچنین افزایش وزن تر و خشک گیاه شد.

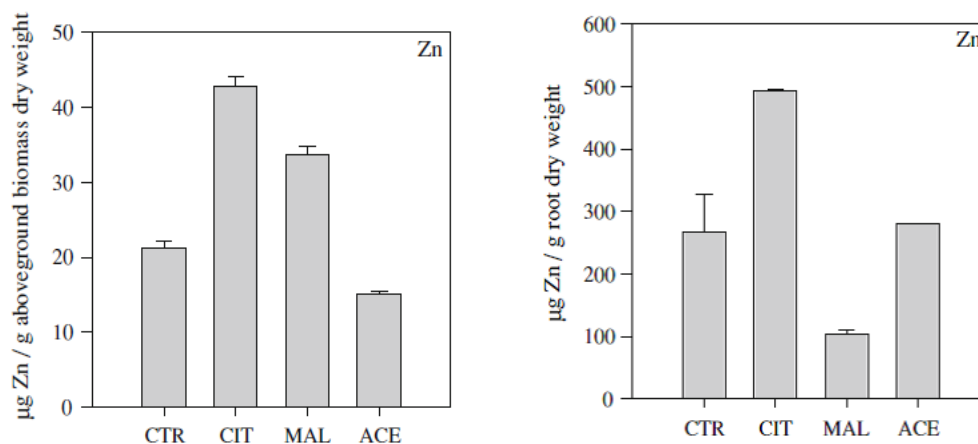
یکی از اثرات اسیدهای آلی در افزایش فراهمی در عناصر در خاک‌های آهکی تاثیر آن‌ها در pH خاک می‌باشد. نتایج مطالعه استروم و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد افزودن اسیدهای آلی سیتریک و اگزالیک به یک خاک آهکی، سبب کاهش pH عصاره‌های استخراج شده از خاک، به اندازه ۰/۷۷ تا ۱/۷۷ واحد شد. آن‌ها گزارش کردند که هر چه تعداد گروه کربوکسیل بیشتر باشد، pH خاک بیش‌تر کاهش یافته و بازیابی آن به حالت اولیه نیز بیش‌تر طول می‌کشد. در پژوهش پالومو و همکاران (۲۰۰۶) افزودن اسید سیتریک به خاک سبب کاهش pH عصاره‌های خاک (۱/۵ تا ۲ واحد) شد و افزایش معنی‌دار فراهمی مس و روی در خاک شد.

تاثیر افزودن اسیدهای آلی به خاک در جذب عناصر غذایی توسط گیاهان و تغذیه آن‌ها

پس از جذب یون‌های عناصر توسط ریشه، دو مسیر موازی برای حرکت مواد از پارانشیم پوست ریشه به سوی استوانه مرکزی وجود دارند: ۱) عبور از فضاهای بین سلولی یا آپوپلاست (دیواره‌های سلولی و فضاهای میان سلولی) و ۲) عبور از سیتوپلاسم یک سلول به سلول دیگر از طریق شبکه پلاسمودسماتا (مسیر سیم‌پلاستی) (ناسیمنتو و همکاران، ۲۰۰۴). انتقال از مسیر آپوپلاستی سریع‌تر از مسیر سیم‌پلاستی است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده که اسیدهای آلی به‌عنوان عوامل کلات‌کننده فلزات از طریق مسیر انتقال آپوپلاستی در گیاه انتقال داده می‌شوند. در واقع کلات‌کننده‌ها مسیر انتقال فلزات در گیاه را از مسیر سیم‌پلاستی به آپوپلاستی تغییر داده و بدین ترتیب سبب سهولت انتقال فلزات در گیاه می‌شوند (ناسیمنتو و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج پژوهش ناسیمنتو و



شکل ۴- تاثیر کلات کننده‌های EDTA، DTPA، اسید اگزالیک (OX)، اسید سیتریک (CIT)، اسید وانیلیک (VA) و اسید گالیک (GA) در افزایش جذب روی توسط خردل هندی (ناسیمنتو و همکاران، ۲۰۰۴)



شکل ۵- غلظت روی در ریشه و اندام هوایی گیاه *Spartina maritima* پس از افزودن اسیدهای آلی (CTR شاهد، CIT اسید سیتریک، MAL اسید مالیک و ACE اسید استیک) (دوارتی و همکاران، ۲۰۱۱)

عناصر در گیاهان) توسط گیاهان مختلف، می‌توان به بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاهان امیدوار بود. در مطالعات مربوط به کاربرد غلظت‌های مختلف اسیدهای آلی در فراهمی عناصر غذایی کم مصرف باید به حد سمیت عناصر توجه داشت و لازم است محدوده کاربرد آنها برای رسیدن به حد مطلوب این عناصر در گیاهان مختلف شناسایی گردد.

پیشنهادهای ترویجی

بسیاری از خاکهای ایران دارای آهک بالایی هستند. pH خاک‌های آهکی عمدتاً توسط مقادیر کربنات کلسیم موجود در پروفیل خاک کنترل شده و در محدوده ۷/۵-۸/۵ می‌باشد. واکنش کربنات کلسیم در خاک‌های

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعات انجام شده اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم به‌ویژه اسید سیتریک، اسید اگزالیک و اسید مالیک که از کلات‌کننده‌های سازگار با محیط زیست می‌باشند، می‌توانند با راهکارهای مختلف در افزایش فراهمی عناصر غذایی کم مصرف و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های آهکی موثر باشند؛ بنابراین بررسی تاثیر کاربرد غلظت‌های مختلف اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم بر حلالیت و تغییر توزیع شکل‌های عناصر کم مصرف در خاک، می‌تواند سبب افزایش فراهمی عناصر کم مصرف در خاکهای آهکی شود. در نتیجه با تعیین غلظت‌های بهینه این اسیدها در بهبود جذب عناصر غذایی کم مصرف (جهت رسیدن به حد مناسب غلظت

آهکی منجر به افزایش pH خاک می‌شود، به‌ویژه در مناطقی که مقدار بارندگی کم باشد، این واکنشها در افق سطحی خاک‌های آهکی حلالیت و جذب عناصر کم مصرف خاک را محدود نموده و در نهایت سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. بنابراین حلالیت و فراهمی کم عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک‌های آهکی و همچنین هزینه بالای کودهای شیمیایی، سبب شده تا مطالعه در زمینه استفاده از اسیدهای آلی (به‌عنوان کلات‌کننده‌های سازگار با محیط زیست) در افزایش فراهمی این عناصر و بهبود تغذیه گیاهان مورد توجه پژوهش‌گران قرار گیرد. بطورکلی رهاسازی اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم از ریشه سبب افزایش عناصر غذایی کم مصرف در خاک می‌شود. از اینرو گیاهانی که در خاک‌های آهکی رشد می‌یابند، لازم است که از مکانیسم‌های مختلفی استفاده نمایند تا بتوانند فسفر و آهن و سایر عناصر کم محلول را (که از

محدودیت‌های اولیه رشد در این قبیل خاک‌ها می‌باشند) قابل جذب نمایند. نتایج مطالعات نشان داده است که در خاک‌های آهکی، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم می‌تواند به عنوان عامل موثری برای بهبود جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان باشند. اسیدهای آلی مانند سیترات، اگزالات و ملات در بسیاری از فرآیندهای ریشه نیز شرکت می‌کنند که این فرآیندها شامل استخراج عناصر غذایی، سمیت زدایی فلزی، هوازگی مینرالی و جذب پاتوژن‌ها می‌باشد. با این حال، کاربرد اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک در کشاورزی با وجود اثرات مثبت آن در خاکهای آهکی ایران و همچنین قیمت مناسب آنها، هنوز در کشور ایران رایج نمی‌باشد؛ بنابراین باتلاش و مدیریت می‌توان کاربرد اسیدهای آلی ارزان قیمت مانند اسید سیتریک را به‌عنوان بخشی از برنامه تغذیه گیاهان در نظر گرفت.

فهرست منابع

۱. اعتمادیان، م.، حسنی، ا.، نورزاده حداد، م.، حنیفه‌ئی، م. ۱۳۹۶. تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر آزادسازی عناصر غذایی در خاکهای آهکی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۵): ۷۳-۹۱.
۲. حسنی، ا.، اعتمادیان، م.، نورزاده حداد، م.، حنیفه‌ئی، م. ۱۳۹۷. تأثیر کاربرد برخی اسیدهای آلی بر ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر غذایی ذرت علوفه‌ای. آب و خاک. ۳۲(۵): ۵۴۷-۵۵۸.
۳. رسولی صدقیانی، م.ح.، دره‌قایدی، ب.، خداوردیلو، ح.، مرادی، ن. ۱۳۹۴. تاثیر اسیدهای آلی بر جذب و تثبیت آهن در خاک‌های آهکی و اسیدی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۵(۱): ۲۱۵-۲۲۸.
4. Adeleke, R., C. Nwangburuka and B. Oboirien, 2017. Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. South African Journal of Botany, 108: 393-406.
5. Agnello, A. C., D. Huguenot, E. D. Hullebusch and G. Esposito. 2016. Citric acid- and Tween 80-assisted phytoremediation of a co-contaminated soil: alfalfa (*Medicago sativa* L.) performance and remediation potential. Environmental Science and Pollution Research. 334: 151-159.
6. Badri, D. V., J. M. Chaparro, R. F. Zhang, Q. R. Shen, and J. M. Vivanco. 2013. Application of Natural Blends of Phytochemicals Derived from the Root Exudates of *Arabidopsis* to the Soil Reveal That Phenolic-related Compounds Predominantly Modulate the Soil Microbiome. Journal of Biological Chemistry. 288: 4502-4512.
7. Bowsher, A. W., R. Ali, S. A. Harding, C. J. Tsai and L. A. Donovan. 2016. Evolutionary divergences in root exudate composition among ecologically-contrasting helianthus species. Plos one. 11(1): 0148280.
8. Chen, L., S. L. Luo, X. J. Li, Y. Wan, J. L. Chen, and C. B. Liu. 2014. Interaction of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. and functional endophyte *Pseudomonas* sp. Lk9 on soil heavy metals uptake. Soil Biology and Biochemistry. 68: 300-308.

9. Chen, Y. L., Y. Q. Guo, Sh. J. Han, C. J. Zou, Y. M. Zhou and G. L. Cheng. 2002. Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. *Journal of Forest Research*. 13(2): 115-118.
10. Chen, Y. X., Q. Lin, Y. M. Luo, Y. F. He, S. J. Zhen, Y. L. Yu, G. M. Tian and M. H. Wong 2003. The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*. 50: 807-811.
11. Chen, Z., F. Liu, T. Bu, Y. Liu and J. Zhu. 2016. Effects of organic acids on dissolution of Fe and Mn from weathering coal gangue. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 35(3): 316-328.
12. Clarholm, M., U. Skjellberg, A. and Rosling. 2015. Organic acid induced release of nutrients from metal-stabilized soil organic matter -The unbutton model. *Soil Biology and Biochemistry*. 84: 168-176.
13. Dakora, F. D., and D. A. Phillips. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. In *Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants' Genetic Capabilities* (pp. 201-213). Springer, Dordrecht.
14. Degryse, F., V. K. Verma and E. Smolders. 2008. Mobilization of Cu and Zn by root exudates of dicotyledonous plants in resin buffered solutions and in soil. *Plant and Soil*. 306: 69-84.
15. Duarte, B., J. Freitas and I. Cacador 2011. The role of organic acids in assisted phytoremediation processes of salt marsh sediments. *Hydrobiologia*. 764:169-177.
16. Fujii, K., M. Aoki and K. Kitayama. 2012. Biodegradation of low molecular weight organic acids in rhizosphere from a tropical montane rain forest. *Soil Biology and Biochemistry*. 47: 142-148.
17. Jones D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere – A critical review, *Plant and Soil Journal*. 205: 25-44.
18. Jones, D. L. 2001. Function and mechanism of organic anion Exudation from plant roots. *Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 52: 527-560.
19. Jones, D. L. and Darrah, P. R. 1994. Role of root derived organic-acid in the mobilization of nutrient from the rhizosphere. *Plant and Soil*. 166: 247-257.
20. Khademi, Z., D. L. Jones M. J. Malakouti Asadi F. and Ardebili, M. 2009. Organic acid mediated nutrient extraction efficiency in three calcareous soils. *Australian Journal of Soil Research*. 47: 213-220.
21. Kumar, V., M. Kumar, N. Shrivastava, S. Sandeep Bisht, S. Sharma and A. Ajit Varma. 2016. Interaction among rhizospheric microbes, soil, and plant roots: Influence on micronutrient uptake and bioavailability. Springer International Publishing Switzerland. K.R. Hakeem, M.S. Akhtar (eds.), *Plant, Soil and Microbes*. pp: 169-185.
22. Ling, N., W. Raza, J. H. Ma, Q.W. Huang and Q.R. Shen. 2011. Identification and role of organic acids in watermelon root exudates for recruiting *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 in the rhizosphere. *European Journal of Soil Biology*. 47: 374-379.
23. Ma, Y., R. S. Oliveira, H. Freitas and C. Zhang. 2016. Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. *Frontiers in Plant Science*. 7: 918.
24. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. (2nd ed.). Academic Press, London.
25. Martin, B. C., S. J. George, C. A. Price, S. Shahsavari, A. S. Ball, M. Tibbett and M. H. Ryan. 2016. Citrate and malonate increase microbial activity and alter microbial community composition in uncontaminated and diesel-contaminated soil microcosms. *Soil*. 2: 487-498.
26. Millaleo, R., M. Reyes-Díaz, A.G. Ivanov, M. L. Mora and M. Alberdi. 2010. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 10(4): 476 – 494.
27. Moradi, N., M.H. Rasouli-Sadaghiani, E. Sepehr, B. Abdolahi Mandoulakani. 2012. Effects of low-molecular-weight organic acids on phosphorus sorption characteristics in some calcareous soils. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 36: 459-468.

28. Muhammad, D., F. Chen, J. Zhao, G. Zhang and F. Wu. 2009. Comparison of EDTA- and citric acid-enhanced phytoextraction of heavy metals in artificially metal contaminated soil by *Typha angustifolia*. International Journal of Phytoremediation. 11: 558-574.
29. Najafi, S. and M. Jalali, 2015. Effects of organic acids on cadmium and copper sorption and desorption by two calcareous soils. Environmental Monitoring and Assessment. 187: 585-595.
30. Nascimento, C. W. A., Amarasiriwardena D. and B. Xing, 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. Environmental Pollution. 140: 114-123.
31. Oburger, E, G. J. D. Kirk, W. W. Wenzel, M. Puschenreiter and D. L. Jones. 2009. Interactive effects of organic acids in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry. 41(3): 449-457.
32. Palomo, L., N. Classen and D. L. Jones. 2006. Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. Soil Biology and Biochemistry. 38: 683-692.
33. Piri, M., E. Sepehr, and Z. Rengel, Z. 2019. Citric acid decreased and humic acid increased Zn sorption in soils. Geoderma, 341: 39-45.
34. Qin, F., X. Q. Shan and B. Wei. 2004. Effects of low-molecular-weight organic acids and residence time on desorption of Cu, Cd, and Pb from soils. Chemosphere. 57: 253-263.
35. Rajkumar, M., S. Sandhya, M. N. V. Prasad and H. Freitas. 2012. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. Biotechnology. 30: 1562-1574.
36. Rengel, Z. 2015. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. Journal of soil science and plant nutrition. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 15(2): 397-409.
37. Samuels, A. L., M. Fernando and A. D. Glass. 1992. Immunoflorescent localization of plasma membrane H⁺-ATPase in barley roots and effects of K nutrition. Plant Physiology. 99: 1509-1514.
38. Sanchez-Rodríguez, A. R., M. C. Del Campillo, J. Torrent and D. L. Jones. 2014. Organic acids alleviate iron chlorosis in chickpea grown on two p-fertilized soils. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 14(2): 292-303.
39. Sandnes, A., D. E. Toril, and W. Gro. 2005. Organic acids in root exudates and soil solution of Norway spruce and silver birch. . Soil Biology and Biochemistry. 37: 259-269.
40. Song, J., D. Markewitz, Y. Liu, X. Liu and X. Cui. 2016. The Alleviation of Nutrient Deficiency Symptoms in Changbai Larch (*Larix olgensis*) Seedlings by the Application of Exogenous Organic Acids. Forests. 7(10): 1-15.
41. Strobel, W. 2001. Influence of vegetation on low molecular-weight carboxylic acids in soil solution. A review. Geoderma. 99: 169-198.
42. Strom, L., A. G. Owenb, D. L. Godboldb and D. L. Jonesb, 2005. Organic acid behaviour in a calcareous soil implications for rhizosphere nutrient cycling. Soil Biology and Biochemistry. 37: 2046-2054.
43. Van Hees, P. A. W., Johansson, E. and D. L. Jones. 2008. Dynamics of simple carbon compounds in two forest soils as revealed by soil solution concentrations and biodegradation kinetics. Plant and Soil. 310:11-23.
44. Vesely, T., P. Tlustos and J. Szakova, 2011. Organic salts enhanced soil risk elements leaching and bioaccumulation in *Pistia stratiotes*. Plant, Soil and Environment. 57(4): 166-172.
45. Wu, L. H., Y. M., Luo, P. Christie and M. H. Wong. 2003. Effects of EDTA and low molecular weight organic acids on soil solution properties of a heavy metal polluted soil. Chemosphere. 50: 819-822.
46. Wuana, R.A., F. E. Okieimen and J. A. Imborvungu. 2010. Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids. International Journal of Environmental Science and Technology. 7(3): 485-496.

بررسی تاثیر مدیریت مصرف آب شور بر رشد رویشی نهال‌های خرما

مجید علی‌حوری^۱

استادیار پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

alihouri_m@hotmail.com

دریافت: آبان ۱۳۹۷ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

شوری آب آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده توسعه کشاورزی فاریاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است. استفاده از آب‌های شور بدون رعایت اصول علمی و مدیریت مناسب، موجب افزایش شوری خاک و از بین رفتن حاصلخیزی آن می‌شود. این آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار آبیاری با آب رودخانه کارون، آبیاری با آب شور پنج دسی زیمنس بر متر، آبیاری با آب شور هشت دسی زیمنس بر متر، دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون و یک مرتبه آبیاری با آب شور پنج دسی زیمنس بر متر و دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون و یک مرتبه آبیاری با آب شور هشت دسی زیمنس بر متر در سه تکرار طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ در پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری انجام شد. نتایج نشان داد که شوری آب آبیاری موجب کاهش معنی‌دار تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگچه، طول برگچه و محیط تنه گیاه در سطح احتمال پنج درصد شد. بیش‌ترین و کم‌ترین صفات رویشی گیاه به ترتیب در آبیاری با آب رودخانه کارون و آب شور هشت دسی زیمنس بر متر حاصل شد، به‌طوری‌که میانگین تعداد برگ و برگچه به ترتیب ۷۳/۰ و ۶۹/۲ درصد کاهش یافت. اما هنگام آبیاری به صورت دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون و یک مرتبه آبیاری با آب شور پنج دسی زیمنس بر متر، صفات رویشی نهال‌های خرما از جمله تعداد برگ و برگچه کاهش معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نسبت به آبیاری با رودخانه کارون نداشتند. با توجه به نتایج این تحقیق، در صورت مدیریت عملیات آبیاری، امکان آبیاری با آب شور تا سطح پنج دسی زیمنس بر متر برای نهال‌های خرما وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تناوبی، شوری آب، زه‌آب، رشد رویشی

^۱- آدرس نویسنده مسئول: پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

مقدمه

شوری آب آبیاری یکی از مهم‌ترین مسایلی است که امروزه کشورهای زیادی در جهان، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه خشک با آن مواجه می‌باشند. کشور ایران دارای منابع آب شور زیادی می‌باشد که دارای سطوح مختلف شوری بوده و می‌تواند تاثیر زیادی بر توسعه کشاورزی کشور داشته باشند. هر چند که کشاورزان تمایل زیادی به استفاده از آب‌های شیرین دارند، اما در بخش کشاورزی می‌توان آب‌های شور را به عنوان یک منبع تامین آب در نظر گرفته و آن را در زمره انتخاب راهبردهای مهم منظور نمود. در مواردی که ممکن باشد، لازم است با کاربرد منابع آب شور در بخش کشاورزی و در راستای تولید محصول، حداکثر بهره‌برداری از این آب‌ها به عمل آید. از سوی دیگر وقوع خشکسالی‌ها در سال‌های گذشته، اثرات نامطلوبی بر میزان تولید محصولات کشاورزی بر جای گذاشته است و این موضوع رویکرد به استفاده اصولی از کلیه منابع آب موجود و در دسترس از جمله آب‌های شور و ارتقای بهره‌وری آب را در جهت تقلیل اثرات زیان بار خشکسالی اجتناب ناپذیر و ضروری می‌سازد؛ بنابراین بررسی در زمینه مدیریت بهره‌برداری از این قبیل منابع آب و خاک و تاثیر آن بر خاک و گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

شوری آب و خاک رشد گیاهان را از سه طریق مختلف مورد تاثیر قرار می‌دهد. نخست این که غلظت بالای نمک‌ها در خاک، جذب آب توسط ریشه‌ها را از محلول خاک را مشکل ساخته و نیاز به تنظیم اسمزی مجدد سلول‌هاست. اثر دوم مربوط به جذب و انتقال یون‌های غذایی مانند پتاسیم و کلسیم است که در شرایط وجود سدیم زیاد از محلول خاک مختل می‌شود. در نهایت، غلظت بالای نمک در محیط رشد گیاه و جذب و انتقال آن به داخل گیاه ممکن است ایجاد سمیت نماید. نمک‌ها در اطراف ریشه بر رشد سلول و متابولیسم‌های مرتبط اثری فوری دارند، البته مدت زمان تجمع غلظت

سمی نمک‌ها در داخل گیاه طولانی‌تر از تاثیر شوری بر روی کارکردهای گیاه است (کافی و همکاران، ۱۳۸۹).

تحمل به شوری در یک گونه گیاهی به عوامل متعددی از قبیل نوع خاک، شرایط اقلیمی منطقه و توانایی گیاه برای غلبه بر اثرات سوء شوری در ناحیه ریشه بستگی دارد. در حالی که سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO)، آب آبیاری با شوری ۲/۷ دسی زیمنس بر متر یا خاک با شوری چهار دسی زیمنس بر متر را حد شروع اثرات منفی بر رشد نخل خرما اعلام نموده (رودز و همکاران، ۱۹۹۲)، اما بر اساس مطالعات انجام شده در کشور هند، میزان تحمل خرما به شوری خاک تا ۱۰/۹ دسی زیمنس بر متر - بدون کاهش عملکرد - گزارش شده است (بارولد، ۱۹۹۳). البته مرور تحقیقات مختلف، حاکی از وجود تفاوت بین ارقام مختلف خرما در تحمل شوری آب و خاک می‌باشد. الرکییاح و همکاران (۱۹۹۸) در کشور عربستان سعودی، ده رقم نهال شش ماهه خرما را به مدت سه ماه با آب شور ۱۲/۹ دسی زیمنس بر متر آبیاری کردند. مقایسه وضعیت رشد نهال‌های خرما حاکی از آن بود که ارتفاع و وزن تر در اکثر نهال‌ها نسبت به آب آبیاری ۱/۴ دسی زیمنس بر متر کاهش زیادی داشت. ولی در یکی از ارقام خرما (Rothan)، شوری آب منجر به افزایش معنی‌دار صفات مذکور گردید.

یوسف و عواد (۲۰۰۸) در کشور امارات متحده عربی، روند جذب نمک توسط نهال‌های خرما را رقم لولو (Lulu) هنگام استفاده از آب دریا با شوری ۱۵ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر را نسبت به آبیاری با آب دارای هدایت الکتریکی یک دسی زیمنس بر متر بررسی نمودند. این پژوهشگران دریافتند که شوری آب آبیاری منجر به تجمع بیش از حد سدیم در اندام هوایی نهال‌های خرما شد، به‌طوری که میزان تجمع این یون در شوری معادل ۳۰ دسی زیمنس بر متر، به سه برابر رسید. کوراپ و همکاران (۲۰۰۹) نیز میزان تحمل به شوری آب در نهال‌های چهار رقم خرما را به مدت یک سال بررسی

استوانه‌ای زهکش‌دار به قطر ۸۰ و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر ساخته شد که درون آن با خاک تا رسیدن به تراکم طبیعی خاک نخلستان (چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) پر گردید. نمونه‌های مرکبی از خاک برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱). عملیات کاشت نهال (پاجوش)‌های خرماي رقم برحی در لایسیمترها در مهر ماه، با رعایت اصول فنی کاشت و پوشاندن سطح لایسیمترها با مالچ تهیه شده از برگ خرد شده خرما با تراکم دو کیلوگرم بر متر مربع انجام شد.

از آن‌جا که در مرحله گیرایی و استقرار نهال‌های خرما لازم است از وارد شدن هر گونه تنش به نهال‌های کاشته شده پرهیز شود (مستعان و همکاران، ۱۳۹۶). لذا تیمارهای آبیاری بعد از اتمام شش ماه دوره استقرار نهال‌های خرما، اعمال گردید. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (هر تکرار یک نهال) با ۵ تیمار به شرح زیر اجرا گردید:

۱- آبیاری با آب رودخانه کارون با متوسط شوری ۲/۳ دسی زیمنس بر متر

۲- آبیاری با آب شور پنج دسی زیمنس بر متر

۳- آبیاری با آب شور هشت دسی زیمنس بر متر

۴- دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون و یک مرتبه آبیاری با آب شور پنج دسی زیمنس بر متر

۵- دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون و یک مرتبه آبیاری با آب شور هشت دسی زیمنس بر متر.

نمونه‌هایی از آب رودخانه کارون در فواصل زمانی ماهانه گرفته شد که میانگین شوری آن در مدت آزمایش معادل ۲/۳ دسی زیمنس بر متر بود. آب‌های با شوری پنج و هشت دسی زیمنس بر متر، از اختلاط زه‌آب‌های شور موجود در منطقه با آب رودخانه کارون تامین شدند (جدول ۲). به منظور انجام عملیات آبیاری، سه منبع ۱۰۰۰ لیتری مجزا برای ذخیره آب از رودخانه کارون و آب‌های شور پنج و هشت دسی زیمنس بر متر تهیه شدند.

نمودند. نهال‌های خرما ابتدا با آب شور ۷/۸ دسی زیمنس بر متر آبیاری شدند و سپس شوری آب در فواصل منظم سه ماهه به ۱۱/۷، ۱۵/۶، ۱۹/۵، ۲۳/۴ و ۲۷/۳ دسی زیمنس بر متر افزایش یافت. نتایج نشان داد که پاسخ ارقام مختلف نسبت به شوری آب آبیاری متفاوت بود، به‌طوری که رشد رویشی دو رقم خرما با افزایش شوری آب آبیاری از ۷/۸ تا ۲۷/۳ دسی زیمنس بر متر کاهش یافت ولی در دو رقم دیگر، شوری موجب افزایش رشد رویشی شد.

الراسبی و همکاران (۲۰۱۰) میزان تحمل سه رقم نهال خرما را به آبیاری با آب شور دارای هدایت الکتریکی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ دسی زیمنس بر متر در کشور عمان ارزیابی نمودند. اندازه‌گیری صفات رشد رویشی نهال‌ها نشان داد که آبیاری با آب دارای شوری ۶ تا ۱۸ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش زیاد در رشد تمام نهال‌های خرما شده است، به‌طوری که در شوری ۱۸ دسی زیمنس بر متر ۵۰ درصد کاهش در صفات رویشی ثبت گردید.

در حال حاضر متأسفانه اطلاعات اندکی در مورد اثرات تنش شوری بر ارقام مختلف خرما در کشور وجود دارد. ارقام مختلف نخل خرما واکنش یکسانی به تنش مذکور نداشته و درجه حساسیت مراحل مختلف رشد آنها نیز متفاوت است (علی‌حوری و تیشه‌زن، ۱۳۹۰). لذا در این تحقیق امکان استفاده از آب‌های شور برای آبیاری نهال‌های خرماي رقم برحی که یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری استان خوزستان و کشور است، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۶ به مدت یک سال در پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری واقع در شهرستان اهواز به طول جغرافیایی $48^{\circ}40'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}20'$ شمالی و با ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا اجرا گردید. به منظور اجرای تحقیق، ۱۵ لایسیمتر

دور آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک محدوده ریشه گیاه تعیین گردید تا عملیات آبیاری قبل از کاهش رطوبت خاک به میزان کمبود مجاز مدیریتی یا حد تنش‌زا برای گیاه ($MAD=0.05$)، شروع شود. عمق خالص آبیاری بر مبنای رسیدن رطوبت وزنی خاک به ظرفیت زراعی و

تامین کمبود رطوبت خاک محاسبه شد. نیاز آبیاری نیز با توجه به شوری آب آبیاری تعیین شد و پس از اضافه شدن به میزان آب آبیاری، با استفاده از آبیاری دستی و مدرج در اختیار گیاه قرار گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک بستر کاشت نهال خرما

بافت خاک	چگالی ظاهری (g/cm^3)	رطوبت جرمی ظرفیت زراعی (%)	رطوبت جرمی نقطه پژمردگی (%)	EC (dS/m)	SAR	pH
لوم	۱/۷	۱۵/۳	۷/۰	۳/۶	۵/۳	۷/۴

جدول ۲- خصوصیات آب‌های شور مورد استفاده در آبیاری نهال‌های خرما

شوری آب (dS/m)	SAR	pH	کاتیون‌های محلول (meq/lit)			آنیون‌های محلول (meq/lit)		
			Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}
۵/۰	۱۲/۰	۸/۰	۵۱/۲	۹/۸	۲۵/۸	۶۴/۰	۵/۳	-
۸/۰	۱۶/۳	۸/۰	۷۹/۶	۱۸/۲	۲۹/۱	۸۶/۰	۱۲/۱	-

نتایج و بحث

مقادیر شوری عصاره اشباع خاک در شکل ۱ ارائه شده است. بررسی وضعیت رشد نهال‌های خرما پس از مدت یک سال، نشان داد که از کل نهال‌های خرما (۱۵ نهال)، فقط یکی از سه نهال خرما مربوط به آبیاری با آب شور هشت دسی زیمنس بر متر خشک شد. این وضعیت می‌تواند حاکی از امکان بقای نهال‌های خرما در شرایط شوری آب و خاک باشد. این یافته با نتایج برخی تحقیقات انجام شده مطابقت دارد. نهال‌های خرماي رقم برحی در آبیاری با آب دارای هدایت الکتریکی نه دسی زیمنس بر متر (ولی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱) و هنگام وجود آب زیرزمینی با شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر در عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین (تیشه‌زن و همکاران، ۲۰۱۱) نیز زنده ماندند. البته در پژوهش اول، مدت آبیاری نهال‌های خرما چهار ماه بود و در پژوهش دوم آبیاری تمام نهال‌های خرما با آب رودخانه کارون (شوری معادل ۲/۳ دسی زیمنس بر متر) انجام گرفت که بخش عمده نیاز آبی گیاه را تامین نمود؛ اما میزان سبز ماندن نهال‌های خرماي رقم رتی (*Rati*) در خاکی با شوری نه دسی

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \quad (1)$$

در این رابطه:

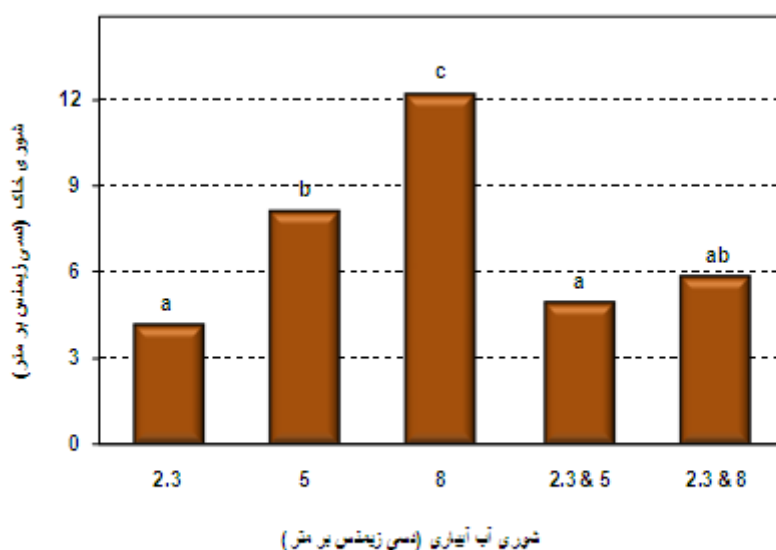
EC_w هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) و EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر) برای کاهش عملکرد پیش‌بینی شده است. آستانه تحمل خرما به شوری آب آبیاری و یا عصاره اشباع خاک به ترتیب برابر ۲/۷ و چهار دسی زیمنس بر متر است (رودز و همکاران، ۱۹۹۲).

قبل از شروع آبیاری نهال‌های خرما با آب شور، مقدار اولیه صفات رشد رویشی هر یک از نهال‌ها شامل تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگچه، طول برگچه، عرض برگچه و محیط تنه اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری مجدد صفات مذکور در پایان سال، تفاوت مقادیر این صفات در انتها و ابتدای سال به عنوان میزان رشد گیاه در نظر گرفته شد. عملیات داشت و مراقبت‌های باغی نظیر مبارزه با علف‌های هرز و سم پاشی نیز برای تمام نهال‌های خرما به‌طور یکسان انجام گرفت.

و محیط تنه گیاه تاثیر بسیار و معنی دار داشت (جدول ۳ و ۴). صفات رویشی مهمی از جمله تعداد برگ و برگچه که نقش به سزایی در فتوسنتز و رشد گیاه دارند، در اثر آب شور کاهش زیادی (معنی دار) یافتند (شکل ۲). بخشی از انرژی گیاه برای تعدیل پتاسیل اسمزی مصرف شده و در نتیجه رشد رویشی گیاه کاهش یافته است (همایی، ۱۳۸۱).

زیمنس بر متر در کشور هند، فقط ۵۰ درصد اعلام گردید (رامولیا و پندی، ۲۰۰۳). علت این اختلاف نتایج را می توان در متفاوت بودن مدت زمان اعمال تنش شوری و میزان تحمل ارقام مختلف خرما به شوری آب و خاک دانست.

بر اساس نتایج تجزیه آماری و مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن، شوری آب آبیاری بر تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگچه، طول برگچه



شکل ۱- اثرات شوری آب آبیاری بر شوری خاک (در سطح آماری پنج درصد)

نهال های دو رقم خرماي ساکوتی (*Sakkoti*) و برتمودا (*Baratmuda*) را نداشتند (حسین و همکاران، ۱۹۹۳). در تحقیق دیگری در همین کشور، ارزیابی اثرات تنش شوری بر رشد نهال های سه رقم خرما نشان داد که مصرف آب های شور ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر موجب کاهش زیاد (معنی دار) صفات رویشی گیاه نسبت به آب ۴۰۰۰ میلی گرم بر لیتر گردید (الشرابی و همکاران، ۲۰۰۸).

الحمدی و ادوارد (۲۰۰۹) با ارزیابی اثرات شوری آب آبیاری بر رشد نهال های ۱۲ رقم خرما از کشور امارات متحده عربی دریافتند که با رسیدن شوری آب از ۵/۸ به ۱۱ دسی زیمنس بر متر، تعداد برگ تمام نهال ها کاهش بسیار و معنی دار داشت. هر چند که پاسخ ارقام مختلف خرما نسبت به شوری آب آبیاری متفاوت بود. بر اساس پژوهش انجام شده در کشور مصر، آب های با شوری ۱۱ دسی زیمنس بر متر و بیشتر، به دلیل کاهش زیاد (معنی دار) رشد برگ، قابلیت استفاده برای آبیاری

جدول ۳- میانگین مربعات و سطح معنی دار بودن صفات رویشی نهال خرما

منبع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ	طول برگ	عرض برگ	تعداد برگچه	طول برگچه	عرض برگچه	محیط تنه
بلوک	۲	۱/۲۷*	۲۱۲/۰	۴۴/۷**	۲۲۱/۱**	۳۶/۵*	۰/۲۵**	۱/۱۵**
تیمار	۴	۴/۱۷**	۳۳۸۱/۴**	۲۹۷/۶**	۲۹۶۰/۰**	۹۹/۰**	۱/۰۲**	۱/۹۰**
خطا	۸	۰/۲۷	۵۵/۷	۲/۷	۱۷/۰	۷/۴	۰/۰۱	۰/۱۰
کل	۱۴							

** معنی دار در سطح آماری یک درصد * معنی دار در سطح آماری پنج درصد

جدول ۴- اثرات شوری آب آبیاری بر برخی صفات رویشی نهال خرما *

شوری آب (دسی زیمنس بر متر)	طول برگ (سانتی متر)	عرض برگ (سانتی متر)	تعداد برگچه	طول برگچه (سانتی متر)	عرض برگچه (سانتی متر)	محیط تنه (سانتی متر)
۲/۳	۱۰۷/۸ ^a	۳۳/۷ ^a	۹۸/۰ ^a	۲۵/۱ ^a	۱/۸ ^a	۴/۵ ^a
۵	۴۴/۰ ^b	۱۴/۷ ^c	۴۱/۰ ^c	۱۳/۸ ^b	۰/۷ ^b	۳/۰ ^b
۸	۳۶/۴ ^b	۱۲/۲ ^c	۳۰/۲ ^d	۱۱/۵ ^b	۰/۶ ^b	۲/۸ ^b
۵ و ۲/۳	۱۰۰/۶ ^a	۳۲/۲ ^a	۹۲/۳ ^{ab}	۲۱/۹ ^a	۱/۷ ^a	۴/۳ ^a
۵ و ۲/۳	۹۳/۳ ^a	۲۶/۹ ^b	۸۵/۸ ^b	۲۱/۰ ^a	۱/۶ ^a	۴/۲ ^a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، در سطح پنج درصد اختلاف معنی دار با یکدیگر ندارند



شکل ۲- اثرات شوری آب آبیاری بر تعداد برگ نهال خرما (در سطح آماری پنج درصد)

با آب ۲/۳ و ۵ دسی زیمنس بر متر نیز از نظر صفات رویشی اختلاف زیادی وجود داشت. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، استفاده تناوبی (چرخشی) از آب‌های شور پنج و هشت دسی زیمنس بر متر به ازای دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون موجب شد که اکثر

بیش‌ترین و کم‌ترین صفات رویشی گیاه به ترتیب در آبیاری با آب دارای هدایت الکتریکی ۲/۳ و ۸ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد، به‌طوری‌که میانگین تعداد برگ و برگچه از ۳/۷ و ۹۸/۰ به ترتیب به ۱/۰ و ۳۰/۲ کاهش یافت (جدول ۱). بین نهال‌های آبیاری شده

صفات رویشی نهال‌های خرما اختلاف زیادی نسبت به آبیاری با آب‌های شور پنج و هشت دسی زیمنس داشته باشند که این وضعیت حاکی از کارایی راه‌کار استفاده تناوبی از آب غیرشور و شور برای آبیاری نهال‌های خرما دارد. نتایج سایر تحقیقات انجام شده روی برخی گیاهان زراعی شامل گندم، برنج، ذرت دانه‌ای و آفتابگردان مؤید نتایج این پژوهش است (مولوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ چاوذری و بهوتا، ۲۰۰۲؛ ایکسو و رن، ۲۰۱۷).

پیشنهادهای ترویجی

چگونگی پاسخ گیاه به تنش شوری مرتبط به عواملی نظیر قابلیت دسترسی، جذب و انتقال عناصر غذایی در داخل گیاه است. البته گیاهان معمولاً در مرحله جوانه زنی و اولیه رشد نسبت به سایر مراحل رشد به شوری حساسترند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده تناوبی از آب شور پنج دسی زیمنس بر متر به ازای دو مرتبه آبیاری با آب رودخانه کارون، موجب کاهش اثرات منفی استفاده از آب شور پنج دسی زیمنس بر متر روی

رشد نهال‌های خرما بر رقم برخی شد؛ بنابراین با توجه به این که اختلاف معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) در رشد نهال‌های خرما هنگام آبیاری با دو مرتبه استفاده از آب رودخانه کارون و یک مرتبه استفاده از آب شور پنج دسی زیمنس بر متر، نسبت به آبیاری با آب رودخانه کارون دیده نشد، این شیوه استفاده تناوبی از آب رودخانه کارون و آب شور پنج دسی زیمنس بر متر می‌تواند در مصرف منابع آب شور برای آبیاری نخلستان‌های غیربارور خرما بر رقم برخی به کار رود. بدین ترتیب میزان مصرف آب غیرشور در نخلستان‌های تازه احداث، در صورت انجام یک مرتبه آبیاری با آب شور پنج دسی زیمنس بر متر پس از دو مرتبه آبیاری با آب غیرشور، در حد قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت که با توجه به شرایط اقلیمی کشور و کمبود منابع آب غیرشور از یک سو و ضرورت افزایش تولیدات کشاورزی از این منابع آب محدود از سوی دیگر، این میزان کاهش در آب مصرفی نخلستان‌ها از اهمیت به سزایی برخوردار است.

فهرست منابع

۱. علی‌حوری، م. و تیشه‌زن، پ. ۱۳۹۰. زیر برنامه آبیاری/ برنامه راهبردی بخش خرما در کشور. انتشارات کردگار. اهواز.
۲. کافی، م.، صالحی، م. و عشقی‌زاده، ح. ۱۳۸۹. کشاورزی شورزیست: راهبردهای مدیریت گیاه، آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.
۳. مستعان، ا.، لطیفیان، م.، تراهی، ع.، امانی، م.، محبی، ع. و علی‌حوری، م. ۱۳۹۶. راهنمای فنی کاشت، داشت و برداشت خرما. نشر آموزش کشاورزی. تهران.
۴. مولوی، ح.، محمدی، م. و لیاقت، ع. ۱۳۹۰. اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و پروفیل شوری خاک. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵(۳): ۱۱-۱۸.
۵. ولی‌زاده، م.، تیشه‌زن، پ. و برومندنسب، س. ۱۳۹۱. بررسی اثر آبیاری با آب شور بر رشد نهال‌های خرما (ارقام برخی و دیری). اولین همایش ملی خرما و امنیت غذایی، اهواز، ایران.
۶. همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
7. Al-Rokibah, A.A., Abdalla, M.Y. and Fakharani, Y.M. 1998. Effect of water salinity on *Thielaviopsis paradoxa* of growth of date palm seedling. Journal of King Saud University, 10(1): 55-63.

8. Alhammadi, M.S. and Edward, G.P. 2009. Effect of salinity on growth of twelve cultivars of the United Arab Emirates date palm. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(15-16): 2372-2388.
9. Alrasbi, S.A.R., Hussain, N. and Schmeisky, H. 2010. Evaluation of the growth of date palm seedling irrigated with saline water in the Sultanate of Oman. *Proceeding of the Fourth International Date Palm Conference*, Abu Dhabi, United Arab Emirates: 233-246.
10. Barreveld, W.H. 1993. Date palm products. *FAO Agricultural Services Bulletin No. 101*, Rome, Italy.
11. Chaudhry, M.R. and Bhutte, M.N. 2002. Conjunctive use of water: impact on soil and crops. *Proceeding of the International Workshop on conjunctive water management for sustainable irrigated agriculture in south Asia*, Lahour, Pakistan: 133-145.
12. El-Sharabesy, S.F., Wanas, W.H. and Al-Kerdany, A.Y. 2008. Effect of salinity stress on some date palm cultivars during proliferation stage in vitro. *Arab. Journal Biotech.* 11(2): 273-280.
13. He, C., Fukuhara, T., Sun, J. and Feng, W. 2009. Enhancement of soil moisture preservation by date palm mulch. *Mem. Grad. Eng. Univ. Fukui.*, 57: 53-56.
14. Hussein, F., Khalifa, A.S. and Abdalla, K.M. 1993. Effect of different salt concentration on growth and salt uptake of dry date palm. *Proceeding of Third Symposium on the Date palm*, King Faisal University, Saudi Arabia: 299-304.
15. Kurup, S.S., Hedar, Y.S., Al-Dhaheiri, M.A., El-Heawiety, A.Y., Aly, M.A.M. and Alhadrami, G. 2009. Morpho-physiological evaluation and RAPD markers -assisted characterization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties for salinity tolerance. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(3&4): 503-507.
16. Ramoilya, P.J. and Pandey, A.N. 2003. Soil salinity and water status effect growth of *Phoenix dactylifera* seedlings. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 31(4): 345-353.
17. Rhoades, J.D., Kandiah, A. and Mashali, A.M. 1992. The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage Paper 48*, Rome, Italy.
18. Terasaki, H., Fukuhara, T., Ito M. and He, Ch. 2009. Effects of gravel and date-palm mulch on heat moisture and salt movement in a desert soil. *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*, Vol. 1: 320-325.
19. Tishehzan, P., Naseri, A., Hassanoghli, A. and Meskarbashi, M. 2011. Effects of shallow saline water table management on the root zone salt balance and date palm growth in South-West Iran. *Res. on Crops*, 12 (3): 839-847.
20. Xue, J. and Ren, L. 2017. Conjunctive use of saline and non-saline water in an irrigation district of the Yellow River Basin. *Irrigation and Drainage*, 66(2): 147-162.
21. Youssef, T and Awad, M.A. 2008. Mechanisms of enhancing photosynthetic gas exchange in date palm seedlings (*Phoenix dactylifera* L.) under salinity stress by a 5-aminolevulinic acid-based fertilizer. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27(1): 1-9

اثرات بلند مدت کودهای شیمیایی بر ریزجانداران خاک

هادی اسدی رحمانی^۱ و حسین کاری دولت‌آباد

استاد موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

asadi_1999@yahoo.com

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

h.kari@areeo.ac.ir

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

کاربرد رو به افزایش نهاده‌های کودی در اکوسیستم‌های خاکی علاوه بر جوامع گیاهی می‌تواند بر جوامع میکروبی خاک نیز اثرگذار باشد. مطالعات انجام شده در اکوسیستم‌های طبیعی نشان داده است که افزایش کودهای نیتروژنی عموماً سبب کاهش زیست توده میکروبی خاک می‌گردد در حالیکه این اثرات بلند مدت در سیستم‌های تحت مدیریت انسان مانند اکوسیستم‌های کشاورزی کاملاً شناخته شده نیست. هدف از این مقاله بررسی و تحلیل واکنش ریزجانداران خاک به کودهای شیمیایی نیتروژنی با استفاده از داده‌هایی است که از آزمایش‌های بلند مدت کودی در سیستم‌های زراعی بدست آمده است. آزمون متاآنالیز انجام شده بر پایه ۱۰۷ مجموعه داده جمع‌آوری شده از ۶۴ آزمایش بلندمدت از سرتاسر جهان نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی سبب افزایش ۱۵/۱ درصدی زیست‌توده میکروبی (C_{mic}) در مقایسه با تیمارهای شاهد می‌شود. کاربرد کودهای شیمیایی همچنین میزان کربن آلی خاک (C_{org}) را افزایش می‌دهد و این نتایج نشانگر این موضوع است که C_{org} عامل اصلی موثر در افزایش کلی C_{mic} در نتیجه کاربرد کودهای شیمیایی است. شدت تأثیرگذاری کوددهی بر C_{mic} وابسته به pH است. در حالی که کوددهی منجر به کاهش C_{mic} در خاک‌هایی با pH کمتر از پنج می‌شود، اما اثر مثبت معنی‌داری در خاک‌های با pH بالاتر از خود بر جای می‌گذارد. طول مدت آزمایش نیز در پاسخ C_{mic} به کوددهی موثر است و افزایش C_{mic} در آزمایش‌هایی با زمان حداقل بیست سال بخوبی نشان داده شده است. به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای نیتروژنی در سیستم‌های زراعی نمی‌تواند بخودی خود تأثیرات منفی بر C_{mic} داشته باشد. هرچند کاربرد کودهای آمونیاک و اوره می‌تواند بصورت موقتی سبب افزایش pH، پتانسیل اسمزی و غلظت آمونیاک به میزانی که برای جوامع میکروبی خاک بازدارنده است، گردد. اگرچه تأثیر کودها محدود به نقاط مصرف است با این حال ممکن است در کوتاه مدت، ساختار جمعیتی و زیست‌توده میکروبی را به شدت تحت تأثیر قرار دهند. کاربرد مکرر کودهای نیتروژنی در بلندمدت، حتی زمانی که تغییرات pH در خاک ناچیز باشد ممکن است سبب تغییر ساختار جمعیتی ریزجانداران خاک گردد. چگونگی پاسخ گروه‌های میکروبی به کاربردهای مداوم کودهای شیمیایی بسیار متغیر بوده و به عوامل محیطی و مدیریت محصول بستگی دارد.

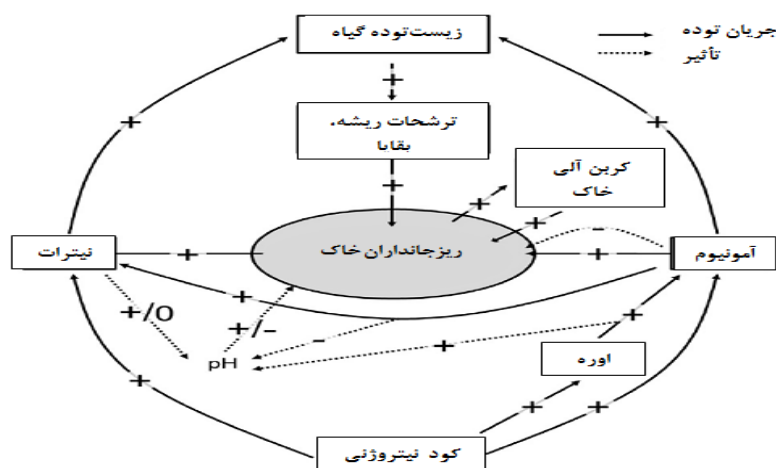
واژه‌های کلیدی: آزمایشات بلندمدت، کودهای نیتروژنه، سیستم‌های زراعی، زیست‌توده میکروبی، ترکیب جامعه میکروبی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مقدمه

حساسیت جوامع میکروبی خاک احتمالا در اکوسیستم‌های کشاورزی با اکوسیستم‌های طبیعی متفاوت است. در اراضی کشاورزی، مقادیر کودهای نیتروژنی غالباً بیشتر از مقداری است که از طریق اتمسفری وارد سیستم می‌شود و کود نیتروژنی اغلب به یک‌باره و یا در طی چندین مرحله در مقادیر نسبتاً زیاد به طور سالیانه به سیستم اضافه می‌گردد. کاربرد مقادیر زیاد کود سبب افزایش موقتی در پتانسیل اسمزی شده و احتمال پدید آمدن غلظت‌های سمی از ترکیبات نیتروژنی را باعث می‌گردد (انو و همکاران، ۱۹۵۵؛ عمر و اسماعیل، ۱۹۹۹). در مقادیر زیاده‌تر کود اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بر pH خاک می‌تواند در اراضی کشاورزی شدیدتر باشد. به علاوه، در سیستم‌های زراعی که تحت مدیریت قرار دارند ساختار جامعه گیاهی (به استثنای علف‌های هرز) کمتر بواسطه کوددهی تغییر پیدا می‌کند و این شرایط با اکوسیستم‌های طبیعی متفاوت است (کلارک و همکاران، ۲۰۰۷؛ کلیند و هارپول، ۲۰۱۰). تولید قابل توجهی که بواسطه کوددهی در سیستم‌های زراعی بدست می‌آید سبب افزایش مواد آلی سیستم از طریق ترشحات ریشه‌ای، ریشه‌های در حال تجزیه و بقایای اندام هوایی می‌گردد و بنابراین موجب بالا رفتن منابع کربنی برای ریزجانداران خاک می‌شود. شکل ۱ نمودار فرضی از این پدیده‌ها را در سیستم‌های زراعی نشان می‌دهد.

کودهای شیمیایی بویژه انواع نیتروژنی، نقش بسزایی در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی بویژه از دهه ۱۹۵۰ میلادی داشته‌اند (رابرتسون و ویتوسک، ۲۰۰۹). نیتروژن همچنین عنصر غذایی محدود کننده تولید در بسیاری از اکوسیستم‌های خاکی است و افزایش نهاده نیتروژنی غالباً منجر به تولید خالص اولیه بیشتر در این اکوسیستم‌ها می‌شود (لابوئر و ترسدر، ۲۰۰۸). جوامع میکروبی خاک نیز متأثر از نهاده‌های غذایی به کار رفته در خاک می‌باشند. در یک مقاله مروری، آلیسون و مارتینی (۲۰۰۸) دریافتند ۸۴ درصد از ۳۸ مطالعه انجام شده دلالت بر حساسیت ساختار جامعه میکروبی به کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی دارند. درحالی‌که تولید اولیه خالص در اکوسیستم‌های خاکی عموماً با کمبود نیتروژن محدود می‌شود، ریزجانداران خاک ممکن است با کمبود کربن (C) یا نیتروژن مواجه باشند (واردل، ۱۹۹۲)؛ بنابراین پاسخ جامعه میکروبی خاک ممکن است با پاسخ جامعه گیاهی متفاوت باشد. در حقیقت، تجزیه و تحلیل متا در مورد داده‌های جمع‌آوری شده از اکوسیستم‌های طبیعی نشان داده که افزایش نهاده نیتروژنی سبب ممانعت فعالیت ریزجانداران خاک می‌گردد (ترسدر، ۲۰۰۸؛ لمو و گبور، ۲۰۱۰؛ لمو و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۱- نمودار فرضی اثرات مستقیم و غیرمستقیم کود شیمیایی نیتروژنی بر جوامع ریزجانداران در خاک‌های زراعی (گیسلر و اسکو، ۲۰۱۴)

نمونه برداری خاک آغاز شده باشند و (ج) مطالعاتی که میزان زیست توده میکروبی و کربن آلی خاک (Corg) را در تیمارهای شاهد (بدون کوددهی) و یک تیمار کود شیمیایی نیتروژنی گزارش کرده باشند. اگرچه اوره از نظر شیمیایی یک مولکول آلی است، اما رفتار آن در خاک شباهت زیادی به یک کود معدنی دارد بنابراین در این مقاله در زمره کودهای معدنی نیتروژنی مد نظر قرار گرفت.

در مواردی که داده های گزارش شده از چندین لایه خاک بودند تنها داده مربوط به خاک سطحی در نظر گرفته شد. در مواردی که چندین مطالعه داده هایی را از یک آزمایش و تیمارهای یکسان گزارش کرده بودند، جدیدترین مطالعه مد نظر قرار گرفت. تناوب های مختلف گیاهی در یک مکان در صورتیکه دارای تیمار شاهد (بدون کوددهی) بودند به عنوان آزمایش های مجزا در نظر گرفته شدند. تیمارهای دارای مقادیر و منابع متفاوتی از کودهای نیتروژنی نیز به عنوان تیمارهای مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. در مقابل، در مناطقی که تیمارهای مختلف خاک ورزی همراه با کوددهی نیتروژنی مطالعه شده بودند، تنها داده های ناشی از کرت های با خاک ورزی مرسوم مورد استفاده قرار گرفتند. برخی از آزمایش ها شامل ترکیبات متفاوتی از کودهای نیتروژنی، فسفری و یا پتاسیمی با نسبت های یکسانی از نیتروژن بودند. در این موارد منحصراً از داده های تیمار ترکیبی NPK استفاده شد که تیمار متداول آزمایش هایی بود که تنها یک تیمار کود شیمیایی داشتند؛ بنابراین اگرچه این مقاله عمدتاً بر روی اثرات کود نیتروژنی تمرکز دارد ولی باید این نکته را در نظر داشت که کودهای فسفری و پتاسیمی می توانند در تأثیرات ملاحظه شده دخیل باشند.

در مجموع ۱۰۷ مجموعه داده از ۶۴ آزمایش بلندمدت از سرتاسر جهان که هر یک شامل یک تیمار شاهد (بدون مصرف کود) و یک تیمار کود شیمیایی بودند با قرار گرفتن در چارچوب معیارهای مد نظر مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). از این میان، ۱۸ مطالعه مقادیر

آزمایش های بلندمدت کودی امکان بررسی اثرات کاربرد مکرر کودهای شیمیایی بر ریزجانداران خاک را فراهم می سازد. بسیاری از این آزمایش ها با هدف اولیه بررسی اثر کودهای شیمیایی بر عملکرد گیاه طراحی و اجرا شدند، با این حال تعداد زیادی از محققین از این آزمایش ها به منظور مطالعه جوامع میکروبی خاک در رژیم های مختلف کوددهی بهره می جویند. هدف از این مقاله مروری بررسی این فرضیه است که کوددهی بلندمدت در محصولات کشاورزی منجر به ایجاد تغییر در زیست توده میکروبی و ساختار جمعیتی آن می گردد. نتایج تعدادی از آزمایش های بلندمدت در سیستم های زراعی به منظور بررسی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم کودهای شیمیایی بر جوامع میکروبی خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است. در این مطالعه تمرکز اصلی بر کودهای شیمیایی نیتروژنی است، اگرچه در اغلب آزمایش های بلند مدت فسفر و پتاسیم نیز بکار برده شده اند؛ بنابراین اثرات مشاهده شده را نمی توان منحصراً به کاربرد نیتروژن نسبت داد.

مواد و روشها

معیارهای انتخاب

به منظور کمی کردن اثر بلندمدت کاربرد کود نیتروژنی بر ریزجانداران خاک، نتایج مطالعات مستند با استفاده از روش تجزیه و تحلیل متا مورد بررسی قرار گرفت. در این روش ابتدا مقالات نمایه شده در پایگاه web of science با استفاده از کلمات کلیدی "بلند مدت"، "کود"، "میکروبی" و "نیتروژن" جستجو شدند. به علاوه مقالات مروری که به تحلیل داده های آزمایش های زراعی بلندمدت مبادرت ورزیده بودند نیز مورد استفاده قرار گرفتند.

در انتخاب پژوهش های مناسب از معیارهای زیر استفاده شد:

(الف) داده ها از آزمایش های مزرعه ای با گیاهان یکساله باشند (به استثنای سیستم های کشت برنج در اراضی غرقاب)، (ب) آزمایش هایی که حداقل پنج سال قبل از

کسر متابولیک (qCO_2) و بین هشت تا ۲۶ مجموعه داده فعالیت‌های آنزیمی را نیز گزارش کرده بودند.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی آزمایش‌های مورد استفاده در این مقاله (گیسلر و اسکو، ۲۰۱۴)

منطقه	تعداد آزمایش‌ها	تعداد مجموعه داده‌ها
اروپا	۱۰	۱۶
امریکای شمالی	۲۱	۴۵
ایالات متحده امریکا	۱۶	۳۱
کانادا	۵	۱۶
امریکای لاتین	۲	۳
استرالیا	۲	۲
آسیا	۲۶	۳۶
چین	۱۳	۱۴
هند	۱۲	۲۱
افریقا	۳	۳
جمع	۶۴	۱۰۷

تأثیرات کودهای نیتروژنی بر C_{mic} ، C_{org} و qCO_2 و فعالیت‌های آنزیمی خاک (پروتاز، بتا-گلوکوزیداز، اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی) در این آزمایش‌ها از طریق تجزیه و تحلیل متا بررسی شد. لگاریتم با پایه طبیعی از نسبت پاسخ (RR) به عنوان معیاری از شدت تأثیر استفاده شد (معادله ۱) (هجز و همکاران، ۱۹۹۹).

$$\ln(RR) = \ln\left(\frac{X_{+N}}{X_{-N}}\right) \quad (1)$$

که در این معادله:

X_{+N} و X_{-N} به ترتیب میانگین متغیر مورد نظر در تیمارهای شاهد و کود داده شده می‌باشد. تجزیه و تحلیل با استفاده از یک مدل اثر تصادفی بر اساس معادله‌ای که توسط روزنبرگ و همکاران (۲۰۱۳) و روزنبرگ (۲۰۱۳) معرفی شده بود، انجام شد. صحت محاسبات در ابتدا با استفاده از مجموعه داده‌ها و انجام محاسبه گام به گام که توسط گوروچ و هجز (۲۰۰۱) تشریح شده است، مورد آزمون قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل متا نیازمند داشتن تخمینی از تغییرات برای هر مجموعه داده است. با این وجود، تنها حدود یک چهارم مطالعات انجام شده انحراف معیار یا سایر معیارهایی از تغییر که قابل استفاده برای محاسبه

عمق نمونه‌برداری در تمامی آزمایش‌ها بین ۵ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر بود و در ۸۵ درصد موارد نمونه‌ها از عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متری تهیه شدند. طول مدت آزمایش‌ها از پنج تا ۱۳۰ سال و با میانگین ۳۷ سال بود. مقدار سالانه کاربرد نیتروژن از ۱۰ تا ۶۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و دارای میانگین ۱۳۶ کیلوگرم در هکتار بود که اوره یا نمک‌های آمونیوم از پرمصرف‌ترین منابع کودی بودند. به منظور داشتن چشم انداز وسیع‌تری در تجزیه و تحلیل نتایج متا و بررسی تأثیر کوددهی بر ترکیب جامعه میکروبی خاک از سایر مطالعات کوتاه‌مدت و بلندمدت نیز استفاده شد.

به منظور تحلیل وسیع‌تر در نتایج آنالیز متا و بررسی اثرات کوددهی بر ساختار جامعه میکروبی از سایر مطالعات تکمیلی کوتاه مدت و بلند مدت نیز در قسمت بحث استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در مواردی که مقادیر ماده آلی در دسترس بود با ضرب مقدار آن در عدد ۰/۵۹ مقدار کربن آلی محاسبه شد. مقدار کل PFLA با استفاده از ضریب $mg\ C\ nmol^{-1}$ PFLA¹ به کربن زیست‌توده میکروبی (C_{mic}) تبدیل شدند (یورگنسن و امرلینگ، ۲۰۰۶).

وارد کردن مقادیر r بین ۰/۰۱ تا یک در مواردی که اثرات برای هر یک از نسبت‌های تجزیه و تحلیل شده معنی دار یا غیر معنی دار (در سطح پنج درصد) بود، تغییری در استنتاج‌ها ایجاد نکرد.

نتایج

در تمام مجموعه داده‌های بررسی شده، افزودن کودهای شیمیایی بطور میانگین سبب افزایش معنی‌دار میزان کربن آلی معادل ۱۲/۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (بدون مصرف کود) شد (جدول ۲). تنها در ۱۷ درصد از موارد کوددهی سبب کاهش کربن آلی خاک گردید.

کوددهی سبب افزایش معنی‌دار کربن میکروبی در تمام مجموعه داده‌های مورد بررسی به میزان ۱۵/۱ درصد شد که این تأثیر وابسته به pH بود (شکل ۲). در حالی که کوددهی سبب کاهش کربن میکروبی در خاک-های با pH کمتر از پنج گردید اما اثر مثبت و معنی‌داری در خاک‌ها با مقادیر بالاتر pH داشت. در آزمایش‌هایی که pH خاک در تیمارهای کود داده شده حداقل معادل هفت بود، افزایش کربن میکروبی متأثر از کوددهی بطور میانگین معادل ۴۸ درصد بود (جدول ۲). طول مدت آزمایش نیز بر پاسخ کربن میکروبی به کوددهی تأثیرگذار بود به نحوی که در آزمایش‌های با طول مدت حداقل ۲۰ سال، کربن میکروبی حداکثر میزان افزایش را نشان داد. در مورد تمامی مجموعه داده‌ها، نسبت C_{mic}/C_{org} به طور معنی‌داری تحت تأثیر کود دهی قرار نگرفت (جدول ۲ و شکل ۳).

انحراف معیار بود را گزارش کرده بودند. هنگامی که انحرافات از معیار گزارش نشده بود، با استفاده از میانگین ضریب تغییرات (CV) مجموعه داده‌ها نسبت به محاسبه این انحراف معیار برای هر تیمار و متغیر اقدام شد. میانگین ضریب تغییرات برای C_{org} ، C_{mic} و qCO_2 به ترتیب معادل ۰/۰۶، ۰/۱۳ و ۰/۱۱ بود در حالی که میانگین آن برای فعالیت آنزیم‌های مختلف بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ بود. انحراف معیار برای نسبت‌های مختلف (به عنوان مثال C_{mic}/C_{org}) بر اساس روش کو (۱۹۶۶) محاسبه شد. هنگامی که دو متغیر همبستگی داشتند، تخمینی از کوواریانس (COV) مورد نیاز بود که بصورت معادله ۲ محاسبه شد (کوهن و همکاران، ۲۰۰۳).

$$COV = r * \sqrt{S^2(X_{-N}) * S^2(X_{+N})} \quad (2)$$

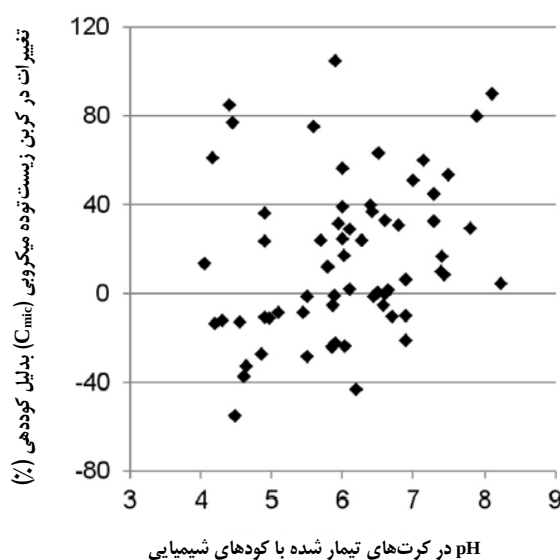
در این معادله:

r ضریب همبستگی و $S^2(X_{-N})$ و $S^2(X_{+N})$ به ترتیب واریانس تیمارهای شاهد و کود داده شده هستند. مشخص شده است که کربن آلی خاک و کربن میکروبی خاک همبستگی بالایی در بین نمونه‌های یک مزرعه یا بین نمونه‌های مزارع مختلف با اقلیم و سیستم کشت مشابه دارند (مقادیر r معمولاً بیشتر از ۰/۸) (اندرسون و دومش، ۱۹۸۹؛ پیگن و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین همبستگی قابل توجهی بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و کربن آلی خاک در تعدادی از آزمایش‌ها گزارش شده است (دیک، ۱۹۸۴؛ دنگ و طباطبایی، ۱۹۶۶؛ کلوزه و طباطبایی، ۱۹۹۹؛ آکوستا-مارتینز و همکاران، ۲۰۰۳). برای محاسبه کوواریانس، از ضریب همبستگی ۰/۸ استفاده شد. آنالیز حساسیت نشان داد که r تأثیر کمی بر حدود اعتماد دارد.

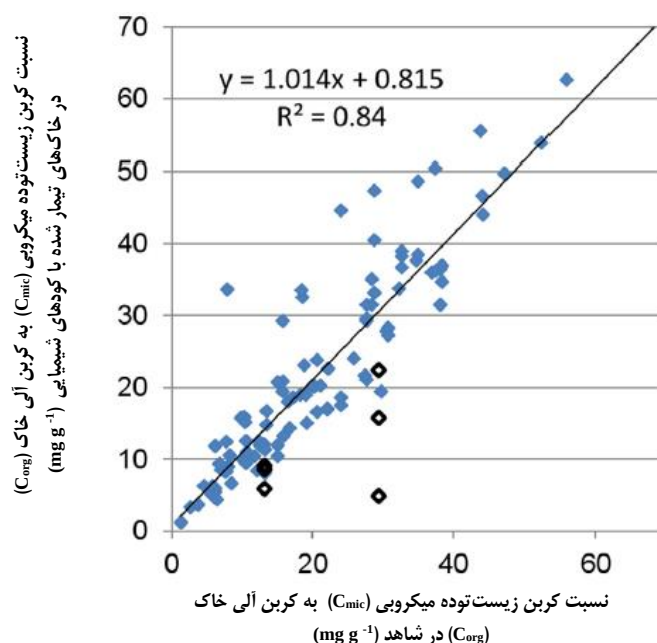
جدول ۲- اثرات کودهای شیمیایی بر کربن آلی خاک (C_{org})، کربن زیست‌توده میکروبی (C_{mic}) و کسر متابولیک (qCO_2). شاخص‌های میکروبی در یک خاک شاهد (بدون کوددهی) (-N) با یک تیمار کود داده شده (+N) مقایسه شدند. برای انجام تجزیه و تحلیل متا، نسبت پاسخ (RR)، لگاریتم طبیعی آن و حدود اعتماد ۹۵ درصد مورد محاسبه قرار گرفتند (گیسلر و اسکو، ۲۰۱۴)

شاخص خاک	میانگین غیر وزنی		تجزیه و تحلیل متا		سطح معنی‌داری		
	n	-N	+N	RR	Ln RR	95% CI of ln RR	
کربن آلی خاک (g kg ⁻¹)	۱۰۷	۱۴/۵	۱۵/۷	۱,۱۲۸	۰/۱۲۰	۰/۰۹۵-۰/۱۴۶	***
کربن زیست‌توده میکروبی (mg kg ⁻¹)							
تمام مجموعه داده‌ها	۱۰۷	۲۳۸	۲۶۸	۱/۱۵۱	۰/۱۴۱	۰/۰۶۹-۰/۲۱۲	***
pH در تیمار +N کمتر از ۵	۱۷	۲۴۰	۲۱۳	۰/۹۶۹	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱-۰/۳۴۷	ns
pH در تیمار +N بین ۵ تا ۷	۳۹	۲۳۴	۲۵۳	۱/۰۹۳	۰/۰۸۹	۰/۰۱۲-۰/۱۶۶	*
pH در تیمار +N ۷ یا بیشتر	۱۷	۱۳۹	۲۰۵	۱/۴۸۲	۰/۳۹۳	۰/۲۵۳-۰/۵۳۳	***
طول آزمایش ۵-۱۰ سال	۱۸	۳۰۰	۲۳۹	۰/۷۷۳	۰/۲۵۸	۰/۰۲۸-۰/۴۸۷	*
طول آزمایش ۱۰-۲۰ سال	۳۴	۲۲۷	۲۷۰	۱/۱۷۲	۰/۱۵۹	۰/۰۷-۰/۲۴۸	***
طول آزمایش ۲۰ سال یا بیشتر	۵۵	۲۲۴	۲۷۶	۱/۳۰۵	۰/۲۶۶	۰/۰۳۳-۰/۲۰۱	***
C _{mic} /C _{org} (mg g ⁻¹)	۱۰۷	۲۱/۵	۲۲/۶	۱/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۸۷-۰/۰۴۶	ns
کسر متابولیک (mg CO ₂ -C g ⁻¹ C _{mic} h ⁻¹)	۱۸	۷/۶	۶/۶	۰/۹۰۹	۰/۰۹۶	۰/۰۰۲-۰/۱۹۴	ns

سطوح معنی دار بودن: * معنی دار در سطح پنج درصد، ** معنی دار در سطح یک درصد، *** معنی دار در سطح ۰/۱ درصد و ns غیر معنی دار



شکل ۲- تأثیر کودهای شیمیایی بر کربن زیست‌توده میکروبی (C_{mic}) در ارتباط به pH خاک (گیسلر و اسکو، ۲۰۱۴)



شکل ۳- نسبت کربن زیست توده میکروبی (C_{mic}) به کربن آلی خاک (C_{org}) در خاکهای شاهد (بدون کوددهی) ترسیم شده در مقابل نسبت C_{mic}/C_{org} در خاکهایی که با کود شیمیایی تیمار شده بودند. نشانه‌های سفید رنگ با خطوط مشکی تیمارهایی است که در آنها از آمونیاک بدون آب استفاده شده است. تمامی نقاط در تجزیه رگرسیون مورد استفاده قرار گرفتند (گیسلر و اسکو، ۲۰۱۴)

اثر منفی به مراتب شدیدتری بر زیست توده میکروبی نسبت به سایر کودهای نیتروژنی است.

دلیل اثرات مثبت کوددهی بر نسبت C_{mic}/C_{org} در مقایسه با شاهد بخوبی روشن نیست. آزمایش‌هایی که در آنها این نسبت در کرت‌های کود داده شده حداقل ۲۰ درصد از تیمار شاهد بیشتر است گروه بسیار متنوعی را تشکیل می‌دهند. کودهای نیتروژنی مورد استفاده شامل اوره، نترات آمونیوم و سولفات آمونیوم بودند در حالیکه مقادیر مصرف از ۲۰ کیلوگرم تا ۶۵۱ کیلوگرم در هکتار در سال متغیر بوده است. همچنین pH خاک در کرت‌های کود داده شده از ۴/۵ تا ۸/۱ و عرض جغرافیایی از ۳۰' ۱۶° شمالی تا ۷' ۵۳° شمالی متغیر بود، بعلاوه دو آزمایش نیز در نیمکره جنوبی انجام شد. همچنین این آزمایش‌ها دارای تنوع قابل توجهی از لحاظ طول مدت آزمایش، گیاهان کشت شده، نوع تناوب و نوع خاک بودند.

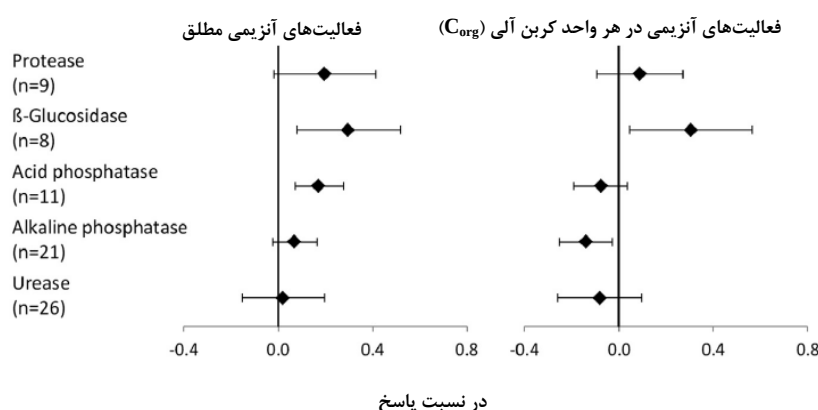
برخلاف کربن میکروبی، qCO_2 در خاکهای کود داده شده تمایل به کاهش داشت. فعالیت بتاگلوکوزیداز و فسفاتاز اسیدی در کرت‌های کود داده

نقاط زیر خط همبستگی در شکل ۳ نشان می‌دهد که کربن میکروبی در تیمارهای کود داده شده سهم کوچکتری از کربن آلی را در مقایسه با تیمار شاهد شامل می‌شود. این موضوع بویژه در تیمارهای دو آزمایش که در آنها نیتروژن به صورت آمونیاک بدون آب بکار رفته بود، مشخص‌تر بود (شکل ۳). یکی از این دو آزمایش که در غرب اوکلاهما انجام شد مقادیر آمونیاک معادل ۵۶، ۱۶۸ و ۵۰۴ کیلوگرم در هکتار در سال مورد استفاده قرار گرفت (دنگ و همکاران، ۲۰۰۶). آزمایش دیگر در ناحیه اسکات ساسکاچوان شامل دو منبع کود نیتروژنی آمونیاک بدون آب و اوره در سه سطح بین ۴۵ تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در سال بود (بایدربک و همکاران، ۱۹۹۶). در تمام سطوح نیتروژن، مقدار کربن میکروبی بطور قابل توجهی در تیمارهای آمونیاک کمتر از اوره بود. در هر دو آزمایش با افزایش مقدار نیتروژن، کربن میکروبی کاهش یافت. این دو آزمایش تنها آزمایش‌هایی بودند که در آنها از آمونیاک بدون آب استفاده شده بود. اگرچه اظهار نظر قطعی در مورد استفاده از آمونیاک بدون آب، تنها بر پایه دو آزمایش منطقی نیست ولی به نظر می‌رسد که آمونیاک دارای

میکروبی و فعالیت آنزیمی است. بهر حال، هنگامی که کوددهی، pH خاک را از یک سطح آستانه مشخص کاهش دهد، کربن میکروبی پاسخی به کوددهی نمی‌دهد و یا حتی ممکن است کاهش یابد؛ بنابراین به نظر می‌رسد که اثرات غیرمستقیم کوددهی، از جمله افزایش C_{org} و pH پایین‌تر تأثیر شدیدتری بر C_{mic} در مقایسه با اثرات مستقیم کود شیمیایی به کار رفته داشته باشد. بر خلاف کربن میکروبی، qCO_2 با کاربرد کودهای شیمیایی احتمالاً بدلیل تنش و یا تغییر در ساختار جمعیت میکروبی افزایش می‌یابد. این نتایج با جزئیات در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهند شد.

شده به طور معنی‌داری بالاتر بود (شکل ۴). سایر فعالیت‌های آنزیمی در کرت‌های کود داده شده نیز بیشتر بود، اگرچه تفاوت‌ها با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. بعد از تصحیح اختلافات در کربن آلی (C_{org})، فعالیت بتاگلوکوزیدازی کماکان با افزایش کوددهی به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد در حالی که فعالیت فسفاتاز قلبایی کاهش پیدا کرد. کوددهی تأثیر معنی‌داری بر فعالیت پروتئاز، اوره‌آز و فسفاتاز اسیدی به ازای هر واحد کربن آلی نداشت.

نتایج ما نشان می‌دهد که محتوای بیشتر کربن آلی در تیمارهای کودی یک عامل مهم در افزایش کربن



شکل ۴- تأثیر کوددهی بر فعالیت‌های آنزیمی اندازه‌گیری شده (ستون سمت چپ) و فعالیت‌های آنزیمی نسبت به محتوای کربن آلی (C_{org}) از تیمارهای مربوطه (ستون سمت راست). نماد لوزی اشاره به لگاریتم با پایه طبیعی نسبت واکنش با ۹۵ درصد حدود اطمینان دارد. حدود اطمینان قرار گرفته بر خط عمودی نمودار نشانگر این موضوع است که کوددهی تأثیر معنی‌داری نداشته است (گیسلر و اسکو، ۲۰۱۴)

با این حال این نتایج در سیستم‌های زراعی در تضاد با نتایج مطالعاتی است که غالباً در اکوسیستم‌های طبیعی صورت گرفته است. تحلیلی از ۸۲ آزمایش مزرعه-ای نشان داد که کاربرد کود نیتروژنی به طور متوسط ۱۵ درصد زیست‌توده میکروبی را کاهش می‌دهد (ترسدر، ۲۰۰۸). به همین ترتیب، لیو و گریور (۲۰۱۰) با جمع‌بندی ۵۷ آزمایش دریافتند که اضافه کردن نیتروژن، کربن میکروبی را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. در تجزیه و تحلیل متا دیگری، لو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که اضافه کردن نیتروژن به طور معنی‌داری نیتروژن زیست‌توده میکروبی را تا ۵/۸ درصد کاهش می‌دهد که

بحث

اثرات کلی

در تمامی مجموعه داده‌های بررسی شده در تجزیه و تحلیل متا، کربن میکروبی در تیمارهای با مصرف کود، ۱۵/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود. این نتیجه در تطابق با تجزیه و تحلیل متا در سیستم‌های زراعی بود که استفاده از کودهای معدنی، باعث افزایش معنی‌دار نه درصدی کربن زیست‌توده میکروبی در هر کیلوگرم خاک در مقایسه با تیمارهای بدون مصرف کود شد (کالن باخ و گرندی، ۲۰۱۱).

بیشترین تأثیر در مطالعات با دوره‌های ۵-۱۰ ساله بود. شدت کاهش برای آزمایش‌های با طول مدت بیش از ۱۰ سال کمتر بود. در تجزیه و تحلیل متا حاضر، ارتباط مشابهی با طول مدت آزمایش مشاهده شد بدین ترتیب که تأثیر مثبت کوددهی بر کربن میکروبی در مطالعات با زمان طولانی‌تر، بیشتر بود. هرچند این نتایج در تضاد با نتایج ترسدر (۲۰۰۸) بود که بیان کرد طولانی‌تر بودن مدت زمان کوددهی نیتروژن، کاهش شدیدتری را در فراوانی میکروبی باعث می‌شود؛ بنابراین طول دوره آزمایش به تنهایی نمی‌تواند مغایرت در نتایج بدست آمده از سیستم-های زراعی و اکوسیستم‌های طبیعی را توضیح دهد.

عاملی که می‌تواند وجود نتایج متناقض را توضیح دهد این است که بر خلاف سیستم‌های زراعی، اضافه کردن نیتروژن به اکوسیستم طبیعی اغلب به تغییر ساختار و تنوع گونه گیاهی منجر می‌شود که ممکن است جامعه میکروبی را تحت تأثیر قرار دهد (کلارک و همکاران، ۲۰۰۷؛ کلیند و هارپول، ۲۰۱۰). علاوه بر این، افزودن نیتروژن می‌تواند pH خاک را کاهش دهد که منجر به تحرک آلومینیوم و آبشویی کاتیون‌های عناصر غذایی می‌شود (ویتوسک و همکاران، ۱۹۹۷). در مطالعات استفاده شده برای تجزیه و تحلیل این تحقیق، pH خاک به طور میانگین فقط ۰/۲۶ واحد کاهش پیدا کرد. این تغییرات نسبتاً اندک احتمالاً بدلیل استفاده از آهک در سیستم‌های زراعی برای ایجاد حالت بافری pH خاک است. به علاوه، ذخایر تهی شده عناصر غذایی در سیستم-های زراعی غالباً با کوددهی مجدداً احیا می‌شوند. کاهش pH در سیستم‌های طبیعی که با آبشویی مواد غذایی و سمیت آلومینیوم همراه است می‌تواند توجیهی در خصوص استنتاج ترسدر (۲۰۰۸) باشد که اعتقاد دارد کاهش جمعیت میکروبی در آزمایش‌های با طول مدت زمان بیشتر، شدیدتر است.

کسر متابولیک به طور معنی‌داری به کوددهی واکنش نشان نداد. بدلیل تأثیرپذیری qCO_2 از عوامل مختلف، استنباط این مطلب که چه مقدار از این تغییرات

ناشی از کاربرد کودها می‌باشد مشکل است. به عنوان مثال، تنش‌های فیزیولوژیک، بهم ریختگی‌های فیزیکی و همچنین تغییر ساختار جامعه میکروبی ممکن است بر qCO_2 تأثیرگذار باشد. در حالیکه کاهش pH اغلب باعث افزایش qCO_2 می‌شود (واردل و قانی، ۱۹۹۵؛ آندرسون، ۲۰۰۳)، کوددهی بسته به اینکه به تشدید یا تسکین تنش کمک کند می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش مقادیر qCO_2 شود (واردل و قانی، ۱۹۹۵). علاوه بر این، مشخص شده است که افزایش نسبت زیست‌توده قارچی به باکتری می‌تواند سبب کاهش مقدار qCO_2 است (ساکاموتو و اوبا، ۱۹۹۴؛ بلاگوداتسکایا و آندرسون، ۱۹۹۸). این نتایج نشان می‌دهد که یا این عوامل در تمامی مطالعات به اندازه کافی بر کارایی استفاده کربن زیست-توده میکروبی تأثیرگذار نیستند و یا تأثیر متفاوت آن‌ها باعث خنثی کردن اثر عوامل در مجموع می‌شود. متأسفانه، تعداد مطالعاتی که مقدار qCO_2 را اندازه گرفته‌اند بسیار کم است بنابراین امکان شناسایی سهم اثرات مختلف وجود ندارد.

به رغم این که تعداد مطالعاتی که فعالیت آنزیمی را گزارش کرده‌اند به نسبتاً محدود است (جدول ۲)، ذکر این نکته جالب است که برخلاف شواهدی که نشان می‌دهد تولید پروتئاز عموماً با آمونیوم متوقف می‌شود فعالیت پروتئازی در خاک‌های دریافت کننده کود شیمیایی کاهش پیدا نکرده است (گلن، ۱۹۷۶؛ آلیسون و مک فارلین، ۱۹۹۲). در مقابل، تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که افزایش فراهمی عنصر نیتروژن، تولید آنزیم‌های خارج سلولی دخیل در چرخه کربن را افزایش می‌دهد (هنریکسن و بریلند، ۱۹۹۹؛ کاریرو و همکاران، ۲۰۰۰؛ گیسلر و هرواث، ۲۰۰۹). این مطلب در تطابق با نتایج ما است که نشان داد فعالیت بتاگلوکوزیدازی در خاک‌های کود داده شده به شدت افزایش پیدا کرد (شکل ۴). در مقابل، فعالیت اوره‌آزی به مقدار کمی تحت تأثیر کوددهی افزایش یافت، با اینکه اوره یک کود نیتروژنه متداول است.

محتوی تغییر یافته ماده آلی خاک

کودهای شیمیایی و کربن آلی

آزمایش‌های بلندمدت کوددهی نقش کودهای شیمیایی در افزایش محصول در دهه‌های گذشته را روشن می‌کند (مرباچ و کورسچن، ۲۰۰۲؛ روتامستد، ۲۰۰۶). یک استثنای قابل توجه هنگامی است که کاربرد کود اوره و یا آمونیوم باعث کاهش مقدار pH به حدود کمتر از پنج می‌شود. در چنین مواقعی مقدار محصول به طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند و حتی از شاهد کود داده نشده کم‌تر می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ وسن و همکاران، ۲۰۱۰؛ شرودر و همکاران، ۲۰۱۱). با افزایش تولید، مقدار بقایای گیاهی که بعد از برداشت به خاک بر می‌گردد نیز افزایش می‌یابد که به مرور زمان تأثیر مثبتی بر محتوای ماده آلی خاک دارد. لادها و همکاران (۲۰۱۱) داده‌های ۱۰۴ آزمایش بلندمدت شش تا ۱۵۸ ساله در سیستم‌های زراعی سراسر جهان را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که میانگین محتوای کربن آلی در این مطالعات در طول زمان کاهش پیدا کرد. هرچند این مقدار کاهش در کرت‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند در مقایسه با شاهد (بدون کوددهی) کمتر است. بر اساس مقایسات، کربن آلی به طور متوسط هشت درصد در کرت‌های دریافت کننده کود نیتروژن شیمیایی در مقایسه با شاهد بیشتر بود. کورشنس و همکاران (۲۰۱۳) نتایج مشابهی از داده‌های آزمایش‌های بلندمدت ۱۶ الی ۱۰۸ ساله در اروپا بدست آوردند. در تجزیه و تحلیل آن‌ها، کود شیمیایی NPK کربن آلی را تا ۱۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. این نتایج بخوبی در تطابق با مطالعات موجود در تجزیه و تحلیل ما است که کربن آلی به طور متوسط ۸/۵ درصد افزایش یافته است.

ماده آلی خاک و ریزجانداران خاک

در هر دو اکوسیستم زراعی و طبیعی، زیست-توده میکروبی خاک ارتباط زیادی به محتوای کربن آلی خاک دارد (بوث و همکاران، ۲۰۰۵؛ کلیولند و لیپتیزن،

۲۰۰۷؛ فیرر و همکاران، ۲۰۰۹؛ کلن باخ و گرندی، ۲۰۱۱). این ارتباط نزدیک نشانگر این موضوع است که افزایش کربن میکروبی توسط کوددهی در تجزیه و تحلیل ما اساساً بدلیل مقادیر بیشتر کربن آلی در مزارعی است که کودهای شیمیایی دریافت کرده‌اند. این فرضیه بوسیله این حقیقت پشتیبانی می‌شود که کودهای معدنی تأثیر معنی-داری روی نسبتی از کربن آلی که جزیی از زیست‌توده میکروبی است، ندارد.

pH خاک

کود شیمیایی نیتروژنی و pH خاک

اگرچه کود اوره و آمونیاک ممکن است pH خاک را در بلندمدت افزایش دهند (بخش بعدی)، استفاده از این کودها به عنوان یک واقعیت شناخته شده منجر به کاهش pH خاک می‌شود (پی‌یر، ۱۹۲۸). اسیدی شدن نتیجه نیتریفیکاسیون است، فرآیندی که اکسیداسیون آمونیوم به نیتريت و سپس به نیترات که باعث تولید پروتون می‌شود. بررسی ده مزرعه در حال پایش در چین نشان داد که pH خاک ۲/۲۰-۰/۴۵ واحد در طول یک دوره هشت تا ۲۵ ساله در کرت‌های کود داده شده با کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفوری و پتاسیمی کاهش پیدا کرد. در مقابل، pH خاک در کرت شاهد (بدون کوددهی) و کرت‌های آیش تغییری نشان نداد (گو و همکاران، ۲۰۱۰). در این آزمایش‌ها، نیتروژن در ابتدا به صورت اوره و آمونیوم استفاده شده بود. در تمامی مجموعه داده-های مورد بررسی در تجزیه و تحلیل ما، کاهش pH ایجاد شده توسط کود درحد متوسط بود. این امر ممکن است بدلیل این حقیقت باشد که در بعضی موارد، نیتروژن به فرم نیترات استفاده شده است و در موارد دیگر نیز pH خاک با کاربرد آهک در محدوده مشخصی حفظ شده است.

در چندین آزمایش بلندمدت، مشخص شده است که کودهای اوره و آمونیوم باعث کاهش pH خاک می‌شوند، این در حالی است که کاربرد نیترات تأثیر کمی

جنوبی، فیرر و جکسون (۲۰۰۶) متوجه شدند که تنوع و غنای جوامع باکتریایی خاک (روش pyrosequencing) در اکوسیستم‌های مختلف متفاوت است و تفاوت‌ها در pH خاک بخش اعظمی از این تغییرات را توجیه می‌کند. تغییرات در ساختار جامعه باکتریایی در خاک‌های با pH پایین‌تر از پنج بیشتر مشهود است. تنوع باکتریایی در خاک‌های خنثی بیشترین و در خاک‌های اسیدی کمتر است. در ۵۳ نمونه خاک جمع‌آوری شده از جنگل‌های پهن برگ بالغ، با مقادیر pH ۳ تا ۷/۲، بٹ و آندرسون (۲۰۰۳) یک ارتباط مثبت بین pH خاک و زیست‌توده میکروبی گزارش کردند. علاوه بر این، pH خاک تأثیر زیادی روی ساختار جامعه (روش PLFA) در این خاک‌ها داشت. در ۸۸ خاک جمع‌آوری شده از سرتاسر شمال و جنوب آمریکا، با میزان pH ۳/۶ تا ۸/۹، لابر و همکاران (۲۰۰۹) به طور مشابهی دریافتند که تفاوت‌های ساختار جامعه باکتریایی (روش pyrosequencing) به طور معنی‌داری با تفاوت‌های pH خاک مرتبط است.

نتایج آزمایش‌های بلند مدت

مطالعه متعددی تأثیر کودهای نیترات و آمونیوم را روی ریزجانداران خاک در آزمایش‌های بلندمدت در آلتونا بررسی کرده‌اند. در حالیکه زیست‌توده میکروبی در کرت‌هایی که کود نیترات کلسیم دریافت کرده بودند در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد، در خاک‌های تیمار شده با سولفات آمونیوم کاهش نشان داد که منعکس‌کننده تغییرات در pH خاک است (ویتر و همکاران، ۱۹۹۳؛ مارس‌تورپ و همکاران، ۲۰۰۰). کاربرد مکرر نیترات کلسیم تأثیر کمی روی زیست‌توده باکتریایی (الفسترند و همکاران، ۲۰۰۷؛ وسن و همکاران، ۲۰۱۰؛ هریس و همکاران، ۲۰۱۲) و قارچی (مارس‌تورپ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ان وال و همکاران، ۲۰۰۵) داشت و مقدار PFLA جامعه میکروبی و همچنین فراوانی ژن‌های *nirK* *narG* و *nosZ* *nirS* *amoA* در تیمار شاهد (بدون کوددهی) و تیمار کودی نیترات کلسیم تفاوت معنی‌داری نداشتند.

روی pH خاک در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کوددهی) دارد (ولک و تیدمر، ۱۹۴۶؛ ولکات و همکاران، ۱۹۶۵؛ ملچی و همکاران، ۲۰۰۰). تفاوت‌های قابل توجهی در تأثیر کودهای آمونیوم در مقایسه با کودهای نیترات در pH خاک در آزمایشی بلندمدت در آلتونای سوئد مشاهده شد. بین سال‌های ۱۹۵۶ (هنگامی که آزمایش شروع شد) و pH ۱۹۷۴ در خاک سطحی که با سولفات آمونیوم تیمار شده بود از ۶/۵ به ۵ کاهش پیدا کرد (کیرچمن و همکاران، ۱۹۹۴). از آن زمان pH کاهش بیشتری نشان داده و در سال ۲۰۰۹، به ۴/۲ رسید. در مقابل، در کرت‌های بدون کوددهی و کرت‌هایی که نیترات کلسیم دریافت کرده بودند، pH تغییر زیادی نسبت به مقدار اولیه نداشته است و به ترتیب در مقادیر ۶/۲ و ۶/۷ در سال ۲۰۰۹ ثابت باقی ماند (بورجسون و همکاران، ۲۰۱۲).

تأثیر اسیدی‌کردن کودهای نیتروژنه همچنین به میزان استفاده بستگی دارد. با افزایش مقدار کاربرد، کاهش pH به ازای هر واحد نیتروژن بکاررفته مشهودتر است. این امر به این دلیل است که مقداری از اسیدی شدن که بخاطر نیتریفیکاسیون بوجود آمده است با جذب بیشتر نیترات توسط گیاه (در مقایسه با کاتیونها) خنثی می‌شود (باراک و همکاران، ۱۹۹۷). هنگامی که نیتروژن بیشتری استفاده می‌شود، نسبت نیتروژن جذب شده توسط گیاه و به طبع آن اثر خنثی‌کنندگی جذب نیترات کاهش می‌یابد. آزمایش‌های بلندمدت در آرلینگتون، ویسکانسین و منهتن، کانزاس به طور مشخصی نشان دادند که ارتباط مستقیمی میان میزان کاربرد نیتروژن، چه بصورت اوره و چه به صورت نیترات آمونیوم و اسیدی شدن وجود دارد (شواب و همکاران، ۱۹۹۰؛ باراک و همکاران، ۱۹۹۷).

تأثیر pH خاک روی ریزجانداران خاک

مطالعات انجام شده در تعدادی از اکوسیستم‌ها نشان داده است که pH تأثیر زیادی روی ساختار جامعه میکروبی خاک می‌گذارد. در ۹۸ نمونه خاک جمع‌آوری شده از اکوسیستم‌های مختلف در آمریکای شمالی و

قارچی در pH متوسط بین ۵/۵-۶/۵ در بالاترین میزان بودند (روسک و همکاران، ۲۰۰۹).

رامیرز و همکاران (۲۰۱۰) و فیرر و همکاران (۲۰۱۲)، از طریق مقایسه تغییرات در جوامع باکتریایی یک مرتع ۲۷ ساله که از صفر تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال نترات آمونیوم و یک زمین زراعی با هشت سال سابقه کشت که بین صفر تا ۲۶۷ کیلوگرم در هکتار در سال نترات آمونیوم دریافت کرده بودند، اهمیت فاکتورهای مختلفی که پتانسیل تأثیر روی بیولوژی خاک را دارند، مورد تفکیک قرار دادند. با افزودن مقادیر مختلف کود نیتروژنی pH خاک مرتع از ۷/۴ به ۶/۱ کاهش یافت درصورتیکه در زمین زراعی از ۶/۶ به ۵/۳ کاهش پیدا کرد. در هر دو محل، کربن زیست‌توده میکروبی با افزایش کوددهی تمایل به افزایش داشت. یک تجزیه و تحلیل از ساختار جامعه باکتریایی نشان داد که تفاوت‌های مشاهده شده اساساً ناشی از تفاوت‌ها در دسترسی به نیتروژن و کربن است و در مرحله بعد ناشی از تغییراتی است که به دلیل کوددهی در جوامع گیاهی و pH خاک روی می‌دهد (رامیرز و همکاران، ۲۰۱۰؛ فیرر و همکاران ۲۰۱۲). علاوه بر این، افزایش کاربرد نیتروژن تأثیر پایداری برغنا و تنوع جامعه باکتریایی نداشت (رامیرز و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج خلاصه شده این بخش نشان می‌دهد که کاربرد نیتروژن به خودی خود منجر به تأثیر منفی مشخصی روی ریزجانداران خاک در سیستم‌های زراعی نمی‌شود. هنگامی که کوددهی نیتروژن، pH خاک را کاهش می‌دهد، در واقع زیست‌توده میکروبی خاک، فعالیت و ساختار جامعه آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در سیستم‌های طبیعی نیز مشابه سیستم‌های زراعی، به نظر می‌رسد pH خاک بویژه هنگامی که تا زیر حدود آستانه پنج سقوط می‌کند، تأثیر شدیدی روی ریزجانداران خاک دارد.

(هالین و همکاران، ۲۰۰۹؛ بورجسون و همکاران، ۲۰۱۲). در مقابل، فراوانی باکتری‌ها و آرکی‌ها در خاک‌های کود داده شده با سولفات آمونیوم به طور معنی‌داری کاهش نشان داد (هالین و همکاران، ۲۰۰۹؛ وسن و همکاران، ۲۰۱۰)، درصورتیکه زیست‌توده قارچی کمتر تحت تأثیر قرار گرفت (مارس‌تورپ و همکاران، ۲۰۰۰؛ بورجسون و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این تنفس پایه و qCO_2 در تیمار سولفات آمونیوم به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد و تیمار نیتراتی، افزایش یافت (ان‌وال و همکاران، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷). با مقایسه این سه تیمار نتیجه گیری شد که کود نیتروژنی به خودی خود تأثیر کمی بر زیست‌توده میکروبی دارد. اگرچه کاربرد نیتروژن به فرم آمونیوم به طور موثری روی جامعه میکروبی تأثیر می‌گذارد. این مسئله ممکن است بدلیل کاهش pH و یا تأثیرات سمی کاربرد مکرر آمونیوم باشد که در این آزمایش این دو عامل به طور مشخص قابل تفکیک نیستند.

تأثیر pH خاک روی جوامع میکروبی خاک در نوار اسیدی هوسفیلد، در روتامستد، انگلستان که کاربرد غیریکنواخت آهک در قرن ۱۹ باعث یک شیب pH از ۳/۷ تا ۸/۳ در امتداد یک برش عرضی به طول ۲۰۰ متر گردیده، مورد بررسی قرار گرفت. هیچ نوع اصلاح کننده شیمیایی یا آلی دیگر از آن زمان به بعد استفاده نشده است (روسک و همکاران، ۲۰۰۹). کربن زیست‌توده میکروبی با افزایش pH افزایش نشان داد. اگرچه، بیشترین تأثیر در خاک‌های با pH پایین‌تر از پنج مشاهده شد. تنفس همچنین در خاک‌های با pH کمتر از ۴/۵ کاهش پیدا کرد و کسر متابولیک در خاک‌های با pH چهار و یا پایین‌تر افزایش یافت (آسیگو پی‌اتری و بروکس، ۲۰۰۸). نویسندگان این اثرات را به تنش مرتبط به pH نسبت دادند. PFLA کل باکتریایی با کاهش pH از ۸/۳ به ۵ تنها به میزان جزئی کاهش یافت. هرچند، PLFA به طور شدیدی در pH کمتر از پنج کاهش نشان داد. پاسخ مشابهی به pH برای PLFA کل و زیست‌توده محاسبه شده از SIR مشاهده شد. نشانگرهای زیستی PLFA

اثرات مستقیم کودهای شیمیایی

مکانیسم‌ها

اکثر باکتری‌ها و قارچ‌ها آمونیوم را به عنوان منبع نیتروژنی ترجیح می‌دهند (مریک و ادوارد، ۱۹۹۵، مارزولوف، ۱۹۹۷). با اینحال هنگامی که کودهای آمونیوم و اوره در مقادیر زیاد استفاده شوند، بدلیل سمیت آمونیاک، افزایش pH و قدرت یونی تأثیرات بازدارنده روی ریزجانداران خاک خواهند داشت (انو و همکاران، ۱۹۵۵؛ عمر و اسماعیل، ۱۹۹۹). کاربرد اوره و کودهای آمونیومی می‌تواند منجر به غلظت‌های بسیار بالای موضعی نیتروژن آمونیاکی شود (NH_3 و NH_4^+). غلظت‌های بالاتر از ۳۰۰۰ میلی‌گرم در گرم خاک در کنار یک گرانول اوره (یادویندر و بی‌شاپ، ۱۹۸۸) و ۵۰۰ پی‌پی‌ام در کنار خط تزریق آمونیاک بدون آب (انو و همکاران، ۱۹۵۵) گزارش شده است. چنین غلظت‌های بالایی می‌تواند اثرات بازدارندگی و کشندگی علیه قارچ‌ها و باکتری‌ها داشته باشند (انو و همکاران، ۱۹۵۵؛ ستوا و سامادار، ۱۹۸۰؛ عمر و اسماعیل، ۱۹۹۹). هرچند، برخی از ریزجانداران از قبیل قارچ‌های سلولیتیک و همچنین برخی باکتری‌ها می‌توانند غلظت‌های بالای آمونیاک را تحمل کنند (عمر و اسماعیل، ۱۹۹۹؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۶). آمونیاک بدون آب، آمونیاک آبدار و اوره pH خاک را به طور قابل توجهی هنگامی که آمونیاک به آمونیوم تبدیل می‌شود، افزایش می‌دهند. یادویندر-سینگ و بی‌شاپ (۱۹۸۸) مقادیر pH خاک تا حدود نه را در مجاورت گرانول‌های اوره گزارش کرده اند. علاوه بر این، قدرت یونی محلول خاک ممکن است در نزدیکی گرانول‌ها و نوارهای کودی زیاد باشد (مولر و همکاران، ۲۰۰۶).

شرایط نامطلوب ایجاد شده بوسیله این کودها غالباً در محدوده‌های مکانی مشخص ایجاد می‌شود. یادویندر-سینگ و بی‌شاپ (۱۹۸۸، ۱۹۸۹) دریافتند که ناحیه با pH بالا و غلظت زیاد نیتروژن آمونیاکی ایجاد شده بوسیله کوددهی تا شعاع بیش از شش سانتی‌متری از یک عدد گرانول بزرگ اوره ایجاد نخواهد شد. انو و

همکاران (۱۹۵۵) یک الگوی مشابه را به هنگام کاربرد آمونیاک بدون آب مشاهده کردند. اگرچه هو و همکاران (۲۰۱۰) غلظت ۳۰۰ میکروگرم در گرم خاک نیتروژن آمونیاکی را در یک مزرعه کلم که اوره در سطح خاک پخش و با خاک مخلوط شده بود، گزارش کردند. علاوه بر محدود بودن از لحاظ فضایی، غلظت نیتروژن آمونیاکی در چندین روز یا هفته در خاک‌های با تهویه مناسب به علت نیتریفیکاسیون و جذب توسط گیاه کاهش می‌یابد (انو و همکاران، ۱۹۵۵؛ هو و همکاران، ۲۰۱۰؛ پلستر و همکاران، ۲۰۱۱). اگرچه مطالعات بلند مدت نشان داده است که غلظت آمونیوم ممکن است در خاک‌های کود داده شده بیشتر از خاک‌های کود داده نشده باشد (هی و همکاران، ۲۰۰۷؛ شن و همکاران، ۲۰۰۸؛ استنچ و نو، ۲۰۰۹؛ ای و همکاران، ۲۰۱۳)، با این حال این غلظت‌ها در بیشتر مواقع و خاک‌ها خیلی پایین‌تر از سطوح سمیت‌زا برای ریزجانداران است.

اثرات کوتاه مدت

علی‌رغم ایجاد شرایط نامطلوبی که برای عوامل زنده خاک در پی استفاده از کودهای آمونیوم و اوره به وقوع می‌پیوندد، تأثیرات کوتاه‌مدت کاربرد کودها روی جوامع میکروبی در مجموع در حداقل میزان است. کاربرد اوره به میزان تقریبی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط انکوباسیون آزمایشگاهی باعث تغییرات در ساختار جوامع میکروبی در طی ۱۰ روز شد، هر چند که این تأثیرات در مدت زمان بیشتر از ۹۱ روز پایدار نبود (استارک و همکاران، ۲۰۰۷). به طور مشابهی در یک آزمایش گلخانه‌ای با خاک‌ها و محصولات مختلف، کوددهی با نترات آمونیوم تأثیر معنی‌داری روی ساختار جامعه باکتریایی در ریزوسفر نداشت (مارشنر و همکاران، ۲۰۰۱).

کاربرد اوره تا میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار در گیاه جو کشت شده در شرایط بی‌خاک‌ورزی، تأثیر پایداری روی زیست‌توده میکروبی و تنوع عملکردی

و در نتیجه تغییرات اساسی در زیست‌توده و فعالیت زیستی در سطح جامعه میکروبی در بلندمدت ایجاد نمی‌شود. اگرچه کاربرد مکرر کودهای نیتروژنه ممکن است توانایی جامعه میکروبی برای بازیابی را کاهش دهد و تغییرات دائمی در جامعه میکروبی ایجاد نماید که در بخش بعدی در این مورد بحث شده است.

اثرات بلند مدت

کودهای شیمیایی بواسطه افزایش کربن آلی و کاهش pH خاک اثرات غیرمستقیم شدیدی روی جوامع میکروبی خاک ایجاد می‌کنند ولی تفکیک اثرات مستقیم بلندمدت کاربرد مکرر کودهای نیتروژنی روی ریزجانداران خاک مشکل است. هرچند، در دو آزمایش که نیتروژن به فرم آمونیاک بدون آب استفاده شده بود، زیست‌توده میکروبی به شدت کاهش یافت (شکل ۳، بیدریک و همکاران، ۱۹۹۶؛ دنگ و همکاران، ۲۰۰۶)، لذا اینگونه استنتاج شده است که آمونیاک بدون آب ممکن است بصورت مستقیم روی ریز جانداران خاک تأثیر بگذارد. مجموعه داده‌های ما همچنین شامل تعداد زیادی آزمایش است که pH خاک در آن‌ها بین ۶ و ۸/۵ بود و در این آزمایشها pH بیشتر از ۰/۵ واحد بین تیمار شاهد و کود داده شده تغییر نکرده است. در این موارد، اثرات غیرمستقیم وابسته به pH غالباً کمتر بروز می‌کند و امکان بررسی تأثیرات مستقیم کودها را میسر می‌سازد. بخش بعدی بحث به این آزمایش‌ها پرداخته است.

چندین مطالعه بلندمدت نشان داده اند که کوددهی منجر به تغییر ساختار جامعه میکروبی خاک می‌شود (پیکاک و همکاران، ۲۰۰۱؛ بوهمه و همکاران، ۲۰۰۵؛ هارتمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ لنجر و کلیمانک، ۲۰۰۶؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ هو و همکاران، ۲۰۱۱؛ کیرچمن و همکاران، ۲۰۱۳). تجزیه و تحلیل به مولفه‌های اصلی (PCA) اساساً برای تعیین اثرات روی جامعه میکروبی استفاده شده است. هرچند، مطالعات اندکی به این نتیجه رسیده اند که کودهای شیمیایی بر روی ساختار

باکتریها در دو آزمایش مزرعه‌ای در کانادا نداشت (لوپوایی و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲). اگرچه کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کاهش زیست‌توده میکروبی و تنوع کاربردی را در پی داشت (لوپوایی و همکاران، ۲۰۱۱). در یک مطالعه سه ساله در کالیفرنیا نیز که بر روی تناوب پنبه - غلات انجام شد تفاوتی در پروفایل‌های PLFA میکروبی بین تیمارهای نیتروژنی اوره ۲۰ یا ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار وجود نداشت (روبرت و همکاران، ۲۰۱۱).

مطالعات کمی تأثیرات کودهای نیتراتی را روی جوامع خاک بررسی کرده‌اند. اضافه کردن ۱۰۰ و ۲۰۰۰ میکروگرم نیتروژن در گرم خاک به فرم نیترات پتاسیم در خاک‌های جمع آوری شده از گیاهان یکساله، تأثیر معنی‌داری بر زیست‌توده میکروبی در مقایسه با شاهد در شرایط آزمایشگاهی نداشت (یودوکیمو و همکاران، ۲۰۰۸، ۲۰۱۲). در مقادیر بالاتر، نیترات منجر به کاهش نرخ رشد ویژه جوامع میکروبی، افزایش نسبت نشانگرهای PFLA قارچی به باکتری و کاهش نسبت نشانگرهای PFLA باکتری‌های گرم مثبت به گرم منفی شد (یودوکیمو و همکاران، ۲۰۱۲). مقادیر بالاتر از لحاظ کشاورزی واقع‌بینانه نیست، به فرض ۲۰۰۰ میکروگرم نیتروژن در گرم خاک در عمق پنج سانتی‌متر از خاک سطحی با وزن مخصوص ظاهری ۱/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب، معادل ۱۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار خواهد بود که بسیار بیشتر از مقادیر معمول کوددهی در هر سیستم زراعی است.

در مجموع، تغییرات ایجاد شده در محیط خاک در نتیجه کاربرد کودهای اوره و آمونیوم می‌تواند به طور موثری زیست‌توده و ساختار جامعه میکروبی را در کوتاه مدت تحت تأثیر قرار دهد. در مقابل، بنظر می‌رسد اثرات کوتاه مدت نیترات بمراتب کمتر باشد. این نتایج همچنین داد که ریزجانداران خاک بسرعت اثرات زیانبار کودهای اوره و آمونیومی را جبران کرده و یا اینکه گونه‌های حساس به سرعت با گونه‌های مقاوم جایگزین می‌شوند

معنی داری متفاوت نبود (اوگیلوی و همکاران، ۲۰۰۸؛ هالین و همکاران، ۲۰۰۹؛ بورجسون و همکاران، ۲۰۱۲). چگونگی پاسخ جوامع میکروبی به کودهای شیمیایی تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی است. شنایدر و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که بیشترین تفاوت‌ها در جوامع قارچی در آزمایش DOK^2 در بین نمونه‌های جمع‌آوری شده در سال‌های مختلف در نقاط متفاوت در تناوب بود. در مقابل، تأثیر محصولات و سیستم‌های زراعی از جمله کوددهی کمتر بود. حتی هنگامی که نمونه‌ها در زمان‌های مختلف در طول یک فصل رشد گرفته شده‌اند، تاریخ نمونه‌برداری می‌تواند نسبت به کوددهی بلندمدت تأثیر بیشتری روی پروفایل PFLA میکروبی خاک داشته باشد (بوسیو و همکاران، ۱۹۹۸). با تجزیه و تحلیل پروفایل PLFA در نمونه‌های خاکی از آزمایش‌های بلندمدت در باد لواخ‌اشت و کستلی، بوهمه و همکاران (۲۰۰۵) با وجود اختلافات قابل توجه، برخی شباهت‌ها در تأثیر کودها روی ساختار جامعه میکروبی در این دو نقطه را دریافتند. نویسندگان، این نتایج را به خصوصیات متفاوت محل آزمایش از قبیل اقلیم، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی نسبت دادند (بوهمه و همکاران، ۲۰۰۵). در یک مقایسه با چهار آزمایش که شامل دو منطقه هاله و باد لواخ‌اشت نیز بود نتایج مشابهی مشاهده شد (لنجر و کلیمانک، ۲۰۰۶). در حقیقت در باد لواخ‌اشت، تنوع پروکاریوت‌های متصل به ذرات درشت خاک در مقایسه با جوامع متصل به ذرات رس، به طور شدیدتری به کوددهی واکنش نشان دادند (نیومن و همکاران، ۲۰۱۳). نویسندگان به این نتیجه رسیدند که ذرات رسی دارای ظرفیت بافری بالا هستند که سلول‌های میکروبی را در برابر تغییرات محافظت می‌کنند. پاسخ گروه‌های میکروبی مختلف به کوددهی همچنین ممکن است بین خاک غیر ریزوسفری و خاک ریزوسفری متفاوت باشد (آی و همکاران، ۲۰۱۲). در حالی که قارچ‌ها

جامعه میکروبی خاک تأثیری نداشته یا تأثیرات اندکی دارند (اسپرسچوتز و همکاران، ۲۰۰۷؛ اوگیلوی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بورجسون و همکاران، ۲۰۱۲). این نتایج در راستای نتایج بدست آمده توسط آلیسون و مارتینی (۲۰۰۸) است که دریافتند که در ۸۴ درصد مطالعات با مدت زمان متوسط ۸/۲ سال، ساختار جامعه میکروبی به کوددهی نیتروژن، فسفر و پتاسیم حساس بود.

پاسخ گروه‌های میکروبی مشخص به کاربرد بلند مدت کودهای شیمیایی به طور قابل توجهی متغیر است. بطور کلی، قارچ‌ها از کودهای شیمیایی نیتروژنی حتی هنگامی که pH خاک به میزان کمی تحت تأثیر قرار گرفته باشد بهره می‌برند (بوهمه و همکاران، ۲۰۰۵؛ اسپرشوتز و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ آی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲). هرچند کیرچمن و همکاران (۲۰۱۳) زیست‌توده قارچی کمتری را در خاک‌های کود داده شده در دو آزمایش بلندمدت در سوئد مشاهده کردند. آن‌ها این نتایج را به بقایای با نسبت کمتر کربن به نیتروژن و غنی از نیتروژن نسبت دادند که این شرایط می‌تواند بیشتر مطلوب باکتری‌ها نسبت به قارچ‌ها باشد.

در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مارتین در تنسی، کاربرد بلندمدت نترات آمونیوم منجر به کاهش فراوانی نسبی باکتری‌های گرم منفی در مقایسه با شاهد گردید، در حالی که فراوانی نسبی باکتری‌های گرم مثبت افزایش یافت (پیکاک و همکاران، ۲۰۰۱). نسبت PLFA اشباع شده منشعب که به عنوان نشانگر زیستی باکتری‌های گرم مثبت استفاده می‌شود در کرت‌های کود داده شده در باد لواخ‌اشت (بوهمه و همکاران، ۲۰۰۵) و هاله (لنجر و کلیمانک، ۲۰۰۶) افزایش یافت. با این حال پاسخ جوامع باکتری به کودهای شیمیایی نیتروژنی به طور قابل ملاحظه‌ای بین آزمایش‌ها متفاوت بوده و روند مشخصی تشخیص داده نشده است. برای مثال، در آلتونا و آزمایش گندم زمستانه برادبالک، ساختار جامعه باکتریایی در خاک شاهد و کود داده شده با کود شیمیایی نیتروژنی به طور

² D: bio-dynamic, O: bio-organic, K: german "konventionell" integrated

و باکتری‌های گرم منفی استفاده بیشتری از کاربرد کودهای شیمیایی در خاک‌های غیرریزوسفری می‌کنند، در خاک-های ریزوسفری هر چند در مقادیر کمتر و غیرمعنی‌دار وضعیت برعکس بود (آی و همکاران، ۲۰۱۲).

این نتایج نشان می‌دهد که در صورت عدم تغییرات زیاد pH خاک، کودهای شیمیایی می‌توانند تأثیر معنی‌داری روی ساختار جامعه میکروبی خاک بگذارند. با این حال هنگامی که تمرکز ویژه روی گروه‌های اصلی از قبیل باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌ها است ممکن است اثرات مذکور بطور کامل درک نشود. به علاوه، پاسخ یک ریزجاندار خاص به اضافه شدن نیتروژن معدنی ممکن است بسته به عوامل محیطی و مدیریتی متفاوت باشد.

کودهای آمونیوم و اوره و موجودات نیترات‌ساز

باکتری‌ها و آرکی‌های اکسیدکننده آمونیوم عوامل کاتابولیکی هستند که از فرم‌های احیا شده نیتروژن مانند آمونیوم به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کنند؛ بنابراین، کاربرد اوره و آمونیوم برای موجودات نیترات‌ساز و اکسیدکننده آمونیوم سودمند است. اگرچه در غلظت‌های خیلی بالا، آمونیاک از رشد باکتری‌ها و آرکی‌های اکسید-کننده آمونیوم جلوگیری می‌کند (پراسر و نیکول، ۲۰۱۲). در یک مطالعه آزمایشگاهی کوپر و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که غلظت‌های پایین آمونیوم تا ۱-۲ میلی‌مولار شدت نیتریفیکاسیون را افزایش می‌دهد. اگرچه، غلظت-های بالاتر آمونیوم میزان نیتریفیکاسیون را تقریباً به میزان نصف مقدار حداکثر کاهش می‌دهد (کوپر و همکاران، ۲۰۱۰). یادویندر-سینگ و بی‌شاپ (۱۹۸۸) دریافتند که شرایط در ۲-۳ سانتی‌متری از محل قرارگیری اوره برای موجودات نیترات‌ساز حداقل به مدت ۳۵ روز نامطلوب خواهد بود، حال آنکه نیتریفیکاسیون در ناحیه‌ای که غلظت نیتروژن آمونیاکی زیر ۱۰۰۰ میکروگرم نیتروژن در گرم خاک باشد اتفاق می‌افتد.

مطالعات بلندمدت نشان داد که تأثیرات مثبت بارزتر هستند. با اندازه‌گیری‌های هفتگی مزرعه‌ای در باد-

لواخشت در طول دوره یک ساله، استنچ و نو (۲۰۰۹) دریافتند که میزان متوسط نیتریفیکاسیون ناخالص در تیمارهای با کودهای شیمیایی در مقایسه با شاهد بالاتر بود. چندین مطالعه انجام شده در مورد آزمایش‌های بلندمدت در چین همچنین مشخص ساختند که فعالیت نیتریفیکاسیون پتانسیل در خاک‌های با کاربرد کودهای شیمیایی در مقایسه با شاهد افزایش یافته است (چو و همکاران، ۲۰۰۷؛ شن و همکاران، ۲۰۰۸؛ آی و همکاران، ۲۰۱۳).

این مطالعات همچنین نشان دادند که باکتری‌ها و آرکی‌های اکسیدکننده آمونیاک به صورت متفاوتی به کودهای شیمیایی نیتروژنی عکس‌العمل نشان می‌دهند. در شرایطی که جمعیت آرکی‌های اکسیدکننده آمونیاک به میزان کمی تحت تأثیر کودهای شیمیایی قرار می‌گیرند، فراوانی و تنوع باکتری‌های اکسیدکننده آمونیاک به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (چو و همکاران، ۲۰۰۷؛ شن و همکاران، ۲۰۰۸؛ آی و همکاران، ۲۰۱۳). این سه آزمایش بلندمدت انجام شده در چین دارای خاک با pH هشت یا بیشتر بودند و کاربرد مکرر اوره pH خاک را به میزانی کمتر از خاک شاهد کاهش نداد (حداکثر کاهش حدود ۰/۵ واحد بود)؛ بنابراین نتایج حاصله نمی‌تواند معرف تمامی خاک‌ها باشد.

بورجسون و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند در آلتونا، در تیمار کود داده شده با سولفات آمونیوم، غلظت-های خیلی کمی از PLFA 16:1 ω 7 و PLFA 18:1 ω 7 که معمولاً در باکتری‌های اکسیدکننده آمونیاک یافت می‌شود را تشخیص دادند و این موضوع را به pH خیلی پایین خاک معادل ۴/۲ در این خاک‌ها نسبت دادند (بورجسون و همکاران، ۲۰۱۲). تغییرات pH خاک همچنین باعث تغییر در ساختار جامعه می‌شود، در خاک-های با pH پایین‌تر از ۵/۵ معمولاً آرکی‌های اکسیدکننده آمونیوم غالبند (پروسر و نیکل، ۲۰۱۲). اگرچه هالین و همکاران (۲۰۰۹) کاهش جمعیت باکتری‌ها و آرکی‌های اکسیدکننده آمونیاک به ازای هر واحد زیست‌توده

پیشنهادات ترویجی

تجزیه و تحلیل متا نشان داد که در شرایط بلندمدت، استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی زراعی باعث افزایش محتوی کربن میکروبی (C_{mic}) می‌شود که احتمالاً بدلیل افزایش کربن آلی در نتیجه تولید بیشتر محصول است. افزایش محتوی کربن میکروبی در خاک-های کود داده شده در تضاد با آنچه است که در اکوسیستم‌های طبیعی دیده می‌شود، جایی که کربن میکروبی اغلب در نتیجه کاربرد نیتروژن کاهش می‌یابد. در آزمایشات با طول دوره کوتاه‌تر از ۱۰ سال، کربن میکروبی با کوددهی کاهش پیدا کرد.

کودهای اوره و آمونیوم می‌توانند به طور معنی-داری pH خاک را در طول زمان کاهش دهند، در صورتیکه کودهای نیترا ته عموماً pH خاک را کاهش نمی‌دهند. هنگامی که pH خاک به زیر پنج می‌رسد، نه تنها ریزجانداران خاکزی بلکه گیاهان نیز تحت تأثیرات منفی این امر قرار می‌گیرند. در اکوسیستم‌های طبیعی نیز یک آستانه pH برای اثرات منفی مشاهده شده است. برخلاف آنچه در بسیاری از اکوسیستم‌های طبیعی گزارش شده است، به نظر نمی‌رسد که در سیستم‌های زراعی کودهای نیتروژنی به خودی‌خود تأثیرات مستقیم منفی روی زیست‌توده میکروبی خاک داشته باشند. این امر ممکن است به این دلیل باشد که نیتروژن ساختار جامعه گیاهی را، مشابه آنچه در اکوسیستم‌های طبیعی روی می‌دهد، تغییر نمی‌دهد. بهرحال، کاربرد مکرر نیتروژن معدنی در بلندمدت حتی هنگامی که تغییرات pH کم باشد می‌تواند در بیشتر موارد ساختار جامعه میکروبی را تغییر دهد. این تغییرات در ساختار جامعه میکروبی را نمی‌توان به طور کامل با روش‌هایی که در بهترین حالت گروه‌های میکروبی اصلی از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست-ها را تشخیص می‌دهند، شناسایی کرد. به منظور شناسایی و تفسیر تغییرات فیلوژنتیکی و عملکردی جوامع میکروبی که در اثر کوددهی بلند مدت رخ می‌دهند می‌توان از

باکتریایی را در همان منطقه گزارش کردند. در مطالعه دیگری که در آلتونا انجام شد انوال و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که کوددهی بلندمدت با نترات کلسیم به طور معنی‌داری اکسیداسیون آمونیاک پتانسیل را افزایش می-دهد، در حالی که این صفت در خاک‌های تغذیه شده با سولفات آمونیوم به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد.

هی و همکاران (۲۰۰۷) همچنین کاهش معنی-داری در مقادیر نیتریفیکاسیون پتانسیل در خاک‌هایی که کود شیمیایی NPK در آن‌ها استفاده شده بود در مقایسه با شاهد گزارش کردند. همانند آلتونا، pH خاک در کرت-های کود داده شده به طور معنی‌داری پایین‌تر از شاهد بود (۴/۰۴ در مقابل ۵/۷۸).

در یک آزمایش بلندمدت آغاز شده در سال ۱۹۶۱ در کرایستون، اسکاتلند در اراضی تحت یک تناوب هشت ساله، میزان pH خاک در یک سری از کرت‌ها بوسیله اضافه کردن آهک و یا سولفات آمونیوم در محدوده ۴/۵ تا ۷/۵ حفظ شد (نیکول و همکاران، ۲۰۰۸). فراوانی ژن amoA آرکی‌ها و رونوشت آن با افزایش pH خاک از ۴/۹ به ۷/۵، کاهش یافت، حال‌آنکه فراوانی ژن amoA باکتریایی روند معکوسی را نشان داد. در تمام مقادیر pH، فراوانی ژن‌ها و رونوشت آن‌ها در آرکی‌ها بیشتر از ژن‌ها و رونوشت آن‌ها در باکتری‌ها بود (نیکول و همکاران، ۲۰۰۸).

این مطالعات نشان می‌دهد در آزمایش‌های بلندمدت، تأثیرات کودهای نیتروژنی بر فراوانی و فعالیت اکسیدکننده‌های آمونیوم و دیگر موجودات نیترا ساز در بیشتر موارد مثبت است. بنظر می‌رسد تأثیرات غیرمستقیم کوددهی، بخصوص تغییرات pH تأثیر بیشتری روی اکسیدکننده‌های آمونیوم و موجودات نیترا ساز نسبت به تأثیرات مستقیم دارد. به نظر می‌رسد در خاک‌های زراعی تا مادامیکه pH خاک به پایین‌تر از ۵/۵ نرسد باکتری‌ها بیشتر از آرکی‌ها از کوددهی نیتروژنی بهره خواهند برد.

تأثیرات بلندمدت کودهای مختلف در انواع مختلفی از خاک و شرایط محیطی برای درک بهتر این برهمکنش‌های پیچیده لازم است. اینجاست که اهمیت آزمایش‌های بلندمدت به دلیل توانایی آن‌ها در شناسایی تغییرات آهسته، از جمله مواردی که در بالا ذکر شد مشخص می‌شود. این تغییرات ممکن است در اکثر مطالعات با طول ۲-۳ سال مشخص نشود.

روش‌های ژنومیکس که توان تشخیص تغییرات داخل گروه‌های اختصاصی را دارند استفاده کرد.

چگونگی پاسخ گروه‌های میکروبی به کاربرد مکرر کودهای شیمیایی متغیر بوده و به عوامل محیطی و مدیریت زراعی ارتباط دارد. بر اساس داده‌های موجود، درک برهمکنش میان فاکتورهای محیطی، میزان و نوع کودهای مصرفی و گروه‌های اختصاصی ریزجانداران خاک مشکل است. مطالعات بیشتری جهت بررسی

فهرست منابع

1. Aciego Pietri, J.C., Brookes, P.C., 2008. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 1856-1861.
2. Acosta-Martínez, V., Zobeck, T.M., Gill, T.E., Kennedy, A.C., 2003. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 38, 216-227.
3. Ai, C., Liang, G., Sun, J., Wang, X., Zhou, W., 2012. Responses of extracellular enzyme activities and microbial community in both the rhizosphere and bulk soil to long-term fertilization practices in a fluvo-aquic soil. *Geoderma* 173-174, 330-338.
4. Ai, C., Liang, G., Sun, J., Wang, X., He, P., Zhou, W., 2013. Different roles of rhizosphere effect and long-term fertilization in the activity and community structure of ammonia oxidizers in a calcareous fluvo-aquic soil. *Soil Biology and Biochemistry* 57, 30-42.
5. Allison, C., Macfarlane, G.T., 1992. Physiological and nutritional determinants of protease secretion by *Clostridium sporogenes*: characterization of six extracellular proteases. *Applied Microbiology and Biotechnology* 37, 152-156.
6. Allison, S.D., Martiny, J.B.H., 2008. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 105, 11512-11519.
7. Anderson, T.H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98, 285-293.
8. Anderson, T.H., Domsch, K.H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 471-479.
9. Bååth, E., Anderson, T.H., 2003. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 955-963.
10. Barak, P., Jobe, B.O., Krueger, A.R., Peterson, L.A., Laird, D.A., 1997. Effects of long term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant and Soil* 197, 61-69.
11. Biederbeck, V.O., Campbell, C.A., Ukrainetz, H., Curtin, D., Bouman, O.T., 1996. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia. *Canadian Journal of Soil Science* 76, 7-14.
12. Blagodatskaya, E.V., Anderson, T.H., 1998. Interactive effects of pH and substrate quality on the fungal-to-bacterial ratio and qCO₂ of microbial communities in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1269-1274.
13. Böhme, L., Langer, U., Böhme, F., 2005. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 109, 141-152.
14. Booth, M.S., Stark, J.M., Rastetter, E., 2005. Controls on nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: a synthetic analysis of literature data. *Ecological Monographs* 75, 139-157.
15. Börjesson, G., Menichetti, L., Kirchmann, H., Kätterer, T., 2012. Soil microbial community structure affected by 53 years of nitrogen fertilisation and different organic amendments. *Biology and Fertility of Soils* 48, 245-257.

16. Bossio, D.A., Scow, K.M., Gunapala, N., Graham, K.J., 1998. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial Ecology* 36, 1-12.
17. Carreiro, M.M., Sinsabaugh, R.L., Repert, D.A., Parkhurst, D.F., 2000. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. *Ecology* 81, 2359-2365.
18. Chu, H., Fujii, T., Morimoto, S., Lin, X., Yagi, K., Hu, J., Zhang, J., 2007. Community structure of ammonia-oxidizing bacteria under long-term application of mineral fertilizer and organic manure in a sandy loam soil. *Applied and Environmental Microbiology* 73, 485-491.
19. Clark, C.M., Cleland, E.E., Collins, S.L., Fargione, J.E., Gough, L., Gross, K.L., Pennings, S.C., Suding, K.N., Grace, J.B., 2007. Environmental and plant community determinants of species loss following nitrogen enrichment. *Ecology Letters* 10, 596-607.
20. Cleland, E.E., Harpole, W.S., 2010. Nitrogen enrichment and plant communities. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1195, 46-61.
21. Cleveland, C.C., Liptzin, D., 2007. C: N: P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? *Biogeochemistry* 85, 235-252.
22. Cohen, J., Cohen, P., West, S.G., Aiken, L.S., 2003. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*, third ed. Lawrence Earlbaum Associates, Mahwah, NJ.
23. Deng, S.P., Tabatabai, M.A., 1996. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils II. Glycosidases. *Biology and Fertility of Soils* 22, 208- 213.
24. Deng, S.P., Parham, J.A., Hattey, J.A., Babu, D., 2006. Animal manure and anhydrous ammonia amendment alter microbial carbon use efficiency, microbial biomass, and activities of dehydrogenase and amidohydrolases in semiarid agroecosystems. *Applied Soil Ecology* 33, 258-268.
25. Dick, W.A., 1984. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil Science Society of America Journal* 48, 569-574.
26. Eno, C.F., Blue, W.G., Good, J.M., 1955. The effect of anhydrous ammonia on nematodes, fungi, bacteria, and nitrification in some Florida soils. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 19, 55-58.
27. Enwall, K., Philippot, L., Hallin, S., 2005. Activity and composition of the denitrifying bacterial community respond differently to long-term fertilization. *Applied and Environmental Microbiology* 71, 8335-8343.
28. Enwall, K., Nyberg, K., Bertilsson, S., Cederlund, H., Stenström, J., Hallin, S., 2007. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 106-115.
29. Elfstrand, S., Hedlund, K., Mårtensson, A., 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. *Applied Soil Ecology* 35, 610-621.
30. Esperschütz, J., Gattinger, A., Mäder, P., Schlöter, M., Fließbach, A., 2007. Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. *FEMS Microbiology Ecology* 61, 26-37.
31. Fierer, N., Jackson, R.B., 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103, 626-631.
32. Fierer, N., Strickland, M.S., Liptzin, D., Bradford, M.A., Cleveland, C.C., 2009. Global patterns in belowground communities. *Ecology Letters* 12, 1238-1249.
33. Fierer, N., Lauber, C.L., Ramirez, K.S., Zaneveld, J., Bradford, M.A., Knight, R., 2012. Comparative metagenomic, phylogenetic and physiological analyses of soil microbial communities across nitrogen gradients. *The ISME Journal* 6, 1007-1017.
34. Geisseler, D., Horwath, W.R., 2009. Relationship between carbon and nitrogen availability and extracellular enzyme activities in soil. *Pedobiologia* 53, 87-98.
35. Geisseler, D. and Scow, K.M., 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review. *Soil Biology and Biochemistry* 75, 54-63.
36. Glenn, A.R., 1976. Production of extracellular proteins by bacteria. *Annual Review of Microbiology* 30, 41-62.

37. Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., Shen, J.L., Han, W.X., Zhang, W.F., Christie, P., Goulding, K.W.T., Vitousek, P.M., Zhang, F.S., 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science* 327, 1008-1010.
38. Gurevitch, J., Hedges, L.V., 2001. Meta-analysis. In: Scheiner, S.M., Gurevitch, J. (Eds.), *Design and Analysis of Ecological Experiments*. Oxford University Press, Inc., New York, pp. 347-369.
39. Hallin, S., Jones, C.M., Schlöter, M., Philippot, L., 2009. Relationship between N cycling communities and ecosystem functioning in a 50-year-old fertilization experiment. *The ISME Journal* 3, 597-605.
40. Harris, J.A., Ritz, K., Coucheney, E., Grice, S.M., Lerch, T.Z., Pawlett, M., Herrmann, A.M., 2012. The thermodynamic efficiency of soil microbial communities subject to long-term stress is lower than those under conventional input regimes. *Soil Biology and Biochemistry* 47, 149-157.
41. Hartmann, M., Fliessbach, A., Oberholzer, H., Widmer, F., 2006. Ranking the magnitude of crop and farming system effects on soil microbial biomass and genetic structure of bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology* 57, 378-388.
42. He, J., Shen, J., Zhang, L., Zhu, Y., Zheng, Y., Xu, M., Di, H., 2007. Quantitative analyses of the abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea of a Chinese upland red soil under long-term fertilization practices. *Environmental Microbiology* 9, 2364-2374.
43. Hedges, L.V., Gurevitch, J., Curtis, P.S., 1999. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology* 80, 1150-1156.
44. Henriksen, T.M., Breland, T.A., 1999. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1121-1134.
45. Hou, A., Tsuruta, H., McCreary, M.A., Hosen, Y., 2010. Effect of urea placement on the time-depth profiles of NO, N₂O and mineral nitrogen concentrations in an Andisol during a Chinese cabbage growing season. *Soil Science and Plant Nutrition* 56, 861-869.
46. Hu, J., Lin, X., Wang, J., Dai, J., Chen, R., Zhang, J., Wong, M.H., 2011. Microbial functional diversity, metabolic quotient, and invertase activity of a sandy loam soil as affected by long-term application of organic amendment and mineral fertilizer. *Journal of Soils and Sediments* 11, 271-280.
47. Joergensen, R.G., Emmerling, C., 2006. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 295-309.
48. Kallenbach, C., Grandy, A.S., 2011. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 144, 241-252.
49. Kirchmann, H., Persson, J., Carlgren, K., 1994. The Ultuna Long-term Soil Organic Matter Experiment, 1956-1991. Reports and dissertations 17. Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
50. Kirchmann, H., Schön, M., Börjesson, G., Hamnér, K., Kätterer, T., 2013. Properties of soils in the Swedish long-term fertility experiments: VII. Changes in topsoil and upper subsoil at Örja and Fors after 50 years of nitrogen fertilization and manure application. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B e Soil and Plant Science* 63, 25-36.
51. Klose, S., Tabatabai, M.A., 1999. Urease activity of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 205-211.
52. Koper, T.E., Stark, J.M., Habteselassie, M.Y., Norton, J.M., 2010. Nitrification exhibits Haldane kinetics in an agricultural soil treated with ammonium sulfate or dairy-waste compost. *FEMS Microbiology Ecology* 74, 316-322.
53. Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, D., Baumecker, M., BehleSchalk, L., Bischoff, R., Cergan, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffmann, S., Hofmann, B., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., Merbach, I., Merbach, W., Pardor, M.T., Rogasik, J., Rühlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W., 2013. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen

- balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59, 1017-1040.
54. Ku, H.H., 1966. Notes on the use of propagation of error formulas. *Journal of Research of the National Bureau of Standards e C. Engineering and Instrumentation* 70C, 263-273.
 55. Ladha, J.K., Reddy, C.K., Padre, A.T., van Kessel, C., 2011. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *Journal of Environmental Quality* 40, 1756-1766.
 56. Langer, U., Klimanek, E., 2006. Soil microbial diversity of four German long-term field experiments. *Archives of Agronomy and Soil Science* 52, 507-523.
 57. Lauber, C.L., Hamady, M., Knight, R., Fierer, N., 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Applied Environmental Microbiology* 75, 5111-5120.
 58. LeBauer, D.S., Treseder, K.K., 2008. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology* 89, 371-379.
 59. Liu, L., Greaver, T.L., 2010. A global perspective on belowground carbon dynamics under nitrogen enrichment. *Ecology Letters* 13, 819-828.
 60. Lu, M., Yang, Y., Luo, Y., Fang, C., Zhou, X., Chen, J., Yang, X., Li, B., 2011. Responses of ecosystem nitrogen cycle to nitrogen addition: a meta-analysis. *New Phytologist* 189, 1040-1050.
 61. Lupwayi, N.Z., Clayton, G.W., O'Donovan, J.T., Grant, C.A., 2011. Soil microbial response to nitrogen rate and placement and barley seeding rate under no till. *Agronomy Journal* 103, 1064-1071.
 62. Lupwayi, N.Z., Lafond, G.P., Ziadi, N., Grant, C.A., 2012. Soil microbial response to nitrogen fertilizer and tillage in barley and corn. *Soil and Tillage Research* 118, 139-146.
 63. Malhi, S.S., Harapiak, J.T., Nyborg, M., Gill, K.S., 2000. Effects of long-term applications of various nitrogen sources on chemical soil properties and composition of brome grass hay. *Journal of Plant Nutrition* 23, 903-912.
 64. Marschner, P., Yang, C.H., Lieberei, R., Crowley, D.E., 2001. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 1437-1445.
 65. Marstorp, H., Guan, X., Gong, P., 2000. Relationship between dsDNA, chloroform labile C and ergosterol in soils of different organic matter contents and pH. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 879-882.
 66. Marzluf, G.A., 1997. Genetic regulation of nitrogen metabolism in the fungi. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 61, 17-32.
 67. Merbach, I., Körschens, M., 2002. The static fertilization experiment at the start and the end of the 20th century. *Archives of Agronomy and Soil Science* 48, 413-422.
 68. Merrick, M.J., Edwards, R.A., 1995. Nitrogen control in bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 59, 604-622.
 69. Müller, T., Walter, B., Wirtz, A., Burkovski, A., 2006. Ammonium toxicity in bacteria. *Current Microbiology* 52, 400-406.
 70. Neumann, D., Heuer, A., Hemkemeyer, M., Martens, R., Tebbe, C.C., 2013. Response of microbial communities to long-term fertilization depends on their microhabitat. *FEMS Microbiology Ecology* 86, 71-84.
 71. Nicol, G.W., Leininger, S., Schleper, C., Prosser, J.I., 2008. The influence of soil pH on the diversity, abundance and transcriptional activity of ammonia oxidizing archaea and bacteria. *Environmental Microbiology* 10, 2966-2978.
 72. Ogilvie, L.A., Hirsch, P.R., Johnston, A.W.B., 2008. Bacterial diversity of the Broadbalk 'Classical' winter wheat experiment in relation to long-term fertilizer inputs. *Microbial Ecology* 56, 525-537.
 73. Omar, S.A., Ismail, M., 1999. Microbial populations, ammonification and nitrification in soil treated with urea and inorganic salts. *Folia Microbiologica* 44, 205-212.
 74. Peacock, A.D., Mullen, M.D., Ringelberg, D.B., Tyler, D.D., Hedrick, D.B., Gale, P.M., White, D.C., 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 1011-1019.

75. Peigné, J., Vian, J.F., Cannavacciuolo, M., Bottollier, B., Chaussod, R., 2009. Soil sampling based on field spatial variability of soil microbial indicators. *European Journal of Soil Biology* 45, 488-495.
76. Pelster, D.E., Larouche, F., Rochette, P., Chantigny, M.H., Allaire, S., Angers, D.A., 2011. Nitrogen fertilization but not soil tillage affects nitrous oxide emissions from a clay loam soil under a maize-soybean rotation. *Soil and Tillage Research* 115-116, 16e26.
77. Pierre, W.H., 1928. Nitrogenous fertilizers and soil acidity: I. Effect of various nitrogenous fertilizers on soil reaction. *Journal of the American Society of Agronomy* 20, 254-269.
78. Prosser, J.I., Nicol, G.W., 2012. Archaeal and bacterial ammonia oxidisers in soil: the quest for niche specialisation and differentiation. *Trends in Microbiology* 20, 523-531.
79. Ramirez, K.S., Lauber, C.L., Knight, R., Bradford, M.A., Fierer, N., 2010. Consistent effects of nitrogen fertilization on soil bacterial communities in contrasting systems. *Ecology* 91, 3463-3470.
80. Roberts, B.A., Fritsch, F.B., Horwath, W.R., Scow, K.M., Rains, W.D., Travis, R.L., 2011. Comparisons of soil microbial communities influenced by soil texture, nitrogen fertility, and rotations. *Soil Science* 176, 487-494.
81. Robertson, G.P., Vitousek, P.M., 2009. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources* 34, 97- 125.
82. Rosenberg, S.M., 2013. Moment and least-squares based approaches to Meta analytic inference. In: Koricheva, J., Gurevitch, J., Mengersen, K. (Eds.), *Handbook of Meta-analysis in Ecology and Evolution*. Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 108-124.
83. Rosenberg, S.M., Rothstein, H.R., Gurevitch, J., 2013. Effect sizes: conventional choices and calculations. In: Koricheva, J., Gurevitch, J., Mengersen, K. (Eds.), *Handbook of Meta-analysis in Ecology and Evolution*. Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 61-71.
84. Rothamsted Research, 2006. *Guide to the Classical and Other Long-term Experiments, Datasets and Sample Archive*. Premier Printers Ltd., Bury St Edmunds, Suffolk, UK.
85. Rousk, J., Brookes, P.C., Bååth, E., 2009. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggests functional redundancy in carbon mineralisation. *Applied and Environmental Microbiology* 75, 1589-1596.
86. Sakamoto, K., Oba, Y., 1994. Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils* 17, 39-44.
87. Schneider, S., Hartmann, M., Enkerli, J., Widmer, F., 2010. Fungal community structure in soils of conventional and organic farming systems. *Fungal Ecology* 3, 215-224.
88. Schroder, J.L., Zhang, H., Girma, K., Raun, W.R., Penn, C.J., Payton, M.E., 2011. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. *Soil Science Society of America Journal* 75, 957-964.
89. Schwab, A.P., Owensby, C.E., Kulyingyong, S., 1990. Changes in soil chemical properties due to 40 years of fertilization. *Soil Science* 149, 35-43.
90. Setua, G.C., Samaddar, K.R., 1980. Evaluation of role of volatile ammonia in fungistasis of soils. *Phytopathologische Zeitschrift* 98, 310-319.
91. Shen, J., Zhang, L., Zhu, Y., Zhang, J., He, J., 2008. Abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea communities of an alkaline sandy loam. *Environmental Microbiology* 10, 1601-1611.
92. Stange, C.F., Neue, H.U., 2009. Measuring and modelling seasonal variation of gross nitrification rates in response to long-term fertilization. *Biogeosciences* 6, 2181-2192.
93. Stark, C., Condon, L.M., Stewart, A., Di, H.J., O'Callaghan, M., 2007. Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Applied Soil Ecology* 35, 79-93.
94. Treseder, K.K., 2008. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology Letters* 11, 1111-1120.
95. Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G., 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7, 737-750.

96. Volk, N.J., Tidmore, J.W., 1946. Effect of different sources of nitrogen on soil reaction, exchangeable ions, and yields of crops. *Soil Science* 61, 447-492.
97. Wardle, D.A., 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews* 67, 321-358.
98. Wardle, D.A., Ghani, A., 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 1601-1610.
99. Wessén, E., Hallin, S., Philippot, L., 2010. Differential responses of bacterial and archaeal groups at high taxonomical ranks to soil management. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1759-1765.
100. Witter, E., Mårtensson, A.M., Garcia, F.V., 1993. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. *Soil Biology and Biochemistry* 25, 659-669.
101. Wolcott, A.R., Foth, H.D., Davis, J.F., Shickluna, J.C., 1965. Nitrogen carriers: I. Soil effects. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 29, 405-410.
102. Yadvinder-Singh, Beauchamp, E.G., 1988. Nitrogen transformations near urea in soil with different water potentials. *Canadian Journal of Soil Science* 68, 569-576.
103. Yadvinder-Singh, Beauchamp, E.G., 1989. Nitrogen transformations near urea in soil: effects of nitrification inhibition, nitrifier activity and liming. *Fertilizer Research* 18, 201-212.
104. Yevdokimov, I., Gattinger, A., Buegger, F., Munch, J.C., Schlöter, M., 2008. Changes in microbial community structure in soil as a result of different amounts of nitrogen fertilization. *Biology and Fertility of Soils* 44, 1103-1106.
105. Yevdokimov, I.V., Gattinger, A., Buegger, F., Schlöter, M., Munch, J.C., 2012. Changes in the structure and activity of a soil microbial community caused by inorganic nitrogen fertilization. *Microbiology* 81, 743-749.
106. Zhang, H., Wang, B., Xu, M., 2008. Effects of inorganic fertilizer inputs on grain yields and soil properties in a long-term wheatecorn cropping system in south China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39, 1583-1599.
107. Zhang, J., Cai, Z., Yang, W., Zhu, T., Yu, Y., Yan, X., Jia, Z., 2012. Long-term field fertilization affects soil nitrogen transformations in a rice-wheat-rotation cropping system. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175, 939-946.
108. Zhong, W., Gu, T., Wang, W., Zhang, B., Lin, X., Huang, Q., Shen, W., 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and Soil* 326, 511-522.

Long-term Effects of Mineral Fertilizers on Soil Microorganisms

H. Asadi Rahmani¹ and H. Kari Dolatabad

Professor, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. asadi_1999@yahoo.com
Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. h.kari@areeo.ac.ir

Received: April 2019, Accepted: January 2020

Abstract

Increasing nutrient inputs into terrestrial ecosystems affect not only plant communities but also the associated soil microbial ones. Studies carried out in predominantly unmanaged ecosystems have found that increasing nitrogen (N) inputs generally decrease soil microbial biomass while less is known about their long-term impacts on managed systems such as agroecosystems. The objective of this study was to analyze the responses of soil microorganisms to mineral fertilizers using data from long-term fertilization trials in cropping systems. A meta-analysis based on 107 datasets from 64 long-term trials from around the world revealed that mineral fertilizer application led to a 15.1% increase in the microbial biomass (C_{mic}) above the levels observed in unfertilized control treatments. Mineral fertilization also increased soil organic carbon (C_{org}) content, suggesting that C_{org} is a major contributor to the overall increase in C_{mic} under mineral fertilization. The magnitude of the effect of fertilization on C_{mic} was found to be pH-dependent. While fertilization tended to reduce C_{mic} in soils with a pH below 5 in the fertilized treatment, it had a significantly positive effect at higher soil pH values. Duration of the trial also affected the response of C_{mic} to fertilization, with increases in C_{mic} most pronounced in studies with a duration of at least 20 years. The input of N per se does not seem to negatively affect C_{mic} in cropping systems. Application of urea and ammonia fertilizers can, however, temporarily increase pH, osmotic potential, and ammonia concentrations to levels inhibitory to microbial communities. Even though impacts of fertilizers are spatially limited, they may strongly affect soil microbial biomass and community composition in the short term. Long-term repeated mineral N applications may alter microbial community composition even with small changes in pH. The way specific microbial groups respond to repeated applications of mineral fertilizers, however, varies considerably and seems to depend on environmental and crop management related factors.

Keywords: Cropping systems, Long-term trials, Microbial biomass, Microbial community composition, Nitrogen fertilizers

¹ - Corresponding author: Soil & Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

Effects of Irrigation with Saline Water under Proper Management on Vegetative Growth in Date Palm Seedlings

M. Alihour¹

Assistant Professor, Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, AREEO, Ahwaz, Iran. alihouri_m@hotmail.com

Received: November 2018, Accepted: January 2020

Abstract

Salinity of irrigation water is a major limiting factor for the development of irrigated agriculture in arid and semi-arid regions. Moreover, application of saline water might increase soil salinity and mitigate its fertility in the absence of scientific principles and proper management. The present experiment was carried out using a complete block design with five irrigation treatments at the Date Palm and Tropical Fruits Research Center during the period 2017–2018. The treatments included one irrigation with water abstracted from the Karun River; one with saline water of 5 dS/m; one with saline water of 8 dS/m; two with the Karun River water and one with saline water of 5 dS/m; and finally two with the Karun River water and one with saline water of 8 dS/m, all conducted in triplicates. The results showed that salinity of irrigation water led to significantly reduced leaf number, leaf length, leaf width, leaflet number, leaflet length, and trunk perimeter at the 5% probability level. Maximum and minimum values of plant vegetative properties were obtained under irrigation with water from the Karun River and that with saline water of 8 dS/m, respectively, such that the mean number of leaves and leaflets decreased by 73.0 and 69.2%, respectively. Compared to the irrigation treatment with the water from the Karun River, the one with two irrigations with the Karun River water and once with saline water of 5 dS/m did not lead to any significant reductions in such vegetative characteristics as numbers of leaves and leaflets of the date palm seedlings at the 5% probability level. It may be concluded that date palm seedlings may be safely irrigated with saline water of up to 5 dS/m if irrigation management is properly implemented.

Keywords: Alternate irrigation, Water salinity, Drain water, Vegetative growth

¹- Corresponding author: Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, AREEO, Ahwaz, Iran.

The Role of Low Molecular Weight Organic Acids in Micronutrient Bioavailability in Soil

N. Moradi¹

Assistant Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
n.moradi@scu.ac.ir

Received: December 2018, Accepted: January 2020

Abstract

Bioavailability of micronutrients in soils and their uptake by plants depend on soil properties (e.g., pH and carbonate content) and the interactions between plant roots and soil microorganisms. The low bioavailability of iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), and zinc (Zn), as a major factor limiting plant nutrition, in calcareous soils is due to the low organic content, high pH levels, and precipitation by carbonates in such soils. Study has shown that, under nutrient deficiency conditions, plant roots release low-molecular-weight organic acids (LMWOA) such as citric, oxalic, and malic acids to increase the solubility of micronutrients like Fe, Mn, Cu, and Zn in the rhizosphere. The LMWOAs exuded into the rhizosphere are known to enhance the mobility and bioavailability of such micronutrients and their uptake by plants. In addition, LMWOAs are involved in metal detoxification and improvement of microbial activity in soils. The present study investigates the role LMWOAs play in the bioavailability of such micronutrients as Fe, Mn, Cu, and Zn.

Keywords: Root exudates, Solubility, Calcareous soil, Micronutrients, Rhizosphere

¹ - Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Review of Research on Vermicompost Applications in Agriculture

J. Omid¹ and S. Abdolmohammadi

Former Grad. Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht, Iran.
jalalomidi58@yahoo.com

Former Grad. Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht, Iran.
abu_tilon@yahoo.com

Received: March 2019, Accepted: January 2020

Abstract

While excessive chemical input into agricultural lands has caused environmental problems, deteriorating crop quality, disease and pest resistance in plants, and declining soil fertility, concerns about food security and enhanced quality of agricultural products have been steadily rising in most human communities. Meanwhile, more than 60% of Iran's agricultural land is located in arid and semi-arid areas that are poor in organic matter. It is, therefore, of utmost importance to improve soil fertility by application of organic matter to soil. A major portion of the vermicompost research in the past was focused on the effects of this organic fertilizer on the performance and yield of different farm, horticultural, ornamental, and medicinal crops; mitigation of plant stresses; and soil physicochemical properties. Based on the results obtained, application of vermicompost, either alone or in combination with chemical fertilizers, at 5–10 t/ha for medicinal plants, 20–30% of pot volume for ornamental plants, 20–60 t/ha for crop plants, 40–80 t/ha every two or three years for vegetables and summer fruits, and 30–60 t/ha every three years for fruit trees has been recommended. Application of vermicompost fertilizer seems not only to improve soil physicochemical properties but also to reduce significantly the amount of chemical fertilizers used, thereby contributing positively to sustainable crop production.

Keywords: Waste materials, Environmental problems, Vermicompost

¹ - Corresponding author: Department of Horticulture University of Guilan, Rasht, Iran.

Biostimulants and their Roles in Plant Physiology, Nutrient Absorption, and Tolerance to Abiotic Stresses

S. A. Ghaffari Nejad ¹, F. Nourghooli Pour and M. N. Gheibi

Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO Tehran, Iran.

Ma_ghaffari51@yahoo.com

Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO Tehran, Iran.

Nourfg@yahoo.com

Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO Tehran, Iran.

mngheibi@yahoo.com

Received: September 2018, Accepted: July 2019

Abstract

Improved product quality, sustainable cultivation systems, and reduced production costs are among the objectives of modern agriculture despite the global and local climate changes that have faced crops with a variety of stresses. Biostimulants seem to be capable of helping plants in their struggle against these stresses toward the goals of modern agriculture. These compounds include humic substances, seaweed extracts, amino acids, microbial inoculants, and minerals such as useful elements and inorganic salts including phosphates and antiperspirants. While application of biostimulants has witnessed a dramatic increase in the world and in Iran over the past few years, it must be noticed that they might have different effects on different species and even on different varieties of a given plant species. Their application for agricultural and horticultural purposes must, therefore, be duly modified in accordance with local and regional research findings. It is the objective of this paper to provide a better understanding of plant biostimulants based on scientific findings and practical experience in agriculture and horticulture. It will be shown that plant biostimulants are capable of improving crop production, enhancing plant resistance to abiotic stresses, and elevating crop quality. Future research in this area should aim at the determination of the mechanism(s) underlying the activities of such materials since a better understanding of their activities and effects will be necessary for achieving sustainable agricultural production systems.

Keywords: Biostimulants, Efficiency, Nutrient absorption, Plant physiology, Stress

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

Study of soil fertility of wheat farms in Qazvin Plain Some extension guidelines

J. Shahabifar ¹

Assistant Professor, Soil and Water Research Division, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran. Shahabifar1@yahoo.com

Received: September 2018, Accepted: June 2019

Abstract

Enhancements in crop yield and quality depend on proper use of chemical fertilizers, the most important tool for which is a comprehensive understanding and accurate knowledge of the fertility status of the soil under cultivation. The present study presents a review of the fertility of soils under wheat cultivation in Qazvin Plain in an attempt to formulate extension guidelines for facing the challenges due to soil limitations hindering satisfactory wheat yield. For this purpose, use was made of 43120 soil analytical data obtained from 2695 samples collected from Qazvin Plain to study the 12 soil physicochemical properties of soil texture, pH, and EC as well as lime, organic carbon, phosphorus, potassium, iron, copper, manganese, and boron contents. The results showed that, while a major portion of the soils studied was loam, more than 78% were alkaline in nature with pH values of 7 to 8. Also, the soils were found to suffer from such limitations as deficient available K, manganese, copper, and boron. Given an electrical conductivity of less than 2 dS m⁻¹ obtained for the soil saturation extract, 47.1% of the soils in the plain were identified as non-saline. Calcium carbonate accounted for more than 96% of the soils as affected by lime. Moreover, the soils were drastically deficient in organic content as revealed by the organic carbon index that indicated an organic carbon content of less than 1% in 93.5% of the soils examined. Critical phosphorus and potassium levels were measured at 15 and 300 mg kg⁻¹, respectively, indicating 27% of the soils in need of phosphorus fertilizer application but more than 80% in no need of potassium fertilizers. The critical levels of iron, zinc, manganese, boron, and copper were measured at 5, 1, 5, 1, and 1mg kg⁻¹, respectively, such that about 74% of the studied areas suffered from iron deficiency, 64% from zinc deficiency, 17% from manganese deficiency, 27% from boron deficiency, and about 30% from copper deficiency. Thus, soil micronutrients were not uniformly distributed across the wheat farms. It is, therefore, essential to formulate recommendations duly based on plant needs and to avoid uniform application of the same fertilizers on all soils with different deficiencies in order to achieve desirable yields at lower production costs.

Keywords: Lime, Soil fertility, Food elements, Micronutrients

¹ Corresponding author: Department of of Soil and Water Research Section, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Qazvin, Iran.

Monitoring Changes in Agricultural Land Area under Agroforestry Practices (A Case Study of Bagh-Baghoueyeh in Jiroft)

H. Sodaeizadeh¹ and A. Jebali

Associate Professor of Arid Land and Desert Management. Faculty of Natural Resources and Desert Studies,
Yazd University, Yazd, Iran. hsodaie@yazd.ac.ir

PhD of Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd,
Iran. at.jebali@stu.yazd.ac.ir

Received: June 2019, Accepted: January 2020

Abstract

Agroforestry systems have been introduced for sustainable development in response to the growing demand for food and the increasing need for proper exploitation of agricultural land. In the agroforestry system, rows of trees or shrubs established around farms create the microclimate conditions favorable to crop production. In this study, changes in the areas of cultivated land under an agroforestry system in Jiroft Plain, Iran, were studied using Landsat satellite images taken over a period of 22 years. For this purpose, the supervised classification method was used to identify two categories of land cover including cultivated land and bare land via Landsat TM sensor images as well as three categories of land cover including cultivated land, tree cover, and bare land via Landsat 8 images. The land cover changes over the 22-year study period were subsequently analyzed using the post-classification approach. Results revealed that windbreaks had been planted over 5.1% of the bare land and 15.4% of the agricultural land while 26.9% of the bare land had been transformed into farmland such that the area of agricultural land had risen from 556 ha in 1992 to 741 ha in 2014. Our findings indicate that proper management of the agroforestry system in the study area has led to the creation of conditions favorable to enhanced crop production. In order to make the most of the agroforestry system, high spatial resolution images should be used as tools toward determining the best tree species for use as windbreak and the best direction for their establishment both to achieve land conservation objectives and to create the conditions required for improved crop production.

Keywords: Windbreak, Agricultural production, Satellite image, Change detection

¹ - Corresponding author: Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

Evaluation of wheat yield potential in some Iranian Cultivated plains

**A. Zeinadini Meymand¹, S. A. R Seyed-Jalali, M. N. Navidi,
F. Ebrahimi-Meymand, A. Farajnia, and Gh. R. Zareian, and**

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, AREEO², Karaj, Iran. ali_zeinadin@yahoo.com

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. ajalali@areeo.ac.ir

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. nnavidi@swri.ir

Researcher of Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. f_meymand@yahoo.com

Instructor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. farajnia1966@yahoo.com

Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Zarghan, Iran. zareian48@yahoo.com

Received: February 2019, Accepted: January 2020

Abstract

Sustainable agricultural development and soil resources conservation presuppose adequate knowledge of soil properties, land yield potential, and land use to facilitate the production of such essential agricultural products as wheat. Along these lines, the present study was conducted to identify the land limiting factors, as well as the severity of each factor, in four selected regions in Iran covering an area of about 60,000 ha. Moreover, the relationship between wheat actual yield and land yield potential in the study areas was established. Finally, the results of land suitability investigations and land yield potential estimations were duly analyzed. It was found that the mean effect of intrinsic soil properties on wheat yield reduction was about 2388 kg.ha⁻¹ (28.74%). Also, a difference of about 2192 kg.ha⁻¹ (26.37%) was found between land yield potential and average farm yield in the study areas, which is relatively high and indicates both the lack of a proper management system and the failure to exploit land yield potential toward optimum crop production. A point of interest in the study areas was that the difference between actual yield by some leading farmers and the land yield potential in soils highly suitable (S1) for irrigated wheat production was low but that it was high in soils with moderate to low suitability. It was, therefore, concluded that it would be necessary to extend proper agricultural management practices among leading farmers in each area to enhance their crop yield and land productivity in that area. Once implemented, optimal management practices will expectedly improve irrigated wheat farm yield by as much as 85% the local land yield potential.

Keywords: Wheat, land suitability, land yield potential, soil characteristics

¹ - Corresponding author: Land Evaluation Department; Soil and Water Research Institute; AREEO; Karaj; Iran Agricultural Research, Education, and Extension Organization.

**Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil and Water Research Institute**

Journal of Land Management

Vol. 8, No. 1
2020

Manager-in-Charge: Hadi Asadi Rahmani, PhD
Director General, Soil and Water Research Institute

Editor-in-Chief: Hossein Besharati, PhD
Professor, Soil and Water Research Institute

Editorial Board

Naser Aliasgharzad, PhD	Professor, Faculty of Agriculture, Tabriz University
Hossein Asadi, PhD	Associate Prof., College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University
Hossein Besharati, PhD	Professor, Soil and Water Research Institute
Hossein A. Bahrami, PhD	Associate Prof., Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University
Mohammad R. Balali, PhD	Assistant Prof., Soil and Water Research Institute
Manuchehr Gorji, PhD	Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University
Mohammad A. Hajabbasi, PhD	Professor, Faculty of Agriculture, Isfahan Industrial University
Mohammad H. Mohammadi	Associate Prof., College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University
Aziz Momeni, PhD	Associate Prof., Soil and Water Research Institute
Mohammad H. Roozitalab, PhD	Associate Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization
Saeed Saadat, PhD	Assistant Prof., Soil and Water Research Institute
Mohammad R. Shahpasand, PhD	Imam Khomeini Higher Education Center

Executive Manager: Farhad Moshiri, PhD
Type and Design: Fatemeh Aghajani

Postal Address: P. O. Box: 317793545, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36220160
Soil and Water Research Institute Website: www.swri.ir
Journal Website: <http://lmj.areo.ir>

Journal of Land Management



ISSN: 2345-6205

Volume 8/ No. 1/ 2020

<i>Subject</i>	<i>Page</i>
<i>Evaluation of wheat yield potential in some Iranian Cultivated plains.....</i> <i>A. Zeinadini Meymand, S. A. R Seyed-Jalali, M. N. Navidi, F. Ebrahimi-Meymand, A. Farajnia, and Gh. R. Zareian</i>	<i>1</i>
<i>Monitoring Changes in Agricultural Land Area under Agroforestry Practices (A Case Study of Bagh-Baghoueyeh in Jiroft).....</i> <i>H. Sodaeizadeh and A. Jebali</i>	<i>2</i>
<i>Study of soil fertility of wheat farms in Qazvin Plain Some extension guidelines.....</i> <i>J. Shahabifar</i>	<i>3</i>
<i>Biostimulants and their Roles in Plant Physiology, Nutrient Absorption, and Tolerance to Abiotic Stresses.....</i> <i>S. A. Ghaffari Nejad , F. Nourghooli Pour, and M. N. Gheibi</i>	<i>4</i>
<i>Review of Research on Vermicompost Applications in Agriculture</i> <i>J. Omid and S. Abdolmohammadi</i>	<i>5</i>
<i>The Role of Low Molecular Weight Organic Acids in Micronutrient Bioavailability in Soil</i> <i>N. Moradi</i>	<i>6</i>
<i>Effects of Irrigation with Saline Water under Proper Management on Vegetative Growth in Date Palm Seedlings.....</i> <i>M. Alihour</i>	<i>7</i>
<i>Long-term Effects of Mineral Fertilizers on Soil Microorganisms.....</i> <i>H. Asadi Rahmani and H. Kari Dolatabad</i>	<i>8</i>