



نشریه علمی - ترویجی مدیریت اراضی

شاپا ۶۲۰۵-۲۳۴۵

جلد ۸ / شماره ۲ / سال ۱۳۹۹

صفحه	عنوان
۱۲۹.....	واکاوی علل بروز عارضه زوال مرکبات در جنوب کشور و راهکارهای مدیریت خاک و آب..... یعقوب حسینی، مجید عسکری سیاهویی و جهانشاه صالح
۱۴۱.....	امنیت غذایی با مدیریت پایدار اراضی..... کامران میرزاشاهی و سید علی غفاری نژاد
۱۵۵.....	کاربرد کودهای کندرها یا با رهایش کنترل شده فسفوری، راهکاری برای افزایش کارایی فسفر و کاهش مخاطرات زیست محیطی..... نصرت اله نجفی
۱۸۱.....	چالش‌های حقوقی و ضرورت اصلاح قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی اصلاحی مصوب ۱۳۸۵..... حسین اسماعیل نسب
۱۹۷.....	مروری بر مطالعات مدیریت زراعی در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروژن اکساید از خاک‌های کشاورزی..... مراد میرزایی، رایحه میرخانی، منوچهر گرجی اناری و مهدی شرفا
۲۱۳.....	تاثیر مصرف سرک پتاسیم کلرید در زراعت گندم آبی در خاک‌های متوسط بافت..... عزیز مجیدی
۲۲۵.....	برخی نکات فنی در اندازه‌گیری رسوب در خروجی حوزه‌های آبخیز کوچک..... محمود عرب‌خداری، حمزه نور و علی اکبر عباسی
۲۳۹.....	اثر تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت آبگرفتگی شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری دامغان)..... ابراهیم یوسفی مبرهن، کریم سلیمانی و قربان وهاب‌زاده

نشریه علمی ترویجی
مدیریت اراضی
صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

جلد ۸ شماره (۲)
سال ۱۳۹۹

مدیر مسئول: 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:
تایپ و صفحه آرایی:
تعداد/انتشار در سال:

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ۱۲۹.....واکاوی علل بروز عارضه زوال مرکبات در جنوب کشور و راهکارهای مدیریت خاک و آب.....
یعقوب حسینی، مجید عسکری سیاهویی و جهان‌شاه صالح
- ۱۴۱.....امنیت غذایی با مدیریت پایدار اراضی.....
کامران میرزاشاهی و سید علی غفاری نژاد
- ۱۵۵.....کاربرد کودهای کندرها یا با رهایش کنترل شده فسفری، راهکاری برای افزایش کارایی فسفر و کاهش مخاطرات زیست محیطی.....
نصرت اله نجفی
- ۱۸۱.....چالش‌های حقوقی و ضرورت اصلاح قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی اصلاحی مصوب ۱۳۸۵.....
حسین اسماعیل نسب
- ۱۹۷.....مروری بر مطالعات مدیریت زراعی در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروز اکساید از خاک‌های کشاورزی.....
مراد میرزایی، رایحه میرخانی، منوچهر گرجی اناری و مهدی شرفا
- ۲۱۳.....تاثیر مصرف سرک پتاسیم کلرید در زراعت گندم آبی در خاک‌های متوسط بافت.....
عزیز مجیدی
- ۲۲۵.....برخی نکات فنی در اندازه‌گیری رسوب در خروجی حوزه‌های آبخیز کوچک.....
محمود عرب‌خدری، حمزه نور و علی اکبر عباسی
- ۲۳۹.....اثر تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت آبرفتگی شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری دامغان).....
ابراهیم یوسفی مبرهن، کریم سلیمانی و قربان وهاب‌زاده

راهنمای نگارش مقاله برای چاپ در مجله 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 (<http://lmj.areo.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 <http://lmj.areo.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 Sci. Soc. Am. J. 62:930-937.

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (2002) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (2002) گزارش کردند...

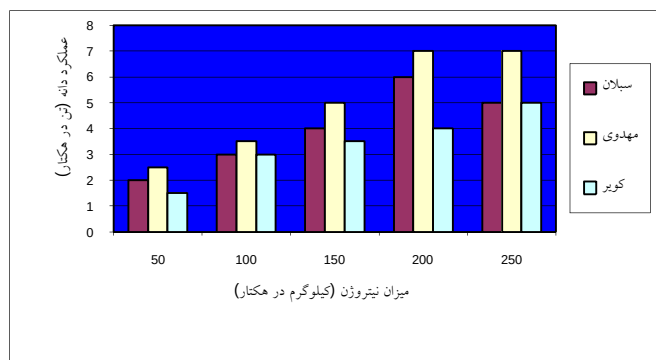
جدول نامناسب

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

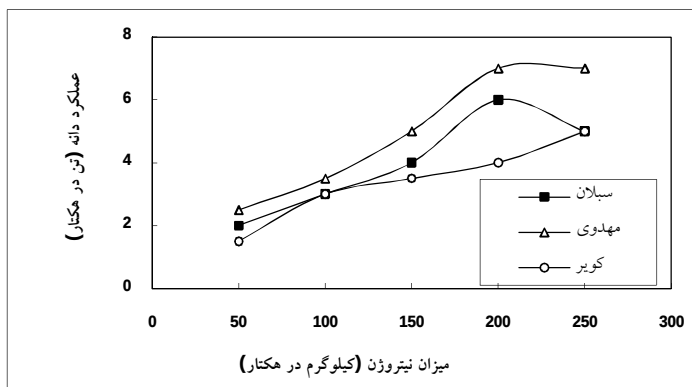
جدول مناسب

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 علی اسدی کنگرشاهی.....۳ دآوری
- دکتر حسین اسدی.....۱ دآوری
- دکتر روح اله امینی.....۱ دآوری
- دکتر مجید بصیرت.....۱ دآوری
- دکتر نورایر تومانیان.....۲ دآوری
- دکتر هوشنگ خسروی.....۲ دآوری
- دکتر ابراهیم سپهر.....۱ دآوری
- دکتر فریدون سرمیدیان.....۱ دآوری
- دکتر سعید سماوات.....۱ دآوری
- دکتر محسن شکل آبادی.....۲ دآوری
- دکتر کریم شهبازی.....۱ دآوری
- دکتر حمیدرضا صادقی.....۱ دآوری
- دکتر حمید قیومی محمدی.....۵ دآوری
- دکتر علیداد کرمی.....۱ دآوری
- دکتر منوچهر گرجی.....۱ دآوری
- دکتر نصرت اله نجفی.....۳ دآوری
- دکتر علیرضا واعظی.....۱ دآوری
- دکتر فرهاد مشیری.....۲ 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

واکاوی علل بروز عارضه زوال مرکبات در جنوب کشور و راهکارهای مدیریت خاک و آب

یعقوب حسینی^۱، مجید عسکری سیاهویی و جهان‌شاه صالح

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. yaaghooob.hosseini@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. askarisey@gmail.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. jsaleh11@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

اهمیت و جایگاه اقتصادی مرکبات در دنیا و همچنین عوامل تأثیر گذار بر تولید آن باعث شده مرکبات از اهمیت خاصی برخوردار گردد. عارضه زوال مرکبات از عامل‌های مهم خسارت‌زا در مرکبات بوده که منجر به غیر اقتصادی شدن و یا از بین رفتن باغ‌های مرکبات زیادی در جنوب کشور شده است. هنوز علت اصلی این عارضه به‌خوبی شناخته شده نیست ولی به نظر می‌رسد مجموعه‌ای از تنش‌های محیطی و تنش‌های زنده که بسته به منطقه مورد ابتلا می‌تواند متفاوت باشد، به عنوان علل این عارضه قابل ذکر است. فارغ از علل اصلی این عارضه، آنچه مسلم است این که در همه درختان دچار این عارضه بخش عمده‌ای از ریشه‌ها، بویژه ریشه‌های موبین (تارهای کشنده) که مسئول جذب آب و مواد غذایی از خاک هستند، از بین می‌روند. با مراجعه به سوابق علمی، بررسی‌های میدانی، آزمایش‌های مشاهده‌ای و تجربیات کارشناسی نویسندگان، راهکارهایی برای پیشگیری و یا تعدیل عارضه زوال مرکبات پیشنهاد شده است. از مهمترین این راهکارها می‌توان به اعمال مدیریت صحیح آبیاری، تغذیه مناسب درختان، کاهش تنش‌های محیطی، رعایت بهداشت باغ و انجام عملیات به‌باغی اشاره کرد. اگرچه ممکن است انجام برخی از راهکارهای ذکر شده مانند کنترل و تعدیل شرایط محیطی به راحتی امکان‌پذیر نباشد، اما بیشتر راهکارهای پیشنهادی مانند مدیریت صحیح آبیاری، مدیریت مناسب تغذیه درختان، رعایت بهداشت باغ و انجام عملیات به‌باغی می‌تواند به‌سهولت توسط باغداران اجرایی شوند.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، زوال مرکبات، مدیریت

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

مقدمه

مرکبات در جنوب کشور با سطح زیر کشت بالغ بر دهها هزار هکتار جزو اولین محصولات مهم باغی از نظر درآمد و اشتغال‌زایی در بخش کشاورزی می‌باشد. علایم مشابه زوال مرکبات اولین بار در قرن ۱۹ در هند و پاکستان و پس از آن در مناطق مختلف آمریکای جنوبی مورد توجه و مطالعه قرار گرفت (یاهانی و همکاران، ۲۰۰۵؛ رای چوده‌ری و همکاران، ۱۹۶۹). امروزه این عارضه در مناطق مختلف آسیا، آفریقا و آمریکا حائز اهمیت بوده و مطالعات گسترده‌ای روی آن انجام شده است (یاهانی و همکاران، ۲۰۰۵). عارضه زوال مرکبات (Citrus decline) یکی از عامل‌های مهم خسارت‌زا در مرکبات بوده که تا کنون منجر به غیر اقتصادی شدن و یا از بین رفتن باغ‌های مرکبات زیادی در جنوب کشور شده است. این عارضه بعد از جادوگر مهمترین عامل نابودی مرکبات در جنوب بوده و علایم آن در اکثر باغات

مرکبات این مناطق مشاهده شده است. این عارضه به دو صورت زوال سریع و تدریجی منجر به از بین رفتن تعداد زیادی از درختان نارنگی سیاهوی هرمزگان و لیموترش در رودان، پرتقال در جیرفت و نارنگی و لیموترش در فارس شده است. زوال درختان مرکبات در منطقه جیرفت و کهنوج و همچنین در بخشهایی از شهرستان جهرم در استان فارس ناگهانی بوده و در طول دو تا سه هفته، درخت کاملاً خشک (به عبارت صحیح‌تر "سبز خشک") می‌شود (شکل ۱)، درحالی که زوال در منطقه هرمزگان، شهرستان داراب و بخش‌هایی از شهرستان جهرم اغلب به صورت تدریجی اتفاق می‌افتد. شکل‌های ۲ تا ۳، روند تدریجی زوال نارنگی سیاهو در استان هرمزگان را نشان می‌دهد. شدت این عارضه بیشتر در درختانی که پایه آنها بکرایی است و ریشه‌های سطحی دارند بیشتر گزارش شده است.



شکل ۱- تصویر درختی که به طور ناگهانی دچار زوال شده است



شکل ۲- تصویر درخت در مرحله آغازین زوال (سمت راست) و پس از آغاز زوال (سمت چپ) در نارنگی سیاهو



شکل ۳- تصویر مرحله پیشرفته زوال در نارنگی سیاهو

سینگ، ۲۰۰۴). نتایج یک بررسی در باغ‌های مرکبات دچار زوال در ایتالیا نشان داد که آسیب اصلی به ریشه‌ها وارد شده است و عامل آن را آلودگی فیتوفترایی و پوسیدگی ریشه گزارش کردند. در این بررسی مشخص شد که برخی از عملیات‌های باغی مثل هرس، آبیاری و شخم می‌توانند سبب تغییر در عارضه شوند. برای مثال عارضه بیشتر در جاهایی مشاهده شد که آبیاری زیادی انجام شده بود بویژه وقتی شخمی هم انجام نشده بود و لایه زیرین خاک دارای لایه سخت (غیر قابل نفوذ) بود. همچنین در جایی که خاک، پای طوقه درخت بود و یا درخت عمیق کاشت شده بود این عارضه بیشتر دیده می‌شد. افزون بر این در باغ‌های مسن این عارضه بیشتر دیده شد (اپولیتو و همکاران، ۱۹۹۰). در حال حاضر این عارضه با روند گسترش و خسارت زیاد اقتصادی، یکی از دغدغه‌های اصلی باغداران جنوب کشور محسوب می‌شود. بررسی عوامل مؤثر در بروز این پدیده می‌تواند امکان اعمال برنامه‌های مدیریتی صحیح جهت کاهش نرخ بروز عارضه و مقابله با موارد ایجادشده در مراحل اولیه را فراهم نماید.

برخی از عوامل دخیل در عارضه زوال مرکبات

سیستم ریشه درختان مرکبات از عوامل متعددی تأثیر پذیر هستند. یکی از شاخص‌های مهم سلامت درختان مرکبات دارا بودن سیستم ریشه موین متراکم و سالم است. حفظ سلامت ریشه‌های موین در مرکبات به

در تحقیقی در فلوریدا نشان داده شد که بین وقوع زوال و شرایط خاک‌های سطحی یک رابطه معنی‌دار وجود دارد. تنش رطوبتی خاک سطحی، زهکشی نامناسب و حجم ضعیف ریشه به طور غیر مطلوبی رشد ریشه و توسعه آن را در خاک سطحی متأثر می‌سازد. نتایج این تحقیق نشان داد که عامل زوال مرکبات در فلوریدا تلفیقی از فاکتورهای خاکی و مدیریت آنها و قارچ فوزاریوم سولانی می‌باشد. همچنین در این مطالعه نتیجه گرفته شد که کود نیترات آمونیم ریشه را برای آلوده کردن با فوزاریوم مستعد می‌سازد، زیرا فرم‌های آمونیومی نیتروژن برای تولید توکسین توسط قارچ‌ها لازم است. در این مطالعه کنترل شیمیایی مناسبی به دست نیامد، اما توصیه شد که پایه مقاوم، خاک‌های با زهکشی مناسب و مقدار کمتر کود در هر نوبت کوددهی و همچنین تنظیم آبیاری، به صورتی که کمترین تنش رطوبتی ایجاد شود، می‌تواند در کاهش زوال کارساز باشند (برنتا و همکاران، ۱۹۸۲). بر اساس مطالعات انجام شده، پرتقال (*Citrus sinensis*) و نارنگی (*C. reticulata*) به عنوان حساس‌ترین گونه‌های مرکبات معرفی شده‌اند (تیمر و منگ، ۲۰۰۷). از دیگر مصادیق ناسازگاری پایه و پیوندک که منجر به زوال می‌شود، بواسطه پل پیوندی است؛ به این صورت که در پل پیوندی تجمع مواد غذایی که در آوند آبکش جریان دارد، اتفاق می‌افتد و همین امر سبب نرسیدن مواد غذایی به ریشه و در نتیجه باعث مرگ ریشه‌های فرعی (تارهای کشنده) و از بین رفتن درختان خواهد شد (سریوستاوا و

عوامل مختلفی ربط دارد که از آن جمله میتوان سلامت نهال و عدم همراهی پاتوژن‌ها، رعایت بهداشت باغ و ممانعت از انتقال عوامل بیماری‌زا، تغذیه متعادل و به موقع درختان و همچنین ایجاد تعادل و تناسب بین اندام هوایی و زمینی (تاج و ریشه) اشاره نمود. به طور کلی، همواره تعادلی بین اندام‌های زمینی و هوایی درختان وجود دارد که با نسبت اندام هوایی به ریشه بیان می‌شود. معمولاً با افزایش سن درختان، میزان شاخ و برگ و نسبت شاخه به ریشه هم افزایش می‌یابد و سپس به یک حالت تعادل می‌رسد. معمولاً در قسمتی از شاخ و برگ درختانی که در سایه قرار می‌گیرند به تدریج ریزش برگ و مرگ شاخه‌ها و سرشاخه‌ها اتفاق می‌افتد. وجود میزان معینی از این چوب‌های مرده به ویژه در داخل تاج درخت تا حدودی طبیعی است و نشان‌دهنده حفظ نسبت مناسب شاخه به ریشه است و برای نفوذ بیشتر نور به داخل تاج درخت باید عملیات هرس صورت گیرد. برنامه‌های مناسب هرس در جلوگیری از گسترش عارضه به مناطق داخلی کمک می‌کند. مرگ بیش از حد سرشاخه‌ها در بخش بیرونی تاج درختان، ممکن است ناشی از عواملی باشد که به ریشه‌های موین صدمه می‌زند و سبب ریزش برگ‌ها شده و در نهایت منجر به خشکیدگی شاخه می‌شوند. بررسی منابع سوابق بروز این گونه زوال نشان

میدهد که این عوامل متنوع بوده و در هر منطقه بروز می‌تواند مجموعه‌ای از عوامل مخصوص به خود داشته باشد. به طور کلی عارضه زوال مرکبات، عارضه‌ای است که علت‌های متعددی برای آن ذکر شده است و نمی‌توان به یک علت اکتفا نمود. اگر بخواهیم از معلول (ظاهر زوال یافته درخت) پی به علت ببریم می‌توان گفت هر عاملی که باعث بروز ضعف و از بین رفتن ریشه‌ها بویژه ریشه‌های موین (تارهای کشنده) است که مسئول جذب آب و مواد غذایی از خاک هستند گردد عامل زوال است (شکل ۴). طبیعی است وقتی که جذب آب و مواد غذایی بوسیله درخت با مشکل مواجه گردد، ادامه حیات درخت دچار مشکل خواهد شد و به تدریج رو به زوال خواهد رفت (شکل ۵) و در نهایت نابود خواهد شد. علت از بین رفتن ریشه‌های موین درختان و عامل اصلی شروع کننده تخریب ریشه‌های موین بسیار متفاوت است؛ اما به نظر می‌رسد برخی عوامل بیماری‌زای خاک‌زاد که گاهی از ریشه درختان مبتلا شده است، گاهی عوامل ثانویه هستند. به این صورت که ابتدا یک‌سری تغییراتی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک در محیط ریشه صورت می‌گیرد که طبیعتاً بر ریشه تأثیرگذار است و پس از آن، شرایط ریشه برای حمله عوامل بیماری‌زا و قارچ‌ها مهیا می‌گردد.



شکل ۴ - ریشه درخت سالم (سمت راست)، ریشه درخت در مرحله شروع زوال (سمت چپ)



شکل ۵- درخت لیموترش مبتلا به زوال که تقریباً همه ریشه‌های فیبری (تارهای کشنده) آن از بین رفته است

بر اساس بررسی‌های میدانی و آزمایش‌هایی که در باغ‌های مرکبات استان هرمزگان انجام شده است، یکی از این عوامل مهم، تنش رطوبتی است که باغات دچار عارضه زوال با آن دست و پنجه نرم می‌کنند. به طوری کمبود آب و خشکسالی طولانی مدت اخیر، بالا رفتن درجه حرارت‌های بیشینه تابستان و عدم وقوع بارش‌های رگباری تابستانه باعث گردیده که رطوبت خاک به شدت کاهش پیدا کرده و آب محدود آبیاری شده در تشتک درختان به سرعت تبخیر گردد. بدیهی است که این امر بویژه در تابستان که دمای بیشینه گاه‌هاً نزدیک ۵۰ درجه سانتیگراد می‌رسد به درخت آسیب جدی وارد خواهد کرد. علاوه بر این، خاک‌های باغات منطقه اغلب سبک و یا بهتر بگوییم سنگلاخی هستند و قابلیت ذخیره آب کمی دارند و عملاً کمکی به درخت از نظر ذخیره رطوبت و تأمین آب نمی‌کنند. با شرایطی که گفته شد، دمای خاک در محدوده ریشه درختان نیز به سرعت بالا می‌رود و ممکن است به ریشه درختان مخصوصاً پایه‌های مانند بکرانی که ریشه‌ای سطحی دارند صدمه جدی وارد نماید. علاوه بر این، در بیشتر نقاط استان هرمزگان، در مقطعی از فصل گرم شاهد وزش بادهای گرم هستیم که در گویش محلی "لوار" نامیده می‌شود. بدیهی است وزش اینگونه بادهای، اندک رطوبت خاک را هم از طریق افزایش تبخیر از خاک و هم از طریق افزایش تعرق گیاه تلف می‌کند. از طرف دیگر، وقوع خشکسالی‌های متوالی و طولانی مدت در استان، علاوه بر تأثیر منفی بر کمیت آب،

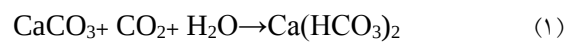
سبب کاهش کیفیت آب آبیاری نیز گردیده است؛ به طوری که در بسیاری از مناطق سبب تغییر در تعادل املاح آب و به تبع آن خاک شده است. همچنین در مواردی غلظت بیش از حد نیاز برخی از عناصر غذایی در آب آبیاری و خاک، سمیت این عناصر را در پی داشته که نمونه بارز آن سمیت بور است. همچنین بهم خوردن تعادل بین کلسیم و منیزیم به نفع منیزیم، باعث اختلال در جذب عناصری کلیدی نظیر کلسیم که در استحکام دیواره سلولی و مقاومت در مقابل هجوم پاتوژن‌ها دارد گردیده و به دنبال آن حساسیت به پاتوژن‌های خاکزاد را افزایش یافته است.

اگر تنش رطوبتی به مفهوم زیادی آب در خاک در نظر گرفته شود، این امر نیز سبب بروز عارضه زوال مرکبات می‌گردد زیرا مرکبات از جمله درختانی است که نسبت به نارسایی تهویه خاک بسیار حساس می‌باشد. بارندگی‌های مداوم اواخر فصل زمستان و اوایل بهار در شمال کشور منجر به تنش مانداب و موجب از بین رفتن بیشتر ریشه‌های فیبری درختان مرکبات می‌شود. مرگ این ریشه‌های فیبری سبب کاهش شدید پتانسیل ریشه برای جذب آب و مواد معدنی خواهد شد و با شروع رشد اندام هوایی و گل‌دهی، سیستم ریشه صدمه دیده توانایی جذب و انتقال آب، مواد معدنی و تولید مواد هورمونی لازم را نداشته و موجب خشکیدگی شدید سر شاخه‌ها و در مواردی زوال درختان خواهد شد. معمولاً علائم ظاهری خشکیدگی و زوال مرکبات به طور عمده چند هفته بعد از

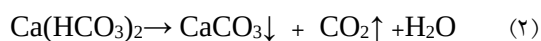
زهکشی آب اضافی منطقه ریشه و رفع تنش مانداب ظاهر خواهد شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

بر اساس آزمایش‌های انجام شده در هرمزگان، نسبت کلسیم به منیزیم در بسیاری از آب‌های مورد استفاده در باغات از حالت اولیه و طبیعی خارج شده است، به طوری که نسبت منیزیم به کلسیم، به دو رسیده است، در حالی که در حالت ایده‌آل، این نسبت بایستی حدود نیم یا یک دوم باشد. گزارش شده است که نسبت کلسیم به منیزیم در آب در حدود ۸۶ درصد از دشت‌های کشور کمتر از یک می‌باشد (قدیر و همکاران، ۲۰۱۸). پرسش کلیدی و مهم می‌تواند این باشد که چرا این نسبت تغییر کرده است. یک فرضیه برای این تغییر، نگهداری نسبتاً طولانی مدت آب آبیاری در استخرهای سر باز می‌باشد که با بروز خشکسالی‌های اخیر ذخیره آب به این شکل بیشتر رواج پیدا کرده و در مواردی آبیاری تحت فشار نیز به این نوع ذخیرسازی آب دامن زده است. در این نوع ذخیره سازی آب با توجه به گرمای شدید هوا در تابستان بخشی از آب تبخیر شده و غلظت املاح بالا می‌رود. افزایش غلظت املاح تا حد مشخصی ادامه می‌یابد و بیشتر از آن حد شروع به رسوب می‌کند که ماهیتا رسوب کلسیم نسبت به منیزیم بیشتر است و بنابراین نسبت کلسیم به منیزیم در آب آبیاری کاهش قابل توجهی می‌یابد. بررسی رسوبات جمع‌آوری شده از کف استخرها در بخش شمالی استان هرمزگان و مخصوصاً دهستان سیاهو نشان داد که بخش اعظم این رسوبات ترکیبات کلسیمی می‌باشد. با توجه به نقش ساختمانی کلسیم در دیواره سلولی گیاهان و ضرورت این عنصر در استحکام بخشی به دیواره سلولی، بدیهی است کم شدن غلظت کلسیم در آب آبیاری و محیط رشد گیاه سبب می‌شود تا سلولهای ریشه استحکام کافی نداشته باشند و در نتیجه عوامل بیماری‌زا که تا قبل از این نمی‌توانستند وارد ریشه شوند، راحت‌تر نفوذ نمایند و موجب پوسیدگی ریشه شوند. علت رسوب بیشتر کلسیم به منیزیم، مقدار کمتر حاصلضرب انحلال‌پذیری برای کربنات کلسیم (برابر با 10^{-9})

$10 \times 2/8$) در مقایسه با مقدار حاصلضرب انحلال‌پذیری برای کربنات منیزیم (برابر با $10^{-8} \times 3/5$) است. مقدار حاصلضرب انحلال‌پذیری (K_{sp}) بیانگر قابلیت حل شدن آن ترکیب می‌باشد و بنابراین، مقدار کوچک K_{sp} معرف یک ترکیب نامحلول است. از طرف دیگر، حلالیت کربنات کلسیم در صورت موجود نبودن دی اکسیدکربن در محیط برابر با ۱۴ قسمت در میلیون در ۲۵ درجه سانتی گراد است. چنانچه دی اکسیدکربن در محیط یافت گردد، فعل و انفعالاتی به شرح زیر بین کربنات کلسیم و دی اکسیدکربن انجام می‌شود که نتیجه آن تشکیل بی کربنات کلسیم است. حلالیت بی کربنات کلسیم در ۲۵ درجه سانتی گراد، بین ۳۰۰ الی ۴۰۰ قسمت در میلیون می‌باشد که نسبت به آبی که فاقد دی اکسید کربن است افزایش فوق‌العاده‌ای دارد (واکنش ۱).



باید در نظر داشت چنانچه آبی محتوی بی-کربنات کلسیم باشد، در اثر حرارت تبدیل به اجزای زیر می‌گردد و افزایش رسوب کلسیم به صورت کربنات کلسیم را بدنبال دارد (واکنش ۲). می‌دانیم که به هنگام ذخیره آب در استخرهای ویژه این کار، دمای آب به سبب وجود تابیدن نور خورشید، بویژه در تابستان، شدت بالا می‌رود و در این حالت تمایل خروج گازها (گاز دی-اکسید کربن) از آب ذخیره شده در استخر افزایش می‌یابد و با کم شدن مقدار دی اکسید کربن، مقدار کلسیم محلول در آب آبیاری ذخیره در استخر کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند (واکنش ۲).



با توجه به نقش ساختمانی کلسیم و ضرورت این عنصر در استحکام دیواره سلولی، بدیهی است کم شدن غلظت کلسیم در آب آبیاری و محیط رشد گیاه سبب می‌شود سلولهای ریشه استحکام کافی نداشته باشند و در نتیجه عوامل بیماری‌زا که تا قبل از این نمی‌توانستند وارد ریشه شوند، راحت‌تر نفوذ نمایند و موجب پوسیدگی ریشه شوند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس تجربه کارشناسی بدست آمده در استان هرمزگان،

سال‌آوری درختان مرکبات بویژه نارنگی به تدریج زمینه زوال درخت را فراهم می‌سازد. علت این پدیده را می‌توان چنان تفسیر نمود که در سال‌آور، درخت محصول زیادی را تولید می‌کند و همین امر سبب می‌شود که بخش اعظم انرژی ذخیره خود را صرف تولید میوه نماید و درخت قادر نباشد توان خود را بازیابی نماید. این امر ضمن اینکه

سبب می‌شود در سال بعد درخت محصول چندانی تولید نکند، بلکه خسارت محسوسی در باز تولید ریشه‌های موئین بدنال دارد که میتواند زمینه ساز زوال باشد، در نتیجه بتدریج آثار ضعف در درخت پدیدار می‌گردد و در نهایت درخت به سمت زوال رفته و از بین خواهد رفت (شکل ۶).



شکل ۶- تصویر تناوب باردهی در دو سال متوالی در درختان نارنگی سیاهو

ناسازگاری پایه و پیوندک نیز از مواردی است که ممکن است منجر به زوال و نابودی درختان مرکبات گردد. مطالعات انجام شده پیرامون ناسازگاری، حاکی از تفاوت چشمگیر در بروز و شدت عارضه زوال در گریپ فروت روی پایه‌های مختلف دارد (آرورا و همکاران، ۲۰۰۶). از نظر میزبانی، تقریباً همه گونه‌ها و ارقام مرکبات نسبت به این عارضه حساسند ولی از نظر میزان حساسیت متفاوت هستند. بررسی میدانی عارضه زوال مرکبات نشان می‌دهد که درختان نارنگی که پایه آنها بکرایی می‌باشد در مقایسه با درختانی که بر روی پایه‌های دیگر از قبیل نارنج و لیمو ترش رشد کرده‌اند، به عارضه زوال حساس‌تر و عارضه در این باغات شیوع و گستردگی بیشتری دارد.

تغذیه نامناسب درختان نیز می‌تواند از علل بروز زوال در درختان مرکبات باشد. بررسی و مقایسه پایه ماکروفیلا دارای زوال با ماکروفیلا سالم از نظر عناصر کلسیم، مس، آهن، منیزیم، منگنز و روی در برگ و بافت آوند آبکش نشان داد که عناصر ذکر شده به جز عنصر

روی با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. مقدار عنصر روی در برگ درختان دارای زوال کاهش و در بافت آوند آبکش افزایش یافته بود (حدود ۲/۵۷ برابر بر اساس وزن خشک). مقدار کلسیم و مس بدون تغییر بودند اما مقدار منیزیم، آهن و منگنز اندکی در برگ‌های درختان دارای زوال کمتر بودند؛ اما در آوند آبکش دارای تفاوت چندانی نبودند. مقدار روی در عصاره تازه آوند آبکش در درخت دارای زوال نسبت به درخت سالم ۲/۴ برابر بود (تیلور و گیتزنوئر، ۱۹۹۸). مطالعه‌ای دیگر نیز نقش روی در ایجاد زوال مرکبات را مورد تأکید قرار داده است (سریوستاوا و سینگ، ۲۰۰۴؛ ۲۰۰۵a & b؛ ۲۰۰۹).

میوه زیاد بر روی درخت، به تشدید عارضه زوال کمک می‌کند؛ زیرا بخشی از مواد غذایی که می‌توانست برای تغذیه ریشه‌ی درخت مورد استفاده قرار گیرد به سمت میوه می‌رود؛ بنابراین ریشه گرسنه مانده و به تدریج ضعیف شده و از بین خواهد رفت. بدیهی است این امر به زوال درخت منجر خواهد شد.

از دیگر عوامل زوال درختان مرکبات می‌توان به بیماری‌هایی مانند میوه سبزی یا گرینینگ اشاره نمود. این بیماری را اصطلاحاً HLB هم می‌نامند. بر اساس شواهد میدانی، این بیماری در مناطقی از استان هرمزگان و جیرفت نقش پر رنگی در زوال مرکبات دارد، بیماری‌های دیگری نظیر آلودگی‌های چند گانه به برخی از ویروئیدها نیز در پیشبرد زوال مرکبات در جنوب کشور نقش بازی می‌کنند و مطالعات و ردیابی‌های اخیر موارد متعددی از آلودگی چندگانه ویروئیدی را در برخی از استان‌های جنوبی کشور نشان داده است (بنی هاشمیان و همکاران، ۲۰۱۳). بیماری ویروسی ترستیزا نیز یکی دیگر از عوامل زنده دخیل در زوال مرکبات است که در بسیاری از کشورهای دنیا به عنوان عامل زوال آبی مرکبات معرفی شده است (مورینو و همکاران، ۲۰۰۸). این بیماری نیز از برخی از مناطق کشت مرکبات در شمال کشور گزارش شده است و بیم آن میرود در جنوب کشور هم وجود داشته باشد ولی اطلاعات موثقی در خصوص وجود و پراکنش این بیماری در جنوب کشور وجود ندارد. برهمکنش بسیاری از این عوامل زنده با تنش‌های غیرزنده ی محیطی مانند مانداب و غرقاب شدن خاک ناحیه ریشه که هر دو از عوامل محدود کننده انتقال کربوهیدرات‌ها از اندام هوایی به ریشه می‌باشند و یا تنش‌های محیطی و گرمایی و برهمکنش مثبت آن با بیماری‌های ویروئیدی می‌تواند در بروز زوال مرکبات نقش اساسی ایفا نماید که مواردی از زوال مرتبط با این عوامل در منطقه دیده می‌شود.

برخی از راه‌کارها جهت پیشگیری و یا تعدیل خسارت عارضه زوال مرکبات

همان‌گونه که گفته شد، علی‌رغم همراهی پاتوژن‌های مختلف با عارضه زوال این عارضه فقط یک بیماری نیست. بلکه زوال مرکبات یک عارضه است که مجموعه‌ای از عوامل زنده همچون قارچ‌های خاکزی و عوامل متعدد بیماری‌زای دیگر نظیر ویروئیدها، ویروس‌ها،

برخی باکتری‌ها و حتی فایتوپلاسماها ممکن است همراه با این عارضه باشند و در فرایند زوال دخالت نمایند؛ ولی آن چیزی که مسلم است عارضه زوال در بسیاری موارد، بجز موارد مربوط به آلودگی گرینینگ و ویروس ترستیزا با یک تنش غیر زنده شروع میشود و در فرایند پیشرفت عوامل زنده و پاتوژن‌ها مانند عوامل بیماری‌زای خاکزاد کمک به پیشرفت این عارضه می‌نمایند؛ بنابراین، استفاده از قارچ‌کش‌ها ممکن است در موارد زیادی روند و سرعت زوال درختان را کند کند ولی معمولاً علاج قطعی نیست و تا زمانی که شرایط اصلاح نشود برگشت درخت را به‌همراه نخواهد داشت. در نتیجه، استفاده از قارچ‌کش‌ها در مواردی لازم است اما شرط کافی برای برگشت درخت نیستند و باید اقدامات دیگری انجام شود که در زیر آورده شده است. نکته دیگر اینکه، هنگام استفاده از راهکارهای زیر، درجه زوال درخت در برگشت درخت مهم است. بدین معنی که درختانی که درصد زوال آنها بالاست معمولاً برگشتی ندارند و راهکارهایی که در زیر گفته شده است، معمولاً برای درختانی می‌تواند مفید باشد که حداکثر ۳۰ تا ۴۰ درصد تاج دچار زوال شده باشد. نکته سوم اینکه هر کدام از راهکارهای زیر به‌تنهایی، ممکن است نقشی پررنگ در پیشگیری یا درمان عارضه زوال نداشته باشند، اما اثرات مجموع آنها می‌تواند سهم چشمگیر و قابل ملاحظه‌ای در پیشگیری یا درمان عارضه داشته باشند. با در نظر گرفتن نکات فوق راهکارهای پیشگیری و یا کاهش اثرات زوال به شرح زیر می‌باشند: استفاده از نهال کاملاً سالم و گواهی شده از منابع مطمئن که صحت سلامت نهال تضمین شده باشد. توصیه می‌گردد و نهال مرکبات در بستر ضد عفونی شده غیر از خاک (ترکیبی پیت ماس و پرلیت) تولید شده باشد تا امکان انتقال عوامل بیماری‌زای خاکزاد همراه نهال نباشد. متأسفانه تا این لحظه، به‌رغم تلاش‌های وزارت جهاد کشاورزی و زیر مجموعه‌های تخصصی مربوطه هنوز نهال‌های سالم و مطمئن مرکبات در اختیار باغداران قرار نمی‌گیرد.

مدیریت مناسب تغذیه در طول فصل رشد متناسب با فنولوژی رشد و عملکرد درختان مرکبات با تاکید بر کوددهی بعد از برداشت میوه (بوژه برای درختان در شروع زوال)؛ انجام آزمایش دوره‌ای گیاه قبل از کود دهی توصیه می‌گردد.

مدیریت مناسب آبیاری در طول فصل رشد و بعد از برداشت میوه و ممانعت از تنش خشکی و تنش مانداب در منطقه ریشه.

محلول‌پاشی کودهای نیتروژنی و پتاسیمی مناسب در فاز دوم رشد میوه، جهت بهبود تغذیه درختان و ساخت مواد فتوسنتزی و تسریع در انتقال مواد فتوسنتزی به منطقه ریشه و بهبود توانایی درختان در مقابل تنش مانداب، سرما و غیره.

احتیاط در عملیات به‌باغی برای جلوگیری از حذف زیاد ریشه‌ها.

در صورت امکان، استفاده از سایه‌بان در مناطق جنوبی کشور برای مقابله با تنش گرمایی و تعدیل تنش خشکی و شوری در محیط ریشه. استفاده از سایبان باید متناسب با نیاز نوری درختان و حذف برخی از تابش‌های مازاد تابستان که همراه با تنش هستند، باشد. در صورتی که این توصیه اجرایی نباشد، باید درختان را در اوج گرما آبیاری نمود تا دمای درونی گیاه افزایش بیش از حد پیدا نکند و گیاه خنک شود.

کاشت مخلوط مرکبات با درختانی با ارتفاع بیشتر مانند نخل که می‌تواند در مواردی سایه اندازی محدودی برای تاج مرکبات در طول فصل گرما داشته باشد می‌تواند موثر باشد (شکل ۷).

رعایت اصول بهداشت باغ، عدم جابجائی ابزار خاک ورزی و هرس از باغ‌های مجاور و یا در صورت استفاده از ابزار حتماً ضدعفونی سطحی به روش‌های مناسب (کلراکس ۲۰ درصد یا شستشوی ابزار و در شعله قرار دادن برای مدت چند ثانیه). برای جلوگیری از گسترش سریع عارضه رعایت این توصیه ضروری است. در صورت ارتباط مستمر و مداوم باغداران با مراکز جهاد کشاورزی، رعایت بهداشت باغ به‌سهولت امکانپذیر است.

بستر سازی مناسب تعدیل بافت خاک منطقه ریشه؛ در خاک‌های بافت سنگین با مصرف کودهای آلی یا حیوانی پوسیده و ماسه به نسبت مناسب و در خاک‌های سبک افزودن مواد آلی و در صورت امکان غنی‌سازی خاک منطقه ریشه حاصل می‌شود.

حذف یا شکستن لایه فشرده خاک منطقه ریشه در شروع احداث باغ و همچنین در باغ‌های احداث شده (که معمولاً در فاصله ۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک وجود دارد). این لایه موجب کاهش تهویه منطقه ریشه، کاهش نفوذ آب، کاهش راندمان جذب آب و عناصر غذایی شده و زوال درختان مرکبات را تشدید می‌کند.

ایجاد زهکشی مناسب در باغ‌های احداث شده جهت خروج سریع آب‌های سطحی و جلوگیری از تجمع آب در منطقه ریشه. ایجاد زهکش ممکن است در مواردی هزینه‌های زیادی داشته باشد. برای جلوگیری از تجمع آب در منطقه ریشه می‌توان کاشت درختان بر روی پشته انجام داد.



شکل ۷- کاشت مخلوط مرکبات با نخل

محلول‌پاشی درخت با کائولین (یک نوع رس) با غلظت دو تا پنج درصد در فصل گرما به منظور تعدیل تنش گرمایی در تابستان و همچنین کاهش خسارت تنش خشکی (از طریق انعکاس نور)؛ البته نیاز به بررسی بیشتری در این مورد وجود دارد.

آبشویی برنامه‌ریزی شده املاح تجمع یافته در منطقه ریشه برای مناطقی که کیفیت آب مطلوب نیست و همچنین از سیستم آبیاری تحت فشار استفاده می‌کنند. برای تعدیل اثرات تجمع نمک در منطقه ریشه استفاده از کودهای مناسب با این شرایط نظیر سولفات پتاسیم توصیه می‌گردد.

استفاده از سیستم آبیاری زیر سطحی در مناطق جنوبی کشور به منظور کاهش اثرات تنش کم آبی و کاهش تبخیر و تجمع نمک در منطقه ریشه.

استفاده از مالچ‌های گیاهی مانند برگ‌های درختان خرما و یا مالچ‌های پلاستیکی به منظور حفظ رطوبت خاک، تجمع و کاهش تبخیر و تجمع نمک در منطقه ریشه و حفظ تارهای کشنده از گرمای شدید. شکل ۱۲ این موضوع را نشان می‌دهد.

کاربرد کود به روش چالکود به صورتی که عمق چاله بیشتر از حد معمول باشد برای مناطقی که تنش گرمایی وجود دارد؛ با این کار ریشه به عمق‌های پایین‌تر هدایت شده و از تنش گرمایی مصون می‌ماند. این شیوه حفظ ریشه از گرما بویژه در مناطقی مانند هرمزگان که خاک اغلب باغ‌های مرکبات درشت بافت و سنگلاخی هستند مشکلی از نظر تهویه ایجاد نخواهد کرد.

جوان‌سازی درختان مسن؛ حتی در صورت عدم امکان کشت نهال‌های جدید، میتوان با هرس سنگین درختان مسن را در یک برنامه منظم تا حدودی جوان‌سازی نمود و ایجاد تعادل بین ریشه و اندام هوایی برقرار نمود که مانع از زوال می‌گردد.

عارضه زوال مرکبات در استان هرمزگان معمولاً با زوال ریشه‌های درخت شروع میشود و سپس آثار آن در اندام‌های هوایی مشاهده می‌گردد، باید برنامه هرس

درختان مرکبات و هرس سرشاخه‌های خشکیده را جدی گرفت تا از این طریق بتوان نسبت ریشه به اندام هوایی را تا حدی به نفع ریشه اصلاح کرد تا ریشه فرصت باز-سازی خود را پیدا نماید.

تنک کردن میوه درختانی که در شروع زوال قرار دارند، فشار بر ریشه درخت را کمتر می‌کند و اجازه می‌دهد تا درخت بتواند بخش بیشتری از مواد غذایی تولید شده را در اختیار ریشه قرار دهد و از این طریق به بازیابی تارکشنده ریشه درخت کمک شایانی خواهد شد (آزادوار و همکاران، ۱۳۹۷).

همان طور که اشاره شد علت اصلی زوال درختان مرکبات، بویژه در هرمزگان، از بین رفتن تدریجی ریشه می‌باشد و ریشه نمی‌تواند وظیفه خود که عمل جذب است را انجام دهد. به منظور کاهش فشار بر ریشه درخت و فراهم کردن فرصت برای بازسازی ریشه و جلوگیری از زوال بخش هوایی درخت به هنگام زوال لازم است تا تغذیه درخت از طریق تزریق و محلول‌پاشی با نظر کارشناسان مطلع صورت پذیرد.

پوشاندن استخرهای ذخیره آب به منظور کاهش تبخیر و جلوگیری از رسوب کلسیم و به هم خوردن نسبت کلسیم به منیزیم. تعدیل سال‌آوری در درختان میوه از طریق تغذیه مناسب و یا راهکارهایی مانند حلقه‌برداری و یا ترکیبات تنک کننده میوه. در آزمایشی که بر روی نارنگی سیاهو انجام گرفت، مشخص شد که محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت دو در هزار می‌تواند شاخص سال‌آوری را کاهش دهد. بهترین زمان محلول‌پاشی برای سولفات روی در اواسط اسفند ماه توصیه گردید (حسینی، ۱۳۹۳). در آزمایشی دیگر به منظور تعدیل سال‌آوری نارنگی سیاهو، نشان داده شد که محلول‌پاشی اوره با غلظت نیم درصد در اواخر آبان‌ماه به همراه محلول‌پاشی بهاره (طی دو مرحله، مرحله اول در زمان تمام گل و مرحله بعدی یک تا سه هفته بعد از ریزش گلبرگ) می‌تواند سبب کاهش نوسان‌های باردهی گردد و عملکرد در

سال‌های مختلف را متعادل می‌نماید (حسینی و رضازاده، ۱۳۹۴).

تعدیل فلور میکروبی خاک به نفع موجودات همزیست مفید نظیر قارچ‌های میکوریزا و یا آنتاگونیست‌هایی که با احاطه ریشه مانع از حمله قارچ‌های پاتوژن می‌گردند مانند قارچ تریکودرما که می‌توانند سبب بهبود جذب عناصر غذایی و حفظ سلامت ریشه در درختان گردند.

پیشنهادهای ترویجی

زوال عارضه‌ای است که مجموعه‌ای از عوامل در آن نقش ایفا می‌کنند و به‌نظر می‌رسد عوامل دخیل در عارضه زوال متعدد می‌باشند؛ بنابراین، راهکارهای کنترل شیمیایی پاتوژن نمی‌تواند به عنوان راهکاری پایدار برای مدیریت این عارضه توصیه گردد. یکی از عوامل مهم در برگشت یا عدم برگشت درخت دچار عارضه زوال، مدیریت کلی باغ و درجه ابتلا به زوال است. به این ترتیب که تیمارهای بهبوددهنده درخت در صورتی می‌توانند مؤثر باشند که درخت در ابتدای ابتلا به زوال و

درجه یا پیشرفت زوال، به صورت تقریبی کمتر از ۳۰ تا ۴۰ درصد باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که مدیریت این عارضه نسخه واحدی ندارد و برای هر منطقه باید متناسب با شرایط خاص آن می‌توان توصیه نمود. هر کدام از اقدامات گفته شده ممکن است سهم کمی در بهبود وضعیت درخت داشته باشند، اما انجام مجموع آنها می‌تواند سهم بسزایی در برگشت وضعیت درخت به وضعیت عادی داشته باشد. به طور کلی از مهمترین راهکارهای کنترل عارضه زوال مرکبات می‌توان به اعمال مدیریت صحیح آبیاری، تغذیه مناسب درختان، کاهش تنشهای محیطی (در خاک، آب و اقلیم)، رعایت بهداشت باغ و انجام عملیات به‌باغی اشاره کرد. اگرچه ممکن است اجرای برخی از راهکارهای گفته شده همچون کنترل و تعدیل شرایط محیطی براحتی امکان‌پذیر نباشد، اما بیشتر راهکارهای پیشنهادی مانند مدیریت صحیح آبیاری، مدیریت مناسب تغذیه درختان، رعایت بهداشت باغ و انجام عملیات به‌باغی می‌تواند به‌سهولت توسط باغداران اجرایی شوند.

فهرست منابع

۱. آزادوار، م. م. گل محمدی، م. بصیرت، م. عسکری، ب. گل‌عین و ح. حاج‌نجاری. ۱۳۹۷. مدیریت عارضه زوال مرکبات در جنوب ایران. دستورالعمل فنی شماره ۵۴۴۲۸. مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۲. آمارنامه کشاورزی، جلد سوم: محصولات باغبانی. ۱۳۹۷. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۳. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۳. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات، جلد اول و دوم. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۴. حسینی، ی. و ر. رضازاده. ۱۳۹۴. بررسی امکان تعدیل سال آوری نارنگی سیاهو با استفاده از تغییر زمان محلول‌پاشی نیتروژن و زمان برداشت در حاجی‌آباد (هرمزگان). پژوهش‌های خاک، ۲۹ (۳): ۳۹۵-۴۰۶.
۵. حسینی، ی. ۱۳۹۳. بررسی امکان کنترل باردهی نارنگی سیاهو با استفاده از محلول‌پاشی سولفات منیزیم و روی. گزارش نهایی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.

۶. حسینی، ی.، ج. صالح، م. عسکری و م. بصیرت. ۱۳۹۶. راهکارهای تغذیه‌ای و مدیریت تنش‌های محیطی به منظور پیشگیری و مقابله با عارضه زوال مرکبات. نشریه فنی شماره ۵۵۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
7. Al-Yahani, R., I. A. Khan and M. Deadman. 2005. Citrus and mango. *Chronic Horticulturae* 45: 42-43.
8. Arora, R. K., B. S. Daulta, and M. M. Priya. 2006. Studies on the possible causes of citrus decline in various stionic combinations of grapefruit (*Citrus paradise* Macf.). *Indian Journal of Citriculture* 29: 138-142.
9. Burnetta, H. C., S. Nemecab, and M. Patterson. 1982. A review of Florida citrus blight and its association with soil edaphic factors, nutrition and *Fusarium solani*. *Tropical Pest Management*. 28(4): 416-422.
10. Ippolito, A., V. DE Cicco and M. Salerno. 1990. Role of *Phytophthora* spp. in citrus decline in Apulia and Basilicata, Italy. *Bulletin OEPP* 20: 91-94.
11. Raychudhuri, S. P., T. K. Nariani, and V. C. Lele. 1969. Citrus dieback problem in India. *Citrus Symposium*. 3: 1433-1437.
12. Srivastava, A. K., and S. Singh. 2004. Zinc nutrition and citrus decline – A review. *Agricultural Reviews*. 25 (3): 173-188.
13. Srivastava, A. K., and S. Singh. 2005. Zinc nutrition, a global concern for sustainable citrus production. *Journal of Sustainable Agriculture*. 25(3): 5-42.
14. Srivastava, A. K., and S. Singh. 2005. Soil and Plant Nutritional Constraints Contributing to Citrus Decline in Marathwada Region, India. *Soil Science and Plant Analysis*. 35: 2537–2550.
15. Srivastava, A. K., and S. Singh. 2009. Citrus Decline: Soil Fertility and Plant Nutrition. *Journal of Plant Nutrition*. 32: 197-245.
16. Qadir, M., S. Schubert, J. D. Oster, G. Sposito, P. S. Minhas, S A. M. Cheraghi, G. Murtaza, A. Mirzabaev, M. Saqib. 2018. High magnesium waters and soils: Emerging environmental and food security constraints. *Science of the Total Environment*. 642:1108–1117.
17. Taylor, K. C., and H. L. Geitzenauer. 1998. 5KD Zinc-binding protein accumulation in macrophylla-decline-affected citrus. *Journal of American Society of Horticultural Science*. 123(3): 357-360.
18. Timmer, L. W., and J. A. Menge. 2007. Diseases of Citrus (*Citrus spp.*) [Online]. Available at [http://plantpath.ifas.ufl.edu/takextpub/Fact Sheets/pp0023.pdf](http://plantpath.ifas.ufl.edu/takextpub/Fact%20Sheets/pp0023.pdf).
19. Bani Hashemian, S. M., H. Taheri, Y. Mohammad Alian, J. M. Bové, and N. Duran-Vila. 2013. Complex mixtures of viroids indentified in the two main citrus growing areas of Iran. *Journal of Plant Pathology*. 95:3 647-654.
20. Moreno, P. 1., S. Ambrós, M. R. Albiach-Martí, J. Guerri, and L. Peña. 2008. Citrus tristeza virus: a pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular plant pathology*. 9(2) 251-68.

امنیت غذایی با مدیریت پایدار اراضی

کامران میرزاشاهی^۱ و سید علی غفاری نژاد

استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

دزفول، ایران. kamranmirzashahi@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. Ma_ghaffari51@yahoo.com

دریافت: آذر ۱۳۹۸ و پذیرش: آبان ۱۳۹۹

چکیده

بحران جهانی ناشی از کمبود مواد غذایی و افزایش قیمت آن در سال‌های اخیر به ویژه در سال ۲۰۰۸، در برخی از کشورها، ضرورت اتخاذ راهکارهایی به منظور تامین امنیت غذایی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه را باعث شده است. اینها همه در شرایطی است که همزمان با رشد جمعیت و کاهش اراضی قابل کشت، تقاضا برای غذا و آب افزایش می‌یابد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، جمعیت دنیا به ۹/۲ میلیارد نفر و ایران نیز در سال مذکور جزو ۲۰ کشور اول پر جمعیت جهان باشد. همچنین، مطابق گزارش فائو به منظور تامین مواد غذایی مردم جهان در سال ۲۰۵۰، نیاز است تا تولید محصولات طی این مدت حدود ۷۰ درصد افزایش یابد؛ و نیز بنا به بررسی‌ها بیش از ۶۰ درصد مردم آسیا (به ویژه در جنوب و جنوب غرب) و یک چهارم جمعیت افریقا از سوء تغذیه رنج می‌برند. این مقاله با استفاده از بررسی منابع به مطالعه مدیریت پایدار اراضی و برخی مولفه‌های آن از جمله به کارگیری کشاورزی حفاظتی، استفاده از تناوب زراعی صحیح و مدیریت ماده آلی خاک، به عنوان یک پایه اساسی از تولید کشاورزی و امنیت غذایی پرداخته است.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری اراضی، تولید پایدار، جمعیت، مواد غذایی

۱- آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.

مقدمه

بنا به تعریف ارائه شده توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد- فائو^۱ (۲۰۰۸)، امنیت غذایی به شرایطی اطلاق می شود که در آن همه مردم، در تمام زمان ها دسترسی اقتصادی و فیزیکی به مواد غذایی کافی و ایمن برای یک زندگی سالم و فعال را داشته باشند؛ بنابراین امنیت غذایی تابع چهار شرط است: ۱- تامین غذای کافی، ۲- تداوم در تامین غذا (بدون نوسان یا کمبود از فصلی به فصل دیگر و یا از سالی به سال دیگر)، ۳- قابلیت دسترسی به غذا و ۴- سلامتی و کیفیت غذا. بدین ترتیب تحقق امنیت غذایی و کیفیت و ضریب آن، منوط به کیفیت تحقق مفاهیم مزبور است. امنیت غذایی یک موضوع پیچیده مرتبط با توسعه پایدار، توسعه اقتصادی پایدار، محیط و تجارت است. در عین حال بخش کشاورزی با افزایش و بهبود کیفیت تولیدات غذایی، نقش اساسی و تعیین کننده ای را در تحقق امنیت غذایی عهده دار می باشد. اینها همه در شرایطی است که با چالش های متعددی مواجه هستیم، از جمله موارد مرتبط با اراضی تحت کشت، رشد جمعیت و محدودیت منابع آب.

در ایران حدود ۱۸ میلیون هکتار از اراضی کشور عملاً دارای قابلیت کشاورزی است (موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۹۳) و همین اراضی محدود نیز با تهدیدهای جدی مواجه می باشند. برخی از این عوامل تهدید کننده عبارت اند از: کاهش سرانه زمین (سرانه اراضی کشاورزی از ۰/۵ هکتار در سال ۱۳۵۲، به ۰/۱۱ هکتار در سال ۱۴۳۰) خواهد رسید (صفایی، ۱۳۹۵)، تغییر کاربری های غیر علمی بررسی ها نشان می دهد در فاصله سال های ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۰، جمعاً ۱۹۴۶۰۵ هکتار از اراضی حواشی شش کلان شهر تغییر کاربری یافته و به مناطق شهری و صنعتی تبدیل شده اند. از این مقدار ۱۳۶۲۲۰ هکتار (۷۰ درصد) جزو اراضی مستعد کشاورزی و قابل آبیاری (اراضی کلاس I و II و III)،

۲۹۵۰۰ هکتار (۱۵ درصد) جزو اراضی دارای پتانسیل باغ میوه (اراضی کلاس IV) و فقط ۲۸۸۸۵ هکتار (۱۵ درصد) جزو اراضی دارای محدودیت شدید برای کشت آبی یا فاقد استعداد کشاورزی بوده اند. لذا، با از بین رفتن اراضی مستعد کشاورزی در حواشی شش کلان شهر کشور، امکان تولید بیش از نیم میلیون تن گندم در هر سال از بین رفته است (مومنی و همکاران، ۱۳۸۶). در این ارتباط، قیومی محمدی (۱۳۷۹)، گزارش نمود که طی سال های ۱۳۰۲ تا ۱۳۷۷، در واحد هیدرولوژیک برخوار- اصفهان حدود ۳۴ هزار هکتار از بهترین اراضی کشاورزی تغییر کاربری یافته و از چرخه تولید کشاورزی خارج شده اند. لذا، جمع کل اراضی تغییر کاربری یافته در منطقه اصفهان به ۵۱ هزار هکتار بالغ می گردد. ایشان در بررسی بعدی خود، نتیجه گیری نمود که مجموع مساحت اراضی تغییر کاربری یافته شهرستان های زیر حوضه مرغاب در سال ۱۳۵۵، بالغ بر ۲۸۷۴۷ هکتار بوده که با گسترش شهرها و شهرک های صنعتی در سال ۱۳۸۹، در مجموع وسعتی بالغ بر ۷۲۱۱۳ هکتار به کاربری های غیر کشاورزی اختصاص یافته است. لذا، می توان برآورد نمود که به طور متوسط هر سال بیش از ۱۲۰۰ هکتار از اراضی متشکله بر روی تراس های آبرفتی زاینده رود که اکثراً از دیر باز به امر تولید کشاورزی اختصاص داشته اند، به کاربری های غیر کشاورزی اختصاص داده شده است (قیومی محمدی، ۱۳۹۳) و فرسایش کمی و کیفی خاک (به دلیل مدیریت نادرست و ناپایدار خاک نظیر شخم در جهت شیب، سوزاندن بقایای گیاهی، عدم رعایت تناوب زراعی، چرای بی رویه، جنگل تراشی و ...، بخش مهمی از منابع خاک کشور در معرض فرسایش می باشد (بولتن خبری انجمن علوم خاک ایران، ۱۳۹۰).

از سویی، جمعیت در ایران از ۲۸/۸ میلیون نفر در سال ۱۹۷۰، به ۸۴ میلیون نفر در سال ۲۰۲۱، خواهد رسید (سایت مرکز آمار ایران). مضافاً این که با هر نرخ رشد جمعیت پیش بینی شده توسط سازمان ملل متحد، کشورمان تا سال ۲۰۵۰، جزو ۲۰ کشور اول پر جمعیت

^۱ . Food and Agriculture Organization of United Nations

کارگیری آنها سبب ارتقای ضریب امنیت غذایی می‌گردد. نکته بسیار اساسی و قابل توجه این است که افزایش ضریب خودکفایی و به تبع آن امنیت غذایی پایدار زمانی متصور است که مجموعه اقدامات مدیریت اراضی به عنوان یک نسخه کامل درمانی، متناسب با امکانات موجود به تدریج اعمال و گسترش یابد. لذا، برای برون رفت و یا به حداقل رساندن مشکلاتی که گریبانگیر عرصه تولیدات کشاورزی شده است (می‌شود)، سازوکارهای مدیریتی لازم، به شرح زیر می‌باشند:

خاک ورزی (کشاورزی) حفاظتی

کشاورزان در سرتاسر دنیا اراضی خود را شخم می‌زنند. قرن هاست که این اقدام به عنوان نماد کشاورزی شناخته شده است؛ اما از دهه ی ۱۹۷۰، میلادی، کشاورزان بیشتر و بیشتر مبادرت به کنار گذاشتن عملیات شخم نموده‌اند (فائو، ۲۰۰۰). دلیل آن نیز ساده است. شخم مدرن یا گاواهن برگردان‌دار، ریشه‌ی تخریب اراضی است و این موضوع یکی از بزرگترین مشکلاتی است که کشاورزی امروز با آن روبرو می‌باشد. خاک ورزی حفاظتی یا کشاورزی حفاظتی، یکی از موثرترین راه‌های اصلاح اراضی تخریب شده می‌باشد. به عبارتی این روش به مثابه‌ی یک فن (تکنیک) انقلابی در کشت محصول، بدون استفاده از شخم زدن خاک است. در اوایل دهه ی ۱۹۷۰، کشاورزان در آمریکای شمالی و جنوبی خاک ورزی حفاظتی و حتی بی خاک ورزی^۱ را که اساس خاک ورزی حفاظتی می‌باشد، آغاز نمودند (فائو، ۲۰۰۰).

جهان خواهد بود (اردکانیان، ۲۰۰۳). بر این اساس، میزان سرانه آب تجدیدپذیر کشور نیز از میزان حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۰۰، به حدود ۱۹۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۸۵، تغییر یافته و در صورت ادامه این روند، وضعیت در آینده به مراتب بدتر خواهد شد. از طرفی، بر اساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۰۷، کاهش سالانه منابع داخلی آب شیرین در ایران حدود ۵/۵ برابر کشورهای ثروتمند، ۳/۷ برابر کشورهای فقیر و ۸/۹ برابر کشورهای با درآمد متوسط بوده است (احسانی و خالدي، ۱۳۸۳). همچنین، بنا به گزارش شرکت مدیریت منابع آب (۱۳۹۴)، بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی باعث گردیده است که از ۶۰۹ دشت کشور، ۲۹۰ دشت در وضعیت بحرانی و بقیه دشت‌ها نیازمند مراقبت و برنامه ریزی فوری باشند. ضمن این که در سال ۲۰۱۰، ایران جزو ۱۰ کشور اول از حیث بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بوده است (سیبرت و همکاران، ۲۰۱۰).

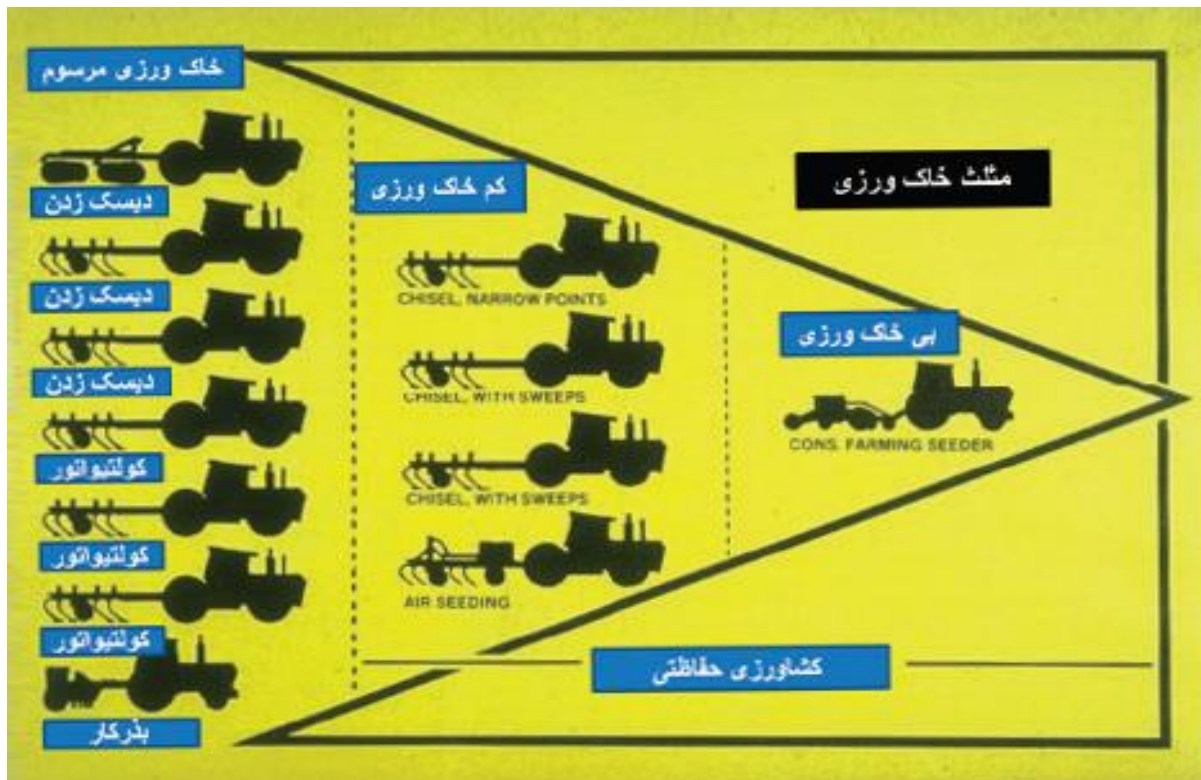
بنابراین، نظر به اهمیت موضوع سعی شده در این مقاله به نقش مدیریت اراضی و برخی مولفه‌های وابسته به آن بر مقوله امنیت غذایی از دیدگاه بخش کشاورزی به مثابه‌ی یک راهبرد کارا پرداخته شود.

مدیریت پایدار اراضی

مدیریت اراضی یکی از عوامل مهم توسعه پایدار می‌باشد و توسعه پایدار را هم استفاده موثر از منابع بدون آسیب زدن به دارایی‌ها و منابع نسل‌های آینده تعریف نموده‌اند؛ به عبارت دیگر پایداری به عنوان آزمونی برای سنجش میزان دستیابی به بهره‌وری، امنیت تولید، حفاظت، قابلیت اجرا و مقبولیت توسط یک کاربری اراضی معین در یک منطقه خاص و در یک زمان معین اطلاق شده است (مومنی و همکاران، ۱۳۸۶).

مدیریت پایدار اراضی ضمن بهبود وضعیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، متضمن دستیابی به عملکردهای پایدار مورد انتظار محصول نیز می‌باشد (شر، ۱۹۹۹ و برانکا و همکاران، ۲۰۱۳). بدین اعتبار، به

^۱ . No- Tillage



شکل ۱- سیر تکاملی گذر از سامانه‌های مرسوم خاک ورزی به سامانه‌های پایدار مانند سامانه‌های حفاظتی (آسودار و همکاران، ۱۳۹۶)

با به کارگیری این روش، کشاورزان بعد از برداشت محصول، بقایای آن را بر سطح خاک حفظ می‌کنند (حداقل ۳۰ درصد). آنها با طراحی کارنده‌های ویژه، گیاهان را کشت می‌کنند. این دستگاه‌ها بذر را در یک شکاف در زیر سطح خاک که توسط پوششی از بقایای گیاهی در حال تجزیه حفاظت می‌شود، قرار می‌دهند. ۲۵ سال پس از اولین آزمایش بی خاک ورزی توسط کشاورزان، این روش جدید کشت محصول به عنوان کشاورزی حفاظتی شناخته شد؛ زیرا در این روش علاوه بر مواد غذایی، از رطوبت خاک به دلیل بهبود جذب و نفوذ آب و نیز تنوع زیستی خاک به واسطه‌ی حفظ تعادل طبیعی در خاک، حفاظت می‌شود. در کشاورزی حفاظتی، خاک ورزی زیستی که توسط گیاهان و موجودات زنده خاک صورت می‌گیرد، جایگزین خاک ورزی رایج می‌شود؛ بنابراین به منظور حفظ سلامتی آنها می‌بایستی از مواد شیمیایی با دقت خاص و در کمترین مقدار ممکن استفاده نمود.

لذا، کشاورزی حفاظتی بر چهار اصل زیر استوار است:

- ۱- به حداقل رساندن دفعات شخم و بر هم زدن خاک.
 - ۲- حفظ دائم بقایای گیاهی (حداقل به میزان ۳۰ درصد).
 - ۳- استفاده از نظام‌های تناوبی متنوع، با به کارگیری گیاهانی با نسبت کربن به نیتروژن بالا (غلات) و پایین (گیاهان خانواده لگوم) برای متعادل سازی نسبت کربن به نیتروژن، از نقطه نظر تجزیه سریع بقایای گیاهی، به منظور آزاد سازی نیتروژن برای گیاه بعدی و همچنین تجزیه آهسته بقایا به منظور حفاظت از خاک و ۴- مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی (لعل، ۲۰۱۵).
- استفاده از منابع گوناگون کودهای آلی نظیر کود دامی، کمپوست و کود سبز به لحاظ اثر بخشی مثبت آنها بر عملکرد، مورد قبول واقع شده است. کاهش شدید حاصلخیزی خاک از جدی‌ترین تهدیدات در زمینه‌ی تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود؛ بنابراین، استفاده از منابع تجدید شونده حاوی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان (آلی و زیستی) به ویژه مصرف توام آنها با

کودهای شیمیایی، اهمیت فراوانی در بهبود بخشیدن به ویژگی های فیزیکی خاک، فعالیت میکروبی، ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش ماده آلی و در نهایت حفظ قدرت باروری خاک خواهد داشت. از این رو، هدف از مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی برقرار نمودن وضعیتی است که در آن از همه منابع ممکن در تامین نیاز گیاهان و دستیابی به محصول قابل قبول استفاده شود و در عین حال حاصلخیزی خاک حفظ و تقویت گردد (لعل، ۲۰۱۵).

فواید حاصل از به کارگیری کشاورزی حفاظتی

- کشاورزی حفاظتی اغلب به شرایط برد - برد اطلاق می شود که در آن کشاورزان، جامعه و محیط زیست به صورت توأمان از فواید آن بهره مند می شوند. فواید زیر شامل حال کشاورزان می شود:
- کاهش در نیروی کارگری، زمان و انرژی در مزرعه.
- جلوگیری از فرسودگی و استهلاک بیشتر تراکتورها؛ از این رو هزینه کمتری برای تعمیر صرف می شود.
- ثبات بیشتر در تولید، به ویژه در شرایط خشک به دلیل بهبود نفوذ آب.
- کاهش تردد ماشین آلات در مزرعه.
- افزایش تدریجی عملکردها و به موازات آن کاهش مصرف نهاده ها و افزایش سود کشاورزان.
- و اما در ارتباط با جنبه های زیست محیطی:
- تداوم بیشتر جریان آب به رودخانه ها و احیاء مجدد چاه های خشک شده به دلیل جذب بهتر آب باران.
- آب تمیزتر به دلیل فرسایش کمتر، کاهش سیل، کاهش اثرات منفی پدیده هایی همچون خشکسالی و ریزگردها و امنیت غذایی بیشتر.
- کشاورزی حفاظتی همچنین اثرات مثبت معنی داری در سطح جهانی دارد، شامل:

- ترسیب^۱ کربن آلی (حبس^۲ کربن). ترسیب کربن آلی به ذخیره کربن آلی در خاک اطلاق می گردد که امروزه به عنوان یک راهبرد در کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی مورد توجه می باشد، به طوری که بیشترین پتانسیل کاهش جهانی گازهای گلخانه ای را دارد. پتانسیل جهانی ترسیب کربن آلی خاک بین ۰/۶ تا ۱/۲ گیگاتن برآورد شده است که شامل ۰/۴ تا ۰/۸ گیگاتن کربن در سال از طریق پذیرش عملیات مدیریتی توصیه شده در خاک های تحت کشت، ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ گیگاتن کربن در سال بر روی خاک های تحت آبیاری و ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ گیگاتن کربن آلی خاک از طریق بهبود مراتع و چراگاه هاست (لعل و همکاران، ۲۰۰۷).

- انتقال کمتر مواد غذایی یا شیمیایی به داخل آب های زیرزمینی، آلودگی کمتر آب، کاهش میزان فرسایش خاک، تغذیه مجدد مخازن آب زیرزمینی از طریق نفوذ بهتر آب و مصرف کمتر سوخت در کشاورزی.

چگونگی اقدام به خاک ورزی حفاظتی

- شروع کار، با تمرکز و آرامش بر اهداف قابل دسترس.
- به منظور کسب مهارت، اقدام در قسمت محدودی از مزرعه (۱۰ درصد).
- ابتدا در قسمت هایی که به اندازه کافی پوشش گیاهی وجود دارد تا بتواند از تجهیزات طراحی شده استفاده نماید.
- در مورد علف های هرز، باید به تدریج استفاده درست از علف کش ها را بیاموزد و نیز گفتگو با کشاورزان حفاظتی کار و درس گرفتن از تجارب و اشتباهات آنها.
- قبل از آغاز کشاورزی حفاظتی، داشتن یک برنامه خوب تناوب زراعی بسیار مهم تلقی می شود.
- محدودیت های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر وضعیت زهکشی، اسیدیته، سطوح فسفر و پتاسیم از پیش،

^۱ . Sequestration

^۲ . Capture

کشاورزی حفاظتی به منزله‌ی یک رویکرد مدیریتی برای حفظ منابع پایه، خاک و آب، به نحوی از انحاء در بهبود پایداری سامانه تولید به ویژه بر افزایش ماده آلی خاک، به عنوان نقطه مرکزی و عامل کلیدی کیفیت خاک و نیز در نهایت، بر باروری خاک تأثیرگذار خواهد بود (جدول ۲؛ لاولند و وب، ۲۰۰۳). از این رو، امروزه استفاده از فناوری کشاورزی حفاظتی از حیث اصلاح اراضی تخریب شده و تقویت باروری اراضی کشاورزی در کل جهان و حتی در کشورهای آفریقایی به رغم ضعف زیرساخت‌ها و بنیه مالی مورد توجه قرار گرفته است (فولر و راکستروم، ۲۰۰۱ و جوزف و ایسهاکو، ۲۰۱۵).

می‌بایستی اصلاح و رفع گردد. این امر به ویژه در خاک‌های به شدت تخریب شده یا تخلیه شده ضروری است. اقدامات مورد نیاز می‌تواند شامل استفاده از زیرشکن برای از بین بردن تراکم خاک، تسطیح اراضی و استفاده از کود سبز و کود شیمیایی باشد. در سال‌های اولیه خاک ورزی حفاظتی، تمرکز بر کنترل علف‌های هرز، مدیریت محصول و بقایای محصول پوششی و پایش ورود آفت و بیماری از اهمیت خاصی برخوردار است.

لازم به ذکر است که خاک‌های تحت کشت کشاورزی حفاظتی به مرور زمان بهبود می‌یابند. بدین اعتبار، خاک‌های تخریب شده، تحت شرایط کشاورزی حفاظتی، به خاک بارور تبدیل می‌شود؛ به عبارت دیگر، با پیشرفت و تشدید فرآیندهای تخریب خاک به ویژه فرسایش، توان تولیدی خاک پیوسته کاهش می‌یابد و بالعکس، عملیات بهسازی و حفاظتی خاک توان تولیدی خاک^۱ (باروری خاک) - گنجایش خاک برای تولید یک یا چند محصول خاص در یک سامانه مدیریتی مشخص - را افزایش می‌دهد (دوان و همکاران، ۲۰۱۱ و لعل، ۲۰۱۵). در واقع باروری خاک کارکرد کیفیت خاک (برآیند وضعیت حاصلخیزی شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک)، مدیریت خاک و شرایط آب و هوایی می‌باشد. لذا، سه مولفه‌ی کیفیت خاک که پیشتر ذکر شد، به شدت متاثر از نوع مدیریت اعمال شده در سامانه‌های مختلف کشت می‌باشد که با اندازه‌گیری شاخص‌های آن می‌توان به روند تخریب خاک و یا بالعکس، احیاء و بهبودی خاک و در نهایت باروری بالفعل و بالقوه خاک پی برد (لعل، ۱۹۹۴؛ لیبینگ و همکاران، ۲۰۰۴ و ورهولست و همکاران، ۲۰۱۰). به بیان دیگر، چنانچه سامانه‌های پایدار فصل مشترک مدیریت خاک (خاک ورزی حفاظتی، مدیریت عناصر غذایی، کشت پوششی و ...)، مدیریت محصول (تناوب، بهبود ارقام یا گونه‌ها، سامانه‌های مبتنی بر لگوم و سامانه‌های جنگل - زراعت) و مدیریت آب (حفاظت آب در منطقه ریشه، بهبود بهره‌وری مصرف آب و ...) باشد؛

^۱ . Soil Productivity

جدول ۱- مقدار بالقوه ترسیب کربن در خاک در سامانه کشاورزی حفاظتی در آمریکا (لعل و همکاران، ۲۰۰۳)

راهبرد اتخاذ شده	عملیات	مقدار ترسیب کربن (تن کربن در هکتار در سال)
کاهش شدت خاک ورزی	کم خاک ورزی، بی خاک ورزی، خاک ورزی پوششی	۰/۲ - ۰/۴
افزایش برگشت بقایای گیاهی	استفاده از تناوب مناسب	۰/۱ - ۰/۳
	استفاده از گیاهان پوششی	۰/۱ - ۰/۳
	حذف آیش تابستانه	۰/۱ - ۰/۳
	مدیریت کودی	۰/۰۵ - ۰/۱۵
	آبیاری	۰/۰۵ - ۰/۱۵
ایجاد پوشش دائم	استفاده از کود دامی	۰/۱ - ۰/۶
	-	۰/۳ - ۰/۷

جدول ۲- مقایسه اثرات به کارگیری خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی) با خاک ورزی مرسوم و نیز حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک در مقابل برداشت بقایا بر برخی ویژگی‌های خاک (ورهولست و همکاران، ۲۰۱۰)

ویژگی های زیستی	بی خاک ورزی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم	حفظ بقایا
ماده آلی خاک در لایه سطحی	افزایش	افزایش
بخش فعال ماده آلی خاک	افزایش	افزایش
زیست توده میکروبی خاک	افزایش	افزایش
کرم های خاکی	افزایش	افزایش
ویژگی های فیزیکی		
ثبات خاکدانه ها	افزایش	افزایش
جرم مخصوص ظاهری	افزایش - تعداد کمی آزمایش کاهش رانشان داده است.	کاهش
نفوذپذیری	افزایش	افزایش
تبخیر	کاهش	کاهش
آب قابل استفاده گیاه	افزایش	افزایش
فرسایش و رواناب	کاهش	کاهش
ویژگی های شیمیایی		
نیتروژن کل	افزایش (متعاقب افزایش ماده آلی خاک)	افزایش
قابلیت استفاده فسفر	در لایه سطحی افزایش	کاهش یا افزایش بسته به کیفیت بقایا
قابلیت استفاده پتاسیم	در لایه سطحی افزایش	بسته به نوع بقایا
اسیدیته	اغلب کاهش	کاهش

توجه به نکات زیر در تغییر رویکرد از خاک ورزی مرسوم به خاک ورزی حفاظتی شایان توجه می باشد:

الف) تعداد محصولاتی که در سامانه بی خاک ورزی می توان از آنها استفاده نمود، عمدتاً شامل گندم، جو، پنبه، کلزا، سورگوم، ذرت، سویا و محصولات زراعی دانه ریز می باشند. هرچند که در مورد سایر محصولات تحقیقاتی در حال انجام است (تریپل و دیک، ۲۰۰۸).

ب) در مجموع بررسی ها نشان داده است که به کارگیری خاک ورزی حفاظتی در سال های خشک و بر روی خاک هایی با بافت سبک تا متوسط با شرایط زهکشی متوسط تا

خوب احتمال موفقیت بیشتری دارد. در این ارتباط می توان خاک ها را بر اساس ویژگی های زهکشی آنها برای تضمین موفقیت بیشتر در خاک ورزی حفاظتی تقسیم بندی نمود. هر چند که تحقیقات بیشتری در این زمینه لازم است.

پ) بهره وری بالا از به کارگیری سامانه های های نوین کشاورزی از جمله سامانه کاشت حفاظتی در اراضی بزرگ بیشتر محتمل است. لذا، خرد بودن اراضی و ادامه این فرآیند، تغییر رویکرد از کشاورزی سنتی به کشاورزی حفاظتی را بسیار محدود می سازد.

حاصل می‌گردد، مجدداً رعایت تناوب زراعی صحیح متناسب با شرایط خاک بر عرصه تولید از دهه پایانی قرن بیستم به شکل‌گیری مقوله توسعه پایدار در دستور کار قرار گرفت (کامکار و مهدوی دامغانی، ۱۳۹۱).

فواید رعایت تناوب زراعی به شرح زیر می‌باشد:

- تاثیر بر خاکدانه سازی، جرم مخصوص ظاهری، زیست توده‌ی میکروبی و نفوذ پذیری خاک.
- در سامانه‌های تک کشتی، معمولاً ساختمان خاک تخریب شده و جرم مخصوص ظاهری آن افزایش می‌یابد. این تغییرات سبب فشردگی بیشتر خاک و کاهش نفوذپذیری می‌گردد. از طرف دیگر، تناوب می‌تواند بر تداوم پوشش گیاهی، افزایش کارایی کودهای مصرفی، استفاده بهینه از آب، افزایش ماده آلی خاک و کاهش آفات و بیماری‌ها تاثیر داشته باشد. همچنین، استفاده از گیاهان خانواده لگوم در تناوب زراعی بسیار موثر می‌باشند؛ از گیاهان مزبور به صورت علوفه، غذای انسان و یا کود سبز استفاده می‌شود. اثرات مثبت این گیاهان بر جنبه‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک مشخص شده است (وودفاین، ۲۰۰۹).

عوامل موثر در انتخاب نوع تناوب

- انتخاب محصولات
- تعداد محصولاتی که ممکن است در یک دوره تناوبی کاشته شوند محدود است، به همین جهت دقت در انتخاب مجموعه محصولات مورد کاشت در یک مزرعه اهمیت زیادی دارد. عوامل موثر عبارت اند از:
- اقتصاد آب آبیاری، کارایی استفاده از زمین، کنترل فرسایش خاک، کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، توزیع نیروی انسانی و ماشین آلات و عوامل اقتصادی محصول.

اقتصاد آب آبیاری

در این ارتباط می‌بایستی به مقدار آب موجود در ماه‌ها و حتی هفته‌های گوناگون سال و انتخاب محصولات در انطباق با آن توجه نمود. نیاز گیاهان

(ت) پیشرفت و موفقیت در تولید محصول بی خاک ورزی به شدت وابسته به توسعه‌ی تجهیزات ویژه به خصوص کارنده‌ها و نیز علف کش‌های موثر می‌باشد؛ به ویژه این که در این روش، استقرار موفقیت آمیز گیاه در مراحل اولیه توسعه‌ی سامانه بی خاک ورزی، یک چالش بزرگ محسوب می‌شود. شایان ذکر است که تجهیزات مورد استفاده باید منطبق با شرایط خاکی هر پهنه باشد و تعمیم یک دستگاه به پهنه‌های دیگر ممکن است از کارایی لازم برخوردار نباشد.

به دلیل سنتی بودن عملیات خاک ورزی، برخی از موانع فرهنگی در یک ناحیه می‌توانند در فرآیند تغییر، ایجاد مزاحمت نمایند. این سدها عبارت‌اند از:

- عدم آگاهی در مورد فناوری، ترس از زیان اقتصادی و عدم توانایی در خرید تجهیزات. پس هرگونه تغییری مستلزم زمان است و به یک باره محقق نمی‌شود. مروجان باید در کارشان صبور باشند و بپذیرند که فناوری کشاورزی مرحله به مرحله مورد قبول واقع می‌شود، زیرا کشاورزان:
- باید با فناوری جدید احساس راحتی کنند،
- از سرمایه لازم برای سرمایه گذاری برخوردار باشند و نمی‌توانند اقدام به خطر بزرگ بکنند، به ویژه وقتی که فناوری برای آنان ناشناخته است (کرن و جانسون، ۱۹۹۳؛ فائو، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸؛ تریپلست و دیک، ۲۰۰۸ و لعل و استیوارت، ۲۰۱۵).

استفاده از تناوب زراعی صحیح

عملیات تناوب زراعی که از دیر باز توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گرفت، از دهه ۱۹۵۰ میلادی به تدریج به دلیل توجه به توسعه الگوهای تک کشتی، رو به افول نهاد؛ اما به دلیل تبعات منفی و مشکلات به وجود آمده مانند هجوم آفات و بیماری‌ها، کاهش حاصلخیزی خاک، تشدید فرسایش و شوری خاک، نیاز بیشتر به مصرف کودهای شیمیایی و سموم و کاهش عملکرد و نیز آگاه شدن از اینکه در نظام‌های تناوبی، عملکرد بیشتری در مقایسه با سامانه تک کشتی

کنترل فرسایش خاک

محصولات گوناگون نه تنها سطح زمین را به میزان همسان یا مشابهی پوشش نمی‌دهند، بلکه از نظر شکل و نحوه توزیع ریشه و نگهداری خاک سطحی، تفاوت‌های فاحشی با یکدیگر دارند و از لحاظ مقدار بقایای گیاهی که به خاک اضافه می‌کنند، متفاوت‌اند. بدین جهت میزان فرسایش آبی و بادی زمین تحت کشت محصولات گوناگون، بسیار متفاوت است. لذا، منظور نمودن گیاهانی در تناوب که با مقدار زیادی بقایای گیاهی، ریشه‌ی گسترده‌ی سطحی و با رشد رویشی وسیع، پوشش مناسبی بر سطح خاک ایجاد می‌کنند و خاک را نگه می‌دارند به ویژه گیاهان علوفه‌ای و غلات دانه ریز در جلوگیری و یا کاهش فرسایش خاک موثرند.

کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها

در تناوب زراعی چنانچه اکثر محصولات انتخاب شده از یک گروه باشند، علف‌های هرز خاصی توسعه یافته و کنترل آنها مشکل می‌گردد. بالعکس، تنوع محصولات از نظر زمان کاشت شرایط مناسبی را برای کنترل انواع علف‌های هرز به وجود می‌آورد. در رابطه با آفات و بیماری‌ها توجه شود که در بین مجموعه‌ی محصولات انتخاب شده، حتی الامکان میزبان مشترک یک آفت یا بیماری وجود نداشته باشد. هر چه اختلاف بین گیاهان انتخاب شده از نظر میزبانی آفات بیشتر باشد، احتمال توسعه‌ی یک آفت یا بیماری کمتر خواهد بود.

مختلف به آب آبیاری یکسان نیست، همچنین نیاز آبی گیاهان در زمان‌های گوناگون و دوره‌های رشد متفاوت است.

کارایی استفاده از زمین^۱

طول دوران رشد گیاهان یکساله معمولاً بین ۳ تا ۱۰ ماه می‌باشد. هر چه دوران حقیقی رشد (به غیر از دوران خواب) محصول طولانی‌تر باشد، انتظار می‌رود عملکرد بالاتری به دست آید. پس هرچه طول دوران رشد محصولات مورد کاشت طولانی‌تر و در نتیجه جمع دوران آیش‌های فصلی (نکاشت) در یک تناوب زراعی کوتاه‌تر باشد، کارایی استفاده از زمین (مجموع تعداد روزهای حضور گیاهان زراعی در تناوب به کل روزهای دوره تناوب) بیشتر خواهد بود، به عبارت دیگر در میان تناوب‌ها، تناوب‌های دارای آیش کمترین مقادیر کارایی استفاده از زمین را خواهند داشت (تومار و تیوار، ۱۹۹۰). در این باره، جلالی و اسفندیاری (۱۳۹۵)، گزارش نمودند که صرف نظر از نوع سامانه‌های زراعی به کار رفته، تناوب‌های دارای آیش، از کمترین مقادیر بهره‌وری استفاده از آب و کمترین کارایی استفاده از زمین برخوردار بودند (جدول ۳). لذا، به طور کلی استفاده از آیش به دلیل کارایی کم استفاده از زمین و نیز بهره‌وری آب مصرفی، در نظام‌های تناوبی قابل توصیه نمی‌باشد (جدول ۳). نتایج مشابهی در این مورد توسط امینی و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش شده است.

نکته‌ی دیگر در رابطه با کارایی استفاده از زمین این است که وجود گیاهانی با ریشه‌ی عمیق در بین محصولات انتخاب شده، از نظر جذب آب و عناصر غذایی از اعماق خاک بسیار مطلوب می‌باشد، این امر نه تنها بازیابی نهاده‌های مصرفی را امکان‌پذیر می‌سازد، بلکه از آلودگی آب‌های زیر زمینی می‌کاهد.

^۱ . Land Use Efficiency

جدول ۳- کارایی استفاده از زمین و میزان بهره‌وری آب در تناوب‌های گوناگون (جلالی و اسفندیاری، ۱۳۹۵)

تناوب ها	کارایی استفاده از زمین (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم در متر مکعب)
جو- ذرت- گندم	۴۸/۸	۱/۰۷
کلزا- آفتابگردان- گندم	۵۲/۶	۱/۰۵
آیش- چغندر قند- گندم	۳۳/۸	۰/۷۵
گندم- آیش- گندم	۲۰/۸	۰/۹۵
کلزا- آیش- گندم	۴۱	۰/۹۰
کلزا- ذرت- گندم	۵۳/۲	۱

توزیع نیروی انسانی

تلاقی زمانی کاشت، داشت و برداشت محصولات، سبب تراکم کاری در بعضی از زمان‌ها و بی استفاده ماندن نیروی انسانی و مکانیکی در برخی مواقع دیگر می‌گردد. هر چه مزرعه کوچکتر و سطح کاشت هر محصول کوچکتر باشد، عوامل توزیع نیروی انسانی و ماشین آلات نقش مهمتری در انتخاب محصولات پیدا می‌کنند. در صورت امکان، منظور سازی مجموعه‌ای از محصولات پاییزه، بهاره‌ی سرما دوست و بهاره‌ی گرما دوست در یک دوره تناوبی از لحاظ نیروی کار مطلوب می‌باشد. در صورتی که مساحت مزرعه بیش از توان کاری باشد، لازم است از طریق آیش گذاری زمین نسبت به ایجاد تعادل بین سطح عملیات و نیروی کار اقدام گردد.

عوامل اقتصادی

نوسان قیمت فروش بعضی از محصولات زیاد است. برخی از محصولات نیز آسیب پذیری زیادی نسبت به عوامل و سوانح طبیعی دارند. چنین محصولاتی از خطر زیادی برخوردارند. هر چه تنوع محصولات کاشته شده بیشتر باشد، خطر تولید کمتر بوده و شکست در تولید یک محصول ممکن است تا حدی با موفقیت در تولید سایر محصولات جبران گردد. در انتخاب مجموعه‌ای از محصولات جهت یک تناوب زراعی می‌بایستی آسیب پذیری اقتصادی و حساسیت هر محصول را نسبت به عوامل نامساعد محیطی در نظر گرفت (آینه بند، ۱۳۸۴ و قرینه و نادیان، ۱۳۸۹).

بدیهی است که متناسب با شرایط موجود در

منطقه به ویژه بالا بودن شوری خاک، الگوی تناوبی بایستی توسط متخصصان امر تعیین شود. شایان ذکر است که بهره‌برداری از زمین باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر دستیابی به حداکثر عملکرد، به منظور فراهم آمدن شرایط زیست آیندگان، آن را محافظت و از تخریب این منبع حیاتی جلوگیری نمود. لذا، شناخت پتانسیل تولید اراضی و اختصاص دادن آنها به بهترین و در عین حال پایدارترین نظام بهره‌برداری، از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از راه‌های دستیابی به موارد ذکر شده، ارزیابی تناسب اراضی- که قدمتی به اندازه‌ی آغاز تمدن بشری در دره‌های حاصلخیز و کنار رودخانه‌ها دارد- برای تیپ‌های بهره‌وری رایج در هر پهنه است. به بیان دیگر، هدف از مطالعات ارزیابی تناسب اراضی، استفاده بهینه و پایدار از هر زمین با بررسی‌های طبیعی، اجتماعی و اقتصادی آن اراضی است (قرینه و نادیان، ۱۳۸۹).

مدیریت ماده 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 ۰/۱ درصد (در صحراها) تا بیش از ۵۰ درصد وزنی در خاک‌های آلی (هیستوسول ها) می‌باشد.

عملیات کاهش دهنده ماده آلی خاک

عملیاتی که منجر به کاهش تولید ماده گیاهی (بیوماس گیاهی) می شود:

- استفاده از ارقامی با شاخص برداشت بالا. یکی از نتایج انقلاب سبز استفاده از گیاهان با عملکرد بالا، به جای گیاهان بومی بود. این گیاهان اغلب عملکرد دانه بالا ولی کاه کمتری دارند. این امر از نظر تولید خوب، اما از نظر ماده آلی و حفاظت خاک مناسب نیست.
- استفاده از گیاهان با طول دوره رویشی کوتاه.
- استفاده از سامانه های تک کشتی به جای چند کشتی که باعث کاهش تنوع زیستی می شود. در این سامانه حتی اگر از گیاهان علوفه ای که ریشه ی آنها به خوبی در خاک نفوذ می کنند، استفاده شود، با این وجود ترشحات ریشه ی آنها فقط تعداد کمی از گونه های میکروبی را به دور ریشه جمع می کند. در این شرایط تنوع صیادها کم می شود و فرصتی برای ازدیاد گونه های بیماری زا فراهم می شود که به گیاه آسیب می رسانند.
- استفاده از آیش بدون پوشش، به ویژه در تابستان.

کاهش تامین ماده آلی خاک از طریق:

- سوزاندن بقایای محصول (به عنوان بزرگترین منبع تامین کننده ماده آلی خاک)، جنگل ها و مراتع.
- چرای بیش از حد.
- برداشت بقایای محصول به منظور استفاده در سایر امور،
- و افزایش تجزیه ماده آلی به شرح زیر:
- خاک ورزی. عملیات خاک ورزی مرسوم یکی از مهمترین عوامل کاهش دهنده میزان ماده آلی خاک است. تجزیه ماده آلی و آزاد سازی کربن، فرآیندی هوازی است. اکسیژن در این فرآیند باعث تشدید فعالیت میکروب ها که ماده آلی را مورد تغذیه قرار می دهند، می شود؛ به عبارت دیگر، با هر بار خاک ورزی تماس بقایای گیاهی با میکروب ها زیاد می شود و تهویه نیز افزایش می

یابد (نسبت اکسیژن به دی اکسید کربن زیاد می شود). در این شرایط شدت تجزیه سریع تر شده که نتیجه اش تشکیل هوموس با پایداری کمتر و نیز آزاد سازی دی اکسید کربن به اتمسفر است؛ اما چنانچه بقایای گیاهی در سطح خاک باقی بمانند (با تغییر سامانه از خاک ورزی مرسوم به کم خاک ورزی و یا بی خاک ورزی)، تماس بقایا با میکروب ها کمتر، بنابراین تجزیه نیز کندتر صورت می گیرد (نسبت دی اکسید کربن به اکسیژن بیشتر است). در این حالت هوموس پایدار تشکیل می شود.

- زهکشی. در مقایسه با خاک های خوب تهویه شده، در خاک هایی که اکسیژن وجود ندارد و یا کم است، تجزیه ماده آلی آهسته تر است.
- نیتروژن زیاد. نیتروژن زیاد باعث تشدید فعالیت میکروب ها به ویژه وقتی که نسبت کربن به نیتروژن ماده آلی زیاد است، می شود و در نتیجه سرعت تجزیه ماده آلی افزایش می یابد.

عملیات افزایش دهنده ماده آلی خاک

افزایش تولید ماده گیاهی از طریق:

- آبیاری. مقدار آب قابل استفاده برای رشد گیاه، اولین عامل کنترل کننده تولید ماده گیاهی است.
- کوددهی کافی و متعادل باعث افزایش تولید بیوماس گیاهی می شود.
- استفاده از گیاهان پوششی. فواید این اقدام عبارت است از: جلوگیری از فرسایش خاک با قوام و پوشش دادن سطح خاک و اضافه کردن مواد گیاهی به خاک. برخی از آنها نظیر چاودار، از شستشوی عناصر غذایی از طریق پیوند زدن آنها به هم جلوگیری می کند، تعدادی از آنها مثل لگوم ها، منجر به تثبیت نیتروژن برای گیاه بعدی می شوند، بیشتر آنها محلی برای تجمع حشرات و دیگر موجودات مفید هستند، تعدیل کننده درجه حرارت خاک هستند که از این طریق بر فعالیت ریزجانداران خاک اثر می گذارد. طیفی از گیاهان دانه ای، لگوم و محصولات روغنی می توانند به عنوان گیاه پوششی عمل کنند. در یک تناوب لازم است که شروع آن، یک

پیشنهادهای ترویجی

بررسی شرایط حاکم بر کشاورزی مملکت نشان می‌دهد که محدودیت‌های زیاد و در عین حال پیچیده‌ای وجود دارد که نیازمند رویکردی جامع در کاهش آنها می‌باشد؛ که از جمله می‌توان به کاهش اراضی قابل کشت، محدودیت منابع آب و رشد جمعیت اشاره نمود؛ بنابراین لازمه‌ی موفقیت، به کارگیری مدیریت‌ها و فن‌های (تکنیک‌های) مرتبط با آنچه پیشتر ذکر گردید و نیز تداوم و تشریک مساعی تمامی بخش‌های مرتبط با تامین امنیت غذایی به عنوان یک وظیفه حاکمیتی می‌باشد؛ بنابراین، ضمن کاربست آنچه در چارچوب مدیریت پایدار اراضی و برخی زیر مجموعه‌های آن ذکر گردید، موارد ذیل نیز شایان توجه است:

- ۱- افزایش ضریب امنیت غذایی، مستلزم جلوگیری از روند تخریب خاک به عنوان یکی از منابع طبیعی ملی کشور می‌باشد.
- ۲- سرمایه‌گذاری در جهت تامین ماشین‌های کشاورزی (کارنده‌های) مناسب، جهت به کارگیری بهتر در شرایط بی خاک ورزی.
- ۳- استفاده بهینه از نهاده‌های تولید بر مبنای دانش کشاورزی مربوطه، از جمله مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک.
- ۴- یکپارچه سازی اراضی کشاورزی، به منظور بالا بردن بهره‌وری از نهاده‌ها و اعمال عملیات مدیریتی بهبود یافته.
- ۵- استفاده از اراضی بر مبنای قابلیت و استعدادشان، با به کارگیری علم تناسب کاربری اراضی و تعیین الگوی کشت، منطبق با شرایط هر پهنه.
- ۶- جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و مراتع به عنوان یکی از شاخص‌های پایداری خاک.
- ۷- تهیه بستر مناسب برای کمک به انتشار یافته‌های پژوهشی در مزرعه و نیز آموزش بهره‌برداران و فراهم نمودن امکانات دسترسی به خدمات مشاوره‌ای در زمینه کشاورزی حفاظتی.

گیاه پوششی باشد که سطح خاک را بپوشاند و بعد با اضافه شدن بقایای آن به خاک چون نسبت کربن به نیتروژن زیادی دارد، عمل تجزیه به آهستگی صورت می‌گیرد و هم به دلیل سیستم ریشه دهی متراکمی که دارند، در بهبود سریع ساختمان خاک در تناوب موثرند (در این مرحله غلات مناسب هستند). در سال بعد، می‌توان لگوم را وارد تناوب نمود. لگوم‌ها، نیتروژن را تثبیت و به دلیل پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن، سریع تجزیه می‌شوند. بعد از ثبات در سامانه در این حال می‌توان از گیاهان پوششی که صرفه‌ی اقتصادی دارند، استفاده نمود.

- تنوع در سامانه‌ی تناوبی (استفاده از سامانه تناوبی با بیوماس زیاد).
- استفاده از تراکم مناسب گیاهی هنگام کشت.
- معرفی گیاهانی که بیوماس بیشتری تولید می‌کنند.
- محدودیت در چرای دام.

افزایش تامین ماده آلی خاک به شرح زیر:

- جلوگیری از آتش زدن بقایای گیاهی (به عنوان بزرگترین منبع تامین کننده ماده آلی خاک)، کنترل آفات و جوندگان و استفاده از منابع مختلف ماده آلی نظیر کود دامی. کودهای دامی بهتر است قبل از مصرف پوسیده باشند تا نسبت کربن به نیتروژن کاهش یابد؛ زیرا اگر نسبت مذکور بالا باشند، به طور موقت نیتروژن غیر متحرک می‌شود. هر چند که نقش کود حیوانی بیشتر تغذیه‌ای می‌باشد.
- استفاده از کمپوست. نقش کمپوست بیشتر در اثرگذاری بر ویژگی‌های فیزیکی خاک است. فرآیند موفقیت کمپوست سازی بستگی به قابلیت دسترسی کافی به مواد آلی، آب، کود حیوانی و کارگر ارزان دارد.
- کاهش شدت تجزیه ماده آلی از طریق حذف یا کاهش عملیات خاک ورزی و استفاده از گیاهان پوششی (استینر، ۲۰۰۲؛ وزارت کشاورزی آمریکا، ۲۰۰۳؛ دیویس و ویلسون، ۲۰۰۵؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۶ و اولسون و همکاران، ۲۰۱۰).

فهرست منابع

- ۱- آسو دار، م. ا.، ف. زلّقی و س. ع. شهرستانی. ۱۳۹۶. اصول مدیریت بقایای گیاهی، خاک ورزی و تناوب در کشاورزی حفاظتی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی. ۴۷ ص.
- ۲- آینه بند، ا. ۱۳۸۴. تناوب محصول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ایران. ۴۰۷ ص.
- ۳- احسانی، م و ه. خالدی. ۱۳۸۳. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تامین امنیت آبی و غذایی کشور. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ص ۶۷۴-۶۵۷.
- ۴- بولتن خبری انجمن علوم خاک ایران. ۱۳۹۰.
- ۵- بی نام. سایت مرکز آمار ایران. ۱۳۹۸.
- ۶- جلالی، ا. ه. و ح. اسفندیاری. ۱۳۹۵. تاثیر سامانه‌های خاک ورزی و تناوب‌های زراعی مختلف بر عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.). تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی). جلد ۳۹، شماره ۲. ص ۵۶-۴۳.
- ۷- شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۹۴. بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی کشور تا پایان سال آبی ۹۳-۱۳۹۲. دفتر مطالعات پایه منابع آب، گروه آب‌های زیرزمینی.
- ۸- صفایی، ح. ۱۳۹۵. گذشته، حال و آینده نظام‌های بهره‌برداری آب و کشاورزی در ایران. دومین کنگره تخصصی مهندسی و مدیریت آب و خاک ایران. کرج، پردیس دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۹- قرینه، م. ح. و ح. نادیان. کشاورزی پایدار. ۱۳۸۹. انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. ۴۲۲ ص.
- ۱۰- قیومی محمدی، ح. ۱۳۹۳. بررسی ابعاد مکانی و روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی روی تراس‌های آبرفتی زاینده رود (زیرحوضه مرغاب). گزارش نهایی شماره ۱۸۶۱. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- ۱۱- قیومی محمدی، ح. ۱۳۷۹. هشدار در مورد تبدیل اراضی کشاورزی به شهری، مطالعه موردی اصفهان. مجله خاک و آب، جلد ۱۴، شماره ۲. ص ۱۶۳-۱۵۴.
- ۱۲- کامکار، ب و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۹۱. مبانی کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ایران. ۳۱۶ ص.
- ۱۳- موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۹۳. گزارش مبانی و ارکان برنامه راهبردی موسسه تحقیقات خاک و آب در سال ۱۳۹۳. حوزه معاونت پژوهشی.
- ۱۴- مومنی، ع. ا. فرج نیا، م. ح. طاهرزاده و م. جمشیدی. ۱۳۸۶. بررسی ابعاد جغرافیایی و پتانسیل تولید اراضی کشاورزی تغییر کاربری یافته در اثر توسعه بی برنامه کلان شهرهای ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۶. ۳۶-۳ ص.
- 15- Aminifar, J., M. Ramroudi, M. Galavi and G. Mohsenabadi. 2017. Productivity and economic efficiency of wheat in rotation with cotton. Iran Agricultural Research. 36 (2):55-60.
- 16- Ardakanian, R. 2003. An overview of water management in Iran. Dushanbeh International Fresh Water Forum. Tajikistan.
- 17- Branca, G., L. Lipper, N. McCarty and M. C. Jolejole. 2013. Food security, climate change, and sustainable land management: A review. Agronomy Sustainable Development. 33: 635-650.
- 18- Davis, J. G., and C. R. Wilson. 2005. Choosing a soil amendment. Clorado State University Etension.

- 19- Duan, X., X. Yun, T. Ou and Lu. Hongmei. 2011. Effects of soil erosion on long- term soil productivity in the black soil region of Northeast China. *Journal of Geography Science*.
- 20- FAO. 2008. The state of food insecurity in world 2008: high food prices and food security and opportunities. (Roma, FAO).
- 21- FAO. 2008. Adoption of conservation agriculture. (Roma, FAO).
- 22- FAO. 2000. Conservation tillage: the end of plough?. (Roma, FAO).
- 23- Fowler, R., and J. Rockstrom. 2001. Conservation tillage for sustainable agriculture-an agrarian revolution gathers momentum in Africa. *Soil and Tillage Research*. 61:93-107.
- 24- Joseph, X. K., and Z. Issahaku. 2015. Effects of soil conservation technologies in improving soil productivity in northern Ghana. *Journal of Soil Science and environmental Management*. 6 (6): 158-167.
- 25- Kern, J. S., and M. G. Johnson. 1993. Conservation tillage impact on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society American Journal*. 57: 200-210.
- 26- Lal, R., and B. A. Stewart (Eds.). 2015. *Soil management of smallholder agriculture*. CRC Press. Tylor and Francis Group. Pp 420.
- 27- Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*.7: 5875-5895.
- 28- Lal, R., R. F. Follet, B. A. Stewart and J. M. Kimble. 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*.172: 973- 956.
- 29- Lal, R., R. F. Follet and J. M. Kimble. 2003. Achieving soil carbon sequestration in the United States: a challeng to policy makers. *Soil Science*. 168: 827- 845.
- 30- Lal, R. 1994. *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics*. SMSS Technical Monograph, No. 21, Washington, DC.
- 31- Liebig, M. A., D. L. Tanaka and B. J. Wienhold. 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. *Soil and Tillage Research*. 78: 131-141.
- 32- Loveland, P., and J. Webb. 2003. "Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions?: a review". *Soil and Tillage Research*. 70: 1-18.
- 33- Olson, K. R., S. A. Ebelhar and J. M. Lang. 2010. Cover crops effects on crop yields and soil organic content. *Soil Science*. 175 (2):89-98.
- 34- Scherr, S. 1999. *Soil degradation: A threat to developing- country food security by 2020?*. International Food Policy Research Institute. Washington, U.S.A.
- 35- Siebert, S., J. Burke, J. Faures, K. Frenken, J. Hoogeeveen, P. Doll and T. Portman. 2010. Ground water use for irrigation- a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*. 14: 1863- 80.
- 36- Singh, B. R., R. C. Dalal and R. Lal. 2006. *Integrated nutrient management*. Encyclopedia of Soil Science.
- 37- Steiner, K. 2002. *Crop residue management and cover crops*. African Conservation Tillage Network. Information Services No.3.
- 38- Tomar, S., and A. Tiwar. 1990. Production potential and economics of different crop sequences. *Indian Journal of Agronomy*. 32: 30-35.
- 39- Triplett Jr, G. B., and W. A. Dick. 2008. No-tillage crop production: A revolution in agriculture. *Agronomy Journal*.100: 153-165.
- 40- USDA. 2003. *Managing soil organic matter*. Technical Note No.5. [www. Soils.usda.gov](http://www.Soils.usda.gov)
- 41- Verhulst, N., B. Govaerts, E. Verachttert, A. Castellanos-Navarrete, M. ezzalama, P. Wall, J. Deckers and K. D. Sayre. 2010. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 137–208.
- 42- Woodfine, A. 2009. *The potential of sustainable land management practices for climate change mitigation and adaptation in sub - Saharan Africa*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

کاربرد کودهای کندرها یا با رهایش کنترل شده فسفری، راهکاری برای افزایش کارایی فسفر و کاهش مخاطرات زیست محیطی

نصرت اله نجفی^۱

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. n-najafi@tabrizu.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۸ و پذیرش: آبان ۱۳۹۹

چکیده

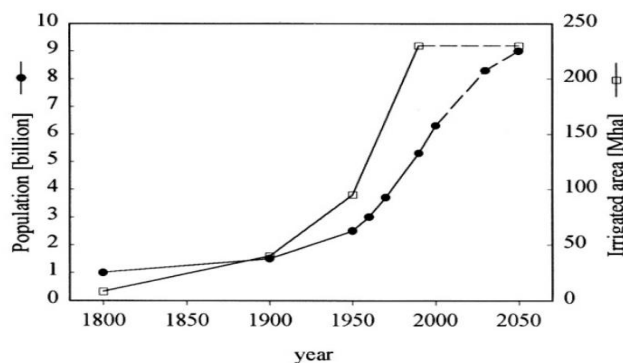
فسفر یکی از عناصر غذایی پرمصرف مورد نیاز گیاهان است و کمبود آن در بسیاری از خاک‌های کشاورزی جهان وجود دارد. برای درمان کمبود فسفر از کودهای فسفر استفاده می‌شود که کارایی مصرف آن‌ها کم بوده و پدیده غنی‌شدن آب‌ها و آلودگی محیط‌زیست را نیز به‌طور گسترده ایجاد کرده است. از طرف دیگر، کودهای فسفر از ذخایر محدود و تجدیدنپذیر سنگ فسفات تولید می‌شوند که با گذشت زمان مقدار آن کم شده و قیمت آن گران‌تر می‌شود. این در حالی است که نیاز به مصرف کودهای فسفر برای تأمین غذای مورد نیاز جمعیت در حال رشد جهان زیاد می‌شود. بنابراین، مدیریت کودهای فسفر یک عامل کلیدی در تولید محصولات کشاورزی است. برای بهبود کارایی مصرف فسفر و رشد گیاهان و کاهش مخاطرات محیط‌زیست، استفاده از کودهای کندرها و با رهایش کنترل شده فسفر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کود کندرها یا با رهایش کنترل شده به کودی گفته می‌شود که سرعت حل شدن آن در آب کم‌تر از کودهای محلول در آب رایج بوده و مدت طولانی‌تری عناصر غذایی را به ریشه گیاهان عرضه می‌کند. برخلاف کود کندرها، کود با رهایش کنترل شده طوری ساخته می‌شود که سرعت، مدت و الگوی رهایش عنصر غذایی خوب کنترل شده باشد. برای تهیه کودهای کندرها یا با رهایش کنترل شده از چندین روش استفاده می‌شود: (۱) استفاده از مواد پوشش‌دهنده؛ این مواد به چند گروه تقسیم می‌شوند: ۱- پلیمرها (شامل پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مانند کیتوسان، پلیمرهای ابرجاذب آب، کوپلیمرهای پلی‌وینیلیدن کلراید، پلی‌اولفین‌ها، پلی‌اورتان‌ها، رزین‌های اوره-فرمالدئید، پلی‌استرها و رزین‌های آلکید)، ۲- گوگرد، ۳- گوگرد-پلیمر، ۴- اسیدهای آلی، ۵- روغن پارافین، ۶- رس‌ها، ۷- خاکستر بادی؛ (۲) تهیه کودهای کندرها از موادی با حل‌پذیری کم یا سرعت معدنی‌شدن کم، (۳) تبدیل سنگ فسفات به کود کندرها با روش‌های مختلف مانند اسیدی کردن جزئی و استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات، (۴) تولید کودهای کندرها با استفاده از فناوری نانو، (۵) تولید کودهای کندرها با استفاده از هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای، بیوجار و هیدروچار بارگذاری شده با فسفات، (۶) تهیه کود کندرها با استفاده از خاکستر بادی. در این مقاله روش‌های تهیه کودهای کندرها با روش‌های آن‌ها بر کارایی مصرف فسفر و رشد گیاهان مختلف شرح داده می‌شود. به‌طور کلی، با مصرف کودهای کندرها یا با رهایش کنترل شده فسفر در خاک‌های کشاورزی، کارایی مصرف فسفر و رشد گیاهان بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فسفر، فناوری نانو، کارایی مصرف، کود کندرها

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت مردم جهان، برای تأمین غذای مورد نیاز بشر باید میزان تولید محصولات کشاورزی افزایش یابد. برای دستیابی به این هدف، دو راه وجود دارد یکی افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و دیگری افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح. بررسی‌ها نشان می‌دهد درحالی‌که سطح زمین‌های فاریاب جهان از حدود سال ۱۹۹۰ به بعد ثابت مانده است، جمعیت مردم جهان افزایش یافته و تا سال ۲۰۵۰ به حدود نه میلیارد نفر خواهد رسید (شکل ۱؛ پیتمن و لاجلی، ۲۰۰۲). ثابت ماندن سطح زمین‌های فاریاب دنیا به دلیل محدودیت منابع

آب، شوری خاک‌ها و آب‌ها، شیب زیاد زمین‌ها و غیره است؛ بنابراین، برای تأمین غذای مورد نیاز بشر لازم است تولید در واحد سطح افزایش یابد. برای افزایش تولید در واحد سطح می‌توان از راه‌های مختلفی استفاده کرد. در این میان، مصرف صحیح و متناسب انواع کودها مهم‌ترین و اساسی‌ترین راه حفظ و اصلاح حاصلخیزی خاک و افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی است. بررسی‌های سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) نشان می‌دهد که طی سه دهه (از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰) مصرف کودها تولید محصولات کشاورزی را در جهان بیش از ۵۵ درصد افزایش داده است (حمداله، ۲۰۰۰).



شکل ۱- افزایش جمعیت مردم جهان و سطح زمین‌های فاریاب (پیتمن و لاجلی، ۲۰۰۲)

فسفر یکی از عناصر غذایی پرمصرف ضروری برای گیاهان است که کمبود آن در جهان بعد از نیتروژن بیش‌ترین گسترش را دارد. فسفر در ساختمان اسیدهای نوکلئیک (DNA و RNA)، فسفولیپیدها، آدنوزین تری‌فسفات (ATP) و آدنوزین دی‌فسفات (ADP) شرکت داشته و برای تشکیل این ترکیب‌ها ضروری است. فسفر نقش بسیار مهمی در ذخیره و انتقال انرژی دارد. برای رفع کمبود فسفر در بسیاری از خاک‌های جهان از کودهای شیمیایی فسفر استفاده می‌شود که به‌سهولت در آب خاک حل شده و غلظت فسفر محلول و قابل جذب گیاه در خاک و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹؛ مارشنر، ۲۰۱۲). با این حال، مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه فسفر و نیتروژن پدیده

غنی‌شدن^۱ آب‌ها را نیز به‌طور گسترده ایجاد کرده است (دادز و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویدرز و همکاران، ۲۰۱۴). برای کاهش غنی‌شدن آب‌ها باید از ورود فسفر و نیتروژن به آب‌ها جلوگیری کرد (کانلی و همکاران، ۲۰۰۹). تبدیل فسفر از شکل‌های محلول و قابل جذب به شکل‌های غیرقابل جذب گیاه در خاک و هدررفت آن از طریق روان آب‌ها سبب می‌شود کارایی مصرف کودهای فسفر خیلی کم (حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد) باشد (مالهی و همکاران، ۲۰۰۰). پس از مصرف دانه‌های کود فسفر در خاک، کود در آب خاک حل شده و بر اثر دو سازوکار جریان توده‌ای و پخشیدگی به پیرامون دانه کود حرکت می‌کند. این فسفر محلول می‌تواند رسوب نموده و از دسترس ریشه گیاه

^۱- Eutrophication

خارج شود (مک‌لاقلین و همکاران، ۲۰۱۱). مطلبی فرد و همکاران (۱۳۹۳) گزارش دادند که با گذشت زمان پس از مصرف کود سوپرفسفات تریپل در خاک مقدار فسفر قابل جذب گیاه در خاک کاهش می‌یابد و این کاهش با مصرف کود روی سولفات و خشک و مرطوب شدن خاک تشدید می‌شود. خاک‌های اسیدی کود فسفر را بیش‌تر از خاک‌های آهکی تثبیت کرده و به شکل‌های غیرقابل جذب گیاه در خاک تبدیل می‌کنند (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹). نجفی و توفیقی (۱۳۹۰) با بررسی بازیابی کود فسفر در خاک‌های شالیزاری شمال ایران گزارش دادند که درصد بازیابی فسفر در خاک‌های آهکی از خاک‌های اسیدی بیش‌تر بود.

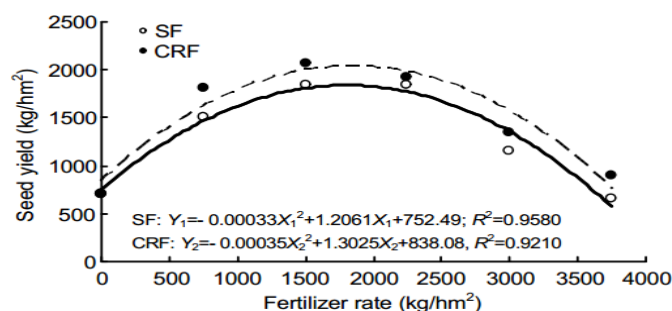
غلظت فسفر کل خاک‌ها از ۰/۰۰۵ تا ۰/۱۵ درصد تغییر می‌کند (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹). غلظت فسفر کل خاک‌های استان آذربایجان شرقی به‌طور میانگین ۷۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه فسفر یک عنصر غذایی پرمصرف به‌وسیله گیاهان است، سال‌های متمادی کشت گیاهان و برداشت و خارج شدن فسفر به‌وسیله آن‌ها، آبشویی و روان‌آب، سبب تخلیه خاک‌ها از فسفر شده است (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹) به‌طوری‌که طبق گزارش شهسازی و بهارتنی (۱۳۹۲) مقدار فسفر قابل جذب گیاه در ۷۱/۸ درصد خاک‌های ایران از سطح بحرانی ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کمتر بوده و لازم است کودهای فسفر در خاک مصرف شوند. این درحالی است که کودهای شیمیایی فسفر از ذخایر محدود و تجدیدنپذیر سنگ فسفات تولید می‌شوند. حدود ۹۰ درصد سنگ فسفات استخراج شده در کشاورزی استفاده می‌شود. ذخایر سنگ فسفات با کیفیت خوب در جهان با گذشت زمان کم شده و قیمت آن گران‌تر و در نهایت تمام می‌شود. از طرف دیگر، تولید این کود در جهان فقط به‌وسیله چند کشور مانند مراکش، چین و غیره انجام می‌شود. همچنین، بروز مشکلات سیاسی در روابط بین کشورها می‌تواند دسترسی به منابع فسفر جهان را محدود کند. از طرف دیگر،

عدم وجود زیرساخت‌های مناسب برای تولید کود و کمبود ارز برای خرید و توزیع کود در هر کشوری می‌تواند تغذیه فسفر گیاهان را با مشکل مواجه سازد (کوردل و همکاران، ۲۰۰۹؛ ریچندرز، ۲۰۱۴). این درحالی است که با رشد جمعیت مردم جهان و تخلیه خاک‌ها از فسفر، نیاز به مصرف کودهای فسفر برای افزایش تولید محصولات کشاورزی و غذای بیش‌تر رو به افزایش است (مارشنر، ۲۰۱۲)؛ بنابراین، این نگرانی وجود دارد که در کشورهایی که ذخایر سنگ فسفات ندارند یا کم دارند، افزایش قیمت کودهای فسفر یا محدودیت آن‌ها امنیت غذایی بشر را در آینده تهدید نماید (السر و همکاران، ۲۰۱۴؛ کوردل و نست، ۲۰۱۴). لذا، مدیریت کودهای فسفر یک عامل کلیدی در تولید محصولات کشاورزی است. با کاهش منابع غیرقابل تجدید فسفر، نیاز به مصرف بهینه این کودها و تلاش برای جایگزین کردن آن‌ها با مواد تجدیدپذیر، بیش‌تر احساس می‌شود. با توجه به فرایندهای تثبیت فسفر در خاک و تبدیل کودهای فسفر به شکل‌های غیرقابل جذب گیاه در خاک، مقدار کودهای فسفر مصرف شده در خاک‌ها بیش‌تر از میزان نیاز گیاهان می‌باشد. برای بهبود فراهمی فسفر و افزایش کارایی مصرف کودهای فسفر، استفاده از کودهای کندرهای فسفر یا با رهایش کنترل شده^۱ با استقبال پژوهشگران مواجه شده است (مک‌لاقلین و همکاران، ۲۰۱۱). کود کندرها به کودی گفته می‌شود که سرعت حل شدن آن در آب خاک کم‌تر از کودهای محلول در آب می‌باشد. این کودها مدت طولانی‌تری عناصر غذایی را به ریشه گیاهان عرضه می‌کنند. کودهای با رهایش کنترل شده از این نظر با کودهای کندرها تفاوتی ندارند اما برخلاف کودهای کندرها، کودهای با رهایش کنترل شده طوری تهیه می‌شوند که سرعت، الگو و مدت رهایش عنصر غذایی از آن‌ها خیلی خوب کنترل شده باشد (ترنکل، ۲۰۱۰). کودهای کندرها از دو راه (۱) بهبود فراهمی عناصر غذایی در نظام خاک-گیاه با اثر بر رقابت و یا بر همکنش میان

^۱-Slow/controlled-release fertilizer (SRF/CRF)

ریشه‌های گیاه، ریزجاندانان خاک، واکنش‌های شیمیایی و مسیرهای هدررفت و (۲) هم‌زمانی رهایش عناصر غذایی با نیاز گیاه، جذب عناصر غذایی و رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (شاویو و مایکلسن، ۱۹۹۳)؛ بنابراین، از کودهای کندرها برای افزایش کارایی مصرف کودها، کاهش مصرف کودها و بهبود کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (شوجی، ۲۰۰۵). یکی دیگر از مزیت‌های کودهای کندرها نسبت به کودهای محلول رایج، شوری کم ناشی از آن‌ها است. به عبارت دیگر، کودهای کندرها EC محلول خاک را کم‌تر از کودهای محلول رایج افزایش می‌دهد. همچنین، زیادی کودهای کندرها نسبت به کودهای محلول کم‌تر گیاهان را مسموم می‌کند (دیویدسون و گو، ۲۰۱۲). به علاوه، این کودها نسبت به کودهای محلول بر جمعیت میکروبی خاک و همزیستی قارچ‌های میکوریز اثرهای منفی کم‌تری دارد (الوش و کلارک، ۲۰۰۱؛ وان گیل و همکاران، ۲۰۱۶)؛ درحالی‌که مصرف کودهای شیمیایی فسفر سبب کاهش کلنیزه‌شدن ریشه‌ها با قارچ‌های میکوریز می‌شود (کاهیلوتو و همکاران، ۲۰۰۰؛ گاسلینگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ وان گیل و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، تأثیر کودهای آلی فسفر بر میزان کلنیزه‌شدن ریشه‌ها با قارچ‌های میکوریز به سرعت معدنی‌شدن فسفر بستگی دارد. اگر سرعت معدنی‌شدن زیاد نباشد، مصرف کود آلی

فسفر سبب افزایش کلنیزه‌شدن ریشه‌ها می‌شود (گریندلر و همکاران، ۲۰۰۶)؛ اما اگر سرعت معدنی‌شدن زیاد باشد، فسفر قابل جذب گیاه در خاک زیاد شده و بر جمعیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تأثیر منفی می‌گذارد (سینز و همکاران، ۱۹۹۸). به‌هرحال، تولید و مصرف کودهای کندرها فسفر به‌صورت تجارتي در ایران رایج نیست اما در برخی کشورها مانند چین این کار انجام شده است. برای مثال، در یک پژوهش مزرعه‌ای اثر کود کندرها بر تجارتي فسفر (تولیدشده به‌وسیله یک شرکت چینی) بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه کلزا طی دو سال بررسی و مشاهده شد که جذب فسفر به‌وسیله گیاه کلزا و عملکرد دانه آن در تیمار کود فسفر کندرها بیش‌تر از کود فسفر محلول بود. با افزایش مقدار کود فسفر عملکرد دانه و جذب فسفر به‌وسیله گیاه ابتدا افزایش و پس از رسیدن به یک بیشینه، کاهش یافت (شکل ۲). باتوجه به مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده در شکل (۲)، بیشینه عملکرد دانه با مصرف ۱۸۲۷ کیلوگرم کود محلول و ۱۸۶۱ کیلوگرم کود کندرها فسفر حاصل شد که نشان می‌دهد در مورد کود کندرها عملکرد در سطوح بالاتر فسفر نسبت به کود محلول کاهش یافت. همچنین، کارایی مصرف کود فسفر با افزایش مقدار کود کاهش یافت (تیان و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۲- اثر مقدار کود فسفر از دو منبع کود کندرها (CRF: controlled-release fertilizer) و کود محلول (SF: soluble fertilizer) بر عملکرد دانه (تیان و همکاران، ۲۰۱۶)

روش‌های کندرها نمودن کودهای شیمیایی محلول

عامل‌هایی که سبب کندرها شدن یک کود می‌شوند عبارتند از: (۱) وجود یک ماده پوشش‌دهنده با

حل‌پذیری کم یا سرعت معدنی‌شدن کم، (۲) حل‌پذیری کم مواد تشکیل‌دهنده کود، (۳) سرعت معدنی‌شدن کم مواد تشکیل‌دهنده کود (گواریکر و همکاران، ۲۰۰۹)؛

تبدیل کود سوپرفسفات تریپل به یک کود کندها با استفاده از آتاپولگیت

آتاپولگیت^۵ یا پالیگورسکیت^۶ یک کانی رس طبیعی است که به دلیل ساختمان رشته‌رشته‌ای توری‌مانند با تعداد زیادی منافذ نانو، سطح ویژه، جذب سطحی، جذب و نگهداری آب و ظرفیت تبادل یونی زیادی دارد. این کانی اگر مرطوب شود، چسبنده و شکل‌پذیر و اگر خشک شود، کمی منقبض می‌شود (مورای، ۲۰۰۰). آتاپولگیت مقادیر کمی Mn و Ca , K , Fe , Mg , Al , Si داشته و ضمن تجزیه شدن می‌تواند این عناصر را رها نماید (زی و همکاران، ۲۰۱۰). این کانی در جهان ذخایر فراوانی داشته، قیمت آن کم بوده و دوست‌دار محیط‌زیست است؛ بنابراین، می‌توان از آن به‌عنوان یک ماده پوشش‌دهنده در تهیه کودهای مرکب کندها استفاده کرد. بررسی نشان داده است که کود سوپرفسفات تریپل با پوشش آتاپولگیت رفتار کندهایی داشته و رهایش فسفر به‌وسیله آن با نیاز گیاه ذرت در طول دوره رشد در یک منطقه نیمه‌خشک چین هم‌زمان گردید. استفاده از این کود کندها، کارایی مصرف کود فسفر را ۱۱/۰ تا ۲۶/۷ درصد نسبت به کود شیمیایی فاقد آتاپولگیت افزایش داد (گوان و همکاران، ۲۰۱۴).

پتاسیم متافسفات به‌عنوان یک کود کندهای فسفر

شاید قدیمی‌ترین کود کندهای فسفر، پتاسیم متافسفات (KPO_3) باشد که در سال ۱۹۶۹ در ایستگاه آزمایشی روتامستد انگلستان استفاده شد. در یک پژوهش در ایستگاه آزمایشی روتامستد اثر پتاسیم متافسفات (به‌عنوان یک کود کندها) و پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات (کود محلول) بر رشد نهال‌های کاج نروژی در دو خزانه با خاک شنی اسیدی بررسی گردید. کود کندهای فسفر از نظر درصد بازیابی فسفر و رشد گیاه بهتر از کود محلول بود چون میزان آبشویی فسفر از خاک شنی اسیدی

جوز، ۲۰۱۲). در «دانشنامه کود» مواد پوشش‌دهنده کودهای کندها به سه دسته تقسیم شده است هرچند این تقسیم‌بندی کامل نیست و همه مواد پوشش‌دهنده را شامل نمی‌شود (گواریکر و همکاران، ۲۰۰۹: ۱) پوشش‌های پلیمری (مانند کاپلیمرها یا هم‌بسپارهای پلی‌وینیلیدن کلراید (PVDC)، پلی‌اولفین‌ها، پلی‌اورتان‌ها، رزین‌های اوره-فرمالدئید، پلی‌استرها و رزین‌های آلکید)، (۲) پوشش‌های گوگردی، (۳) پوشش‌های گوگردی-پلیمری (پوشش چندلایه‌ای از گوگرد و پلیمر)؛ بنابراین، برای کندها نمودن کودها، آن‌ها را با مواد مختلفی مانند گوگرد، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلرید، لاتکس^۱، روغن جلا، رس‌ها و غیره پوشش می‌دهند (یان و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر^۲ (ویو و لیو، ۲۰۰۸؛ آئو و همکاران، ۲۰۱۳؛ جیا و همکاران، ۲۰۱۳؛ لوبکوسکی و همکاران، ۲۰۱۵)، پلیمرهای ابرجاذب^۳ آب (لیانگ و همکاران، ۲۵۰۰۷؛ تئودورسکو و همکاران، ۲۰۰۹)، پلیمرهای تجارتي (ما و همکاران، ۲۰۱۳)، لایه نازک اکسیدها (زانگ و همکاران، ۲۰۱۴b) و خاکستر بادی^۴ (دانگ و همکاران، ۲۰۱۶) به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده استفاده شده است. پوشش دادن کودها با پلیمرها سبب هم‌زمانی رهایش عناصر غذایی با نیاز گیاه شده و کارایی مصرف کود و عملکرد گیاهان را به‌طور معنادار افزایش می‌دهد (نلسون و همکاران، ۲۰۰۹). به‌هرحال، فرایند تولید کودهای کندها در کارخانه پیچیده بوده و قیمت آن‌ها نیز زیاد است (یان و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه‌براین، باقیمانده‌های این مواد مصنوعی در خاک‌ها رها شده و تجزیه آن‌ها نیز به‌سختی انجام می‌شود (نی و همکاران، ۲۰۱۲). در یک پژوهش با استفاده از پارافرمالددئید و کودهای پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات و اوره با روش ویژه‌ای کود کندهای NPK تهیه و در خاک مصرف شد و در مدت ۳۰ روز، ۹۱/۸ درصد از فسفر آن به محلول خاک رها شد (زائو و همکاران، ۲۰۱۰).

¹-Latex

²-Biodegradable polymers

³-Superabsorbent polymers

⁴-Fly ash

⁵-Attapulgite

⁶-Palygorskite

در تیمارهای کود فسفر کندرها کم تر بود (بنزیان و همکاران، ۱۹۶۹).

استفاده از کیتوسان در تهیه کودهای کندرهای فسفر

کیتوسان^۱ یک آمینوپلی ساکارید با ویژگی های منحصر به فرد از قبیل زیست تخریب پذیری، سازگاری با محیط زیست، سمیت کم و ضد حساسیت بوده و کاربردهای وسیعی در صنعت و پزشکی دارد. برای مثال، در داروسازی در انتقال و رهایش داروها از این ترکیب استفاده می شود (موریا و اینامدر، ۲۰۰۸؛ تویسرکانی و صداقت، ۱۳۹۱). در صنعت کود نیز برای تولید کودهای کندرها از این ترکیب استفاده می شود. ویو و لیو (۲۰۰۸) کود تجارتي مرکب NPK را با پلیمر زیست تخریب پذیر کیتوسان پوشش داده (شکل ۳) و سپس در خاک مصرف کردند. نتایج نشان داد که مصرف این کود در خاک مقدار آب نگهداری شده در خاک را افزایش داد و کود مرکب NPK را به یک کود کندرها تبدیل کرد (شکل ۴). لوبکاووسکی (۲۰۱۴) کود مرکب تجارتي NPK را با کیتوسان و ترکیب های دیگر مانند موم طبیعی^۲ (پارافین)، گلیسرین و سدیم تری فسفات پوشش داد و آن را به یک کود کندرهای NPK تبدیل کرد (شکل ۵).

تبدیل کودهای فسفر محلول به کودهای کندرها با استفاده از اسیدهای آلی

برای تبدیل کودهای شیمیایی فسفر به کودهای کندرها از پوشش دادن کودهای شیمیایی فسفر با اسیدهای آلی استفاده شده است. در یک بررسی دانه های کود مونو آمونیوم فسفات را با اسیدهای آلی طبیعی، مصنوعی و هیومیک اسید استخراج شده از پیت پوشش دادند و اثر آن را بر رشد گیاه ذرت و کارایی مصرف کود فسفر بررسی کردند. نتایج نشان داد که مونو آمونیوم فسفات با پوشش هیومیک اسید استخراج شده از پیت یک کود کندرها بوده و رهایش فسفر از آن به تدریج انجام شد (شکل ۶)؛

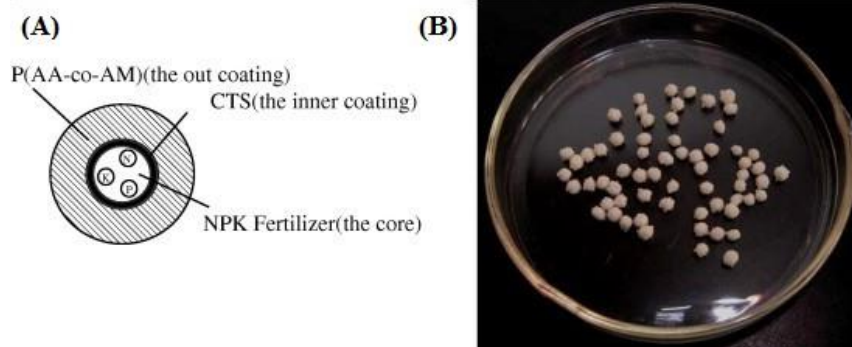
بنابراین، تثبیت فسفر کاهش یافته و درصد بازیابی فسفر ۴۱ درصد نسبت به کود مونو آمونیوم فسفات افزایش یافت. مقدار فسفر لازم برای تولید ۹۰ درصد بیشینه ماده خشک گیاه از منبع مونو آمونیوم فسفات بیش تر از کودهای فسفر کندرها بود (تیکسیرا و همکاران، ۲۰۱۶).

استفاده از کودهای آلی به عنوان کود کندرهای فسفر

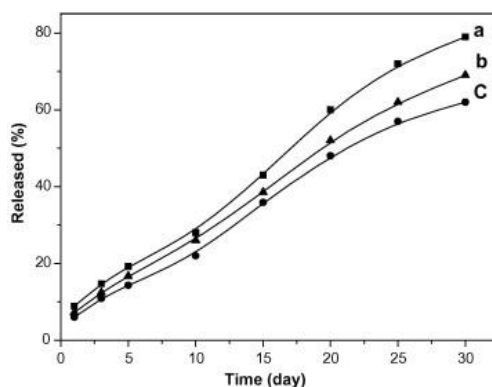
کودهای آلی مانند کود سبز، کودهای حیوانی (گاوی، گوسفندی، مرغی، خوکی، اسبی و غیره)، کمپوست ها و ورمی کمپوست ها به تدریج در خاک تجزیه شده و فسفر رها می کنند. بر اثر تجزیه این کودها اسیدهای آلی مختلف تولید می شود که می تواند فراهمی فسفر در خاک را افزایش دهد. برای کاهش سرعت تجزیه کودهای آلی توصیه شده است که آن ها را به بیوچار و هیدروچار تبدیل نموده و سپس در خاک مصرف نمایند. با این حال، این کودها به تنهایی نمی توانند نیاز گیاه به فسفر را تأمین کنند و لازم است قبل از مصرف در خاک با فسفر غنی شوند یا اینکه کودهای آلی و شیمیایی به صورت توأم مصرف شوند. همچنین، مدیریت نامناسب این کودها می تواند آلودگی محیط زیست را به دنبال داشته باشد (کاظم علیلو و همکاران، ۱۳۹۶؛ عظیم زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ نجفی و همکاران، ۱۳۹۸).

¹-Chitosan

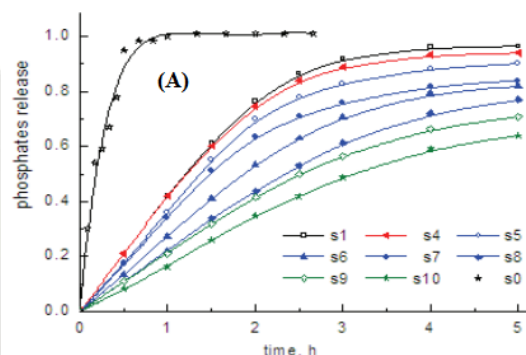
²-Natural wax



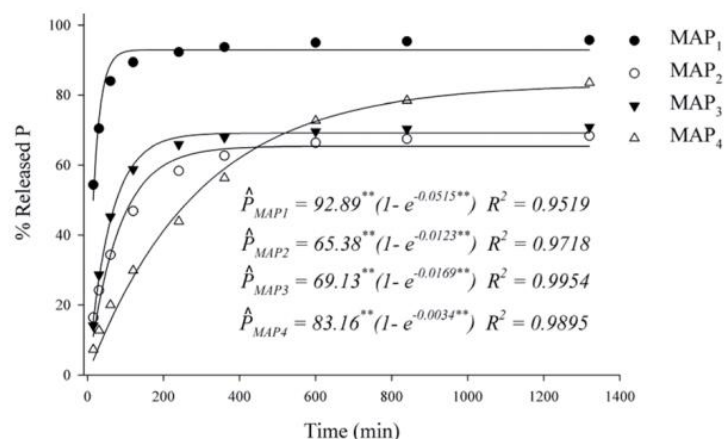
شکل ۳- برش عرضی (A) و دانه‌های کود مرکب NPK پوشش داده شده با پلیمر زیست تخریب پذیر کیتوسان (B) (ویو و لیو، ۲۰۰۸)



شکل ۴- سینتیک رهایش نیترژن (a)، پتاسیم (b) و فسفر (c) در محلول خاک پس از مصرف دانه‌های کود NPK پوشش داده شده با پلیمر زیست تخریب پذیر کیتوسان (ویو و لیو، ۲۰۰۸)



شکل ۵- سینتیک رهایش فسفر از کودهای کندره‌ای تولید شده (A) و دانه‌های کود NPK کندره‌ای تولید شده و برش عرضی آن (B) S0: کود مرکب تجاری NPK، S1 تا S10: کودهای کندرها (لوبکوسکی، ۲۰۱۴)



شکل ۶- اثر پوشش دادن مونوآمونیم فسفات (MAP1) با یک اسید آلی طبیعی (MAP2)، یک اسید آلی مصنوعی (MAP3) و یک هیومیک اسید استخراج شده از پیت (MAP4) بر سینتیک رهایش فسفر در آب (تیکسیرا و همکاران، ۲۰۱۶)

(وان گیل و همکاران، ۲۰۱۶). در یک بررسی فسفات موجود در ادرار طی فرایندهایی بازیابی شده و به استروویت (کود کندرهای فسفر) تبدیل شد (ویلسناچ و همکاران، ۲۰۰۷). استروویت به راحتی می تواند در مزرعه پخش شود، غلظت فسفر زیادی دارد و تولید آن با کم ترین آلودگی فلزهای سنگین انجام می شود (آنتونینی و همکاران، ۲۰۱۲). استروویت اغلب از محصولات جانبی تصفیه فاضلاب تولید می شود (جعفر و همکاران، ۲۰۰۲). به هر حال، با ایجاد تغییراتی در فرایندهای هضم لجن در تصفیه خانه می توان استروویت را در یک واکنش جای^۲ ویژه به صورت کنترل شده تولید کرد. با این کار از آزاد شدن فسفر به آبها جلوگیری شده و از استروویت تولید شده به عنوان یک کود کندرهای آمونیوم، فسفات و منیزیم در کشاورزی استفاده می شود (بایور، ۲۰۰۹).

از دیدگاه محیط زیست نیز استروویت به دلیل حل پذیری کم نسبت به کودهای شیمیایی مرسوم مزیت هایی دارد (کابزا و همکاران، ۲۰۱۱؛ تالبویز و همکاران، ۲۰۱۶). اگر بعد از مصرف کودهای شیمیایی مرسوم فسفر بارندگی شدید رخ دهد یا اینکه آب آبیاری زیاد مصرف شود، ممکن است فسفر وارد روان آب شده و باعث بروز غنی شدن آبها شود (هارت و همکاران، ۲۰۰۴). بعد از مخلوط شدن کودهای محلول فسفر با

تولید استروویت به عنوان یک کود کندرهای فسفر از شیرابه ها، فاضلاب ها و پساب ها

وابستگی زیاد تولید محصولات کشاورزی در جهان به ذخایر محدود سنگ فسفات و گسترش پدیده غنی شدن آب های ساحلی و درون سرزمینی سبب شده است که به بستن چرخه فسفر در طبیعت از طریق بازیابی و بازچرخانی فسفر توجه دوباره ای شود؛ بنابراین، یافتن راه حل مناسب برای ممانعت از ورود این عنصر به منابع آبی و بازیابی و استفاده مجدد از آن به عنوان یکی از منابع جایگزین کودهای شیمیایی فسفر اهمیت فراوان دارد (السر و بنت، ۲۰۱۱؛ ویدرز و همکاران، ۲۰۱۵). برای مثال، فسفر استخراج شده از کودهای دامی (گریوس و همکاران، ۱۹۹۹) و فاضلاب انسانی (لی کور و همکاران، ۲۰۰۹) می تواند طی فرایندهایی به کودهای فسفوری تبدیل شده و به راحتی در کشاورزی مصرف شود. با این حال، این روش از نظر فناوری و اقتصادی بودن محدودیت هایی دارد (لیدرر و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویدرز و همکاران، ۲۰۱۵).

استروویت^۱ یا آمونیوم منیزیم فسفات با فرمول شیمیایی $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ۵/۷ درصد نیتروژن، ۱۲/۶ درصد فسفر و ۹/۹ درصد منیزیم دارد. این ماده یک کود کندرها بوده و در خاک به تدریج حل شده و یون های فسفات، آمونیوم و منیزیم را به محلول خاک آزاد می کند

^۲- Reactor

^۱- Struvite

فسفات و سوپرفسفات تریپل مقایسه و گزارش کردند که میزان حل پذیری استروویت در حضور گیاه گندم سیاه بیش تر از گندم بهاره بود. بیش ترین جذب فسفر به وسیله گیاهان و بیش ترین کارایی مصرف کود فسفر از مصرف توأم استروویت و دی آمونیوم فسفات مشاهده شد.

روش های بهبود اثربخشی سنگ فسفات و تبدیل آن به یک کود کندها

کاربرد مستقیم سنگ فسفات به عنوان یک کود فسفوری که از ساده ترین و کم هزینه ترین روش های تأمین فسفر گیاه است، در خاک های آهکی به علت حل پذیری ناچیز سنگ فسفات چندان ثمربخش نیست. سنگ فسفات یک کود سنتی و فراوان است اما استفاده از آن به وسیله گیاهان سخت است (هگین و هاریسون، ۱۹۹۳). نجفی و توفیقی (۱۳۸۵ و ۱۳۹۱) گزارش دادند که در خاک های شالیزاری شمال ایران، وقتی کود سوپرفسفات تریپل مصرف نمی شود، گیاه برنج می تواند آپاتیت (سنگ فسفات) را حل نموده و فسفر رها شده از آن را جذب نماید اما اگر کود فسفر در خاک مصرف شود، گیاه برنج از منبع آپاتیت استفاده نمی کند؛ بنابراین، گیاه در شرایط کمبود فسفر می تواند بخشی از فسفر مورد نیاز خود را از منبع آپاتیت تأمین کند. برای افزایش اثربخشی سنگ فسفات توصیه شده است آن را همراه با گوگرد، مواد آلی و ریزجاندانان مختلف مانند حل کننده های فسفات، اکسید کننده های گوگرد و قارچ های میکوریز در خاک مصرف نمایند. عامل های مؤثر بر حل پذیری سنگ فسفات شامل ویژگی های سنگ فسفات (اندازه ذرات و میزان ناخالصی ها)، ویژگی های خاک (pH، توان جذب کلسیم، توان تثبیت فسفر، رطوبت، دما و غیره)، میزان اسیدی شدن جزئی سنگ فسفات و نوع اسید مورد استفاده، ویژگی های گیاه (فرایندهای ریزوسفر)، ریزجاندانان و غیره می باشد. با مدیریت این عامل ها می توان سنگ فسفات را به یک کود کندهای فسفر تبدیل کرد (هگین و هاریسون، ۱۹۹۳). در یک بررسی، برای بهبود اثربخشی سنگ

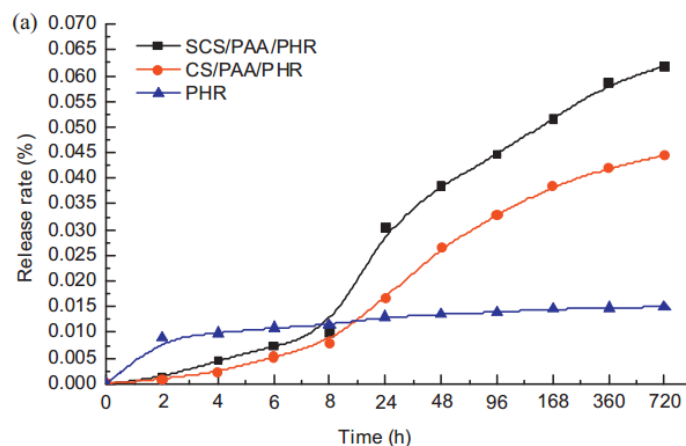
خاک، غلظت بالایی از فسفر در محلول خاک برای رشد گیاه ایجاد می شود اما به سرعت جذب سطوح ذرات خاک شده یا رسوب کرده و از دسترس ریشه گیاه خارج می شود (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹؛ بارو و دنبات، ۲۰۱۴)؛ اما استروویت به عنوان یک کود کندها در طول دوره رشد گیاه، فسفر را مدت طولانی تری و هم زمان با نیاز گیاه به ریشه آن عرضه می کند (ویدرز و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، با مصرف استروویت در خاک فسفر کمتری جذب سطحی شده یا رسوب می کند؛ بنابراین، مقدار کود فسفر کمتری مصرف شده و هزینه تولید محصولات کشاورزی کاهش می یابد (تالبویز و همکاران، ۲۰۱۶). اگرچه یک تا پنج درصد استروویت در آب حل می شود، اما بررسی ها نشان داده است که اثر آن بر گیاهان مشابه کودهای شیمیایی محلول فسفر است (کابزا و همکاران، ۲۰۱۱؛ آنتونینی و همکاران، ۲۰۱۲؛ تالبویز و همکاران، ۲۰۱۶). دلایل این تناقض و سازوکارهایی که سبب حل شدن استروویت می شوند، هنوز به خوبی روشن نشده است (تالبویز و همکاران، ۲۰۱۶).

فراهمی فسفر برای جذب به وسیله گیاه در مراحل اولیه دوره رشد، برای دستیابی به عملکرد مطلوب بسیار مهم است (گرنه و همکاران، ۲۰۰۱؛ ندیم و همکاران، ۲۰۱۱). اگر استروویت نتواند در این مرحله فسفر کافی برای گیاه تأمین کند، توصیه شده است که از مخلوط استروویت و کود شیمیایی فسفر استفاده شود (تالبویز و همکاران، ۲۰۱۶). برای کاهش ناپویاشدن فسفر در خاک، اغلب کودهای فسفر را نزدیک بذر در حال رشد قرار می دهند. با این کار، غلظت فسفر در ناحیه ریشه زیاد شده و عملکرد گیاه نیز افزایش می یابد (جینگ و همکاران، ۲۰۱۰).

تالبویز و همکاران (۲۰۱۶) اثر استروویت به عنوان یک کود کندهای فسفر بر رشد دو گیاه با توان تولید اسیدهای آلی متفاوت (یکی گندم سیاه با سطح ترشح اسیدهای آلی زیاد و دیگری گندم بهاره با سطح ترشح اسیدهای آلی کم) را با دو کود فسفر دی آمونیوم

فسفات، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تولید کود کندرهای فسفر، سنگ فسفات را با یک پلیمر ابرجاذب آب، نشاسته ذرت (با و بدون واکنش با سولفوریک اسید) و پلی اکریلیک اسید و پتاسیم هیدروکسید طی فرایندهایی

واکنش دادند. نتایج نشان داد که ترکیب تولید شده رهایش فسفر از سنگ فسفات را بهبود بخشیده و به عنوان یک کود کندرهای فسفر رفتار کرد (شکل ۷، زونگ و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۷- رهایش فسفر از سنگ فسفات (PHR)، (PHR + نشاسته ذرت (CS) + پلی اکریلیک اسید (PAA) و PHR + نشاسته ذرت واکنش یافته با سولفوریک اسید (SCS) + PAA (زونگ و همکاران، ۲۰۱۳)

هی و همکاران (۱۹۹۹) اثر ژئولیت و کودهای اوره، آمونیوم نیترات و آمونیوم سولفات را بر حل شدن سنگ فسفات افزوده شده به یک خاک اسیدی با pH ۴/۵ در طی ۱۳۲ روز خوابانیدن بررسی و مشاهده کردند که ژئولیت و اوره سرعت حل شدن اولیه سنگ فسفات را نسبت به شاهد کاهش دادند اما در طولانی مدت بر اثر اسیدزایی کود اوره و جذب کلسیم به وسیله ژئولیت میانگین حل شدگی سنگ فسفات افزایش یافت. کودهای آمونیوم نیترات و آمونیوم سولفات سرعت حل شدن سنگ فسفات را در ابتدا بر اثر کاهش سریع و کوتاه مدت pH، افزایش و سپس به طور جزئی کاهش دادند. پیکرینگ و همکاران (۲۰۰۲) از ترکیب ژئولیت و سنگ فسفات کود کندرهای فسفر تهیه و گزارش کردند که مصرف این کود در خاک سبب افزایش جذب فسفر به وسیله گیاه آفتابگردان شد. میزان عرضه فسفر به وسیله این کود کندرها مشابه کود شیمیایی محلول KH_2PO_4 بود. بانسیوال و همکاران (۲۰۰۶) سطح ژئولیت را با افزودن

یک خیساننده^۱ کاتیونی به نام هگزادسیل تری متیل آمونیوم بروماید اصلاح کرده و از آن به عنوان جاذب فسفات استفاده کردند. نتایج آزمایش ستونی نشان داد که ترکیب حاصل به عنوان یک کود کندرهای فسفر عمل کرد.

تبدیل سنگ فسفات به یک کود کندرها با اسیدی کردن جزئی آن

فسفر در بسیاری از خاکها ناپویا است اما در خاکهای شنی تا ۸۱ درصد از کود فسفر مصرف شده به شکل سوپرفسفات می تواند آبشویی شده و از دسترس ریشه گیاهان خارج شود (ویور و همکاران، ۱۹۸۸). نگرانی دیگری که در مورد کودهای محلول فسفر وجود دارد این است که محصولات جانبی تولید این کودها در کارخانه بر محیط زیست تأثیر بدی دارد. برای مثال، به ازای تولید ۰/۷ تن فسفر به شکل سوپرفسفات تریپل، ۱/۵۴ تن فسفوجیپسم^۲ تولید می شود که دفن آن مشکلاتی در محیط زیست ایجاد می کند. از طرف دیگر، تولید کودهای

¹-Surfactant

²-Phosphogypsum

دما و رطوبت خاک، سرعت رهایش فسفر از کودها افزایش یافت (سرکار و همکاران، ۲۰۱۵).

تبدیل سنگ فسفات به یک کود کندرها با کمک ریزجانداران

مصرف سنگ فسفات در خاک‌های خثی و قلیایی ممکن است اثربخشی چندانی در عرضه فسفر به گیاه نداشته باشد اما تلفیق آن با کودهای زیستی مناسب می‌تواند رهایش فسفر از سنگ فسفات را بهبود بخشد. استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات در خاک فراهمی فسفر را افزایش و مصرف کودهای شیمیایی فسفر را کاهش می‌دهد. بسیاری از ریزجانداران توان حل‌کنندگی فسفات را دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به تعداد زیادی از باکتری‌ها و قارچ‌ها (به‌ویژه قارچ‌های میکوریز)، آکتینومیسیت‌ها و سیانوباکتری‌ها اشاره کرد (شارما و همکاران، ۲۰۱۳). در یک پژوهش آکتینومیسیت‌های با توان حل‌کنندگی فسفات از معادن سنگ فسفات مراکش جداسازی و شناسایی شدند. پیشنهاد شد که از اسپورهای آکتینومیسیت‌های کارا می‌توان در تهیه کود فسفاتی زیستی جدید استفاده کرد (حمدعلی و همکاران، ۲۰۰۸).

پنوار و همکاران (۲۰۱۱) سنگ فسفات را با و بدون باکتری‌های حل‌کننده فسفات (دو سویه باسیلوس) به خاک اضافه و مشاهده کردند که مایه‌زنی باکتری‌ها با سنگ فسفات رهایش فسفر و جذب آن به‌وسیله گیاه برنج و رشد آن را به‌طور معنادار افزایش داد. طالب و بدر (۲۰۰۷) تأثیر سنگ فسفات، شکل نیتروژن (آمونیم و نیترات) و مایه‌زنی باکتری‌های حل‌کننده فسفات را بر جذب فسفر و رشد سورگوم در یک خاک آهکی بررسی و گزارش دادند که مصرف فقط سنگ فسفات بر رشد گیاه اثر معنادار نداشت اما مصرف سنگ فسفات همراه با نیتروژن آمونیومی یا مایه‌زنی باکتری مقدار فسفر قابل‌استخراج خاک، جذب فسفر و رشد گیاه را به‌طور معنادار افزایش داد. سلیم‌پور و همکاران (۱۳۸۹) با انجام یک آزمایش مزرعه‌ای گزارش کردند که تیمار سنگ

شیمیایی فسفر در کارخانه انرژی زیادی را مصرف می‌کند (شولتز و همکاران، ۱۹۹۲)؛ بنابراین، توصیه شده است که به جای اینکه سنگ فسفات در کارخانه فراوری شده و به کودهای محلول تبدیل شود، آن را جزئی اسیدی نموده و به‌عنوان یک کود کندرهای فسفر در تولید محصولات کشاورزی استفاده شود. این کار در راستای کشاورزی پایدار بوده و سبب کاهش هدررفت فسفر از خاک‌های شنی، حفظ محیط‌زیست، کاهش تبدیل فسفر به شکل‌های غیرقابل‌جذب گیاه در خاک و بهبود کارایی مصرف فسفر نسبت به کودهای محلول می‌شود. برای اسیدی کردن جزئی سنگ فسفات از فسفریک اسید یا سولفوریک اسید استفاده می‌شود. بررسی نشان داد که اثربخشی سنگ فسفات جزئی اسیدی شده با فسفریک اسید بهتر از سولفوریک اسید بود که به‌دلیل تشکیل پوشش CaSO_4 بود. اثر سنگ فسفات ۳۰ درصد اسیدی‌شده با فسفریک اسید بر عملکرد گیاهان مرتعی مشابه کودهای سوپرفسفات تریپل و سوپرفسفات ساده بود (راجان و همکاران، ۱۹۹۴).

در یک پژوهش آزمایشگاهی سنگ فسفات در فسفریک اسید و سولفوریک اسید حل شده و با مواد مختلف (پلی‌وینیل الکل، پارافین مایع یا روغن جلا و متیل اولئات) پوشش داده شد. این شش نوع کود فسفر دی‌آمونیم فسفات به یک خاک افزوده شدند و در دو دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس و دو رطوبت ۱۰ و ۲۰ درصد خوابانده شدند. نتایج نشان داد که میزان رهایش فسفر از سنگ فسفات اسیدی شده با فسفریک اسید بیش‌تر از سنگ فسفات اسیدی شده با سولفوریک اسید بود. میزان رهایش فسفر از ترکیب‌های پوشش داده شده کم‌تر از کود دی‌آمونیم فسفات بود. در میان مواد پوشش دهنده، کارایی پلی‌وینیل الکل بیش‌تر از پارافین مایع و متیل اولئات بود؛ بنابراین، ترکیب‌های ساخته‌شده می‌توانند به‌عنوان کود کندرهای فسفر عمل کرده و فسفر را به‌تدریج و در طول دوره رشد گیاه و هم‌زمان با نیاز گیاه به‌محلول خاک رها نمایند. نتایج نشان داد که با افزایش

فسفات + گوگرد + ماده آلی + مایه تلقیح تیوباسیلوس در مقایسه با شاهد عملکرد دانه و شاخص سار کلا را به ترتیب ۳۸ و ۷۰ درصد افزایش داد و با تیمار کود سوپرفسفات تریپل تفاوت معنادار نداشت.

در یک آزمایش، اثر سنگ فسفات، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریز بر جذب فسفر و رشد گیاه یونجه در بستر کشت شن-ورمی‌کولیت در شرایط گلخانه‌ای بررسی و مشاهده شد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریز اثربخشی سنگ فسفات، جذب فسفر و رشد گیاه را افزایش دادند (پیکینی و ازکون، ۱۹۸۷). عمر (۱۹۹۸) با انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای گزارش داد که مصرف سنگ فسفات و مایه‌زنی قارچ‌های حل‌کننده فسفات (*Aspergillus niger* and *Penicillium citrinum*) و قارچ‌های میکوریز (VAM) عملکرد گندم را افزایش داد. بیش‌ترین جذب فسفر و عملکرد گندم از تیمار تلفیقی سنگ فسفات + قارچ‌های حل‌کننده فسفات + قارچ‌های میکوریز (VAM) به دست آمد.

تولید کودهای کندرهای فسفر با استفاده از فناوری نانو

نانومواد به موادی گفته می‌شود که اندازه ذرات آن‌ها حداقل در یک بعد بین ۰/۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد (نایر و همکاران، ۲۰۱۰؛ ماستروناردی و همکاران، ۲۰۱۵). شناخته‌شده‌ترین استفاده نانوذررات در کشاورزی در تولید کودهای کندرها است. استفاده از فناوری نانو در تولید کودها می‌تواند با بهبود عرضه عناصر غذایی به ریشه گیاه و افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، آلودگی محیط‌زیست را کاهش دهد (چووالا، ۲۰۱۷). کودهای با پوشش گوگرد جالب‌ترین کودهای کندرها هستند زیرا گوگرد موجود در این کودها می‌تواند اثرهای مفیدی داشته باشد به‌ویژه در خاک‌هایی که گوگرد کمی دارند. ویلسون و همکاران (۲۰۰۸) با قرار دادن یک لایه گوگرد در اندازه نانو بر روی کود فسفاتی، کود فسفر کندرها تولید کردند. نانومواد مشابه بر محصولات

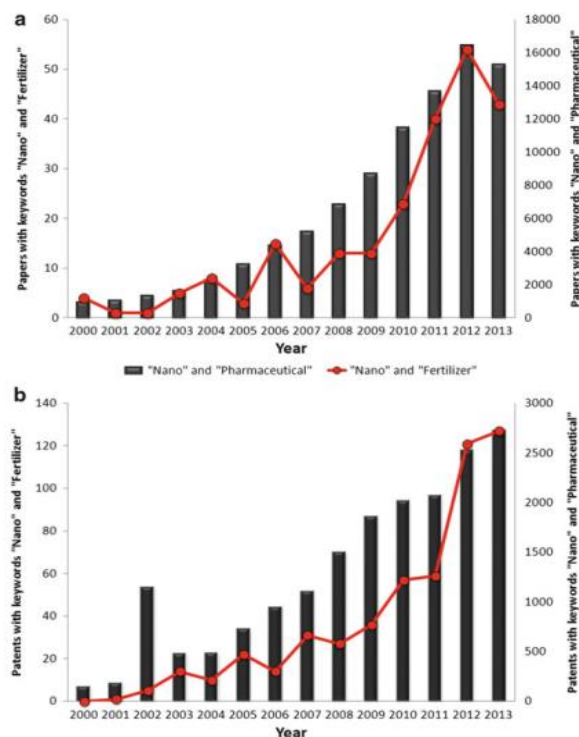
کشاورزی مختلف اثرهای متفاوتی داشته است؛ بنابراین، در آینده باید بررسی‌های بیش‌تری در مورد پاسخ گیاهان مختلف به مصرف نانومواد و تعیین سطوح سمی آن‌ها انجام شود (نایر و همکاران، ۲۰۱۰). میزان مقالات چاپ شده و اختراعات ثبت شده در مورد نانوکودها به سرعت در حال افزایش است (شکل ۸). کاربردهای فناوری نانو در تهیه کودها به سه گروه تقسیم می‌شود: ۱) تولید کودهای در اندازه نانو، ۲) افزودنی‌های در اندازه نانو (مانند افزودن نانومواد جاذب آب به کودها) و ۳) پوشش‌ها یا غشاهای در اندازه نانو که کود را احاطه کرده و آن را به کپسول تبدیل می‌کنند یا مواد متخلخلی که داخل نانومنافذ خود کود را نگهداری می‌کنند مانند هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای^۱. برخی نانوکودها ممکن است در دو یا سه گروه قرار گیرند (ماستروناردی و همکاران، ۲۰۱۵).

سرکار و همکاران (۲۰۱۵) یک نوع پلیمر ابرجاذب آب را با سه نوع نانورس (کائولینیت، ایلیت و اسمکتیت) ترکیب و اوره و دی‌آمونیم فسفات را بر روی آن‌ها بارگذاری کردند. آنان میزان رهایش فسفر از سه نوع کامپوزیت نانورس-پلیمر ابرجاذب و کود شیمیایی دی‌آمونیم فسفات را در سه نوع خاک (آلفی‌سول، اینسپتی‌سول و ورتی‌سول) باهم مقایسه و مشاهده کردند که هر سه نوع نانوکامپوزیت به‌عنوان کود کندرهای فسفر عمل کرده و تثبیت فسفر را در مقایسه با دی‌آمونیم فسفات کاهش دادند. با این حال، اثربخشی نانوکامپوزیت اسمکتیت بیش‌تر از نانوکامپوزیت کائولینیت و ایلیت بود. لیو و لال (۲۰۱۴) گزارش دادند که نانوذررات آپاتیت مصنوعی می‌تواند فسفر کافی برای تغذیه گیاهان زراعی تأمین کند و برخلاف کودهای شیمیایی مرسوم، به دلیل تحرک کم در محیط‌زیست و فسفر قابل جذب کم برای جلبک‌ها از بروز پدیده غنی‌شدن آب‌های سطحی جلوگیری می‌کند. آنان در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر چهار تیمار (فسفر از منبع نانوکود هیدروکسی‌آپاتیت + کودهای

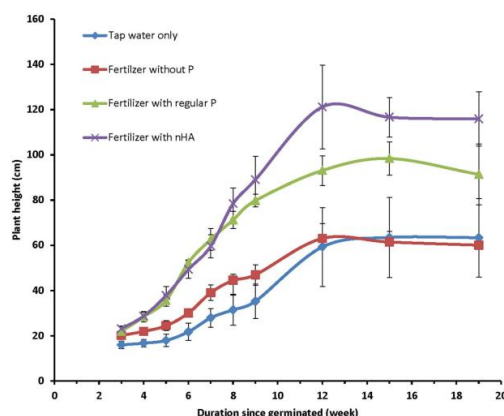
^۱ - Layered double hydroxides (LDHs)

عملکرد دانه را ۲۰/۴ درصد، زیست توده بخش هوایی را ۱۸/۲ درصد و زیست توده ریشه را ۴۱/۲ درصد افزایش داد. آنان بیشترین ارتفاع گیاه را در تیمار نانوکود هیدروکسی آپاتیت + کودهای شیمیایی مشاهده کردند (شکل ۹).

شیمیایی، فسفر از منبع مونوکلسیم فسفات + کودهای شیمیایی، کودهای شیمیایی بدون فسفر و آبیاری فقط با آب شهری) بر رشد گیاه سویا کشت شده در بستر پرلیت + پیت خزه بررسی و مشاهده کردند که مصرف نانوکود هیدروکسی آپاتیت در مقایسه با کود سوپرفسفات تریپل (مونوکلسیم فسفات) سرعت رشد را ۳۲/۶ درصد،



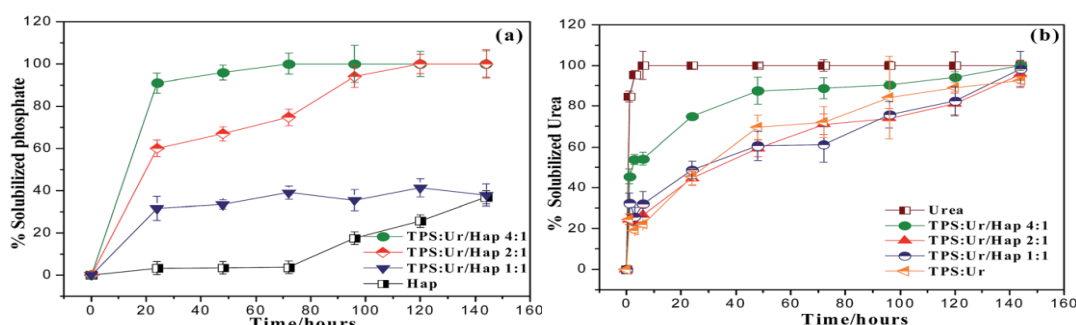
شکل ۸- روند افزایش تعداد مقالات (a) و اختراعات (b) با کلمات کلیدی «نانو» و «کود» (خط قرمز) بر اساس نتایج جستجو در بانک اطلاعاتی SciFinder (ماستروناردی و همکاران، ۲۰۱۵)



شکل ۹- اثر تیمارهای مختلف (فسفر از منبع نانوکود هیدروکسی آپاتیت + کودهای شیمیایی، فسفر از منبع مونوکلسیم فسفات + کودهای شیمیایی، کودهای شیمیایی بدون فسفر و آبیاری فقط با آب شهری) بر ارتفاع گیاه سویا (لیو و لال، ۲۰۱۴)

ساده، نانوکودی شامل نانوهیدروکسی آپاتیت با پوشش اوره را تولید و گزارش کردند که سرعت رهایش اوره از این نانوکود در مقایسه با اوره خالص در حدود ۱۲ بار کاهش یافت. گائو و همکاران (۲۰۱۵) اثر نانوکامپوزیت اوره-هیدروکسی آپاتیت را بر رشد سیب زمینی کشت شده در یک خاک لوم سیلتی بررسی و گزارش نمودند که مصرف این نانوکود سبب افزایش عملکرد و کیفیت سیب زمینی و بهبود کارایی مصرف نیتروژن گردید.

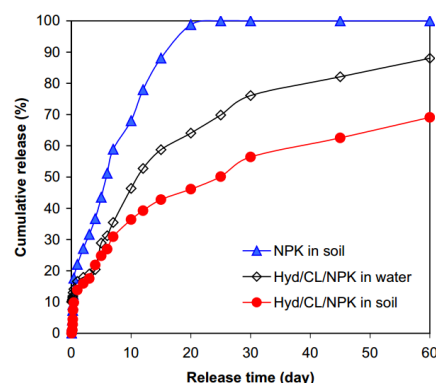
گیروتو و همکاران (۲۰۱۵) نانوکامپوزیت اوره-هیدروکسی آپاتیت را تولید و گزارش دادند که سرعت حل شدن آپاتیت در این نانوکامپوزیت بیش تر از سرعت حل شدن آپاتیت خالص بود درحالی که سرعت حل شدن اوره در این نانوکامپوزیت کم تر از اوره خالص بود (شکل ۱۰)؛ بنابراین، استفاده از این نانومواد به عنوان کودهای فاقد آلودگی می تواند ویژگی های رهایش نیتروژن و فسفر را بهبود بخشد. کوتگودا و همکاران (۲۰۱۷) با روشی



شکل ۱۰- سرعت حل شدن فسفات (a) و سرعت حل شدن اوره (b) در دمای 25°C و $\text{pH } 2$ به صورت تابعی از زمان برای هیدروکسی آپاتیت خالص، اوره خالص و نانوکامپوزیت های اوره-هیدروکسی آپاتیت (گیروتو و همکاران، ۲۰۱۵)

ریخت شناسی نانوذرات در بافت گیاهی با نانومیل های هیدروکسی آپاتیت اولیه فرق داشت؛ بنابراین، قسمت عمده نانومیل های هیدروکسی آپاتیت جذب شده به وسیله گیاه در فرایندهای همگون سازی مصرف شده بود. آنان بیان داشتند که از نانومیل های هیدروکسی آپاتیت به عنوان نانوکود فسفر می توان استفاده کرد. رشیدزاده و همکاران (۲۰۱۵) کود مرکب NPK را با نانوکامپوزیت هیدروژل/کلینوپتیلولیت پوشش داده و آن را در خاک مصرف و مشاهده کردند که مصرف این ترکیب مقدار آب نگهداری شده در خاک را افزایش داد و از نظر رهایش NPK دارای ویژگی های کندرهایی بود (شکل ۱۰). رهایش NPK از کود پوشش داده شده با نانوکامپوزیت هیدروژل/کلینوپتیلولیت از پخشیدگی ساده پیروی کرد. اولاد و همکاران (۲۰۱۸) کود کدره های NPK را از پوشش دادن این کودها با نانوکامپوزیت بر پایه کربوکسی متیل سلولز تهیه کردند.

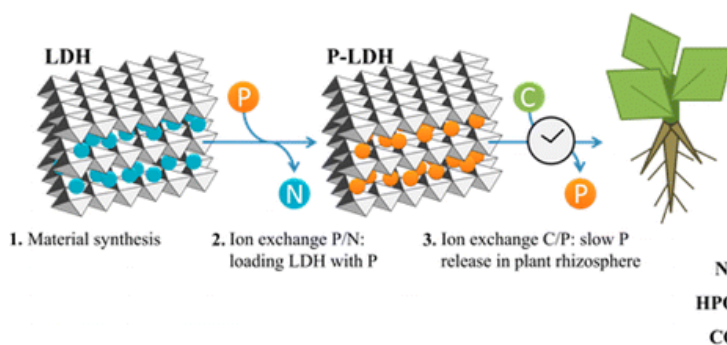
آدهیکاری و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر مصرف نانوذرات سنگ فسفات اودایپورا^۱ و سوپرفسفات ساده را بر رشد گیاه ذرت در شرایط مزرعه بررسی و گزارش کردند که مصرف نانوذرات سنگ فسفات، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد دانه و بخش هوایی را نسبت به شاهد (بدون فسفر) به طور قابل توجه افزایش داد. باین که پاسخ عملکرد ذرت به نانوذرات سنگ فسفات کمی کم تر از شکل سوپرفسفات ساده بود اما نانوذرات سنگ فسفات توانست به عنوان یک منبع فسفر ارزان تر مورد استفاده گیاه قرار گیرد، زیرا برای تهیه آن تنها از روش آسیاب کردن استفاده شد. بالا و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که نانومیل های هیدروکسی آپاتیت تا غلظت $1/0\text{ mg/mL}$ ، سرعت جوانه زنی و رشد گیاه نخود را افزایش داد اما در غلظت $1/5\text{ mg/mL}$ ، سبب کاهش سرعت جوانه زنی و رشد گیاه گردید. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا تجمع نانوذرات در بافت گیاه مشاهده شد اما



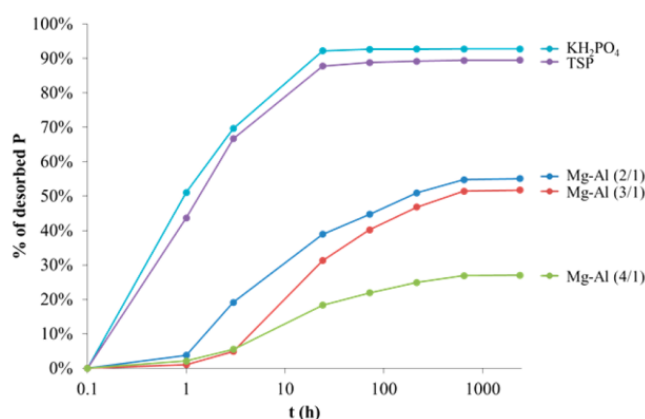
شکل ۱۰- رهایش NPK از کود مرکب NPK و کود NPK پوشش داده شده با نانوکامپوزیت هیدروژل/کلینوپتیلولیت در خاک و آب (رشیدزاده و همکاران، ۲۰۱۵)

فسفات به عنوان یک کود کندرهای فسفر در کشاورزی مصرف شود. نحوه قرار گرفتن آنیون‌های نترات، فسفات و کربنات در بین لایه‌های LDH در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در یک بررسی پودر $Mg-Al-LDH$ تولید و با فسفات بارگذاری شده ($P-LDH$) و به عنوان یک منبع فسفر در دو خاک دارای کمبود فسفر (یکی اسیدی و دیگری آهکی) مصرف شد. نتایج نشان داد که در خاک اسیدی، کارایی مصرف فسفر به وسیله گیاه جو از منبع $P-LDH$ ۴/۵ برابر بیش تر از کود فسفر محلول (KH_2PO_4) بود درحالی که در خاک آهکی، کارایی مصرف فسفر گیاه جو از منبع $P-LDH$ در سطوح کم تنها ۲۰ درصد بیش تر از کود فسفر محلول بود. با افزایش مقدار $P-LDH$ مصرفی، کارایی مصرف کود کاهش یافت. درحالی که تمام سوپرفسفات تریپل و پتاسیم دی هیدروژن فسفات بعد از ۱۰ ساعت در آب حل شد، $P-LDH$ بعد از ۱۰۰۰ ساعت کم تر از ۵۰ درصد فسفر جذب شده را رها نمود (شکل ۱۱؛ اورارت و همکاران، ۲۰۱۶). همان طور که در شکل (۱۲) مشاهده می شود نسبت $Mg:Al$ در جذب فسفات نقش مهمی دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۶).

تولید کودهای کندرهای فسفر با استفاده از هیدروکسیدهای دو گانه لایه ای، بیوچار و هیدروچار هیدروکسیدهای دو گانه لایه ای (LDHs)، گروهی از ترکیب های غیرآلی و غیرسیلیکاتی هستند که ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مشابه کانی های رس دارند. ساختار اغلب این ترکیب ها شامل ورقه های شبه بروسایت است که جانشینی کاتیون های سه ظرفیتی به جای کاتیون های دو ظرفیتی در این ورقه بار مثبت ایجاد می کند؛ بنابراین، LDH ها با داشتن بارهای سطحی مثبت و فضاهای بین لایه ای، توانایی زیادی در جذب آنیون ها و اکسی آنیون ها دارند. این ترکیب ها را به راحتی می توان در آزمایشگاه تولید کرد و معمولاً به دو صورت پودری یا تثبیت شده در بستر ماده ای دیگر، مورد استفاده قرار داد. نخستین کانی شناخته شده در این گروه هیدروتالکیت با فرمول شیمیایی $Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ بود. به همین دلیل، گاهی LDH ها با عنوان ترکیب های شبه هیدروتالکیت نیز شناخته می شوند (کاران و آی، ۲۰۱۲؛ حلاج نیا و همکاران، ۲۰۱۳). پیشنهاد شده است از LDH ها برای بازیابی فسفات از آب ها در تصفیه آب و فاضلاب استفاده شده و LDH های بارگذاری شده با



شکل ۱۱- نحوه قرار گرفتن آنیون های نیترات، فسفات و کربنات در بین لایه های LDH (اورارت و همکاران، ۲۰۱۶)



شکل ۱۲- سینتیک رهایش فسفر از P-LDH با نسبت متفاوت Mg:Al و دو کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل و پتاسیم دی هیدروژن فسفات (اورارت و همکاران، ۲۰۱۶). محور افقی لگاریتمی رسم شده است

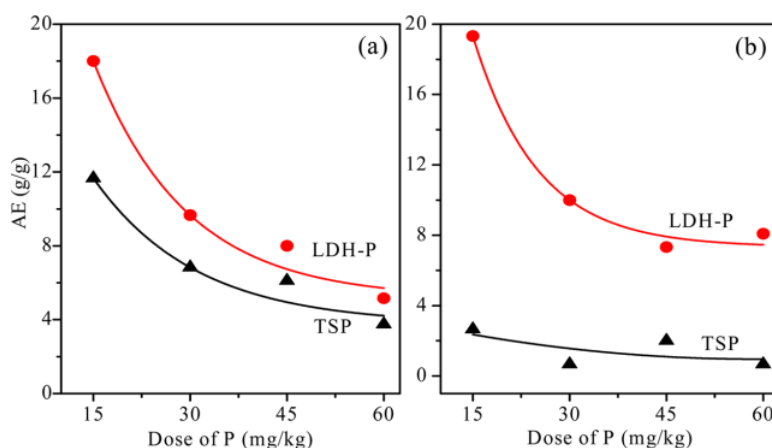
گیاه دریایی سبز (*Ulva lactuca*) استفاده کردند. بنیسیو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که ماده خشک ذرت، کارایی زراعی و درصد بازیابی کود فسفر در تیمار دارای P-LDH به طور معنادار بیش تر از کود سوپرفسفات تریپل بود (شکل ۱۳). بیوچار^۱ ماده جامد سیاه رنگ غنی از کربن پایدار می باشد که بر اثر سوزاندن مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا کمبود اکسیژن، در دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس تولید می شود و به این فرایند، گرماکافت گفته می شود. زیست توده مواد آلی در طی فرایند گرماکافت تبدیل به گاز زیستی، روغن زیستی و زغال زیستی (بیوچار) می شود. از گاز و روغن زیستی می توان برای تولید انرژی استفاده کرد و بیوچار به علت ویژگی های منحصر به فردی که دارد، می تواند به عنوان سوخت و یا اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار گیرد (جوزف و لهما، ۲۰۰۹). تقریباً تمام ترکیب ها و پس مانده های آلی

اورارت و همکاران (۲۰۱۷) سه کود مونو آمونیوم فسفات، استروویت و P-LDH را به دو شکل پودری و دانه ای در دو خاک دارای کمبود فسفر (یکی اسیدی و دیگری آهکی) مصرف و مشاهده کردند که مصرف هر سه نوع کود، جذب فسفر و ماده خشک گیاه گندم را نسبت به شاهد افزایش داد و بیش ترین افزایش از مصرف مونو آمونیوم فسفات دانه ای به دست آمد. با این حال، وقتی سه کود به شکل پودری مصرف شدند، از لحاظ اثربخشی تفاوت چندانی باهم نداشتند. مطالعه سینتیک رهایش فسفر از این کودها نشان داد که پس از ۱۰۰ روز خوابانیدن، ۷۴ تا ۹۰ درصد از فسفر در P-LDH دانه ای باقی ماند (۱۰ تا ۲۶ درصد فسفر آن رها شد) که نشان دهنده کندرها بودن این کود بود. کوپلراج و همکاران (۲۰۱۳) از نانورقه های LDH کلونیدی برای جذب فسفات از محلول های آبی استفاده نموده و P-LDH حاصل را به عنوان کود فسفر در پرورش یک نوع

^۱-Biochar

و لاشه حیوانات، لجن فاضلاب و پس‌ماندهای آلی صنعتی و شهری قابل تبدیل به بیوپچار هستند (صوحی و همکاران، ۲۰۱۰؛ لهما و همکاران، ۲۰۱۱).

از قبیل مواد چوبی، بقایای گیاهان زراعی (کاه و کلش، پوشال برنج، بقایای بادام‌زمینی و غیره)، شاخ و برگ درختان، انواع کودهای آلی (دامی، مرغی و غیره)، اجساد



شکل ۱۳- کارایی زراعی (AE) کود فسفر از دو منبع سوپرفسفات تریپل (TSP) و LDH-P در دو خاک با بافت شنی (a) و رسی (b) (بنیسیو و همکاران، ۲۰۱۷)

بررسی‌ها نشان داده است که بیوپچار و هیدروچار به علت داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد می‌توانند باعث توزیع و تثبیت مناسب ذرات LDH در سطوح خود شده و ظرفیت جذب آنیون را افزایش دهند؛ به‌طوری‌که توانایی جذب آنیون توسط ترکیب LDH بر پایه بیوپچار و هیدروچار بسیار بیش‌تر از LDH و بیوپچار یا هیدروچار تنها می‌باشد (زانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ۲۰۱۴a). لی و همکاران (۲۰۱۶) برای افزایش میزان جذب فسفات به‌وسیله LDH آن را با بیوپچار حاصل از بقایای نیشکر ترکیب و مشاهده کردند که می‌توان از ترکیب LDH-بیوپچار به‌عنوان یک جاذب در حذف فسفات از محلول‌های آبی استفاده کرد (شکل ۱۴). آنان سازوکارهای جذب فسفات را تبادل آنیونی، جذب الکترواستاتیک و تشکیل کمپلکس‌های درون-کره‌ای سطحی بیان کردند.

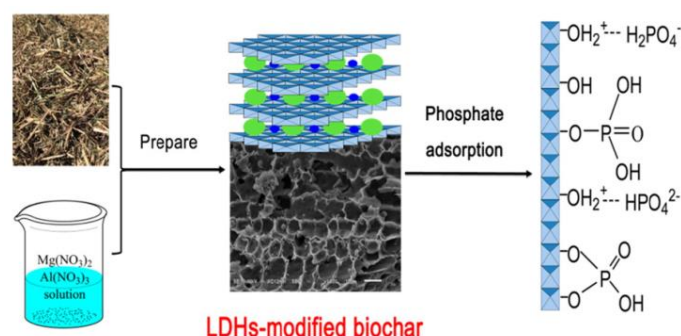
وان و همکاران (۲۰۱۷) برای افزایش گروه‌های عاملی بیوپچار آن را با LDH ترکیب کرده و با استفاده از ترکیب LDH-بیوپچار حاصل، فسفات محلول‌های آبی را جذب کرده و از کامپوزیت بارگذاری‌شده به‌عنوان کود فسفر کدرها در کشت کاهو استفاده کردند. نتایج نشان

هیدروچار^۱ ماده جامدی است که از فرایند کربنیزه‌شدن گرمایی^۲ (HTC) یا گرماکافت مرطوب زیست‌توده در یک واکنش‌جا تولید می‌شود. در طی این فرایند، زیست‌توده در حضور حلال (آب و یا غیرآب) و در دمای بیش‌تر از دمای اتاق (۱۶۰ تا ۲۵۰ درجه سلسیوس) و فشار حاصل از خود واکنش (حدود ۲۰ تا ۳۰ بار) و مدت یک تا ۱۲ ساعت دچار تغییرات فیزیکی و شیمیایی شده و به ماده‌ای به‌نام هیدروچار تبدیل می‌شود (یوشیمورا و بایراپا، ۲۰۰۸؛ لیبرا و همکاران، ۲۰۱۱). محصول HTC به‌طور عمده شامل بخش جامد (هیدروچار) و بخش مایع (محلول واکنش) می‌باشد. نوع پیش‌ماده، دما و زمان واکنش بر ویژگی‌های هیدروچار تولید شده تأثیر زیادی دارد (گاجیک و کوچ، ۲۰۱۲). در تولید هیدروچار نسبت به بیوپچار از دمای کم‌تری استفاده شده و گاز کم‌تری تولید می‌شود. در نتیجه، عملکرد هیدروچار از بیوپچار بیش‌تر است (لیبرا و همکاران، ۲۰۱۱).

^۱-Hydrochar

^۲-Hydrothermal carbonization (HTC)

داد که مصرف کامپوزیت LDH-بیوچار بارگذاری شده با فسفات به عنوان یک کود کندرها، وزن تر دانهال های کاهو



شکل ۱۴- تهیه کامپوزیت LDH-بیوچار و جذب فسفات به وسیله آن (لی و همکاران، ۲۰۱۶)



شکل ۱۵- اثر کامپوزیت LDHs-بیوچار بر رشد (وزن تر) دانهال های کاهو (وان و همکاران، ۲۰۱۷)

تغذیه گیاهان و کودهای کندرهای فسفر استفاده شود. برای کاهش پدیده گرمایش جهانی و کاهش سرعت تجزیه مواد آلی در خاک، توصیه می شود مواد آلی مختلف به هیدروچار و بیوچار تبدیل شده و سپس هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای بر پایه هیدروچار و بیوچار تولید و فسفات موجود در شیرابه ها و فاضلاب ها بر روی آنها بارگذاری شده و بعد به عنوان کود کندرهای فسفر در خاکها مصرف شود. لازم است در مورد روش های تهیه کودهای کندرهای فسفر و تأثیر آنها بر رشد گیاهان مختلف پژوهش های بیشتری انجام شود. باتوجه به قیمت بیشتر کودهای کندرها نسبت به کودهای شیمیایی رایج، لازم است در آینده با استفاده از فناوری های نوین مانند فناوری نانو، کودهای کندرها با قیمت مناسب تهیه شود. در آینده باید بررسی های بیشتری در مورد پاسخ گیاهان مختلف به مصرف نانوکودهای فسفر و تعیین سطوح سمی آنها انجام شود. باتوجه به محدودیت منابع

تهیه کود کندرهای فسفر از خاکستر بادی

در یک بررسی خاکستر حاصل از سوزاندن زغال سنگ (خاکستر بادی)^۱ در نیروگاه های حرارتی تولید برق را به عنوان یک جاذب برای حذف فسفات از پساب ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که از نمونه های بارگذاری شده با فسفات می توان به عنوان یک کود کندرهای فسفر در خاک های آهکی استفاده کرد. با این کار هم کود فسفر جدیدی تهیه می شود، هم از رهاشدن فسفر به محیط زیست و آلودگی محیط زیست جلوگیری می شود و هم از خاکستر تولیدی نیروگاه به طور مطلوب استفاده می شود (هرماسی و همکاران، ۲۰۱۷).

پیشنهاد های ترویجی

برای بهبود تغذیه فسفر و رشد گیاهان و حفظ محیط زیست توصیه می شود از راهبرد مدیریت تلفیقی

^۱-Fly ash or flue ash

مالی اختصاص یافته توسط دولت برای انجام پژوهش‌های مربوط به تولید کودهای کندرهای فسفر لازم است بخش خصوصی نیز در این مورد سرمایه‌گذاری نماید. تعداد کودهای زیستی فسفر در بازار محدود بوده و در مواردی کیفیت لازم را ندارند. ضروری است پژوهش‌های پیش‌تری در مورد امکان همزیست‌سازی ریزجانداران مفید با گیاهان مختلف انجام و کودهای زیستی جدید با کیفیت مطلوب در اختیار کشاورزان قرار گیرد. کشاورزانی که از روش‌های نوین کشاورزی پایدار مانند کودهای کندرهای فسفر استفاده می‌کنند، نباید از سنت‌ها و تجربه‌های ارزنده نیاکان خود که در سال‌های گذشته اندوخته‌اند، غافل باشند. به‌بیان‌دیگر، هم‌زمان با کاربرد فناوری‌های نوین، استفاده از دانش بومی را نیز نباید هنگام مصرف کودهای فسفر فراموش کرد.

فهرست منابع

۱. توپسرکانی، ح.، و ف. صداقت. ۱۳۹۱. کیتین و کیتوسان: ساختار، خصوصیات و کاربردها. مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۲(۳): ۲۶-۴۰.
۲. حیدری، ن.، ع. ریحانی‌تبار، ن. نجفی، و ش. اوستان. ۱۳۹۲. روابط شکل‌های فسفر معدنی و آلی با رشد ذرت و جذب فسفر در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۵۰-۲۳۷.
۳. سلیم‌پور، س.، ک. خاوازی، ح. نادیان، و ح. بشارتی. ۱۳۸۹. تاثیر خاک فسفات همراه با گوگرد و ریزجانداران بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۴(۱): ۹-۱۹.
۴. شهبازی، ک.، و ح. بشارتی. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی، ۱۱(۱): ۱-۱۶.
۵. عظیم‌زاده، ی.، ن. نجفی، ع. ریحانی‌تبار، ش. اوستان، ع. ختایی. ۱۳۹۸. اثر کود فسفر و ترکیب‌های هیدروکسید دوگانه لایه‌ای بر پایه بیوجار و هیدروچار بر ماده خشک و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه ذرت. مهندسی زراعی، ۴۲(۱): ۱۲۷-۱۴۶.
۶. کاظم‌علیلو، س.، ن. نجفی، و ع. ریحانی‌تبار. ۱۳۹۶. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آفتاب‌گردان با مصرف تلفیقی فسفر و لجن فاضلاب در شرایط آبیاری مطلوب و محدود. آب و خاک-دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۱(۶): ۱۶۳۷-۱۶۵۰.
۷. مطلبی‌فرد، ر.، ن. نجفی، ش. اوستان. ۱۳۹۳. اثر شرایط مختلف رطوبت خاک و کودهای روی و فسفر بر فسفر قابل‌استخراج یک خاک آهکی. نشریه دانش آب و خاک، ۲۴(۲): ۲۲۷-۲۴۱.
۸. نجفی، ن.، ر. احمدی‌نژاد، ن. علی‌اصغرزاد، و ش. اوستان. ۱۳۹۸. اثر تلفیق اوره با کود دامی و دو نوع کمپوست (لجن فاضلاب و پسماند شهری) بر عملکرد دانه، برگ و ساقه گندم و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم آن‌ها. نشریه آب و خاک-دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۳(۱): ۶۳-۸۱.
۹. نجفی، ن.، و ح. توفیقی. ۱۳۸۵. بررسی اثر ریزوسفر گیاه برنج بر شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران: ۱- شکل‌های فسفر بومی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۷(۵): ۹۱۹-۹۳۳.
۱۰. نجفی، ن.، و ح. توفیقی. ۱۳۹۰. اثر رژیم رطوبتی و کود فسفر بر فسفر قابل‌جذب و شکل‌های فسفر معدنی در برخی خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۲(۲): ۲۶۹-۲۵۷.

۱۱. نجفی، ن.، و ح. توفیقی. ۱۳۹۱. اثر رایزوسفر گیاه برنج بر شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران: پس از کاربرد کود فسفر. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۳): ۲۴۲-۲۳۱.
12. Adhikari, T., S. Kundu, V. Meena, and A.S. Rao. 2014. Utilization of nano rock phosphate by maize (*Zea mays* L.) crop in a Vertisol of Central India. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 4: 384-394.
13. Alloush, G.A., and R.B. Clark. 2001. Maize response to phosphate rock and arbuscular mycorrhizal fungi in acidic soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 231-254.
14. Antonini, S., M.A. Arias, T. Eichert, and J. Clemens. 2012. Greenhouse evaluation and environmental impact assessment of different urine-derived struvite fertilisers as phosphorus sources for plants. *Chemosphere*, 89: 1202-1210.
15. Ao, L., L. Qin, H. Kang, Z. Zhou, and H. Su. 2013. Preparation, properties and field application of biodegradable and phosphorus-release films based on fermentation residue. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 82: 134-140.
16. Bala, N., A. Dey, S. Das, R. Basu, and P. Nandy. 2014. Effect of Hydroxyapatite nanorod on chickpea (*Cicer arietinum*) plant growth and its possible use as nano-fertilizer. *Iranian Journal of Plant Physiology* 4: 1061-1069.
17. Bansiwat, A.K., S.S. Rayalu, N.K. Labhasetwar, A.A. Juwarkar, and S. Devotta. 2006. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13): 4773-4779.
18. Barrow, N.J., and A. Debnath. 2014. Effect of phosphate status on the sorption and desorption properties of some soils of northern India. *Plant and Soil*, 378: 383-395.
19. Baur, R.J. 2009. Waste activated sludge stripping to remove internal phosphorus. US patent 7604740B2.
20. Benicio, L.P., V.R.L. Constantino, F.G. Pinto, L. Vergutz, Tronto J., and L.M. Costa 2017. Layered double hydroxides: New technology in phosphate fertilizers based on nanostructured materials. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5: 399-409.
21. Benzian, B., J. Bolton, and G.E.G. Mattingly. 1969. Soluble and slow-release PK-fertilizers for seedlings and transplants of *Picea sitchensis* and *Picea abies* in two English nurseries. *Plant and Soil*, 31(2): 238-256.
22. Cabeza, R., B. Steingrobe, W. Romer, and N. Claassen. 2011. Effectiveness of recycled P products as P fertilisers, as evaluated in pot experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 91: 173-184.
23. Chhowalla, M. 2017. Slow release nanofertilizers for bumper crops. *ACS Central Science*, 3: 156-157.
24. Conley, D.J., H.W. Paer, R.W. Howarth, D.F. Boesch, S.P. Seitzinger, K.E. Havens, C. Lancelot, and G.E. Likens. 2009. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science*, 323(5917): 1014-1015.
25. Cordell, D., and T. Neset. 2014. Phosphorus vulnerability: a qualitative framework for assessing vulnerability of national and regional food systems to the multidimensional stressors of phosphorus scarcity. *Global Environmental Change*, 24:108-122.
26. Cordell, D., J.O. Drangert, and S. White. 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2): 292-305.
27. Davidson, D., and F.X. Gu. 2012. Materials for sustained and controlled release of nutrients and molecules to support plant growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 870-876.
28. Dodds, W.K., W.W. Bouska, J.L. Eitzmann, T.J. Pilger, K.L. Pitts, A.J. Riley, J.T. Schloesser, and D.J. Thornbrugh. 2009. Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages. *Environmental Science & Technology*, 43:12-19.
29. Dong, Y.J., M.R. He, Z.L. Wang, W.F. Chen, J. Hou, X.K. Qiu, and J.W. Zhang. 2016. Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(3): 637-649.

30. Elser, J., and E. Bennett. 2011. Phosphorus: a broken biogeochemical cycle. *Nature* 478:29–31.
31. Elser, J.J., S.R. Carpenter, and W.A. Brock. 2014. Regime shift in fertiliser commodities indicates more turbulence ahead for food security. *PLoS One* 9: e93998.
32. Everaert, M., F. Degryse, M.J. McLaughlin, D.D. Vos, and E. Smolders. 2017. Agronomic effectiveness of granulated and powdered P-exchanged Mg-Al LDH relative to struvite and MAP. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(32):6736–6744.
33. Everaert, M., R. Warrinnier, S. Baken, J. Gustafsson, D.D. Vos, and E. Smolders 2016. Phosphate-exchanged Mg–Al layered double hydroxides: A new slow release phosphate fertilizer. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 4(8):4280–4287.
34. Gajic, A., and H.J. Koch. 2012. Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth reduction caused by hydrochar is related to nitrogen supply. *Journal of Environmental Quality*, 41:1067–1075.
35. Gao, X., C. Li, M. Zhang, R. Wang, and B. Chen. 2015. Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. *Field Crops Research*, 181:60–68.
36. Giroto, A., S. Fidélis, and C. Ribeiro. 2015. Controlled release from hydroxyapatite nanoparticles incorporated into biodegradable, soluble host matrixes. *RSC Advances*, 5:104179–104186.
37. Gosling, P., A. Mead, M. Proctor, J.P. Hammond, and G.D. Bending 2013. Contrasting arbuscular mycorrhizal communities colonizing different host plants show a similar response to a soil phosphorus concentration gradient. *New Phytologist*, 198: 546–556.
38. Gowariker, V., V.N. Krishnamurthy, S. Gowariker, M. Dhanorkar, and K. Paranjape. 2009. *The fertilizer encyclopedia*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA.
39. Grant, C.A., D.N. Flaten, D.J. Tomasiewicz, and S.C. Sheppard. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 211–224.
40. Greaves, J., P. Hobbs, D. Chadwick, and P. Haygarth. 1999. Prospects for the recovery of phosphorus from animal manures: a review. *Environmental Technology*, 20: 697–708.
41. Gryndler, M., J. Larsen, H. Hrselova, V. Rezacova, H. Gryndlerova, and J. Kubat. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. *Mycorrhiza*, 16: 159–166.
42. Guan, Y., C. Song, Y. Gan, and F.M. Li. 2014. Increased maize yield using slow-release attapulgite-coated fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development*, 34: 657–665.
43. Hagin, J., and R. Harrison. 1993. Phosphate rocks and partially-acidulated phosphate rocks as controlled-release P fertilizers. *Fertilizer Research*, 35: 25–31.
44. Halajnia, A., S. Oustan, N. Najafi, A.R. Khataee, and A. Lakzian 2013. Adsorption-desorption characteristics of nitrate, phosphate and sulfate on Mg-Al layered double hydroxide. *Applied Clay Science*, 80–81: 305–312.
45. Hamdali, H., B. Bouizgarne, M. Hafidi, A. Lebrihi, M. Virolle, and Y. Ouhdouch. 2008. Screening for rock phosphate solubilizing actinomycetes from Moroccan phosphate mines. *Applied Soil Ecology*, 38(1): 12–19.
46. Hamdallah, G. 2000. Soil fertility management: the need for new concepts in the region. In: *Proceedings of the Regional Workshop on Soil Fertility Management through Farmer Field Schools in the Near East*, 2 – 5 October 2000, Amman, Jordan. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for the Near East.
47. Hart, M.R., B.F. Quin, and M.L. Nguyen. 2004. Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertiliser effects. *Journal of Environmental Quality*, 33: 1954–1972.
48. Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. Sixth Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.
49. He, Z.L., V.C. Baligar, D.C. Martens, K.D. Ritchey, and M. Elrashidi. 1999. Effect of byproduct, nitrogen fertilizer, and zeolite on phosphate rock dissolution and extractable phosphorus in acid soil. *Plant and Soil*, 208: 199–207.
50. Hermassi, M., C. Valderrama, N. Moreno, O. Font, X. Querol, N.H. Batis, and J.L. Cortina. 2017. Fly ash as reactive sorbent for phosphate removal from treated waste

- water as a potential slow release fertilizer. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5: 160–169.
51. Jaffer, Y., T. Clark, P. Pearce, and S. Parsons. 2002. Potential phosphorus recovery by struvite formation. *Water Research*, 36: 1834–1842.
52. Jia, X., Z. Ma, G. Zhang, J. Hu, Z. Liu, H. Wang, and F. Zhou. 2013. Polydopamine film coated controlled-release multielement compound fertilizer based on mussel-inspired chemistry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 2919–292.
53. Jing, J., Y. Rui, F. Zhang, Z. Rengel, and J. Shen. 2010. Localized application of phosphorus and ammonium improves growth of maize seedlings by stimulating root proliferation and rhizosphere acidification. *Field Crops Research*, 119: 355–364.
54. Jones, J.B. Jr. 2012. *Plant nutrition and soil fertility manual*. Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. USA.
55. Joseph, S., and J. Lehmann. 2009. *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan, London, UK.
56. Kahiluoto, H., E. Ketoja, and M. Vestberg. 2000. Promotion of utilization of arbuscular mycorrhiza through reduced P fertilization 1. Bioassays in a growth chamber. *Plant and Soil*, 227: 191–206.
57. Karan, B.Z., and A.N. Ay. 2012. Layered double hydroxides-multifunctional nanomaterials. *Chemical Papers*, 66(1): 1–10.
58. Koilraj, P., C.A. Antonyraj, V. Gupta, C.R.K. Reddy, and S. Kannan. 2013. Novel approach for selective phosphate removal using colloidal layered double hydroxide nanosheets and use of residue as fertilizer. *Applied Clay Science*, 86: 111–118.
59. Kottogoda, N., C. Sandaruwan, G. Priyadarshana, A. Siriwardhana, U.A. Rathnayake, D.M.B. Arachchige, A.R. Kumarasinghe, D. Dahanayake, V. Karunaratne, and G.A.J. Amaratunga. 2017. Urea-hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen. *ACS Nano*, 11(2): 1214–1221.
60. Le Corre, K.S., E. Valsami-Jones, P. Hobbs, and S.A. Parsons. 2009. Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39: 433–477.
61. Lederer, J., D. Laner, and J. Fellner. 2014. A framework for the evaluation of anthropogenic resources: the case study of phosphorus stocks in Austria. *Journal of Cleaner Production*, 84: 368–381.
62. Lehmann, J., M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W.C. Hockaday, and D. Crowley. 2011. Biochar effects on soil biota: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 1812–1836.
63. Li, R., J.J. Wang, B., Zhou M.K. Awasthi, A. Ali, Z. Zhang, L.A. Gaston, A.H., and A. Mahar. 2016. Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios. *Science of the Total Environment*, 559: 121–129.
64. Liang, R., M.Z. Liu, and L. Wu. 2007. Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. *Reactive and Functional Polymers*, 67: 769–779.
65. Libra, J.A., K.S. Ro, C. Kammann, A. Funke, N.D., Berge Y. Neubauer, M. Titirici, C. Fuhner, O. Bens, J. Kern, and K.H. Emmerich. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2(1): 89–24.
66. Liu, R.Q., and R. Lal. 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports–Nature*, 4: 5686.
67. Lubkowski, K. 2014. Coating of fertilizer granules with biodegradable materials as a preparation method of controlled release fertilizer. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(10): 2573–2581.
68. Lubkowski, K., A. Smorowska, B. Grzmil, and A. Kozłowska. 2015. Controlled-release fertilizer prepared using a biodegradable aliphatic copolyester of poly(butylene succinate) and dimerized fatty acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(10): 2597–2605.

69. Ma, Z., X. Jia, G. Zhang, J. Hu, X. Zhang, Z. Liu, H. Wang, and F. Zhou. 2013. pH-responsive controlled-release fertilizer with water retention via atom transfer radical polymerization of acrylic acid on mussel- inspired initiator. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 5474–5482.
70. Malhi, S.S., L.K. Haderlein, D.G. Pauly, and A.M. Johnston. 2000. Improving fertilizer phosphorus use efficiency. *Better Crops*, 86: 8–9.
71. Marschner, P. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Third Edition, Elsevier, Academic Press, Waltham, USA.
72. Mastronardi, E., P. Tsae, X. Zhang, C. Monreal, and M.C. DeRosa. 2015. Strategic role of nanotechnology in fertilizers: Potential and limitations. Pp. 25–67. In: Rai M., Duran N., Ribeiro C., Mattoso L. (Eds) *Nanotechnologies in food and agriculture*. Springer International Publishing, Switzerland.
73. McLaughlin, M.J., T.M. McBeath, R. Smernik, S.P. Stacey, B. Ajiboye, and C. Guppy. 2011. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils –implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant and Soil*, 349: 69–87.
74. Mourya, V.K., and N.N. Inamdar. 2008. Chitosan–modifications and applications: Opportunities galore. *Reactive and Functional Polymers*, 68(6): 1013–1051.
75. Murray, H. 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science*, 17(5–6): 207–221.
76. Nadeem, M., A. Mollier, C. Morel, A. Vives, L. Prud'homme, and S. Pellerin. 2011. Relative contribution of seed phosphorus reserves and exogenous phosphorus uptake to maize (*Zea mays* L.) nutrition during early growth stages. *Plant and Soil*, 346: 231–244.
77. Nair, R., S.H. Varghese, B.G. Nair, T. Maekawa, Y. Yoshida, and D.S. Kumar. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179: 154–163.
78. Nelson, K.A., S.M. Paniagua, and P.P. Motavalli. 2009. Effect of polymer coated urea, irrigation, and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a clay pan soil. *Agronomy Journal*, 101(3):681–687.
79. Ni, B., S. Lu, and M. Liu. 2012. Novel multinutrient fertilizer and its effect on slow release, water holding, and soil amending. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(40):12993–13000.
80. Olad, A., H. Zebhi, D.Salari, A. Mirmohseni, and A. Reyhanitabar. 2018. Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based nanocomposite with the function of water retention in soil. *Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications*, 90: 333–340.
81. Omar, S.A. 1998. The role of rock phosphate solubilizing fungi and vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) in growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14: 211–219.
82. Panhwar, Q.A., O. Radziah, A.R. Zaharah, M. Sariah, and I.M. Razi. 2011. Role of phosphate solubilizing bacteria on rock phosphate solubility and growth of aerobic rice. *Journal of Environmental Biology*, 32(5):607–612.
83. Piccini, D., and R. Azcon. 1987. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the utilization of Bayovar rock phosphate by alfalfa plants using a sand-vermiculite medium. *Plant and Soil*, 101(1): 45–50.
84. Pickering, H.W., N.W. Menzies, and M.N. Hunter. 2002. Zeolite/rock phosphate–a novel slow release phosphorus fertiliser for potted plant production. *Scientia Horticulturae*, 94(3–4): 333–343.
85. Pitman, M.G., and A. Lauchli. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. Pp. 3–20. In: Lauchli A. and Luttge U. (eds.), *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
86. Rajan, S.S.S., M.B. O'Connor, and A.G. Sinclair. 1994. Partially acidulated phosphate rocks: Controlled release phosphorus fertilizers for more sustainable agriculture. *Fertilizer Research*, 37: 69–78.
87. Rashidzadeh, A., A. Olad, and A. Reyhanitabar. 2015. Hydrogel/clinoptilolite nanocomposite–coated fertilizer: swelling, water–retention and slow-release fertilizer properties. *Polymer Bulletin*, 72: 2667–2684.

88. Reijnders, L. 2014. Phosphorus resources, their depletion and conservation, a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 93: 32–49.
89. Sainz, M.J., M.T. Taboada-Castro, and A. Vilarino. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant and Soil*, 205: 85–92.
90. Sarkar, S., S.C. Datta, and D.R. Biswas. 2015. Effect of fertilizer loaded nanoclay/superabsorbent polymer composites on nitrogen and phosphorus release in soil. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences*, 85(2): 415–421. Springer India.
91. Schultz, J.J., D.I. Gregory, and O.P. Engelstad. 1992. Phosphate fertilizers and the environment. International Fertilizer Development Centre, Muscle Shoals, Alabama, USA.
92. Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi, and T.A. Gobi. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer plus*, 2(587): 1–14.
93. Shaviv, A., and R.L. Mikkelsen. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation- A review. *Fertilizer Research*, 35(1–2): 1–12.
94. Shoji, S. 2005. Innovative use of controlled availability fertilizers with high performance for intensive agriculture and environmental conservation. *Science in China Series C: Life Sciences*, 48: 912–920.
95. Sohi, S.P., E. Krull, E. Lopez-Capel, and R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105: 47–82.
96. Taalab, A.S., and M.A. Badr. 2007. Phosphorous availability from compacted rock phosphate with nitrogen to sorghum inoculated with phospho-bacterium. *Journal of Applied Science and Research*, 3: 195–201.
97. Talboys, P.J., J. Heppell, T. Roose, J.R. Healey, D.L. Jones, and P.J.A. Withers. 2016. Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management? *Plant and Soil*, 401: 109–123.
98. Teixeira, R.D.S., I.R. da Silva, R.N. de Sousa, M. Mattiello, and E.M.B. Soares. 2016. Organic acid coated-slow-release phosphorus fertilizers improve P availability and maize growth in a tropical soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(4): 1097–1112.
99. Teodorescu, M., A. Lungu, P.O. Stanescu, and C. Neamtu. 2009. Preparation and properties of novel slow-release NPK agrochemical formulations based on poly (acrylic acid) hydrogels and liquid fertilizers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48: 6527–6534.
100. Tian, C., X. Zhou, Q. Liu, J. Peng, W. Wang, Z. Zhang, Y. Yang, H. Song, and C. Gun. 2016. Effects of a controlled-release fertilizer on yield, nutrient uptake, and fertilizer usage efficiency in early ripening rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Zhejiang University–Science B*, 17(10): 775–768.
101. Trenkel, M.E. 2010. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. Second edition, International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France
102. Van Geel, M., M. De Beenhouwer, T. Ceulemans, K. Caes, A. Ceustermans, D. Bylemans, A. Gomand, B. Lievens, and O. Honnay. 2016. Application of slow-release phosphorus fertilizers increases arbuscular mycorrhizal fungal diversity in the roots of apple trees. *Plant and Soil*, 402: 291–301.
103. Wan, S., S. Wang, Y. Li, and B. Gao. 2017. Functionalizing biochar with Mg-Al and Mg-Fe layered double hydroxides for removal of phosphate from aqueous solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 47: 246–253.
104. Weaver, D.M., G.S.P. Ritchie, G.C. Anderson, and D.M. Deeley. 1988. Phosphorus leaching in sandy soils. I. Short term effects of fertilizer applications and environmental conditions. *Australian Journal of Soil Research*, 26: 177–190.

105. Wilsenach, J.A. A., C.A.H. Schuurbijs, and M.C.M. van Loosdrecht. 2007. Phosphate and potassium recovery from source separated urine through struvite precipitation. *Water Research*, 41:458–466.
106. Wilson, M.A., N.H. Tran, A.S. Milev, G.S.K. Kannangara, H. Volk, and G.Q.M. Lu. 2008. Nanomaterials in soils. *Geoderma*, 146: 291–302.
107. Withers, P.J.A., C. Neal, H.P. Jarvie, and D.G. Doody. 2014. Agriculture and eutrophication: where do we go from here? *Sustainability*, 6(9): 5853–5875.
108. Withers, P.J.A., K.C. van Dijk, T. Neset, T. Nesme, O. Oenema, G.H. Rubak, O.F. Schoumans, B. Smit, and S. Pellerin. 2015. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: the case of Europe. *Ambio*, 44(Suppl. 2):193–206.
109. Wu, L., and M. Liu. 2008. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers*, 72(2): 240–247.
110. Xie, L., M. Liu, B. Ni, X. Zhange, and Y. Wang. 2010. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. *Chemical Engineering Journal*, 167: 342–348.
111. Yan, X., J.Y. Jin, P. He, and M.Z. Liang. 2008. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency. *Agricultural Sciences in China*, 7(4): 469–479.
112. Yoshimura, M., and K. Byrappa. 2008. Hydrothermal processing of materials: past, present and future. *Journal of Materials Science*, 48: 2085–2103.
113. Zhang, Q.L., Zhang, M., Tian, W.B., 2001. Leaching characteristics of controlled release and common fertilizers and their effects on soil and ground water quality. *Soil Environ. Sci.* 10, 98–103.
114. Zhang, M., B. Gao, J. Chen, Y. Li, A.E. Creamer, and H. Chen. 2014b. Slow-release fertilizer encapsulated by graphene oxide films. *Chemical Engineering Journal*, 255: 107–113.
115. Zhang, M., B. Gao, J. Fang, A.E. Creamer, and J.L. Ullman. 2014a. Self-assembly of needle-like layered double hydroxide (LDH) nanocrystals on hydrochar: Characterization and phosphate removal ability. *RSC Advances*, 4(53): 28171–28175.
116. Zhang, M., B. Gao, Y. Yao, and Inyang M. 2013. Phosphate removal ability of biochar/MgAl-LDH ultra-fine composites prepared by liquid-phase deposition. *Chemosphere*, 92: 1042–1047.
117. Zhao, G., Y. Liu, Y. Tian, and Y. Sun. 2010. Preparation and properties of macromolecular slow-release fertilizer containing nitrogen, phosphorus and potassium. *Journal of Polymer Research*, 17:119–125.
118. Zhong, K., Z.T. Lin, X.L. Zheng, G.B. Jiang, Y.S. Fang, X.Y. Mao, and Z.W. Liao. 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Carbohydrate Polymers*, 92(2):1367–1376.

چالش‌های حقوقی و ضرورت اصلاح قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی

اصلاحی مصوب ۱۳۸۵

حسین اسماعیل نسب^۱

دکتری حقوق، دانشگاه مفید قم، کارشناس ارشد حقوقی سابق اداره امور اراضی. وکیل دادگستری، بابل، ایران.

Hossein.esmaeilnasab@gmail.com

دریافت: شهریور ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

حراست و حفاظت از ذخایر زیست‌محیطی و تولید غذای سالم و ارگانیک برای تحقق امنیت غذایی، از موضوعات مهمی است که در برنامه‌های توسعه ایران همواره مورد توجه قرار گرفته است. وجود دستگاه‌های دولتی و متولی متعدد، چالش‌های حقوقی برای تکمیل و تحقق اهداف توسعه و رشد اقتصادی را طی سالیان اخیر موجب شده است، تا قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی در اجرا با چالش‌های حقوقی و بعضاً تعارضاتی با سایر قوانین روبرو باشد. این قانون علیرغم اصلاح در سال ۱۳۸۵، باز هم نیازمند اصلاح و تغییر اساسی در مسائلی همچون؛ نوع مجازات مجرمین؛ چگونگی اعاده وضعیت زمین‌های قلع و قمع شده و انتخاب حافظ امین در زمان اجرای آرای قطعیت یافته می‌باشد. لذا در این نوشتار، به بررسی چالش‌های حقوقی و موازی‌کاری‌های دستگاه‌های گوناگون دولتی در این زمینه به شیوه توصیفی-تحلیلی پرداخته‌ایم و باور بر این است که، برای حل چالش‌های حقوقی و تعارض‌های بی‌پایان و موازی‌کاری‌های صلاحیتی میان دستگاه‌های عمومی، اتخاذ رویکردی جدید با ادغام قوانین بسیار پراکنده و گوناگون در یک قانون جامع و منسجم و اعطای اختیارات یکپارچه به یک نهاد یا سازمان مستقل برای تصمیم‌گیری و پیگیری جرائم تغییر کاربری در خارج از حوزه شهرها و روستاها ضروری است تا شاهد کاهش تغییر کاربری‌های غیرمجاز و پیگیری قضایی متناسب با مجرمان در کشور باشیم.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری - قانون - جرم - زراعی و باغی

^۱. آدرس نویسنده مسئول: دفتر وکالت، بابل، ایران.

مقدمه

سازمان ملل مطابق برنامه توسعه پایدار ۲۰۳۰ خود، زدودن فقر و رفع گرسنگی را از محورهای اصلی اهداف خود اعلام کرده است (سند توسعه پایدار ۲۰۳۰ سازمان ملل) و حتی در برنامه‌های زیست‌محیطی و تغییرات آب و هوایی پاریس (۲۰۱۵) و برنامه سازمان جهانی فائو ۲۰۳۰ - ۲۰۵۰ نیز بر اهمیت حفظ و حراست از منابع طبیعی و زیستی و توسعه برنامه‌های کشاورزی و حراست از زمین‌های کشاورزی تأکید شده است (الکساندر و بروینسما، ۲۰۱۲) اما چگونگی اتخاذ تصمیم و رویکرد قانون‌گذاری و مدیریت منابع، به کشورهای عضو واگذار شده است. امری که موجب می‌شود کشور ایران، نه تنها صرفاً به منظور تحقق آن برنامه‌ها و اسناد بین‌المللی، بلکه به منظور تحقق اهداف توسعه پایدار و عدم مهاجرت روستائیان به شهرها و حفظ رشد تولید محصولات کشاورزی در موازات رشد جمعیتی کشور، به شکل جدی‌تری قوانین فعلی خود را بررسی و مورد واکاوی قرار دهد تا با رفع ضعف‌ها و چالش‌های حقوقی، تغییر کاربری غیرمجاز افسارگسیخته را آن‌هم در بهترین زمین‌های کشاورزی، مهار و مدیریت صحیح‌تری اعمال نماید چراکه سالانه به طور متوسط ۱۴/۲ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی ایران به زیر کشت محصولات زراعی و باغی می‌رود که حفظ این سطح از کشت و ممانعت از تغییر کاربری غیرمجاز، قوانین و برنامه‌های هدفمند و جدی می‌خواهد (قنبری، ۱۳۹۸). بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند تغییر کاربری در اراضی زراعی، باغی و جنگلی بسیار شدت گرفته است. برای مثال در شهرستان رشت، براساس اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای طی سال‌های ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۲ معادل ۳۵۰۴۲ هکتار از اراضی زراعی که مستعدترین زمین‌های شهرستان بوده و نیز ۴۸۳۲ هکتار از جنگل‌ها و مراتع تغییر کاربری داده است (کلالی مقدم، ۱۳۹۵). عوامل موثر بر این تغییر کاربری در قالب متغیرهای اقتصادی (گرانی نهاده‌های کشاورزی، پایین بودن قیمت محصولات زراعی و...)، اجتماعی (بی سوادی و کم سواد زارعین، عدم

تخصص و...)، طبیعی (فرسایش خاک و...) مورد بررسی قرار گرفته است.

از دیگر سو مطابق قانون، مرجع تشخیص اراضی زراعی و باغ‌ها، وزارت جهاد کشاورزی است و مراجع قضایی و اداری موظف به رعایت نظر سازمان مذکور خواهند بود. ادامه تغییر کاربری‌های گسترده، سبب تخریب خاک‌ها و نابودی بخش بزرگی از زمین‌های کشاورزی شده و از دیدگاه امنیت غذایی، خودکفایی و اشتغال پایدار جامعه روستایی، پیامدهای اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. فشار صنعت، گردشگری، بحران کم‌آبی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها و بهره‌وری بخش کشاورزی، تغییر سبک زندگی روستائیان، ضعف قوانین بازدارنده و فساد اداری، حفاظت از اراضی کشاورزی را دشوارتر می‌کند. مشکلات اقتصادی مردم، درآمد کم، نداشتن پشتوانه مالی، به صرفه نبودن فعالیت‌های کشاورزی، افزایش هزینه‌های کشاورزی، افزایش کاذب قیمت زمین، مسکن، افزایش هزینه‌های زندگی و مشکلات مربوط به فروش محصولات از عوامل مهم اقتصادی تغییر کاربری است. گسترش شهرنشینی و فشار توسعه، بهره‌برداری بی‌رویه، تغییرات نادرست کاربری اراضی و دست‌اندازی بشر به عرصه‌های کشاورزی، روز به روز باعث برهم زدن تعادل‌های زیست می‌گردد (درویدیان، ۱۳۹۶). چالش‌های تغییر کاربری در مورد اراضی زیر کشت محصولات راهبردی که اشتغال زیادی را ایجاد کرده‌اند مانند برنج، آن‌هم در استان‌های شمالی که هدف و مقصد گردشگری هستند، شدیدتر و جبران ناپذیرتر است. امروزه در کنار مشکلات معیشتی کشاورزان؛ و همچنین وجود انبوه متقاضیان غیربومی به‌ویژه مرکزنیسان برای داشتن ویلاهای مناسب در شمال کشور، متأسفانه شاهد خرد شدن و فروش اراضی کشاورزی هستیم (مرزوقی، ۱۳۸۲). به‌طور کلی این عوامل را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد (عسگرخانی، ۱۳۹۵): عوامل قانونی - عوامل جمعیتی - عوامل اقتصادی.

لذا افزایش قیمت و بورس‌بازی زمین و مسکن؛ پایین بودن بازده اراضی کشاورزی و باغی و رشد بخش‌های بازرگانی و بهداشت و درمان، از سوی دیگر توسعه شهری و برنامه‌ریزی شهری برای کاربری‌های گوناگون و الحاق مناطق کشاورزی و حریم شهری به منطقه شهری و طرح هادی روستایی، لزوم داشتن تناسب میان جمعیت ثابت و مسافر در قالب معیارهای کمی و کیفی را توسط دستگاه‌های مسئول دوجندان می‌نماید (ابراهیم‌زاده، ۱۳۸۹)؛ لذا مبنای حقوقی حق بر غذا، برای جلوگیری از آن وقایع، ابتدا در ماده ۱۱ میثاق بین‌المللی حقوق اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در سال ۱۹۶۶ درج شد تا اهمیت آن را مورد تاکید قرار دهد (اسماعیل نسب، ۱۳۹۵: ۲) و در سطح داخلی نیز، نباید اهمیت تغییر کاربری غیرمجاز و اصلاح قوانین داخلی را به منظور جلوگیری از به خطر افتادن امنیت غذایی مردم ایران، بی‌تأثیر دانست امری که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

چالش‌های حقوقی قانون حفظ کاربری اراضی در اجرا اعلام جرم و رسیدگی

قانون جدید آیین دادرسی کیفری با هدف عملیاتی کردن مشارکت مردم، تعقیب دعوای عمومی را در دسته‌ای خاص از جرائم توسط این سازمان‌ها به رسمیت شناخته است. هرچند در متن قانون از سمت این سازمان‌ها به‌عنوان اعلام‌کننده جرم یاد شده است اما اختیارات گسترده‌ای از قبیل اقامه دلیل و اعتراض به آرای صادره به آن‌ها واگذار شده است. شاید بتوان گفت که با توجه به اختیارات «شاکی»، ذکر عنوان شاکی و اعلام‌کننده جرم توأمان در نظر گرفته شده است. در صورتی که به منافع خصوصی اشخاص حقوقی یا این انجمن‌ها آسیبی وارد شود، با توجه به همان شرایط، اشخاص حقیقی می‌توانند اقامه دعوا کنند اما موضوعی که در این قانون مغفول واقع شده است، چگونگی سازوکار نظارتی بر فعالیت این سازمان‌هاست (کوشکی، ۱۳۹۲). از نظر مقررات آیین دادرسی کیفری، بین «شاکی خصوصی یا مدعی خصوصی» و «اعلام‌کننده جرم» تفاوت‌هایی وجود دارد. کسی که جرم

مستقیماً نسبت به او واقع شده، متضرر از جرم یا بزه دیده خوانده می‌شود و وقتی چنین شخصی یا قائم‌مقام او (مانند ورثه) مطالبه حقی از قبیل قصاص (بدون لزوم تقدیم دادخواست) یا مطالبه ضرر و زیان ناشی از جرم را به موجب دادخواست می‌کند، مدعی خصوصی نامیده می‌شود و به هر صورت شاکی یا مدعی خصوصی متضرر از جرم یا ذی‌نفع در اعلام شکایت است. بنابراین او در جریان دادرسی دارای حقوق و مزایایی است از جمله این‌که از حق گذشت برخوردار است و یا حق تجدیدنظرخواهی نسبت به احکام و... دارد؛ اما در اعلام جرم، الزاماً اعلام‌کننده، متضرر از جرم نیست زیرا اگر متضرر از جرم باشد، او شاکی خصوصی نامیده می‌شود و چنانچه چنین شخصی فقط «خبردهنده» وقوع جرمی باشد، تنها اعلام‌کننده جرم است و از حقوق شاکی برخوردار نیست، اما چه کسانی یا مقاماتی حق اعلام جرم دارند؟ اصولاً، دادستان، ضابطان دادگستری و اشخاصی که مکلف به اعلام جرم هستند (مانند وزارت بهداشت در تخلفات پزشکی که جنبه عمومی دارند)، اعلام جرم وظیفه آنان محسوب می‌شود و چنانچه در جرائم عمومی با وجود اطلاع از وقوع جرم به تکلیف خود عمل نکنند حسب مورد دارای مسئولیت‌های کیفری و انتظامی خواهند بود. افزون بر این در جرائمی که صرفاً دارای جنبه خصوصی هستند، جز با شکایت شاکی یا قائم‌مقام وی، تعقیب جزایی شروع نمی‌شود و طبق ماده ۶۸ قانون آیین دادرسی کیفری دادگاه‌های عمومی و انقلاب «شکایت برای شروع به رسیدگی کافی است، قاضی نمی‌تواند از انجام آن خودداری نماید». در حالی که هر اعلام جرمی، برای شروع به تحقیقات کافی نیست مگر این‌که جرم دارای جنبه عمومی و اعلام‌کننده، خود ناظر وقوع چنین جرمی باشد که در این صورت «این اظهار برای شروع به رسیدگی کافی است» (از ماده ۶۶ همان قانون).

نکته قابل‌ذکر دیگر این است که در جرائمی که وفق مواد ۱۰۳ و ۱۰۴ قانون مجازات اسلامی، دارای «جنبه عمومی» است، ممکن است با در نظر گرفتن ماهیت عمل مجرمانه یا توصیف آن، وقوع جرم، جدای از صدمه به

جامعه، موجب وارد شدن ضرر به اشخاص خصوصی شود. مصداق‌های رایج این نوع جرائم فراوان هستند، مانند کلاهبرداری، خیانت در امانت، سرقت. بنابراین قید این‌که کلیه جرائم موضوع قانون خاصی دارای جنبه عمومی است، نباید این تصور را ایجاد کند که شخص یا اشخاص متضرر از این نوع جرائم، شاکی خصوصی محسوب نمی‌شوند زیرا در جرمی که دارای جنبه عمومی است هر چند تعقیب بدون اعلام شکایت شاکی نیز الزامی است، به هر حال شاکی خصوصی حق شکایت و یا گذشت از شکایت را دارد اگرچه در این نوع جرائم گذشت وی موجب موقوفی تعقیب نخواهد بود اما قانون‌گذار وظیفه دستگاه‌های دولتی را به صراحت روشن نکرده است! به نظر می‌رسد دستگاه‌های دولتی مانند جهاد کشاورزی در راستای پیگیری مجرمان تغییر کاربری غیرمجاز، می‌تواند وفق مواد ۶۵ و ۷۲ قانون آئین دادرسی کیفری، صرفاً به دادستان اعلام جرم کند چراکه حسب مواد ۵۹۹ و ۶۰۶ قانون مجازات اسلامی و ماده ۱۳ و ۱۴ قانون ارتقاء سلامت اداری و مقابله با فساد مصوب ۱۳۹۰، مقامات دولتی موظف به اعلام جرم متخلفین در حوزه کاری‌شان می‌باشند اما نسبت به اعلام جرم مطابق مواد ۳ و ۸ و ۱۰ قانون حفظ کاربری، به نظر می‌رسد وظیفه کمتری برای پیگیری شکایت دارند و با اعلام وفق مواد ۶۵ و ۷۲ قانون آئین دادرسی کیفری، دادستان شهرستان می‌بایست ادامه آن پرونده را شخصاً پیگیری یا وفق بند پ ماده ۴۳۳ قانون مذکور، تقاضای تجدید نظرخواهی نماید، حتی اگر جرم تغییر کاربری را به دلیل صرفاً جزای نقدی که دارد، بر اساس بند ۳ ماده ۱۹ قانون مجازات اسلامی درجه هفت به حساب آوریم و مستقیماً در دادگاه رسیدگی شود (خالقی، ۱۳۹۶)، چراکه به استناد مواد ۱۰۳ و ۱۰۴ قانون مجازات اسلامی، جرم تغییر کاربری از جمله جرائم غیرقابل گذشت محسوب می‌شود.

اجرای حکم قلع و قمع

نبود متولی مشخص برای برخورد با تخلفات ساخت‌وساز غیرمجاز و نداشتن وسایل سنگین مورد نیاز از جمله مشکلاتی است که سبب شده بسیاری از احکام

صادره برای تخریب بناهای غیرمجاز در روستاها و مناطق بیلاقی و خارج از حوزه شهری، همچنان روی کاغذ باقی بماند. ساخت‌وسازهای غیرمجاز در عرصه‌های ملی و اراضی متعلق به اشخاص وجود دارد که شناسایی تخلفات در عرصه طبیعی بر عهده منابع طبیعی و در اراضی اشخاص بر عهده جهاد کشاورزی گذاشته شده است. سال‌هاست بین بخش‌های گوناگون اجرایی درباره تعیین متولی مدیریت در زمینه پیشگیری و برخورد با ساخت‌وسازهای غیرمجاز در منطقه حریم شهر و حریم روستا و مناطق خالصه و مستحده و حریم رودخانه خارج از بافت روستا و ... اختلاف وجود دارد چراکه در یک دوره زمانی، این منطقه زیر نظر بخش‌داری و کمیسیون ماده ۹۹ بود و زمانی زیر نظر شهرداری و کمیسیون ماده ۱۰۰. یکی دیگر از مهم‌ترین مسائل برای اجرای آرای قلع و قمع، نداشتن ماشین‌آلات سنگین است و بخش خصوصی نیز به دلیل تبعات و مشکلات احتمالی حاضر به همکاری در این بخش نیستند. حتی درخواست خرید ماشین‌آلات سنگین از سوی جهاد کشاورزی مطرح شده که تاکنون بودجه‌ای برای آن تأمین نشده است. از سوی دیگر، بسیاری از ساخت‌وسازها در حریم راه یا حریم رودخانه‌ای با کاربری زراعی و باغی است که متولی این بخش راه و شهرسازی و یا شرکت آب منطقه‌ای است که باید با آن‌ها برخورد کند. نه تنها در زمینه پیگیری میان دستگاه‌های گوناگون اختلاف در صلاحیت است، بلکه مقوله مهم‌تر پیگیری نیز حلقه گمشده برخورد با ساخت‌وسازهای غیرمجاز بوده، زیرا بسیاری از ساختمان‌های غیرمجاز در یک دوره زمانی احداث شده‌اند که اگر نظارت و پیشگیری لازم اعمال می‌شد، اکنون شاهد رشد قارچ گونه ویلاهای بعدی و بیشتر، در مزارع کشاورزی و باغ‌ها نبودیم چراکه طبق ماده ۱۰ قانون حفظ کاربری اراضی مزارع و باغ‌ها، هر کس برای ایجاد بنا در اراضی خود باید از جهاد کشاورزی مجوز بگیرد و در غیر این صورت اقدامش غیرقانونی و جرم است. در سایه نبود اقدامات پیشگیرانه، راه‌حل دشوار پیگیری و اجرای آرای قضایی است.

بود که حق‌الزحمه امین اموال را شورای حل اختلاف یا دادسرای مجری حکم و یا دادگاه تعیین خواهد کرد و آیا وفق ماده ۸۲ قانون مذکور، جهاد کشاورزی محکوم‌له در پرونده‌ای با جنبه عمومی محسوب می‌شود تا اجرت حافظ اموال را بپردازد؟ در صورت پرداخت از چه شخصی مطالبه کند؟ سؤالات متعدد در این زمینه و سختی اجرای رأی موجب شده است تا ایرادات قانون‌گذاری و قضایی به‌طور مشهودی در زمان اجرای آرای قلع و قمع بشدت دیده شود و آن‌هم در خصوص اعیانی‌هایی با چندین طبقه و ستون‌های بتنی و محکم که جز با بمب‌گذاری، قابلیت تخریب با لودر یا کارگر را ندارند. از سوی دیگر وفق مواد ۴۸۴ و ۴۹۱ و ۴۹۴ و ۴۹۵ (چگونگی اجرای و انتخاب حافظ امین) و ۴۹۷ و ۴۹۸ قانون آئین دادرسی کیفری، اتخاذ سیاست راهبردی مناسب جهت اجرای رأی کیفری نیز با دادستان و قاضی اجرای احکام کیفری است که متأسفانه رویه مشخصی برای مناطق و زمین‌های گوناگون در نظر گرفته نشده است که این امر نیز، اجرای حکم و واکنش بعد از ساخت‌وساز را با مشکل جدی روبرو نموده است.

تعارض با سایر قوانین

قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی، مهم‌ترین ابزار قانونی برای حفاظت از اراضی کشاورزی است ولی تبصره ۵ این قانون به عنوان تبصره‌ای عجیب اشاره دارد که "اراضی داخل محدوده قانونی روستاهای دارای طرح هادی مصوب، مشمول ضوابط طرح هادی بوده و از کلیه ضوابط مقرر در این قانون مستثنی می‌باشند". در واقع قدرت این تبصره از اصل قانون بیشتر است و بیشترین تغییر کاربری‌ها در درون اراضی طرح هادی ایجاد شده و این طرح ایجاد فساد و رانتی را می‌کند که بعضاً صاحبان زمین با پرداخت رشوه و تطمیع عاملان بازننگری طرح هادی در طراحی بافت روستا مؤثر واقع شده و طرح‌ریزی روستا نه بر اساس توانمندی اکولوژیک و جمعیتی آن، بلکه بر اساس قدرت و نفوذ صاحبان زمین تعیین می‌گردد. در طراحی و بازننگری طرح هادی نباید افزایش طرح هادی باعث گسترش عرضی آبادی روستا به داخل اراضی

لذا علیرغم ابهام در اجرای آرای که متضمن قلع و قمع هستند، سؤال مطرح می‌شود که اگر محکوم علیه اثاثیه و امکانات منزل یا اعیانی مورد قلع و قمع (مانند کولر، تلویزیون، ماشین موجود در پارکینگ) را عمداً خالی نکند و مهیا برای قلع و قمع نسازد، دادورز و مسئولان جهاد کشاورزی و ضابطان دادگستری چه باید بکنند؟ مبحث پنجم از قانون اجرای احکام مدنی مربوط به حفظ اموال منقول توقیف شده است که در زمان اجرای احکام قطعیت یافته، تغییر کاربری نیز تا حدودی در این خصوص کاربرد دارد. ماده ۷۷ قانون مذکور اشاره دارد «اموال توقیف شده در همان جا که هست حفظ می‌شود مگر این‌که نقل اموال به محل دیگری ضرورت داشته باشد». ماده ۷۸ قانون مذکور نیز اشاره دارد «اموال توقیف شده برای حفاظت به شخص مسئولی سپرده می‌شود. حافظ با توافق طرفین تعیین می‌گردد و در صورتی که طرفین حین توقیف حاضر نباشند و یا در انتخاب حافظ تراضی ننمایند، دادورز (مأمور اجرا) شخص قابل اعتمادی را معین می‌کند. اوراق بهادار و جواهر و امثال آن‌ها در صورت اقتضاء در یکی از بانک‌ها به امانت گذاشته می‌شود» و ماده ۸۰ نیز بیان داشته «اموال توقیف شده و رونوشت صورت اموال به شخصی که مسئولیت حفظ را به عهده گرفته تحویل و رسید اخذ می‌گردد» و ماده ۸۲ مقرر کرده «اجرت حافظ را اگر محکوم‌علیه تأدیه نکند محکوم‌له می‌پردازد و از حاصل فروش اشیاء توقیف شده استیفاء می‌نماید. در صورت مطالبه اجرت از طرف حافظ و عدم تأدیه آن مدیر اجرا به محکوم‌له اخطار می‌کند که ظرف ده روز از تاریخ ابلاغ اخطار اجرت حافظ را بپردازد» و ماده ۸۶ بیان داشته «هرگاه حافظ نخواهد یا نتواند اموال توقیف شده را نگهداری کند و یا اوضاع و احوال تغییر او را ایجاب نماید، دادورز (مأمور اجرا) پس از تصویب دادگاه حافظ دیگری معین خواهد کرد».

حال سؤال این است که برای اجرای رأی و اعاده وضع به حالت سابق، اموالی که از عرصه و اعیان آن محل خارج و به حافظ اموال داده می‌شود، حق‌الزحمه آن چقدر است و چه شخصی باید پرداخت نماید؟ مشخص نخواهد

کشاورزی گردد که متأسفانه هرگز این نکته توسط مشاوران و مجریان طرح هادی لحاظ نمی‌گردد (درودیان، ۱۳۹۶). کشاورزان در تمام مراحل تولید، ذخیره‌سازی و عرضه محصول به بازار با آن دست و پنجه نرم می‌کنند، در مواقع زیادی به‌ویژه در امر واردات محصولات کشاورزی و نهاده‌هایی مانند بذر و کود و سموم کشاورزی و فصل صدور مجوزهای واردات محصولات، با سیاست‌های دولت رقابت مستقیم می‌کنند نه با بازارهای جهانی و رقبای ملی و منطقه‌ای شان؛ چراکه ضعف بخش کشاورزی در تأمین اشتغال و درآمد محلی به سبب ماهیت این بخش اقتصادی و عدم حمایت مؤثر دولت، جمعاً حدود ۶۰ درصد اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم در نگرش و تصمیم کشاورزان در عدم مقاومت در فروش اراضی خود به گردشگران و دلالتان جهت ساخت خانه دوم شان دارد که جای خالی سازان میراث فرهنگی نیز به‌عنوان متولی صدور مجوز موافقت اصولی ساخت هتل‌ها و هتل‌ها با تراکم متناسب دیده می‌شود تا عرصه کمتری برای پذیرش مسافران و افراد غیربومی به ساخت‌وساز و آن هم به‌صورت غیرمجاز اختصاص یابد (قدمی، ۱۳۹۱).

از دیگر چالش‌های قانون حفظ کاربری، عدم اجرای صحیح آئین‌نامه اجرایی صدور اسناد مالکیت اراضی کشاورزی مصوب ۱۳۸۵ در راستای ماده ۱۳۳ قانون برنامه چهارم توسعه و قانون حدنگاری (کاداستر) پهنه‌های کشاورزی است چراکه با سنددار نشدن اراضی و مشخص نشدن ملک آن و نقل و انتقال اراضی و تفکیک به‌صورت غیررسمی و غیرمجاز، عاملین اصلی آن از مجازات می‌گریزند و زمینه‌های فرار مجرمان تغییر کاربری غیرمجاز، بر اساس ماده ۴ قانون آئین دادرسی کیفری (عدم توجه اتهام به دلیل ساخت غیرمجاز توسط فروشنده یا اشخاص دیگر)؛ فراهم می‌آید، در صورتی که اگر به استناد مواد ۱۰۳ و ۱۰۴ قانون مجازات اسلامی جرم تغییر کاربری را جرمی غیرقابل گذشت به حساب آوریم، با اعلام جرم وفق ماده ۶۵ قانون آئین دادرسی کیفری، این وظیفه دادستان و مقام تعقیب در دادگاه است که باید وفق مواد ۱۰۴ و تبصره ۱ ماده ۲۸۵ و

۳۰۶ و ۳۴۰ قانون آئین دادرسی کیفری، به شناسایی متهم اقدام کند و از صدور قرار منع تعقیب خودداری نماید. از سوی دیگر ضعف‌های اساسی در قانون تعیین تکلیف اراضی فاقد سند رسمی در بخش زمین‌های کشاورزی و اصلاحات ارضی و مواد ۱۴۷ اصلاحیه سابق قانون ثبت که بر اساس آن‌ها سند مالکیت صادر می‌شد و می‌شود، وجود دارد چراکه افراد سودجو ابتدا اراضی و باغات را به گونه‌ای که خانه قدیمی یا اعیان با قدمت قبل از سال ۱۳۷۴ در آن موجود باشد، تفکیک نموده و در سایر زمین‌ها یک انبار کوچک می‌ساختند و سند مالکیت شش دانگ می‌گیرند و مانع از شمولیت قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی و ممنوعیت مندرج در قانون افراز و فروش املاک مشاع می‌شوند و درنهایت به ساخت‌وساز می‌پردازند. از ضعف‌های قانون حفظ کاربری، قید میزان محکومیت به جزای نقدی تا ۳ برابر مندرج در ماده ۳ قانون مذکور است که رویه غالب شعبات دادگاه نشان داده که کمتر از سه برابر مقوم شده در کمیسیون تقویم اراضی محکوم می‌شوند که جنبه بازدارنده ندارد. حتی با توسعه شهرها و داخل شدن زمین‌های کشاورزی در حوزه شهری، عملاً موضوع تغییر کاربری از صلاحیت قانون حفظ کاربری به استناد تبصره ۵ ماده ۱ خارج و ماده ۹۹ و ۱۰۰ قانون شهرداری‌ها به‌راحتی با دریافت عوارض و مابه‌التفاوت تغییر کاربری، موافقت می‌نمایند که این مهم نیز نوع بافت و کاربری کشاورزی در حوزه‌های شهری و روستایی را با سؤالات جدی مواجه می‌کند که اهمیت و جایگاه آن‌ها چیست؟

تعارض دیگر قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی، با قانون اصلاح قانون ایمنی راه و راه‌آهن مصوب ۱۳۷۹ برای اعمال صلاحیت طرح دعوی زمین‌های زراعی و باغی تغییر کاربری غیرمجاز یافته در حریم اراضی مجاور راه‌ها و محدوده شهرها و راه‌آهن است (کریمی، ۱۳۹۶). ضوابط حفظ حریم و اراضی مجاور راه‌ها در محدوده استحفاظی و حریم شهرها مصوبه مورخ ۶۸/۳/۱ به منظور کنترل ساخت‌وسازهای اطراف جاده‌های بین‌شهری و کمربندی‌ها که عموماً منجر به توسعه بی‌رویه شهرها به

سمت جاده‌های مذکور می‌گردد. شورای عالی شهرسازی و معماری ایران در جلسه مورخ ۶۸/۳/۱ ضوابط زیر را تصویب نمود: کلیه کارگاه‌ها و واحدهای صنعتی و تجاری و خدماتی و نظایر آن موجود در دو طرف راه‌های موضوع این مصوبه می‌بایست به مجموعه‌های متمرکز جدید منتقل شوند. شهرداری‌ها در مورد حریم موضوع ماده ۹۹ مراجع مسئول صدور پروانه و نظارت در حداثات حریم شهرداری تا محدوده نهایی طرح‌های جامع و هادی موظف‌اند محل‌های مناسب برای انتقال این‌گونه واحدها را با همکاری ادارات کل منعکس و شهرسازی استان‌ها بر اساس طرح‌های مصوب توسعه شهری تعیین و تسهیلات لازم را برای انتقال فراهم نمایند و وزارت مسکن و شهرسازی با استفاده از امکانات سازمان زمین شهری و خصوصاً با استفاده از اراضی دولتی، تحقق امر فوق را تسهیل خواهد کرد. محل‌های قبلی را بر اساس تصویب مراجع قانونی مقرر حسب مورد به فضاهای باز و یا سایر کاربری‌های عمومی تبدیل و اعمال هرگونه کاربری خصوصی مغایر با آن ممنوع است؛ لذا علیرغم وجود کمیسیون تبصره ۱ ماده ۱ و مواد ۳ و ۸ و ۱۰ قانون حفظ کاربری، ضوابط حفظ حریم و اراضی مجاور راه‌ها و راه‌آهن در محدوده استحفاظی و حریم شهرها و روستاها، در قانون مذکور، به نهاد دیگری همچون اداره راه و شهرسازی واگذار شده است! در تبصره ۵ ماده ۱ آن قانون آمده است: «برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه حداقل تا شعاع پانصد (۵۰۰) متر از بالادست و یک کیلومتر از پایین دست پل‌ها ممنوع است و متخلفان به مجازات مربوط محکوم خواهند شد». در ماده ۱۷ اشاره دارد: ایجاد هرگونه ساختمان و دیوارکشی و تأسیسات به شعاع صد (۱۰۰) متر از انتهای حریم راه‌ها و حریم راه‌آهن‌های کشور و در طول کنارگذرهایی که وزارت راه و ترابری احداث نموده یا می‌نماید و یا مسئولیت نگهداری آن را به عهده دارد بدون کسب مجوز از وزارت مذکور ممنوع می‌باشد. وزارت راه و ترابری موظف است در مورد متخلفان برابر

تبصره (۱) ماده (۶) قانون ایمنی راه‌ها و راه‌آهن اقدام کند. با تصویب این ماده تبصره ذیل ماده (۱۵) لغو می‌گردد. با توجه به قوانین متعدد بیان شده؛ عملاً پیگیری، اعلام جرم، صدور مجوز ساختمانی و تغییر کاربری یک زمین در حاشیه شهر، در صلاحیت چند نهاد گوناگون به‌صورت هم‌زمان قرار می‌گیرد که این موضوع موازی کاری مشهودی را نشان می‌دهد که برای پیگیری قضایی متخلفان و مجرمان تغییر کاربری نیز، مشکلات و فراکنی‌های اعمال ماده ۶۵ قانون آئین دادرسی کیفری را به‌عنوان اعلام جرم یا شکایت، دو چندان می‌کند. از سوی دیگر، بنا بر تبصره ۱ ماده ۹۹ قانون شهرداری‌ها، به صرف داخل محدوده شهری آمدن عرصه‌ای هرچند با کاربری زراعی و باغی، دستگاه متولی و نظارت عوض می‌شود و این امر در حال انجام می‌شود که الحاق زمین‌ها به بافت شهری و روستایی بنا بر نقشه تفصیلی و یا طرح هادی، هیچ تناسبی با پلاک‌های ثبتی و اصلاحات ارضی و نقشه طرح جامع کاداستر ندارد و چه بسا همین اقدام، موجب خرد شدن اراضی شود که ادامه این روند، موجب مستمسک قراردادن ماده ۶ قانون تعیین تکلیف اراضی فاقد سند رسمی برای صدور سندی دیگر از آن پلاک اصلی به‌صورت فرعی و عملاً خرد شدن زمین‌های کشاورزی و باغی می‌شود. حتی به استناد تبصره ۲ ماده ۹۹ قانون شهرداری‌ها، شهرداری می‌تواند با اخذ جریمه و مطرح کردن پرونده‌های ساخت‌وساز غیرمجاز در محدوده حریم شهر، صلاحیتی شبه قضایی داشته باشد در صورتی که این امر به استناد مواد ۳ و ۱۰ قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی در صلاحیت دادگاه عمومی است! حتی در صدر ماده ۱۰۰ قانون شهرداری‌ها صراحتاً از لفظ «حریم» اشاره و تأکید دارد که هرگونه ساخت‌وسازی باید با صدور پروانه شهرداری باشد اما این صراحت، در تعارض با صلاحیت جهاد کشاورزی و کمیسیون تبصره ۱ ماده ۱ قانون حفظ کاربری است و موازی کاری را دو چندان می‌کند چراکه شخص باید دو مبلغ برای یک تغییر کاربری بپردازد: مبلغ اول وفق ماده ۲ قانون حفظ کاربری و مبلغ دوم، به میزان

دستور قلع و قمع تبصره ۲ ماده ۱۰

تبصره ۲ ماده ۱۰ قانون حفظ کاربری اشاره دارد: «مأموران جهاد کشاورزی موظف‌اند با حضور نماینده دادسرا و در نقاطی که دادسرا نباشد با حضور نماینده دادگاه محل، ضمن تنظیم صورت مجلس، رأساً نسبت به قلع و قمع بنا و مستحذات اقدام و وضعیت زمین را به حالت اولیه اعاده نمایند»؛ اما این تبصره دارای چالش‌های متعددی در اجراست:

۱. مأموران جهاد کشاورزی چه مستحذاتی با چه میزان پیشرفت عملیات فیزیکی را می‌توانند رأساً با دستور قضایی دادستان تخریب نمایند؟ (صرفاً دیوار و بلوک کشی اولیه یا پی و بنای نازک کاری شده).

۲. هزینه سنگین اعاده وضعیت و خاک‌برداری پس از ریزش مصالح ساختمانی در زمین محل تخریب برای مهیا نمودن کشت با جهاد کشاورزی است و این‌که این هزینه سنگین را چه قانون بودجه‌ای مصوب می‌نماید و ردیف هزینه کرد مستقل بدان اختصاص می‌دهد؟ تبصره ۱ و ۲ قانون مذکور، تکلیف به رأساً تخریب را داده است و بهتر آن بود که بمانند ماده ۱۰۰ قانون شهرداری‌ها، به نمایندگان جهاد کشاورزی حتی بدون حضور نماینده دادسرا (نیروی انتظامی)، اختیار جمع‌آوری آلات ساخت‌وساز را به صورت توأم با جلوگیری را نیز می‌داد که این تبصره و شرایط آن نیازمند اصلاح رویه و صورت قانونی جدی است چراکه وفق تبصره ۳ ماده ۱۹ قانون مجازات اسلامی، جرم تغییر کاربری که دارای جزای نقدی است، جرم درجه ۷ محسوب و مستقیماً در صلاحیت دادگاه است و بهتر است، نماینده دادگاه حضور داشته باشد تا دادسرا.

تغییر مجازات مواد ۳ و ۸ و ۱۰ قانون حفظ کاربری

دادسرا در فرآیند کیفری، نقش مدعی عمومی را ایفا می‌کند و در اثبات دعوای عمومی، بار اثبات دلیل بر عهده دادستان قرار داده شده است. یکی از مباحث مهم مربوط به ادله اثبات کیفری مسئولیت اثبات دلیل در دعوای عمومی است. برای احراز مجرم بودن شخصی که مورد

پروانه‌ای که صادر می‌شود یا جریمه‌ای که در کمیسیون ماده ۱۰۰ می‌دهد! حتی اجمال این ماده تا آنجاست که مشخص نکرده آیا با ارسال استعلام شهرداری برای تغییر کاربری در حریم شهر، جهاد کشاورزی می‌تواند مفاد تبصره ۱ ماده ۱ را به عنوان محدودیتی برای تغییر متراژ خواسته شده به صلاحدید خود، کمتر کند یا باید استعلام را کلاً بپذیرد یا کلاً رد کند؟ در تعارضی دیگر، در ماده ۸ آئین‌نامه استفاده از اراضی، احداث بنا و تأسیسات در خارج از حریم شهرها و محدوده روستاها، به لفظ «دائم» اشاره شده که در تعارض با قانون تغییر کاربری و لفظ «هرگونه» مندرج در ماده ۱ قانون حفظ کاربری است؛ چراکه اگر بنا بر آن آئین‌نامه شخصی سکونت موقت داشته باشد، می‌تواند اقدامش ممنوع و غیرقانونی نباشد! و اگر هم تبصره ۲ ماده ۱۰ آئین‌نامه مذکور جهت صدور پروانه را رعایت نماییم، برای تشکیل پرونده و صدور مجوز ساخت، عملاً مانند ماده ۱۰۰ و ۹۹ قانون شهرداری‌ها، دوباره کاری و موازی کاری‌های دستگاه‌های دولتی صورت می‌پذیرد. تعارض آشکار دیگر، ماده ۲ قانون تعریف محدوده و حریم شهر، روستا مصوب ۱۳۸۴ است که در بیان نظارت با ساخت‌وساز خارج از محدوده شهر (حریم شهر) ضمن اعلام تخلف بودن (نه جرم)، پیگیری امر را با شهرداری مربوطه قرار داده است که باز هم با لفظ «جرم» و صلاحیت جهاد کشاورزی مندرج در قانون حفظ کاربری، تعارضی مستقیم دارد که این موارد عمده و متعدد تعارض، نیازمند اقدامی جدی و ادغام نمودن تمامی قوانین پراکنده در یک قانون واحد؛ بدون تعارض می‌باشد.

ضرورت اصلاح قانون حفظ کاربری اراضی

به تفصیل چالش‌های حقوقی قانون حفظ کاربری در اعلام جرم و اجرای احکام قطعی یافته تا تعارضاتی ساختاری و صلاحیتی که با سایر دستگاه‌های دولتی و قانونی دارد را بررسی نمودیم اما در ادامه، ضرورت‌های قانونی جهت اصلاح قانون حفظ کاربری را بحث و نقد می‌نماییم.

تعقیب قرار گرفته می‌بایست سه امر ثابت شود: ۱- وقوع جرم، ۲- رابطه علیت جزایی بین جرم و فعل مرتکب، ۳- قابلیت انتساب. در مورد وقوع جرم اثبات رکن مادی و معنوی آن به استثنای مواردی که این عناصر توسط قانون‌گذار مفروض است، بر عهده دادستان قرار دارد. همچنین توصیف مجرمانه بودن عمل ارتكابی و تطبیق آن با مواد قوانین جزایی ماهوی نیز بر عهده دادستان می‌باشد. البته دادگاه، الزامی برای پذیرش این توصیف ندارد. در مورد اثبات رابطه علیت جزایی (نه فلسفی) رفتار مرتکب و نتیجه مجرمانه با عنایت به «اصل استقلال حقوق جزا» و با استفاده از روش‌های دلایل قانونی، معنوی یا علمی (حسب مورد)، دادستان مکلف است در مرحله تحقیقات مقدماتی دلایل را جمع‌آوری و در کیفرخواست آن‌ها را ذکر و در دادگاه از آن دفاع کند. در مورد اثبات قابلیت انتساب که از عوامل مانع مسئولیت کیفری بحث می‌شود، برخی از اندیشمندان به اقتضای قاعده فقهی «البینه علی المدعی» معتقدند در این مورد از آنجا که متهم مدعی وجود یکی از عوامل مانع مسئولیت کیفری (اعم از علل موجه یا رافع مسئولیت کیفری یا معاذیر قانونی) است بنابراین به اقتضای این قاعده مکلف به اثبات آن است؛ اما پاره‌ای دیگر از حقوق‌دانان دامنه کاربرد این قاعده را تنها محدود به امور حقوقی (غیرکیفری) می‌دانند و چنین عنوان می‌کنند که متهم همانند دادرسی امکان‌ات و توانایی جمع‌آوری ادله اثباتی را ندارند و قرار دادن بار اثبات دلیل بر دوش متهم با عدالت سازگاری ندارد (آشوری، ۱۳۸۵). از این‌رو جمع‌آوری دلایل به نفع متهم و انجام تحقیق در مورد اوضاع و احوالی که بتواند به رفع اتهام از متهم یاری کند برای دادستان الزامی محسوب می‌کنند. بنابراین دادستان علاوه بر عناصر جرم می‌بایست فقدان علل مانع مسئولیت کیفری را نیز به اثبات برساند. بسیاری از حقوق‌دانان معتقدند که «ساختار نهاد دادستانی» می‌تواند توضیح دهنده این نکته باشد که چرا بار اثبات برخی از مسائل مربوط به دفاع، بر دوش دادستان است. در کشور ما، نظر قانون‌گذار و رویه قضایی محاکم روشن نیست. برخی از نویسندگان حقوق جزا اثبات وجود

عوامل شخصی مانع مسئولیت را بر عهده مرتکب یا وکیل او دانسته و برعکس اثبات عوامل عینی را بر عهده مقامات قضایی دادرسی می‌دانند (سلیمی، ۱۳۸۰). ولی از آنجا که نتیجه عوامل مانع مسئولیت کیفری اعم از عینی (علل موجهه) و شخصی (علل واقع) نهایتاً زوال مسئولیت کیفری مرتکب می‌باشد، بنابراین برای مجازات متهم باید هم وجود مقتضی یعنی وقوع جرم و هم فقدان موانع یعنی عوامل مانع مسئولیت برای دادگاه احراز شود و احراز و اثبات آن هر دو بر عهده دادرسی می‌باشد. اصل تفسیر به نفع متهم و اصل عملی احتیاط نسبت به جان و مال و آبروی اشخاص نیز به همین امر دلالت دارد (ابوالحسنی، ۱۳۸۷). این مهم موجب می‌شود تا نگارنده با جرم درجه هفت شناخته شدن تغییر کاربری و شروع مقدماتی رسیدگی از دادگاه جزایی، مخالف باشد چراکه بررسی امر و ارجاع به کارشناس و استماع دفاعیات مفصل و انجام تحقیقات مقدماتی مفصل جهت صدور یک رأی قلع و قمع یک بنا با متراژهای بعضاً چند هزار متری و جریمه‌های غالباً چند ده و چند صد میلیون تومانی، می‌طلبد که درجه جرم با در نظر گرفتن مدتی حبس به صورت توأمان (مانند جریمه نقدی به پنج برابر مبلغ روز زمین با احتساب تمام کار شدن اعیانی غیرمجاز یا حبس شش ماه تا یک سال یا هر دو به انتخاب قاضی) از درجه هفت به حداقل درجه شش بودن ارتقا یابد تا بتوان این جرم را بر اساس ماده ۳۴۰ قانون آئین دادرسی کیفری، تحقیقات جامع و مبسوطی را از دادرسی بنا بر نظریه تفتیشی انجام داد.

از ایرادات دیگر این قانون، صرفاً جریمه شدن متخلفین اداری و کارکنان دولتی و دهیاری‌ها در صدور مجوز بر اساس ماده ۸ قانون مذکور است که باز هم به دلیل پایین بودن مبلغ و درجه جرم، به استناد مواد ۳۷ و ۳۸ قانون مجازات اسلامی، مورد تخفیف واقع می‌شود، در حالی که با اثبات تقصیر و جرم صدور مجوز غیرمجاز، ساخت و انشعاب و ... توسط مسئولین ذی‌ربط، باید شخص خاطی به کمیسیون تخلفات اداری دستگاه ذی‌ربط نیز وفق قانون معرفی تا تنزل درجه و رتبه شغلی گرفته و حتی تعلیق شود

جرمی مستمر (تا مشمول مرور زمان تعقیب نشود) است و این‌که مفاد مواد ۶۵ و ۱۰۴ قانون آئین دادرسی کیفری، صراحتاً در قانون جدید آورده شود و مورد تذکر قرار گرفته و وظایف دستگاه قضایی نیز به‌خوبی رعایت شود تا مستمسکی برای صدور قرار منع تعقیب در محاکم نشود.

ابطال قانون اعطای انشعابات به‌صورت موقت

موضوع «صدور مجوزهای غیرقانونی ساخت‌وساز» از جمله چالش‌ها و مشکلاتی است که در دستگاه اجرایی وجود دارد و چالش‌های قضایی پیرامون مشکلات و تخلفات در حوزه محیط زیست، منابع طبیعی و زمین‌های کشاورزی؛ یکی دیگر از مشکلات موجود در دستگاه قضا و کثرت پرونده‌هاست. موضوعی که در طی سال‌های اخیر بر اهمیت اصلاح قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی افزوده است و عملاً استفاده از ماده ۸ قانون مذکور جهت ابطال مجوزهای انشعاب و پروانه ساختمانی را سخت و بعضاً غیرممکن نموده است، قانون مجازات استفاده‌کنندگان غیرمجاز از آب، برق، تلفن، فاضلاب و گاز مصوب ۱۳۹۶ است. در تبصره ۱ و ۲ ماده ۴ قانون مذکور، عملاً اعطای انشعاب موقت جهت ساخت و به‌رمندی پیش بینی شده است که این امر خلاف روح قانون حفظ کاربری برای جلوگیری از ساخت و ساز غیرمجاز است. این قانون عملاً مرور زمانی را برای شناسایی و اعلام جرم ساخت‌وسازهای غیرمجاز توسط جهاد کشاورزی و سایر دستگاه‌ها مانند اداره راه و شهرسازی برای سه سال مشخص نموده است که چه بسا اگر انشعاب موقت نیز به ملک‌های غیرمجاز ساخته شده داده نشود، امر تخریب به‌مراتب بر اساس تبصره ۲ ماده ۱۰ قانون حفظ کاربری به‌صورت رأساً به‌راحتی تخریب انجام می‌شود و حتی در صورت تأیید حکم قلع و قمع، موضوع با نامه نگاری‌های طولانی جهت جمع‌آوری انشعاب مواجه نمی‌شود و موجب می‌شود در همان ابتدای امر و با اولین اخطار توقف عملیات ساختمانی سازمان جهاد کشاورزی بر اساس ماده ۱۰ قانون مذکور، حراست از زمین‌های ناب کشاورزی و باغی کشور بهتر انجام شود و با فرهنگ خانه دوم ویلایی داشتن و تفریح و

(مستفاد از ماده ۱۲۲ قانون مدیریت خدمات کشوری و تبصره ۵ و ۶ ماده ۵ و مواد ۷ و ۸ قانون ارتشاء، اختلاس و کلاهبرداری). از سوی دیگر، بنا بر رأی وحدت رویه شماره ۷۲۴ - ۱۳۹۱/۱/۲۲ هیئت عمومی دیوان عالی کشور؛ تغییر کاربری اراضی زراعی تا پانصد مترمربع، برای سکونت شخصی صاحبان زمین اگر با اجازه اعضای کمیسیون موضوع تبصره یک اصلاحی سال ۱۳۸۵ ماده یک قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغ‌ها باشد، طبق تبصره یک ماده دو این قانون فقط برای یک‌بار از پرداخت عوارض قانونی معاف خواهد بود. مفاد این تبصره به معافیت از مجازات افرادی که بدون اخذ مجوز از کمیسیون مزبور اقدام به تغییر کاربری کرده‌اند دلالت نمی‌نماید؛ زیرا ماده ۳ قانون مرقوم، این قبیل اشخاص را کلاً، قابل تعقیب دانسته و موارد استثنایی و خارج از شمول مجازات نیز در تبصره ۴ همین ماده صراحتاً ذکر گردیده است؛ لذا به نظر اکثریت اعضای هیئت عمومی دیوان عالی کشور، تغییر غیرمجاز کاربری اراضی زراعی و باغ‌ها به منظور سکونت مطلقاً ممنوع و مرتکبین آن قابل تعقیب کیفری می‌باشند اما اصل شخصی بودن جرم و مجازات یکی از طرق دفاعی است که در پرونده‌های تغییر کاربری، موجب برائت خریدار یا فرد تبانی‌کننده از اتهام تغییر کاربری بدون مجوز تبصره ۱ ماده ۱ قانون حفظ کاربری تا ۵۰۰ متر می‌شود و عملاً موجب می‌شود جهاد کشاورزی با اطلاعات نادرستی که در اثر ده گردشی مأموران مراکز خدمات خود به دست می‌آورد، اعلام شکایت مجدد علیه مجرمان نماید که باز هم با ارائه صرفاً یک فروش نامه غیرثبتي و بدون کد رهگیری بنام فردی دیگر، مجدداً آن اعیانی غیرمجاز، قرار منع تعقیب یا موقوفی تعقیب (بند چ ماده ۱۳ قانون آئین دادرسی کیفری به‌عنوان اعتبار امر مختوم) بگیرد و همواره دادگاه و دستگاه دولتی اعلام‌کننده جرم را به دنبال خود بکشانند و عملاً موضوع را مشمول مرور زمان بند ث ماده ۱۰۵ قانون مجازات اسلامی نماید (با گذشت سه سال از تاریخ اتمام اعیانی و نازک کاری) که این امر نیازمند اصلاح فوری قانون حفظ کاربری در شناسایی جرم تغییر کاربری به‌عنوان

تبدیل زمین‌های درجه ۱ کشاورزی با اعیانی ویلایی، برخورد جدی از ابتدای امر شود.^۲

معافیت سازمان امور اراضی از پرداخت هزینه‌های دادرسی

نظر به این‌که تمامی مبالغ وصولی بابت هزینه دادرسی به حساب خزانه عمومی کشور واریز می‌شود، در نتیجه، با دریافت هزینه دادرسی از دولت و نهادها و مؤسسات عمومی غیردولتی، مبلغی به درآمدهای عمومی کشور افزوده نشده و عملاً فایده‌ای بر وصول هزینه دادرسی دعاوی، مترتب نیست؛ زیرا مانند آن است که وجهی از یک جیب خارج و وارد جیب دیگر شود. در این زمینه، صدر ماده سه قانون نحوه وصول برخی از درآمدهای دولت و مصرف آن در موارد معین مصوب ۱۳۷۳ مقرر نموده است: «قوه قضائیه موظف است کلیه درآمدهای خدمات قضایی از جمله خدمات مشروحه زیر را دریافت و به حساب درآمد عمومی کشور واریز نماید...» و نیز بند ۲۳ ماده مزبور که مقرر داشته است: «در مواردی که دستگاه‌های دولتی و مؤسسات عمومی و نهادهای انقلابی از معافیت قانونی پرداخت هزینه دادرسی استفاده کرده باشند چنانچه حکم به نفع آن‌ها صادر شده باشد دادگاه‌ها مکلف‌اند هزینه دادرسی را طبق مقررات فوق از محکوم‌علیه در صورتی که مقصر باشد، وصول و به حساب درآمدهای دادگستری به خزانه واریز نمایند...». ماده ۲۴ قانون شوراهای حل اختلاف مصوب ۱۳۸۷/۲/۲۹ نیز مقرر می‌داشت: «رسیدگی شورا در امور مدنی مستلزم پرداخت... هزینه دادرسی است. درآمد حاصل از هزینه دادرسی و موارد دیگر به خزانه واریز می‌شود». در بند ۱۳۲ قانون بودجه سال ۱۳۹۰ کل کشور تصریح شده دعاوی راجع به حفظ بیت‌المال به‌ویژه در پرونده‌های مربوط به اراضی و اموال دولتی و

عمومی از پرداخت هزینه دادرسی در مراحل گوناگون معاف است و وجوه موضوع قانون اجازه پرداخت ۵۰ درصد حق الوکاله‌های وصولی به نمایندگان قضایی و کارمندان مؤثر در دعاوی دولت مصوب ۱۲ دی‌ماه ۱۳۴۴ از محل اعتبارات مصوب آن‌ها و در شرکت‌های دولتی و مؤسسات عمومی غیردولتی از محل منابع داخلی آن‌ها قابل پرداخت است؛ اما اداره کل حقوقی قوه قضائیه این بند از قانون بودجه را منحصر به دعاوی مربوط به تصرف و تجاوز به اراضی دانسته است، در نتیجه دستگاه‌های دولتی با مشکلاتی مواجه شده‌اند. با تصویب قانون آیین دادرسی مدنی جدید در سال ۱۳۷۹ و بنا به مقررۀ ماده ۵۲۹ آن «از تاریخ لازم‌الاجرا شدن این قانون، قانون آیین دادرسی مدنی مصوب سال ۱۳۸۱ و الحاقات و اصلاحات آن و...، سایر قوانین و مقررات در موارد مغایر ملغی می‌گردد». عدم وجود حکم مصرح در ماده ۶۹۰ قانون سابق و سکوت مقنن ایرانی نسبت به معافیت دولت یا سایر نهادها و مؤسساتی که پیش از این، از معافیت مزبور، بهره‌مند بودند، به‌جز اشخاص معسر، زمینه‌ساز بروز اختلافاتی در دادگاه‌ها، ازجمله در خصوص معافیت دولت از پرداخت هزینه دادرسی گردید و تصویب قوانین دیگر در این ایام، در خصوص معافیت‌ها، بر ابهامات موجود، بیش از پیش، افزود؛ لذا در مورد عدم معافیت شرکت برق منطقه‌ای از پرداخت هزینه دادرسی، رأی وحدت رویۀ شماره ۶ - ۱۳۶۱/۲/۲۷ هیئت عمومی دیوان عالی کشور به شرح زیر صادر شده است: «نظر به این‌که طبق مقررات آئین دادرسی مدنی عموم اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی به‌طور کلی موظف به پرداخت هزینه دادرسی هستند و معافیت از تأدیۀ هزینه دادرسی امری است استثنائی و مخالف با اصل و قاعدۀ کلی مذکور است و نظر به این‌که در موارد خلاف

اساساً نیازی به قلع و قمع نباشد. مثلاً این گونه ساختمان‌های غیرمجاز را بجای تخریب، مثلاً در اختیار مجموعه‌های عام‌المنفعه قرار دهند و یا با اخذ جریمه‌های فوق‌العاده سنگین افراد را از چنین فعالیت‌هایی پشیمان نمایند. و یا خدمات عمومی (آب، فاضلاب، برق، تلفن، گاز) را از آن‌ها دریغ نمایند و یا همه این موارد با هم. قلع و قمع باید کمترین فراوانی را داشته باشد.

^۲. در مقیاس ملی، رویکرد قلع و قمع بهترین روش برای مواجهه با این معضل نمی‌باشد. در عمل هم خیلی جواب نداده. چون بالاخره هم افراد خلافکار ایرانی هستند و هم اموال آنها به نوعی جزو منابع ملی محسوب می‌گردد. بهتر است پیشنهاد گردد با خلاقیت و نوآوری و استفاده از تجارب بومی نیاکان و نیز تجارب جهانی در این زمینه‌ها، راهکارهای جایگزین برای قلع و قمع پیش‌بینی و معمول گردد تا

اصل بایستی به قدر صحیح از مفهوم مواد بسنده شود و از تفسیر گسترده که مستلزم شمول حکم به غیر موارد بیان شده است؛ خودداری گردد، بنابراین، قسمت اخیر ماده ۶۹۰ آئین دادرسی مدنی انحصاراً ناظر به موردی است که دستگاه‌های دولتی به اعتبار شخصیت حقوقی دولت طرح دعوی کنند و شرکت‌های وابسته به دولت که دارای شخصیت حقوقی مستقل بوده و بودجه‌ای جدا از بودجه عمومی دارند بر طبق قاعده کلی موظف به پرداخت هزینه دادرسی هستند. علی‌هذا رأی شعب سوم دادگاه عمومی تهران که مشعر است بر الزام شرکت برق منطقه‌ای به پرداخت هزینه دادرسی موجه و منطبق با موازین قانونی می‌باشد. (قربانی، ۱۳۷۷).

نظری شمار ۷/۴۷۹۳ - ۶۰/۱۰/۲۰، «مقصود از دولت وزارتخانه‌ها و سازمان‌هایی هستند که اعمال حاکمیت انجام می‌دهند نه شرکت‌ها و سازمان‌هایی که به امور بازرگانی اشتغال داشته و اعمال تصدی دولت را اداره می‌کنند؛ بنابراین شرکت دخانیات ایران از شمول ماده فوق‌الاشاره خارج بوده و در مقام دعوی باید هزینه دادرسی پرداخت نماید» (شهری، ۱۳۷۰).

نظریه شماره ۷/۷۳۹۱ - ۱۳۶۵/۱۲/۱۷: «هرچند طبق ماده (۱۰۹) قانون شهرداری‌ها مصوب ۱۳۳۴، شهرداری‌ها از پرداخت حق ثبت املاک و مالیات معاف می‌باشند ولی نظر به این‌که هزینه دادرسی نوعی مالیات مستقیم یا غیرمستقیم نیست بلکه هزینه‌ای است که از برگ‌هایی که به مرجع قضایی و دادگاه‌ها داده شده و یا به شکایت و دادخواست رسیدگی می‌شود دریافت می‌گردد، لذا مادام که قانونی در باب معافیت شهرداری‌ها از پرداخت هزینه دادرسی به تصویب نرسد شهرداری‌ها باید هزینه دادرسی را پرداخت نمایند» (شهری، ۱۳۸۰).

در مورد عدم معافیت شرکت‌های تحت پوشش بنیاد مستضعفان از پرداخت هزینه دادرسی، رأی وحدت رویه شماره ۵۴۳ - ۱۳۶۹/۱۰/۱۱ به شرح زیر صادر شده است: «شرکت‌های تحت پوشش بنیاد مستضعفان که شخصیت حقوقی مستقل از شخصیت بنیاد داشته و عملیات

انتفاعی انجام می‌دهند مشمول مصوبه مورخ ۱۷ بهمن‌ماه ۱۳۵۸ شورای انقلاب موضوع معافیت بنیاد از پرداخت هزینه دادرسی نبوده و در دعاوی حقوقی خود باید هزینه دادرسی را وفق مقررات قانون پرداخت نمایند» (قربانی، ۱۳۷۷)؛ اما تمام این موارد بیان شد تا اشاره شود که سازمان جهاد کشاورزی (اداره امور اراضی) به عنوان اعلام‌کننده جرم تغییر کاربری و در راستای صیانت از منابع آب و خاک ایران و جلوگیری از به خطر افتادن امنیت غذایی کشور و نسل‌های آینده نیازمند معافیت از پرداخت هزینه‌های دادرسی در امور حقوقی و کیفری است تا بتواند مانند بنیاد شهید و کمیته امداد (به استناد تبصره ۱ قانون استفاده بعضی از دستگاه‌ها از نماینده حقوقی در مراجع قضایی و معافیت بنیاد شهید و کمیته امداد از پرداخت هزینه دادرسی مصوب ۱۳۷۴) یا هلال احمر (به استناد ماده ۲۰ اساسنامه‌اش)، از پرداخت هزینه‌های دادرسی معاف و به راحتی نسبت به آراء و قرارهای دادسرا و دادگاه در صورت عدم اعتراض دادستان نسبت به جرم دارای جنبه عمومی، اعتراض نماید و پیگیر امر خطیر تغییر کاربری غیرمجاز و حفظ امنیت قضایی مردم باشد.

پیشنهادهای ترویجی

حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی، امروزه تبدیل به مقوله‌ای پیچیده با تداخل صلاحیتی و کاری چندین دستگاه دولتی شده است که هر یک قسمتی از کار را به صورت غیرحرفه‌ای و با دیدگاه درآمدی به آن نگاه می‌کنند که نه تنها برای حفظ کاربری اراضی ناب کشاورزی بازدارنده نیست، بلکه منجر به افزایش اختلافات اجرایی و صدور مجوز و پیگیری‌های قضایی نیز می‌شود. قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی، مجدداً نیازمند بازنگری و اصلاحی اساسی است تا سایر قوانین معارض و در سایه را نیز نسخ و یا در خود ادغام نماید و تبدیل به یک قانون جامع با اختیارات واحد و متمرکز در یک سازمان شود. محقق بر این باور است که باید به خطر افتادن امنیت غذایی را جدی گرفت و با فرهنگ ویلاسازی در اراضی زیست پذیر و مستعد باغی و زراعی مقابله‌ای پیشگیرانه انجام داد

یا حبس شش ماه تا یک سال یا هر دو به انتخاب قاضی) از درجه هفت به حداقل درجه شش بودن ارتقا یابد.

از ایرادات دیگر این قانون، صرفاً جریمه شدن متخلفین اداری و کارکنان دولتی و دهیاری‌ها در صدور مجوز بر اساس ماده ۸ قانون مذکور است.

از قوانین معارض اصلی با قانون حفظ کاربری، قانون مجازات استفاده‌کنندگان غیرمجاز از آب، برق، تلفن، فاضلاب و گاز مصوب ۱۳۹۶ است. در تبصره ۱ و ۲ ماده ۴ قانون مذکور، عملاً اعطای انشعاب موقت جهت ساخت و بهرمندی پیش‌بینی شده است که این امر خلاف روح قانون حفظ کاربری برای جلوگیری از ساخت و ساز غیرمجاز است

از پیشنهادهای دیگر نگارنده، لزوم هم‌اندیشی و اتخاذ سیاست‌های هماهنگ میان مسئولان و روسای ادارات در راستای اعمال واقعی ماده ۸ قانون حفظ کاربری می‌باشد، چراکه باید با پدیده تغییر کاربری نه به عنوان محدودیت بر مالکیت افراد، بلکه به عنوان یک رویکرد دائمی در تأمین امنیت غذایی شهروندان نگرسته شود و سایر ادارات نیز با همکاری مؤثر، از اعمال کمیسیون‌های ماده ۹۹ و ۱۰۰ شهرداری‌ها در مواردی که متخلفان تغییر کاربری اقدام نموده‌اند، خودداری ورزند تا دادگاه‌ها با پروانه‌های ساختمانی معارض با قانون حفظ کاربری و طرح‌های مصوب شهری و روستای مواجه نشوند.

اجرای مؤثر و صحیح «ضوابط ملی آمایش سرزمین» مصوب ۱۳۸۳/۸/۶ هیئت وزیران به‌ویژه در مورد بخش‌های کشاورزی و صنعت، کمک مؤثری جهت دستیابی به اهداف قانون حفظ کاربری اراضی می‌نماید و بدان توجه ویژه‌ای در اصلاح قانون حفظ کاربری موجود شود.

لازم است در هرگونه بازنگری و اصلاح و یا تکمیل قوانین حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی، این قانون را ارتقاء داده تا از جامعیت بیشتر و بالاتری برخوردار شود. بدین صورت که شهروندان علاوه بر حفظ کاربری اراضی کشاورزی، به حفظ کاربری کلیه اراضی زیست پذیر

و نهادهای دیگر همچون سازمان میراث فرهنگی را مسئول صدور مجوزهای مثل و هتل‌های متعدد در مناطق گردشگری پذیر و مستعد صنعت توریسم نمود تا ویلاسازی متوقف و دست دلالان فروش زمین کوتاه شود و به‌عنوان اقدامی پس از تغییر کاربری غیرمجاز، درجه و جریمه جرم تغییر کاربری را اصلاح جدی نمود. در پایان مهم‌ترین مطالب به‌صورت خلاصه به شرح ذیل بیان می‌شود:

قانون‌گذار در ماده ۳ قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی، امکان تکرار جرم تغییر کاربری را پیش‌بینی نموده و از آنجایی که جرم تغییر کاربری از جمله جرائم قابل گذشت محسوب می‌شود، میزان حبس در نظر گرفته شده برای تکرار، یک تا شش ماه حبس مقرر شده است که این امر با فلسفه تکرار جرم در ماده ۱۳۷ قانون مجازات اسلامی که تکرار را مربوط به جرائم درجه یک تا شش می‌داند، تطبیق ندارد، چراکه مطابق تبصره ۳ ماده ۱۹ قانون مجازات اسلامی، جرم تغییر کاربری از جرائم درجه هفت به حساب می‌آیند و این تعارض، موجب شده سازمان جهاد کشاورزی در اعمال صلاحیت خود با اختلال مواجه شود و نتواند اهرم قوی در برخورد با زمین‌خواران داشته باشد که پیشنهاد می‌شود لایحه جدید قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی که به‌صورت ۱ فوریتی در دستور کار مجلس شورای اسلامی قرار دارد، این مهم را مد نظر قرار دهد.

نتایج تحقیق حاکی از آن است که مسئله تغییر کاربری اراضی کشاورزی، عمدتاً متأثر از عوامل اقتصادی می‌باشد تا سایر عوامل. تبصره ۱ و ۲ قانون مذکور، تکلیف به رأساً تخریب را داده است و بهتر آن بود که بمانند ماده ۱۰۰ قانون شهرداری‌ها، به نمایندگان جهاد کشاورزی حتی بدون حضور نماینده دادسرا (نیروی انتظامی)، اختیار جمع‌آوری آلات ساخت‌وساز را به‌صورت توأم با جلوگیری را نیز می‌داد.

می‌طلبد که درجه جرم با در نظر گرفتن مدتی حبس به‌صورت توأم (مانند جریمه نقدی به پنج برابر مبلغ روز زمین با احتساب تمام کار شدن اعیانی غیرمجاز

و مولد (مرتع، جنگل، بیشه زار، کشاورزی، زیست محیطی و بوم شناختی) موظف شوند. این رویکرد جامع تر و بوم سازگار تر می باشد و حقوق نسل‌های آتی و حقوق حوضه-های آبی کشور را هم پوشش می‌دهد. از سوی دیگر، اساساً یکی از چالش‌های اصلی در زمینه تبدیل اراضی در کشور، بهم ریختگی های کاربری اراضی و نبود سند ملی آمایش سرزمین می‌باشد که انجام این مهم نیز باید در دستور کار دولت و مجلس قرار بگیرد.

فهرست منابع

۱. آشوری، م. ۱۳۸۵، آئین دادرسی کیفری، جلد دوم، چاپ اول: ۴۵۰ ص.
۲. آل اسحاق. ی. ۱۳۹۰، راهنمای راهبرد تجاری منطقه‌ای با رویکرد توسعه و امنیت ایران، تهران، انتشارات دانشگاه عالی دفاع ملی: ۱۵۰ ص.
۳. ابراهیم‌زاده. ع. ۱۳۸۹، حبیب زاده لمس، کاظم، تحلیل و ارزیابی کاربری اراضی روستا - شهر گلوگاه بابل با استفاده از GIS، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۱: ۱۶-۳۱.
۴. ابوالحسنی. ب. ۱۳۸۷، نقش دادستان در تجدیدنظرخواهی کیفری، تهران، جنگل: ۲۰۸ ص.
۵. اسماعیل نسب. ح. ۱۳۹۵، راهکارهای تئوری و عملی تأمین امنیت غذایی از منظر حقوق بین‌الملل، مجموعه مقالات همایش ملی از امنیت غذایی تا حاکمیت غذایی در چارچوب حکمرانی مطلوب، ۲ اسفند ۱۳۹۵، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران: ۱۸-۳.
۶. خالقی. ع. ۱۳۹۶، نکته‌ها در قانون آئین دادرسی کیفری، تهران، موسسه پژوهش‌های حقوقی شهر دانش، چاپ ۴۸۴ ص: ۹.
۷. سلیمی. ص. ۱۳۸۰، چکیده حقوق جزای عمومی، انتشارات تهران صدا، چاپ اول، بهار: ۱۸۸ ص.
۸. شهری. غ. ر. و ا.ح. حسین‌آبادی، ۱۳۷۰، مجموعه نظرهای مشورتی اداره حقوقی دادگستری جمهوری اسلامی ایران در مسائل مدنی از سال ۱۳۵۸ به بعد، چاپ دوم، انتشارات روزنامه رسمی جمهوری اسلامی ایران: ۶۰۸ ص.
۹. شهری. غ. ر. م. خرازی، ۱۳۸۰، مجموعه نظرهای مشورتی اداره کل حقوقی و تدوین قوانین قوه قضائیه در مسائل مدنی از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۰، چاپ اول، انتشارات روزنامه رسمی جمهوری اسلامی ایران: ۸۸۸ ص.
۱۰. درودیان. ح. ع. درودیان. ۱۳۹۶، پیامدهای اجتماعی و بوم‌شناختی تغییر بی‌رویه کاربری اراضی کشاورزی، نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ج ۵، شماره ۲: ۸۱-۹۹.
۱۱. عسگرخانی. ا. س. م. موسوی النسب. ۱۳۹۵، موانع و محدودیت‌های تغییر کاربری اراضی در قوانین اساسی ایران، مجله مطالعات حقوق، سال اول، شماره ۶، زمستان: ۴۲-۶۱.
۱۲. قربانی. ف. ۱۳۷۷، مجموعه آراء وحدت رویه دیوان عالی کشور در امور حقوقی، تهران، چاپ پنجم، انتشارات فردوسی: ۲۱۳ ص.
۱۳. قدمی. م. ص. صالحی. ۱۳۹۱، بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری رابطه متضاد میان بخش کشاورزی و گردشگری (نمونه مورد مطالعه: شهرستان نوشهر و چالوس)، فصلنامه مطالعات مدیریت گردشگری، شماره ۱۷، سال ۷: ۱۷۳-۲۰۳.
۱۴. قنبری شیرسوار. ع. ۱۳۹۸، بررسی تغییر کاربری اراضی کشاورزی در کشور، وب سایت خبرگزاری صداوسیما، سرویس پژوهش: <http://www.iribnews.ir>

۱۵. کوشکی. غ. ۱۳۹۲، سازمان‌های غیردولتی: از انفعال تا مشارکت رو به فعال در تعقیب دعوای عمومی با نگاهی به قانون آیین دادرسی کیفری پژوهش حقوق کیفری، سال دوم، شماره چهارم، پاییز: ۸۶-۶۵.
۱۶. کریمی، امه هانی. ۱۳۹۶، بررسی محدودیت‌های مالکیت اشخاص از منظر قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغی اصلاحی ۱۳۸۵، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی قائم‌شهر: ۸۲ص.
۱۷. کلالی مقدم. ژ. ۱۳۹۵، بررسی عوامل موثر بر تغییر کاربری اراضی کشاورزی (نمونه موردی: مناطق روستایی شهرستان رشت)، فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی روستایی، دوره: ۴، شماره ۹: ۱۱۳-۱۳۲.
۱۸. مرزوقی. ح. ۱۳۸۲، بسط مبادلات تجاری در اکو، تهران، موسسه پژوهش‌های بازرگانی: ۲۸۵ص.
19. Anonymous, Conference of the Parties, Twenty-First Session, Paris, 30 Nov to 11 Dec 2015, <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10.pdf>, (verified sep 2020).
20. Anonymous, Report of the Special Rapporteur, The Right to Food, E/CN.4/2001/53, New York: UN Publication, 2013, (7 Feb 2001), Available at: <http://www.unhchr.ch>.
21. Anonymous, The 2030 Agenda for Sustainable Development <https://www.sustainabledevelopment.un.org>. (verified aug 2020).
22. Alexandratos N. ,and J. Bruinsma, 2012, World agriculture towards 2030/2050, *Global Perspective Studies Team, FAO Agricultural Development Economics Division*, www.fao.org/economic/esa (verified jun 2020).

مروری بر مطالعات مدیریت زراعی در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروز اکساید از خاک‌های کشاورزی

مراد میرزایی^۱، رایحه میرخانی، منوچهر گرجی اناری و مهدی شرفا

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

mirzaei.morad95@ut.ac.ir

کارشناس ارشد پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

rmirkhani@aeoi.org.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

mgorji@ut.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

mshorafa@ut.ac.ir

دریافت: شهریور ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

انتشار گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن (CO_2)، نیتروز اکساید (N_2O) و متان (CH_4) به آتمسفر و اثرات آن‌ها بر تغییر اقلیم یکی از بزرگترین نگرانی‌های امروزی است. فعالیت‌های کشاورزی به دلیل تأثیر قابل توجه بر پویایی کربن و نیتروژن، دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک می‌باشد. نیتروز اکساید گاز گلخانه‌ای قوی بوده و پتانسیل گرمایش جهانی آن ۲۹۸ برابر بیشتر از دی اکسید کربن است. بیشترین میزان انتشار نیتروز اکساید مربوط به فعالیت‌های کشاورزی بوده و به طور عمده از طریق فرآیندهای نیترات‌سازی و نیترات‌زدایی در خاک‌ها اتفاق می‌افتد. عوامل مختلف زیست محیطی و مدیریتی تأثیر قابل توجه بر تشکیل و انتشار این گاز گلخانه‌ای دارند. این مقاله مروری، قابلیت روش‌های مختلف مدیریت زراعی را برای کاهش انتشار نیتروز اکساید از خاک‌های کشاورزی ارزیابی می‌کند. مدیریت صحیح بقایای گیاهی، بکارگیری روش‌های نوین خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری و همین‌طور گنجانیدن محصولات لگوم در تناوب از جمله راهکارهای موثر در کاهش انتشار نیتروز اکساید هستند. همچنین بهبود کارایی مصرف نیتروژن با استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌سازی، اوره‌آز و کودهای آه‌سته رهش منجر به کاهش تشکیل و انتشار این گاز می‌گردد. تشخیص منشأ انتشار نیتروز اکساید با استفاده از فناوری‌های نوین نیز اهمیت قابل ملاحظه‌ای در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و در نتیجه جلوگیری از انتشار بیشتر این گاز گلخانه‌ای دارد. بنابراین با توجه به پتانسیل قابل توجه مدیریت صحیح زراعی در کاهش انتشار این گاز، بکارگیری و عملیاتی نمودن هر یک از راهکارهای مدیریتی ارائه شده در این مقاله می‌تواند سهم قابل توجهی در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروز اکساید از خاک و در نتیجه جلوگیری از پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و همچنین افزایش تولید پایدار محصولات کشاورزی به دنبال داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، کشاورزی، گرمایش جهانی، نیترات زدایی، نیترات سازی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

مقدمه

امروزه جهان با مشکلات متعددی مواجه است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به نبود امنیت غذایی، کمبود آب، تخریب خاک، کمبود انرژی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم اشاره کرد. ارتباط مستقیمی بین این مسائل و استفاده پایدار از منابع وجود دارد (لال، ۲۰۰۷). پدیده تغییر اقلیم به تأثیر فعالیت‌های بشر بر روی اقلیم اشاره دارد. گازهایی مانند دی اکسید کربن^۱، متان^۲، نیتروز اکساید^۳، بخار آب، اوزون^۴ و کلروفلوروکربن‌ها^۵ به عنوان گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شوند. افزایش مداوم غلظت گازهای گلخانه‌ای تولید شده در اثر فعالیت‌های نامطلوب بشری، به عنوان یک لایه عایق گرمایی عمل نموده و باعث جذب تابش گرمایی ساطع شده از زمین و افزایش دمای اتمسفر می‌شود که نتیجه این امر گرمایش جهانی و پدیده تغییر اقلیم می‌باشد (هوقتون، ۲۰۰۵).

گازهای گلخانه‌ای اصلی شامل دی اکسید کربن، متان و نیتروز اکساید هستند (عورتل و همکاران، ۲۰۱۶) که در مقیاس جهانی سهم آنها در انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب حدود ۶۰، ۱۵ و ۶ درصد می‌باشد (جدول ۱). نیتروز اکساید یکی از گازهای گلخانه‌ای اصلی و تخلیه کننده اوزون اتمسفری است و پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب ۲۹۸ و ۱۶ برابر بیشتری نسبت به دی اکسید کربن و متان در طی یک دوره ۱۰۰ ساله را دارا می‌باشد. تشدید فعالیت‌های کشاورزی از قبیل افزایش استفاده از کودهای شیمیایی (۱۰۳ مگاتن نیتروژن در سطح جهانی در سال ۲۰۱۰)، افزایش جمعیت بشر و تغییر در رژیم غذایی، استفاده ناکارآمد از آب آبیاری، افزایش تولید محصول، استفاده از کودهای حیوانی در اراضی کشاورزی و چراگاه‌ها و همچنین عملیات مدیریتی که منجر به افزایش معدنی شدن نیتروژن آلی خاک و تجزیه کربن می‌شود از قبیل کشت و کار، حذف و سوزاندن بقایا، عدم استفاده از تناوب زراعی منجر به افزایش انتشار نیتروزاکساید به اتمسفر می‌شوند

(زمان و همکاران، ۲۰۱۲). غلظت چند نوع از گازهای گلخانه‌ای از زمان انقلاب صنعتی به طور قابل توجهی تغییر کرده است که از دلایل عمده آن می‌توان به احتراق سوخت-های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های کشاورزی از قبیل شخم زدن، سوزاندن بقایای گیاهی، استفاده بی‌رویه و نامناسب از کودهای شیمیایی و دامی اشاره کرد (شکل ۱). با توجه به اهمیت پدیده تغییر اقلیم و نقش قابل توجه فعالیت‌های کشاورزی در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیتروزاکساید به عنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای اصلی و تأثیرگذار بر پدیده تغییر اقلیم، این مقاله به با هدف بررسی ساز و کارهای تشکیل و انتشار نیتروز اکساید در خاک‌های کشاورزی و تشریح عوامل موثر بر آن‌ها و همین‌طور ارائه راه هکارهای کارآمد مدیریتی در کاهش انتشار این گاز گلخانه‌ای تهیه گردید.

نقش فعالیت‌های کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای

تخمین‌ها حاکی از آن است که حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد سطح زمین برای اهداف کشاورزی استفاده می‌شود، از این رو تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر روی اقلیم از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (رجینا و همکاران، ۲۰۱۰). کشاورزی سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای بویژه متان، دی اکسید کربن، نیتروزاکساید و گرمایش جهانی دارد (نواز و همکاران، ۲۰۱۷)، به طوری که فعالیت‌های کشاورزی منجر به انتشار جهانی $50 <$ درصد متان، ۳۶ درصد نیتروزاکساید و ۱۴ درصد دی اکسید کربن می‌گردد (توبیلو و همکاران، ۲۰۱۴). خاک‌ورزی فشرده به وسیله گاواهن برگردان‌دار، استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی و سوزاندن بقایای گیاهی از جمله فعالیت‌های اصلی هستند که منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند (نواز و همکاران، ۲۰۱۷). فعالیت‌های کشاورزی به دلیل تأثیر بر پویایی کربن و نیتروژن، دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر انتشار گازها و در نتیجه

^۴ Ozone (O₃)^۵ Chlorofluorocarbons (CFCs)^۱ Carbon dioxide (CO₂)^۲ Methane (CH₄)^۳ Nitrous oxide (N₂O)

سازی^۱ نامیده می‌شود به یون نیترات (NO_3^-) اکسیده می‌شود. یون‌های نیتريت (NO_2^-) و نیترات (NO_3^-) در طی نیترات سازی تولید می‌شوند و ممکن است در طی فرآیند نیترات زدایی^۲ احیا گردند. احیاء گام به گام نیترات (NO_3^-) به N_2 بوسیله چهار آنزیم که تولید کننده ترکیبات بینابینی نیتريت (NO_2^-)، نیتريك اكسيد (NO) و نیتروز اكساید (N_2O) می‌باشند انجام می‌گردد. همچنین در طی آمونیفیکاسیون نیترات (NO_3^-) به آمونیوم (NH_4^+)، احیا نیترات می‌تواند اتفاق افتد که نتیجه آن تولید نیتروز اكساید (N_2O) می‌باشد (تامسون و همکاران، ۲۰۱۲).

عوامل موثر بر انتشار نیتروز اكساید

ایچنر (۱۹۹۰) عوامل تأثیرگذار بر انتشار نیتروز اكساید ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به صورت زیر دسته‌بندی کرد. عوامل مدیریتی شامل نوع کود شیمیایی، میزان کاربرد، روش کاربرد، زمان‌بندی کاربرد، سامانه خاک-ورزی، بقایای گیاهی، استفاده از دیگر مواد شیمیایی، نوع محصول، آبیاری و کربن و نیتروژن باقیمانده از محصولات و کودهای شیمیایی و عوامل زیست محیطی نیز دما، بارش، میزان رطوبت خاک، میزان کربن آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن، نوع خاک، فشردگی خاک، موقعیت توپوگرافیکی، وضعیت اکسیژن خاک، تخلخل خاک، واکنش شیمیایی خاک، چرخه‌های یخ زدن و ذوب شدن و فراوانی و فعالیت ریزجانداران را در بر می‌گیرد.

عوامل زیست محیطی

دما و رطوبت اهمیت قابل ملاحظه‌ای در فرآیندهای نیترات سازی و نیترات زدایی دارد. چون این عوامل از جمله عوامل تعیین کننده فعالیت ریزجانداران محسوب می‌شود. علاوه بر این، دما و رطوبت نه تنها بر انتشار نیتروز اكساید بلکه همچنین بر پخشیدگی آن به اتمسفر تأثیر قابل توجه دارند (دیویدسون و سوانک، ۱۹۸۶). تحت شرایط معتدل، میزان تبدیل نیتروژن اندک

گرمایش جهانی می‌باشند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳b). در قرن گذشته عملیات کشاورزی مسئول انتشار بیشتر نیتروز اكساید در اتمسفر بوده است (لال، ۲۰۰۷). غلظت اتمسفری نیتروز اكساید از ۲۷۰ پی پی بی در سال ۱۷۵۰ تا ۳۱۸/۶ پی پی بی در سال ۲۰۰۴ افزایش ۱۸ درصدی داشته و در حال حاضر به میزان ۰/۸ پی پی بی در سال افزایش می‌یابد (لال، ۲۰۰۷). کشاورزی بزرگترین منبع تولید کننده N_2O مصنوعی می‌باشد به طوری که خاک‌های کشاورزی تقریباً ۴ تراگرم N_2O در سال تولید می‌کنند (ری و همکاران، ۲۰۱۲). منابع اصلی انتشار نیتروز اكساید کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه در خاک‌ها، احتراق سوخت‌های فسیلی و بعضی ساز و کارهای طبیعی است که در زیست‌بوم‌های آبی و خشکی اتفاق می‌افتد. میزان افزایش سالیانه از ۰/۲ تا ۰/۳ درصد متغیر است. جدول ۲ منابع اصلی نیتروز اكساید در جهان در طی دهه ۱۹۹۰ به تفکیک منابع مصنوعی و طبیعی را نشان می‌دهد، تقریباً ۳۸ درصد انتشارات جهانی مرتبط با منابع مصنوعی می‌باشد و کشاورزی عامل مهمی (۱۵/۸۲ درصد) در انتشارات جهانی است؛ بنابراین، هر راهکاری که با هدف کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای باشد باید بر بخش کشاورزی تمرکز کند زیرا این منبع اصلی نیتروز اكساید است. علاوه بر این، کاهش هدررفت نیتروژن به اتمسفر به فرم نیتروز اكساید می‌تواند کارایی استفاده از نیتروژن در دسترس برای گیاهان و در نتیجه عملکرد محصول را افزایش دهد.

تولید نیتروز اكساید در خاک

چرخه نیتروژن در شکل ۲ آورده شده است. باکتری‌های همزیست و آزادزی N_2 اتمسفری را با استفاده از آنزیم نیتروژناز (به عنوان کاتالیز برای شکستن پیوند سه تایی N_2) به فرم آمونیاک (NH_3) تثبیت می‌کنند. در خاک، آمونیاک (NH_3) می‌تواند به یون آمونیوم (NH_4^+) تبدیل شود و سپس در یک فرآیند سه مرحله‌ای که نیترات

^۲ Denitrification

^۱ Nitrification

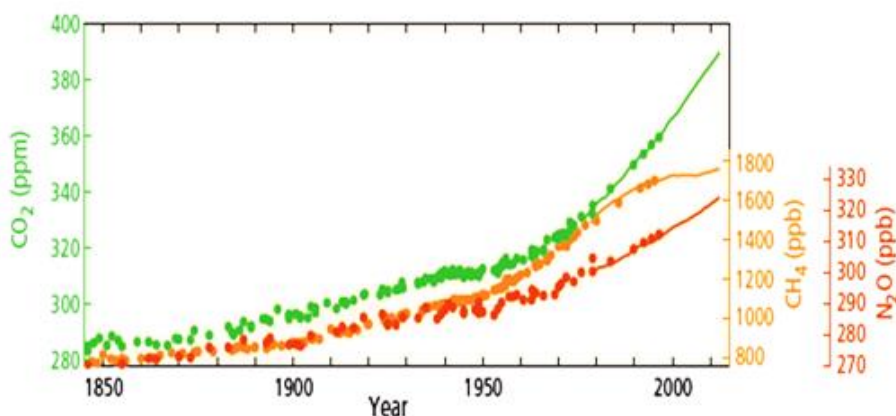
است و با افزایش دما افزایش می‌یابد (بریتراپ و همکاران، ۲۰۰۰). یک رابطه‌نمایی بین دمای خاک و تولید N_2O وجود دارد که این بخاطر توسعه مکان‌های کوچک غیرهوازی در خاک می‌باشد که هنگامی که دما افزایش می‌یابد منجر به افزایش نیترات زدایی می‌شود (اسمیث و همکاران، ۲۰۱۸).

رطوبت خاک یک پارامتر خیلی مهم و موثر بر انتشار گازها از خاک می‌باشد به دلیل اینکه فعالیت میکروبی و تمامی فرآیندهای مرتبط با آن را کنترل می‌کند. افزایش رطوبت خاک نیز باعث افزایش انتشار نیتروز اکساید می‌شود (گیاکومینی و همکاران، ۲۰۰۶)، زیرا هر دو فرآیندهای نیترات سازی و نیترات زدایی متأثر از رطوبت خاک هستند

(دیویدسون و سوانک، ۱۹۸۶). ولی با این وجود، تحت شرایط رطوبت خیلی زیاد، تولید نیتروز اکساید کاهش می‌یابد اما موقعی که تناوب‌های رطوبتی با دوره‌های متوالی خشک و مرطوب وجود دارد انتشار نیتروز اکساید افزایش می‌یابد (بریتراپ و همکاران، ۲۰۰۰). دلیل این امر این است که اگرچه رطوبت خاک فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد اما رطوبت خیلی زیاد مانع فعالیت میکروبی می‌گردد. فضای منافذ پر شده از آب خاک به عنوان مهمترین عامل تأثیرگذار بر جریان N_2O در خاک‌های کشاورزی است (کاستیلانو و همکاران، ۲۰۱۰) که این بخاطر نقش آن بر تهویه و میزان O_2 در تعیین سهم نیترات سازی و نیترات زدایی برای تولید N_2O می‌باشد (شکل ۳).

جدول ۱- پتانسیل گرمایش جهانی^۱ و زمان اقامت در اتمسفر^۲ گازهای گلخانه‌ای اصلی

گاز گلخانه‌ای	فرمول شیمیایی	پتانسیل گرمایش جهانی برای افق زمانی ۱۰۰ ساله $kg\ CO_2\ ha^{-1}\ y^{-1}$	زمان اقامت در اتمسفر (سال)
نیتروز اکساید	N_2O	۲۹۸	۱۱۴
متان	CH_4	۲۵	۱۲
دی اکسید کربن	CO_2	۱	متغیر



شکل ۱- انتشارات مصنوعی اخیر گازهای گلخانه‌ای (برگرفته از فائو/آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۱۸)

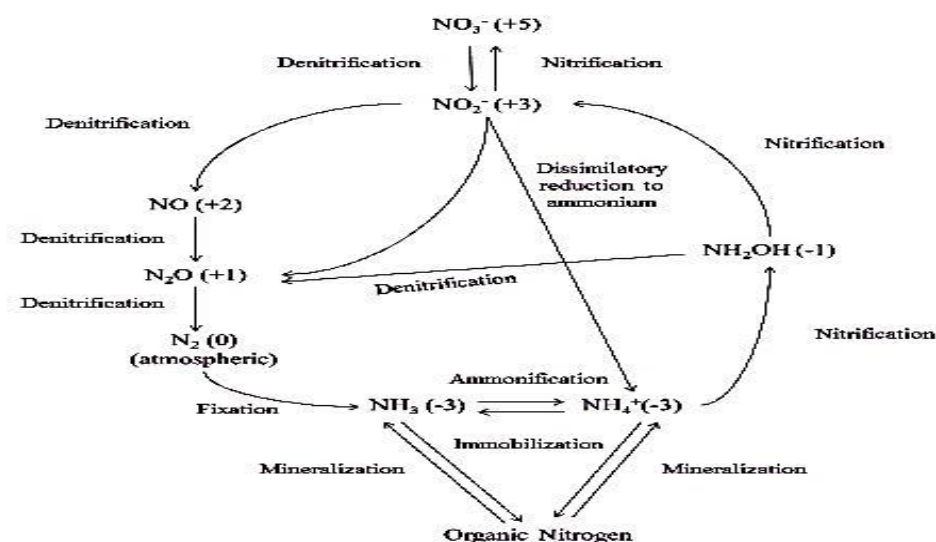
^۲ Atmospheric residence time

^۱ Global Warming Potential (GWP)

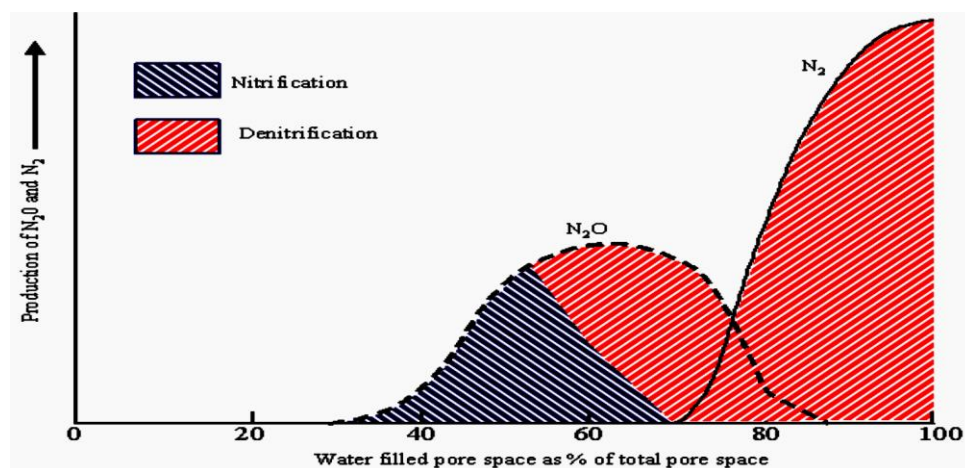
جدول ۲- منابع اصلی انتشار نیتروز اکساید به اتمسفر

منبع	$N-N_2O$ ($Tg\ N\ year^{-1}$)
مصنوعی	
احتراق سوخت های فسیلی و فرایندهای صنعتی	۰/۷
کشاورزی	۲/۸
تغییر کاربری اراضی و جنگل	-
غیره	۳/۲
کل	۶/۷
طبیعی	
خاک های تحت پوشش بومی	۶/۶
اقیانوس ها	۳/۸
رعد و برق	-
شیمی اتمسفر	۰/۶
کل	۱۱
کل	۱۷/۷

دمن و همکاران (۲۰۰۷)



شکل ۲- چرخه نیتروژن: حالت های اکسیداسیون و فرایندها (برگرفته از سیگنور و همکاران، ۲۰۱۳)



شکل ۳- اثر افزایش رطوبت خاک (درصد منافذ پر از آب) بر انتشار گازهای نیتروز اکساید (N_2O) و دی نیتروژن (N_2) (گرانلی، ۱۹۹۴)

فشرددگی خاک که متأثر از عملیات زراعی از قبیل نوع سیستم کاشت و روش‌های خاک‌ورزی است (بویازارد و همکاران، ۲۰۰۲) نیز یک عامل مهم است که تعیین کننده غالب بودن نیترات سازی و نیترات زدایی در خاک به خاطر اثرات آن بر تهویه می‌باشد. کاهش تخلخل خاک که در نتیجه فشرددگی بوجود می‌آید منجر به افزایش مقدار خاک غیرهوازی بخاطر افزایش مقدار فضای منافذ پر از آب و کاهش پخشیدگی اکسیژن می‌شود. این پدیده منجر به افزایش تولید N_2O می‌شود (بیسو و همکاران، ۲۰۱۰). انتشار نیتروز اکساید همچنین ممکن است متأثر از موقعیت زمین‌نما باشد چون این پارامتر بر عوامل دیگر دخیل در انتشار نیتروز اکساید از قبیل پراکنش رطوبت، میزان کربن آلی و حاصلخیزی خاک اثرگذار است. نواحی با پستی و بلندی کمتر در مقایسه با اراضی دارای پستی و بلندی دارای رطوبت و ماده آلی بیشتری می‌باشند، بنابراین، تنفس ریزجانداران و مصرف اکسیژن به طور بالقوه بیشتر است و این مساله بر تولید نیتروز اکساید تأثیر می‌گذارد (دیویدسون و سوانک، ۱۹۸۶). نسبت نیتروز اکساید متصاعد شده از خاک‌ها همچنین متأثر از نوع خاک می‌باشد (استیون و لوقلین، ۱۹۹۸). خاک‌های رسی تمایل به نشان دادن انتشار بیشتر نیتروز اکساید نسبت به خاک‌های شنی دارند (بریتراپ و همکاران، ۲۰۰۰) و مدیریت نیتروژن ممکن است انتشار نیتروز اکساید را به ویژه در خاک‌های ریزبافت افزایش دهد (تان و همکاران، ۲۰۰۹).

عامل مهم دیگر تأثیرگذار بر انتشار نیتروز اکساید از خاک، اسیدیته است، زیرا از فعالیت آنزیم نیتروز اکساید ردوکتاز در pH پایین و در حضور اکسیژن ممانعت بعمل می‌آید. به طور کلی، اگر نیترات زدایی منبع اصلی نیتروز اکساید است، مقادیر pH زیادتر انتشار نیتروز اکساید خاک را کاهش می‌دهد اما اگر نیترات سازی فرآیند اصلی تولید نیتروز اکساید باشد، افزایش pH تولید نیتروز اکساید را تحریک می‌کند. بر طبق یافته‌های بریمنر (۱۹۹۷) تولید نیتروز اکساید به وسیله فرآیند نیترات زدایی در شرایط افزایش غلظت نیترات و pH پایین خاک مطلوب است. در

pH پایین، انتشار نیتروز اکساید بزرگتر خواهد بود زیرا یک بخش کوچکی از این گاز به N_2 احیا می‌گردد (چاپوس-لاردی و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین، اسیدی شدن مداوم خاک‌های کشاورزی از طریق استفاده اضافی از کودهای شیمیایی نیتروژن می‌تواند به طور قابل توجهی انتشار نیتروز اکساید را افزایش دهد در حالی که تنظیم دقیق pH خاک به وسیله آهک‌دهی انتشارات را کاهش می‌دهد (تامسون و همکاران، ۲۰۱۲). کربن آلی خاک کنترل کننده مهم دیگر تولید نیتروز اکساید و دی نیتروژن در خاک‌ها و رسوبات می‌باشد. چون دنیتریفیکاتورها شدیداً هتروتروف بوده و کربن آلی قابل دسترس را به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کنند و به طور غیر مستقیم بر غلظت اکسیژن خاک‌های هوازی تأثیر می‌گذارند (گروفنم و همکاران، ۱۹۸۷). با این حال، اثر کربن قابل دسترس بر مقدار نیتروز اکساید و دی نیتروژن تولید شده و متصاعد شده از خاک‌ها و همین طور نسبت بین دو گاز با توجه به غلظت نیترات خاک و درصد منافذ پر از آب (WFPS) متغیر است (زمان و همکاران، ۲۰۰۸a؛ ۲۰۰۸b). کربن قابل دسترس بر واکنش‌های نیتریفیکاسیون و نیترات زدایی تأثیر می‌گذارد (بریمنر، ۱۹۹۷) و می‌تواند تولید نیتروز اکساید را افزایش دهد (بریتراپ و همکاران، ۲۰۰۰)؛ زیرا این می‌تواند رشد و فعالیت میکروبی را تحریک کند و کربن آلی مورد نیاز به وسیله دنیتریفیکاتورها را فراهم کند (کامرون و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، رشد میکروبی منجر به مصرف اکسیژن شده و شرایط غیر هوازی مورد نیاز برای نیترات زدایی را ایجاد می‌نماید.

نسبت کربن به نیتروژن نیز تأثیر قابل توجهی بر انتشار گاز نیتروز اکساید دارد. تغییر شکل نیتروژن در خاک‌ها شامل دو فرآیند زیستی مهم آلی شدن (جذب) است که جذب نیتروژن بوسیله ریزجانداران و تبدیل آن به نیتروژن آلی است و معدنی شدن (آمونیفیکاسیون) است که تبدیل نیتروژن آلی به آمونیاک است (شکل ۲). تعادل بین معدنی شدن و آلی شدن بستگی به نسبت C/N و بقایای افزوده شده دارد. خاک و بقایای گیاهی با یک نسبت C/N کوچک

(کمتر از ۳۰)، معدنی شدن در آن‌ها نسبت به آلی شدن غالب است و نیتروژن قابل دسترس می‌تواند به وسیله گیاهان جذب شود یا در فرایندهای میکروبی استفاده شود. حضور بقایا با نسبت C/N زیاد در سطح خاک ممکن است آلی شدن کود شیمیایی نیتروژن‌دار افزوده شده را افزایش دهد (باگز و همکاران، ۲۰۰۰) و بنابراین واکنش‌های نیترات زدایی و انتشار نیتروژن اکساید را کاهش دهد. در مواقعی که هیچ بقایایی و یا بقایایی با نسبت C/N کم در سطح خاک وجود دارد، آلی شدن نیتروژن احتمالاً اتفاق نمی‌افتد و در نتیجه نیتروژن بیشتر برای نیترات سازی و نیترات زدایی قابل دسترس خواهد بود و انتشار بیشتر نیتروژن اکساید ممکن است اتفاق افتد (باگز و همکاران، ۲۰۰۰).

عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر تشکیل نیتروژن اکساید

علاوه بر اثر شرایط اقلیمی، عملیات مدیریت زراعی نیز می‌تواند بر تولید نیترواکساید اثرگذار باشد. در میان عملیات مدیریتی، روش‌های مختلف خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی، عملیات آبیاری، الگوی کاشت و کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه (معدنی یا آلی) از اهمیت زیادی برخوردارند (گروفن و همکاران، ۲۰۰۹). اثرات عملیات خاک‌ورزی بر انتشار نیتروژن اکساید حاصل تغییرات ایجاد شده در ساختمان خاک، تهویه خاک، فعالیت میکروبی، میزان تجزیه بقایا و میزان معدنی شدن نیتروژن و همین‌طور دما و رطوبت خاک است. در سامانه خاک‌ورزی مرسوم به خاطر بهم خوردگی لایه‌های سطحی خاک، غلظت اکسیژن در خاک افزایش یافته و در نتیجه انتشار نیتروژن اکساید کاهش می‌یابد (باگز و همکاران، ۲۰۰۶). حضور بقایای گیاهی در سامانه بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش رطوبت، افزایش فعالیت میکروبی نزدیک سطح خاک و در نتیجه مصرف اکسیژن شده و منجر به ایجاد مکان‌های کوچک غیرهوازی می‌گردد (باگز و همکاران، ۲۰۰۶). انتشار نیتروژن اکساید متأثر از ترکیب بیوشیمیایی بقایای گیاهی افزوده شده به خاک نیز می‌باشد (گومز و همکاران، ۲۰۰۹)، زیرا نگهداری بقایای گیاهی در سطح خاک بر پویایی و در نتیجه فراهمی نیتروژن در خاک و همچنین

فرایندهای نیترات سازی و نیترات زدایی اثر می‌گذارد. انتشار نیتروژن اکساید همچنین بستگی به مرحله فنولوژیکی محصول یا وضعیت تجزیه بقایا دارد؛ زیرا این در ارتباط با نسبت C/N می‌باشد. فرناندز و همکاران (۲۰۱۵) فراهمی نیترات بیشتر و انتشار نیتروژن اکساید بیشتری در طی مرحله بلوغ لوبیا و سویا را گزارش کردند که علت این امر با مرگ و میر ریشه و آزادسازی نیتروژن از ریشه‌ها و گره‌ها بود. لیو و همکاران (۲۰۱۱)، انتشار نیتروژن اکساید را در تناوب زراعی در چین مطالعه کردند و نشان دادند که ترکیب کردن کاه و کلش گندم و ذرت به طور قابل توجهی دمای خاک و در نتیجه فعالیت آنزیمی نیتریفیکاتورها و دنیتریفیکاتورها را تحریک و تولید نیتروژن اکساید میکروبی را افزایش داد.

کوددهی نیتروژن نیز از عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر تشکیل نیتروژن اکساید در خاک می‌باشد. انتشار نیتروژن اکساید به وسیله نیترات سازی و نیترات زدایی بستگی به میزان نیتروژن در خاک (آکیاما و همکاران، ۲۰۱۰) و همچنین کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار بکاربرده شده در خاک دارد (سیگنور و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار به طور مستقیم بر میزان آمونیوم و نیترات قابل دسترس در خاک اثرگذار است. هر چه مقدار نیتروژن به فرم آمونیوم در خاک بیشتر باشد، فرآیند نیترات سازی بیشتر است (لیو و همکاران، ۲۰۰۵)، چون نیتريت تشکیل شده در طی فرآیند نیترات سازی در صورت محدودیت اکسیژن می‌تواند به عنوان پذیرنده الکترون استفاده شود و باعث هدررفت نیتروژن اکساید شود. موقعی که نیترات در خاک زیاد باشد، انتشارات نیتروژن اکساید بیشتر خواهد بود (زاناتا و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین زمانی که نیترات قابل دسترس کاهش می‌یابد، انتشار نیتروژن اکساید به دلیل کاهش فرآیند نیترات زدایی کمتر می‌شود (هلیبرند و همکاران، ۲۰۰۸). از طرف دیگر، کوددهی نیتروژن منجر به تولید بیومس بیشتر و در نتیجه مقدار بیشتر بقایای گیاهی و منبع کربن در خاک می‌گردد که این باعث افزایش انتشار نیتروژن اکساید برای یک دوره طولانی بعد از

اقدامات مفید برای کاهش انتشار نیتروز اکساید

بکارگیری بازدارنده‌های نیترات سازی^۱ (NIS)، بازدارنده‌های اوره‌آز^۲ (UIS) و کودهای آهسته‌رهش، اصلاح روش آبیاری، استفاده از ذغال زیستی^۳، مدیریت کوددهی (جدول ۳) و استفاده از فنون هسته‌ای از جمله راهکارهای مفید در کاهش تولید و انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروز اکساید از خاک می‌باشند. بازدارنده‌های نیترات سازی پاسخ آنزیمی برای مرحله اول نیترات سازی (اکسیداسیون NH_4^+ به NO_2^-) را غیرفعال می‌کنند. استفاده از این مواد با کاهش میزان نیترات سازی و متعاقباً سوبسترا برای نیترات زدایی، ممکن است منجر به کاهش انتشار نیتروز اکساید از ۳۰ تا ۵۰ درصد شود (هورفانو و همکاران، ۲۰۱۵). بازدارنده‌های نیترات سازی در دامنه وسیعی از شرایط کشاورزی- اقلیمی استفاده می‌شوند (گیلسانز و همکاران، ۲۰۱۶). محدودیت اصلی برای اعمال بازدارنده‌های نیترات سازی افزایش هزینه‌های کوددهی می‌باشد (تیمیل‌سنا و همکاران، ۲۰۱۵)؛ اما این می‌تواند به وسیله افزایش باروری محصول جبران شود (آبالوس و همکاران، ۲۰۱۴a). افزایش بالقوه در کارایی استفاده از نیتروژن محصول ممکن است هدررفت نیتروژن را کاهش و بنابراین میزان نیتروژن شیمیایی مصرفی و هزینه‌های کوددهی را کاهش دهد (آبالوس و همکاران، ۲۰۱۴a). بازدارنده‌های نیترات سازی همچنین به عنوان یک راهکار مهم برای کاهش انتشار نیتروز اکساید از کودهای شیمیایی نیتروژنه قلمداد می‌شوند (زاناتا و همکاران، ۲۰۱۰). بازدارنده‌های اوره‌آز از طریق بازدارندگی فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک، تبدیل اوره به آمونیوم را کاهش می‌دهند. با کاهش غلظت آمونیوم در محلول خاک قابلیت انتشار آمونیاک نیز کاهش می‌یابد (ساگار و همکاران، ۲۰۱۳). بازدارنده‌های اوره‌آز با جلوگیری موقت از فعالیت آنزیم اوره‌آز، آزادسازی نیتروژن در آب و خاک را کنترل نموده و در نتیجه منجر به همزمانی بهتر بین نیتروژن و تقاضای محصول می‌گردند که در نهایت باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن و کاهش هدررفت آن

کاربرد کود شیمیایی نیتروژن‌دار می‌شود (هلیبرند و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر این، نوع کود شیمیایی نیز بر انتشار نیتروز اکساید اثرگذار است. در کل، کودهای شیمیایی آمونیومی انتشار نیتروز اکساید را آهسته‌تر نسبت به کودهای شیمیایی نیتراتی افزایش می‌دهند چون منابع نیتراتی سریعاً وارد فرآیند نیترات زدایی می‌شوند، در حالی که منابع آمونیاک باید قبل از نیترات زدایی فرآیند نیترات سازی را طی کنند. اثرات متقابل کودهای شیمیایی نیتروژنی و دیگر عوامل تأثیرگذار بر انتشار نیتروز اکساید نیز باید مد نظر قرار گیرد. کاربرد کود شیمیایی در آب و هوای خشک منجر به انتشار کمتر نیتروز اکساید نسبت به کاربرد آن در شرایط مرطوب می‌گردد (ژانگ و هان، ۲۰۰۸).

تناوب زراعی، انتخاب گونه‌های گیاهی، مدیریت بقایا و استفاده از محصولات پوششی، عوامل حیاتی موثر بر عملکرد و کارایی جذب نیتروژن در محصولات و در نتیجه کاهش انتشار نیتروز اکساید از خاک می‌باشند (سانز-کوبنا و همکاران، ۲۰۱۴). سامانه‌های مختلف تناوب زراعی اثرات متفاوتی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند (ژو و همکاران، ۲۰۱۴). به کارگیری سامانه‌های مناسب تناوب محصول، قابلیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را از طریق کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، کاهش هدررفت کربن به اتمسفر و در نتیجه افزایش ترسیب کربن خاک باعث می‌گردند (چائون و همکاران، ۲۰۱۷). تناوب زراعی با اثر بر چرخه‌های کربن و نیتروژن نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با تغییر اقلیم دارد. گنجاندن محصولات لگوم در تناوب به عنوان یک راهکار موثر در کاهش انتشار نیتروز اکساید عمل می‌کند (جنسن و همکاران، ۲۰۱۲)، زیرا این محصولات دارای قابلیت تثبیت نیتروژن بوده و در نتیجه استفاده از آن‌ها در تناوب زراعی، نیازی به استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه که یک محرک کلیدی در انتشار نیتروز اکساید از خاک است نمی‌باشد (تلیز-ریو و همکاران، ۲۰۱۵).

³ Biochar¹ Nitrification Inhibitors (NIS)² Urease Inhibitors (UIS)

بفرم‌های گازی می‌گردد (ساگار و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از کودهای شیمیایی آهسته‌رهش یک راهکار مهم برای کاهش انتشار نیتروز اکساید ایجاد شده به وسیله کودهای نیتروژنه می‌باشد، چون این کودها عناصر غذایی را به صورت آهسته آزاد می‌کنند (شاویو، ۲۰۰۱).

از آنجایی که رطوبت خاک و بویژه درصد منافذ پر از آب از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر هدررفت نیتروز اکساید از خاک می‌باشد (گارسیا-مارکو و همکاران، ۲۰۱۴)، از این رو استفاده از روش‌های مناسب آبیاری قابلیت تقلیل نیتروز اکساید را دارا می‌باشند (گاردیا و همکاران، ۲۰۱۶). آبیاری می‌تواند انتشار نیتروز اکساید را در مقایسه با عدم آبیاری به وسیله افزایش فراهمی آب خاک، فعالیت میکروبی، معدنی شدن کربن و نیتروژن و تنفس افزایش دهد (ساینجو و همکاران، ۲۰۱۰). انتشار نیتروز اکساید در خاک‌های غرقابی به خاطر آبیاری بیش از حد و یا بارندگی، از طریق نیترات زدایی افزایش می‌یابد (اسنایدر و اسلاتون، ۲۰۰۱). مقادیر کمتر آب بکاربرده شده در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی یا رو سطحی از طریق دفعات آبیاری زیاد، نواحی خشک و مرطوبی را در خاک ایجاد می‌کند و در کل رطوبت خاک را کاهش و شرایط را برای نیترات سازی نسبت به نیترات زدایی مطلوب نموده و انتشار نیتروز اکساید را کاهش می‌دهد (سانچز-مارتین و همکاران، ۲۰۱۰a). ذغال زیستی یک محصول غنی از کربن است که به وسیله تجزیه گرمایی ماده آلی تحت شرایط منابع محدود اکسیژن و دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌شود (لهمن و همکاران، ۲۰۰۶). ذغال زیستی با هدف استفاده در خاک تولید می‌شود (لهمن و همکاران، ۲۰۰۶). تحقیقات اخیر نشان داده است که ذغال زیستی ممکن است انتشار نیتروز اکساید را از خاک‌های کشاورزی کاهش دهد. ساز و کارهای متعددی در مورد علت کاهش انتشار نیتروز اکساید در اثر استفاده از ذغال زیستی گزارش

شده است. بسیاری از محققین جذب آمونیوم توسط سطوح دارای بار منفی ذغال زیستی و از این طریق کاهش پتانسیل برای نیترات سازی را به عنوان یک ساز و کار موثر در کاهش نیتروز اکساید گزارش کرده‌اند (فلبر و همکاران، ۲۰۱۴). نگهداری نیترات به وسیله ذغال زیستی و در نتیجه کاهش نیترات زدایی نیز به عنوان یک ساز و کار بالقوه پیشنهاد شده است که نیترات ممکن است توسط ذغال زیستی از طریق تبادل آنیونی (کامیاما، ۲۰۱۲)، نگهداری در منافذ ذغال زیستی (پریندرگاست-میلر و همکاران، ۲۰۱۱)، یا پیوند پل کاتیونی (موخرجی، ۲۰۱۱) نگهداشته شود. تغییر خصوصیات فیزیکی خاک شامل تهویه و جرم مخصوص ظاهری به وسیله ذغال زیستی یکی دیگر از ساز و کارهای پیشنهاد شده است که منجر به کاهش انتشار نیتروز اکساید می‌گردد (روگوسکا و همکاران، ۲۰۱۱). قلیائیت زیاد حاصل از خاکستر ذغال زیستی و در نتیجه افزایش pH باعث کاهش نیترات زدایی شده و منجر به تبدیل نیتروزاکساید به دی نیتروژن از طریق نیترات زدایی می‌گردد (وان زویتن و همکاران، ۲۰۱۰) بیان شده است. علاوه بر این، کایولا و همکاران (۲۰۱۳) اعلام کردند که ذغال زیستی به عنوان حامل الکترون، به حرکت الکترون‌ها به باکتری‌های احیا کننده نیتروز اکساید کمک نموده و از این طریق، احیاء نیتروز اکساید به دی نیتروژن را افزایش می‌دهد. استفاده بهینه از کودهای شیمیایی نیتروژنی (میزان و زمان کاربرد) و همین طور انتخاب دقیق نوع کود استفاده شده، برای کاهش انتشار نیتروز اکساید و افزایش کارایی و کاهش نیتروژن اضافی استفاده شده در خاک ضروری است (سانز-کوبنا و همکاران، ۲۰۱۶). بهترین اقدامات مدیریتی^۱ (BMP) در استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنی به منظور کاهش انتشار نیتروز اکساید در جدول ۴ آورده شده است.

¹ Best Management Practices (BMP)

جدول ۳- سهم عوامل مدیریتی در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروز اکساید در سامانه‌های کشاورزی (سانز-کوبنا و همکاران، ۲۰۱۷)

مدیریت زراعی	راهکار کاهشی	درصد کاهش
کوددهی بهینه	تنظیم کوددهی متناسب با نیاز محصول	۳۰-۵۰
	کودآبیاری	۳۰-۵۰
	جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای دامی	۲۰-۵۰
استفاده از کودهای دامی و مایع	تزریق کود دامی مایع	۱۰
	ترکیب نمودن سریع کوددامی با خاک پس از کاربرد	۱۰
	استفاده از بازدارنده‌های نیترات سازی	۳۰-۵۰
استفاده از بازدارنده‌ها	استفاده از بازدارنده‌های اوره آز	۳۰-۶۰
	محصولات پوششی	۱۰
	فناوری‌های نوین آبیاری	۵۰-۷۰
بکارگیری تناوب زراعی و محصولات پوششی	خاکپوش بقایای گیاهی	۵۰-۷۰
	ترکیب نمودن بقایای گیاهی با خاک	۵۰-۷۰
	استفاده از فرآورده‌های صنعتی زراعی	۵۰-۷۰
استفاده از بقایای گیاهی و فرآورده‌های صنعتی زراعی	استفاده از فرآورده‌های جانبی	۵۰-۷۰
کاربرد بیوجار	استفاده از بیوجار	۵۰

جدول ۴- بهترین عملیات مدیریتی کود شیمیایی نیتروژن دار برای کاهش انتشار نیتروز اکساید از خاک‌ها

مرجع	بهترین عملیات مدیریتی
آگولرا و همکاران (۲۰۱۳b)	کاربرد به موقع کود نیتروژن به تناسب توانایی محصول برای استفاده کارآتر از آن
گرانلی (۱۹۹۴)	کاربرد یکنواخت کود نیتروژن و حیوانی و اجتناب از استفاده در خاک های یخ زده و غرقاب
دی کلین و همکاران (۲۰۰۱)	تقسیم کود شیمیایی اوره برای کاهش تصاعد آمونیاک و انتشار نیتروز اکساید
وان درزاگ و همکاران (۲۰۱۱)	تزریق کود دامی مایع یا ترکیب سریع کود دامی جامد به درون خاک‌ها به وسیله شخم
دی کلین و همکاران (۲۰۰۱)	ساخت امکانات ذخیره سازی (برای فضولات حیوانی) با هوادهی مناسب و مدیریت رطوبت
دی کلین و همکاران (۲۰۰۱)	پایین نگه داشتن غلظت نیترات در خاک در فصل غیرزراعی
سانگیتا و همکاران (۲۰۰۹)	اجتناب از آیش مزارع با کاشت محصولات پاییزه و شخم سریع و کاشت محصولات جدید
پترسن و همکاران (۲۰۱۱)	کم خاک‌ورزی در علفزارهای دائمی به منظور ایجاد پوشش در انتهای فصل رشد
انجمن بین المللی تغذیه گیاهان ^۱ (۲۰۱۲)	کاهش مصرف کود شیمیایی و یا چرای شدید در پاییز در خاک‌های علفزار
یامولکی و جارویس (۲۰۰۲)	اجتناب از تراکم خاک و فرسایش در اراضی کشاورزی

۲۰۱۴). اندازه‌گیری‌های ایزوتوپ پایدار^۲ دارای مزیت‌هایی نسبت به تکنیک‌های غیر هسته‌ای در جهت شناسایی اثرات روش‌های مدیریتی مختلف بر انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. انتشار نیتروز اکساید از خاک با استفاده از کروماتوگرافی گاز^۳ (GC) انجام می‌گیرد ولی این روش قادر به تشخیص منشأ انتشار نیتروز اکساید (نیترات زدایی یا نیترات سازی) نمی‌باشد و این تنها به وسیله اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار امکانپذیر است. تاکنون چندین روش برای شناسایی منشأ تولید نیتروز اکساید از طریق مسیرهای تولید آن توسعه یافته است. بیشتر این روش‌ها بیان می‌کنند که نیتروز اکساید یا از نیترات‌سازی و یا از نیترات زدایی

اندازه‌گیری‌های ایزوتوپ پایدار نیز اطلاعاتی را در مورد فرآیندهای کشاورزی فراهم می‌کند که در صورت استفاده از روش‌های مرسوم دستیابی به این اطلاعات امکانپذیر نیست. استفاده از این روش در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و همچنین راهکارهای مدیریتی مناسب در جلوگیری یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مفید می‌باشد. از آنجایی که به طور معمول ۲۵ تا ۵۰ درصد کودهای شیمیایی نیتروژنه مصرفی در سامانه گیاه- خاک هدر می‌رود از این رو با بکارگیری عملیات مدیریتی بهتر، پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار نیتروز اکساید و دیگر ترکیبات نیتروژن وجود دارد (هالوارسون و همکاران،

^۱ International Plant Nutrition Institute (IPNI)

^۲ Stable Isotopes

^۳ Gas Chromatography (GC)

حاصل می‌شود. روش‌های ایزوتوپی منشأ نیتروز اکساید را شناسایی نموده و سهم هر یک از این فرایندها در افزایش نیتروز اکساید متصاعد شده در اتمسفر را مشخص می‌کند (سوتکا و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین این روش قادر به تشخیص انتشار نیتروز اکساید حاصل از نیتروژن موجود در کود شیمیایی استفاده شده یا نیتروژن خاک می‌باشد. روش‌های ایزوتوپی براساس ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و ^{15}N هستند و می‌توانند به طور وسیعی به فراوانی طبیعی^۱ و روش‌های غنی‌سازی^۲ تمایز پیدا کنند. لینزمر و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که با استفاده از اندازه‌گیری‌های N^{15} در نیتروز اکساید انتشار یافته مشخص گردید که ۴۰-۱۰ درصد آن مربوط به کود شیمیایی نیتروژن و ۹۰-۶۰ درصد مربوط به نیتروژن خاک بود.

پیشنهادهای ترویجی

هدف اصلی این تحقیق ارائه راهکارهای مطلوب مدیریت زراعی به منظور کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید از خاک می‌باشد. به این منظور در ابتدا به ساز و کارهای تشکیل و انتشار این گاز گلخانه‌ای و همین‌طور عوامل تأثیر گذار بر آن پرداخته شد و در ادامه روش‌های مطلوب مدیریت زراعی به منظور کاهش انتشار این گاز گلخانه‌ای بیان گردید. نگهداری بقایای محصول در خاک به جای سوزاندن و خارج نمودن آن‌ها، استفاده از روش‌های نوین خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی

مر سوم و همین‌طور گنجاندن محصولات لگوم در تناوب از جمله راهکارهای موثر در کاهش انتشار نیتروز اکساید هستند. بازدارنده‌های نیترات سازی، بازدارنده‌های اوره‌آز و کودهای آهسته‌رهش منجر به همزمانی بهتر بین نیتروژن و تقاضای محصول، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و در نهایت باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن و کاهش هدررفت آن بفرم‌های گازی از قبیل نیتروزاکساید می‌گردند. بکارگیری روش‌های نوین آبیاری از قبیل آبیاری قطره‌ای و کودآبیاری نیز باعث افزایش کارایی استفاده از نیتروژن و کاهش انتشار نیتروز اکساید می‌شود. استفاده بهینه از کودهای شیمیایی نیتروژنی، تقسیم کود به جای استفاده یکباره آن، جایگذاری کودهای آلی درون خاک به جای کاربرد سطحی آن نیز از جمله بهترین اقدامات مدیریتی هستند که پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار نیتروز اکساید را دارا می‌باشند. فناوری‌های هسته‌ای نیز به جهت تشخیص منشأ انتشار نیتروز اکساید (نیترات سازی یا نیترات زدایی) اهمیت قابل ملاحظه‌ای در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و جلوگیری از انتشار این گاز گلخانه‌ای دارد؛ بنابراین بکارگیری و عملیاتی نمودن راهکارهای ارائه شده در این مقاله به عنوان رهیافتی مهم در جهت کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید و در نتیجه جلوگیری از پدیده گرمایش جهانی پیشنهاد می‌گردد.

فهرست منابع

1. Abalos, D., S. Jeffery., A. Sanz-Cobena., G. Guardia., and A. Vallejo. 2014a. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 189: 136-144.
2. Aguilera, E., L. Lassaletta., A. Sanz-Cobena., J. Garnier., and A. Vallejo. 2013b. The potential of organic fertilizers and water management to reduce N_2O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 164:32-52.
3. Akiyama, H., X. Yan., and K. Yagi. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N_2O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology*. 16(6): 1837-1846.
4. Baggs, E. M., J. Chebii., and J. K. Ndafa. 2006. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. *Soil and Tillage Research*. 90(1-2): 69-76.

² Enrichment Techniques

¹ Natural Abundance

5. Baggs, E. M., R. M. Rees., K. A. Smith., and A. J. A. Vinten. 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. *Soil use and management*. 16(2): 82-87.
6. Bessou, C., B. Mary., J. Leonard., M. Roussel., E. Grehan., and B. Gabrielle. 2010. Modelling soil compaction impacts on nitrous oxide emissions in arable fields. *European Journal of Soil Science*. 61(3): 348-363.
7. Boizard, H., G. Richard., J. Roger-Estrade., C. Dürr., and J. Boiffin. 2002. Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. *Soil and Tillage Research*. 64(1-2): 149-164.
8. Bremner, J. M. 1997. Sources of nitrous oxide in soils. *Nutrient cycling in Agroeco systems*. 49(1-3): 7-16.
9. Brentrup, F., J. Kusters., J. Lammel., and H. Kuhlmann. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The international journal of life cycle assessment*. 5(6): 349.
10. Cameron, K. C., H. J. Di., and J. L. Moir. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology*. 162(2): 145-173.
11. Castellano, M. J., J. P. Schmidt., J. P. Kaye., C. Walker., C. B. Graham., H. Lin., and C. J. Dell. 2010. Hydrological and biogeochemical controls on the timing and magnitude of nitrous oxide flux across an agricultural landscape. *Global Change Biology*. 16(10): 2711-2720.
12. Cayuela, M. L., M. A. Sánchez-Monedero., A. Roig., K. Hanley., A. Enders., and J. Lehmann. 2013. Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N₂O emissions?. *Scientific reports*. 3: 1732.
13. Chapuis-Lardy, L. Y. D. I. E., N. Wrage., A. Metay, J. L. CHOTTE., and M. Bernoux. 2007. Soils, a sink for N₂O? A review. *Global Change Biology*. 13(1): 1-17.
14. Cha-un, N., A. Chidthaisong., K. Yagi., S. Sudo., and S. Towprayoon. 2017. Greenhouse gas emissions, soil carbon sequestration and crop yields in a rain-fed rice field with crop rotation management. *Agriculture, ecosystems & environment*. 237: 109-120.
15. Davidson, E. A., and W. T. Swank. 1986. Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. *Applied and Environmental Microbiology*. 52(6): 1287-1292.
16. de Klein, C. A., R. R. Sherlock., K. C. Cameron., and T. J. van der Weerden. 2001. Nitrous oxide emissions from agricultural soils in New Zealand—a review of current knowledge and directions for future research. *Journal of the Royal Society of New Zealand*. 31(3): 543-574.
17. Denman, K. L., A. Chidthaisong., P. Ciais., P. M. Cox., R. E. Dickinson., D. Hauglustaine., .. P. L. D. S. and Dias. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. *International Panel on Climate Change*. 499-587.
18. Eichner, M. J. 1990. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. *Journal of environmental quality*. 19(2): 272-280.
19. FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. 2018. Standard Operating Procedure for Gas Flux Measurement.
20. Felber, R., J. Leifeld., J. Horak., and A. Neftel. 2014. Nitrous oxide emission reduction with greenwaste biochar: comparison of laboratory and field experiments. *European Journal of Soil Science*. 65(1): 128-138.
21. Fernandez, F. G., R. E. Terry., and E. G. Coronel. 2015. Nitrous oxide emissions from anhydrous ammonia, urea, and polymer-coated urea in Illinois cornfields. *Journal of environmental quality*. 44(2): 415-422.
22. Garcia-Marco, S., S. R. Ravella., D. Chadwick., A. Vallejo., A. S. Gregory., and L. M. Cardenas. 2014. Ranking factors affecting emissions of GHG from incubated agricultural soils. *European journal of soil science*. 65(4): 573-583.
23. Giacomini, S. J., C. P. Jantalia., C. Aita., S. S. Urquiaga, and B. J. R. Alves. 2006. Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 41(11): 1653-166.
24. Gilsanz, C., D. Baez., T. H. Misselbrook., M. S. Dhanoa., and L. M. Cardenas. 2016. Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 216: 1-8.

25. Gomes, J., C. Bayer., F. de Souza Costa., M. de Cassia Piccolo., J. A. Zanatta., F. C. B. Vieira., and J. Six. 2009. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. *Soil and Tillage Research*. 106(1): 36-44.
26. Granli, T. 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. 12: 128.
27. Groffman, P. M. 1987. Nitrification and denitrification in soil: a comparison of enzyme assay, incubation and enumeration methods. *Plant and soil*. 97(3): 445-450.
28. Groffman, P. M., E. A. Davidson., and S. Seitzinger. 2009. New approaches to modeling denitrification. *Biogeochemistry*. 93(1-2): 1-5.
29. Guardia, G., A. Tellez-Rio., S. Garcia-Marco., D. Martin-Lammerding., J. L. Tenorio., M. A. Ibanez, and A. Vallejo. 2016. Effect of tillage and crop (cereal versus legume) on greenhouse gas emissions and Global Warming Potential in a non-irrigated Mediterranean field. *Agriculture, ecosystems & environment*. 221:187-197.
30. Halvorson, A. D., C. S. Snyder, A. D. Blaylock., and S. J. Del Grosso. 2014. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. *Agronomy Journal*. 106(2): 715-722.
31. Hellebrand, H. J., V. Scholz., and J. Kern. 2008. Fertiliser induced nitrous oxide emissions during energy crop cultivation on loamy sand soils. *Atmospheric Environment*. 42(36): 8403-8411.
32. Houghton, J. (2005). Reports on Progress in Physics. Global warming. 68: 1343-1403.
33. Huérffano, X., T. Fuertes-Mendizabal., M. K. Dunabeitia., C. González-Murua., J. M. Estavillo., and S. Menéndez. 2015. Splitting the application of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP): Influence on greenhouse gases emissions and wheat yield and quality under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*. 64: 47-57.
34. International Plant Nutrition Institute (IPNI) (2012). 4R Plant Nutrition : A manual for improving the management of plant nutrition, North American version. In: Bruuslema, et al. (eds.), International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA, USA.
35. Jensen, E. S., M. B. Peoples., R. M. Boddey., P. M. Gresshoff., H. Hauggaard-Nielsen., B. J. Alves., and M. J. Morrison. 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for sustainable development*. 32(2): 329-364.
36. Kameyama, K., T. Miyamoto., T. Shiono., and Y. Shinogi. 2012. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcareous dark red soil. *Journal of Environmental Quality*. 41(4): 1131-1137.
37. Lal, R. 2007. World soils and global issues. *Soil & tillage research*.
38. Lehmann, J., J. Gaunt., and M. Rondon. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 11(2): 403-427.
39. Linzmeier, W., R. Gutser., and U. Schmidhalter. 2001. Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biology and Fertility of Soils*. 34(2): 103-108.
40. Liu, C., K. Wang., S. Meng., X. Zheng., Z. Zhou., S. Han.,... and Z. Yang. 2011. Effects of irrigation, fertilization and crop straw management on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a wheat–maize rotation field in northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 140(1-2): 226-233.
41. Liu, X. J., A. R. Mosier., A. D. Halvorson., and F. S. Zhang. 2005. Tillage and nitrogen application effects on nitrous and nitric oxide emissions from irrigated corn fields. *Plant and Soil*. 276(1-2): 235-249.
42. Mukherjee, A., A. R. Zimmerman., and W. Harris. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*. 163(3-4): 247-255.
43. Nawaz, A., R. Lal., R. K. Shrestha., and M. Farooq. 2017. Mulching Affects Soil Properties and Greenhouse Gas Emissions Under Long-Term No-Till and Plough-Till Systems in Alfisol of Central Ohio. *Land Degradation & Development*. 28(2): 673-681.
44. Oertel, C., J. Matschullat., K. Zurba., F. Zimmermann., and S. Erasmí. 2016. Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde-Geochemistry*. 76(3): 327-352.

45. Petersen, S. O., J. K. Møtegi., E. M. Hansen., and L. J. Munkholm. 2011. Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(7): 1509-1517.
46. Prendergast-Miller, M. T., M. Duvall., and S. P. Sohi. 2011. Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. *Soil biology and Biochemistry*. 43(11): 2243-2246.
47. Reay, D. S., E. A. Davidson., K. A. Smith., P. Smith., J. M. Melillo., F. Dentener., and P. J. Crutzen. 2012. Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature climate change*. 2(6): 410.
48. Regina, K., and L. Alakukku. 2010. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. *Soil and Tillage Research*. 109(2): 144-152.
49. Rogovska, N., D. Laird., R. Cruse. P. Fleming., T. Parkin., and D. Meek. 2011. Impact of biochar on manure carbon stabilization and greenhouse gas emissions. *Soil Science Society of American Journal*. 75(3): 871-879.
50. Sagggar, S., J. Singh., D. L. Giltrap., M. Zaman., J. Luo., M. Rollo.,... and T. J. Van der Weerden. 2013. Quantification of reductions in ammonia emissions from fertiliser urea and animal urine in grazed pastures with urease inhibitors for agriculture inventory: New Zealand as a case study. *Science of the Total Environment*. 465:136-146.
51. Sainju, U. M., W. B. Stevens., T. Caesar-TonThat., and J. D. Jabro. 2010. Land use and management practices impact on plant biomass carbon and soil carbon dioxide emission. *Soil Science Society of America Journal*. 74(5): 1613-1622.
52. Sanchez-Martín, L., A. Meijide., L. Garcia-Torres., and A. Vallejo. 2010a. Combination of drip irrigation and organic fertilizer for mitigating emissions of nitrogen oxides in semiarid climate. *Agriculture, ecosystems & environment*. 137(1-2): 99-107.
53. Sangeetha, M., R. Jayakumar., and C. Bharathi. 2009. Nitrous oxide emission from soils—a review. *Agricultural Reviews*. 30(2): 94-107.
54. Sanz-Cobena, A., D. Abalos., A. Meijide., L. Sanchez-Martin., and A. Vallejo. 2016. Soil moisture determines the effectiveness of two urease inhibitors to decrease N₂O emission. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 21(7): 1131-1144.
55. Sanz-Cobena, A., S. García-Marco., M. Quemada., J. L. Gabriel., P. Almendros., and A. Vallejo. 2014. Do cover crops enhance N₂O, CO₂ or CH₄ emissions from soil in Mediterranean arable systems?. *Science of the total environment*. 466: 164-174.
56. Sanz-Cobena, A., L. Lassaletta., E. Aguilera., A. Del Prado., J. Garnier., G. Billen.,... and D. Plaza-Bonilla. 2017. Strategies for greenhouse gas emissions mitigation in Mediterranean agriculture: A review. *Agriculture, ecosystems & environment*. 238: 5-24.
57. Shaviv, A. 2001. Advances in controlled-release fertilizers. 1-49.
58. Signor, D., C. E. P. Cerri., and R. Conant. 2013. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. *Environmental Research Letters*. 8(1): 015013.
59. Smith, K. A., T. Ball., F. Conen., K. E. Dobbie., J. Massheder., and A. Rey. 2018. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European journal of soil science*. 69(1): 10-20.
60. Snyder, C.S., and N.A. Slaton. 2001. Rice production in the United States: An overview. *Better Crops*. 85(3): 3-7.
61. Stevens, R. J., and R.J. Laughlin. 1998. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emissions from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52(2-3):131-139.
62. Sutka, R. L., N. E. Ostrom., P. H. Ostrom., J. A. Breznak., H. Gandhi., A. J. Pitt., and F. Li. 2006. Distinguishing nitrous oxide production from nitrification and denitrification on the basis of isotopomer abundances. *Applied Environmental Microbiology*. 72(1): 638-644.
63. Tan, I. Y., H. M. van Es, Duxbury., J. M. Melkonian., J. J. Schindelbeck., R. R. Geohring., L. D., ... and B. N. Moebius. 2009. Single-event nitrous oxide losses under maize production as affected by soil type, tillage, rotation, and fertilization. *Soil and Tillage Research*. 102(1): 19-26.
64. Tellez-Rio, A., S. García-Marco., M. Navas., E. Lopez-Solanilla., R. M. Rees., J. L. Tenorio., and A. Vallejo. 2015. Nitrous oxide and methane emissions from a vetch cropping season are

- changed by long-term tillage practices in a Mediterranean agroecosystem. *Biology and fertility of soils*. 51(1): 77-88.
65. Thomson, A. J., G, Giannopoulos., J, Pretty., E. M, Baggs., and D. J. Richardson. 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. 1157-1168.
66. Timilsena, Y. P., R, Adhikari., P, Casey., T, Muster., H, Gill., and B. Adhikari. 2015. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(6): 1131-1142.
67. Tubiello, F. N., M, Salvatore., R. D, Condor Golec., A, Ferrara., S, Rossi., R, Biancalani,... and A. Flammini. 2014. Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. Statistics Division, Food and Agriculture Organization. Rome.
68. Van Zwieten, L., S, Kimber., S, Morris., A, Downie., E, Berger., J, Rust., and C. Scheer. 2010. Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol. *Soil Research*. 48(7): 555-568.
69. VanderZaag, A. C., S, Jayasundara., and C. Wagner-Riddle. 2011. Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from land applied manure. *Animal Feed Science and Technology*. 166: 464-479.
70. Wang, Y. Y., C. S, Hu., H, Ming., Y. M, Zhang., X. X, Li , W. X, Dong., and O. Oenema. 2013b. Concentration profiles of CH₄, CO₂ and N₂O in soils of a wheat-maize rotation ecosystem in North China Plain, measured weekly over a whole year. *Agriculture, ecosystems & environment*. 164: 260-272.
71. Yamulki, S., and S. Jarvis. 2002. Short-term effects of tillage and compaction on nitrous oxide, nitric oxide, nitrogen dioxide, methane and carbon dioxide fluxes from grassland. *Biology and Fertility of Soils*. 36(3): 224-231.
72. Zaman, M., M. L, Nguyen., and S. Saggar. 2008b. N₂O and N₂ emissions from pasture and wetland soils with and without amendments of nitrate, lime and zeolite under laboratory condition. *Soil Research*. 46(7): 526-534.
73. Zaman, M., M. L, Nguyen., A. J, Gold., P. M, Groffman., D. Q, Kellogg, and R. J. Wilcock. 2008a. Nitrous oxide generation, denitrification, and nitrate removal in a seepage wetland intercepting surface and subsurface flows from a grazed dairy catchment. *Soil Research*. 46(7): 565-577.
74. Zaman, M., M. L, Nguyen., M, Simek., S, Nawaz., M. J, Khan., M. N, Babar., and S. Zaman. 2012. Emissions of nitrous oxide (N₂O) and di-nitrogen (N₂) from the agricultural landscapes, sources, sinks, and factors affecting N₂O and N₂ ratios. In *Greenhouse gases-emission, measurement and management*. InTech. 1-32.
75. Zanatta, J. A., C, Bayer., F. C, Vieira., J, Gomes., and M. Tomazi. 2010. Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 34(5): 1653-1665.
76. Zhang, J., and X. Han. 2008. N₂O emission from the semi-arid ecosystem under mineral fertilizer (urea and superphosphate) and increased precipitation in northern China. *Atmospheric Environment*. 42(2): 291-302.
77. Zhou, W., T. F, Lv., Y, Chen., A. P, Westby., and W. J. Ren. 2014. Soil physicochemical and biological properties of paddy-upland rotation: a review. *The Scientific World Journal*, 2014.

تأثیر مصرف سرک پتاسیم کلرید در زراعت گندم آبی در خاک‌های متوسط بافت

عزیز مجیدی^۱

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ارومیه، ایران. Az.majidi89@gmail.com

دریافت: تیر ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

روش مصرف کود پتاسیم، تأثیر زیادی بر کارایی آن در اراضی با ظرفیت بالای تثبیت پتاسیم دارد. برای بررسی تأثیر مصرف سرک پتاسیم در زراعت گندم آبی، آزمایشی در دو شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی اجرا شد. آزمایش مزرعه‌ای، در مزارع گندم استان آذربایجان غربی با مقدار پتاسیم قابل جذب کمتر از سطح بحرانی (250 mg.kg^{-1})، به مدت سه سال (۹۲-۱۳۸۹) و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی شامل سه تیمار (شاهد، مصرف سرک ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم کلرید در هکتار) و در چهار تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که مصرف سرک پتاسیم کلرید بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم تأثیر معناداری نداشت. تیمارهای پتاسیم بر غلظت و جذب پتاسیم در دانه و کلش تأثیر معناداری نداشتند. در تیمارهای مذکور، درصد بازیابی ظاهری پتاسیم کمتر از ۷٪ برآورد شد. مصرف سرک پتاسیم، قابلیت جذب پتاسیم خاک را پس از برداشت محصول، به‌طور کاملاً معناداری افزایش داد. بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد که بیش از ۹۰٪ پتاسیم مصرفی در شش سانتی‌متری بخش فوقانی خاک تجمع یافته و به قسمت‌های زیرین منتقل نشد. میزان تثبیت پتاسیم در محدوده ۵۴/۵-۴۵/۵ درصد بود و به‌طور متوسط در حدود نیمی از پتاسیم مصرفی در خاک تثبیت گردید. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که فرآورده‌های جذب و تثبیت پتاسیم در لایه سطحی خاک، مانع نفوذ آن از لایه سطحی به منطقه توسعه ریشه شده و علیرغم حاکمیت کمبود پتاسیم در خاک مزرعه، مصرف سرک آن در خاک‌های متوسط بافت با ظرفیت تثبیت بالا، فاقد کارایی لازم برای تأمین نیاز گندم به پتاسیم بود.

واژه‌های کلیدی: بازیابی ظاهری، تثبیت پتاسیم، گندم، نفوذ عمقی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.

مقدمه

تغذیه بهینه گیاه نقش مهمی در بهبود کمیت و کیفیت محصول گندم دارد. پتاسیم یکی از عناصر غذایی مهم در تغذیه گیاه بوده و به دلیل وظایف فیزیولوژیکی گسترده مانند ایجاد استحکام ساقه و مقاومت آن در مقابل خوابیدگی، افزایش کارایی مصرف آب و ایجاد مقاومت در برابر آفت‌ها و بیماری‌ها، نقشی کلیدی در رشد گیاه دارد (راویچاندران و سریپامانچاندراسخاران، ۲۰۱۱). متأسفانه به دلیل این تفکر غلط که بیشتر خاک‌های ایران از نظر پتاسیم غنی هستند، مصرف آن علیرغم اثرهای بسیار مهم فیزیولوژیکی این عنصر در تولید محصول، نادیده گرفته می‌شود. نادیده گرفتن مصرف پتاسیم در طی چند سال اخیر، از نسبت‌های نامتوازن تخصیصی سهمیه کود به استان‌ها و کمبود آن در بازار مصرف به‌خوبی قابل درک است (مشایخی و صلحی، ۱۳۸۹). مصرف نامتعادل عناصر غذایی، پیامدهای جدی در کاهش کارایی مصرف آنها دارد (راویچاندران و سریپامانچاندراسخاران، ۲۰۱۱).

شواهد رو به رشدی از گسترش کمبود پتاسیم در اراضی زیر کشت استان آذربایجان غربی وجود دارد. توازن پتاسیم در بیشتر این خاک‌ها منفی بوده و میزان پتاسیم قابل جذب آنها رو به کاهش است (غنی شایسته و فلاح، ۱۳۷۶). در شمال غرب این استان در شهرستان‌های نقده، اشنویه، پیرانشهر و سردشت میزان بارندگی به‌طور متوسط در محدوده ۱۱۰۰-۶۵۰ میلی‌متر در سال است. میزان بارندگی زیاد این مناطق منجر به آبشویی پتاسیم خاک شده به‌طوری‌که علیرغم متوسط بودن بافت خاک، میزان پتاسیم قابل جذب خاک به‌ندرت از ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تجاوز می‌نماید. تصور عمومی بر این است که خاک‌های زیر کشت این مناطق که بالغ بر ۳۵۰ هزار هکتار برآورد می‌شود، در نتیجه بارندگی‌های زیاد از خاک شسته شده و در صورت مصرف کودهای پتاسیمی همزمان با کشت، بخش عمده آن صرف پر کردن فضاهای بین‌لایه‌ای رس‌ها شده و کمتر مورد استفاده ریشه گیاهان قرار می‌گیرد. به همین دلیل گندم کاران این مناطق بر این

باورند که مصرف پتاسیم تأثیر محسوسی بر کمیت و کیفیت محصول گندم ندارد.

بررسی‌ها نشان داده است که پدیده تثبیت پتاسیم در خاک، به‌طور معناداری کارایی کودهای پتاسیمی را در تولید محصول به‌ویژه در مناطق پر باران کاهش می‌دهد (اسپارکس، ۲۰۰۰). در پدیده تثبیت، پتاسیم قابل جذب به بخش غیر قابل جذب منتقل شده و از دسترس ریشه گیاهان خارج می‌شود (سیمون سون و همکاران، ۲۰۰۷؛ سیمون سون و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسپارکس ۱۹۸۷). مقدار تثبیت پتاسیم خاک بسته به نوع و مقدار رس (سیمون سون و همکاران، ۲۰۰۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار پتاسیم قابل جذب خاک (عباس‌لو و ابطحی، ۱۳۸۷)، مقدار کربنات کلسیم و ظرفیت بافری پتاسیم خاک‌ها (جلالی، ۱۳۸۶) متغیر است. معمولاً هر چه خاک از پتاسیم بیشتر تخلیه شده باشد، میزان تثبیت پتاسیم در فضاهای بین‌لایه‌ای رس‌ها نیز بیشتر است (اسپارکس، ۲۰۰۰). در ایران، معمولاً مصرف پتاسیم همزمان با کشت گندم صورت می‌گیرد (بلالی و همکاران، ۱۳۷۹). تحت چنین شرایطی، احتمال تثبیت پتاسیم بخصوص در خاک‌های تخلیه‌شده از پتاسیم زیاد بوده و این احتمال که پتاسیم مصرفی به‌جای اینکه به مصرف گیاه برسد، صرف پر کردن فضاهای بین‌لایه‌ای رس‌ها شود، قوت می‌گیرد. یکی از راه کارهای پیشنهادی برای جلوگیری از تثبیت پتاسیم و افزایش کارایی آن، مصرف سرک پتاسیم در طول فصل رشد گندم است (ملکوتی و بلالی، ۱۳۸۰).

در ایران، تحقیقات وسیعی در مورد تأثیر پتاسیم بر خواص کمی و کیفی گندم صورت گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر نقش مهم آن در افزایش عملکرد و پروتئین دانه (بلالی و همکاران، ۱۳۷۹) کاهش اثرهای تنش شوری خاک (وکیل و همکاران، ۱۳۸۰)، کاهش اثرهای تنش خشکی (رمضان‌پور و همکاران، ۱۳۸۳) و افزایش کارایی گیاه در جذب سایر عناصر (لطف‌الهی و ملکوتی، ۱۳۸۴) بوده است.

محصول در واحد سطح بالا بوده و کاه و کلش نیز از مزرعه خارج گردند، تخلیه پتاسیم از خاک شدت می‌یابد. از سوئی دیگر، محصول گندم با عملکرد بالا به مقادیر زیادی نیتروژن و پتاسیم نیاز داشته و تصادفی نیست که افزودن نیتروژن به خاک‌ها، نیاز برای جذب پتاسیم را نیز در گیاه تحریک می‌کند (مار شمر، ۱۹۹۵؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۱).

بر این اساس، از آنجائی که تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر مصرف سرک پتاسیم در خاک‌های متوسط بافت با ظرفیت بالای تثبیت در زراعت گندم آبی انجام نشده از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان مصرف سرک پتاسیم در خاک‌های متوسط بافت با ظرفیت تثبیت بالای پتاسیم در زراعت گندم آبی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه مرحله انجام شد:

مرحله اول

انجام آزمایش کودی در مزرعه: در طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۹، در اراضی زیر کشت استان آذربایجان غربی که از مناطق عمده زیر کشت گندم بودند، تعدادی مزارع انتخاب و میزان پتاسیم قابل جذب آنها اندازه‌گیری شد. در بین آنها مزارعی که پتاسیم قابل جذب خاک آنها کمتر از سطح بحرانی پتاسیم ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود (الفتی و همکاران، ۱۳۷۹)، انتخاب شدند. مشخصات جغرافیائی و رده‌بندی خاک محل‌های اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۴۲؛ بی‌نام، ۱۳۷۴).

نتایج بررسی‌ها نشان داده است که مقدار اندکی از پتاسیم در مرحله استقرار و زمستان‌گذرانی گندم مورد نیاز بوده و بخش عمده آن در مراحل بعدی رشد در بهار جذب گیاه شده و در مرحله گلدهی به حداکثر مقدار خود می‌رسد (برتال و همکاران، ۲۰۰۴). حداکثر جذب پتاسیم در غلات با عملکرد بالا در حدود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار است. آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده‌اند که پتاسیم مورد نیاز گیاه در شرایطی که مقدار پتاسیم قابل جذب خاک بیش از ۲۵۰ میلی گرم در کیلوگرم باشد، به طور کامل تأمین می‌گردد (الفتی و همکاران، ۱۳۷۹). خاک‌های دارای کمبود، معمولاً به میزان کمتر از ۱۲۰ میلی گرم در لیتر پتاسیم محلول داشته که این مقدار معادل ۱۴۵ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم در ۱۰ سانتی متری بخش فوقانی خاک است (نئو و همکاران، ۲۰۱۱). واضح است این مقدار خیلی کمتر از نیاز گیاهان با عملکردهای بالاست؛ بنابراین، اجباراً گیاهان نیازهای خود را از پتاسیم عمق‌های پایین‌تر و در خاک‌های با بافت سنگین‌تر از پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی تأمین می‌نماید. در خاک‌های کم‌عمق با بافت سبک و یا بافت سنگین تخلیه شده از پتاسیم، ممکن است این سازوکار قادر به تأمین نیاز گیاه نبوده و بنابراین حاصلخیزی خاک از نظر پتاسیم کافی نخواهد بود. صرف‌نظر از حداکثر نیاز، نرخ تقاضای محصول برای پتاسیم نیز مهم بوده و ممکن است در طی دوره رشد سریع غلات، به پنج یا حتی ۱۰ کیلوگرم در هکتار در سال نیز برسد (نئو و همکاران، ۲۰۱۱). در چنین شرایطی، خاک‌های با ذخیره پتاسیم کم، قادر به تأمین نیاز گیاه نبوده و احتمالاً مصرف سرک پتاسیم می‌تواند به برطرف کردن کمبود آن در گیاه کمک کند. از طرفی، اگر عملکرد

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و رده‌بندی سری‌های خاک (USDA) محل‌های اجرای آزمایش

سری خاک	عرض جغرافیایی			طول جغرافیایی			۳
	ثانیه	دقیقه	درجه	ثانیه	دقیقه	درجه	
M-Fine Loamy mixed mesic Fluventic Haploxerepts	۳۰	۵۰	۳۶	۴۵	۱۰	۴۵	۱
M-Fine Loamy mixed mesic Fluventic Haploxerepts	۳۸	۴۱	۳۶	.	۹	۴۵	۲
M-Fine Loamy mixed mesic Fluventic Haploxerepts	۱	۵۰	۳۶	۲۴	۸	۴۵	۳

طرح تحقیقاتی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی شامل سه تیمار در چهار تکرار به انجام رسید. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (عدم مصرف پتاسیم)، مصرف سرک ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم کلرید در هکتار و مصرف سرک ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم کلرید در هکتار بودند. نمونه‌های مرکب خاک از هر تکرار تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن بر طبق استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (علی‌احیائی، ۱۳۷۷). بافت خاک به روش

هیدرومتر، pH به وسیله الکتروود شیشه‌ای در گل اشباع، هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت سنج الکتریکی در عصاره‌ی گل اشباع، کربن آلی به روش دی کرومات پتاسیم، نیتروژن به روش کج‌دال، فسفر قابل جذب به روش اولسن و پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیوم یک نرمال اندازه‌گیری شدند. میانگین نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش

سال	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	pH گل اشباع	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی (%)	رس شن	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol. kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	بافت خاک
۱	۰/۷۵	۷/۶۸	۷/۰۰	۱/۵۶	۳۱	۲۴	۱۲/۳	۱۷۸	CL
۲	۰/۸۷	۷/۵۶	۵/۵	۱/۱۵	۲۸	۴۳	۱۵/۴	۱۲۷	L
۳	۰/۸۷	۷/۸۷	۶/۲۵	۱/۲۶	۲۳	۱۷	۱۱/۰۵	۲۱۵	SiL

* هر عدد میانگین چهار تکرار است

خاک‌های مذکور غیر شور با pH قلیایی، آهک متوسط، مقدار مواد آلی کم تا متوسط و بافت متوسط بوده و از نظر فسفر قابل جذب در محدوده متوسط تا زیاد و از نظر پتاسیم در شرایط کمبود بودند. کودهای پایه شامل نیتروژن و فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک برآورد و تمامی کود فسفره همراه با نصف نیتروژن مورد نیاز به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها در زمان کاشت به مصرف رسیدند. اندازه هر کرت ۱۰ مترمربع، عرض کرت‌ها ۲/۵ متر و طول آنها چهار متر در نظر گرفته شد. در آبان ماه هر سال نسبت به کاشت گندم اقدام و در طول فصل رشد یادداشت‌برداری‌های لازم انجام شد. رقم گندم مورد کاشت زرین با تراکم ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. تمامی کود پتاسیمی مطابق تیمارهای مربوطه به همراه نصف دیگر نیتروژن در مرحله تشکیل اولین گره ساقه (GS₃₁) (زادوکس و همکاران، ۱۹۷۴) در بهار به‌صورت سرک همراه با آب آبیاری در کرت‌های بسته مصرف شدند. در طول مرحله داشت نسبت به انجام مراقبت‌های زراعی لازم اقدام گردید. نیاز آبی با استفاده از روش پنمن-مانتیت محاسبه گردید. میزان آب آبیاری بر اساس راندمان کاربرد آب در مزرعه برابر ۹۰٪ تعیین گردید. مقدار آب محاسبه‌شده برای هر کرت توسط

دبلیو اس سی فلوم اندازه‌گیری شد. آبیاری به‌صورت یکنواخت و در مراحل بعد از کاشت، رشد فنولوژیکی ظهور اولین گره ساقه، شکم خوش، ظهور سنبله و شیری شدن دانه گندم به‌انجام رسید. مقادیر آب مصرفی در مراحل مذکور به ترتیب معادل ۴۵۶، ۵۲۶، ۶۷۴، ۸۲۴ و ۵۲۵ متر مکعب در هکتار بودند. در زمان برداشت محصول نسبت به اندازه‌گیری اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه اقدام شد. پس از رسیدن محصول نسبت به برداشت آن به‌صورت کف‌بر از سطح چهار مترمربع اقدام و عملکرد کاه و دانه تعیین گردید. پس از برداشت محصول، نمونه‌های مرکب خاک از هر کرت تهیه و مقدار پتاسیم قابل جذب آنها به روش استات آمونیوم (علی‌احیائی، ۱۳۷۷) اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت پتاسیم در کاه و دانه مطابق استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب (امامی، ۱۳۷۵) اندازه‌گیری شدند. درصد بازیابی ظاهری کود پتاسیم در تیمارهای کودی از فرمول (۱) محاسبه گردید:

$$Prf = \frac{(KF) - (KC)}{R} \times 100 \quad (1)$$

در این فرمول، KF جذب کل پتاسیم گندم در کرت کود داده‌شده برحسب کیلوگرم در هکتار، KC جذب

مرحله سوم

ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک: برای اندازه‌گیری

ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک محل‌های اجرای تحقیق، از روش جکسون (۱۹۷۴) استفاده شد. برای این کار، مقدار ۱۰ گرم از نمونه‌های خاک الک شده (۲mm) توزین و ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم کلرید به آن‌ها اضافه‌شده و ۱۰ مرتبه به‌طور متناوب خشک و مرطوب گردیدند. خشک‌کردن نمونه‌ها در داخل انکوباتور در دمای ۴۰ درجه سلسیوس انجام شد. برای مرطوب کردن مجدد نمونه‌های خاک، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه در هر مرتبه به نمونه‌های خاک اضافه می‌گردید. پس از طی این مدت، نمونه‌ها با محلول استات سدیم نرمال عصاره‌گیری و مقدار پتاسیم قابل‌جذب آن‌ها با استفاده از فلم فوتومتر مدل Jenway-PFP7 اندازه‌گیری شد. پتاسیم اندازه‌گیری شده در این مرحله را به‌عنوان پتاسیم باقیمانده مرحله اول (K-Stage A) در نظر می‌گیرند. نمونه دیگری از همان خاک‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم تیمار شده و بلافاصله با استات آمونیم نرمال عصاره‌گیری و مقدار پتاسیم آنها اندازه‌گیری گردیدند. پتاسیم اندازه‌گیری شده در این مرحله به‌عنوان پتاسیم باقیمانده مرحله دوم (K-Stage B) محسوب می‌گردد. تفاوت بین این دو حالت به‌عنوان ظرفیت تثبیت پتاسیم در نظر گرفته شد (جکسون، ۱۹۷۴).

نتایج

عملکرد و اجزای عملکرد: نتایج مربوط به تجزیه

واریانس صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش و مقایسات میانگین سطوح پتاسیم کلرید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. همچنان که در جداول مذکور مشاهده می‌گردد اثر تیمارها بر هیچ‌کدام از صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع معنادار نگردید ($p \leq 0.05$).

کل پتاسیم گندم در کرت شاهد و R مقدار پتاسیم مصرفی برحسب کیلوگرم در هکتار و Prf درصد بازیابی ظاهری کود بود. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از دو آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلکو به کمک نرم‌افزار SPSS موردبررسی قرار گرفت. تمامی تجزیه‌های بعدی با داده‌های نرمال انجام شد. تحلیل آماری داده‌ها برای صفات مختلف بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت تجزیه مرکب برای سه سال با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسات میانگین تیمارها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنادار (LSD) برای سطوح احتمال یک و پنج درصد انجام گرفت.

مرحله دوم

بررسی نفوذ عمقی پتاسیم در خاک: برای بررسی

میزان نفوذ عمقی پتاسیم در خاک، از ستون‌هایی محتوی نمونه‌های خاک محل‌های اجرای آزمایش مزرعه‌ای استفاده گردید. ابتدا در قسمت انتهایی ستون‌ها، توری‌های آلومینیومی قرار داده‌شده و بر روی آن، نوارهایی از پنبه قرار گرفت. سپس بر روی آن، دو عدد کاغذ صافی قرار گرفته و درنهایت ماسه شسته شده با اسیدکلریدریک غلیظ به ضخامت پنج سانتی‌متر بر روی آن ریخته و سطح آن با کاردک صاف گردید. مجدداً دو عدد کاغذ صافی بر روی آن قرار گرفته و درنهایت نمونه‌های خاک عبور داده‌شده از الک پنج میلی‌متری به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر بر روی آن قرار گرفت. مقادیر درجه‌بندی از پتاسیم از صفر تا ۵۰۰ کیلوگرم پتاسیم کلرید در هکتار به بخش سطحی ستون‌های خاک افزوده شد. سپس به ستون‌های خاک، حجم مساوی آب مقطر افزوده شد. مقدار آب مقطر مصرفی بر اساس نیاز آبی گندم و متوسط نزولات جوی در استان محاسبه و به‌طور یکنواخت در زمان‌های متوالی به ستون‌های خاک اضافه شدند. پس از مدت یک هفته، نسبت به لایه‌برداری خاک ستون‌ها با ضخامت دو سانتی‌متر اقدام و میزان پتاسیم قابل‌جذب آنها اندازه‌گیری شد.

حاصل شد که با سطح دوم آن در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل ۱).

نفوذ عمقی پتاسیم در خاک: اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب خاک در ستون‌های خاک نشان داد که با افزایش سطوح کودی پتاسیم، مقادیر پتاسیم قابل جذب خاک نیز افزایش یافت. در هر سه خاک، مقادیر افزایش پتاسیم قابل جذب تقریباً در یک محدوده ولی مقدار آن در تیمار ۵۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در خاک ۳ کمتر از خاک‌های ۱ و ۲ بود. بخش اعظم پتاسیمی مصرفی در بخش فوقانی ستون خاک (صفر تا شش سانتی متری) تجمع یافته و بانفوذ آب به لایه‌های زیرین منتقل نشد (شکل ۳).

درصد بازیابی ظاهری پتاسیم در گندم: نتایج تجزیه و تحلیل آماری طرح نشان داد که اثرهای تیمارها بر غلظت و جذب پتاسیم دردانه و کلش گندم معنادار نگردید ($p \leq 0.05$) (جدول ۳). درصد بازیابی ظاهری پتاسیم در تیمارهای سطوح پتاسیم کلرید به ترتیب معادل ۶/۲۸ و ۱/۵ درصد محاسبه گردیدند (جدول ۵).

اثرهای تیمارها بر پتاسیم قابل جذب خاک پس از برداشت محصول: با افزایش سطوح پتاسیم، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک پس از برداشت محصول به‌طور کاملاً معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.01$) (جدول ۳). بیشترین میزان پتاسیم قابل جذب خاک از سطح سوم پتاسیم کلرید

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در آزمایش مزرعه‌ای گندم آبی

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	پتاسیم قابل جذب خاک پس از برداشت	غلظت پتاسیم دردانه	غلظت پتاسیم در کلش	جذب کل پتاسیم
سال (Y)	۲	۱۰۶۶۸۶/۱ ^{NS}	۰/۷۲ ^{NS}	۶/۷۸ ^{NS}	۲۱۲/۳۳ ^{NS}	۱۰۴۶۶/۸ ^{**}	۱۴/۷۸ ^{NS}	۳۱/۶۹ ^{NS}	۱۹۹/۰۴ ^{NS}
خطا	۹	۷۳۳۳۶/۱	۳/۳۸	۱۲/۶۳	۲۱۹/۷۰	۱۳۱/۴۱	۸/۰۰	۱۲۸/۹۲	۸۷/۵۵
پتاسیم (K)	۲	۱۰۳۶۷۷/۸ ^{NS}	۱/۹۴ ^{NS}	۳۷/۵۳ ^{NS}	۸۵/۷۵ ^{NS}	۷۸۹۵۸/۸ ^{**}	۳۴/۱۱ ^{NS}	۱۴۶/۶۹ ^{NS}	۴۴/۳۱ ^{NS}
K × Y	۴	۱۱۰۹۶۹/۴ ^{NS}	۰/۵۴ ^{NS}	۵/۴۸ ^{NS}	۱۲۴/۵۸ ^{NS}	۹۵۴/۸ ^{**}	۶/۲۳ ^{NS}	۲۸/۹۴ ^{NS}	۶۳/۰۰ ^{NS}
خطا	۱۸	۹۷۲۰۵/۶	۳/۰۶	۱۰/۴۶	۲۰۸/۵۷	۱۱۰/۷۴	۲۳/۶۷	۹۳/۹۷	۵۴/۰۷
CV (%)		۱۴/۷۳	۴/۷۴	۵/۹۲	۴/۱۰	۴/۳۲	۹/۳۶	۱۱/۳۹	۸/۲۳

^{NS}: غیر معنادار؛ ^{**}: معنادار در سطح یک درصد

جدول ۴- اثر سطوح مختلف کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

سطوح پتاسیم کلرید ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در خوشه	تعداد سنبله در مترمربع
0	۶۵۸۰a*	۳۶/۹۱a	۵۲/۹۲a	۳۵۴/۳a
100	۶۶۸۹a	۳۷/۲۷a	۵۵/۰۸a	۳۴۹/۶a
200	۶۵۰۵a	۳۶/۴۶a	۵۵/۸۳a	۳۵۴/۱a

* حروف لاتین مشابه بیانگر عدم تفاوت معنادار در سطح پنج درصد است

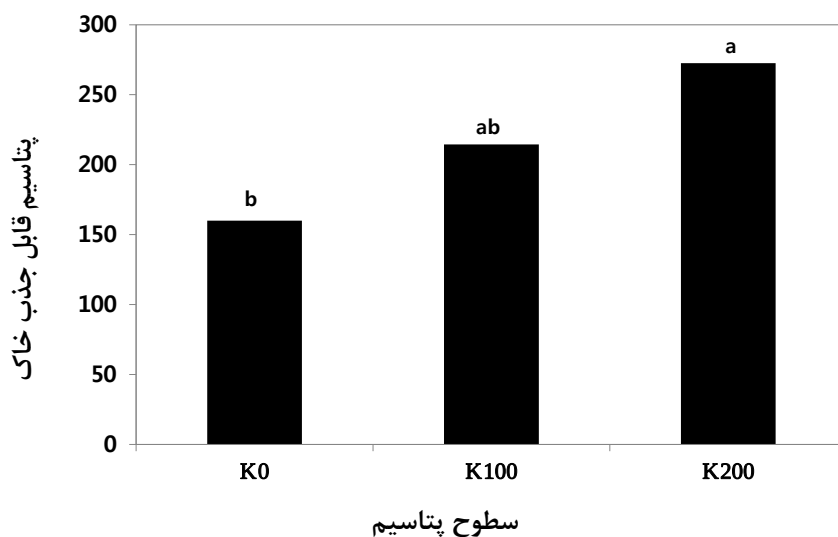
جدول ۵- اثر سطوح مختلف کود پتاسیم بر غلظت پتاسیم و درصد بازیافت ظاهری پتاسیم گندم

سطوح پتاسیم کلرید ($kg.ha^{-1}$)	غلظت پتاسیم دانه (%)	غلظت پتاسیم کلش (%)	جذب کل ($kg.ha^{-1}$)	بازیابی (%)
0	۰/۵۳a*	۰/۸۱a	۸۸/۳a	-
100	۰/۵۲a	۰/۸۸a	۹۱/۵۹a	۶/۲۸
200	۰/۵۱a	۰/۸۷a	۸۸/۲۱a	۱/۵

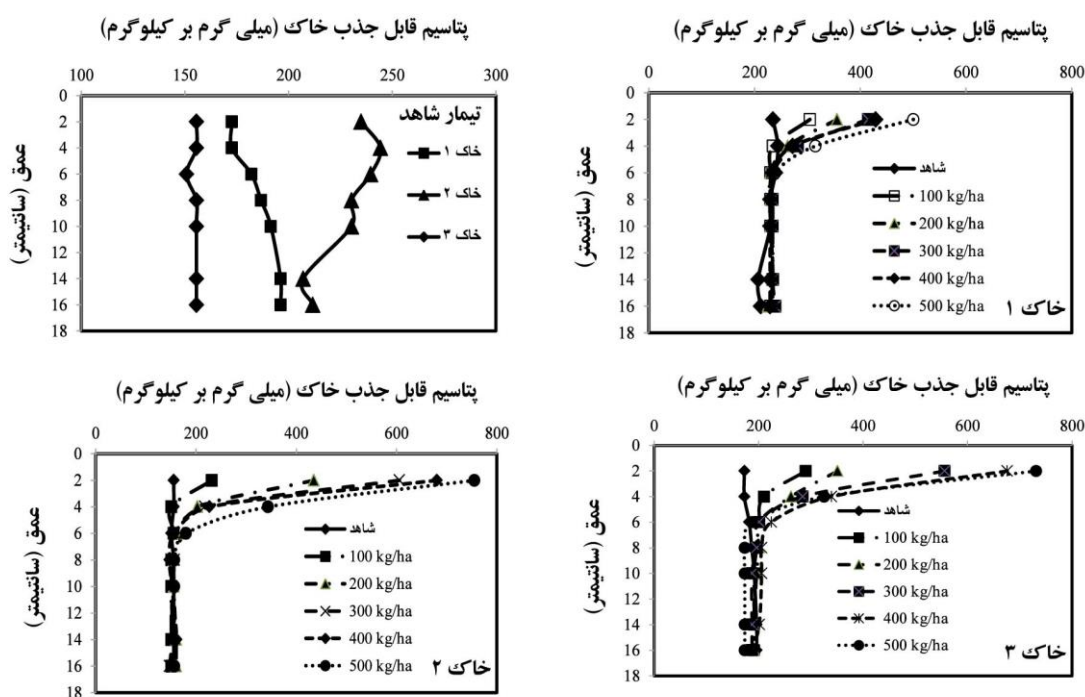
* حروف لاتین مشابه بیانگر عدم تفاوت معنادار در سطح پنج درصد است

درصد تثبیت پتاسیم بالا و به طور متوسط معادل ۴۸/۸۶ درصد بود (جدول ۴).

ظرفیت تثبیت پتاسیم: ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک در محدوده ۴۸۳/۸ تا ۷۶۵/۱۱ با میانگین ۶۲۴/۴۶ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار تثبیت در خاک ۱ و کمترین آن در خاک ۳ مشاهده شد. در تمامی خاک‌های مورد مطالعه



شکل ۱- میانگین اثرهای تیمارها بر غلظت پتاسیم قابل جذب خاک (K_{ava}) پس از برداشت محصول



شکل ۲- مقادیر نفوذ کود سرک پتاسیم کلرید در خاک در سه بافت لومی، لوم رسی و لوم رسی سیلتی

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که علیرغم کمبود پتاسیم در خاک، مصرف سرک آن تأثیری بر عملکرد گندم نداشت (جدول ۳). همچنین غلظت و میزان جذب پتاسیم در گندم تحت تأثیر مصرف سرک پتاسیم قرار نگرفت. میزان جذب کل پتاسیم در کلیه تیمارها به‌طور متوسط در

حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده (جدول ۵) و مقدار آن در کلش بیشتر از دانه و به ترتیب معادل ۵/۳ و ۸/۵ کیلوگرم به ازای هر تن دانه و کلش بودند. بیتون و سکون (۱۹۸۵) گزارش کردند که جذب پتاسیم در گندم تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفته و در شرایط کمبود آن در خاک در حدود ۵۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط بهینه رشد تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز می‌رسد.

جدول ۶- پتاسیم محلول (K_{so})، پتاسیم تبدلی (K_{ex})، پتاسیم قابل جذب (K_{ava}) و ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	K_{so}	K_{ex}	K_{ava}	K-Stage A	K-Stage B	K_{fix} Capacity	K_{fix} Capacity (%)
	(mg l ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)			
۱	۹/۱۲	۱۶۵	۱۶۹	۸۸۴/۲۴	۴۰۰/۲۷	۴۸۳/۹۷	۵۴/۴۸
۲	۷/۸۰	۱۲۰	۱۱۹	۱۱۵۰/۶۴	۶۲۳/۹۵	۵۲۶/۶۹	۴۵/۵۸
۳	۲۵/۹۴	۲۰۱	۲۲۹	۱۶۰۰/۷۵	۸۳۵/۶۴	۷۶۵/۱۱	۴۶/۵۲

محققان مذکور مقدار برداشت پتاسیم به ازای هر تن دانه و کلش گندم را به ترتیب معادل پنج و ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. در تحقیق حاضر، میزان جذب پتاسیم کمتر از مقادیر فوق بود. کاهش جذب پتاسیم احتمالاً ناشی از پائین بودن مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در محدوده تو سعه ریشه بوده است. کملر (۱۹۸۳) دریافت که عرضه ناکافی پتاسیم منجر به کاهش عملکرد گندم شده و کمبود آن در مراحل اولیه رشد نسبت به مرحله گلدهی، عملکرد گندم را بیشتر کاهش می‌دهد. نتایج مربوط به مطالعات ستون خاک نشان داد که بیش از ۹۰ درصد پتاسیم مصرفی در هر سه نمونه مورد بررسی در عمق کمتر از شش سانتی‌متری تجمع یافته و انتقال آن به لایه‌های زیرین بسیار کم بود. مشاهدات مزرعه‌ای نیمرخ خاک در محل انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داد که ریشه گندم در عمق‌های زیر ۱۲ سانتی‌متری تجمع یافته و از این رو می‌توان دریافت که امکان جذب پتاسیم از لایه‌های بالاتر میسر نگردیده است (شکل ۲). مقایسه نفوذ عمقی پتاسیم تیمارهای شاهد در ستون‌های خاک نشان داد که در هر سه خاک، میزان نفوذ عمقی پتاسیم رفتارهای متفاوتی داشتند. در خاک ۱ با بافت لوم رسی، میزان

پتاسیم قابل جذب در لایه‌های فوقانی بیشتر و با افزایش عمق خاک به‌طور نسبی کاهش یافت. بنابراین می‌توان استنباط نمود که میزان پویایی پتاسیم در این خاک کمتر بوده است. در خاک ۲ با بافت لوم، میزان پتاسیم قابل جذب خاک با افزایش عمق افزایش یافت. احتمالاً در این خاک آبشویی منجر به نفوذ عمقی پتاسیم بومی خاک از لایه‌های سطحی به لایه‌های زیرین و تجمع آن در لایه‌های زیرین گردیده است. در خاک ۳ با بافت لوم رسی سیلتی، تغییرات پتاسیم قابل جذب خاک تحت تأثیر آب آبشویی قرار نگرفت و در تمامی عمق‌ها نسبتاً یکسان بود. به عبارت دیگر، آبشویی تأثیری بر نفوذ عمقی پتاسیم نداشت. می‌توان پیش‌بینی نمود که عواملی مانند مقدار پتاسیم اولیه بومی در خاک، شدت تخلیه خاک‌ها از پتاسیم و متفاوت بودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌ویژه بافت خاک به احتمال قوی بر رفتار خاک‌ها در این رابطه تأثیرگذار بوده است. مقایسه خاک‌های ۱ و ۲ نشان داد که میزان نفوذ عمقی پتاسیم در خاک با بافت لوم به مراتب بیشتر از خاک با بافت لوم رسی بود. بازرگان و هم‌کاران (۱۳۸۰) طی تحقیقی تأثیر عوامل مختلف بر پویایی پتاسیم در ستون‌های خاک را مورد بررسی

قراردادند. آنان دریافتند که اگرچه کودهای پتاسیمی کاملاً در آب محلول‌اند ولی ذرات خاک به‌شدت با پتاسیم موجود در محلول واکنش داده و با توجه به بافت خاک، مقدار پتاسیم اولیه، غلظت پتاسیم موجود در محلول، مقدار محلول کودی و حضور سایر یون‌ها در این محلول از ۴۰ تا بیش از ۷۰ درصد کل پتاسیم موجود در محلول کودی در لایه ۲/۵ سانتی‌متری اول خاک نگه داشته می‌شود (بازرگان و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج مذکور با توجه به افزایش مقدار پتاسیم قابل‌جذب خاک اندازه‌گیری شده پس از برداشت محصول (شکل ۱) و عدم نفوذ آن به لایه‌های زیرین مشاهده‌شده در این آزمایش (شکل ۲) تأیید می‌گردد.

درصد بازیابی ظاهری پتاسیم محاسبه‌شده در این تحقیق خیلی کم و حتی در سطح سوم تیمار پتاسیم معادل صفر بود (جدول ۵). این امر بیانگر جذب بسیار کم و یا عدم جذب پتاسیم مصرفی توسط ریشه گندم بود. بررسی‌ها نشان داده است که عدم عکس‌العمل محصول در سطوح پائین پتاسیم مصرفی غالباً در خاک‌های با مقادیر کم پتاسیم قابل‌جذب صورت می‌گیرد و می‌تواند با تثبیت بالای پتاسیم در این خاک‌ها مرتبط باشد (نیو و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که ظرفیت تثبیت پتاسیم در نمونه‌های خاک بالا بوده و بیشترین میزان تثبیت در خاک ۲ با بیشترین میزان رس و کربنات کلسیم معادل و کمترین مقدار پتاسیم قابل‌جذب مشاهده شد. نتایج مذکور با نتایج تحقیقات منگل و اوهلنبرگر (۱۹۹۳) مطابقت داشت. آنان دریافتند که هرچه خاک‌ها از پتاسیم بیشتری تخلیه شود، ظرفیت تثبیت پتاسیم در آنها افزایش می‌یابد. تخلیه خاک‌ها از پتاسیم در صورت کشت‌های مکرر بدون افزودن کود نیز تشدید می‌گردد. مهتا و همکاران (۱۹۹۵) تخلیه پتاسیم را در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک هند بررسی و نتیجه گرفتند که میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک در طی ۱۲ سال کشت متراکم ارزن گندم از ۶۲۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد. تخلیه پتاسیم خاک منجر به کاهش پتاسیم بین لایه‌ای و ایجاد حفرات خالی بین لایه‌ای شده و

در صورت بالا رفتن پتاسیم محلول در خاک در نتیجه مصرف کود، بخش عمده آن صرف پر کردن این فضاها شده و در نتیجه پتاسیم تثبیت می‌گردد (سیمون سون و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس نتایج تحقیقات به انجام رسیده، مقادیر پتاسیم تثبیت‌شده در خاک‌ها با مقدار رس خاک و کربنات کلسیم در خاک‌های آهکی همبستگی مثبت معناداری را نشان داده است (جلالی و کلاهی، ۱۳۸۶). اسپارکس و هاوونگ (۱۹۸۵) گزارش کردند که تثبیت پتاسیم خاک‌ها به مفهوم انتقال پتاسیم قابل‌جذب به بخش پتاسیم غیر قابل‌جذب، تأثیر مستقیم بر قابلیت و میزان جذب پتاسیم توسط گیاهان دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی خاک‌های محل‌های انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای از ظرفیت تثبیت نسبتاً بالایی برخوردار بودند (جدول ۴). این عامل به همراه پدیده جذب سطحی دو عامل مهم در عدم جذب کود پتاسیمی به‌وسیله ریشه گندم بوده‌اند.

پیشنهاد‌های ترویجی

نتایج این تحقیق نشان داد که علیرغم حاکمیت کمبود پتاسیم در خاک‌های متوسط بافت محل‌های اجرای آزمایش، مصرف سرک آن قادر به تأمین نیاز به پتاسیم گندم نبود؛ بنابراین، در صورتی که مصرف آن قبل از کشت صورت گیرد، مقادیر بیشتری پتاسیم مورداحتیاج است تا ضمن پر کردن فضاهای بین لایه‌ای، نیاز غذایی گندم را نیز تأمین نماید. خاک‌های منطقه در اثر بارندگی زیاد در طول زمان از پتاسیم تخلیه‌شده و ظرفیت بالای تثبیت پتاسیم این خاک‌ها مانعی جدی برای تأمین پتاسیم موردنیاز گندم از طریق مصرف خاکی است. از طرفی، مصرف سرک پتاسیم قادر به تأمین نیاز گندم به این عنصر نیست زیرا بخش عمده آن (بیش از ۹۰٪) در لایه سطحی تا عمق شش سانتیمتری تثبیت و یا جذب ذرات خاک گردیده و مانع انتقال آن به محیط گسترش ریشه نبات می‌شوند. با توجه به اهمیت این موضوع و توجه به این نکته که غلات در مرحله ساقه رفتن نیاز بیشتری به پتاسیم دارند، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات در زمینه مقایسه روش‌های مصرف پتاسیم برای تأمین نیاز

سپاسگزاری

غذایی گندم آبی در خاک‌های با خصوصیات مشابه ادامه

بدین وسیله از مسئولین محترم سازمان جهاد کشاورزی آذربایجان غربی به خاطر تأمین اعتبار انجام این تحقیق و همچنین از همکاران محترم آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. الفتی، م.، م. ج. ملکوتی، و م. ر. بلالی. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای محصول گندم در ایران. ص ۹۸-۸۵. در م. ج. ملکوتی. تغذیه متعادل گندم راهی به سوی خودکفائی در کشور و تأمین سلامت جامعه (مجموعه مقالات)، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.
۲. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۹۸۲، ۱۱۶ صفحه.
۳. بازرگان، ک.، م. ج. ملکوتی، ح. اسلیدی، و م. فیض اله زاده اردبیلی. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر عوامل مختلف بر حرکت پتاسیم در ستون‌های خاک. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴. بلالی، م. ر.، پ. مهاجر میلانی، ز. خادمی، م. س. درودی، ح. ح. مشایخی، و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. مدل جامع کامپیوتری تو صبه کودهای شیمیائی در راستای تولیدات کشاورزی پایدار (گندم). نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.
۵. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۴۲. گزارش خاکشناسی نیمه تفصیلی پروژه مهاباد. نشریه شماره ۷۱، تهران، ایران.
۶. بی‌نام. ۱۳۷۴. مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی دشت‌های پسوه، جلدیان و پیرانشهر در استان آذربایجان غربی، مهندسی مشاور آب‌ورزان، ایران.
۷. رمضان پور، م.، م. د ستفال، و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۳. ارزیابی سه ساله اثر پتاسیم در کاهش تنش خشکی در گندم در داراب فارس. ص: ۴۸۷-۵۰۰. در تغذیه نوین گندم (مجموعه مقالات) توسط: م. ج. ملکوتی، ز. خوگر، و ز. خادمی، انتشارات سنا به سفارش دفتر طرح خودکفائی گندم، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۸. علی‌احیائی، م. ۱۳۷۶. شرح روش‌های تجزیه شیمیائی خاک. جلد ۲، نشریه شماره ۱۰۲۴، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۹. غنی شایسته، ف. و. م. فلاح. ۱۳۷۶. بررسی بالانس (توازن) پتاسیم در خاک‌های زیر کشت گندم آذربایجان غربی. گزارش پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی، صفحات: ۱۴۹-۱۴۲.
۱۰. لطف الهی، م.، و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۴. تأثیر سطوح مختلف پتاسیم و عناصر کم‌نیاز بر روی ارقام پیشرفته گندم نان. مجله علمی-پژوهشی علوم خاک و، دوره ۱۹، شماره ۱، ص: ۸-۱.
۱۱. مشایخی، پ و م. صلحی. ۱۳۸۹. چشم‌انداز مصرف کود در ایران و جهان. اولین چالش‌های کود در ایران. قابل

۱۲. ملکوتی، م. ج.، و م. ر. بلالی. ۱۳۸۲. مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۳. وکیل، ر.، ه. میرزاپور، ا. ح. خوش‌گفتار، ا. ح. کوچه‌باغی، م. ر. نائینی، و س. سعادت. ۱۳۸۲. تأثیر مقادیر و منابع مختلف کودهای پتاسیمی بر غلظت عناصر غذایی در گندم در شرایط شور. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
14. Abaslou, H., and A. Abtahi. 2008. Potassium quality-intensity parameters and it's correlation with selected soil properties in some soils of Iran. *Journal of applied Science*. 8: 1875-1882.
15. Bar-Tal, A., U. Yermiyahu, J. Beraud, M. Keinan, R. Rosenberg, D. Zohar, V. Rosen, and P. Fine. 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. *Journal of Environmental Quality*. 33: 1855-1865.
16. Beaton, J. D., and G. S. Sekon. 1985. Potassium nutrition of wheat and other small grains. p. 701- 798. In R. D. Munson (ed.). *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy. WI.
17. Jackson, M. L. 1974. *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
18. Jalali, M. 2007. A study of the Quality/Intensity relationships of potassium in some calcareous soils of Iran. *Arid Land Research Management*. 21: 133-141.
19. Jalali, M., and Z. Kolahchi. 2007. Short-term potassium release and fixation in some calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170: 530–537.
20. Kemmeler, G. 1983. *Modern aspects of wheat maturing* (2nd rev. ed.). IPI- BULL. No. 1. Berene, Switzerland.
21. Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academic press. 890 P.
22. Mehta, S. C., P.K. Meel, K. S. Grewal, and M. Singh. 1995. Release of nonexchangeable potassium in Entisols. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 43: 351-356.
23. Mengel, K. I., and K. Uhlenbecker. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by reye grass. *Soil Science Society of America Journal*. 57: 761-766.
24. Niu, J., W. Zhang, S. Ru, X. Chen, K. Xiao, X. Zhang, M. Assaraf, P. Imas, H. Magen, and F. Zhang. 2011. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. *Field Crops Research*. 140: 69-76.
25. Ravichandran, M., and M. V. Sripamachandrasekharan. 2011. Optimizing timing of potassium application in productivity enhancement of crops. *Karnataka. Journal of Agricultural Science*. 24: 75-80.
26. Simonsson, M., S. Andersson, Y. Andrist-Rangel, S. Hillier, L. Mattsson, and I. Oborn. 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma*. 140: 188-198.
27. Simonsson, M., S. Hillier, and I. Oborn, 2009. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. *Geoderma*. 151: 109-120.
28. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Advances in Soil Science*. 6: 1-63.
29. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium. p: 38 -52. In M.E. Sumner (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL.

30. Sparks, D. L., and P. M. Huang, 1985. Physical chemistry of soil potassium. p: 201-276. In R. D. Munson (ed.) Potassium in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI.
31. Zadoks, J. C., T.T. Chang, and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. 14: 415-421.
32. Zhang, H. M., X.H. Yang, M.G. Xu, S.M. Huang, H. Liu, and R. W. B. 2011. Effect of long-term potassium fertilization on crop yield and potassium efficiency and balance under wheat-maize rotation in China. Pedosphere. 21: 154-163.

برخی نکات فنی در اندازه‌گیری رسوب در خروجی حوزه‌های آبخیز کوچک

محمود عرب‌خدری^۱، حمزه نور و علی‌اکبر عباسی

دانشیار گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

arabkhdri@scwmri.ac.ir

استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی. h.noor@areeo.ac.ir

دانشیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی. ak_abbasi@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

اندازه‌گیری و ارزیابی داده‌های فرسایش خاک و تولید رسوب در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، به‌منظور پیشرفت دانش فرسایش خاک، ارزیابی مدل‌ها و طراحی آزمایش‌های فرسایش خاک حیاتی است. تغییرات زمانی بسیار زیاد فرسایش و رسوبدهی به‌ویژه در آبخیزهای کوچک، لحاظ تمهیدات فنی ویژه در اندازه‌گیری آن‌ها را ضروری می‌سازد به‌طوری‌که بتوان داده‌های مورد نظر را به درستی ثبت کرد. در این راستا، مقاله حاضر با هدف تبیین نکات فنی و ملاحظات در اندازه‌گیری رسوبدهی حوزه‌های آبخیز تحقیقاتی کوچک طرح‌ریزی شده است. بررسی سوابق موجود دلالت بر نقش رویدادهای حداکثر در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز دارد. به‌گونه‌ای که یک واقعه حداکثری (با دوره بازگشت بالا) به‌تنهایی می‌تواند میانگین داده‌ها را تغییر دهد. بنابراین برای رسیدن به یک میانگین قابل اعتماد از رسوبدهی در شرایط طبیعی، جمع‌آوری داده‌های طولانی مدت ضرورت دارد. برای اندازه‌گیری رسوب معلق ابتدا نمونه‌بردار مخصوص رسوب معلق از جریان‌های موقتی مشتمل بر دو نوع ساده و خودکار، و تقسیم‌کننده جریان معرفی شده است. سپس ضرورت ساخت مخازن بتنی و بندهای رسوبگیر در خروجی آبخیزهای آزمایشی تبیین و روش‌های مختلف رسوب‌سنجی برای اندازه‌گیری بار کل (مجموع بار کف و معلق) تشریح شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز آزمایشی، اندازه‌گیری رسوب، رویدادهای حداکثر

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران. ص.

مقدمه

فرسایش آبی در مناطق کوهستانی ایران و دشت‌های بین آن‌ها پدیده غالب فرسایشی است. برآوردهای مختلفی از مقدار فرسایش در ایران وجود دارد و هنوز اجماع کاملی در این خصوص حاصل نشده است. حال آن‌که فزونی مقدار فرسایش در ایران از حد قابل قبول مورد توافق همگان است (عرب‌خدری، ۱۳۹۳). در نتیجه ضروریست داده‌های دقیقی در مقیاس مکانی و زمانی مناسب به‌منظور پایش وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در کشور تهیه شود. در این راستا، تأسیس ایستگاه‌های تحقیقاتی و حوضه‌های آزمایشی که در واقع نوعی آزمایشگاه صحرایی هستند، به‌عنوان یک ضرورت در سطح جهان و ایران شناخته شده است. در این آبخیزها با توجه به وسعت آن‌ها می‌توان انواع فرسایش خاک و فرآیندهای حمل و ترسیب رسوب را مشاهده نمود (توی و همکاران، ۲۰۰۲). هدف از تجهیز این ایستگاه‌ها، در مرحله اول به‌دست آوردن مقادیر کمی از رواناب و رسوب و سایر مولفه‌های هیدرولوژی در شرایط طبیعی است (باقرلو و همکاران، ۲۰۱۳). اهداف دیگر تجهیز این آبخیزهای کوچک، ارزیابی مقایسه‌ای تیمارهای مختلف حفاظت آب و خاک (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹)، تهیه و واسنجی مدل‌های هیدرولوژیک (نور و همکاران، ۲۰۱۳)؛ کمیته پاسیفیک سوت وست، ۱۹۶۸) و شناسایی و تعیین سهم عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب (ویشمایر و همکاران، ۱۹۶۲) می‌باشد.

سابقه پژوهش در حوضه‌های آزمایشی به بیش از ۸۰ سال می‌رسد و نمونه‌های زیادی از این نوع ایستگاه‌ها در سطح جهان وجود دارد. یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال مجهزترین نمونه این ایستگاه‌ها در سطح جهان، ایستگاه Walnut Gulch واقع در ایالت Arizona در آمریکا است که زیر نظر سازمان تحقیقات کشاورزی این کشور فعالیت می‌کند (نیرینگ و همکاران، ۲۰۰۷). نمونه دیگر، حوزه آبخیز معرف Sparacia در سیسیل ایتالیا است

که در آن اندازه‌گیری فرسایش در سطح پلات و رسوب در مقیاس زیرآبخیزهای کوچک انجام می‌شود (باقرلو و همکاران، ۲۰۱۶).

در کشور ما نیز حوضه‌های معرف و حوضه‌های زوجی مهم‌ترین حوضه‌های آزمایشی هستند که طبق برنامه مدونی در مناطق مختلف کشور به‌ترتیب توسط وزارت نیرو و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹) احداث شده‌اند. البته، موارد دیگری نظیر حوضه آزمایشی سنگانه (عباسی و همکاران، ۱۳۹۳) و حوضه آزمایشی کجور (نور و صادقی، ۱۳۹۰) نیز توسط مؤسسات پژوهشی و آموزشی در سطح کشور تأسیس شده‌اند. حوضه‌های زوجی که با تأکید بیش‌تری به اندازه‌گیری رواناب و فرسایش دامنه‌ها و جریان و رسوبدهی خروجی حوضه طراحی و اجرا شدند، مساحتی کم‌تر از ۵۰۰ هکتار دارند (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹). در این حوضه‌ها، نحوه پاسخ هیدرولوژیک دو حوضه نمونه و شاهد به بارندگی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

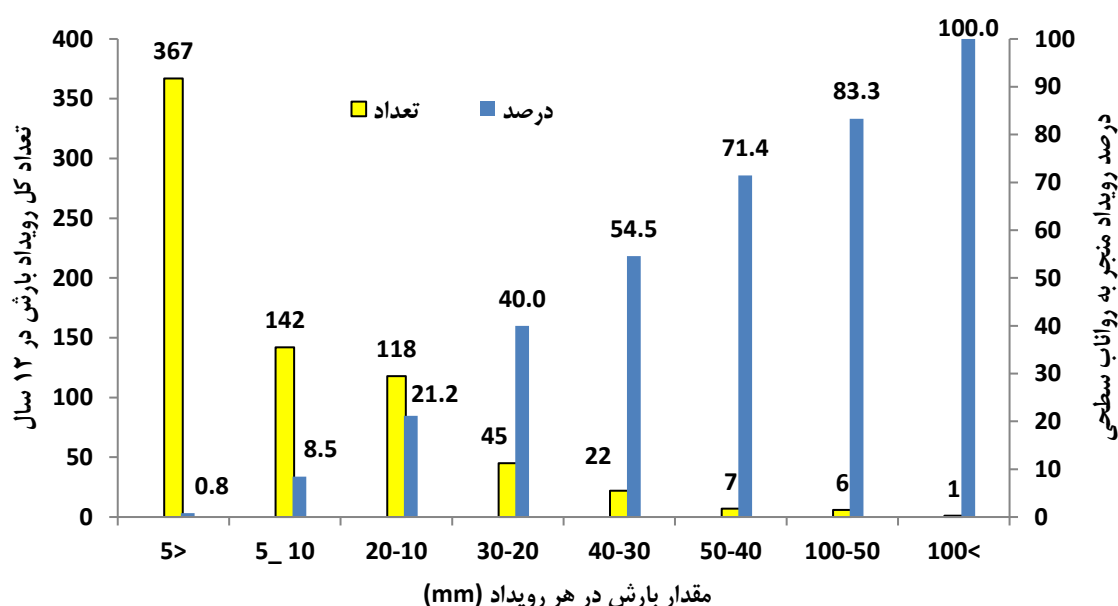
شناخت صحیح فرسایش خاک و تولید رسوب علاوه بر وابستگی زیاد به شرایط محیطی به خصوصیات فیزیکی و فنی سامانه اندازه‌گیری نیز بستگی دارد؛ بنابراین، لازم است در تجهیز و بهره‌برداری از حوضه‌های آبخیز تحقیقاتی، معیارهای فنی ویژه‌ای مد نظر قرار گیرد. باید توجه داشت که در مناطق خشک و نیمه‌خشک که عمده سطح ایران را در بر دارد، بسیاری از حوضه‌های آبخیز کوچک فاقد جریان پایه هستند و یا دبی پایه ناچیزی دارند و عمده جریان و انتقال رسوب آبراهه‌ای آن‌ها در شرایط بارش و ذوب شدید برف رخ می‌دهد. با توجه به نقش مهم بارش‌های منحصربه‌فرد در هدررفت خاک و تولید رسوب (گالارت و همکاران، ۲۰۰۲؛ لین، ۲۰۰۷ و مایور و همکاران، ۲۰۱۱)، دقت ویژه‌ای از نظر ثبت این رویدادها ضرورت دارد. برای روشن شدن بیشتر نقش رویدادها در

تولید رسوب، در این مقاله ابتدا تعدادی از نتایج پژوهش-های مرتبط در زمینه اهمیت وقایع حداکثری و سپس معیارهای فنی و تجهیزات مورد نیاز برای اندازه‌گیری رسوب تشریح می‌شود.

نقش رویدادها در فرسایش و تولید رسوب

وابستگی به مقیاس و تغییرپذیری زمانی از خصوصیات بارز فرآیندهای حاکم بر فرسایش خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. اصولاً فرسایش پدیده‌ای ثابت و پیوسته نیست و اغلب در آن نوسانات

فصلی دیده می‌شود. به‌علاوه، این پدیده به شدت تحت تأثیر رویدادهای استثنایی است (عرب‌خدری، ۱۳۹۷) که نقش زیادی در انتقال رسوب دارند. شکل ۱ سهم بارش-های منجر به رواناب در خاک‌های لسی منطقه Tang-shan چین را نشان می‌دهد. از ۷۰۹ واقعه بارندگی فقط در ۸۱ مورد (۱۱/۴ درصد)، رواناب قابل اندازه‌گیری جریان یافته است. مطابق شکل مذکور، در کمتر از یک درصد بارش‌های زیر پنج میلی‌متر، رواناب جاری شده و با افزایش مقدار بارش، سهم رویدادهای منجر به رواناب به‌صورت تصاعدی بیش‌تر شده است.



شکل ۱- تعداد و درصد بارندگی تبدیل شده به رواناب در روی خاک‌های لسی منطقه Tang-shan چین (ترسیم بر اساس داده‌ها در زاخار، ۱۹۸۲)

همانند فرسایش، مقدار رسوب اندازه‌گیری شده نیز چه به‌صورت رویدادی و چه به‌صورت سال به سال، از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند و عمده رویدادها حامل رسوب کمی هستند که با چند مثال از رسوب‌سنجی‌های انجام شده در سطح جهان و ایران تشریح می‌شود. فنگ و همکاران (۲۰۱۳) در آبخیز کوچک ۱۶/۷ کیلومتر مربعی Wangjiaqiao چین بر اساس ۱۶ سال اندازه‌گیری مداوم دبی و رسوب ملاحظه کردند که از مجموع ۲۰۵ رویداد بارندگی منجر به رواناب، ۱۰ رویداد بزرگ‌تر به تنهایی ۸۳/۳ درصد از کل رسوب را انتقال داده است. آن‌ها دلیل

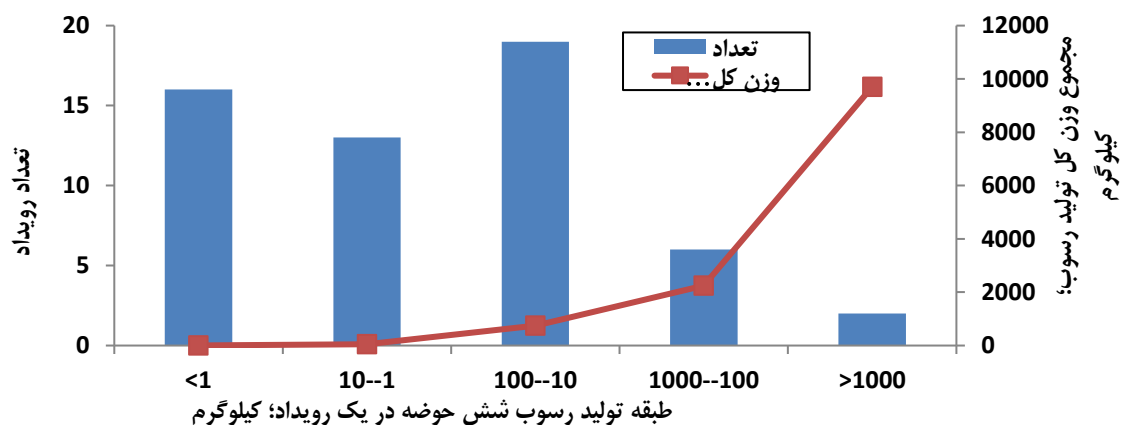
اثرگذاری بیش‌تر رویدادهای بزرگ در حمل رسوب را ناشی از ضریب رواناب بالاتر و غلظت بیش‌تر رسوب ذکر کردند که احتمالاً ناشی از حمل مجدد نهشته‌های مربوط به رویدادهای پیشین و فروریزش دیواره رودخانه می‌باشد. گونزالس - هیدالگو و همکاران (۲۰۱۲) آمار رسوب روزانه ۱۴۸۳ ایستگاه هیدرومتری (بیش از ۲/۵ میلیون داده) به تفکیک مناطق هیدرولوژیک ایالات متحده آمریکا را بررسی و ملاحظه کردند که به‌طور متوسط مجموع رسوب ۲۵ روز حداکثر در کل دوره اندازه‌گیری، سهمی بیش از ۵۰ درصد

تداوم رسوب گرگانرود در قزاقلی (مساحت حوضه حدود ۷۰۰۰ کیلومتر مربع) و حوضه کوچک Sg. Pangsun (مساحت ۲/۶ کیلومتر مربع) مالزی مشاهده کرد که در یک درصد کل زمان، ۴۵ درصد از رسوب معلق حمل شده است. Chiu و همکاران (۲۰۱۹) با تاکید بر نقش مخاطرات طبیعی نظیر سیل و زلزله را در تولید رسوب، گزارش کردند که پس از بارش بسیار شدید ۱۶۰۰ میلی‌متری در طوفان استوایی Aere در سال ۲۰۰۴ در حوزه آبخیز سد Shihmen، ۱۰ درصد از حجم مخزن بواسطه رسوبگذاری کاهش یافت. این مقدار رسوبگذاری به تنهایی حدود ۳۰ درصد از کل حجم کاهش یافته سد مذکور در طی ۵۲ سال را تشکیل می‌دهید.

نتایج هر شش تحقیق گزارش شده، نقش رویدادهای استثنایی در حمل رسوب عمدتاً بر اساس آمار غلظت رودخانه‌ها را روشن می‌کند. در ادامه نتایج تحقیقات انجام شده در آبخیزهای کوچکتر به روش اندازه‌گیری رسوبات نهشته شده در مخازن تشریح می‌شود. شکل ۲ سهم تولید رسوب ۵۶ رویداد ثبت شده در ۶ حوضه کوچک تحقیقاتی واقع در سنگانه خراسان رضوی را نشان می‌دهد. داده‌های موجود در پنج طبقه با مقیاس لگاریتمی گروه‌بندی شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌شود به‌طور کلی در طبقات کوچک‌تر، تعداد رویدادها بیشتر و در مقابل مقدار کل رسوبدهی کم‌تر است به‌طوری که مجموع رسوب دو رویداد در طبقه ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوگرم بسیار بالاتر از مجموع رسوب ۵۴ رویداد دیگر است.

در حمل رسوب دارد. این در حالی است که در رودخانه‌های منطقه California که اقلیمی شبه مدیترانه‌ای دارد، در طی ۲۵ روز حداکثر، ۷۶ درصد از کل رسوب منتقل می‌شود. بررسی این محققین نشان داد که در حوضه‌های کوچکتر از ۱۰۰ کیلومتر مربع سهم روزهای حداکثر در حمل رسوب مستقل از منطقه هیدرولوژیک است. به عبارت دیگر، احتمال وقوع رگبارهای کوتاه‌مدت در سطوح کوچک در همه مناطق جغرافیایی و اقلیمی وجود دارد. مارکوس و دمیس (۲۰۰۶) با بررسی آمار رسوب ۲۷ رودخانه کوچک و متوسط در Illinois آمریکا دریافتند که به‌طور متوسط ۳۲، ۴۹، ۶۱ و ۶۸ درصد از کل رسوب سالانه به‌ترتیب توسط بزرگ‌ترین سیل، دو سیل بزرگ‌تر، سه سیل بزرگ‌تر و چهار سیل بزرگ‌تر انتقال می‌یابد.

عرب‌خدری و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی سهم دهک‌های احتمال وقوع جریان در حمل رسوب هفت رودخانه در ایران، ملاحظه کردند که بالاترین دهک به تنهایی مسئول انتقال حدود ۶۲ تا ۸۵ درصد از انتقال رسوب است. در نگاهی کلی، عامل انتقال عمده رسوب در هر هفت ایستگاه به دو یا سه دهک بالای جریان مربوط است. در مقابل، در بیش‌تر موارد، مجموع رسوب حمل شده توسط پنج دهک پایین جریان، به پنج درصد نیز نمی‌رسد و انتظار می‌رود جریان نسبتاً صاف و زلالی داشته باشد. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که با تمرکز روی رسوب دبی‌های بالا و به‌طور خاص بالاترین دهک احتمال وقوع جریان، تحلیل روند رسوب با کیفیت بهتری قابل انجام است. عرب‌خدری (۲۰۰۹) با تحلیل منحنی‌های



شکل ۲- تعداد رویداد و مجموع رسوب به تفکیک طبقات تولید رسوب در ایستگاه تحقیقاتی سنگانه

تعداد سال‌های پس از احداث بند است. فقط در بند عمروان به‌طور متوسط هر سال یک لایه رسوب تشخیص داده شده است. در استان لرستان با اقلیم نیمه‌خشک نیز تقریباً همین وضعیت وجود دارد و فقط در دو بند تعداد لایه‌های نهشته شده به‌طور متوسط مساوی یا بیش‌تر از عمر آن‌ها است.

جدول‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب تعداد رویداد قابل تشخیص از طریق بررسی لایه‌بندی نهشته‌های رسوبی پشت چند بند خاکی در استان‌های سمنان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵) و لرستان (پیامنی و همکاران، ۱۳۹۶) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در سمنان با اقلیم خشک، تعداد لایه‌های قابل تشخیص رسوب بندها عمدتاً کم‌تر از

جدول ۱- تعداد رویداد قابل تشخیص از طریق بررسی لایه‌بندی نهشته‌های رسوبی پشت چند بند خاکی در استان سمنان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵)

نام بند	عمر بند (سال)	مساحت آبخیز (هکتار)	حداکثر تعداد رویداد	حداقل تعداد رویداد
سولدره شرقی	۲۰	۹۳/۵	۱۶	۱۳
سولدره غربی	۲۰	۹۲/۲	۱۱	۱۰
ابراهیم آباد	۱۹	۵۰۷/۸	۶	۴
رویان	۱۹	۵۳۸/۸	۷	۷
علی آباد	۱۹	۱۳۹/۳	۸	۸
عمروان	۱۹	۱۰۲/۶	۱۹	۱۵
وینکه	۱۷	۱۵۳۶/۰	۱۲	۵
مارچشمه	۱۸	۲۴۱۷/۵	۶	۲
ارمیان	۱۹	۱۱۱۶/۴	۱۶	۱۲

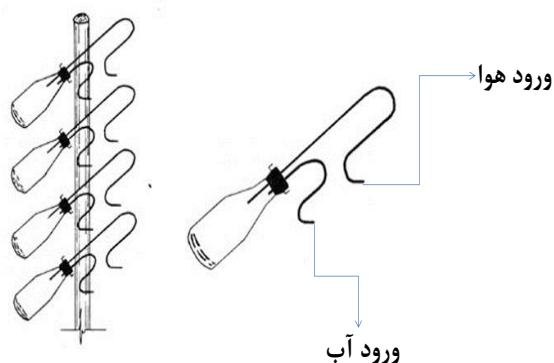
جدول ۲- تعداد رویداد قابل تشخیص از طریق بررسی لایه‌بندی نهشته‌های رسوبی پشت چند بند خاکی در استان لرستان (پیامنی و همکاران، ۱۳۹۶)

نام بند	عمر بند (سال)	مساحت آبخیز (هکتار)	تعداد رویداد	سهم مهم‌ترین رویداد
دوگر	۱۲	۲۱۶۷/۴	۹	۸۴
سرفراش	۱۳	۴۰۴/۶	۹	۵۱
تنگ‌بره	۱۸	۱۳۹۹/۵	۸	۶۰
دارابی	۱۴	۲۵۴/۲	۱۹	۲۲
قلعه‌چند	۱۳	۱۰۳۴/۴	۱۳	۶۷
ریمله	۱۵	۲۸/۴	۸	۳۷

پایش در آبراهه

در اندازه‌گیری جریان و رسوب در آبخیزهای کوچک به‌دلیل کم بودن مقدار جریان، مقطع طبیعی آبراهه غیر هندسی بوده و سبب خطا در هر نوع اندازه‌گیری می‌شود. به این جهت باید مقطع مناسب با احداث پارشال فلوم یا هر نوع فلوم دیگر در نظر گرفته شود. در خروجی حوضه‌های زوجی، فلومی در نظر گرفته شده و روی آن لیمینوگراف نصب شده است (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹). استفاده

شیوه‌های اندازه‌گیری مؤثر رسوب معلق در حوضه‌های کوچک با توجه به موقتی بودن جریان در حوضه‌های کوچک، امکان استفاده از روش‌های معمول در آبخیزهای بزرگ برای اندازه‌گیری رسوب یعنی نمونه برداری ادواری وجود ندارد؛ بنابراین، راهبرد اصلی اندازه‌گیری رسوب باید بر پایش دائم یا ثبت به موقع با نصب تجهیزات ویژه یا نهشتن رسوب برای اندازه‌گیری در زمان مناسب بعدی باشد که در ادامه تشریح می‌شود.



شکل ۳- نمونه‌گیر رسوب جریان‌های موقتی (Hudson, ۱۹۹۳)

روش دیگر استفاده از نمونه‌بردارهای تلمبه‌ای خودکار است (والینگ، ۱۹۹۴) که نمونه‌ای از آن در شکل ۴ مشاهده می‌شود. در این روش با برنامه زمان‌بندی شده می‌توان از سیلاب نمونه برداشت. اضافه کردن تشخیص‌گر^۱ جریان برای شروع نمونه‌برداری بسیار مهم است. فاصله زمانی نمونه‌برداری باید به گونه‌ای باشد که تغییرات انتقال رسوب توسط جریان آب به طور کامل ثبت شود. در حوضه‌های خیلی کوچک چند هکتاری حدود ۱۵ دقیقه و در حوضه‌های چند کیلومتر مربعی حدود یک ساعت پیشنهاد می‌شود. سیلاب حامل خار و خاشاک و جلبک است که ممکن است با گیر کردن در محل ورود آب این نوع نمونه‌بردار (و همچنین نوع قبلی) متع از ورود رسوب شود؛ بنابراین نظارت بر این نمونه‌بردارها در مدت جریان سیل و پس از آن ضرورت دارد.

از سرریز به دلیل کند شدن سرعت جریان و احتمال نهشتن بخشی از رسوب به هیچ وجه صحیح نیست. چنانچه، در زمان حضور متصدی مستقر در منطقه، جریان آب درون آبراهه مشاهده شود، امکان برداشت نمونه از جریان رودخانه به وسیله ابزار و روش استاندارد وجود دارد حال آن‌که به دلیل پاسخ هیدرولوژیک سریع حوضه‌های کوچک، احتمال ثبت داده‌های ناشی از بارش‌های شبانه‌گاهی میسر نیست. یک روش متداول برای اندازه‌گیری بار معلق رسوب در زمان رویدادهای سیلابی در غیاب مأمور، استفاده از نمونه‌گیرهای نصب شده در مسیر است (هاسون، ۱۹۹۳). این نمونه‌گیرها که نسبتاً ارزان هستند، بطری‌هایی از جنس پلاستیک هستند که با فواصل معینی روی پایه چوبی یا فلزی نصب می‌شوند تا نمونه در ترازهای مختلف سطح جریان جمع‌آوری شود (شکل ۳). در دستورالعمل حوضه های زوجی، این روش برای اندازه‌گیری رسوب معلق پیشنهاد شده است (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹). در این روش، پس از پر شدن بطری، جریان به داخل بطری قطع می‌شود؛ بنابراین، مقدار رسوب جمع‌آوری شده در هر یک از بطری‌ها تا حدی نشان‌دهنده غلظت رسوب شاخه صعودی هیدروگراف می‌باشد که پایین‌تر از ارتفاع مورد نظر جریان داشته است. لازم است بلافاصله پس از هر سیلاب، بطری‌ها را تخلیه و برای نمونه‌گیری بعدی آماده کرد.



شکل ۴- دستگاه خودکار نمونه‌بردار رسوب (شرکت علمی چمپل، ۲۰۱۹)

^۱ - Sensor

روش‌های آماری نمونه‌برداری

به دلیل محدودیت وقوع رویدادهای مهم در آبخیزهای کوچک مناطق خشک و نیمه‌خشک از یک سو و تغییرات شدید دبی و رسوب از سوی دیگر جمع‌آوری تعداد زیادی داده معتبر نیازمند گذشت سال‌های طولانی است؛ بنابراین، برآورد رسوب در این حوضه‌ها با استفاده از منحنی سنج رسوب امری دشوار است (کمیت پاشیفیک سوت وست، ۱۹۶۸). در نبود روش منحنی سنج رسوب، چند روش آماری جایگزین با اتکا به طرح‌های آمارگیری

نمونه‌ای پیشنهاد شده است. برای فهم بهتر روش آمارگیری نمونه‌ای باید با تعاریف جامعه و نمونه آشنا شد. در واقع می‌توان غلظت رسوب یک رودخانه در طول زمان را یک جامعه آماری فرض کرد که هر بازه کوچک زمانی یک واحد نمونه‌گیری را تشکیل می‌دهد. معمولاً بیشتر جوامع آماری مثل جامعه انسانی مقیاس مکانی دارند، حال آن‌که جامعه رسوب معلق از مقیاس زمانی برخوردار است. در جدول ۳ پاره‌ای از مفاهیم آماری به جوامع زمانی تطبیق داده شده است.

جدول ۳- تطبیق پاره‌ای از اصطلاحات فنی آمارگیری نمونه‌ای برای مطالعه رسوب رودخانه‌ها

شماره	اصطلاح	تعریف
۱	جمعیت	اندازه‌گیری‌های مداوم زمانی از غلظت رسوب معلق یا بار رسوبی در دوره زمانی مورد مطالعه. یک جامعه به N بازه زمانی یا واحد نمونه‌گیری تقسیم می‌شود.
۲	واحد نمونه‌گیری	واحد نمونه‌گیری به بازه زمانی کوتاهی دلالت می‌کند که تغییرات بار رسوبی در آن زیاد نباشد. مدت هر بازه در سرشاخه‌های کوچک از چند دقیقه تا چند روز در رودخانه‌های بزرگ متغیر است (توماس، ۱۹۸۵)
۳	واحد مشاهداتی	هر واحد مشاهداتی یک نمونه کوچک آب در حد یک لیتر است که در طول مدت هر واحد نمونه‌گیری با استفاده از نمونه‌بردار خاص رسوب معلق برداشته می‌شود به‌طوری‌که معرف کل مقطع عرضی رودخانه باشد.
۴	جامعه هدف	مجموعه اندازه‌گیری‌های دوره مورد مطالعه جامعه هدف را شکل می‌دهد.
۵	گروه نمونه	تمام نمونه‌های برداشت شده مطابق یک برنامه نمونه‌گیری در کتب درسی، نمونه (Sample) نامیده می‌شود. در این مقاله برای اجتناب از هر گونه اشتباهی از عبارت "گروه نمونه (Sample set)" استفاده شده است.
۶	اندازه گروه نمونه	اندازه گروه نمونه یعنی تعداد n اندازه‌گیری از جامعه هدف که گروه نمونه را تشکیل می‌دهند.

هر روش آمارگیری نمونه‌ای از دو بخش تشکیل می‌شود. بخش اول، برنامه زمانی نمونه‌گیری از رودخانه را روشن می‌کند. در حالی‌که بخش دوم، برآوردکننده‌های مخصوصی هستند که برای برآورد رسوبدهی و انحراف از معیار آن به کار می‌روند. در واقع این روش‌ها قادر هستند که برآوردی نارایب از میانگین رسوبدهی سالانه ارائه دهند و حتی دقت آن را نیز مشخص کنند. اگر خیلی ساده، اندازه‌گیری غلظت به صورت کاملاً تصادفی یا با اتکا به برنامه تقویمی که شبیه نمونه‌گیری سیستماتیک زمانی است انجام گیرد، سپس با استفاده از روابط معمول می‌توان مجموع تولید رسوب و میانگین (با تقسیم حاصل جمع بر تعداد) را محاسبه کرد. با توجه به تغییرات سریع دبی و غلظت رسوب، برای آنکه این روش‌ها دقت کافی داشته باشند باید تعداد نمونه خیلی زیاد باشد که هزینه زیادی را

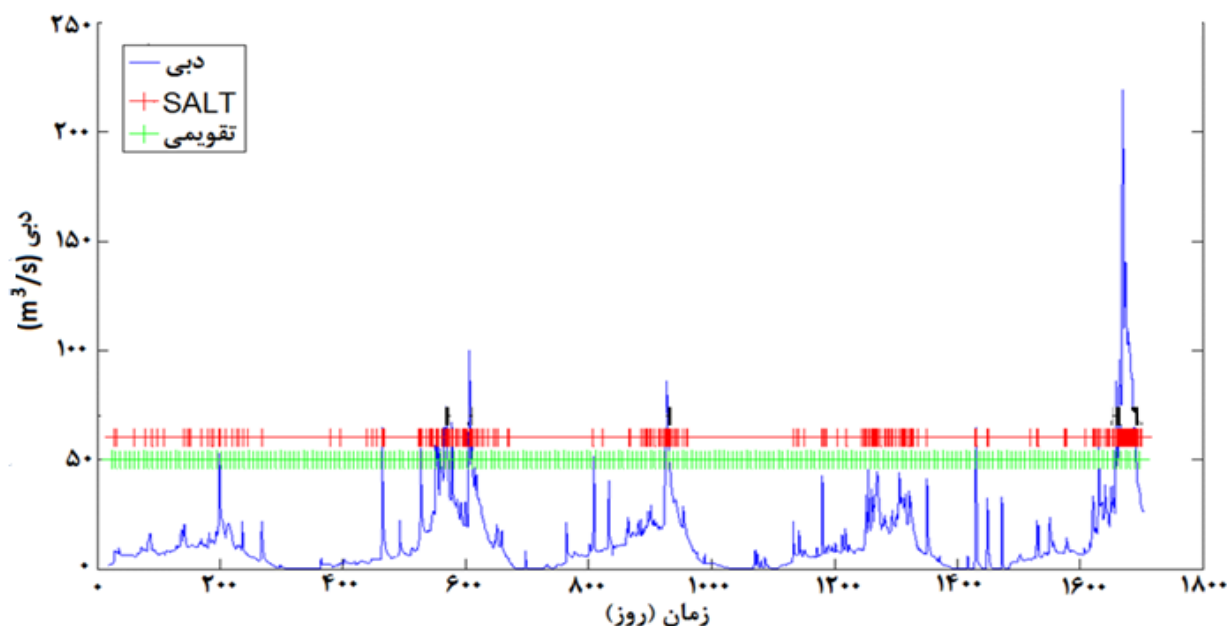
در پی دارد. برای حل مشکل، روش "انتخاب در زمان فهرست کردن" (SALT) که مبتنی بر طرح نمونه‌گیری احتمال متناسب با اندازه است (توماس، ۱۹۸۵) معرفی شده است. با استفاده از این روش نمونه‌گیری آماری، با برداشت تعداد بسیار کم‌تری نمونه در مقایسه با روش نمونه‌گیری تقویمی (به عنوان روش پایه آماری) می‌توان به نتایج صحیح‌تری دست یافت. در روش آمارگیری نمونه‌ای موسوم به SALT (توماس، ۱۹۸۵)، احتمال انتخاب هر واحد نمونه‌گیری متناسب با وزن رسوبی است که قرار است حمل شود. به عبارت دیگر، به یک متغیر کمکی نیاز وجود دارد که می‌تواند دبی یا مقدار رسوب تخمینی بر اساس منحنی سنج رسوب تقریبی باشد. به تدریج و با برداشت تعدادی نمونه می‌توان کیفیت متغیر کمکی و در نتیجه نمونه‌برداری را بهبود بخشید. برآورد کننده

برآورد به‌دست‌آمده از روش متداول (تلفیق منحنی سنجه رسوب متکی به نمونه‌های تقویمی با دبی جریان روزانه) است (عرب‌خدری، ۲۰۰۹).

تله‌اندازی رسوب

تله‌اندازی به دو روش استفاده از مخازن و بندهای رسوب‌گیر امکان پذیر است. شکل ۶ نمونه‌ای از مخزن اندازه‌گیری رسوب واقع در انتهای یکی از زیرحوضه‌های ایستگاه تحقیقات فرسایش خاک سنگانه را نشان می‌دهد. پس از هر بارش، حجم رسوب خیس اندازه‌گیری و نمونه‌ای مخلوط به آزمایشگاه ارسال و پس از تعیین رطوبت، وزن خشک رسوب تعیین می‌شود.

Hansen-Hurwitz برای برآورد رسوب در این روش به کار می‌رود. تاکید مجدد بر این نکته لازم است که این روش همراه با نمونه‌برداری تلمبه‌ای و اشل دارای حساسه که به یک کامپیوتر متصل باشند قابلیت کاربرد دارد. برای استفاده از روش SALT لازم است برنامه کامپیوتری نوشته شود. در شکل ۵ شمایی از برداشت ۲۵۰ نمونه از جامعه ۱۸۰۰ تایی داده‌های روزانه مشاهداتی ایستگاه قزاقلی روی گرگانرود به دو روش SALT و تقویمی مقایسه شده است که حاکی از تمرکز بیشتر نمونه‌برداری از دبی‌های بالا با روش SALT است. در جدول ۴ برآوردهای دو روش در این ایستگاه با مقدار واقعی برآمده از ۱۸۰۰ مشاهده مقایسه شده است که حاکی از مزیت مطلق روش SALT در مقایسه با



شکل ۵- الگوی نمونه‌برداری دو روش SALT و روش تقویمی (عرب‌خدری، ۲۰۰۹)

جدول ۴- خلاصه نتایج ۵۰ برآورد رسوبدهی معلق به دو روش مختلف با تکرار نمونه‌گیری از ۱۸۰۰ نمونه برداشت شده در پنج سال از ایستگاه قزاقلی روی گرگانرود (عرب‌خدری، ۲۰۰۹)

روش برآورد	میانگین برآورد (تن)	انحراف از معیار (تن)	متوسط درصد خطا نسبت به مقدار مشاهداتی	ضریب تغییرات (%)	مجدور مربعات خطای نرمال شده
روش متداول*	۳۹۸۲۱۳۷	۶۰۵۶۸	-۷۶	۲	۰/۷۶
SALT	۱۲۰۳۵۰۹۶	۱۶۰۵۴۳۷	-۴	۱۳	۰/۱۳

* تلفیق منحنی سنجه رسوب متکی به نمونه‌های تقویمی با دبی جریان روزانه



شکل ۶- نمونه‌ای از مخزن سه قسمتی اندازه‌گیری رسوب در یکی از زیرحوضه‌های ایستگاه تحقیقات فرسایش خاک سنگانه

منظور، تعبیه دریچه شیردار و لوله تخلیه جریان ضرورت دارد. پس از پر شدن نسبی مخزن بند، می‌توان رسوبات را تخلیه کرد. سه روش مختلف برای اندازه‌گیری حجم نهشته‌های رسوبی به کار می‌رود.

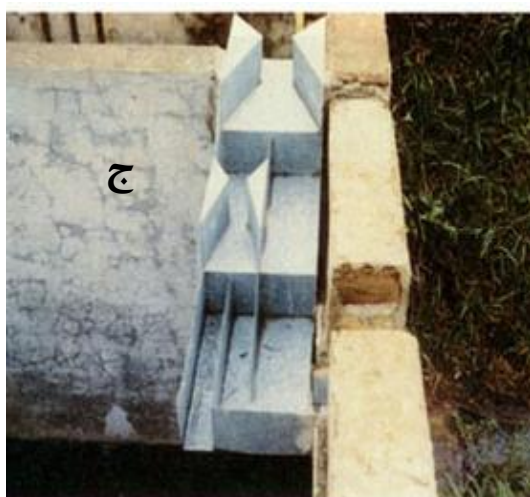
الف) استفاده از نقشه‌برداری مجدد: این روش موقعی به کار می‌رود که نقشه اولیه قبل از بهره‌برداری بند تهیه شود.

ب) روش شبکه عمق‌سنجی: در مواردی که نقشه اولیه موجود نباشد، می‌بایست مطابق شکل ۸ در سطح رسوبات مخازن بندها تعدادی عمق‌سنجی انجام گیرد. جزئیات این روش از قبیل فاصله عمق‌سنجی‌ها توسط هاشمی و همکاران (۱۳۹۵) تشریح شده است.

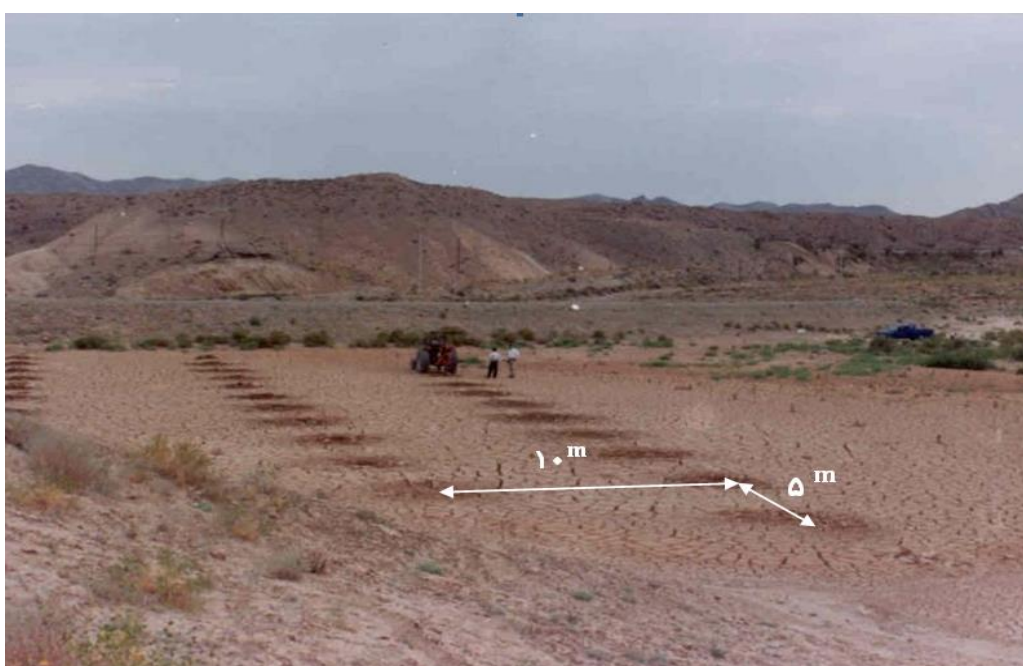
ج) روش میخ و واشر: در این روش میخ‌های بلند با ارتفاع مشخص در بستر دریاچه بند نصب می‌شود. دارازی میخ طوری در نظر گرفته می‌شود که در اثر رسوبگذاری به سهولت مدفون نشود. پس از خشک شدن سطح رسوبات عمق رسوب‌گذاری اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۹ آرایش محل نصب میخ‌ها مشابه روش عمق‌سنجی را نشان می‌دهد.

از آنجایی که حجم مخازن بتنی احداث شده محدود و حداکثر چند مترمکعب است، لذا این روش مناسب حوضه‌های بسیار کوچک می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود طی یک واقعه شدید بارشی حجم زیادی رواناب و رسوب از حوضه یک هکتاری وارد مخازن شده و جریان آب و رسوب از آن سرریز نموده است. در این شرایط برآورد دقیقی از میزان هدررفت خاک حاصل نخواهد شد. برای رفع این مشکل می‌توان از تقسیم نمودن جریان و ورود درصدی از آن به مخازن بهره جست. در شکل ۷ چند نمونه تقسیم کننده جریان نشان داده شده است.

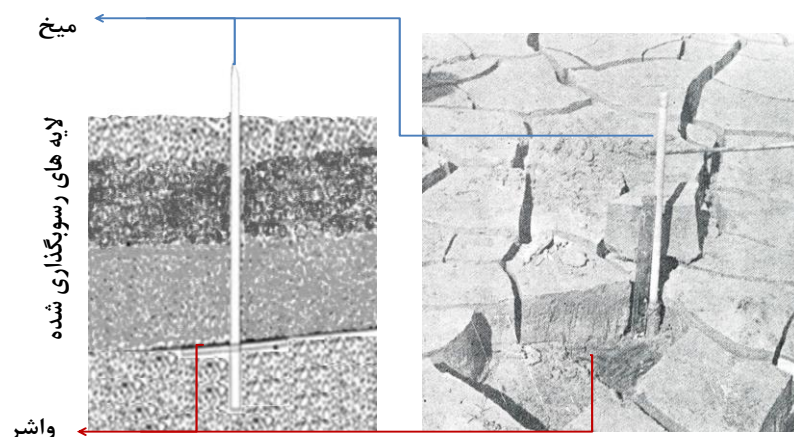
در روش تله‌اندازی رسوب پشت بند، لازم است بندی بتنی یا خاکی در خروجی حوضه مورد نظر احداث شود. طراحی ارتفاع و حجم مخزن طوری انجام می‌گیرد که جریان آب و رسوب از آن‌ها سرریز نداشته باشد و تمامی رسوبات در مخزن این بندها ته‌نشست شوند. با هدف تعیین حجم رسوب هر رویداد، لازم است جریان زلال شده (پس از نهشتن کامل رسوب معلق) تخلیه و پس از خشک شدن کامل رسوب‌سنجی انجام شود. به این



شکل ۷- چند نوع تقسیم‌کننده جریان مورد استفاده در حوزه‌های آبخیز کوچک (هادسون، ۱۹۹۳)



شکل ۸- الگوی حفر چاله‌ها در مخزن بند با تراکتور (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵)



شکل ۹- نمونه‌ای از میخ و واشر

به دلیل پاسخ سریع هیدرولوژیک، چنانچه امکان تهیه و نصب نمونه بردارهای خودکار نباشد، استفاده از مخازن بتنی و ذخیره درصد مشخصی از جریان به عنوان راهکار مناسبی پیشنهاد می‌شود. در آبخیزهای بزرگتر چند ده هکتاری تا چند کیلومتر مربعی از جمله در حوضه‌های معرف و زوجی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور نیز علاوه بر نصب نمونه بردار خودکار، می‌توان در انتهای حوضه از بندهای خاکی و بتنی برای جمع‌آوری کامل رواناب و رسوب آبخیز بالادست استفاده نمود و با بررسی لایه‌ها و عمق آن‌ها وضعیت فرسایشی منطقه را مورد بررسی قرار داد.

پیشنهاد‌های ترویجی

با توجه به اهمیت پایش صحیح و جمع‌آوری داده‌های فرسایش و رسوبدهی در کشور به خصوص در حوضه‌های کوچک توصیه می‌شود کارشناسان آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در این خصوص اهتمام نمایند. وجود هزاران بند مخزنی و تنظیمی احداث شده در قالب طرح‌های آبخیزداری، فرصت مناسبی برای پایش ادواری رسوبات نهشته شده را ایجاد کرده است که می‌تواند کمک شایانی به غنی شدن اطلاعات فرسایش و رسوب کشور کند. توصیه دیگر تفکیک لایه‌های رسوب و تعیین حجم هر لایه با حفر پروفیل در مخازن است تا اهمیت سهم رویدادهای مهم مشخص شود.

پس از تعیین عمق رسوبات در هر یک از نقاط شبکه فرضی، و با لحاظ فاصله نقاط، حجم رسوبات تعیین می‌شود. برای تبدیل حجم رسوبات مخازن بندها به جرم، اطلاع از جرم مخصوص رسوبات ضرورت دارد. حداقل دو نمونه یکی برای رسوبات دریاچه‌ای (ریزدانه) و دیگری برای رسوبات دلتایی (درشت دانه) لازم است.

نتیجه‌گیری

عمده رسوب در حوزه‌های آبخیز کوچک مناطق خشک و نیمه خشک توسط جریان‌های موقتی در مدت زمان کوتاهی انتقال پیدا می‌کند. در این حوضه‌ها دبی پایه به ندرت وجود دارد و جریان‌های گل‌آلود بلافاصله پس از وقوع رگبارها و در موارد نادر پس از ذوب سریع برف مشاهده می‌شوند. بر اساس مشاهدات موجود می‌توان بیان کرد که در آبخیزهای کوچک مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌طور متوسط تعداد رویدادهای مهم در سال به یک مورد نیز نمی‌رسد؛ بنابراین، از دست دادن هر یک از رویدادها می‌تواند دقت برآورد رسوبدهی حوضه را دچار مشکل سازد. هم‌چنین با توجه به نادر بودن رگبارهای بسیار شدید که بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب دارند، در نظر گرفتن طول زمانی مناسب (حتی در حد چند ده سال) برای رسیدن به متوسط سالانه معتبر لازم است. نکته مهم در محاسبه متوسط رسوبدهی سالانه آن است که نباید داده‌های حداکثر، پرت تلقی شده و تنها به دلیل تفاوت با میانگین داده‌ها از تحلیل‌ها حذف شوند. در حوضه‌های کوچک چندهکتاری،

فهرست منابع

۱. اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه های معرف و نمایشی. ۱۳۷۹. اصول و مبانی طرح استقرار و راه اندازی حوزه های معرف و نمایشی در سطح کشور. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی. ۳۲۶ ص.
۲. پیامی، ک.، ا. ویسکرمی، م. زند، ع. شاه‌کرمی، ط. فرهادی‌نژاد. ۱۳۹۶. واسنجی مدل‌های تجربی PSIAC و MPSIAC از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در حوضه‌های شمال غرب و غرب ایران- استان لرستان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۰۴ ص.
۳. عباسی، ع.، ج. پرهت و ا. خوش‌بزم. ۱۳۹۳. بررسی پتانسیل تولید رواناب در حوضه های آبخیز کوچک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سنگانه کلات). سامانه‌های سطوح آبیگر باران. ۲ (۳): ۱۳-۲۲.
۴. عرب‌خدری، م. ۱۳۹۷. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد بارندگی. ترویج و توسعه آبخیزداری. ۱۱: ۷-۱۵.
۵. عرب‌خدری، م. ۱۳۹۳. مروری بر عوامل موثر بر فرسایش آبی خاک در ایران. نشریه علمی-ترویجی مدیریت اراضی. ۲(۱): ۱۷-۲۶.
۶. عرب‌خدری، م.، ک. صدارتی و ا. اسمعیلی. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات رسوب معلق در ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی ۴۴۳۱۰. ۱۰۸ ص.
۷. نور، ح. و س.ح.ر. صادقی. ۱۳۹۰. مدل سازی رسوب نگار واحد لحظه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران. ۷ (۴): ۶۲-۷۰.
۸. هاشمی، ع.، ا.، م. قدرتی، ب. ارسطو، ا. جعفری و ح. غلامی. ۱۳۹۵. واسنجی مدل‌های تجربی PSIAC و MPSIAC از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در ایران- استان سمنان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۸۹ ص.
9. Arabkhedri, M. 2009. Sampling designs and estimation methods for sediment load prediction in two rivers in Iran and Malaysia. PhD Thesis, University Putra Malaysia. 236 p.
10. Bagarello, V. Carollo, F. G. Di Stefano, C. Ferro, V. Giordano, G. Lovino, M. and Pampalone, V. 2016. Twenty years of scientific activity at Sparacia experimental area. Translators: Kiani-Harchegani, M. and S. Kiani-Harchegani. Pajhouhesh Bartar Publications. 200 p.
11. Campbell Scientific Co. 2019. Vacuum pump water sampler line acquired, <https://www.campbellsci.com.au/water-samplers-new>.
12. Chiu, Y.-J.; Lee, H.-Y.; Wang, T.-L.; Yu, J.; Lin, Y.-T.; Yuan, Y. 2019. Modeling sediment yields and stream stability due to sediment-related disaster in Shihmen reservoir watershed in Taiwan. Water, 11(2), 1-22.
13. Fang, N-F. Shi, Z-H. Yue, B-J. and Wang, L. 2013. The characteristics of extreme erosion events in a small mountainous watershed. PLoS ONE 8(10): e76610. doi:10.1371/journal.pone.0076610
14. Gallart, F. Llorens, P. Latron, J. and Regüés, D. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6(3): 527-537.
15. Gonzalez-Hidalgo, J.C. Batalla, R.J. Cerda A. and de Luis, M. 2012. A regional analysis of the effects of largest events on soil erosion. Catena, 95: 85-90.
16. Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. FAO Soils Bulletin 68, 139 pp.
17. Lane, L.J. 2007. The role of large storms in determining mean annual sediment yield. In: R.I. Barnhisel (Ed.), Proceedings of National Meeting of the American Society of Mining

- and Reclamation, Gillette, WY, 30 Years of SMCRA and Beyond, June 2-7, 2007. Published by ASMR. 403-412.
18. Markus, M. and Demissie, M. 2006. Predictability of annual sediment loads based on flood events. *Journal of Hydrologic Engineering* 11(4): 354-361.
 19. Mayor, A.G. Bautista, S. Bellot, J. 2011. Scale dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology*, 397: 128-135.
 20. Nearing, M. A. Nichols, M. H. Stone, J. J. Renard, K. G. and Simanton, J. R. 2007. Sediment yields from unit source semiarid watersheds at Walnut Gulch. *Water Resources Research*, 43(6).
 21. Noor, H. and Rostami Khalaj, M. 2018. Improving MUSLE performance for sediment yield prediction at micro-watershed level using seasonal classified data. *Water Practice and Technology*, 13(3), 505-512.
 22. Pacific South-West Inter Agency Committee. 1968. Report on factors affecting sediment yield in the Pacific Southwest area. Water Management Sub-committee, Sedimentation Task Force.
 23. Thomas, R. B. 1985. Estimating Total Suspended Sediment Yield with Probability Sampling. *Water Resources Research*. 21: 1381-1388.
 24. Toy, T. J. Foster G. R. and Renard K. G. 2002. Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control. John Wiley & Sons. Washington, D.C.
 25. Wischmeier, W. H. 1962. Storms and soil conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(2): 55-59.
 26. Zachar, D. 1982. Soil Erosion. Elsevier, Amsterdam.
 27. Walling, D.E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal, R. (Ed), *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society. 39-73.

اثر تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت آبگرفتگی شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری دامغان)

ابراهیم یوسفی مبرهن^۱، کریم سلیمانی و قربان وهابزاده

استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

سمنان، ایران. e.yousefi.m@gmail.com

استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

k.solaimani@sanru.ac.ir

دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

دریافت: بهمن ۱۳۹۸ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

چکیده

حوضه شهری دامغان در سال‌های اخیر دچار تحولات زیادی از جمله افزایش شدید جمعیت شهرنشین، گسترش فیزیکی سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی، از بین رفتن فضای‌های سبز و تبدیل آن به کاربری‌های مسکونی شده است که این امر منجر به سیلاب و آب‌گرفتگی متعدد در محدوده شهری شده است. تغییرات کاربری اراضی در اثر فعالیت‌های انسانی یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه‌ای می‌باشد. با توجه به مزیت‌ها و قابلیت‌هایی که داده‌های ماهواره‌ای دارند، این تکنولوژی می‌تواند کمک شایانی به شناسایی و کشف این تغییرات نماید. لذا جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر سال ۲۰۰۳ سنجنده ETM⁺ و ۲۰۱۵ سنجنده OLI ماهواره‌ای لندست و برای محاسبه وضعیت آب‌گرفتگی حوضه شهری دامغان از روش USISM استفاده شده است. ارزیابی‌ها نشان داد که صحت کلی و ضریب کاپای نقشه طبقه‌بندی شده ETM⁺ به ترتیب ۷۵ و ۰٫۶۷ درصد و OLI برابر ۸۰ و ۰٫۷۴ درصد می‌باشد. نتایج مشخص کرد که بسیاری از اراضی فضای سبز به اراضی مسکونی و تجاری تبدیل شده‌اند، به گونه‌ای که بر وسعت اراضی مسکونی و تجاری طی ۱۲ سال ۲۸ درصد افزوده شده است. همچنین وسعت اراضی کشاورزی افزایش و وسعت مناطق بایر کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: روش شبیه‌سازی رگبار-آبگرفتگی شهری، داده‌های ماهواره‌ای، فرورفتگی، تغییرات کاربری اراضی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سمنان، ایران.

مقدمه

سیلاب در طول تاریخ پرهزینه‌ترین و پرخطرترین، فاجعه در میان مخاطرات طبیعی بوده است (هی فینگ و همکاران، ۲۰۱۲). خطر وقوع سیل در طی زمان افزایش یافته است، به‌ویژه از زمانی که بسیاری از کشورها مجوز ساخت‌وساز در دشت‌های سیلابی را صادر کرده و حتی از رشد تجاری و مسکونی در این مناطق حمایت کرده‌اند (کاسکی، ۲۰۰۸). تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی در بین سایر عوامل، کلیدی‌ترین اثر معنی‌دار را بر روی عملکرد هیدرولوژیکی حوزه آبخیز از جمله رواناب و سیل دارند (کریمی سنگچینی و همکاران، ۱۳۹۹). روند افزایشی خسارات جانی و مالی ناشی از جاری شدن سیلاب طی چند دهه اخیر در جهان مهندسين آب و دیگر متخصصین مربوطه را بر آن داشته است که با اتکا بر ابزار مدرنی چون مدل‌های ریاضی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور چاره‌ای نو جهت کنترل و مدیریت این پدیده طبیعی بیندیشند. در اغلب پژوهش‌ها، آب‌گرفتگی شهری با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی انجام گرفته است (کیو و همکاران، ۲۰۰۰، هسو و همکاران، ۲۰۰۰، مارک و همکاران، ۲۰۰۴، پارادپ و همکاران، ۲۰۰۶، یو و لند، ۲۰۰۷، ژائو، ۲۰۰۸، وی و همکاران، ۲۰۱۲، آماگوچی و همکاران، ۲۰۱۲). این مدل‌های فوق (دسته اول)، بر مبنای فیزیکی بوده و می‌تواند تغییرات زمانی و مکانی رواناب را برآورد کند در عوض دارای یک گام زمانی کوچک بوده و به داده ورودی زیادی نیازمند است. دسته دوم شامل مدل‌هایی است که فقط مقدار نهایی آبگرفتگی را شبیه‌سازی می‌کند. الگوریتم‌های محاسباتی آنها بر مبنای بیلان آب بوده و تبادل آب توسط گرانش و توپوگرافی انجام می‌شود. مدل‌های دسته دوم شامل مدل‌های RFIM^۲ (کراپکا و همکاران، ۲۰۰۷)؛ RFSM^۳ (گلدبای و همکاران، ۲۰۰۸، لوم و همکاران، ۲۰۰۸)؛ GUFIM^۴ (چن و

همکاران، ۲۰۰۹) و FCDC^۵ (زنگ و همکاران، ۲۰۱۴) و USISM^۶ (زنگ و پان، ۲۰۱۴) هستند. مزیت این مدل‌ها سرعت بالای محاسبات و توانمندی کافی آنها است. پژوهش‌های زیادی در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است (آدامی و همکاران، ۲۰۱۲، بوری و همکاران، ۲۰۱۵، سیدهو و همکاران، ۲۰۱۶ و جورج، ۲۰۱۶).

کاظمی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل سیلخیزی در حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز را بررسی کردند. نتایج در طی این دوره ۱۸ ساله، نشان داد که در تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته و تأثیر آن بر روی تغییرات بالقوه سیلخیزی، حوزه مذکور نه درصد سیل‌خیزتر شده بود. مافی و همکاران (۱۳۹۳) مدیریت و دفع رواناب‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در منطقه بک شهر اهواز مطالعه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که در این منطقه به علت شیب کم امکان تخلیهٔ ثقلی و به علت هزینهٔ زیاد امکان پمپاژ آب به رودخانهٔ کارون وجود ندارد، ولی با استفاده از تحلیل‌های GIS بهترین مسیر طبیعی منطبق بر خیابان‌ها برای تخلیهٔ رواناب، مشخص شد و در نهایت، نقشهٔ شبکهٔ پیشنهادی دفع آب‌های سطحی از منطقهٔ مورد مطالعه ارائه گردید. رحیمی و رحیمی داشلی‌پرون (۱۳۹۵) بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر سیلاب در شمال ایران را انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد طی دوره ۲۰ ساله، جنگل به سایر کاربری‌ها تغییر کرده که با توجه به نقش پوشش گیاهی در ایجاد رواناب، این تغییر کاربری منجر به افزایش رواناب و رخداد سیلاب‌های بزرگ در حوضه شد. سبزیبایی و همکاران (۱۳۹۶) مطالعه‌ای که در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی قائم شهر با استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که اراضی کشاورزی جنگل و پهنه آبی به اراضی باغی و مسکونی تبدیل شده-

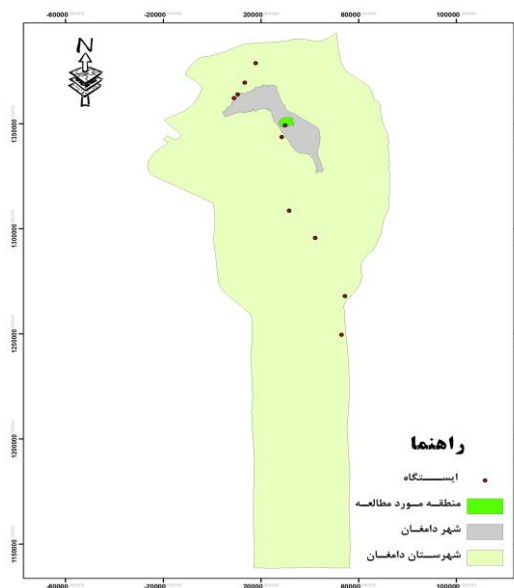
رگبار مورد نظر را بار روش کریجینگ تهیه کردند. با توجه به اینکه، حوضه شهری دامغان دچار تحولات زیادی از جمله افزایش شدید جمعیت شهرنشین، گسترش فیزیکی سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی و گسترش شهر در این سال‌ها شده است فلذا این امر، منجر به سیلاب و آب‌گرفتگی متعدد در محیط شهری و بروز مشکلات عدیده‌ای برای ساکنین می‌باشد؛ لذا هدف از این تحقیق، بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت آب‌گرفتگی (عمق، سطح و حجم) ناشی از رگبار، با روش USISM در دو بازه زمانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دامغان بین ۵۴ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. شهر دامغان در دامنه جنوبی البرز و در ۱۲۰ کیلومتری شرق سمنان و ۷۰ کیلومتری غرب شاهرود واقع شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به استان و کشور در شکل ۳ نشان داده شده است. قسمت اعظم مساحت شهرستان دامغان را دشت و قسمت دیگر را کوهستان تشکیل می‌دهد. شیب دشت دامغان از شمال غرب به جنوب شرق است که از چاه جام، به سمت دشت کویر باز هم از ارتفاع آن کاسته می‌شود تا اینکه کوه‌های کم ارتفاع واقع در جنوب، چاله یا دشت دامغان را از دشت کویر، جدا می‌کند. یکی از ویژگی‌های چنین مناطقی وقوع بارندگی‌هایی با تداوم کوتاه و شدت بالا می‌باشد بطوریکه کل بارندگی سالانه در عرض چند روز از سال در منطقه نازل می‌گردد.

اند به گونه‌ای که بر وسعت اراضی باغی طی ۱۵ سال ۲۷/۲۶ افزوده شده است. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) به مقایسه و تحلیل جغرافیایی خطر آب‌گرفتگی در معابر شهری با استفاده از مدل AHPFuzzy پرداختند. نقشه پراکنش فضایی ارتفاع رواناب زیرحوضه‌ها و تعیین آب‌گرفتگی معابر در سطح مناطق مختلف شهر کرمان نشان داد که منطقه ۳ بیشترین خطر آب‌گرفتگی معابر را در سطح شهر دارد. کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۷) پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۴۱۹ با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست انجام دادند. نتایج پژوهش بیان می‌کند که با افزایش فاصله از اراضی ساخته شده میزان تغییرات کاربری اراضی کاهش چشمگیری داشته است. زنگ و پن (۲۰۱۴) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به شبیه‌سازی آب‌گرفتگی ناشی از رگبار در منطقه نان‌گانگ در شهر هاربین چین پرداختند. فروافتادگی‌های زمین در این روش، به عنوان هسته اصلی آب‌گرفتگی و سطح کل رواناب حوضه، حداکثر حجم ذخیره هر فروافتادگی و جهت جریان بین این فروافتادگی‌ها همه در شبیه‌سازی نهایی آب‌گرفتگی در نظر گرفته شد. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که که روش مذکور می‌تواند مکان‌های نهایی آب‌گرفتگی در منطقه شهری را شناسایی و عمق و سطح آب‌گرفتگی را به سرعت محاسبه نماید. پروچرمولا و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی برای تجزیه و تحلیل سیلاب سریع شهری یک مدل بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی (GBM) ارائه کردند. همپوشانی لایه‌های مختلف GIS نشان داد که مناطق با سطوح بالاتر سیلاب مربوط است به (۱) فروافتادگی‌ها و یا (۲) بخش‌هایی که تحت تأثیر جریان‌های روزانه آب فشرده شده‌اند که به وضوح روی نقشه قابل شناسایی‌اند همچنین آن‌ها نقشه نقاط آب‌گرفتگی

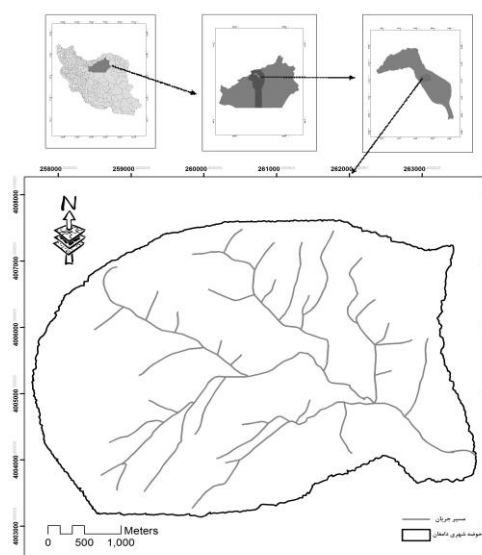


شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مطالعاتی

سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل سه بعدی نرم افزار DEM (3D Analysis) مبتنی بر TIN را به DEM شطرنجی (Raster) با رزولوشن دو متر تبدیل می‌کنیم.

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

در تحقیق حاضر از روش نظارت شده و الگوریتم روش حداکثر احتمال جهت طبقه‌بندی تصاویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷ در سال ۱۳۸۲ همچنین از تصاویر لندست ۸ در سال ۱۳۹۴ استفاده شد. ترکیب بانندی در باندهای ۱ تا ۸ به‌جز باند ۶ (به علت ماهیت متفاوت) لندست ۷ و در تصاویر لندست ۸ نیز باندهای ۲ تا ۸ به‌جز باند ۷ انجام گرفت. در نهایت با استفاده از مرز پلیگونی حوضه شهری دامغان اقدام به برش تصاویر گردید. در مرحله بعد کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه با توجه به بازدید میدانی و تفسیر چشمی روی تصاویر ماهواره ای انتخاب گردید. این کلاس‌ها شامل چهار کلاس کاربری شامل مناطق مسکونی و تجاری، اراضی کشاورزی، اراضی جنگلی و پارک‌ها و اراضی بایر طبقه‌بندی گردید. در این سناریو جهت تعیین وضعیت آب‌گرفتگی ابتدا نقشه کاربری شهری در دو بازه زمانی متفاوت تهیه گردید، سپس با استفاده از متوسط



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

مجموعه‌ای از ایستگاه‌های هواشناسی متعلق به وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور، شبکه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه را تشکیل می‌دهند این مجموعه شامل ایستگاه‌های سینوپتیک، تبخیرسنجی و باران سنجی می‌باشد. در محدوده مطالعاتی و اطراف آن، بیش از ۱۱ ایستگاه هواشناسی واقع می‌باشد ارتفاع ایستگاه‌ها از ۸۸۶ متر در ایستگاه سینگ تا ۲۳۰۰ متر در ایستگاه شه‌میرزاد متغیر است. نحوه پراکنش ایستگاه‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است. برای تعیین حجم اصلی بارش از تنها ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه (دانشگاه آزاد) استفاده شده است. از چهار واقعه رگبار جهت بررسی کارایی روش USISM در شبیه‌سازی آبگرفتگی انتخاب شده است. این وقایع به مدت زمان حدود دو ساعت، با مقادیر بارش متفاوت در ساعت اول و در ساعت دوم است. از آنجا که دانشگاه آزاد تنها ایستگاه بارش در (۲۵۰۰ هکتار) این منطقه کوچک مورد مطالعه است، لذا بارش می‌تواند به عنوان بارش متوسط استفاده گردد. نقشه توپوگرافی ورودی، نقشه با مقیاس ۱/۲۰۰۰ شهر دامغان است، ما نقشه خطوط تراز را به DEM مبتنی بر شبکه نامنظم مثلثی (TIN) تبدیل، و

درصد مناطق غیرقابل نفوذ و مقدار CN مناطق نفوذپذیر، مقدار CN برای کاربری‌های تجاری، صنعتی و مسکونی که مقادیر ترکیبی هستند به دست آوردیم. در ادامه با استفاده از CN ترکیبی منطقه، وضعیت آب‌گرفتگی در دو بازه زمانی مذکور محاسبه و ارایه گردید.

محاسبه رواناب

بیان آبی از واقعه رگبار میتواند به صورت

معادله ۱ نشان داده شود:

$$R_s = R - S - E \quad (1)$$

که در آن R_s : مقدار رواناب سطحی (میلی‌متر)

R : مقدار کل رواناب (میلی‌متر)

S : مقدار از رواناب سیستم فاضلاب (میلی‌متر)

E : مقدار تبخیر (میلی‌متر)

به دلیل اینکه در محیط شهری، تبخیر در واحد سطح تقریباً ۰/۵ درصد حجم کل بارندگی از یک رگبار سه روزه است (آپیروماناکول، ۲۰۰۱)، با نادیده گرفتن تبخیر، معادله ۱ را می‌تواند به صورت معادله ۲ بیان نمود:

$$R_s = R - S \quad (2)$$

کل رواناب با روش SCS محاسبه می‌شود (ام کوین، ۱۹۸۲ و وودوارد و همکاران، ۲۰۰۳)

$$R = \frac{(P - 0.2Sr)^2}{(P + 0.8Sr)} \quad (3)$$

$$Sr = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (4)$$

P : مقدار بارش (میلی‌متر)

Sr : پتانسیل نگهداری حداکثر رطوبت خاک (میلی‌متر)

CN: شماره منحنی رواناب

محاسبه آب‌گرفتگی

برای محاسبه وضعیت آب‌گرفتگی در هر فرورفتگی، ابتدا سطح هر فرورفتگی مشخص و پس از آن رواناب سطحی برای هر فرورفتگی محاسبه شد. سپس وضعیت "فرورفتگی با تراز بالا" (برخی از فرورفتگی‌ها به

دلیل توپوگرافی محلی می‌تواند دچار آب‌گرفتگی شود، اگر چه ارتفاع متوسط فرورفتگی بالاتر از سایر نقاط باشد) و ارتباط بین فرورفتگی‌ها محاسبه گردید (پن و همکاران، ۲۰۱۰). در محاسبه آب‌گرفتگی با این روش، رواناب‌های سطحی باید فرورفتگی‌های سطح فعلی اول را پر کند؛ اگر یک فرورفتگی از آب سرریز شد، آب مازاد به سمت فرورفتگی پایین‌دست جریان می‌یابد؛ بنابراین، برای محاسبه آب‌گرفتگی، رابطه پیوستگی بین فرورفتگی‌ها نیز مشخص شد. سپس، فرورفتگی‌ها با استفاده از DEM پر شده منهای DEM اصلی، محاسبه گردید. در ادامه یک الگوریتم D8 (جهات هشت‌گانه ریزش هر نقطه) برای محاسبه جهت جریان و تقسیم حوضه آبخیز با توجه به رتبه، از بالادست به پایین دست استفاده شد (زنگ و همکاران، ۲۰۱۴). تصویر نقشه مسیر جریان در شکل ۱ نشان داده شده است.

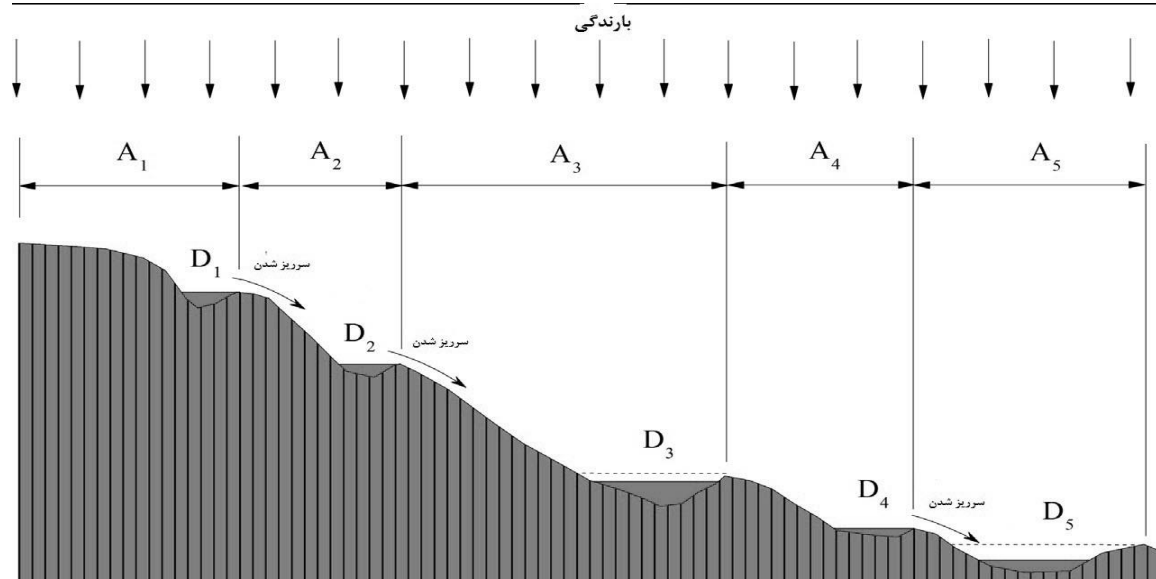
حجم رواناب‌های سطحی برای هر فرورفتگی

بر اساس رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

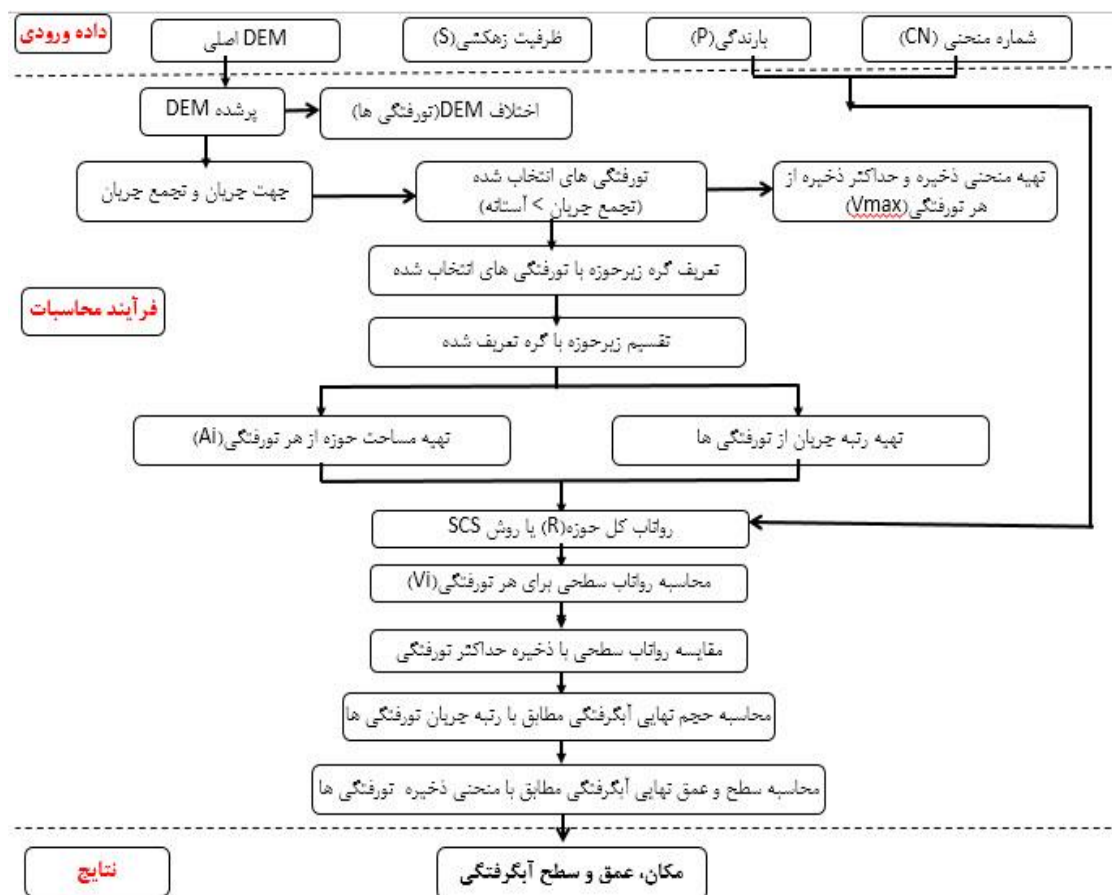
$$V_i = R_s * A_i = (R - S) * A_i \quad (5)$$

حجم رواناب سطحی و سطح حوضه آبخیز

برای هر فرورفتگی به ترتیب V_i و A_i می‌باشد. رواناب سیستم فاضلاب (S) را می‌توان با سرعت متوسط زهکشی آب در مدت زمان رگبار برآورد کرد. ما حجم رواناب سطحی V_i هر یک از فرورفتگی را با حداکثر ذخیره‌سازی که هر فرورفتگی می‌تواند در خود جای دهد، مقایسه می‌کنیم. اگر V_i کمتر از این حداکثر است، V_i حجم نهایی آب‌گرفتگی از فرورفتگی مربوطه خواهد بود، و سطح و عمق آب‌گرفتگی آن را می‌توان با استفاده از منحنی ذخیره-سازی محاسبه کرد. در غیر این صورت، اگر V_i از حداکثر ذخیره آب تجاوز کند، فرورفتگی به طور کامل پر شده و آب اضافی را در امتداد مسیر شبکه رودخانه به فرورفتگی بعدی منتقل می‌کند. نتیجه نهایی آب‌گرفتگی، عمق و سطح فرورفتگی‌ها هستند. نمودار جریان الگوریتم یکپارچه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱- فرایند آب بارندگی جابجا شده بین فرورفتگی‌ها D1, D2, D3, D4 و D5 فرورفتگی‌ها هستند؛ A1, A2, A3, A4 و A5 به ترتیب حوضه‌های این فرورفتگی‌ها هستند. خط چین‌ها حداکثر ذخیره فرورفتگی‌ها را نشان می‌دهد (زنگ و همکاران، ۲۰۱۴)



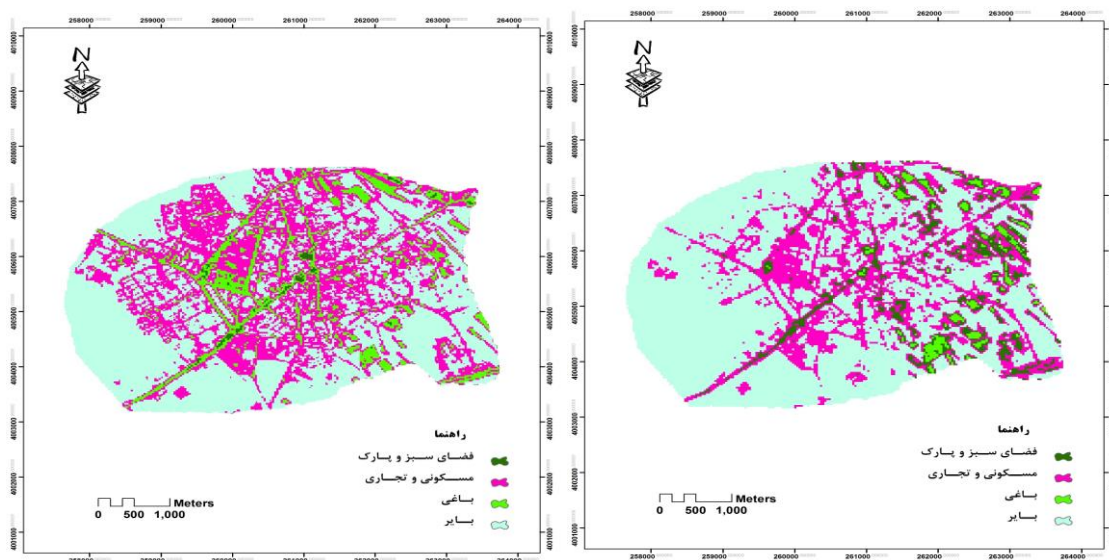
شکل ۲- نمودار جریان مسیر USISM و الگوریتم محاسبات (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵)

نتایج و بحث

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یکی از منابع مهم برای نمایش تغییرات محیطی و شهری و مدیریت بحران مطرح می‌باشد. بررسی این داده‌ها در شرایط مختلف محیطی با تنوع کاربری‌ها و پوشش‌های گیاهی ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق؛ از بین الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده، روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در طبقه‌بندی کاربری‌های مورد نظر در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (شتایی و عبدی، ۱۳۸۶؛ سنجر، ۱۳۹۵؛ سبزیایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ هاشمی نسب و جعفری، ۱۳۹۷؛ کریمی فیروزجایی، ۱۳۹۷؛ اشرف و یاسوشی، ۲۰۰۹ و رآوات و همکاران، ۲۰۱۳).

به منظور مشاهده میزان تغییرات و تبدیل یک کاربری به کاربری دیگر، آشکارسازی تغییرات برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ انجام گرفت. نقشه‌های کاربری اراضی در چهار گروه اراضی مسکونی و تجاری، اراضی باغی، اراضی فضای سبز و پارک‌ها و اراضی بایر مربوط

به سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ در شکل‌های ۵ و ۶ ارایه شده است. در نتیجه افزایش جمعیت طی دهه‌های اخیر بخش قابل توجهی از سایر کاربری‌ها (کاربری فضای سبز و پارک و اراضی بایر) به کاربری مسکونی و تجاری تبدیل شده است. همچنین نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴، بیانگر ثبات نسبی کاربری باغی طی دوره ۱۲ ساله مورد مطالعه می‌باشد. در مرحله بعدی با انجام عملیات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نمونه‌برداری تصادفی از سطح منطقه مورد مطالعه، پارامترهای دقت کل و ضریب کاپا به شرح جدول ۱ استخراج گردید. در نهایت پس از آشکارسازی تغییرات، طبقه‌بندی تصاویر انجام و نقش تغییرات کاربری اراضی شهری در افزایش سطوح آب‌گرفتگی با استفاده از روش USISM تعیین شد. مساحت‌های کاربری اراضی برای ۴ کلاس مسکونی و تجاری، اراضی باغی، اراضی فضای سبز و پارک‌ها و اراضی بایر به تفکیک برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ در جدول ۲ ارایه شده است.



شکل ۵- نقشه‌ی کاربری اراضی شهری سال ۱۳۸۲

شکل ۶- نقشه‌ی کاربری اراضی شهری سال ۱۳۹۴

جدول ۱- ضریب کاپا و صحت کلی

نقشه کاربری اراضی	ضریب کاپا	صحت کلی (%)
سال ۱۳۸۲	۰/۶۷	۷۵
سال ۱۳۹۴	۰/۷۴	۸۰

جدول ۲- مساحت های کلاس های مختلف کاربری اراضی

سال ۱۳۹۴		سال ۱۳۸۲		کلاس کاربری اراضی
درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۴/۲	۹۰/۳	۲/۸	۶۰/۲	باغی
۶۴/۶	۱۳۸۸/۹	۳۶/۴	۷۸۲/۶	مسکونی و تجاری
۰/۹	۱۹/۴	۲/۲	۴۷/۳	فضای سبز و پارک
۳۰/۳	۶۵۱/۵	۵۸/۶	۱۲۵۹/۹	بایر

جدول ۳- مقادیر CN ترکیبی با استفاده از درصد مناطق غیر قابل نفوذ

نقشه کاربری اراضی	درصد مناطق غیر قابل نفوذ	ترکیبی CN
سال ۱۳۸۲	۳۶	۸۸
سال ۱۳۹۴	۶۵	۹۳

تحقیق انجام گرفته با تحقیقات ملس و جردن (۲۰۰۳)؛ فتحی زاده و همکاران (۱۳۹۲)؛ فارسی و یوسفی (۱۳۹۲)؛ سنجر (۱۳۹۵)؛ امان پور و همکاران (۱۳۹۶)؛ زارع و همکاران (۱۳۹۶)؛ هاشمی نسب و جعفری (۱۳۹۷) همسو می باشد که برای طبقه بندی تصاویر ماهواره ای جهت تهیه نقشه کاربری اراضی از روش حداکثر احتمال استفاده نمودند.

با توجه به اینکه در این تحقیق از روش سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS) جهت محاسبه رواناب استفاده شده است لذا با استفاده از مقادیر شماره منحنی ترکیبی منطقه مورد مطالعه (جدول ۳)، نقش تغییرات کاربری شهری بر وضعیت آبرفتگی برای سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ تعیین شد و به ترتیب در جداول ۴ و ۵ همچنین شکل ۷ نمایش داده شده است.

با مقایسه نتایج وضعیت آبرفتگی در بازه زمانی سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ در می یابیم که تغییرات کاربری شهری در افزایش آبرفتگی نقش بسزایی داشته است زیرا به واسطه افزایش شهرنشینی و گسترش ساخت-

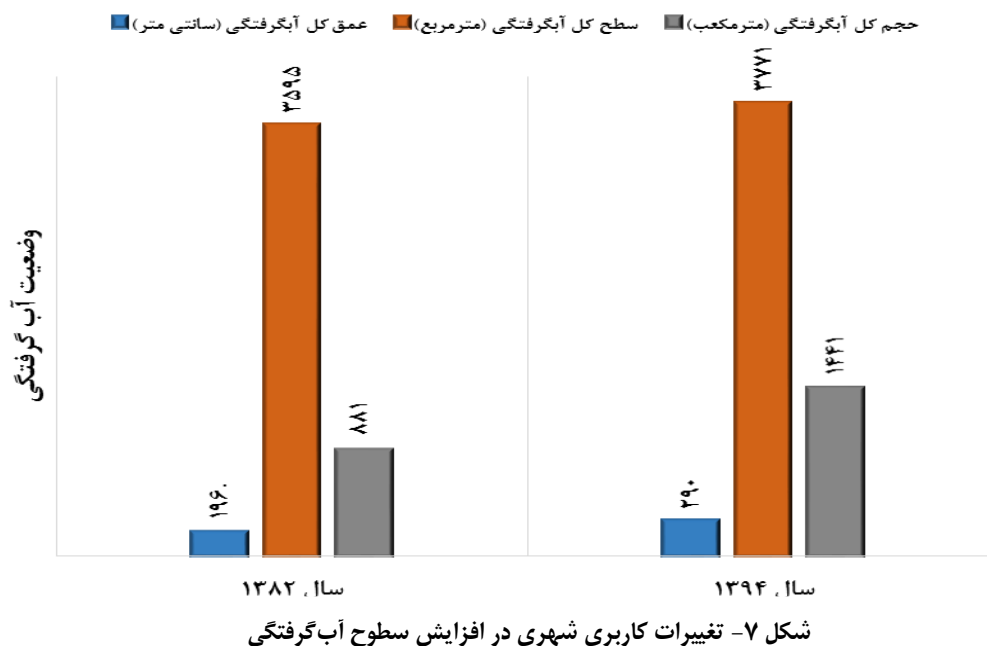
های مصنوعی و تخریب هر چه بیشتر بسترهای طبیعی که موجب کاهش نفوذپذیری خاک (افزایش CN) در مناطق مسکونی و شهری شده است در چنین شرایطی خاک توانایی جذب آب را نداشته و موجب افزایش رواناب در منطقه شده که از سال ۱۳۸۲ به سال ۱۳۹۴ موجب افزایش معنادار سطح، عمق و حجم آبرفتگی شدیم. لازم به ذکر است که سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۸۲، سطح کل آبرفتگی نسبت به عمق و حجم آبرفتگی روند صعودی کندتری (حدود پنج درصد) را نشان داد ولی حجم و عمق کل آبرفتگی به ترتیب ۳۷ درصد و ۳۳ درصد افزایش یافته است. لازم به ذکر است که نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق زنگ و پن (۲۰۱۴) و یوسفی و همکاران (۱۳۹۵) که از روش USISM در شبیه سازی رگبار استفاده کردند در شناسایی مکان های آبرفتگی در منطقه شهری و شبیه سازی وضعیت آبرفتگی (سطح و حجم آبرفتگی) با دقت و سرعت بالا مطابقت دارد.

جدول ۴- وضعیت آب‌گرفتگی در سال ۱۳۸۲

مکان‌های آب‌گرفتگی	عمق آب‌گرفتگی (سانتی‌متر)	سطح آب‌گرفتگی (مترمربع)	حجم آب‌گرفتگی (مترمکعب)
خیابان لاله	۲۶/۶	۳۴۵	۹۱/۸
خیابان گل یاس	۲۵/۴	۳۶۰	۹۱/۵
خیابان شریعت	۲۹/۱	۴۳۰	۱۲۵/۳
خیابان معراج	۸/۳	۳۷۰	۳۰/۹
خیابان چشمه علی	۴۵	۴۴۲	۱۹۸/۵
خیابان چشمه علی	۲۵/۳	۶۴۰	۱۶۲
خیابان پاسداران	۱۶/۵	۵۸۵	۹۶/۴
خیابان شهدا	۱۹/۹	۴۲۳	۸۴/۲
جمع	۱۹۶/۲	۳۵۹۴,۵	۸۸۰/۷

جدول ۵- وضعیت آب‌گرفتگی در سال ۱۳۹۴

مکان‌های آب‌گرفتگی	عمق آب‌گرفتگی (سانتی‌متر)	سطح آب‌گرفتگی (مترمربع)	حجم آب‌گرفتگی (مترمکعب)
خیابان لاله	۴۰/۶	۳۶۰	۱۴۶
خیابان گل یاس	۳۷/۸	۳۸۵	۱۴۵/۵
خیابان شریعت	۴۴	۴۵۲/۵	۱۹۹/۳
خیابان معراج	۱۲/۵	۳۹۲	۴۹/۱
خیابان چشمه علی	۴۵	۴۴۱/۵	۱۹۸/۵
خیابان چشمه علی	۲۶/۳	۶۷۰	۱۷۶
خیابان پاسداران	۲۴/۷	۶۲۰	۱۵۴/۱
خیابان شهدا	۲۹/۸	۴۵۰	۱۳۴/۱
جمع	۲۶۰/۷	۳۷۷۱	۱۲۰۱/۹



پیشنهادهای ترویجی

افزایش شهرنشینی در دهه‌های اخیر و رشد سریع شهرها به سمت حوضه‌های بالادست، همچنین پدیده تغییر اقلیم و تاثیر بر الگوهای مکانی و زمانی بارش، فرایندهای بارش - رواناب را در حوضه‌های شهری به شدت تحت تاثیر قرار داده است همچنین آبگرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی شهری، موجب وارد شدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی می‌شود. با توجه به این‌که داده‌های سنجش از دور از توانایی بالایی در استخراج انواع نقشه‌های کاربری اراضی دارند، لذا در این تحقیق به منظور پایش تغییرات کاربری اراضی از تصاویر سال ۱۳۸۲ سنجنده ETM⁺ و ۱۳۹۴ سنجنده OLI ماهواره‌ای لندست استفاده شد و برای محاسبه وضعیت آبگرفتگی (سطح، حجم و عمق) حوضه شهری دامغان روش جدید USISM (شبیه‌سازی آبگرفتگی ناشی از رگبار، مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی) معرفی گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از داده‌های سنجنده‌های مختلف ماهواره لندست قابلیت بالایی

در بررسی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه دارد و سنجش از دور تکنولوژی بسیار مفیدی است که می‌تواند موجب کاهش هزینه‌ها و زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات و آمار گردد بنابراین با در دست داشتن میزان و جهت تغییرات کاربری اراضی در منطقه می‌توان اقدامات مدیریتی لازم را جهت کاهش تخریب اراضی منطقه اعمال نمود. از مزایای استفاده از استفاده از روش USISM می‌توان به داده‌های ورودی کم، سرعت شبیه‌سازی زیاد و فرایند شبیه‌سازی بسیار ساده اشاره نمود که توانست سطح، حجم و عمق آبگرفتگی حوضه شهری دامغان شبیه‌سازی و برآورد کند؛ لذا روش USISM برای استفاده تحت شرایط زیر توصیه می‌شود: (۱) فقدان داده سیستم فاضلاب دقیق برای منطقه شهری؛ (۲) در مناطقی که عمق و سطح آبگرفتگی بسرعت باید تخمین زده شود. (۳) رگباری که مدت زمان آن کوتاه و آبگرفتگی تنها با بارندگی ایجاد می‌شود، نه سیلاب رودخانه‌ای.

۱- از سایر روش‌های شبیه‌سازی آبگرفتگی سریع سیلاب (RFIM) جهت محاسبه وضعیت آبگرفتگی (عمق، سطح و حجم آبگرفتگی) در حوضه شهری دامغان استفاده گردد و و ضمن مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش USISM با سایر روش‌های مرسوم،

طیفی بالاتر جهت آشکارسازی تغییرات مانند IRS، IKONOS و SPOT استفاده گردد.

۴- جهت شبیه‌سازی وضعیت آب‌گرفتگی در تعیین شماره منحنی از سایر روش‌های طبقه‌بندی تصاویر مانند طبقه‌بندی شیء‌گرا و دیگر روش‌های پیکسل پایه از جمله روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری و مقایسه با نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد.

۵- جهت تعیین نقش پدیده تغییر اقلیم در افزایش سطوح آب‌گرفتگی، از نرم‌افزارهای مرسوم مانند SDSM و Lars-WG استفاده گردد.

بهترین روش از نظر دقت، سادگی و صرفه‌جویی در زمان تعیین گردد.

۲- جهت شبیه‌سازی وضعیت آب‌گرفتگی در حوضه شهری دامغان از مدل‌های هیدرولوژی و هیدرودینامیکی یک بعدی و دو بعدی رایج به کار گرفته شود و نتایج آن‌ها با روش USISM مقایسه گردد، زیرا میزان صحت نتایج حاصل از آن‌ها می‌تواند راهنمای محققین در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی باشد.

۳- برای تهیه نقشه کاربری اراضی و ارزیابی دقیق در این نواحی، از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و قدرت

فهرست منابع

۱. رحیمی، د.، رحیمی، ی. ۱۳۹۵. بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری ارضی بر سیلاب در شمال ایران (حوضه مادرسو). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۲۷(۱): ۸۹-۱۰۲.
۲. زارع، م.، تیموریان، ت.، جوری، م.ح. ۱۳۹۶. پایش تغییرات کاربری اراضی/ پوشش با استفاده از شاخص‌های شدت تغییرات، درجه پویایی و مقایسه پس از طبقه بندی. فصلنامه اکوسیستم های طبیعی ایران. ۸(۱): ۱۳۶-۱۲۳.
۳. سبزقبایی، غ.، جعفرزاده. ک، دشتی. س.س.، یوسفی‌خانقاه، ش.، بزم‌آرا بلشتی، مژ. ۱۳۹۶. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان قائم‌شهر). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۹(۳): ۱۵۷-۱۴۳.
۴. سنجر، ص. ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی منطقه بم. نشریه مدیریت اراضی. ۴(۱): ۳۱-۲۱.
۵. شتابی، ش.، عبدی، ا. ۱۳۸۶. تهیه نقشه کاربری اراضی در مناطق کوهستانی زاگرس با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ منطقه مورد مطالعه: حوضه سرخاب خرم‌آباد لرستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۱): ۱۳۹-۱۲۹.
۶. فارسی، ج.، م. یوسفی. ۱۳۹۲. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور مطالعه موردی: دشت بجنورد فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۲(۷): ۹۵-۱۰۶.
۷. فتحی زاد، ح.، ح. کریمی، م. توکلی، م. بازگیر. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز خشک و نیمه - خشک دویرج با استفاده از سنجش از دور و GIS. اولین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین. دانشگاه اصفهان.
۸. کاظمی، م.، ا. نوحه‌گر، م. قصردشتی‌روشن، پ. رضائی. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل سیل‌خیزی (مطالعه موردی حوزه آبخیز تنگ بستانک شیراز). فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۲(۱): ۴۱-۲۸.

۹. کریمی سنگچینی، ا.، م. اوتق. ا. سعدالدین. ا. یوسفی مبرهن. ۱۳۹۹. پیش بینی اثر حالت‌های ممکن مدیریت پوشش گیاهی بر حجم رواناب و آلاینده های رودخانه‌یی با مدل L-THIA در آبخیز حبله رود. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۳(۳): ۵۲-۳۶.
۱۰. کریمی، ص.، ح. غضنفرپور، ن. علیمزادی‌پور. ۱۳۹۷. مقایسه و تحلیل جغرافیایی خطر آب‌گرفتگی در معابر شهری (مورد مطالعه: معابر مناطق چهارگانه شهر کرمان). مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، ۵(۱): ۱۷-۳۴.
۱۱. کریمی فیروزجایی، م.، م. کیاورز. م. کلانتری. ۱۳۹۷. پایش و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۴۱۹ با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست. فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه ریزی توسعه کالبدی، (پیاپی ۱۱): ۵۲-۳۲.
۱۲. مافی، ع.ا.، غ. ر. مرادی، س. حیاتی، ر. اخیام‌پور. ۱۳۹۳. مدیریت و دفع رواناب های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک River tools (مطالعه موردی: منطقه یک شهر اهواز). جغرافیا و توسعه ناحیه ای. ۱۲(۲۲): ۱-۱۵.
۱۳. یوسفی مبرهن، ا.، ک. سلیمانی، ق. وهاب‌زاده. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی رگبار - آب‌گرفتگی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهری دامغان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۷(۱): ۳۹-۲۶.
14. Adami, M., B.F.T. Rudorff., R.M. Freitas., D.A. Aguiar., L.M. Sugawara., and M.P. Mello. 2012. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. Sustainability. 4(4): 574-585.
15. Amaguchi, H., A. Kawamura., J. Olsson., T. Takasaki. 2012. Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation. Journal of Hydrology. 420-421: 205-215.
16. Apirumanekul, C. 2001. Modeling of Urban Flooding in Dhaka City. Master Thesis No. WM-00-13, Asian Institute of Technology, Bangkok.
17. Ashraf, M., and Y.D. Yasushi. 2009. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. Applied Geography. 29: 390-401.
18. Boori, M.S., V. Voženilek., K. Choudhary. 2015. Land use/cover disturbance due to tourism in Jeseníky Mountain, Czech Republic: A remote sensing and GIS based approach. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1): 17-26.
19. Cheng, X.T. 2010. Urban water disasters and strategy of comprehensive control of water disaster. Journal of Catastrophol. 25 (s): 10-15.
20. Haifeng, J., L. Yuwen., L. Shaw., and ch.Yu. Yorong. 2012. Planning of LID-BMPs for urban runoff control. The case of BeijingOlympic village. Technology for Sustainable Water Environment Separation and Purification Technology, 140, pp: 112-119.
21. Hsu, M.H., S.H. Chen., and T.J. Chang. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system. Journal of Hydrology. 234: 21-37.
22. Kusky, T. 2008. Floods: Hazards of Surface and Groundwater Systems, Facts on File publishing, New YorkEkstrom, M.; Fowler, H.J.; Kilsby, G.G.; Jones, P.D; 2003. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations2. Future estimates and use in impact studies. Journal of Hydrology, Vol 300, pp: 234-251.
23. George, J. 2016. Land Use/Land Cover Mapping With Change Detection Analysis of Aluva Taluk Using Remote Sensing and GIS. International Journal of Science, Engineering and Technology, 4(2): 383-389.

24. Gouldby, B., P. Sayers., J. Mulet-Marti., M.A.A.M. Hassan., and D. Benwell. 2008. A methodology for regional-scale flood risk assessment. *Water Management*. 161 (3): 169–182.
25. Krupka, M., S. Wallis., S. Pender., and S. Neélz. 2007. Some practical aspects of flood inundation modelling, *Transport phenomena in hydraulics*, Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, E-7 (401): 129–135.
26. Lhomme, J., P. Sayers., B. Gouldby., P. Samuels., M. Wills., and J. Mulet-Marti. 2008. Recent Development and Application of a Rapid Flood Spreading Method. *Flood Risk Management: Research and Practice – Samuels et al. (Eds)*, 15-24.
27. Mark, O., S. Weesakul., C. Apirumanekul., S.B. Aroonnet., and S. Djordjevic. 2004. Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding. *Journal of Hydrology*. 35: 159–172.
28. Melesse A.M. and J.D. Jorda. 2003. Spatially distributed watershed mapping and modeling, Thermal maps and vegetation Indices to enhance land cover and surface microclimate mapping; Part I. *Journal of Spatial Hydrology* 3: 325-338.
29. Mccuen, R.H. 1982. *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Method*. Prentice- Hall Inc., Englewood Cliffs, 67–97.
30. Portugués-Mollá I., X. Bonache-Felici., J.F. Mateu-Bellés., and J.B. Marco-Segura. 2016. A GIS-based model for the analysis of an urban flash flood and its hydro-geomorphic response. The Valencia event of 1957. *Journal of Hydrology* 380: 114–121.
31. Pradeep, K.B., J.A. Barry., and Y.L. James. 2006. Runoff quality analysis of urban catchments with analytical probabilistic models. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 132 (1) : 4–14.
32. Qiu, J.W., N. Li., X.T. Cheng. 2000. The simulation system for heavy rainfall in Tianjin City. *Journal of. Hydraulic Engineering*. 11: 34–42.
33. Rawat, J.S., V. Biswas and M. Kumar. 2013. Changes in land use/cover using geospatial techniques: A case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 16: 111-117.
34. Sidhu, N., M.S. Rishi., and R. Singh. 2016. Spatio-Temporal Study of the Distribution of Land Use and Land Cover Change Pattern in Chandigarh, India Using Remote Sensing and GIS Techniques. In *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment* (pp. 785-789). Springer International Publishing.
35. Wei, O.Y., B.B. Gu., F.H. Hao., H.B. Huang., J.G. Li., and Y.W. Gong. 2012. Modeling urban storm rainfall runoff from diverse underlying surfaces and application for control design in Beijing. *journal of Environment Management*. 113: 467–473.
36. Woodward, D.E., R.H. Hawkins., R. Jiang., A.T. Hjelmfelt., J.A. Van Mullem., and Q.D. Quan. 2003. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In: *Proc. ASCE Conf. Proc.*, Philadelphia, PA, vol. 118, pp. 308.
37. Yin, Z.E., S.Y. Xu., J. Yin., and J. Wang. 2010. Small-scale based scenario modeling and disaster risk assessment of urban rainstorm water-logging. *Acta Geographica Sinica*. 65 (5): 553–562.
38. Yu, D., and S.N. Land. 2006. Urban fluvial flood modeling using a two-dimensional diffusion-wave treatment: Part1 Mesh resolution effects. *Hydrological Processes*. 20(7): 1567–1583.
39. Zhang, S.H., T.W. Wang., and B.H. Zhao. 2014. Calculation and visualization of flood inundation based on a topographic triangle network. *J. Hydrol*. 509: 406–415.
40. Zhang, SH., and B. Pan. 2014. An urban storm-inundation simulation method based on GIS *Journal of Hydrology*, 517: 260–268.
41. Zhao, D.Q., J.N. Chen., and Q.Y. Tong. 2008. Construction of SWMM urban drainage network model based on GIS. *China Water Wastewater* 24 (7): 88–91.

Using USISM to Monitor Land Use Change and Its Effects on Urban Inundation (A Case Study of Damghan Urban Basin)

E. Yousefi Mobarhan¹, K. Soleimani, and G. Vahabzadeh

Assist. Professor; Soil Conservation and Watershed Management Research Institute; Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center; AREEO²; Semnan; Iran. e.yousefi.m@gmail.com

Professor of Natural Resources, Sari University of Agricultural & Natural Resources Sciences, Sari, Iran. k.solaimani@sanru.ac.ir

Associate Professor of Natural Resources, Sari University of Agricultural & Natural Resources Sciences, Sari, Iran. gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

Received: January 2020 and Accepted: June 2020

Abstract

Land use change due to human activities is one of the most important issues in regional planning and development. Damghan urban basin has in recent years undergone many changes of the sort, including intensely increased urban population, physical expansion of urban and rural settlements, and disappearance of green spaces converted into residential areas. These changes have resulted in many flooding and inundation events within the urban area. The satellite technology can be exploited to identify such changes and the areas affected. For the purposes of this study, use was made of the ETM⁺ images of 2003 and the OLI images of 2015 obtained from Landsat to calculate the inundation conditions in Damghan urban basin using the USISM method. The ETM⁺ results showed a kappa coefficient of 75% and an overall accuracy of 0.67% while those of OLI images were 80% and 0.74%, respectively. The images revealed that green spaces had been converted to residential and commercial sites at a rate of 28% in 12 years. Meanwhile, agricultural land was found to have increased during the same period but barren lands to have decreased.

Keywords: Urban watershed, USISM, Satellite data, Depression, Land use change

¹ Corresponding author: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Semnan, Iran.

² Agricultural Research, Education, and Extension Organization

Technical Remarks on Sediment Measurement at the Outlet of Small Watersheds

M. Arabkhedari[\], H. Noor, and A. A Abbasi

Assoc. Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO[†]

arabkhedri@scwmri.ac.ir

Asst. Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province,

AREEO. *h.noor@areeo.ac.ir*

Assoc. Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province,

AREEO. *ak_abbasi@yahoo.com*

Received: May 2019 and Accepted: January 2020

Abstract

Soil erosion and sedimentation measurements and evaluation of the temporal and spatial data thus obtained are crucial for advancing the knowledge on soil erosion, evaluating relevant models, and designing soil erosion experiments. Extensive temporal changes in erosion and sediment yields, particularly in small watersheds, require special technical provisions to ensure accurate records. Based on the existing records, maximum events, or even a single one (with a high return period), play an important role in altering average sediment yields in river basins. It is, therefore, necessary to collect long-term data in order to derive a reliable average value for sediment yield under natural conditions. The present paper explores such technical considerations in measuring sediment yields in small experimental watersheds. For this purpose, two simple and automatic sediment samplers and a flow divider are introduced for measuring suspended sediments. It is also shown that concrete tanks and small reservoir dams need to be constructed at the outlets of the experimental watersheds. Finally, different methods used for measuring total load (including bed and suspended loads) are described.

Keywords: Experimental watershed, Sediment measurement, Maximum event

[\] Corresponding Author: Water and Soil Conservation Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Tehran, Iran. P. O. Box: 13445-1136

[†] Agricultural Research, Education, and Extension Organization

Effect of potassium chloride topdressing on irrigated wheat in medium texture soils

A. Majidi ¹

Assistant Professor, Soil and Water Research Dept., West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center, AREEO²
Az.majidi89@gmail.com

Received: June 2019 and Accepted: October 2020

Abstract

The method potassium (K) fertilizer is applied in agricultural soils with a high K fixation capacity has a considerable effect on its use efficiency. To determine the effects of K fertilizer topdressing on irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.), experiments were performed during the years 2010, 2011, and 2013 under both field and experimental conditions in West Azerbaijan Province characterized by loamy soils as the dominant soil series with available K ($K_{ava.}$) levels below 250 mg kg⁻¹ (critical level). The experiments were arranged in a randomized complete block design with three treatments and four replications. Wheat was grown in early spring with varying topdressing K fertilizer levels (control, 100, and 200 kg ha⁻¹ KCl) applied at the stem elongation stage. The results indicated that K fertilizer had no significant effects on either grain yield or its components. K concentration and uptake by the grain and straw were not affected by the treatments in which apparent K recoveries were measured below 7%. In contrast, soil K_{ava} was significantly affected by K topdressing application. Lab tests revealed that more than 90% of the applied K fertilizer accumulated in the first six cm of the topsoil without being transferred to subsoil layers. A K fixation capacity of 45.5–54.5% with an average value of 51% was recorded for the soils in the region. Finally, it was concluded that both K sorption and fixation phenomena prevented K transfer from the surface layer to the plant root zone in the soils studied; hence, K topdressing in similar loamy soils would not be effective in meeting wheat K requirements.

Keywords: Apparent recovery, Deep penetration, Potassium fixation, Wheat

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Dept., West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Urmia, Iran

² Agricultural Research, Education, and Extension Organization

A Survey of Agronomic Management Studies Aimed at Mitigating Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils

M. Mirzaei¹, R. Mirkhani, M. Gorji Anari, and M. Shorafa

Ph.D Student, Department of Soil Science and Engineering, Tehran University, Tehran, Iran.

mirzaei.morad95@ut.ac.ir

Senior Researcher, Nuclear Agriculture School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran. *rmirkhani@aeoi.org.ir*

Professor, Department of Soil Science and Engineering, Tehran University, Tehran, Iran.

mgorji@ut.ac.ir

Professor, Department of Soil Science and Engineering, Tehran University, Tehran, Iran.

mshorafa@ut.ac.ir

Received: September 2019 and Accepted: January 2020

Abstract

A major concern in our modern world is the emission of the greenhouse gases carbon dioxide (CO₂), nitrous oxide (N₂O), and methane (CH₄) into the atmosphere and their effects on climate change. Due to their significant impacts on carbon and nitrogen dynamics, agricultural activities have both direct and indirect effects on soil greenhouse emissions. Nitrous oxide is a potent greenhouse gas with a global warming potential of 298 times that of carbon dioxide. Most N₂O emissions are agriculturally-induced, occurring due to nitrification and denitrification processes in soils and strongly affected by various environmental and soil management factors. The present review paper attempts to evaluate the capability of different agronomic management practices in mitigating nitrous oxide (N₂O) emissions from agricultural soils. Proper management of crop residues, application of new methods of conservation tillage and irrigation techniques, and inclusion of legume crops in crop rotation programs are reportedly among the measures effective in reducing nitrous oxide emissions. Moreover, the use of nitrification and urease inhibitors as well as sustained-release fertilizers to improve nitrogen use efficiency might lead to reduced nitrous oxide formation and emission. From a different perspective, the use of novel technologies to identify the sources of nitrous oxide is of great importance in the selection and application of proper farm operations aimed at preventing further greenhouse emissions. It is expected that the agronomic management strategies proposed herein might have significant contributions to reducing nitrous oxide emission from soils, abating or preventing global climate change and the associated global warming, and achieving sustainable agricultural production.

Keywords: Agriculture, Climate change, Denitrification, Global warming, Nitrification

¹ Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

Legal Challenges against the 2006 Amendment of Farm and Garden Land Use Conservation Act and the Need for its Revision

H. Esmailnasab¹

Ph.D. in Law, Mofid University of Qom, Former Senior Law Officer of Land Management Office, Babol, Iran
Hossein.esmailnasab@gmail.com

Received: September 2019 and Accepted: January 2020

Abstract

Environmental protection and natural resource conservation aimed at ensuring food security through healthy, organic food production form major items of Iran's development plans. The involvement of too many public agencies and authoritative sources has over recent years led to legal challenges hindering the realization of development and economic goals. This situation has, in turn, caused the Farm and Garden Land Conservation Act to face not only legal challenges in its implementation but, in certain cases, to conflicts with other laws. Despite its amendment in 2006, the law still requires substantial modifications and radical revisions in such areas as punitive measures for violation of law or methods to restore degraded or encroached land, and selection of trustees to carry out legal verdicts when they are approved for implementation. The present descriptive-analytical study explores the legal challenges facing the above Act and the duplicate roles and interventions by multiple government bodies. It is maintained that, as an attempt to resolve the mentioned challenges, conflicts, and parallel work, it is necessary to adopt a new approach that integrates the highly dispersed and diverse laws into a unit hole and one that grants authority to an independent institution or agency to make decisions about and to carry out law enforcement outside the urban and rural legislative units. These provisions are expected to reduce illegal land use changes and to witness proper law enforcement across the state.

Keywords: Land use change, Law, Crime, Farm & garden land

¹ . Corresponding author: Law Office, Babol, Iran.

Sustained/Controlled-Release Phosphorus Fertilizers: An Option for Enhancing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture and Abating the Environmental Hazards

N. Najafi¹

Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
n-najafi@tabrizu.ac.ir

Received: November 2019 and Accepted: October 2020

Abstract

Phosphorus (P) is a macronutrient of high consumption required by plants. Most agricultural soils around the world are poor in phosphorus and P fertilizers are used as a remedy. Not only are the fertilizers low in use efficiency but their application has also exacerbated the eutrophication of water bodies and the associated environmental pollution. This is while P fertilizers are extracted from the finite and non-renewable phosphate rock reserves, causing their rising prices over time as more P fertilizers will be needed to produce more food for the growing global population. P fertilizer management is, therefore, a key parameter in agricultural production. This is why a lot of attention has been recently paid to the application of sustained/controlled-release P fertilizers (SRF/CRF) in order to improve upon P use efficiency and plant growth at reduced environmental costs. The designation SRF/CRF is due to the lower water solubility of such fertilizers compared to conventional ones so that nutrients are supplied to plant roots over longer periods of time. Unlike SRFs, CRFs are characterized by well-controlled nutrient release rate, pattern, and duration. The methods used to manufacture P SRF include: 1) Coating the fertilizer with such materials as: a) polymers (including biodegradable polymers like chitosan, water-superabsorbent polymers, PVDC copolymers, polyolefins, polyurethanes, urea-formaldehyde resins, polyesters, and alkyd resins), b) sulfur, c) sulfur-polymers, d) organic acids, e) paraffin, f) clays, and g) fly ash; 2) Preparing SRFs from materials with a low solubility or a low mineralization rate; 3) Conversion of phosphate rock into P SRF using such different methods as partial acidification and phosphate solubilizing microorganisms; 4) Manufacturing P SRFs via nanotechnology-based techniques; 5) Producing P SRFs using phosphate-loaded layered double hydroxides, biochar, and hydrsochar; and 6) Using fly ash to manufacture SRF. The present article examines these methods and the effects of each on P use efficiency and the growth of different plants. It is generally concluded that P SRFs or CRFs improve P use efficiency and plant growth.

Keywords: Nanotechnology, Phosphorus, Slow-release fertilizer, Use efficiency

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, 5166616422, Tabriz, Iran

Sustainable Land Management to Ensure Food Security

K. Mirzashahi¹ and S. A. Ghaffarinejad

Assistant professor of Soil and Water Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Research Center, AREEO², Dezful, Iran. kamranmirzashahi@yahoo.com

Assistant professor of Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. Ma_ghaffari51@yahoo.com

Received: December 2019 and Accepted: October 2020

Abstract

The global food crisis due to the plunging production and rising prices in recent years, particularly in 2008, calls for solutions to ensure food security in most developing countries. The situation is worsened by the rising demands for food and water as consequences of the population explosion and cropland decline in these countries. By 2050, the world population is projected to rise to 9.2 billion and Iran will be one of the top 20 most populated countries in the world. According to a FAO report, agricultural production must be increased by about 70% during the years running up to 2050 in order to meet the projected food requirements. Finally, study has shown that more than 60% of the present population in Asia (particularly in South and South-West Asia) and a quarter of the African population suffer from malnutrition. The present paper explores the literature on sustainable land management and some of its components such as conservation agriculture, proper crop rotation, and proper management of soil organic content as the cornerstones of agricultural production toward food security.

Keywords: Food, Land use change, Population, Sustainable production

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Department, Safiabad Agricultural and education and Natural Research Center, AREEO, Dezful, Iran.

² Agricultural Research, Education, and Extension Organization

Evaluation of the causes of citrus decline in southern Iran and the required soil and water management strategies

Y. Hosseini¹, M. Askari Syahooaee, and J. Saleh

Soil and Water Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO², Bandar Abbas, Iran. yaaghoob.hosseini@yahoo.com

Plant Protection Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran. askarisey@gmail.com

Soil and Water Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran. jsaleh11@yahoo.com

Received: June 2019 and Accepted: January 2020

Abstract

Citrus fruits are of special economic importance; hence, the factors affecting their production need special attention. The citrus decline disorder is the cause of serious losses to the citrus industry due to the economic failure or total degradation of citrus orchards in the south of Iran. Even though the causal agents of the disorder in these regions are not yet fully known, a combination of environmental stresses and biological agents, depending on the affected region, seem to play roles in the spread of the disorder. Whatever the major causal agents, it is well established that the affected trees lose their hairy roots that are responsible for water and nutrient uptake. Drawing upon literature reports, field investigations, observational experiments, and the past experience of the present authors, the present paper proposes a number of remedial and preventive practices to mitigate, or even eradicate, the citrus decline disorder. Some of the most important strategies proposed include well managed irrigation regimes, timely application of proper fertilizers, reducing environmental stresses, orchard sanitation, and proper horticultural practices. Although such recommended practices as reducing environmental stresses may not be easily applicable under certain conditions, most seem readily practical.

Keywords: Citrus decline, Citrus Management, Plant nutrition

¹. Corresponding author: Soil and Water Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Bandar Abbas, Iran.

² 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. 2
2021**

***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
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. 2/ 2021

Subject	Page
<i>Evaluation of the causes of citrus decline in southern Iran and the required soil and water management strategies.....</i>	<i>9</i>
<i>Y. Hosseini, M. Askari Syahooae, and J. Saleh</i>	
<i>Sustainable Land Management to Ensure Food Security.....</i>	<i>10</i>
<i>K. Mirzashahi and S. A. Ghaffarinejad</i>	
<i>Sustained/Controlled-Release Phosphorus Fertilizers: An Option for Enhancing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture and Abating the Environmental Hazards.....</i>	<i>11</i>
<i>N. Najafi</i>	
<i>Legal Challenges against the 2006 Amendment of Farm and Garden Land Use Conservation Act and the Need for its Revision.....</i>	<i>12</i>
<i>H. Esmailnasab</i>	
<i>A Survey of Agronomic Management Studies Aimed at Mitigating Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils</i>	<i>13</i>
<i>M. Mirzaei, R. Mirkhani, M. Gorji Anari, and M. Shorafa</i>	
<i>Effect of potassium chloride topdressing on irrigated wheat in medium texture soils.....</i>	<i>14</i>
<i>A. Majidi</i>	
<i>Technical Remarks on Sediment Measurement at the Outlet of Small Watersheds.....</i>	<i>15</i>
<i>M. Arabkhedari, H. Noor, and A. A Abbasi</i>	
<i>Using USISM to Monitor Land Use Change and Its Effects on Urban Inundation (A Case Study of Damghan Urban Basin).....</i>	<i>16</i>
<i>E. Yousefi Mobarhan , K. Soleimani, and G. Vahabzadeh</i>	