



شاپا ۶۲۰۵-۲۳۴۵

جلد ۹ / شماره ۲ / سال ۱۴۰۰

صفحه	عنوان
۱۸۷.....	مدیریت پایدار خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای..... مراد میرزایی، منوچهر گرجی، ابراهیم مقیسه، حسین اسدی و احسان رضوی طوسی
۲۰۵.....	مروری بر پژوهش‌ها و کاربرد کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران..... هوشنگ خسروی
۲۲۱.....	معادلات و روش‌های پیش‌بینی فرسایش شخم و برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاکورزی در حوضه چهل گزی استان کردستان..... سید پدram نی‌نیوا، مهرناز شهریور و علی نجفی‌نژاد
۲۳۱.....	بررسی و ارزیابی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی زیدآباد، شهرستان سیرجان)..... عبدالرضا کاظمی نیا کرانی و ابوالفضل نژادخراسانی
۲۴۷.....	مکان‌یابی عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در عرصه‌های طبیعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نازلو چای، ارومیه)..... مرتضی مفیدی چلان، حبیب نظرنژاد و الهام محرم‌پور
۲۶۳.....	بررسی و تحلیل مذاکرات اولین دوره مجلس شورای ملی در لغو تیولداری..... عباس نوروزی
۲۷۵.....	مقایسه برتری‌ها و کاستی‌های رادیونوکلئیدهای سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷ برای ارزیابی فرسایش خاک..... فریده عباس‌زاده افشار
۲۹۱.....	تجزیه و تحلیل زمین‌نما با استفاده از تخمین گر کریجینگ (مطالعه‌ی موردی: هرمزآباد رفسنجان، استان کرمان)..... علیرضا اوجی، امیر اسلامی و عیسی اسفندیارپور بروجنی

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

جلد ۹ شماره (۲)

سال ۱۴۰۰

مدیر مسؤول: دکتر هادی اسدی رحمانی رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب

سر دبیر: دکتر حسین بشارتی استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

دکتر فرهاد مشیری
مهندس فاطمه آقاجانی
دو شماره

مدیر داخلی:
صفحه آرایی:
تعداد انتشار در سال:

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

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

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی - کد پستی ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵
تلفن و نمابر: ۰۲۶ ۳۶۳۲۰۱۶۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- مدیریت پایدار خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای.....۱۸۷
 مراد میرزایی، منوچهر گرجی، ابراهیم مقیسه، حسین اسدی و احسان رضوی طوسی
- مروری بر پژوهش‌ها و کاربرد کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران.....۲۰۵
 هوشنگ خسروی
- معادلات و روش‌های پیش‌بینی فرسایش شخم و برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاکورزی در حوضه چهل گزی
 استان کردستان.....۲۲۱
 سید پدرام نی‌نیوا، مهرناز شهرپور و علی نجفی‌نژاد
- بررسی و ارزیابی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل زنجیره مارکوف
 (مطالعه موردی زیدآباد، شهرستان سیرجان).....۲۳۱
 عبدالرضا کاظمی نیا کرانی و ابوالفضل نژادخراسانی
- مکان‌یابی عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در عرصه‌های طبیعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نازلو چای، ارومیه).....۲۴۷
 مرتضی مفیدی چلان، حبیب نظرنژاد و الهام محرم‌پور
- بررسی و تحلیل مذاکرات اولین دوره مجلس شورای ملی در لغو تیولداری.....۲۶۳
 عباس نوروزی
- مقایسه برتری‌ها و کاستی‌های رادیونوکلئیدهای سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷ برای ارزیابی فرسایش خاک.....۲۷۵
 فریده عباس‌زاده افشار
- تجزیه و تحلیل زمین‌نما با استفاده از تخمین گر کریجینگ (مطالعه‌ی موردی: هرمزآباد رفسنجان، استان کرمان).....۲۹۱
 علیرضا اوجی، امیر اسلامی و عیسی اسفندیارپور بروجنی

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...

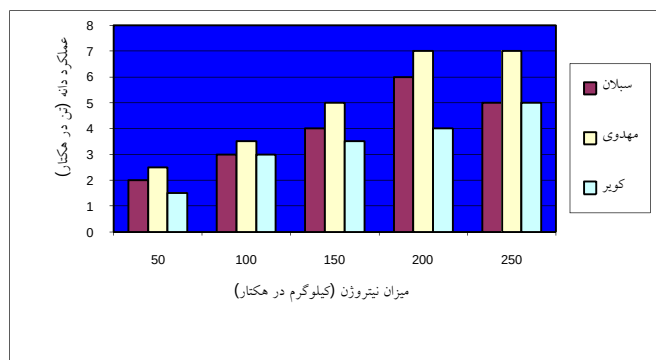
جدول نامناسب

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

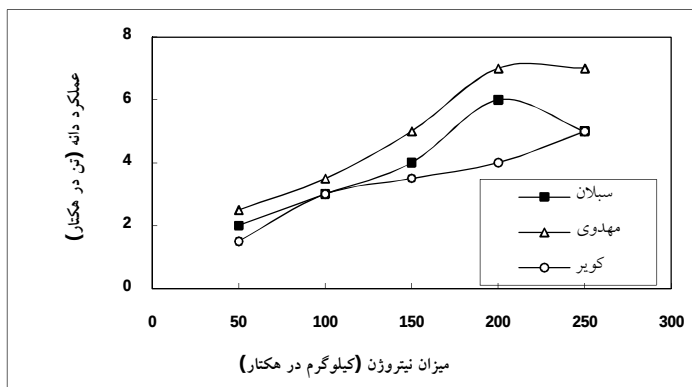
جدول مناسب

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 حسین اسدی.....	۸ داوری
دکتر حسین بشری.....	۱ داوری
دکتر احمدعلی پوربابایی.....	۲ داوری
دکتر نورایر تومانیان.....	۲ داوری
دکتر محمدعلی حاج عباسی.....	۱ داوری
دکتر امیرمحمد دلاور.....	۱ داوری
دکتر ناصر دواتگر.....	۳ داوری
دکتر محسن رفعتی.....	۱ داوری
دکتر علی زین الدینی.....	۲ داوری
دکتر سیده شکیبا شاهمرادی.....	۲ داوری
دکتر محسن شکل آبادی.....	۱ داوری
دکتر حسینعلی علیخانی.....	۱ داوری
دکتر حمید قیومی محمدی.....	۳ داوری
دکتر منوچهر گرجی.....	۱ داوری
دکتر پرویز گرشاسبی.....	۱ داوری
دکتر فرهاد مشیری.....	۱ داوری
دکتر جهانبخش میرزاوند.....	۱ داوری
دکتر میرناصر نویدی.....	۶ داوری
دکتر علیرضا واعظی.....	۱ داوری

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

مدیریت پایدار خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

مراد میرزایی، منوچهر گرجی^۱، ابراهیم مقیسه، حسین اسدی و احسان رضوی طوسی

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران. Mirzaei.Morad95@ut.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران. mgorji@ut.ac.ir

استادیار پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای. emoghiseh@aeoi.org.ir

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران. ho.asadi@ut.ac.ir

استاد گروه علوم میکروبی، خاک و گیاه، دانشگاه ایالتی میشیگان، میشیگان، ایالات متحده. ertoosi@gmail.com

دریافت: آذر ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای اثرات جبران‌ناپذیری بر تغییر اقلیم، محیط‌زیست و سلامت بشر دارد. دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و نیتروژاکساید (N_2O) گازهای گلخانه‌ای اصلی هستند. فعالیت میکروبی، تنفس ریشه، فرآیندهای تجزیه شیمیایی و همین‌طور تنفس هتروترافی موجودات خاک منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای در خاک‌ها می‌گردند. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای متأثر از عوامل گوناگون محیطی و مدیریتی است. جریان کربن از خاک به اتمسفر به‌صورت دی‌اکسید کربن ناشی از تنفس و سایر فعالیت‌های موجودات زنده خاک است. نیتروژاکساید از طریق فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون و متان با فرآیند متانوژنز میکروبی تحت شرایط غیرهوازی تولید می‌شود. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از روش‌های گوناگونی اندازه‌گیری می‌شود که متداول‌ترین نوع آن روش اتاقک بسته است. مدیریت صحیح خاک‌های کشاورزی پتانسیل قابل‌توجهی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. به‌کارگیری تناوب زراعی، استفاده از محصولات پوششی، اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، نگهداری بقایای محصولات و پرهیز از سوزاندن یا حذف نمودن آن‌ها، از جمله روش‌های مدیریتی مناسب جهت کاهش انتشار دی‌اکسید کربن از خاک هستند. راه‌کارهایی از قبیل مدیریت بهتر نیتروژن از طریق کاربرد به‌موقع کودهای نیتروژنی و متناسب با مقدار نیاز محصول و تقسیم آن‌ها در مراحل گوناگون رشد گیاه، گنجانیدن محصولات لگوم در تناوب زراعی، مدیریت مناسب بقایای گیاهی، استفاده از کودهای آهسته رهش و مصرف مواد بازدارنده نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون باعث کاهش انتشار نیتروژاکساید از خاک می‌گردند. کاهش انتشار متان نیز از طریق زهکشی شالیزارها به‌منظور ایجاد تهویه مناسب برای اکسیداسیون متان و تجزیه بقایای گیاهی قبل از غرقاب شدن از طریق خاک‌ورزی یا تبدیل آن‌ها به کمپوست امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، کشاورزی حفاظتی، گرمایش جهانی، دی‌اکسید کربن، متان، نیتروژاکساید

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

مقدمه

تغییر اقلیم، دگرگونی در ویژگی‌های جوی در نتیجه فعالیت‌های طبیعی و مصنوعی طی دوره طولانی از زمان است و اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). فعالیت‌های بشر در حال تغییر ترکیب شیمیایی اتمسفر است که نتیجه آن گرمایش جهانی بین ۰/۳ و ۴/۸ درجه سلسیوس تا پایان این قرن و پیش‌بینی رخدادهای بارشی شدید است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳). تغییر اقلیم می‌تواند ضمن ایجاد تغییرات فضایی و زمانی دما و بارش (سینویرانته و همکاران، ۲۰۱۲) موجب افزایش غلظت جهانی گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای هوا و تغییر الگوهای بارشی و همچنین منجر به تغییر کاربری اراضی گردد (گالوای و همکاران، ۲۰۰۸). این عوامل، با اثرگذاری قوی بر چرخه کربن و نیتروژن و فرآیندهای تبادل گازهای گلخانه‌ای بین زمین و اتمسفر، وضعیت زیست‌بوم‌های خشکی را تغییر می‌دهند (گریچ و همکاران، ۲۰۱۶). در طی چند دهه گذشته تغییر قابل توجهی در ترکیب گازی اتمسفر زمین ایجاد شده است که بیش‌تر در نتیجه افزایش استفاده از انرژی در بخش‌های کشاورزی و صنعتی است که از جمله آن جنگل‌زدایی، کشت‌وکار فشرده، تغییر کاربری اراضی، عملیات مدیریتی و غیره است. این فعالیت‌ها منجر به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و نیتروژاکساید (N_2O) است که به‌عنوان گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شوند و باعث تغییرات در پارامترهای مرتبط با اقلیم در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌شود (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹).

فعالیت‌های کشاورزی از قبیل کاشت محصول، آبیاری، دامپروری و سایر فعالیت‌ها منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تغییر اقلیم می‌شود (یاداو و همکاران، ۲۰۱۷). در طی ۲۵۰ سال گذشته، دی‌اکسید کربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی و به دنبال آن متان و نیتروژاکساید است (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹). سهم فعالیت‌های کشاورزی، تخریب جنگل‌ها و تغییر

کاربری اراضی از انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای ۲۴ درصد برآورد شده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). اثر تغییر اقلیم زنگ خطری در مورد استفاده از کودهای شیمیایی و کارایی استفاده از آن‌ها، نگهداری کربن آلی، فرسایش خاک و غیره است که باعث خشکسالی‌ها و سیل‌های شدید شده و اراضی قابل کشت را کاهش می‌دهد (یاداو و همکاران، ۲۰۱۸). این همچنین دارای اثرات ناسازگاری بر ویژگی‌های خاک از قبیل کاهش کیفیت و کمیت کربن آلی، افزایش هدررفت گازی نیتروژن به خاطر افزایش دما است (پائاک، ۲۰۱۵). اگرچه خاک سهم عمده-ای در انتشار گازها در بخش کشاورزی دارد، ولی مدیریت پایدار خاک می‌تواند علاوه بر کاهش قابل توجه گازهای گلخانه‌ای و افزایش ذخیره کربن، باعث بهبود حاصلخیزی و باروری، افزایش زی‌گونی (تنوع زیستی) خاک، کاهش فرسایش، رواناب و آلودگی آب‌وهوا و محافظت سامانه‌های تولید محصول و چراگاه‌ها در برابر اثرات تغییر اقلیم گردد (اسمیث، ۲۰۱۲).

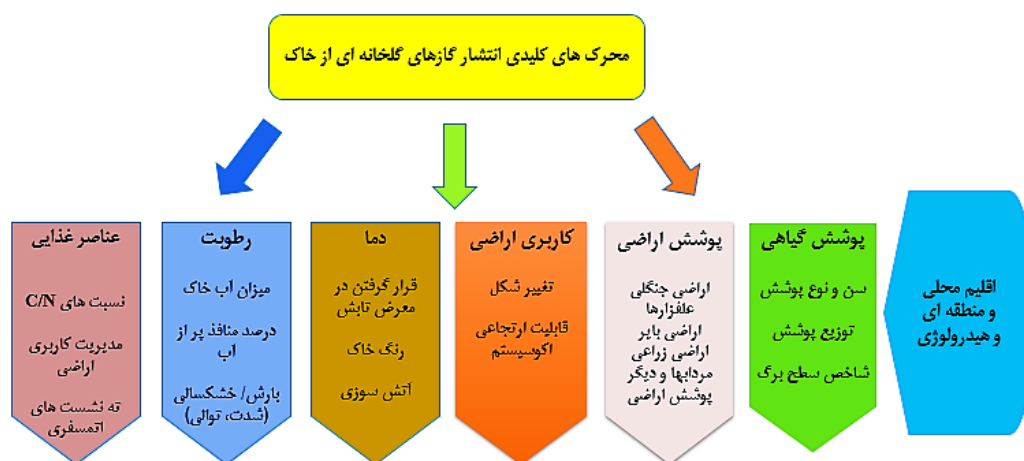
در میان ابزارهای گوناگون جهت کاهش تغییر اقلیم، خاک یک عنصر کلیدی است و نیاز است که از منظر زیست‌محیطی توجه ویژه‌ای به آن شود (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹). رفع چالش‌هایی از قبیل تأمین مواد غذایی برای جمعیت در حال رشد و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی، نیازمند توجه جدی و به‌کارگیری روش‌های نوین مدیریت مطلوب خاک، به‌عنوان زیربنای کشاورزی پایدار، است (گارنت و همکاران، ۲۰۱۳). خاک یک مؤلفه مهم و اساسی زیست‌بوم‌های خشکی برای زندگی پایدار روی زمین است. مدیریت پایدار خاک‌های زیست پذیر (و از جمله کشاورزی) علاوه بر بهبود کارکرد زیست‌بوم‌های خشکی و تولید غذا و پوشاک، توان قابل توجهی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعدیل تغییر اقلیم دارند (پائوستیان و همکاران، ۲۰۱۶). طبق آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت محصولات زراعی در ایران ۱۲ میلیون هکتار بوده که سطح مربوط به غلات ۷۱/۲ درصد، حبوبات ۷/۱ درصد، محصولات صنعتی ۵/۴ درصد،

گازهای گلخانه‌ای با استفاده از مدیریت مطلوب خاک تهیه گردید.

گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر در انتشار آن‌ها از خاک

دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و نیتروژاکساید (N_2O) گازهای گلخانه‌ای اصلی هستند. فعالیت میکروبی، تنفس ریشه، فرایندهای تجزیه شیمیایی و همین‌طور تنفس هتروتروپی موجودات خاک منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای می‌گردد (چاپوس-لاردی و همکاران، ۲۰۰۷). میزان انتشار این گازها تا حد زیادی بستگی به میزان رطوبت، دما، فراهمی عناصر غذایی و واکنش شیمیایی خاک (لودویگ و همکاران، ۲۰۰۱) و نیز عوامل مربوط به پوشش سطح زمین دارد؛ بنابراین اطلاعات اقلیم‌شناسی و مدیریت کاربری اراضی در این زمینه ضروری است. این عوامل می‌توانند به دودسته تقسیم‌بندی شوند. دسته اول، عواملی که به‌طور مستقیم بر انتشار گازها از محیط تأثیر می‌گذارند (مانند اقلیم منطقه و نوع خاک) و دسته دوم، عواملی که بر انتشار گازها در مقیاس‌های بزرگ‌تر تأثیر می‌گذارند (مانند دما و رطوبت) (روبرتسون، ۱۹۸۹) (شکل ۱).

سبزی‌ها ۴/۵ درصد، محصولات جالیزی ۲/۳ درصد، نباتات علوفه‌ای ۸/۸ درصد و سایر محصولات ۰/۷ درصد بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین سطح زیرکشت مراتع و جنگل‌ها نیز به ترتیب ۸۴/۸ و ۱۴/۳ میلیون هکتار است (عبادزاده و همکاران، ۱۳۹۹). در بسیاری از نقاط کشور روش‌های مرسوم در کشاورزی از قبیل کشت و کار فشرده، چرای بی‌رویه دام، عدم رعایت تناوب صحیح زراعی، سوزاندن و خارج نمودن بقایای محصول پس از برداشت و استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی رایج است که تمامی این عوامل منجر به تخریب خاک و انتشار قابل توجه گازهای گلخانه‌ای می‌شود. از طرفی خاک‌های کشاورزی در وضعیت نامطلوبی از نظر میزان مواد آلی، حاصلخیزی و فرسایش‌پذیری قرار دارند. با توجه به وسعت اراضی در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی ایران و قابلیت مدیریت صحیح خاک‌ها در ترسیب کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مقاله حاضر با هدف ارائه اطلاعات لازم در مورد گازهای گلخانه‌ای از قبیل معرفی و شناخت عوامل مؤثر بر فرایندهای تولید آن‌ها، منشأ و مخازن گازهای گلخانه‌ای و روش‌های اندازه‌گیری این گازها و همچنین راه‌کارهای کاهش انتشار



شکل ۱- عوامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک (عورتل و همکاران، ۲۰۱۶)

با یک و برای CH_4 و N_2O برابر با ۲۵ و ۲۹۸ است. GWP بر اساس افق زمانی ۱۰۰ ساله محاسبه می‌شود. به بیان دیگر و به عنوان مثال، GWP برای یک واحد CH_4 و یک واحد N_2O به ترتیب برابر با ۲۵ و ۲۹۸ برابر CO_2 است.

$$\text{GWP} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4 \times 25 + \text{N}_2\text{O} \times 298 \quad (1)$$

میزان اثرگذاری گازهای گلخانه‌ای به عنوان پتانسیل گرمایش جهانی^۱ (GWP) بیان می‌شود که سهم یک توده معین از گازهای گلخانه‌ای در گرم شدن جهانی است (جدول ۱). GWP برای یک دوره زمانی خاص محاسبه می‌شود و بستگی به جذب اشعه مادون قرمز توسط یک گونه معین، موقعیت طیفی از طول موج‌های جذب شده و طول عمر گونه‌ها در جو دارد؛ بنابراین GWP برای CO_2 برابر

جدول ۱- پتانسیل گرمایش جهانی برای گازهای گلخانه‌ای اصلی ناشی از عملیات کشاورزی (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷)

گاز گلخانه‌ای	زمان اقامت در اتمسفر (سال)	پتانسیل گرمایش جهانی		
		سال ۲۰	سال ۱۰۰	سال ۵۰۰
دی‌اکسید کربن (CO_2)	متغیر	۱	۱	۱
متان (CH_4)	۱۲	۷۲	۲۵	۸
نیتروژن اکساید (N_2O)	۱۱۴	۲۸۹	۲۹۸	۱۵۳

کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و عملیات مزرعه‌ای نیز منشأ انتشار آن‌ها و گرمایش جهانی است. جدول ۲ داده‌های مربوط به کربن تولید شده از بخش‌های گوناگون کشاورزی را نشان می‌دهد. در سطح جهانی، دی‌اکسید کربن بین اتمسفر، اقیانوس و سنگ‌کره در چرخش است. اتمسفر شامل ۷۸۵ گیگا تن کربن به صورت دی‌اکسید کربن که برابر با تقریباً ۱۵ تن کربن برای هر هکتار از اراضی روی زمین است. مقدار کل دی‌اکسید کربن تبادل یافته بین سطح زمین و اتمسفر تقریباً ۱۲۰ گیگاتن کربن در سال است. نیمی از این مقدار از طریق تنفس گیاهان تبادل می‌شود (منا و همکاران، ۲۰۱۷).

در دهه ۱۹۰۰ تغییرات کاربری اراضی و مدیریتی منجر به رشد ۳۹-۶ درصدی انتشار دی‌اکسید کربن گردید. درحالی‌که تبدیل زیست‌بوم (اکوسیستم) های طبیعی و کشاورزی منجر به تخلیه ۶۰ درصدی مخزن دی‌اکسید کربن در نواحی معتدل و ۷۵ درصدی در خاک‌های کشت شده در نواحی استوایی گردید (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹). بنی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاربری اراضی و عملیات مدیریتی نقش بزرگ‌تری در انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به احتراق سوخت‌های فسیلی تا

منشأ انتشار دی‌اکسید کربن از خاک‌های کشاورزی

عوامل اصلی افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفری، سوخت‌های فسیلی (۹/۳ پتاگرم^۲ کربن در اتمسفر یا ۹۱ درصد) و تغییر کاربری اراضی (تقریباً یک پتاگرم کربن در اتمسفر یا ۹ درصد) هستند که هر دو در نتیجه فعالیت‌های بشر می‌باشند. به هر حال، تنها ۴/۵ پتاگرم کربن (یا ۴۴ درصد) این انتشارات سالیانه در اتمسفر تجمع می‌یابد، درحالی‌که اراضی و اقیانوس ۳/۱ و ۲/۶ پتاگرم (به ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصد) کربن در اتمسفر را جذب می‌کنند (لی‌کور و همکاران، ۲۰۱۶). در کشاورزی، عملیات مدیریت خاک از قبیل خاک‌ورزی، کاربری اراضی، کاربرد کودهای شیمیایی و دامی، سوزاندن بقایا و غیره منجر به تولید دی‌اکسید کربن می‌گردد. این عملیات، تجزیه ماده آلی خاک را تحریک می‌کنند و منجر به آزادسازی گاز دی‌اکسید کربن می‌شوند. عملیات خاک‌ورزی باعث شکسته شدن خاکدانه‌های خاک شده و باعث تجزیه سریع‌تر ماده آلی می‌گردد (میتچل و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از سوخت‌های فسیلی در عملیات گوناگون کشاورزی و همین‌طور سوزاندن بقایای گیاهی منشأ دیگر انتشار کربن به اتمسفر می‌باشند. تولیدات برون مزرعه‌ای دی‌اکسید کربن در طی ساخت

^۱ -Global Warming Potential (GWP)

^۲ - Petagram

برابر مخزن زیستی (۵۶۰ گیگاتن) است. ذخیره کربن آلی خاک در عمق یک متر دامنه‌ای از ۸۰۰ تن در هکتار در خاک‌های آلی تا ۳۰ تن در هکتار در یک اقلیم خشک با یک متوسط مقدار ۱۵۰-۵۰ تن در هکتار است.

ابتدای قرن بیستم داشتند. بر طبق گزارش‌ها هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، مخزن جهانی کربن آلی خاک ۲۵۰۰ گیگاتن است که شامل ۱۵۵۰ گیگاتن کربن آلی خاک و ۹۵۰ گیگاتن کربن معدنی خاک است. مخزن کربن آلی خاک ۳/۳ برابر، بزرگ‌تر از مخزن اتمسفری (۷۶۰ گیگاتن) و ۴/۵

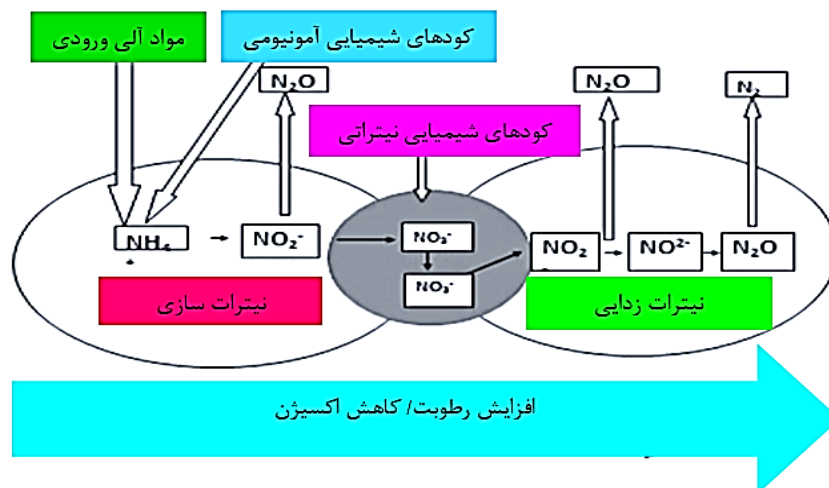
جدول ۲- کربن انتشار یافته توسط ورودی‌ها و عملیات گوناگون کشاورزی (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹)

ورودی‌ها	(پیریتی و همکاران، ۲۰۰۳)	(لال، ۲۰۰۴)
مواد شیمیایی	کیلوگرم کربن / کیلوگرم	کیلوگرم کربن / کیلوگرم
نیتروژن	۰/۹۸-۱/۵۷	۰/۹-۱/۸
فسفر	۰/۱۱-۰/۱۷	۰/۱-۰/۳
پتاسیم	۰/۱-۱/۱۵	۰/۱-۰/۲
آهک	-	۰/۰۳-۰/۲۳
آفت‌کش‌ها	کیلوگرم کربن / کیلوگرم	کیلوگرم کربن / کیلوگرم
علف‌کش‌ها	۳/۵۷-۵/۷۱	۶/۳
قارچ‌کش‌ها	۱/۳۸-۲/۲۱	۳/۹
حشره‌کش‌ها	۲/۹۹-۴/۴۸	۵/۱
عملیات کشاورزی	-	لال (۲۰۰۴)
یک‌بار پاشیدن (بذرپاشی، سم‌پاشی و ...)	-	۱-۱/۴
عملیات خاک‌ورزی	-	۲-۲۰
بذرپاشی	-	۲-۴
برداشت با کمباین	-	۶-۱۲
خاک‌ورزی مرسوم	-	۳۵/۳
کم خاک‌ورزی	-	۷/۹
بی خاک‌ورزی برای آماده‌سازی بستر بذر	-	۵/۸
آبیاری بارانی	-	۱۲۹

منشأ انتشار نیتروژن اکساید از خاک‌های کشاورزی

فرآیندهای نیترات‌سازی و نیترات‌زدایی مسئول حدود ۸۷ درصد انتشار سالیانه نیتروژن اکساید است که سهم خاک‌های طبیعی ۳۵ درصد، کشاورزی ۲۷ درصد و اقیانوس‌ها ۲۵ درصد است (ساکایلا و کروزه، ۲۰۱۱)، منشأهای غیرزیستی (احتراق سوخت، سوزاندن زیست‌توده و فرآیندهای صنعتی) مسئول ۱۳ درصد باقیمانده است. فراهمی نیتروژن معدنی به‌عنوان عامل اصلی برای این فرآیندها است که از طریق کاربرد کودهای شیمیایی سنتزی و آلی صورت می‌گیرد (شکل ۲). بزرگ‌ترین منشأ انتشار نیتروژن اکساید مربوط به کودهای شیمیایی است که منجر به

انتشار مستقیم ۷۷ درصدی این گاز گلخانه‌ای می‌شود (پاٹاک، ۲۰۱۵). شش درصد انتشار مصنوعی گازهای گلخانه‌ای نیتروژن اکساید است و به میزان ۰/۲۵ درصد در سال در حال افزایش است. بر طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (۱۹۹۶) دامنه انتشار نیتروژن اکساید از ۱۴/۷ تا ۱۷/۷ تراگرم نیتروژن اکساید در سال است. بیش از ۵۰ درصد مقادیر انتشار نیتروژن اکساید، از کشاورزی، سوزاندن زیست‌توده و بقایای گیاهی است. اراضی کوددهی شده منجر به ۳/۳ تراگرم نیتروژن اکساید در سال و ۱/۴ تراگرم نیتروژن اکساید-نیتروژن در سال در سطح جهانی می‌شود (استهفست و بومن، ۲۰۰۶).



شکل ۲- مسیرهای انتشار نیتروژن اکساید (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹)

منشأ انتشار متان از خاک‌های کشاورزی

غلظت‌های اتمسفری متان در طی ۲۰۰ سال گذشته دو برابر شده است که بیش‌تر به دلیل فعالیت‌های بشر از قبیل کشت‌وکار برنج غرقابی، تخمیر روده‌ای حیوانات نشخوارکننده، سوزاندن بقایای گیاهی و کوددهی است (شکل ۳). متان تحت شرایط غیرهوازی در طی تجزیه میکروبی ماده آلی خاک همراه با ایجاد شرایط مطلوب از قبیل غرقاب مداوم و فراهم بودن مقدار زیاد کربن و کاربرد

کود دامی تازه در خاک‌های مرطوب تولید می‌گردد. در مقیاس جهانی سهم متان در پتانسیل گرمایش جهانی حدوداً ۱۶ درصد است و از زمان دوره‌های قبل از صنعتی شدن سهم آن سه برابر شده است و در حال حاضر ثابت بوده و یا روند نزولی دارد. انتشار متان از کشت و کار برنج به‌طور فزاینده‌ای، متفاوت است (سوفی و همکاران، ۲۰۱۸) و دامنه‌ای از ۳۹ تا ۱۱۲ تراگرم متان در سال را دارا است (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۳- سهم نسبی بخش‌های گوناگون کشاورزی در انتشار گاز گلخانه‌ای متان (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹)

فرآیندهای مسئول انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک

فرآیندهای گوناگونی وجود دارند که منجر به انتشارات گازهای گلخانه‌ای از خاک به اتمسفر می‌شوند. جریان کربن از خاک به اتمسفر به‌صورت CO_2 است که

در نتیجه تنفس خاک بوده و منجر به بزرگ‌ترین منشأ خشکی CO_2 به اتمسفر می‌گردد (رایچ و توفیکسیوگل، ۲۰۰۰) (جدول ۳). تولید CO_2 در خاک‌های غیرآهکی تقریباً به‌طور کامل ناشی از تنفس اتوتروپی (تنفس ریشه،

خاطر دنیتریفیکاسیون از اراضی کوددهی شده اتفاق می‌افتد (گریچ و همکاران، ۲۰۱۶).

نیتریفیکاسیون در خاک‌ها همچنین مسئول تولید و مصرف اکسیدهای نیتروژن (NO و N_2O) است. در طی این فرآیند، آمونیوم (NH_4^+) به نیترات (NO_3^-) اکسیده می‌شود و هیدروکسیلامین و NO_2^- به‌عنوان ترکیبات بینابینی ضروری تولید می‌شود. نیتریفیکاسیون در خاک‌ها ناشی از یک دامنه وسیعی از ریزجانداران است. NO و N_2O فرآورده‌های این فرآیند هستند و زمانی که شرایط برای اکسیداسیون بیشتر به NO_3^- مهیا نباشد، تولید می‌شوند (باگز، ۲۰۰۸). در کل، انتشار نیتریک اکسید (NO) همراه با فرآیندهای نیتریفیکاسیون و انتشار N_2O همراه با فرآیندهای دنیتریفیکاسیون است. متان به‌وسیله متانوژن میکروبی تحت شرایط غیرهوازی تولید می‌شود درحالی‌که اکسیداسیون خالص متان اتمسفری به‌وسیله باکتری‌ها در خاک‌های هوازی اتفاق می‌افتد (ساری و همکاران، ۱۹۹۷) و افزایش غلظت متان اتمسفری و گرمایش جهانی را تعدیل می‌کند (ساینوس و همکاران، ۲۰۱۶). به‌طورکلی، اگر اکسیژن موجود نباشد و ماده آلی خاک کافی به‌عنوان منبع انرژی قابل دسترس باشد متان به‌وسیله متانوژن‌ها در خاک‌ها تشکیل می‌شود (گامبریل، ۱۹۷۸). این موجودات بی‌هوازی اجباری و نیازمند شرایط خیلی احیایی برای رشد هستند (سیسرون و عوریملند، ۱۹۸۸)؛ بنابراین زیست‌بوم‌های اشباع از آب منشأهای عمده برای انتشار متان اتمسفری می‌باشند (ساینوس و همکاران، ۲۰۱۶). انتشار خالص متان در پتانسیل‌های احیایی پایین اتفاق می‌افتد که تولید متان به‌وسیله متانوژن‌ها بیشتر از مصرف به‌وسیله متانوتروف‌ها است (گریچ و همکاران، ۲۰۱۶).

قارچ میکوریزا و میکروب‌های زنده روی ترشحات و تنفس هتروتروپی از قبیل تنفس ریزجانداران هتروتروف تجزیه‌کننده ماده آلی خاک است (هوگبرگ و همکاران، ۲۰۰۱). سهم هر بخش تنفسی از ۱۰ تا ۹۰ درصد تنفس کل خاک متغیر است (هانسون و همکاران، ۲۰۰۰). انتشار نیتروزاکساید به شدت بستگی به فعالیت فرآیندهای میکروبی بازیافت نیتروژن از قبیل نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون دارد که طی آن N_2O به‌عنوان یک ترکیب بینابینی اختیاری یا اجباری تولید می‌شود (بوترباخ-بال و همکاران، ۲۰۰۴) و با آزمایش‌هایی ازجمله استفاده از بازدارنده‌ها، ردیاب‌های ^{15}N و سایر روش‌ها اثبات شده است (لی و همکاران، ۲۰۰۰). درحالی‌که نیتریفیکاسیون تحت شرایط هوازی اتفاق می‌افتد، دنیتریفیکاسیون تحت شرایط غیرهوازی اتفاق می‌افتد و منجر به انتشار مقادیر گازهای N_2 و N_2O می‌شود. تولید این محصولات بستگی به شرایط زیست‌محیطی محلی در خاک دارد (دیویدسون، ۱۹۹۲). دنیتریفیکاسیون در خاک‌ها هنگامی اتفاق می‌افتد که شرایط زیست‌محیطی برای تخریب هوازی ماده آلی نامطلوب است. دنیتریفیکاسیون توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها با استفاده از ترکیبات نیتروژن اکسیدشده (نیترات یا نیتريت) به‌عنوان پذیرنده نهایی الکترون در نبود اکسیژن اتفاق می‌افتد (بوترباخ-بال و همکاران، ۲۰۱۳) و این فرآیند با توزیع مکانی و زمانی بالایی همراه است. این مسیر نیازمند تخلیه اکسیژن، فراهمی اکسیدهای نیتروژن و فراهمی سوبسترای کربن به‌آسانی تجزیه‌پذیر است (بوترباخ-بال و همکاران، ۲۰۱۲). گزارش شده است که موقعی که خاک‌ها به خاطر بارش سنگین یا آبیاری، اشباع و کاهش پخشیدگی اکسیژن در خاک‌ها ایجاد می‌شود، هدررفت قابل‌توجه N_2O به

جدول ۳- فرآیندهای آزادسازی و جذب گازهای گلخانه‌ای از خاک (زیچمیستر-بولنسترن و همکاران، ۲۰۱۸)

گازهای گلخانه‌ای	آزادسازی	جذب
دی‌اکسید کربن	تنفس هتروتروپی و اتوتروپی خاک	تثبیت کربن در ماده آلی خاک
متان	متانوژن (اراضی ماندابی، شالیزارها)	متانوتروپی (اراضی بالادست به‌ویژه جنگل‌ها)
نیتروزاکساید	دنیتریفیکاسیون و نیتریفیکاسیون (اراضی پیت زهکشی شده و کوددهی شده، اراضی زراعی، علفزارهای چرا شده/ کوددهی شده)	احیاء نیتروزاکساید (خاک‌های غرقاب شده، خاک‌های خیلی خشک)

روش‌های اندازه‌گیری و برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک

به‌طورکلی انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک به‌صورت مستقیم در هر دو شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی (روش‌های اتاقک^۱ و روش‌های ریز هواشناسی^۲) اندازه‌گیری می‌شوند و از طریق اندازه‌گیری‌های فضایی^۳ و هوایی^۴ به دست می‌آیند و با استفاده از مدل‌های تجربی و فرآیندی نیز محاسبه می‌شوند (عورتل و همکاران، ۲۰۱۶). روش اتاقک بسته به‌طور وسیعی در مطالعات انتشار خاک CO_2 ، CH_4 ، N_2O و NO استفاده می‌گردد (سیمک و همکاران، ۲۰۱۴). یک جعبه یا سیلندر در درون خاک جایگذاری شده به این صورت که بخشی از پایه آن به سمت زمین باز است (شکل ۴a). گازهای انتشاریافته در دهانه اتاقک تجمع می‌یابند. نسبت گازهای انتشار یافته می‌تواند با حسگرهای گوناگون گاز از قبیل کروماتوگرافی گازی (CH_4 و N_2O ، CO_2)، اندازه‌گیری شود. جریان تمام گازها از خاک می‌تواند به‌وسیله رگرسون خطی و غیرخطی (نمایی) با استفاده از شیب تغییر غلظت داخل اتاقک محاسبه گردد (کریستیانسن و همکاران، ۲۰۱۱). کار کردن با مدل خطی آسان بوده و برای زمان‌های کوتاه‌مدت که برای CO_2 ایده‌آل است، بهتر عمل می‌کند (فوربریچ و همکاران، ۲۰۱۰). روش eddy covariance یک روش ریز هواشناسی مستقیم است. این روش تلاطم‌های عمودی را برای آنالیز تبادل گاز بین سطح خاک و اتمسفر استفاده می‌کند (لایونیانین و همکاران، ۲۰۰۵). یک فشارسنج اولتراسونیک سه‌بعدی و یک آنالیزر گاز متصل به یک برج یا دکلی با ارتفاع دو متر برای این روش نیاز است (مایکلیباست و همکاران، ۲۰۰۸) (شکل ۴b). گازهای متداول اندازه‌گیری شده با این روش CO_2 ، CH_4 و N_2O است (نیکولینی و همکاران، ۲۰۱۳). اندازه‌گیری‌ها ممکن است به‌طور پیوسته انجام شود و مساحت‌های بیش از

چندین کیلومتر مربع را شامل شود (مایکلیباست و همکاران، ۲۰۰۸).

اگر هدف اندازه‌گیری، بررسی تأثیر یک شاخص مجزا (برای مثال دمای خاک یا فراهمی عناصر غذایی) بر میزان انتشار گاز از خاک باشد، از روش‌های آزمایشگاهی استفاده می‌گردد. به این منظور شاخص مورد نظر تغییر یافته درحالی‌که بقیه شاخص‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شوند (شافلر و همکاران، ۲۰۱۰). با این روش می‌توان خاک‌های نواحی اقلیمی گوناگون را تحت شرایط دما و رطوبت کنترل شده بررسی نمود (شافلر و همکاران، ۲۰۱۰). اندازه‌گیری‌های فضایی شامل سنجش‌ازدور ممکن است که اطلاعاتی در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک را به دو روش گوناگون ارائه نماید. یک روش تخمین غلظت‌های تروپوسفری گازهای CH_4 و CO_2 براساس اندازه‌گیری شدت نور خورشید منعکس‌شده در باندهای طول‌موج کوتاه است (شکل ۴c). نقشه‌برداری توزیع مکانی و تغییر انواع پوشش اراضی که منشأ و مخزن برای CH_4 و CO_2 را نشان می‌دهد، یک روش جایگزین برای برآورد مستقیم غلظت گازهای گلخانه‌ای توسط سامانه‌های سنجش‌ازدور است. ولی هنوز عدم قطعیت‌های زیادی در مطابقت مکانی نواحی و توزیع انواع پوشش اراضی مربوطه (برای مثال اراضی علفزار، جنگل، بایر، زراعی و ماندابی) و ذخایر کربن جهانی وجود دارد (پفلوگماچ و همکاران، ۲۰۱۱). روش‌های هوایی از نمونه‌برداری مستقیم برای جمع‌آوری نمونه‌ها از ترانسکت و برای انواع گوناگون کاربری اراضی یا از محیط‌های نزدیک سطحی تا ارتفاعات بالای تروپوسفری استفاده می‌کند. اندازه‌گیری‌های هوایی داده‌هایی را تنها در طی دوره زمانی کوتاه و با فواصل مکانی متداول ۱۰-۱۰۰ کیلومتر ارائه می‌دهند (پاتی و همکاران، ۲۰۰۷). از آنجایی‌که اندازه‌گیری‌ها تنها داده‌های مربوط به یک‌زمان مشخص را تولید می‌کنند، شبیه‌سازی انتشار

⁴ - Airborne measurements

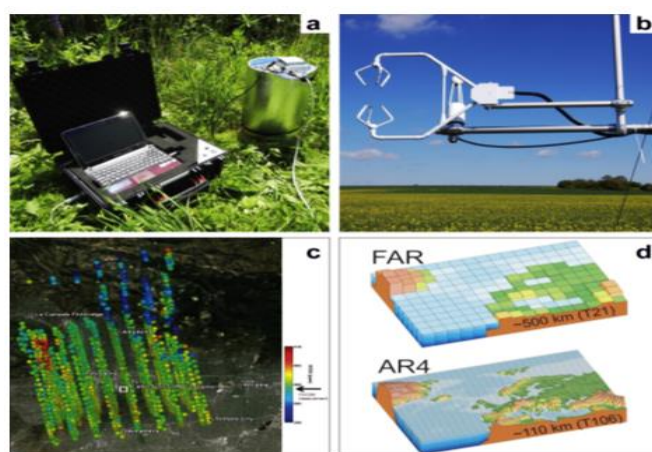
¹- Chamber Techniques

² Micrometeorological Methods

³- Spaceborne measurements

روزانه، نیتریفیکاسیون، تصعید آمونیاک، تولید CO_2 (تنفس ریشه و میکروبی خاک)، جذب نیتروژن توسط گیاهان و رشد گیاه است (لی و همکاران، ۱۹۹۴). این شبیه‌ساز اغلب برای محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک‌ها به‌ویژه اراضی کشاورزی استفاده می‌گردد (جو و همکاران، ۲۰۱۴). شاخص‌های اقلیمی و خاک (بافت خاک، واکنش شیمیایی، جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی) و همین‌طور نوع پوشش گیاهی و عملیات مدیریتی (شخم، مصرف کودهای شیمیایی، محصول دانه) به‌عنوان شاخص‌های ورودی مهم آن هستند (آبدالا و همکاران، ۲۰۰۹b).

گازهای گلخانه‌ای از خاک‌ها برای شناسایی این اندازه‌گیری‌ها و محاسبه بودجه‌های جهانی ضروری است. علاوه بر مدل‌ها یا شبیه‌سازهای تجربی (فرایبائور و کالچمت، ۲۰۰۳)، شبیه‌سازهای فرآیندی نیز وجود دارند که شامل فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی هستند و برای فرآیندسازی داده‌های بدست آمده از مزرعه استفاده می‌گردند (پاتی و همکاران، ۲۰۰۳). این روش‌ها ممکن است مقیاس‌های محلی تا جهانی را پوشش دهد (شکل ۴d). یک شبیه‌ساز فرآیندی که به‌طور وسیعی استفاده می‌گردد مدل نیتروژن-زدایی-تجزیه^۱ است که شامل چهار زیرمدل است (لی و همکاران، ۱۹۹۲). این شبیه‌ساز قابلیت شبیه‌سازی تجزیه



شکل ۴- نمایی از روش‌های موجود جهت اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای. (a) سیستم اتاقت بسته؛ (b) eddy covariance؛ (c) سنجش‌ازدور؛ (d) مدل‌سازی عددی (عورتل و همکاران، ۲۰۱۶)

اتمسفری بازیافت گردد. هر اقدامی که باعث افزایش ورود کربن فتوسنتزی به خاک و یا باعث کند کردن هدر رفت کربن ذخیره شده، از طریق تنفس یا آتش زدن، شود منجر به افزایش کربن ذخیره شده در خاک و در نتیجه ایجاد مخزن کربن می‌گردد. بهبود روش‌های زراعی، با افزایش محصول و بقایای حاوی کربن، منجر به افزایش ذخیره کربن می‌شود (فولت، ۲۰۰۱). به‌طور مثال، عملیاتی همچون استفاده از ارقام گیاهی اصلاح‌شده، افزایش تناوب محصول و به‌ویژه استفاده از محصولات چندساله و اجتناب یا کاهش استفاده از اراضی به‌صورت بایر و آیش، منجر به افزایش کربن خاک

مدیریت خاک برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مدیریت خاک برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن از خاک کربن موجود در اتمسفر (تقریباً ۸۳۰ پتاگرم) و ۲۴۰ برابر مقدار انتشار سالیانه سوخت فسیلی (تقریباً ۱۰ پتاگرم) است (سیایس و همکاران، ۲۰۱۳)؛ بنابراین حتی افزایش اندک مقدار کربن خاک، قابلیت زیادی برای ذخیره کربن دارد (پائوستیان و همکاران، ۲۰۱۶). هدررفت کربن از سامانه‌های کشاورزی بیش از ۵۰ پتاگرم بوده است (لال، ۲۰۰۴a). مقداری از این کربن از دست رفته می‌تواند از طریق مدیریت مناسب و در نتیجه کاهش گازکربنیک

¹- DeNitrification-DeComposition Model (DNDC)

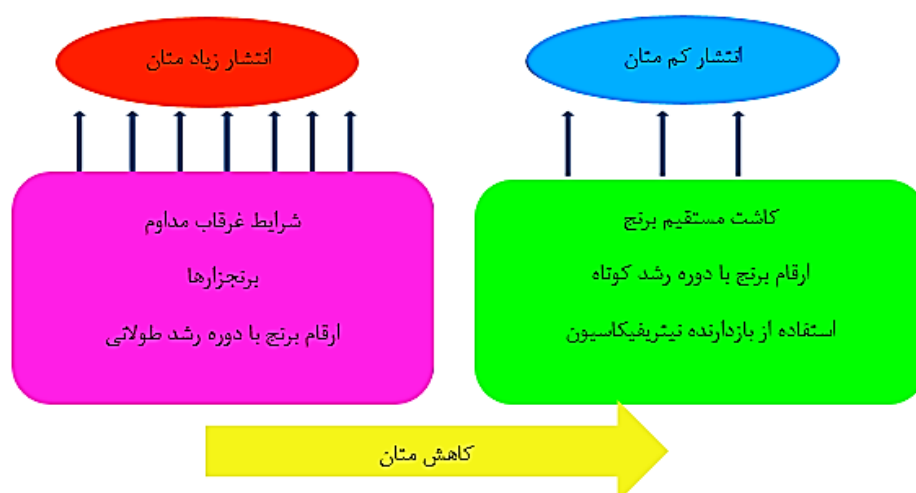
مدیریت خاک برای کاهش انتشار گاز متان

بیش از یک سوم انتشار جهانی گاز متان (۲۰۰) تراگرم در سال) از طریق تخریب میکروبی ترکیبات آلی در خاک‌های تحت شرایط غیرهوازی اتفاق می‌افتد (سیایس و همکاران، ۲۰۱۳). اراضی ماندابی (۲۸۴-۱۷۷ تراگرم در سال) و شالیزارها (۴۰-۳۳ تراگرم در سال)، بزرگ‌ترین منشأ خاکی متان را در سطح جهانی نشان می‌دهند (سیایس و همکاران، ۲۰۱۳). با این وجود، خاک‌های با تهویه خوب به‌عنوان مخزنی برای متان اتمسفری از طریق اکسیداسیون متان (تقریباً ۳۰ تراگرم در سال)، عمل می‌کنند. بیشتر این مخازن در خاک‌های مدیریت نشده و جنگلی است (لیمر و روگر، ۲۰۰۱). عوامل تعیین‌کننده انتشار متان از خاک شامل تهویه، فراهمی سوبسترا، دما و ورودی‌های نیتروژن می‌باشند (سیگرس، ۱۹۹۸)؛ بنابراین مدیریت خاک می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی انتشار متان را تغییر دهد. مدیریت شالیزارها روش مناسبی برای کاهش تولید متان است. در شالیزارها تغییر رژیم‌های زهکشی و ترکیب نمودن بقایای آلی می‌تواند در سطح جهانی انتشار متان را حدود ۲۵ درصد (۷/۶ تراگرم در سال) کاهش دهد (اسمیث و همکاران، ۲۰۰۸) اگرچه چرخه‌های تر و خشک شدن خاک‌ها ممکن است تولید N_2O (لینکویست و همکاران، ۲۰۱۵) و معدنی شدن کربن آلی خاک (لیو و همکاران، ۲۰۱۳) را افزایش دهد.

استفاده از ارقام محصول با کیفیت زیاد به‌طور فزاینده‌ای منجر به کاهش انتشار متان می‌گردد (سورتون و همکاران، ۲۰۰۰). این رقم‌ها، کارایی بیشتری برای فتوسنتز دارند و مقدار زیادتری از کربن تثبیت شده را به تولید زیست‌توده اختصاص می‌دهند و مقدار کمتری کربن برای متانوتروف‌ها به ریزوسفر انتقال می‌یابد. مدیریت بقایای گیاهی همچنین بر انتشار متان در شالیزارها اثرگذار است. تجزیه بقایای گیاهی قبل از غرقاب شدن، از طریق خاک-ورزی یا کمپوست کردن، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی انتشار متان را بعد از غرقاب شدن کاهش دهد (واسمن و همکاران، ۱۹۹۳). مدیریت کوددهی در شالیزارها نیز بر

می‌شود (فریبائور و همکاران، ۲۰۰۴). بسیاری از مطالعات در سراسر جهان نشان داده‌اند که مقادیر قابل‌توجهی از کربن خاک می‌تواند به این روش و از طریق دامنه‌ای از عملیات متناسب با شرایط محلی ذخیره گردد (لال، ۲۰۰۴a). مقادیر قابل‌توجهی از کربن گیاهان پوششی همچنین می‌تواند در سامانه‌های جنگلی و یا دیگر کشت‌زارهای چندساله در اراضی کشاورزی ذخیره گردد (آلبریچ و کندجی، ۲۰۰۳). روش مطلوب دیگر استفاده از محصولات پوششی است که پوشش گیاهی موقتی را بین محصولات و فصول کشاورزی فراهم می‌کنند و قابلیت افزودن کربن به خاک‌ها را دارند (سیسوردا و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین، افزودن بیشتر عناصر غذایی می‌تواند کربن خاک را افزایش دهد (آلوارز، ۲۰۰۵) اما مزایای کود نیتروژن می‌تواند با انتشار بیشتر N_2O از خاک‌ها و CO_2 از ساخت کودها جبران گردد (گریگوریچ و همکاران، ۲۰۰۵). روش دیگر کاهش تجزیه بقایای آلی خاک، به‌کارگیری شیوه مدیریت خاک‌ورزی است. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی از قبیل بی‌خاک-ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی نواری نیز از روش‌های خیلی مؤثر برای توقف کربن در بیشتر خاک‌ها می‌باشند (کاست، ۲۰۱۱). از آنجایی‌که بهم‌خوردگی خاک باعث تحریک هدررفت کربن خاک از طریق افزایش تجزیه و فرسایش می‌گردد، کشاورزی با استفاده از شیوه کم‌خاک-ورزی یا بی‌خاک‌ورزی منجر به افزایش کربن خاک می‌شود، اگرچه ممکن است همیشه این‌طور نباشد (عوگله و همکاران، ۲۰۰۵). تغییر عملیات مدیریت بقایای گیاهی می‌تواند منجر به تغییر محیط خاک همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای گردد (اسمیث و همکاران، ۲۰۰۷). سامانه‌های زراعی که منجر به نگهداری بقایای محصول می‌شوند، تمایل به افزایش کربن خاک را دارند، زیرا این بقایا تقویت‌کننده ماده آلی خاک هستند که ذخیره اصلی کربن در خاک است. اجتناب از سوزاندن بقایا همچنین باعث جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوختن می‌گردد (سری و همکاران، ۲۰۰۴).

می‌تواند انتشار متان را به‌وسیله کاهش پتانسیل اکسیداسیون-احیایی خاک و تحریک اکسیداسیون متان کاهش دهد (حسین و همکاران، ۲۰۱۵). علی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد ۳۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار می‌تواند انتشار متان را ۴۹ درصد در مقایسه با عدم کاربرد پتاسیم کاهش دهد. مواد آلی مانند بیوجار می‌تواند انتشار متان در شالیزارها را در مقایسه با کاربرد کود حیوانی کاهش دهد (پاندی و همکاران، ۲۰۱۴). شکل ۵ روش‌های گوناگون افزایش و کاهش انتشار متان در شالیزارها را نشان می‌دهد.



شکل ۵- روش‌های انتشار متان از شالیزارها (کالیپان و همکاران، ۲۰۱۹)

ندارد، ممانعت از انتشار آن به‌وسیله تضعیف یا کاهش منشأهای شناخته‌شده انتشار، از طریق تغییر عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر تولید N_2O (نیتروژن خاک، اکسیژن و کربن)، یا به‌وسیله روش بیوشیمیایی ممانعت از مسیرهای تبدیل با استفاده از افزودنی‌های خاک امکان‌پذیر است. برای مثال استفاده از افزودنی‌های تجاری از قبیل نیتراپیرین و دی سیانامید) که اکسیداسیون آمونیوم را کند می‌کنند، باعث جلوگیری از فرآیند نیتریفیکاسیون، به‌عنوان یکی از فرآیندهای تولید N_2O می‌گردد. آزمایش‌های مزرعه‌ای پیشنهاد می‌کند که بازدارنده‌ها می‌توانند انتشارات N_2O را تا بیش از ۴۰ درصد در بعضی از خاک‌ها کاهش دهند،

انتشار متان نیز اثرگذار است. دونگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که ۵۰ درصد کاهش انتشار متان به‌وسیله مدیریت مناسب نیتروژن در شالیزارها امکان‌پذیر است. کودهای شیمیایی نیتروژنه آمونیومی قابلیت کاهش انتشار متان را نسبت به اوره دارا هستند (دونگ و همکاران، ۲۰۱۸a). علی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاربرد سولفات آمونیوم در شالیزارها انتشار متان را ۲۳ درصد کاهش می‌دهد همچنین این مقدار کاهش به‌وسیله سورتون و همکاران (۲۰۰۰) ۳۶-۲۵ درصد گزارش شده است. کاهش انتشار متان همچنین به‌وسیله پژوهشگران در نتیجه کاربرد نیترات آمونیوم گزارش شده است. کاربرد پتاسیم

مدیریت خاک برای کاهش انتشار نیتروز اکساید

خاک‌های تحت کشت، N_2O بیشتری را نسبت به منابع مصنوعی به اتمسفر انتشار می‌دهند (اسمیث و همکاران، ۲۰۱۴). انتشار مصنوعی این گاز در سطح جهانی ۴/۲ تراگرم و انتشار این اراضی ۸/۱ تراگرم N_2O-N در سال است. کاهش این قسمت از انتشار نشان‌دهنده فرصت کاهش قابل‌توجه است. علاوه بر این، مدیریت بهتر نیتروژن برای کاهش انتشار گاز، دیگر مشکلات زیست‌محیطی از قبیل آلودگی نیتراتی آب‌های سطحی و زیرزمینی ایجادشده به‌وسیله نیتروژن فعال اضافی در سامانه‌های زراعی را نیز مرتفع می‌سازد. چون گاز N_2O مخزن خشکی قابل‌توجهی

اگرچه خاک‌های دیگر کاهش اندکی را نشان می‌دهند (آکیاما و همکاران، ۲۰۱۰). مدیریت خاک‌ورزی و آب می‌تواند از طریق تغییر محیط خاک، بر انتشار N_2O اثرگذار باشد (وان کیسل و همکاران، ۲۰۱۳). روش‌های دیگر برای کاهش انتشار N_2O از خاک‌های قابل کشت، مدیریت دقیق نیتروژن به منظور حفظ تولید پایدار محصول و کاهش نیتروژن اضافی استفاده نشده به وسیله محصولات است. به طور معمول محصولات کوددهی شده کمتر از ۵۰ درصد نیتروژن اضافه شده را استفاده می‌کنند و باقیمانده کود مستعد هدر رفت است. محافظت از نیتروژن از طریق روش‌های زیر امکان‌پذیر است:

(۱) هماهنگ نمودن زمان کاربرد نیتروژن با نیاز محصولات در مراحل گوناگون رشد، با استفاده از شبیه‌سازی کمی و آماری پیشرفته.

(۲) مصرف کودهای شیمیایی در مقادیر گوناگون در مزرعه بر اساس الگوی طبیعی حاصلخیزی خاک، یا قرار دادن آن‌ها در منطقه ریشه به جای پخش سطحی آن.

(۳) کاربرد کودهای شیمیایی در زمان نیاز محصول مانند چند هفته بعد از کاشت یا افزودن آن از قبل به صورت کودهای پوشش‌دار کندرها به منظور تأخیر در حلالیت آن‌ها (روبرتسون و ویتوسک، ۲۰۰۹).

گنجاندن محصولات لگوم در تناوب زراعی (وست و پست، ۲۰۰۲) یک راهکار مناسب برای مصرف کمتر کودهای شیمیایی و کاهش انتشار گاز N_2O است (روچیتی و جانزن، ۲۰۰۵). روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، از جمله کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی، می‌توانند بر انتشار N_2O اثرگذار باشند؛ اما این اثرات در سطح جهانی به خوبی مطالعه نشده است (هلگاسون و همکاران، ۲۰۰۵). اثرات بی‌خاک‌ورزی بر انتشار N_2O ممکن است بستگی به شرایط اقلیمی و خاک داشته باشد. در بعضی نواحی کم‌خاک‌ورزی باعث افزایش انتشار N_2O می‌شود؛ درحالی‌که در مناطق دیگر این روش ممکن است انتشار را کاهش دهد یا اثر چندانی نداشته باشد (مارلند و همکاران، ۲۰۰۱). یکی از عوامل مهم تنظیم‌کننده انتشار نیتروژن اکساید، در دسترس

بودن کربن آلی پویای خاک است که به عنوان منبع انرژی و کربن برای دنیتریفیکاتورهای هتروتروفی عمل می‌کند، بنابراین مدیریت مناسب بقایای گیاهی به عنوان منبعی از کربن آلی خاک می‌تواند در کاهش انتشار گاز نیتروژن اکساید مؤثر باشد. افزودن بقایای گیاهی با نسبت C/N زیاد می‌تواند باعث کم شدن نیتروژن و کاهش انتشار نیتروژن اکساید گردد. علاوه بر این، افزودن بقایا، بازیابی کربن میکروبی و تشکیل شرایط احیایی در خاک را شدت بخشیده و منجر به احیای N_2O به N_2 گردد (چن و همکاران، ۲۰۱۷). از طرفی، ورودی‌های نیتروژن از طریق بقایای گیاهی نیاز به نیتروژن از طریق کودهای شیمیایی سنتزی نیتروژنه، به عنوان منبع اصلی انتشار نیتروژن اکساید در کشاورزی را کاهش می‌دهد (میر و ثوربورن، ۲۰۱۶). این در حالی است که برداشت بقایا می‌تواند باعث افزایش دمای خاک شده و فعالیت میکروبی و معدنی شدن نیتروژن را تحریک کند و منجر به انتشار N_2O بیشتر از خاک شود (موسیر و همکاران، ۲۰۰۲).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه مباحث بوم‌شناختی و زیست‌محیطی از قبیل انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. گازهای گلخانه‌ای اصلی شامل دی‌اکسید کربن، متان و نیتروژن اکساید می‌باشند. فعالیت‌های کشاورزی یکی از بخش‌هایی است که با وجود این که منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، قابلیت ذخیره‌سازی این گازها را نیز دارا می‌باشند؛ بنابراین شناخت گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر تولید و انتشار آن‌ها، به منظور اعمال روش‌های مدیریتی مطلوب جهت کاهش انتشار این گازها از بخش کشاورزی ضروری است. در این مقاله موارد لازم در مورد گازهای گلخانه‌ای از قبیل معرفی و عوامل مؤثر بر انتشار آن‌ها، فرآیندهای مربوط به تشکیل گازهای گلخانه‌ای، منشأ و مخازن آن‌ها و همچنین روش‌های اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای بیان شده است. روش‌های مدیریت پایدار خاک به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز به

زمینه اثرات چشمگیری داشته باشند. این اقدامات، به عنوان اجزای مدیریت پایدار خاک، علاوه بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی و بهبود شرایط زیست محیطی، باعث حفظ و ارتقاء کیفیت خاک، افزایش تولید محصول، تقویت بنیه اقتصادی و معیشتی کشاورزان و فراهم نمودن شرایط لازم برای استقرار کشاورزی پایدار می‌گردد.

سپاسگزاری: بدین وسیله از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور سپاسگزاری می‌گردد.

تفکیک آورده شده است. بر اساس تجربیات جهانی و نتایج مطالعات صورت گرفته، کاربری صحیح و اصولی اراضی در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی و اقداماتی از قبیل کاهش شخم و انتخاب روش‌های خاک‌ورزی متناسب با شرایط اقلیم و خاک، مدیریت مناسب بقایای گیاهی، رعایت تناوب محصول و استقرار سامانه‌های زراعی شایسته، مدیریت بهینه رطوبت و تنظیم شرایط زهکشی خاک اهمیت ویژه‌ای در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. از طرفی، افزایش مصرف کودهای دامی و مواد آلی، مصرف بهینه و متوازن کودهای شیمیایی، بهینه‌سازی واکنش شیمیایی خاک، استفاده از مواد اصلاح‌کننده از قبیل بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون و غیره نیز می‌توانند در این

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول، محصولات زراعی. ص ۷.
۲. عبادزاده، ح.ر.، احمدی، ک.، محمد نیا افروزی، ش.، عباس طاقانی، ر.، عباسی، م.، یاری، ش. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۹۸. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد دوم، ص ۱۷۵.
3. Abdalla, M., Wattenbach, M., Smith, P., Ambus, P., Jones, M., and M. Williams. 2009. Application of the DNDC model to predict emissions of N₂O from Irish agriculture. *Geoderma*. 151(3-4): 327-337.
4. Akiyama, H., Yan, X., and K. Yagi. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology*. 16(6): 1837-1846.
5. Ali, M. A., Farouque, M. G., Haque, M., and A. ul Kabir. 2012. Influence of soil amendments on mitigating methane emissions and sustaining rice productivity in paddy soil ecosystems of Bangladesh. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*. 5(1): 179-185.
6. Ali, M. A., Oh, J. H., and P. J. Kim. 2008. Evaluation of silicate iron slag amendment on reducing methane emission from flood water rice farming. *Agriculture, ecosystems and environment*. 128(1-2): 21-26.
7. Alvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*. 21(1), 38-52.
8. D'Amelio, M. T. S., Gatti, L. V., Miller, J. B., and P. Tans. 2009. Regional N₂O fluxes in Amazonia derived from aircraft vertical profiles. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 9(22): 8785-8797.
9. Baggs, E. M. 2008. A review of stable isotope techniques for N₂O source partitioning in soils: recent progress, remaining challenges and future considerations. *Rapid Communications in Mass Spectrometry: An International Journal Devoted to the Rapid Dissemination of Up-to-the-Minute Research in Mass Spectrometry*. 22(11): 1664-1672.

10. Benbi, D. K., Toor, A. S., and S. Kumar. 2012. Management of organic amendments in rice-wheat cropping system determines the pool where carbon is sequestered. *Plant and Soil*. 360(1-2):145-162.
11. Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., and S. Zechmeister-Boltenstern. 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 368(1621): 20130122.
12. Butterbach-Bahl, K., Diaz-Pines, E., and M. Dannenmann. 2012. Soil trace gas emissions and climate change. *Global environmental change*. Springer Verlag, Berlin.
13. Butterbach-Bahl, K., Kesik, M., Miehle, P., Papen, H., and C. Li. 2004. Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process based models. *Plant and Soil*. 260(1-2): 311-329.
14. CAST, 2011. Carbon sequestration and greenhouse gas fluxes in agriculture: Challenges and opportunities. Task Force Report No. 142. Ames, IA: Council for Agricultural Science and Technology.
15. Cerri, C. C., Bernoux, M., Cerri, C. E. P., and C. Feller. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*. 20(2): 248-254.
16. Chapuis-Lardy, L. Y. D. I. E., Wrage, N., Metay, A., CHOTTE, J. L., and M. Bernoux. 2007. Soils, a sink for N₂O? A review. *Global Change Biology*. 13(1): 1-17.
17. Chen, Z., Wang, H., Liu, X., Zhao, X., Lu, D., Zhou, J., and C. Li. 2017). Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*. 165: 121-127.
18. Christiansen, J. R., Korhonen, J. F., Juszczak, R., Giebels, M., and M. Pihlatie. 2011. Assessing the effects of chamber placement, manual sampling and headspace mixing on CH₄ fluxes in a laboratory experiment. *Plant and soil*. 343(1-2): 171-185.
19. Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., and C. Jones. 2014. Carbon and other biogeochemical cycles. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 465-570). Cambridge University Press.
20. Cicerone, R. J., and R. S. Oremland. 1988. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global biogeochemical cycles*. 2(4): 299-327.
21. Corton, T. M., Bajita, J. B., Grospe, F. S., Pamplona, R. R., Assis, C. A., Wassmann, R., ... and L. V. Buendia. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 58(1-3): 37-53.
22. Dong, H., Yao, Z., Zheng, X., Mei, B., Xie, B., Wang, R. and J. Zhu. 2011. Effect of ammonium-based, non-sulfate fertilizers on CH₄ emissions from a paddy field with a typical Chinese water management regime. *Atmospheric Environment*. 45(5): 1095-1101.
23. Follett, R. F. 2001. Organic carbon pools in grazing land soils (pp. 65-86). Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
24. Forbrich, I., Kutzbach, L., Hormann, A., and M. Wilmking. 2010. A comparison of linear and exponential regression for estimating diffusive CH₄ fluxes by closed-chambers in peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*. 42(3): 507-515.
25. Freibauer, A., and M. Kaltschmitt. 2003. Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry*. 63(1): 93-115.
26. Doolittle, J. A., Jenkinson, B., Hopkins, D., Ulmer, M., and W. Tuttle. 2006. Hydropedological investigations with ground-penetrating radar (GPR): Estimating water-table depths and local ground-water flow pattern in areas of coarse-textured soils. *Geoderma*. 131(3-4): 317-329.
27. Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., and M. A. Sutton. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*. 320(5878): 889-892.
28. Gambrell, R. P. 1978. Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. *Plant Life in Anaerobic Environment*.

29. Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., and M. Herrero. 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*. 341(6141): 33-34.
30. Gregorich, E. G., Rochette, P., and VandenBygaart, A. and D. A. Angers. 2005. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in eastern Canada. *Soil and Tillage Research*. 83(1): 53-72.
31. Gritsch, C., Egger, F., Zehetner, F., and S. Zechmeister-Boltenstern. 2016. The effect of temperature and moisture on trace gas emissions from deciduous and coniferous leaf litter. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 121(5): 1339-1351.
32. GU, J., Loustau, D., Hénault, C., Rochette, P., Cellier, P., Nicoullaud, B., and G. Richard. 2014. Modeling nitrous oxide emissions from tile-drained winter wheat fields in Central France. *Nutrient cycling in agroecosystems*. 98(1): 27-40.
33. Hanson, P. J., Edwards, N. T., Garten, C. T., and J. A. Andrews. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*. 48(1): 115-146.
34. Helgason, B. L., Janzen, H. H., Chantigny, M. H., Drury, C. F., Ellert, B. H., Gregorich, E. G., ... and C. Wagner-Riddle. 2005. toward improved coefficients for predicting direct N₂O emissions from soil in Canadian agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 72(1): 87-99.
35. Hoëgberg, P., Nordgren, A., Buchmann, N., Taylor, A. F., Ekblad, A., Hoëgberg, M. N., and D. J. Read. 2001. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*. 411(6839): 789-792.
36. Hussain S, Peng S, Fahad S, Khaliq A, Hunag J, Ciu K, and L. Nie. 2015. Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emission: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 22:3342–3360.
37. IPCC. 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt et al. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
38. IPCC. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. TF Stocker, D. Qin, and G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung et al. 3–29. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
39. IPCC. 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir et al. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
40. IPCC SAR WG3. 1996. Economic and social dimensions of climate change. Contribution of Working Group III to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Bruce JP, Lee H, Haites EF (eds)). Cambridge University Press.
41. Kaliappan, S. B., Gunasekaran, Y., Smyrna, R., and R. S. Meena. 2019. Soil and Environmental Management. In *Sustainable Management of Soil and Environment* (pp. 1-27). Springer, Singapore.
42. Lal, R. 2004. Climate change and food security soil carbon sequestration impacts. *Science*. 304: 1623.
43. Launiainen, S., Rinne, J., Pumpanen, J., Kulmala, L., Kolari, P., Keronen, P., and T. Vesala. 2005. Eddy covariance measurements of CO₂. *Boreal Environment Research*. 10: 569-588.
44. Le Mer, J., and P. Roger. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. *European journal of soil biology*. 37(1): 25-50.
45. Le Quéré, C., Andrew, R., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., and R. F. Keeling. 2016. Global carbon budget 2016.
46. Li, C., Aber, J., Stange, F., Butterbach-Bahl, K., and H. Papen. 2000. A process-oriented model of N₂O and NO emissions from forest soils: 1. Model development. *Journal of Geophysical Research*. 105: 4369–4384.

47. Li, C., Frolking, S. and T.A. Frolking. 1992. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 97(D9), 9759-9776.
48. Li, C., Frolking, S., and R. Harriss. 1994. Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global biogeochemical cycles*. 8(3): 237-254.
49. Liu, Y., Wan, K. Y., Tao, Y., Li, Z. G., Zhang, G. S., Li, S. L., and F.Chen. 2013. Carbon dioxide flux from rice paddy soils in central China: effects of intermittent flooding and draining cycles. *Plos one*. 8(2): e56562.
50. Ludwig, J., Meixner, F. X., Vogel, B., and J. Förstner. 2001. Soil-air exchange of nitric oxide: An overview of processes, environmental factors, and modeling studies. *Biogeochemistry*. 52(3): 225-257.
51. Marland, G., McCarl, B. A., and U. Schneider. 2001. Soil carbon: policy and economics. *Climatic Change*. 51(1): 101-117.
52. Meena, H., Meena, R. S., Lal, R., Yadav, G. S., Mitran, T., Layek, J., and T. Verma. 2018. Response of sowing dates and bio regulators on yield of clusterbean under current climate in alley cropping system in eastern UP, India. *Legume Research-An International Journal*. 41(4): 563-571.
53. Meena, R. S., Gogoi, N., and S. Kumar. 2017. Alarming issues on agricultural crop production and environmental stresses.
54. Meena, R. S., Vijayakumar, V., Yadav, G. S., and T. Mitran. 2018a. Response and interaction of *Bradyrhizobium japonicum* and arbuscular mycorrhizal fungi in the soybean rhizosphere. *Plant Growth Regulation*. 84(2): 207-223.
55. Meier, E. A., and P. J. Thorburn. 2016. Long term sugarcane crop residue retention offers limited potential to reduce nitrogen fertilizer rates in Australian wet tropical environments. *Frontiers in plant science*. 7: 1017.
56. Mitchell, J. P., Reicosky, D. C., Kueneman, E. A., Fisher, J., and D. Beck, 2019. Conservation agriculture systems. *CAB Reviews*. 14(001): 1-25.
57. Mosier, A. R., Doran, J. W., and J. R. Freney. 2002. Managing soil denitrification. *Journal of soil and water conservation*. 57(6): 505-512.
58. Myklebust, M. C., Hipps, L. E., and R. J. Ryel. 2008. Comparison of eddy covariance, chamber, and gradient methods of measuring soil CO₂ efflux in an annual semi-arid grass, *Bromus tectorum*. *Agricultural and forest meteorology*. 148(11): 1894-1907.
59. Nicolini, G., Castaldi, S., Fratini, G., and R. Valentini. 2013. A literature overview of micrometeorological CH₄ and N₂O flux measurements in terrestrial ecosystems. *Atmospheric Environment*. 81:311-319.
60. Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., and S. Erasmi. 2016. Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*. 76(3): 327-352.
61. Ogle, S. M., Breidt, F. J., and K. Paustian. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*. 72(1): 87-121.
62. Pandey, D. K., Malik, T., Dey, A., Singh, J., and R. M. Banik. 2014. Improved growth and colchicine concentration in *gloriosa superba* on mycorrhizal inoculation supplemented with phosphorus-fertilizer. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 11(2): 439-446.
63. Pathak, H. 2015. Greenhouse gas emission from Indian agriculture: trends, drivers and mitigation strategies. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 81(5): 1133-1149.
64. Pattey, E., Edwards, G. C., Desjardins, R. L., Pennock, D. J., Smith, W., Grant, B., and J. I. MacPherson. 2007. Tools for quantifying N₂O emissions from agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*. 142 (2-4): 103-119.
65. Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., and P. Smith. 2016. Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597):49-57.
66. Pflugmacher, D., Krankina, O. N., Cohen, W. B., Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Kennedy, R. E., ... and V. Elsakov. 2011. Comparison and assessment of coarse resolution land cover maps for Northern Eurasia. *Remote Sensing of Environment*. 115(12):3539-3553.

67. Pretty, J. N., Morison, J. I., and R. E. Hine. 2003. Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, ecosystems and environment*. 95(1): 217-234.
68. Raich, J. W., and A. Tufekciogul. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*. 48(1): 71-90.
69. Robertson, G. P., and P. M. Vitousek. 2009. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual review of environment and resources*. 34: 97-125.
70. Robertson, G. P. 1989. Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: potential controls on nitrogen retention. *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems*. 9: 55-69.
71. Rochette, P., and H. H. Janzen. 2005. towards a revised coefficient for estimating N₂ O emissions from legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 73(2-3): 171-179.
72. Saari, A., Martikainen, P. J., Ferm, A., Ruuskanen, J., De Boer, W., Troelstra, S. R., and Laanbroek, H. J. 1997. Methane oxidation in soil profiles of Dutch and Finnish coniferous forests with different soil texture and atmospheric nitrogen deposition. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(11-12): 1625-1632.
73. Saunio, M., Jackson, R. B., Bousquet, P., Poulter, B., and J. G. Canadell. 2016. The growing role of methane in anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*. 11(12): 120207.
74. Schauffler, G., Kitzler, B., Schindlbacher, A., Skiba, U., Sutton, M. A., and S. Zechmeister-Boltenstern. 2010. Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *European Journal of Soil Science*. 61(5): 683-696.
75. Segers, R. 1998. Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes. *Biogeochemistry*. 41(1): 23-51.
76. Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., and M. Reichstein. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
77. Šimek, M., Hynšt, J., and P. Šimek. 2014. Emissions of CH₄, CO₂, and N₂O from soil at a cattle overwintering area as affected by available C and N. *Applied soil ecology*, 75, 52-62.
78. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., and B. Scholes. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 118(1-4): 6-28.
79. Smith, P., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., Haberl, H., Harper, R., and N. H. Ravindranath. 2014. *Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)*.
80. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., and B. Scholes. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences*. 363(1492): 789-813.
81. Smith, P. 2012. Soils and climate change. *Current opinion in environmental sustainability*. 4(5): 539-544.
82. Sofi, P. A., Baba, Z. A., Hamid, B., and R. S. Meena. 2018. Harnessing soil rhizobacteria for improving drought resilience in legumes. In *Legumes for Soil Health and Sustainable Management* (pp. 235-275). Springer, Singapore.
83. Stehfest, E., and L. Bouwman. 2006. N₂ O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 74(3): 207-228.
84. Syakila, A., and C. Kroeze. 2011. The global nitrous oxide budget revisited. *Greenhouse gas measurement and management*. 1(1): 17-26.
85. Syswerda, S. P., Corbin, A. T., Mokma, D. L., Kravchenko, A. N., and G. P. Robertson. 2011. Agricultural management and soil carbon storage in surface vs. deep layers. *Soil Science Society of America Journal*. 75(1): 92-101.
86. Van Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Adviento-Borbe, M. A., Linquist, B., and K. J. van Groenigen. 2013. Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global change biology*. 19(1): 33-44.
87. Wassmann, R., Papen, H., and H. Rennenberg. 1993. Methane emission from rice paddies and possible mitigation strategies. *Chemosphere*. 26(1-4): 201-217.

88. West, T. O., and W. M. Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 66(6): 1930-1946.
89. Yadav, G. S., Babu, S., Meena, R. S., Debnath, C., Saha, P. O. U. L. A. M. I., Debbaram, C., and M. Datta. 2017. Effects of godawariphosgold and single supper phosphate on groundnut (*Arachis hypogaea*) productivity, phosphorus uptake, phosphorus use efficiency and economics. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 87(9): 1165-1169.
90. Yadav, G. S., Das, A., Lal, R., Babu, S., Meena, R. S., Saha, P., and M. Datta. 2018. Energy budget and carbon footprint in a no-till and mulch based rice–mustard cropping system. *Journal of cleaner production*. 19:144-157.
91. Zechmeister-Boltenstern, S., Díaz-Pinés, E., Spann, C., Hofmann, K., Schneckner, J., and S. Reinsch. 2018. Soil—The Hidden Part of Climate: Microbial Processes Regulating Soil–Atmosphere Exchange of Greenhouse Gases. In *Soil and Climate* (pp. 11-60). CRC Press.

مروری بر پژوهش‌ها و کاربرد کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران

هوشنگ خسروی^۱

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

hkhosravi@areeo.ac.ir

دریافت: تیر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

گندم ماده اصلی در سبد غذایی مردم ایران بوده و تقریباً یک سوم از سطح زیر کشت محصولات زراعی در کشور به این محصول مهم اختصاص دارد. مهم‌ترین روش تغذیه گندم، کاربرد کودهای شیمیایی است. با این حال، مصرف نامتعادل و بیش از نیاز گیاه به این کودها، موجب مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. یکی از روش‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار برای این حل مسئله، استفاده از کودهای زیستی است. کودهای زیستی از طریق تثبیت نیتروژن مولکولی، حل‌کنندگی عناصر نامحلول مانند فسفر و روی، آزادسازی پتاسیم از خاک، تولید سیدروفور و افزایش قابلیت دسترسی آهن، اکسیداسیون گوگرد و تولید مواد محرک رشد، موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش رشد و عملکرد گندم می‌شود. کودهای زیستی همچنین از طریق تولید آنزیم ACC-دآمیناز، ترکیبات اسمولیت و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی قادر هستند که در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری اثرات تنشی در گندم را کاهش دهند. تولید کودهای زیستی به‌ویژه در کشورهای پیشرفته رونق قابل توجهی یافته است. در ایران نیز انواعی از کودهای زیستی برای محصولات مختلف از جمله گندم معرفی شده است. برای کنترل کیفی کودهای زیستی، در برخی کشورها از جمله ایران دستورالعمل‌هایی تدوین شده است. روش مؤثر و اقتصادی مصرف کودهای زیستی برای گندم به‌صورت بذر مال است. وجود متخصصین ماهر، دانش‌های فنی و زیرساخت‌های لازم در بخش خصوصی از پتانسیل‌ها و فرصت‌های مناسب برای رونق تولید کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران است. از محدودیت‌های مصرف کودهای زیستی می‌توان به کم بودن مقدار ماده آلی در خاک‌های ایران و هتروتروف بودن باکتری‌های مورد استفاده، فراوانی کودهای شیمیایی، نیاز به تجهیزات و ملاحظات خاص و عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج کودهای زیستی اشاره نمود. برای توسعه پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی پیشنهاد می‌شود که استعداد اراضی مختلف در پاسخ‌دهی به کودهای زیستی ویژه گندم مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، انجام تحقیقات بنیادی و مولکولی در مورد خصوصیات محرک رشدی ریزجانداران پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مایه تلقیح، تثبیت نیتروژن، ریزجانداران، محرک رشد

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: کرج، مشکین دشت، بلوار امام خمینی، ص پ. ۳۱۱-۳۱۷۸۵

مقدمه

خاک یکی از اجزای مهم منابع پایه است که به عنوان بستر اصلی رشد گیاه و نیز محیطی منحصربه‌فرد برای رشد و فعالیت انواع موجودات زنده محسوب می‌شود. شناخت توان تولیدی منابع خاک و آب، مدیریت درست و بهره‌برداری اصولی از این منابع، در راستای تولید پایدار بوده و امنیت غذایی و سلامت جامعه را فراهم خواهد نمود. متأسفانه استفاده ناصحیح از منابع خاک و آب سبب بروز اختلال در شرایط تعادلی و متعارف این منابع پایه شده که موجب پدیدار شدن انواع ناهنجاری‌ها و بحران‌های زیست‌محیطی شده است. کودهای شیمیایی، به دلایل مختلف از جمله وفور، نحوه کاربرد و استفاده راحت و همچنین سودآوری بیشتر در کوتاه مدت، مورد استقبال کشاورزان قرار گرفته‌اند. مصرف متعادل کود یکی از راهکارهای تغذیه بهینه گیاهان است، با این حال کشاورزان در عمل به این مسئله توجه نداشته و یا امکانات لازم برای انجام این کار را ندارند. با توجه به پتانسیل آلوده‌سازی کودهای شیمیایی، ارائه راهکارهای جایگزین و مناسب در این مورد لازم و ضروری است. خاک به واسطه ریزجاندارانی که در آن وجود دارد به عنوان پیکره‌ای زنده محسوب می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، موجب اثرات سوء بر جامعه زنده خاک، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و تجمع مواد شیمیایی در محصولات کشاورزی می‌شود؛ بنابراین در پاسخگویی به تقاضای روزافزون برای مواد غذایی، ارائه راه‌حل‌های هماهنگ با ملاحظات زیست‌محیطی و اتخاذ سیاست‌های مبتنی بر توسعه پایدار ضروری است. در این راستا مدیریت بیولوژیک ناحیه ریزوسفر و ایجاد شرایط لازم و بهینه برای رشد و فعالیت ریزجانداران مفید، موردنظر است. افزودن ریزجانداران مفید و مؤثر در ناحیه ریشه که بتواند موجبات رشد بهتر گیاه را فراهم نماید یکی از مؤلفه‌های این مدیریت بیولوژیک است.

گندم از محصولات کشاورزی مهم و نان گندم

از اصلی‌ترین منابع تغذیه در سبد غذایی خانوارهای ایرانی است که نقش ویژه‌ای در الگوی تغذیه‌ای مردم ایفا می‌کند بطوری‌که ۶۵-۶۰ درصد پروتئین و کالری، ۸۰ درصد آهن و ۴۰ درصد کلسیم موردنیاز روزانه موردنیاز بدن یک فرد بزرگسال را تأمین می‌کند (رجب‌زاده، ۱۳۸۷). سطح زیر کشت گندم در ایران حدود ۵/۹ میلیون هکتار با تولید ۱۳/۷ میلیون تن برآورد شده است. متوسط عملکرد گندم آبی ۴/۲ و گندم دیم ۱/۴ تن در هکتار است. (بی‌نام، ۱۳۹۹)؛ بنابراین با توجه به اهمیت گندم و سطح کشت قابل‌توجه آن، ارائه راهکارهای مبتنی بر کشاورزی پایدار برای افزایش عملکرد گندم، لازم و ضروری است. در این راستا اقدامات زیادی از جمله مبارزه با عوامل بیماری‌زا، آفات گیاهی، علف‌های هرز و اجرای برنامه‌های به‌زراعی و به نژادی و تغذیه گیاه از طریق کودهای شیمیایی صورت گرفته است. یکی از راهکارهایی که در این زمینه مدنظر است استفاده از پتانسیل بالقوه ریزجانداران خاک و کاربرد کودهای زیستی است. در این مقاله به پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با کودهای زیستی و مصرف آن‌ها در زراعت گندم در ایران، پرداخته می‌شود.

کودهای زیستی و سازوکارهای تأثیر آن‌ها بر رشد گیاهان

کود زیستی، ماده‌ای حاوی ریزجانداران یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آن‌ها است که هنگامی‌که بر روی بذر، سطح ریشه و یا در خاک استفاده می‌شود موجب تحریک و افزایش رشد گیاه شود. هر کود زیستی متشکل از دو بخش ریزجانداران و حامل هست. حامل عبارت از ماده یا ترکیبی از مواد مختلف که بتواند ریزجانداران موردنظر را در یک جمعیت معین به دست مصرف‌کننده برساند. بر این اساس، حامل می‌بایستی شرایط تنفسی، اسیدیته، میزان رطوبت و سایر شرایط رشد ریزجاندار را در طول مدت از تولید تا مصرف فراهم

نماید. حامل بایستی قابلیت استریل شدن به وسیله یکی از روش‌های اتوکلاو، اشعه گاما و تدخین^۲ (گاز تولیدی از موادی مانند اکسید اتیلن و برمیدمتیل) را داشته باشد. حامل می‌تواند به شکل مایع یا جامد شامل پودری، ژله‌ای و یا گرانول باشد. از رایج‌ترین مواد حامل یا نگهدارنده طبیعی برای تولید کود زیستی، انواع خاصی از تورب یا پیت است. به دلیل فقدان تورب مناسب در ایران، مواد گوناگونی همچون پرلیت، بتونیت، زغال چوب، کمپوست، خاک‌اره و چوب بلال ذرت مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در ایران، پرلیت به علت وفور و ارزان بودن به عنوان یک حامل مناسب برای تهیه کود زیستی توصیه شده است (خاوازی و رجالی، ۱۳۷۹).

مهم‌ترین سازوکارهایی که ریزجانداران به واسطه آن‌ها بر رشد گیاهان مؤثر واقع می‌شوند شامل تثبیت نیتروژن مولکولی، توانایی حل‌کنندگی فسفر و روی نامحلول، تولید سیدروفور و افزایش قابلیت جذب آهن، اکسایش بیولوژیک گوگرد و کاهش pH، تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری همچون پتاسیم است. ریزجانداران همچنین به واسطه تولید اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها از طریق تأثیر بر مورفولوژی ریشه، بر رشد گیاهان اثر می‌گذارند (شکل ۱).

در گیاهانی مانند غلات، تجمع و فعالیت باکتری‌های مفید در ناحیه ریزوسفیر که به عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً PGPR^۳ شناخته می‌شوند امری طبیعی محسوب می‌شود. از مهم‌ترین باکتری‌های گروه PGPR می‌توان به *Azotobacter*، *Pseudomonas* و *Bacillus* اشاره نمود. امروزه باکتری‌های هم‌یار با گرامینه‌ها مانند *Azospirillum* و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مانند *Azoarcus*، *Beijerinckia*، *Acetobacter*، *Klebsiella*، *Enterobacter* و *Herbaspirillum* و حتی ارتباط غیر همزیستی *Rhizobium* با گیاهان غیر لگوم از جمله گندم نیز به عنوان PGPR محسوب می‌شوند.

یکی دیگر از سازوکارهای مهم و منحصربه‌فرد برخی از ریزجانداران خاک، تثبیت نیتروژن^۴ است. بیش از ۷۸ درصد حجمی جو زمین را نیتروژن مولکولی (N_2) تشکیل می‌دهد که به این شکل برای گیاهان قابل‌جذب نبوده و این در حالی است که نیتروژن یکی از عناصر پر نیاز و مهم برای رشد گیاهان بوده و مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در جهان است. مقدار نیتروژن در گیاهان مختلف بین یک تا ۱۰ و در گندم بین سه تا پنج درصد است. برای اینکه نیتروژن، قابلیت استفاده توسط موجودات زنده را داشته باشد باید چرخه آن پویا باشد تا اکوسیستم‌های مختلف کره زمین به فعالیت طبیعی خود ادامه دهند (شکل ۲). فرآیندهای مهم تغییرات نیتروژن در خاک عمدتاً توسط ریزجانداران خاک انجام می‌شود.

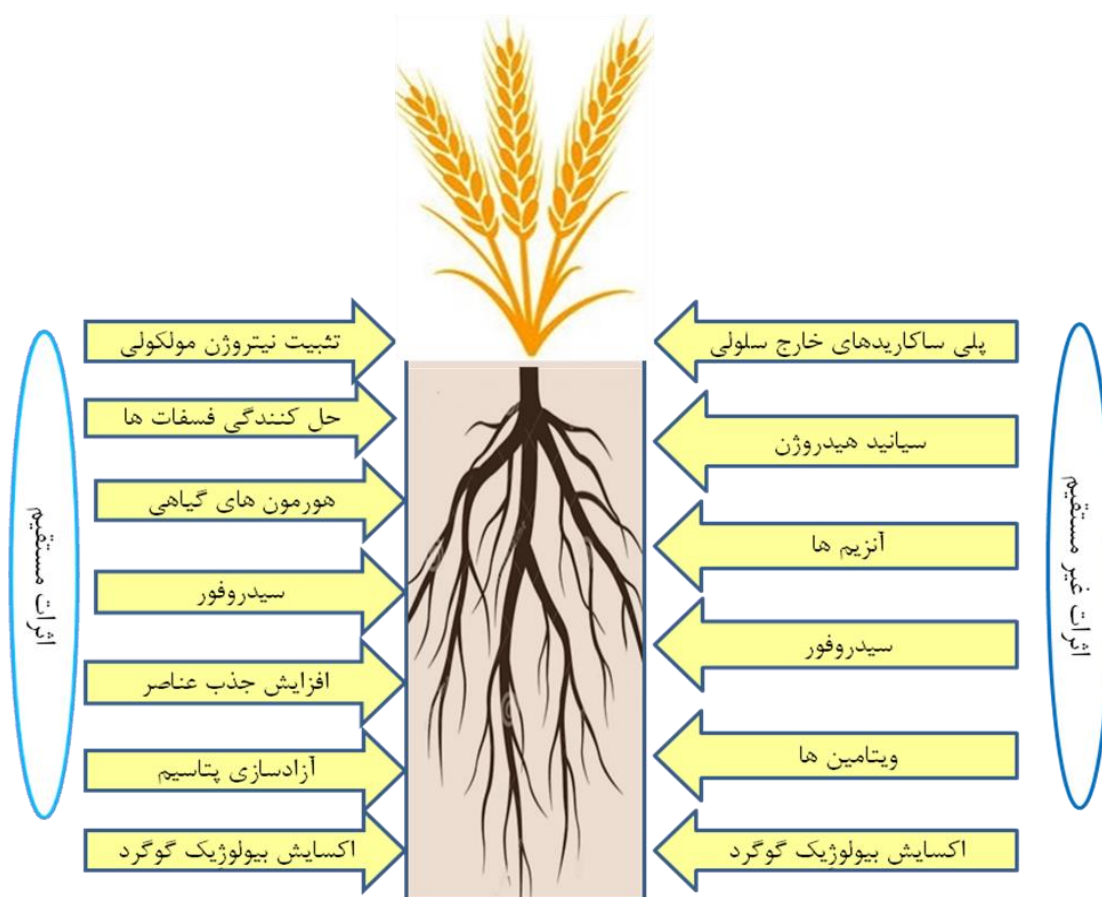
کودهای شیمیایی نیتروژنی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی مؤثر در افزایش تولید هستند با این حال پتانسیل آلوده‌کنندگی زیادی دارند. مصرف بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی نیتروژنی باعث آلودگی نیتراتی آب‌های سطحی و زیرزمینی و افزایش نیترات‌زدایی^۵ و در نتیجه تولید بیشتر گازهای گلخانه‌ای N_2O و NO می‌شوند؛ بنابراین فراهم‌سازی شرایط برای استفاده بیشتر از فرآیندهای مفید طبیعی مانند تثبیت زیستی نیتروژن برای تولید محصولات کشاورزی ضرورت دارد. تثبیت زیستی نیتروژن فقط توسط انواعی از پروکاریوت‌ها انجام می‌شود که توانایی تولید آنزیم نیتروژناز را دارند. آنزیم نیتروژناز، نقش یک کاتالیزور در احیای N_2 به NH_3 را بر عهده داشته و در دما و فشار معمولی عمل تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهد.

^۴ - Nitrogen Fixation

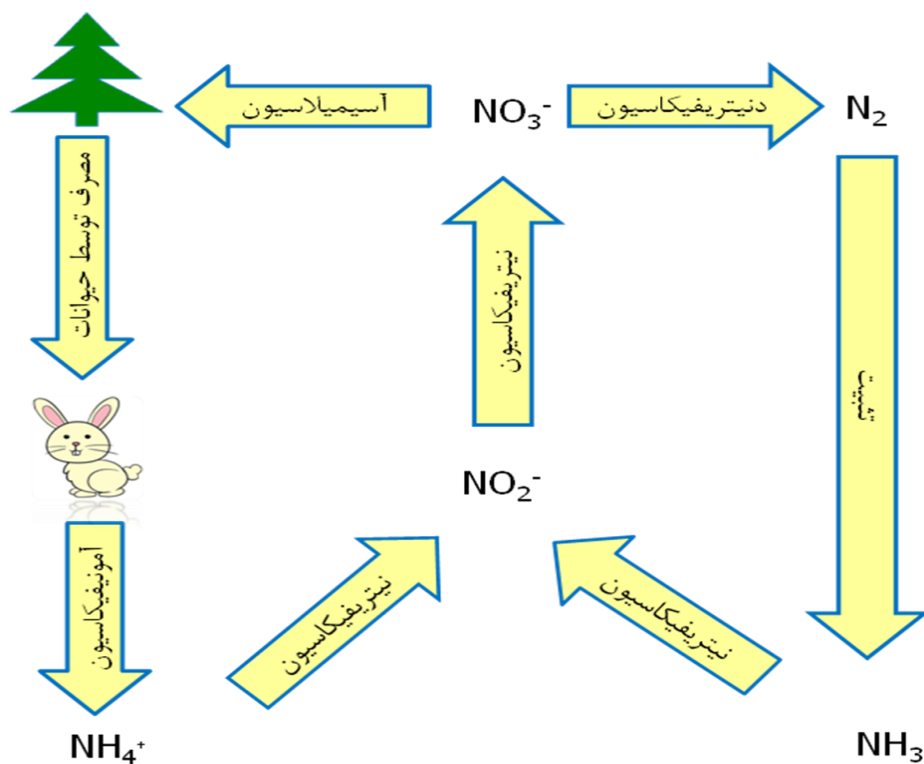
^۵ - Denitrification

^۲ - Fumigation

^۳ - Plant Growth Promoting Rhizobacteria



شکل ۱- سازوکارهای تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر رشد گیاه



شکل ۲- چرخه نیتروژن

باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به منظور تأمین کربن و انرژی موردنیاز خود، بر اساس نحوه ارتباطشان با گیاه، به سه گروه همزیست، هم‌یار و آزادزی تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع همزیستی، ریزجاندار در ارتباط نزدیکی با گیاه بوده و با تولید اندام زیستی مشترک قادر به تثبیت N_2 می‌باشند. شناخته‌ترین رابطه همزیستی بین باکتری‌های *Rhizobium* و ریشه گیاهان خانواده بقولات (لگومینوز) است. در روش همیاری، بین ریزجاندار و گیاه تماس فیزیکی برقرار شده ولی اندام زیستی مانند گره تشکیل نمی‌شود. ایجاد ارتباط همیاری باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن^۶ مانند *Azospirillum* خصوصیتی ویژه غلاتی مانند گندم است.

انواع آزادزی، کربن و انرژی لازم برای انجام فرآیند تثبیت نیتروژن را به‌طور مستقل یعنی بدون همکاری یک گیاه میزبان و اکثراً با روش هتروتروفی (استفاده از مواد کربنی ساده) و یا فتوتروفی (فتوستتر) فراهم می‌کنند. باکتری *Azotobacter* از شناخته‌شده‌ترین باکتری‌های هتروتروف آزادزی است که تثبیت N_2 را در شرایط کاملاً هوازی انجام می‌دهد. انواع اتوتروف آزادزی اکثراً از نور به عنوان منبع انرژی استفاده کرده و جزء فتوتروف‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. این ریزجانداران به دو گروه سیانوباکتری‌ها یا جلبک‌های سبز-آبی و باکتری‌های دارای توان فتوستتر تقسیم می‌شوند.

با توجه به اهمیت رابطه همزیستی تثبیت نیتروژن، تحقق این مسئله در گندم، تحولی عظیم در عرصه کشاورزی خواهد بود. امیدها در این زمینه با سویه‌هایی از *Rhizobium* که قادرند علاوه بر لگوم‌ها گیاهان غیر لگوم مانند پارسپونیا را نیز آلوده کنند بیشتر شده است. نمونه دیگر رابطه همزیستی بین اکتینومیسیت *Frankia* و درخت توسکا، همچنین رابطه همیاری اختصاصی تثبیت نیتروژن بین *Azotobacter paspali* با گیاه *Paspalum nutatum* است. این موضوعات دانشمندان را به فکر مطالعه و بررسی برای امکان ایجاد

رابطه همزیستی بین تثبیت‌کننده‌های نیتروژن و گیاهان مهمی همچون گندم تشویق کرده است. رایج و همکاران (۱۹۹۲) با استفاده از 2,4,D و تلقیح باکتری‌های مختلف توانستند ساختمان‌های گره‌مانندی در گندم ایجاد نمایند. در هفته‌نامه شماره ۳۳۳ انجمن پیشرفت علوم آمریکا در مقاله‌ای با عنوان غلاتی که در آینده، نیتروژن تثبیت می‌کند به این موضوع تأکید شده و انتقال ژن تثبیت نیتروژن را به غلات پیشنهاد داده است (بیوتی و گود، ۲۰۱۱).

پژوهش‌های مرتبط با تأثیر تلقیح کودهای زیستی بر رشد گندم در جهان

در پژوهشی در ایتالیا، تلقیح بذری گندم با ریزجانداران مختلف، نشان داد که مصرف هم‌زمان *Azospirillum*، *Azotobacter* و *Azorhizobium* سبب افزایش میکوریزی *Rhizophagus irregularis* سبب افزایش نیتروژن گندم شد اما تأثیری بر عملکرد دانه نداشت. در این گزارش آمده است که تلقیح، اثرات منفی بر تنوع میکروبی ریزوسفر گندم نداشته است (دال کورتیو و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی در چین، تلقیح هم‌زمان *Paenibacillus sp* و *Paenibacillus beijingensis* دارای توان تثبیت نیتروژن و توان حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول سبب افزایش طول، وزن تر، وزن خشک و مقدار نیتروژن گیاه شد (لی و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی در برزیل، تلقیح گندم با *Azospirillum brasilense* تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نداشته است؛ با این حال مقدار نیتروژن دانه و برگ افزایش یافت (بالبینوت و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی مزرعه‌ای در مصر، اثر لجن فاضلاب شهری، کمپوست بقایای گیاهی و تلقیح با *Azotobacter* و مخمر و مخلوطی از این مواد بر گندم در طی دو سال نتیجه‌گیری شد که کاربرد هم‌زمان لجن و کمپوست با هریک از ریزجانداران اثر قابل‌توجهی بر عملکرد و اجزای عملکرد و جذب عناصر ماکرو داشت (محمد و همکاران، ۲۰۱۹). اثر تلقیح گندم با *Azotobacter* و باکتری‌های حل‌کننده

^۶ - Associative nitrogen fixation

فسفات در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که بیش‌ترین افزایش در عملکرد دانه و اندام هوایی مربوط به ترکیب این دو باکتری بود (مک‌کارتی و همکاران، ۲۰۱۷). اثر ریزوبیوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر رشد و جذب فسفر در گندم مثبت و معنی‌دار گزارش شد (افضل و بانو، ۲۰۰۸). در پژوهشی تلقیح با *Klebsiella pneumonia* 342 موجب افزایش غلظت نیتروژن و رفع علائم کمبود آن در گندم شد. در این پژوهش تلقیح با سویه‌های موتانت و سلول‌های مرده این سویه، تأثیری بر شاخص‌های رشد نداشت (اینیگوئز و همکاران، ۲۰۰۴). تأثیر تلقیح غلات با باکتری‌های *Rhizobium* دارای توان تولید اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها قابل‌توجه ذکر شده است (ماتیرو و داکورا، ۲۰۰۴). تلقیح گندم با *Azotobacter chroococcum* اثرات قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد گندم در شرایط مزرعه‌ای نشان داد (میلشویچ و همکاران، ۲۰۱۲). تلقیح گندم پاییزه با باکتری‌های ریزوسفری از جمله *A. chroococcum* باعث افزایش قابل‌توجه عملکرد و جذب نیتروژن شد (رناتودفریتاس، ۲۰۰۰). تلقیح با *A. chroococcum* دارای خصوصیت حل‌کنندگی فسفات‌های غیر آلی سبب افزایش رشد گندم شد (کومار و نیرو-نارولا، ۱۹۹۹). اثر تلقیح *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* بر رشد گندم و جو بهاره، ذرت و تربچه مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (هولفیچ، ۱۹۹۹). اثر تلقیح پیش از جوانه‌زنی بذر گندم با *A. brasilense* موجب افزایش طول ریشه و تعداد باکتری در ریشه شد (سرئوس و همکاران، ۱۹۹۶). تلقیح ۴۱۱ مزرعه گندم آبی با *Azotobacter* در مناطق مختلف هندوستان باعث افزایش عملکردی بین ۳۴ تا ۲۴۷ کیلوگرم در هکتار در سطح ۳۴۲ مزرعه شد (هدج و ویودی، ۱۹۹۴). اثر تلقیح سیانوباکتر بر شاخص‌های رشد گندم معنی‌دار گزارش شده است (عبدالله و همکاران، ۱۹۹۴). استفاده از *Azospirillum* در کشت گندم در هندوستان موجب افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی در عملکرد محصول شد. در یک آزمایش، سیلندرهای بتونی حاوی

خاکی که سال‌ها پیش با نیتروژن رادیواکتیو (^{15}N) پر شده بود با سه سویه *A. brasilense* تلقیح شد نتایج نشان داد تجمع نیتروژن در دانه گندم رشد یافته در آن ۴۰ درصد افزایش یافت اما این مقدار از طریق تثبیت زیستی به دست نیامده بود (بودی و همکاران، ۱۹۸۶). سه سویه *A. brasilense* شامل سویه دارای توان تثبیت نیتروژن و تولید ایندول استیک اسید (سویه ۱)، سویه موتانت فاقد توان تثبیت نیتروژن اما دارای توان تولید ایندول استیک اسید (سویه ۲) و سویه فاقد توان تثبیت نیتروژن و فاقد توان تولید ایندول استیک اسید (سویه ۳) به گندم تلقیح شدند. نتایج نشان داد سویه‌های ۱ و ۲ باعث افزایش تعداد و طول ریشه‌های جانبی گندم شدند. در این مطالعه گزارش شد که تأثیر تلقیح مربوط به ایندول استیک اسید بوده و تثبیت نیتروژن در این مورد نقشی نداشته است (باربیری و همکاران، ۱۹۸۶).

پژوهش‌های مرتبط با تأثیر تلقیح کودهای زیستی بر رشد گندم در ایران

تلقیح گندم با باکتری‌های بومی *Azotobacter* در یک آزمون گلخانه‌ای سبب افزایش معنی‌دار رشد اندام هوایی و ریشه شد (خسروی و همکاران، ۱۳۷۷). تلقیح جدایه‌های *Azospirillum* در شرایط گلخانه‌ای تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم نشان نداد (روستا و همکاران، ۱۳۷۷). تعداد ۲۱۷ جدایه *Azotobacter* که از ۳۶۲ نمونه خاک مزارع زیر کشت گندم، جداسازی شده بودند پس از غربالگری، جدایه‌های برتر منتخب در استان‌های فارس، خوزستان، کردستان، گلستان و خراسان رضوی بر رشد گندم بررسی شد که حداکثر تا بیست درصد موجب افزایش عملکرد دانه شد (خسروی، ۱۳۸۸). تلقیح گندم با جدایه‌های مختلف *Pseudomonas* در آزمایشی گلخانه‌ای و در شرایط شور نشان داد که *Pseudomonas putida* شاخص‌های عملکرد دانه و وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (ذبیحی و همکاران، ۱۳۸۸).

با سویه‌های سودوموناس در بیشتر شاخص‌های رشد مثبت بود. گونه‌های *Pseudomonas putida* و *Pseudomonas fluorescens* از ترکیبات مهم جمعیت‌های باکتریایی ریزوسفر است.

جعفری وفا و همکاران (۱۳۹۸) گزارش دادند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاه زراعی گندم دیم و افزایش عملکرد آن، سبب کاهش قابل توجه مصرف کودهای شیمیایی می‌شود.

آینه‌بند و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی خصوصیات زراعی و شیمیایی بوم نظام گندم تحت تأثیر الگوهای کشت مضاعف و مدیریت زیستی-شیمیایی کود را ارزیابی و نتیجه‌گیری کردند که روش مدیریت تلفیقی کود نسبت به روش‌های کاملاً شیمیایی یا کاملاً زیستی راه‌کار مناسب‌تری است.

امرائی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر کاربرد میکوریزی و ازتوباکتر بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی سه رقم گندم سرداری، کوه‌دشت و کریم در خرم‌آباد نشان داد که بالاترین درصد وابستگی و پاسخ رشد میکوریزی در تیمار تلقیح ازتوباکتر در رقم کریم به دست آمد و در نهایت مشخص شد که تلقیح رقم کریم با میکوریزی حداکثر پتانسیل تولید تحت شرایط دیم منطقه را دارا است. کاویانی (۱۳۹۴) گزارش داد که تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید نشان داد که تلقیح ازتوباکتر به همراه ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را حاصل کرد. تأثیر تلقیح ریزجانداران مختلف بر رشد و عملکرد گندم در مطالعات پژوهشی در جدول ۱ ارائه شده است.

اثر یک نوع مایه‌تلقیح تجاری *Azotobacter* بر رشد گندم در هشت نقطه ایران نشان داد که تلقیح، اثر مثبتی بر رشد گندم نداشته است (خسروی، ۱۳۹۲). تلقیح *Azotobacter chroococcum* به همراه کود دامی بر رشد گندم در کشت دیم در مراغه باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، جذب نیتروژن، فسفر و روی دانه شد (خسروی و محمودی، ۱۳۹۲). تلقیح *A. chroococcum* و *A. brasilense* و سه سطح کود اوره بر رشد سه رقم گندم یاواروس، کرخه و سیمره در ایلام مشخص کرد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم یاواروس و تلفیق کود زیستی و اوره بود (آزادی و همکاران، ۱۳۹۲). تأثیر روش‌های مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و زیستی در تراکم‌های مختلف علف-های هرز در گندم در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز مشخص نمود که حذف کامل کود شیمیایی نیتروژنی به لحاظ کمی و کیفی مطلوب نبوده بلکه روش-های تلفیقی ضمن کاهش مقدار کود مصرفی، شرایط مطلوبی را در اکوسیستم گندم از لحاظ زراعی و اکولوژیک فراهم می‌کند (قلمباز و همکاران، ۱۳۹۲). تلقیح کود زیستی و شیمیایی نسبت به مصرف هر کدام به تنهایی، نتیجه بهتری در مورد اثر بر خصوصیات کمی و کیفی گندم در مازندران داشت (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۴). اثر سه نوع کود زیستی تجاری و شیمیایی نیتروژنی بر رشد گندم در طی دو سال در اصفهان نشان داد که تلفیق مناسبی از این کودها موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (توکلی و جلالی، ۱۳۹۵).

اسدی‌رحمانی (۱۳۹۵) گزارش کرد که تلقیح گندم با *Microbacterium* در ۲۵ استان سبب افزایش متوسط ۱۱٪ عملکرد دانه گردید. ریحانی تبار (۱۳۷۹) طی آزمایشی گلخانه‌ای نشان داد که پاسخ گندم به تلقیح

جدول ۱- تأثیر تلقیح ریزجانداران مختلف بر عملکرد دانه گندم در آزمایش‌های پژوهشی

ردیف	نوع ریزجانداز	تأثیر بر عملکرد دانه	شاخص رشد مورد افزایش	محل انجام آزمایش	منبع	توضیحات
۱.	<i>Azoarcus Azospirillum Rhizophagus</i> و <i>Azorhizobium irregularis</i>	بی‌تأثیر	نیترژن	ایتالیا	(دال کورتیوو و همکاران، ۲۰۲۰).	مزرعه‌ای
۲.	لجن فاضلاب شهری، کمپوست، <i>Azotobacter</i> مخمر	قابل توجه	اجزای عملکرد و عناصر ماکرو	مصر	(محمد و همکاران، ۲۰۱۹)	مزرعه‌ای
۳.	<i>Azotobacter</i> و باکتری‌های حل‌کننده فسفات	مثبت	عملکرد اندام هوایی	هندوستان	(مک کارتی و همکاران، ۲۰۱۷).	مزرعه‌ای
۴.	<i>Paenibacillus beijingsensis</i> و <i>Paenibacillus sp</i>	-	طول، وزن تر و خشک و نیترژن	چین	(لی و همکاران، ۲۰۲۰).	گلخانه‌ای
۵.	<i>Azotobacter chroococcum</i>	قابل توجه	جذب نیترژن	کانادا	(رناتودفريتاس، ۲۰۰۰).	اتاق رشد
۶.	<i>Entrobacter Azotobacter Bacillus</i> و <i>Azospirillum</i>	قابل توجه	وزن هزار دانه	صربستان	(میلشویچ و همکاران، ۲۰۱۲).	مزرعه‌ای
۷.	<i>Azospirillum brasiliense</i>	بی‌تأثیر	مقدار نیترژن دانه و برگ	برزیل	(بالینوت و همکاران، ۲۰۲۰).	مزرعه‌ای
۸.	<i>Azospirillum</i>	بی‌تأثیر	بی‌تأثیر	ایران، کرج	روستا و همکاران (۱۳۷۷)	گلخانه‌ای
۹.	<i>Azotobacter chroococcum</i>	۰-۲۰٪	عملکرد کاه و کلس و وزن هزار دانه	ایران، ۸ استان	خسروی و همکاران (۱۳۹۳)	مزرعه‌ای
۱۰.	<i>Azotobacter</i>	بی‌تأثیر	بی‌تأثیر	ایران - ۱۰ استان	خسروی (۱۳۹۲)	مزرعه‌ای (تجاری)
۱۱.	<i>Azotobacter</i> و کود دامی	معنی‌دار	وزن خشک اندام هوایی، جذب نیترژن، فسفر و روی دانه افزایش	ایران، مراغه	خسروی و محمودی (۱۳۹۲)	مزرعه‌ای دیم
۱۲.	<i>Microbacterium</i>	۱۱ درصد	-	ایران، ۲۵ نقطه	اسدی رحمانی، ۱۳۹۵	مزرعه‌ای

نقش کودهای زیستی در کاهش اثرات تنش در گندم

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است. حدود ۴۰ درصد سرزمین ایران خشک و نیمه‌خشک است و در دهه‌های اخیر، شدت خشکی در کشور روند افزایشی داشته است (بذرافشان و خلیلی، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، ۶۷ درصد زمین‌های زیر کشت گندم در ایران به صورت دیم است که برای رشد بهینه به بارندگی سالیانه وابسته می‌باشند (بی‌نام، ۱۳۹۹)؛ بنابراین، گیاه گندم در بیشتر موارد با تنش خشکی روبرو است.

تنش مهم دیگر، شوری موجود در خاک‌های ایران است و برآورد شده که حدود ۵۵/۶ میلیون هکتار که معادل ۳۴ درصد از مساحت ایران است را خاک‌های شور تشکیل می‌دهند (مؤمنی، ۱۳۸۹).

همانطوریکه اشاره شد ریزجانداران خاک از طریق سازوکارهای مختلفی بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند که در نهایت منجر به مقاومت بیشتر گیاه در مقابل تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود. این خصوصیات در بین بسیاری از ریزجانداران خاک عمومیت دارد. ریزجانداران خاک همچنین با استفاده از سازوکارهای اختصاصی زیر نیز می‌توانند موجب کاهش اثرات تنش در گیاهان شوند:

۱. تولید سیتوکینین که موجب افزایش تولید آبسازیک اسید در گیاه شده که نتیجه آن بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر و تعرق گیاه است.

۲. تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی (EPS)^۷ که موجب افزایش خاصیت نگهداری آب‌شده و همچنین از

^۷-Exopolysaccharides

شرایط گلخانه‌ای نشان داد که تلقیح به ویژه در رقم حساس اثرات تنش شوری را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (ثقفی و همکاران، ۱۳۹۲).

کاربرد در مقیاس وسیع کودهای زیستی در زراعت گندم
گزارش‌ها از دهه ۶۰ میلادی تاکنون از اثر مثبت کاربرد تلقیح ریزجانداران بر رشد گیاهان مختلف از جمله گندم حکایت دارد. بسیاری از این گزارش‌ها در مورد استفاده از کودهای زیستی در کشت گندم مربوط به طرح-ها و پروژه‌های پژوهشی بوده که بیشتر آن‌ها در سطح آزمایشگاهی و گلخانه‌ای انجام شده است. در این گزارش‌ها، اثرات مثبت کاربرد ریزجانداران عمدتاً بر شاخص‌هایی مانند وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و جذب عناصر بوده و نتایج در مورد افزایش عملکرد دانه کمتر مشاهده شده است. در بخش تولید، شرکت‌هایی در برخی کشورها اقدام به تولید کودهای زیستی کرده‌اند که محصول هدف عمدتاً طیف وسیعی از گیاهان را در برمی‌گیرد. به عنوان نمونه کود زیستی -کمپوستی Kiplant All-Grip محصول شرکت پرتقالی Asfert global حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، تولیدکننده فیتوهورمون‌ها و آنزیم‌های خارج سلولی (EPS) است. محصول دیگر این شرکت، Kiplant iNmass حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، فیتوهورمون‌ها و تجزیه‌کننده مواد آلی خاک است. شرکت اسپانیایی GREEN UNIVERSE AGRICULTURE نیز یک نمونه کودآلی-زیستی با نام KAPASOIL حاوی هیومیک اسید و باکتری‌های ریزوسفری تولید می‌کند.

فناوری تولید کودهای زیستی در ایران عمدتاً در مؤسسه تحقیقات خاک و آب شکل گرفته و تعدادی از آن‌ها به مرحله تولید صنعتی رسیده و به بخش خصوصی واگذار شده است. در دانشگاه‌های مختلف ایران نیز پژوهش‌هایی در مورد کودهای زیستی مختلف از جمله گندم انجام شده است اما با توجه به اینکه معمولاً هر دانشگاه به‌طور مستقل عمل می‌کند لذا کارهای موازی و

طریق تشکیل بیوفیلم موجب تشکیل و پایداری خاک‌دانه‌ها و تنظیم جریان آب و عناصر غذایی به ریشه گیاه می‌شود.

۳. افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه که سبب تجزیه رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروکسیل و پروکسید هیدروژن می‌شود. این رادیکال‌ها موجب تخریب اندام-های فتوسنتزی و کاهش رشد گیاه می‌شوند.

۴. تولید آنزیم ACC-دآمیناز که سبب کاهش مقدار اتیلن تنشی در گیاه می‌شود. اتیلن در مقدار زیاد سبب کاهش رشد گیاه می‌شود.

۵. افزایش تولید ترکیبات اسمولیت مانند K^+ ، گلوتامات و ترهالوز در گیاه.

۶. تولید پرولین و افزایش میزان نسبی آب برگ و جذب انتخابی K^+ و در نتیجه افزایش تحمل به تنش.

در پژوهشی، تلقیح گندم با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک در شرایط تنش خشکی موجب کاهش اثرات تنش شد (داوودی فرد و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد تلفیقی سولفات پتاسیم و کود زیستی در اهواز نشان داد که هم در شرایط تنش و هم بدون تنش رطوبت، اثر مثبتی بر عملکرد دانه گندم داشت (کرد زنگنه و مرعشی، ۱۳۹۷). تلقیح باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف هم به صورت مستقیم و هم غیرمستقیم به میزان زیادی آسیب حاصل از تنش خشکی در گندم را کاهش داد کسیم و همکاران (۲۰۱۳). تلقیح گندم با *Rhizobium* دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز در شرایط شور، ارتفاع بوته، طول ریشه، جذب عناصر آهن، منگنز و مس را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (خسروی و همکاران ۱۳۷۸). تلقیح همین سویه‌ها در شرایط تنش خشکی موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، محور طولی ریشه، سطح برگ و جذب پتاسیم و مس اندام هوایی شد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). تأثیر تلقیح باکتری‌های مختلف محرک رشد بر شاخص‌های رشد دو رقم گندم حساس و متحمل به شوری در بستر شنی و در

کودهای زیستی بر اساس دستورالعمل کودهای زیستی (خاوازی و همکاران، ۱۳۹۱)، با همکاری مؤسسه تحقیقات خاک و آب و سازمان ملی استاندارد تدوین، تصویب و منتشر شده است (بی‌نام، ۱۳۹۶).

جنس و نوع ماده بسته‌بندی کود زیستی و فضای موجود در آن بایستی طوری باشد که باکتری هوازی موجود در کود زیستی تا پیش از تاریخ انقضاء، زنده مانده و کارایی لازم را داشته باشد. ماده مورد استفاده در بسته‌بندی بایستی به نور و رطوبت غیرقابل نفوذ بوده و قابلیت اتوکلاو شدن را داشته و یا اینکه بتوان محتویات آن را با اشعه گاما استریل نمود. پلی‌اتیلن یکی از این مواد است که قابلیت تبادل هوای مناسبی داشته بطوریکه اجازه خروج CO_2 و ورود O_2 را می‌دهد. در استرالیا پلی‌اتیلن با ضخامت ۰/۰۵-۰/۰۳۸ میلی‌متر استفاده و حامل آن به وسیله اشعه گاما استریل می‌شود. در هندوستان از نایلون-های پلی‌اتیلنی با ضخامت ۰/۴ میلی‌متر استفاده می‌شود که به علت ضخامت بیشتر می‌توان آن را با اتوکلاو استریل نمود.

تکراری زیادی مشاهده می‌شود همچنین هر کدام از این مراکز علمی از ریزجانداران مختلفی استفاده می‌کنند، لذا جمع‌بندی نتایج آن‌ها در سطح ملی دشوار است. امروزه انواعی از کودهای زیستی در شرکت‌های مختلف کشور تولید می‌شود که تعدادی از آن‌ها برای گندم توصیه شده است. اسامی شرکت‌ها و محصولات تولیدی آن‌ها در سایت انجمن صنفی تولیدکنندگان فرآورده‌های آلی و زیستی کشاورزی به آدرس <http://www.iapobp.ir> ارائه شده است. یک نمونه کود زیستی ویژه گندم با نام تجاری فلاویت که حاوی باکتری *Microbacterium* sp است توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارائه و برای تولید در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته است... نتایج بررسی‌ها در مرحله پژوهشی نشان داد که فلاویت به‌طور متوسط سبب افزایش ۱۵ درصدی عملکرد گندم شده است (اسدی‌رحمانی، ۱۳۹۵). سایر انواع کودهای زیستی برای گندم در ایران و مقدار و روش مصرف آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

بررسی کیفیت کودهای زیستی تولیدشده بر اساس استاندارد ملی

کیفیت کودهای زیستی تولیدی لازم است که توسط نهادهای نظارتی به‌طور مداوم پایش تا درنهایت محصولی مناسب به دست مصرف‌کننده برسد. هم‌اکنون دفتر ثبت و کنترل مواد کودی کشور این کنترل کیفی را انجام می‌دهد. در طی فرآیند تولید، بعضی از آزمایش‌ها کمی و کیفی شامل کنترل کشت از نظر آلودگی‌های میکروبی، شمارش کلنی، کنترل و تنظیم pH محیط کشت، رنگ‌آمیزی گرم^۸، کشت خطی بر روی محیط کشت جامد و مشاهده سلول زنده توصیه می‌شود. بررسی کیفیت و ویژگی کودهای زیستی تولیدی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر اساس استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۵ انجام می‌شود (جدول ۲). این ویژگی‌ها از زمان تولید تا تاریخ انقضای محصول می‌بایستی احراز شوند. استاندارد

جدول ۲- ویژگی‌های باکتری‌های محرک رشد موجود در کود زیستی افزایش‌دهنده رشد گیاه

ردیف	ویژگی	حد قابل قبول
۱	شناسایی در حد جنس و گونه	بر اساس روش مولکولی
۲	تعداد باکتری	در حامل پودری حداقل 5×10^6 cfu.g ⁻¹ در حامل مایع حداقل 1×10^6 cfu.ml ⁻¹ در حامل گرانول حداقل 1×10^5 cfu.g ⁻¹
۳	آلودگی میکروبی	در رقت 10^{-6} هیچ گونه آلودگی مشاهده نشود

مقدار و روش مصرف کودهای زیستی ویژه گندم

کودهای زیستی به شکل‌های پودری، مایع و گرانول تولیدشده و عمدتاً به صورت کاربرد بر روی بذر یا بذرمال کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند. بذرمال کردن از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های مصرف کودهای زیستی است. در کودهای زیستی با حامل جامد و پودری مانند پرلیت که چسبندگی آن‌ها به سطح بذر کم است معمولاً نیاز است که قبل از تلقیح، سطح بذر به وسیله مواد چسباننده مناسب مانند صمغ عربی^۹، صمغ سلولز (CMC)^{۱۰}، پلی وینیل پیرولییدون (PVP)^{۱۱}، روغن‌های گیاهی و یا محلول شکر آغشته شود. عمل تلقیح می‌تواند به روش دستی و در پلاستیک‌های خیاری انجام و در مقیاس بزرگ‌تر می‌توان از مخلوط‌کن‌های دستی یا برقی استفاده کرد.

روش دیگر، مصرف برخی کودهای زیستی در گندم کاربرد در خاک است؛ که البته برای محصولات زراعی مانند گندم کمتر قابل کاربرد است زیرا به مقدار زیادی کود زیستی نیاز بوده که از لحاظ اقتصادی و عملیات زراعی به صرفه نیست.

یکی دیگر از روش‌های مصرف کودهای زیستی، محلول‌پاشی برگ‌ها و اندام هوایی گیاه است. در انواعی از کودهای زیستی، باکتری توسط سانتریفیوژ، خالص و در یک محلول غذایی یا سرم فیزیولوژیک، سوسپانسیون شده و سپس بر روی گیاه محلول‌پاشی می‌شود. با این حال، امروزه عمده کودهای زیستی مورد

استفاده برای محلول‌پاشی، فاقد سلول زنده ریزجانداران بوده و معمولاً حاوی عصاره‌ای از اسیدهای آمینه، هورمون‌ها، عناصر غذایی و سایر متابولیت‌های حاصل از فعالیت ریزجانداران می‌باشند. برای این منظور ابتدا مقدار آب مصرفی محاسبه و سپس محلول‌پاشی انجام می‌شود. عملیات محلول‌پاشی بهتر است که در طی چند مرحله صورت گیرد. محلول‌پاشی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه معمولاً در دو تا سه مرحله رشدی قبل از گل‌دهی توصیه می‌شود. در روش محلول-پاشی، به لحاظ اقتصادی می‌بایست کود موردنظر رقیق شود. بر اساس جمعیت ریزجانداران مؤثر موجود در کود، رقیق‌سازی تا صد مرتبه مجاز است. محلول‌پاشی بهتر است در هنگام غروب آفتاب انجام شود تا از تأثیرات منفی امواج ماوراءبنفش نور خورشید جلوگیری شده و همچنین فرصت کافی برای نفوذ به برگ فراهم شود. مقدار و روش مصرف کودهای زیستی در گندم در گزارش‌ها پژوهشی و انواع تجاری تولیدشده در ایران در جدول ۳ ارائه شده است.

^۹ - Arabic gum^{۱۰} - Carboxymethyl cellulose (CMC)^{۱۱} - Polyvinylpyrrolidone

جدول ۳- مقدار و روش مصرف انواع کودهای زیستی و مایه تلقیح‌های ویژه گندم در ایران

ردیف	نام تجاری یا منبع کود	نوع ریزجاندار موجود در کود	جمعیت ریزجاندار (cell.ml ⁻¹ or gr ⁻¹)	نحوه مصرف یا روش تلقیح	مقدار مصرف	منبع
۱.	پژوهش مزرعه‌ای دیم	<i>Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	۳۰ گرم در ۵۰ مترمربع	خسروی و محمودی، ۱۳۹۲
۲.	پژوهش گلخانه‌ای	<i>Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	یک میلی‌لیتر به ازای بذر	خسروی و همکاران، ۱۳۷۷
۳.	پژوهش مزرعه‌ای آبی	<i>Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	۳۰ گرم در ۶۰ مترمربع	خسروی، ۱۳۸۸
۴.	فلاویت	<i>Microbacterium</i>	۱۰ ^۸	بذری و کودآبیاری	۱ لیتر به ازاء ۱۰۰ کیلوگرم بذر	تجاری
۵.	نیتروکارا	<i>Azorhizobium</i>	۱۰ ^۷	بذری	۱۰-۱۰۰ گرم برای ۱۰۰ گرم بذر	تجاری
۶.	نیتراژین	<i>Azospirillum+ Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	۲-۴ لیتر	تجاری
۷.	بیوفارم	<i>+ Azospirillum+ Azotobacter Pseudomonas</i>	۱۰ ^۸	بذری	۱-۲ لیتر در ۱۰۰ کیلوگرم بذر	تجاری
۸.	سوپرنیتروپلاس	<i>+ Pseudomonas +Azospirillum Bacillus</i>	۱۰ ^۸	بذری	۲-۴ لیتر در هکتار	تجاری
۹.	کارا	<i>Azospirillum+ Azotobacter</i>	۱۰ ^{۱۰}	بذری	۱۰۰ گرم برای هر ۱۰۰ گرم بذر	تجاری
۱۰.	نیتروکسین	<i>Azospirillum+ Azotobacter</i>	۱۰ ^۷	بذری	۲-۴ لیتر در هکتار	تجاری
۱۱.	رشد افزا	<i>Pseudomonas + Azospirillum Bacillus+</i>	۱۰ ^۷	محلول پاشی	۲ لیتر برای هر هکتار	تجاری
۱۲.	مایکوروت	<i>*Mycorrhizae</i>	۱۰ ^۷ -۱۰ ^۸	بذری	۲۰ تا ۳۰ گرم در کیلوگرم بذر	تجاری

* حاوی قارچ‌های *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum*

پتانسیل‌ها و فرصت‌های تولید و مصرف کودهای زیستی در زراعت گندم

تقریباً یک سوم سطح کل زیر کشت محصولات زراعی در ایران به گندم اختصاص یافته است (بی‌نام، ۱۳۹۹) با توجه به اینکه گندم اهمیت بسزایی در تغذیه مردم دارد لذا توجه به کمیت و کیفیت آن مهم بوده و بنابراین برای تولید گندم در شرایط پایدار، این وضعیت یک پتانسیل و فرصت مناسب برای رونق تولید و مصرف کودهای زیستی در کشور است. قیمت بالای کودهای شیمیایی و حجم زیادی از کود که در ازای یک هکتار زمین بایستی به خاک اضافه شود در برابر قیمت ارزان‌تر و حجم و مقدار کمتر کود زیستی نیز یک مزیت است که می‌تواند آن را به یک فرصت برای توسعه مصرف کودهای زیستی تبدیل کند. وجود زیرساخت‌های لازم در

بخش خصوصی برای تولید کودهای زیستی و وجود متخصصین مربوطه در کشور و دانش‌های فنی در این زمینه نیز یک فرصت و پتانسیل مناسبی برای رونق تولید کودهای زیستی است. همچنین توجه به حفظ محیط‌زیست و اهمیت تولید محصول سالم در اسناد ملی و بالادستی نیز رغبت به تولید و مصرف این کودها را افزایش داده است.

محدودیت‌ها و نقاط ضعف تولید و مصرف کودهای زیستی

فراوانی کودهای شیمیایی و سابقه طولانی مدت مصرف آن‌ها، موجب اعتماد مصرف‌کننده‌ها و اطمینان از اثرگذاری معنی‌دار این کودها شده است. همچنین کودهای زیستی از نظر افزایش مقدار محصول، توان

۵. انجام پژوهش در مورد کودهای زیستی ترکیبی شامل ریزجانداران، متابولیت‌های ریزجانداران و ترکیبات آلی.
۶. ارائه تسهیلات بانکی و معافیت‌های مالیاتی به تولیدکننده‌های کودهای زیستی
۷. تأکید رسانه‌های ارتباط جمعی و شبکه‌های اجتماعی بر مزایای مصرف کودهای زیستی و مضرات مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی
۸. برگزاری مزارع آموزشی- ترویجی برای کشاورزان
۹. دادن مشوق‌ها به کشاورزان برای استفاده از کودهای زیستی و تولید محصولات ارگانیک.

پیشنهادهای ترویجی

گندم به واسطه نقش اساسی در تغذیه مردم، مهم‌ترین محصول زراعی در ایران محسوب می‌شود. از طرف دیگر تولید محصول با در نظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی و هم‌سویی با کشاورزی پایدار، مورد تأکید جامعه علمی کشاورزی است. یکی از موضوعات مرتبط با این مسئله، استفاده از کودهای زیستی ویژه گندم است. در این راستا، توسعه پژوهش، تولید و مصرف این فرآورده- های زیستی موجب جایگزینی با حداقل بخشی از کودهای شیمیایی خواهد شد.

رقابتی ضعیف‌تری نسبت به کودهای شیمیایی دارند. یکی از محدودیت‌های مهم کاربرد کودهای زیستی، کم بودن ماده آلی در اکثر خاک‌های ایران است زیرا عمده ریزجانداران موجود در این کودها از باکتری‌های هتروتروف بوده و برای رشد و فعالیت به منابع کربنی نیاز دارند. از دیگر عوامل محدودیت تولید و مصرف کودهای زیستی می‌توان به عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج و مشکلات در بخش تجاری‌سازی ازجمله نیاز به تجهیزات و ملاحظات خاص در فرآیند تولید، نگهداری و توزیع کودهای زیستی اشاره کرد.

پیشنهادهای توسعه پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی در زراعت گندم

۱. بررسی قابلیت و استعداد اراضی مختلف در پاسخ‌دهی به کودهای زیستی ویژه گندم
۲. انجام تحقیقات بنیادی در رابطه با رقابت باکتری‌های مورد استفاده با انواع بومی خاک
۳. انجام پژوهش‌ها به منظور امکان ایجاد رابطه همزیستی بین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و گیاه گندم
۴. انجام پژوهش‌های مولکولی به منظور افزایش کارایی خصوصیات محرک رشدی و توان تثبیت زیستی نیتروژن در ریزجانداران.

فهرست منابع

۱. آزادی، ص.، ع. سیادت، ر. ناصری، ع. سلیمانی فرد و ا. میرزایی. ۱۳۹۲ کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه در ارقام گندم دوروم. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)، ۷(۲): ۱۴۶-۱۲۹.
۲. اسدی رحمانی، ه. ۱۳۹۵. بررسی اثربخشی کود زیستی ویژه گندم (فلایت) بر عملکرد گندم در استان‌های مختلف کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقی-ترویجی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
۳. امرایی، ا.، م. اردکانی، م. رفیعی، ف. پاکنژاد و ف. رجالی ۱۳۹۵. بررسی تأثیر کودهای زیستی میکوریزی و ازتوباکتر بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ارقام مختلف گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات، ۱۲(۲): ۱-۱۷.
۴. آینه بند، ا.، م. شوهانی، ا. فاتح، ۱۳۹۸. ارزیابی خصوصیات زراعی و شیمیایی بوم نظام گندم تحت تأثیر الگوهای کشت مضاعف و مدیریت زیستی-شیمیایی کود. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۶(۲): ۸۴-۷۱.

۵. بی‌نام. ۱۳۹۹. گزارش برآورد سطح و تولید محصولات زراعی در سال زراعی ۹۸-۹۷ معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین‌المللی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، ۷۱ صفحه.
۶. بی‌نام، ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک حاوی ریزوباکتری‌های افزایشنده رشد گیاه -ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۵، انتشارات سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۶ صفحه.
۷. توکلی، م. و ا.ه. جلالی. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد انواع کودهای زیستی و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۶(۲۱): ۳۴-۴۵.
۸. ثقفی، ک. ج. احمدی، ا. اصغرزاده، ا. اسمعیلی‌زاد. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد (PGPR) بر شاخص‌های رشد گندم تحت تنش شوری. نشریه زیست‌شناسی خاک، ۱(۱): ۴۷-۵۹.
۹. جعفری وفا، ه.، غ. حیدری و ش. خالصرو. ۱۳۹۸. اثر آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۹(۲): ۱۸۷-۱۷۳.
۱۰. خاوازی، ک. و ف. رجالی. ۱۳۷۹. استفاده از بعضی مواد ارزان‌قیمت به‌عنوان حامل باکتری *Bradyrhizobium japonicum*. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب سابق)، دوره ۱۴(۱): ۳۶-۴۵.
۱۱. خاوازی، ک. و همکاران. ۱۳۹۱. دستورالعمل نحوه بررسی کودهای زیستی. انتشارات سادس، ۴۸ صفحه.
۱۲. خسروی، ه. ۱۳۸۸. دستیابی به دانش فنی تولید کود بیولوژیک ازتوباکتر برای مزارع گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۴۵۰. ۲۴ صفحه.
۱۳. خسروی، ه. ۱۳۹۲. بررسی اثربخشی مایه تلقیح ازتوباکتر بر رشد و عملکرد گندم در مناطق مختلف ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۷۹۳.
۱۴. خسروی ه. و ح. محمودی. ۱۳۹۲. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۱۹-۲۰۵.
۱۵. خسروی، ه.، ح. علیخانی و ب. یخچالی. ۱۳۸۹. اثر تلقیح سویه‌های *Sinorhizobium meliloti* بومی دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز بر رشد گندم در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۴(۲): ۱۳۱-۱۲۳.
۱۶. خسروی، ه.، ح. علیخانی و ب. یخچالی. ۱۳۷۸. بررسی اثر سویه‌های ریزوبیوم دارای آنزیم ACC daminase بر رشد گندم در شرایط تنش شوری. مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، ۳۹(۱): ۹۳-۱۰۳.
۱۷. خسروی، ه.، ع. توسلی، م.ح. سدری، ع. ضیائی‌ان، ح.ر. ذبیحی و ع. منتظری. ۱۳۹۳. تأثیر مایه‌زنی جدایه‌های بومی ازتوباکتر بر عملکرد و شاخص‌های رشد گندم آبی در ایران. نشریه زیست‌شناسی خاک، ۲(۲): ۱۵۸-۱۴۹.
۱۸. خسروی، ه.، ن. صالح راستین و م. محمدی. ۱۳۷۷. اثر تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم به عنوان یک کود بیولوژیک بر رشد و عملکرد گندم. مجله خاک و آب، ۱۲(۵): ۸-۱.
۱۹. داوودی فرد، م.، د. حبیبی و ف. داوودی فرد. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و سیلیسیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گندم (*Triticum aestivum*) تحت شرایط تنش خشکی. نشریه زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۸(۱): ۱۱۴-۱۰۱.

۲۰. ذبیحی، ح.ر.، غ. ثوابی، ک. خاوازی، ع. گنجعلی. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کاربرد سویه‌هایی از سودوموناس‌های فلورسنت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری خاک، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۱۹۹-۲۰۸.
۲۱. رجب‌زاده، ن. ۱۳۸۷. تکنولوژی نان. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۸ صفحه.
۲۲. روستا، م.ج.، ن. صالح راستین، م. مظاهری اسدی. ۱۳۷۷. بررسی فراوانی و فعالیت *Azospirillum* در برخی از خاک‌های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۹(۲): ۲۸۵-۲۹۸.
۲۳. ریحانی تبار، ع. ۱۳۷۹. بررسی جمعیت سودوموناس‌های فلورسنت در ریزوسفر گندم کشت‌شده در خاک‌های زراعی استان تهران و تعیین پتانسیل آن‌ها برای افزایش رشد گیاهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۲۴. قلمباز، س.، ا. آینه بند و ع. معزی. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر کودهای بیولوژیکی بر عملکرد دانه و کارایی استفاده از نیتروژن در گندم (*Triticum aestivum* L). دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴): ۱۵۷-۱۴۱.
۲۵. کرد زنگنه، ر. و ک. مرعشی. ۱۳۹۷. مطالعه اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی پتاسه بر عملکرد و اجزاء عملکرد در شرایط کمبود رطوبت خاک گندم (*Triticum aestivum* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۴): ۸۷۲-۸۶۳.
۲۶. کاویانی، ب. ۱۳۹۴. اثر تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۳۹: ۷۸-۶۶.
۲۷. مهتدی، م.، م.ج. میر هادی ع. چراتی و م. بهادری. ۱۳۹۴. بررسی اثرات کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده غیرهمزیست نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر روی صفات کمی و کیفی گندم. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۵(۱): ۲۴۲-۲۲۹.
۲۸. مؤمنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۴(۳): ۲۱۵-۲۰۳.
29. Abd-Alla, M.H., A.L.E. Mahmoud, and A.A. Issa. 1994. Cyanobacterial biofertilizer improved growth of wheat. *Phyton*, 34(1):11-18.
30. Afzal, A. and A. Bano. 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *Int J Agric Biol*, 10(1), pp.85-88.
31. Balbinot, W.G., A.L. Gordechuk, G.R. Eutropio, C. Medeiros and G.R. Botelho. 2020. Effectiveness of *Azospirillum brasilense* Inoculants to Wheat (*Triticum aestivum*) in the Micro-region of Curitiba (SC). *Journal of Experimental Agriculture International*, 42(1): 49-55.
32. Barbieri, P., T. Zanelli, E. Galli, and G. Zanetti. 1986. Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* Sp6 and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. *FEMS Microbiology Letters*, 36(1): 87-90.
33. Bazrafshan, J., A. Khalili. 2013. Spatial analysis of meteorological drought in Iran from 1965 to 2003. *Dessert*, 18: 63-71.
34. Beatty, P.H. and A.G. Good. 2011. Future prospects for cereals that fix nitrogen. *Science*, 333: 416-417.
35. Boddey, R.M., V.L. Baldani, J.I. Baldani and J. Döbereiner. 1986. Effect of inoculation of *Azospirillum spp.* on nitrogen accumulation by field-grown wheat. *Plant and Soil*, 95(1):109-121.
36. Creus, C.M., R.J. Sueldo, and C.A. Barassi. 1996. *Azospirillum* inoculation in pregerminating wheat seeds. *Canadian Journal of Microbiology*, 42(1): 83-86.

37. Dal Cortivo, C., M. Ferrari, G. Visioli, M. Lauro, F. Fornasier, G. Barion, A. Panozzo and T. Vamerali. 2020. Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Field. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-14.
38. Hegde, D.M. and B.S. Dwivedi. 1994. Crop response to biofertilisers in irrigated areas. *Fertilizer News*, 39: 19-19.
39. Hoflich, G. 1999. Colonization and growth promotion of non-legumes by Rhizobium bacteria. *Microbial Biosystems: New Frontiers*, Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology Bell CR, Brylinsky M, Johnson- Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada, Green P (eds).
40. Iniguez, A.L., Y., Dong, and E.W. Triplett. 2004. Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17(10): 1078-1085.
41. Kasim, W.A., M.E. Osman, M.N. Omar, I.A.A., El-Daim, S. Bejai and J. Meijer. .2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1): 122-130.
42. Kumar, V. and N. Narula. 1999. Solubilization of inorganic phosphates and growth emergence of wheat as affected by *Azotobacter chroococcum* mutants. *Biology and Fertility of Soils*, 28: 201-305.
43. Li, Y., Q. Li, G. Guan, and Chen, S., 2020. Phosphate solubilizing bacteria stimulate wheat rhizosphere and endosphere biological nitrogen fixation by improving phosphorus content. *PeerJ*, 8, p.e9062.
44. Matiru, V. N. and F. D. Dakora. 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology*, 3 (1): pp: 1-7.
45. Me Carty, S.C., Chauhan, D.S., McCarty, A.D., Tripathi, K.M. and Selvan, T., 2017. Effect of *Azotobacter* and *Phosphobacteria* on yield of wheat (*Triticum aestivum*). *Vegetos-An International Journal of Plant Research*, 30(2).
46. Milosevic N., Tintor B., Protic R., Cvijanovi G., Dimitrijevic T. 2012 . Effect of inoculation with *Azotobacter chroococcum* on wheat yield and seed quality. *Romanian Biotechnological Letters*, 17 (3): 7352-7357.
47. Mohamed, M.F., Thalooth, A.T., Elewa, T.A. and Ahmed, A.G., 2019. Yield and nutrient status of wheat plants (*Triticum aestivum*) as affected by sludge, compost, and biofertilizers under newly reclaimed soil. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(31): 1-6.
48. Renato de Freitas, J. 2000. Yield and N assimilation of winter wheat inoculated with rhizobacteria. *Pedobiologia*, 44: 97-104.
49. Ridge R.W., G.L. Bender and B.G. Rolfe. 1992. Nodule-like structures induced on the roots of wheat seedlings by the addition of the synthetic auxin 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid and the effects of microorganisms. *Australian Journal of Plant Physiology*, 19(5): 481-492.

معادلات و روش‌های پیش‌بینی فرسایش شخم و برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاکورزی در حوضه چهل گزی استان کردستان

سید پدرام نی‌نیوا^۱، مهرناز شهریور و علی نجفی‌نژاد

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

pedram.nainava@gmail.com

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

shahrivar.m2015@yahoo.com

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

najafinejad@gmail.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۰ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

استفاده از منابع طبیعی به‌عنوان اصل اساسی زندگی، نیازمند دیدگاهی در راستای پتانسیل‌ها و واقعیت‌های حاکم بر آن است که تحت برنامه‌ریزی و مدیریت اصولی انجام می‌پذیرد. هرگونه بهره‌برداری بدون توجه به اصول پایداری، تأثیرات جبران‌ناپذیر و یا پرهزینه را رقم می‌زند. مطالعه حاضر به پیش‌بینی و برآورد مقدار جابجایی خاک حاصل از عملیات خاک-ورزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی در راستای ارزیابی، ارائه الگوهای برنامه‌ریزی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای پروژه‌های سودمند در ارتباط با کاهش نرخ جابجایی خاک در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی با توجه به نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۳ پرداخته است. طی این پژوهش ابتدا نقشه کاربری اراضی و شیب اراضی زراعی منطقه، تهیه و نوع ادوات خاک‌ورزی (گاوا آهن و چیرل) مورد استفاده نیز از طریق بازدید میدانی تعیین شد و سپس معادلات پیش‌بینی میزان جابجایی خاک متناسب با نوع ادوات در منطقه انتخاب و با استفاده از آن اقدام به برآورد مقدار جابجایی خاک شد. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این زیرحوضه در فرسایش خاک‌ورزی و جابجایی خاک با توجه به سهم قابل توجه مساحت اراضی زراعی دیم است؛ به‌گونه‌ای که متوسط میزان پیش‌بینی جابجایی طولی خاک در جهت شیب با استفاده از معادلات گاوا آهن برگردان‌دار به‌عنوان ابزار غالب در زیرحوضه از ۱/۴۰ تا ۴۴/۵۳ متر تعیین شد که با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک‌ورزی و همچنین موقعیت زیرحوضه در تأمین آب سد قشلاق نیازمند جدیت و توجه بیشتر به کاهش نرخ جابجایی خاک و واقعیت‌های حاکم بر سیستم کشاورزی استان کردستان و کشور ایران است.

واژه‌های کلیدی: ابزار و ادوات خاک‌ورزی، فرسایش خاک‌ورزی، تخریب خاک، هدر رفت خاک، کاهش محصول

^۱- آدرس نویسنده مسئول: دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

مقدمه

کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل انسانی در تغییر خصوصیات خاک از جمله خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است (کلادیوکو، ۲۰۰۱). از مراحل انجام عملیات کشاورزی آماده کردن بستر کشت تحت عمل خاک‌ورزی یا شخم تعریف می‌شود (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). خاک‌ورزی به عنوان دست‌کاری مکانیکی خاک به منظور تولید محصولات گیاهی تعریف می‌شود که به طور قابل توجهی بر ویژگی‌های خاک مانند حفاظت از آب خاک، دمای خاک، نفوذ و فرآیندهای تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد، لذا این نشان می‌دهد که خاک‌ورزی به منظور ایجاد محصول بر روی خاک و در نتیجه بر محیط تأثیرگذار است (بوساری و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین خاک‌ورزی، شخم-آبی خاک و شرایط حاکم بر طبیعت سیستم خاک را دگرگون می‌کند و سبب فرسایش زیاد خاک می‌شود (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). بهم خوردگی خاک با خاک‌ورزی متعارف باعث می‌شود خاک به عنوان منبع آلودگی جو عمل کند و بنابراین پایدار و سازگار با محیط‌زیست نباشد (بوساری و همکاران، ۲۰۱۵). در نتیجه ابزار خاک‌ورزی نقش بسزایی در فرسایش و تخریب خاک دارد (بلانکو و لال، ۲۰۰۸)؛ بنابراین انتخاب ابزار مناسب خاک‌ورزی برای حفاظت آب‌و خاک بسیار مهم است و معمول‌ترین ابزار خاک‌ورزی که استفاده می‌شود گاواهن برگردان است. با توسعه کشاورزی مکانیزه، گاواهن‌های پیشرفته به عنوان عامل اصلی فرسایش خاک شناخته شدند (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). آنگونه که شخم شدید موجب فرسایش خاک، تهی شدن مواد مغذی خاک و کاهش فعالیت‌های زیستی می‌شود (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). از آنجا که فرسایش خاک بر عملکرد محصول تأثیر منفی می‌گذارد (استراس و کلاگوفر، ۲۰۰۱). لذا روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیز به حفظ سطح عملکرد کمک می‌کنند. چراکه روش‌های خاک-ورزی حفاظتی قادر به صرفه جویی در هزینه‌ها و افزایش کارایی ورودی ماشین‌آلات هستند (روسنر و همکاران، ۲۰۰۸ و وان دن پوت و همکاران، ۲۰۱۰).

در راستای عملیات خاک‌ورزی پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است و بیش‌تر آن‌ها با در نظر گرفتن معیارهای حفاظتی می‌باشند که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: سیدالعلماء و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر فرسایش شخم بر میزان جابجایی و توان تولید خاک اراضی دیم در شهرستان توتکابن استان گیلان پرداختند. طی این مطالعه آنان هجده نقطه نمونه-برداري را در هفت قطعه زمین مجاور در نظر گرفتند و ویژگی‌های حاصلخیزی خاک به همراه اجزای عملکرد گندم در نقطه نمونه‌برداری را تعیین نمودند. نتایج آنان نشان داد که اختلاف ارتفاع ایجادشده بین قطعات در جهت شیب بین ۱ تا ۲ / ۳ متر و در جهت جانبی بین ۱ تا ۳ / ۱ متر است. همچنین، حجم خاک جابه‌جاشده در این دو جهت به ترتیب بین ۸ تا ۳۶ و ۵ تا ۲۲ تن در هکتار در سال برآورد می‌شود. بوساری و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثرات خاک‌ورزی حفاظتی بر روی خاک، محصولات و محیط‌زیست دریافتند که خاک‌ورزی حداقل (MT)، در مقایسه با خاک‌ورزی با گاواهن یا خاک‌ورزی متعارف (CT)، نه تنها باعث بهبود پایداری کل می‌شود بلکه باعث افزایش غلظت SOC و N در سنگدانه‌ها در عمق ۵-۸ سانتی‌متری سطح بالایی خاک می‌شود. همچنین نتایج آنان نشان داد که خاک‌ورزی شدید خاک را سست می‌کند، بقایای محصول را دفن و خاک را در معرض بارندگی با شدت زیاد و سرعت زیاد باد قرار می‌دهد که منجر به فرسایش شدید می‌شود؛ بنابراین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، مانند NT (بدون خاک‌ورزی) و MT (حداقل خاک‌ورزی) برای محافظت از خاک در برابر فرسایش بادی و آبی ایجادشده است. وانگ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات خاک‌ورزی حفاظتی بر روی تنوع باکتری‌های خاک دریافتند که خاک‌ورزی چیزل و بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی با گاواهن (شخم متعارف) اثرات بیشتری روی ذرات رس و اثرات کمتری روی ذرات سیلت دارد و تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی رطوبت خاک را افزایش داده و رابطه قابل توجهی با ذرات رس خاک دارد؛ و باعث تغییر

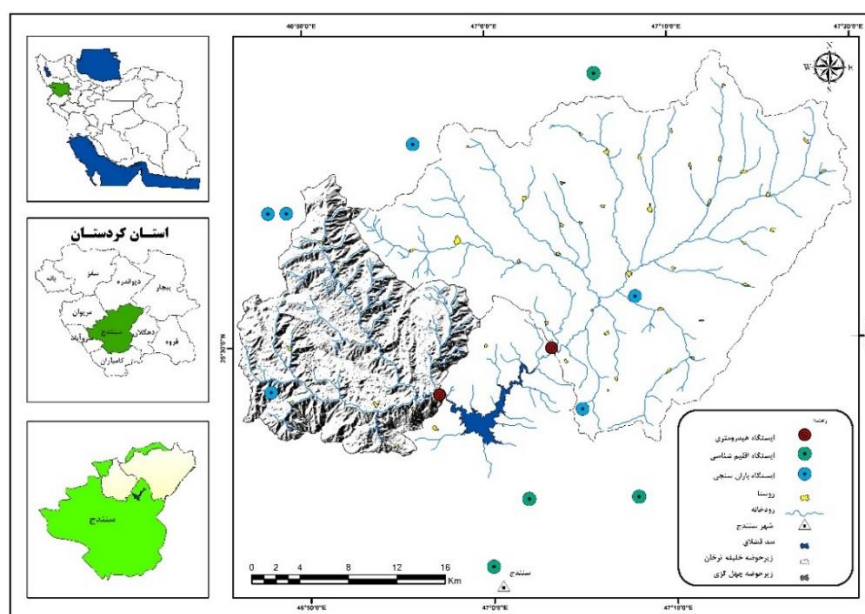
لذا با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک-ورزی، هدف این پژوهش، بررسی معادلات و روش‌های پیش‌بینی و برآورد مقدار جابجایی خاک حاصل از انواع ادوات خاک‌ورزی در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی است تا قدمی کوچک در راستای ارزیابی، ارائه الگوهای برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی براساس واقعیت حاکم بر سیستم کشاورزی کشور ایران باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه چهل‌گزی به‌عنوان یکی از زیرحوضه-ها سد قشلاق سنندج در استان کردستان (پارسل A سدقشلاق)، در موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ} 25' 03''$ تا $35^{\circ} 43' 37''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 46' 24''$ تا $46^{\circ} 32' 32''$ طول شرقی واقع شده است (نی‌نوا و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی، معرف مناطق کوهستانی در نظر گرفته می‌شود (مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار و مجهز به یک ایستگاه هیدرومتری). ارتفاع متوسط زیرحوضه مذکور حدود ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است و همچنین متوسط بارندگی نیز در این زیرحوضه ۲۹۴/۲ میلی‌متر، مساحت مراتع ۲۳۴۶۵ هکتار و مجموع زراعت آبی و دیم ۳۷۶۸ هکتار است. این زیرحوضه وجود ۱۵ روستا، همچنین وجود شیل با بیش‌ترین فرسایش و آهک‌های میکروفسیل‌دار با کم‌ترین فرسایش را در بین سنگ‌های پیوسته، به خود اختصاص داده‌است. علاوه بر این نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها بیش‌ترین حساسیت را دارند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۶). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در تنوع آلفا و فراوانی باکتری‌های خاک می‌شود. هوسل و استراس (۲۰۱۶) در بررسی شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مناطق جلگه‌ای آلپ اتریش دریافتند که تیمارهای بدون خاک‌ورزی اقدامی مؤثر برای مقابله با فرسایش خاک و محافظت از آب‌های سطحی است و همچنین تکنیک‌های کشت برای خاک‌ورزی حداقل با حداقل تعداد رفت و آمد ماشین‌آلات انجام گیرد. کوسلو و همکاران ۲۰۱۸، کمی کردن جابجایی خاک و میزان فرسایش خاک‌ورزی توسط سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی را در اراضی دیم شمال غربی ایران موردبررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که خاک‌ورزی متعارف در امتداد خطوط تراز و در جهت خاک‌ورزی باعث جابجایی بیشتر خاک (۵۷ سانتی‌متر) در مقابل سیستم‌های خاک‌ورزی کاهشی و حداقل خاک‌ورزی (به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر) می‌شود و همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط دیم، خاک‌ورزی کاهشی در طول خطوط تراز به‌عنوان مثال با چیزل می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی فرسایش خاک‌ورزی را نسبت به خاک‌ورزی معمولی محدود کند. لی و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی چارچوب مدل‌سازی جامع برای ارزیابی فرسایش خاک توسط آب و خاک‌ورزی به این نتیجه رسیدند که در صورت عدم خاک‌ورزی برای تمامی نمونه‌ها در سراسر حوضه، ۷۲٪ و ۷۶٪ کاهش در تلفات کل خاک و عملکرد رسوب را می‌توان به‌دست آورد. علاوه بر این، اگر عملیات بدون خاک‌ورزی در مناطق آسیب‌پذیر به‌منظور کاهش رسوب در سراسر حوضه اجرا شود، ۴۰ درصد عملیات بدون خاک‌ورزی تقریباً همان کاهش را خواهد داشت که اجرای ۱۰۰ درصد عملیات بدون خاک‌ورزی می‌تواند داشته باشد و بر اساس نتایج شبیه‌سازی آن‌ها، تأثیرات عملیات بدون خاک‌ورزی در صورت اجرا در مواردی که بیشترین نیاز به آن وجود داشته باشد، برجسته‌تر است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (نی‌نیوا و همکاران، ۱۳۹۹)

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

این پژوهش با هدف، بررسی معادلات و برآورد مقدار جابجایی خاک حاصل از انواع ادوات خاک‌ورزی (گاواهن و چیزل) در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است؛ که با توجه به روش و اهداف این پژوهش، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز شامل: نقشه اراضی زراعی، شیب اراضی زراعی، نوع ادوات خاک‌ورزی مورد استفاده در اراضی مورد بررسی و روش‌ها و معادلات پیش‌بینی مورد استفاده در تعیین مقدار جابجایی خاک است که با بهره‌گیری از اطلاعات نقشه‌ای، کتابخانه‌ای و مشاهده‌ای جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته است.

روش‌های پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک

معادلات پیش‌بینی کننده متعددی با استفاده از درجه شیب به‌عنوان یک متغیر مستقل برای برآورد مقدار جابجایی خاک (L) به‌وسیله خاک‌ورزی وجود دارند. این معادلات متعلق به مناطق خاصی هستند، بنابراین به خصوصیات محل، خاک و روش‌های خاک‌ورزی وابسته‌اند (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). برآورد جابجایی خاک برحسب سانتی‌متر به شکل معادله (۱) است.

$$L = \alpha + \beta(S) \quad (1)$$

که در رابطه فوق:

S : درجه شیب به درصد و α, β : ضرایب رگرسیونی است. معادلات پیش‌بینی مورد استفاده در تعیین مقدار جابجایی خاک برحسب متر و سانتی‌متر (جابجایی طولی ناشی از عملیات خاک‌ورزی) به شرح جدول‌های (۱) تعریف شده است:

جدول ۱- معادلات پیش‌بینی مقدار جابجایی خاک ناشی از خاک‌ورزی (بلانکو و لال، ۲۰۰۸)

ابزارات *	جهت خاک‌ورزی	معادله پیش‌بینی	R ²	ارائه دهنده
شخم‌چیزل و گاواهن برگردان‌دار و کلوخه شکن مدور	** بالا دست و پایین دست	$L=6.43-0.35(S)$	۰/۷۲	ون مويسن و همکاران (۲۰۰۶)
گاواهن برگردان‌دار	بالا دست و پایین دست و شیب متقابل	$L=0.516-0.508(Tan(S))$	۰/۹۱	کوبن و ژانگ (۲۰۰۴)
گاواهن برگردان‌دار	بالا دست و پایین دست - خطوط تراز	$L=-0.91(S)+0.31$ $L=-0.38(S)+0.48$	۰/۷۲	ون مويسن و همکاران (۲۰۰۲)
گاواهن برگردان‌دار	بالا دست و پایین دست - خطوط تراز	$L=-0.54(S)+0.16$ $L=-0.54(S)+0.24$	۰/۷۳	سنت جروتیدیس و همکاران (۲۰۰۱)
*** گاواهن برگردان‌دار	بالا دست و پایین دست	$L=-22(S)+11$	۰/۸۸	کوسماس و همکاران (۲۰۰۱)
شخم‌چیزل (کاه و کلش)	بالا دست و پایین دست	$L=0.54(S)+0.034$	۰/۶۷	نیسن و همکاران (۲۰۰۰)
شخم‌چیزل (قبل از کشت)	-	$L=-0.96(S)+0.23$	۰/۵۱	ون مويسن و همکاران (۲۰۰۰)

* قابل ذکر است عدد مقابل هر ابزار بیانگر رفرنس ارائه شد در ستون آخر جدول است.

** منظور از بالادست و پایین دست، جهت حرکت ادوات خاک‌ورزی در جهت شیب است.

*** معادله مذکور برحسب منبع اصلی سانتی‌متر است.

نوع ادوات و ابزار خاک‌ورزی

برای تعیین نوع ادوات خاک‌ورزی در اراضی مورد استفاده، پرسشنامه‌ای طراحی گردید و نظر ۷۰ نفر از کشاورزان در زیرحوضه جمع‌آوری گردید. جامعه آماری پژوهش را کشاورزانی را تشکیل دادند که علاوه بر این‌که از شرایط منطقه آگاه مطلع بودند، خود نیز دارای اراضی زراعی و ادوات خاک‌ورزی بودند. پس از جویا شدن نظرات جامعه آماری، پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد گویای غالبیت گاواهن برگردان‌دار به عنوان ادوات غالب خاک‌ورزی در حوضه بود.

روش کلی انجام پژوهش

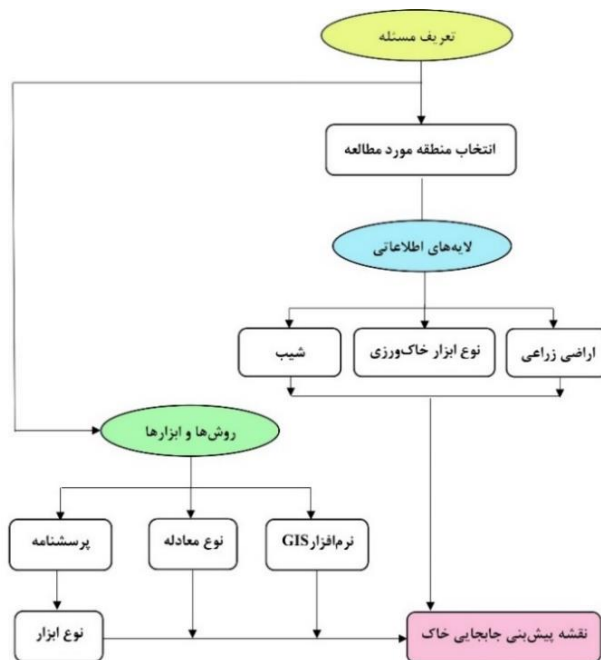
طی این پژوهش ابتدا نقشه اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گری تهیه و نوع ادوات خاک‌ورزی منطقه از طریق پرسشنامه جمع‌آوری گردید. بر اساس نوع ابزار غالب در منطقه و جهت کشت اراضی، نوع معادله پیش‌بینی در تعیین مقدار جابجایی خاک مطابق جدول (۱) مشخص و در نهایت با توجه به اهمیت پارامتر شیب اراضی در تعیین مقدار جابجایی خاک، به کمک نرم‌افزار GIS معادلات مربوطه در شیب اراضی زراعی منطقه توسعه داده شد و نقشه مقدار جابجایی خاک حاصل از خاک‌ورزی در اراضی

زراعی شیب‌های مختلف متناسب با نوع ادوات خاک‌ورزی تعیین گردید؛ همچنین به منظور بررسی تفاوت پیش‌بینی معادلات مختلف، مقایسه‌ای بین میزان پیش‌بینی آنان صورت گرفت؛ که شکل (۲) روند کلی انجام پژوهش را به زبانی ساده‌تر نمایش می‌دهد.

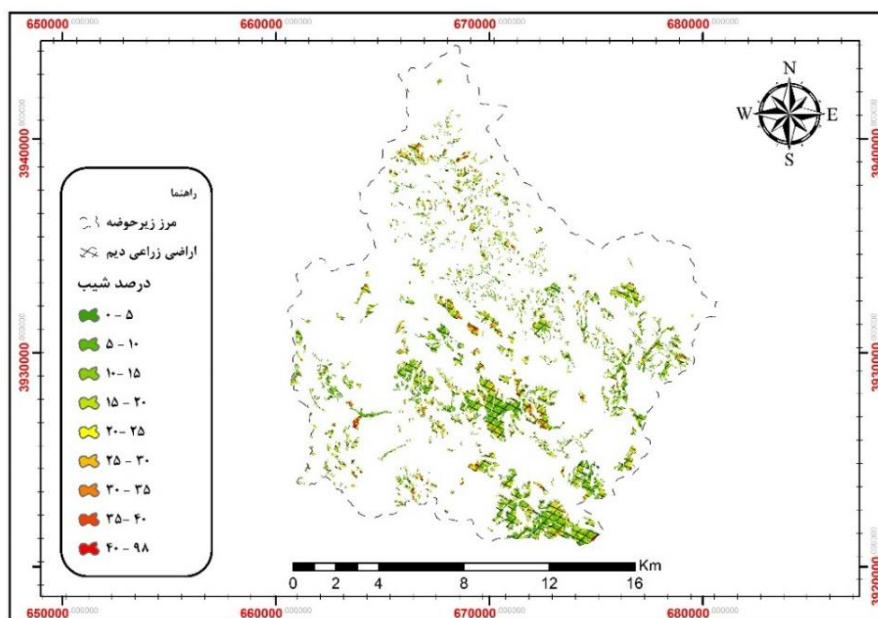
نتایج و بحث

نقشه شیب و کاربری اراضی زراعی

زیرحوضه چهل‌گری دارای کاربری‌های اراضی: زراعت دیم، زراعت آبی، باغات توأم با زراعت، مراتع، مسکونی و صنعتی است (شرکت مهندسی مشاور سازه آب شفق، ۱۳۹۳)؛ اما با توجه به حجم وسیع استفاده از عملیات خاک‌ورزی در اراضی زراعی، تنها اراضی زراعی دیم به دلیل غالبیت در منطقه مدنظر قرار گرفته و متناسب با موقعیت مکانی هر کدام از اراضی و همپوشانی آنان با لایه شیب حوضه، نقشه کاربری اراضی زراعی توأم با شیب آنان تهیه گشت. شکل شمار (۳) نقشه کاربری اراضی زراعی در شیب‌های مختص به خود را نشان می‌دهد که مطابق آنان میانگین شیب اراضی زراعی دیم حوضه ۱۳/۷۹ درصد است.



شکل ۲- روش کلی انجام پژوهش



شکل ۳- کاربری اراضی زراعی در شیب اختصاصی

نقشه‌های پیش‌بینی جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک-

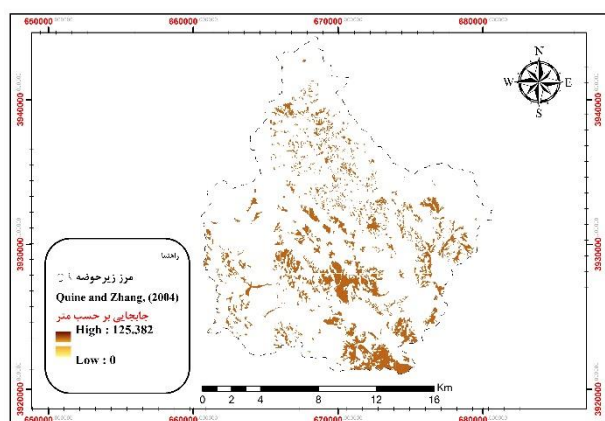
ورزی گاواهن برگردان‌دار

با توجه به اطلاعات حاصل از پرسشنامه، ابزار غالب عملیات خاک‌ورزی در جامعه آماری حوضه، گاواهن برگردان‌دار معرفی شده است. همچنین اطلاعات پرسشنامه

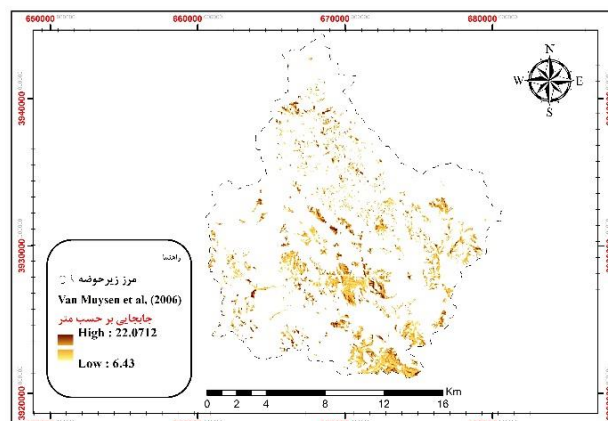
گویای عدم توجه کشاورزان به رعایت کشت بروی خطوط تراز و در جهت بالادست است. لذا با توجه به این اطلاعات نوع ابزار موردنظر گاواهن برگردان‌دار و جهت شخم نیز در اراضی زراعی رو به پایین مدنظر قرار گرفته شد و همگام با این مهم نوع معادله پیش‌بینی با توجه به جدول (۱)

ناشی از عملیات خاک‌ورزی با ابزار غالب (گاواهن برگردان‌دار) زیرحوضه را نشان می‌دهد.

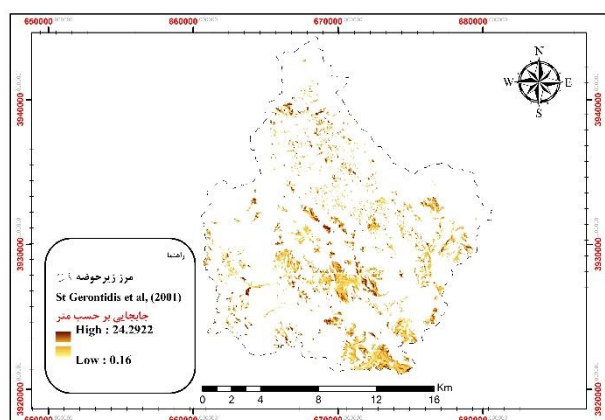
انتخاب و نسبت به شیب اراضی زراعی توسعه داده شد که شکل (۴) نقشه‌های پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک



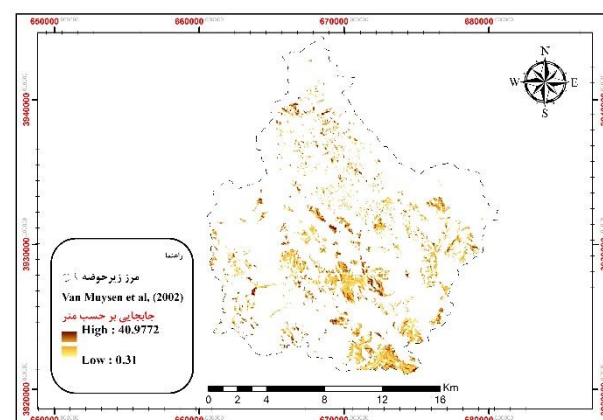
معادله پیش‌بینی کوین و ژانگ (۲۰۰۴)



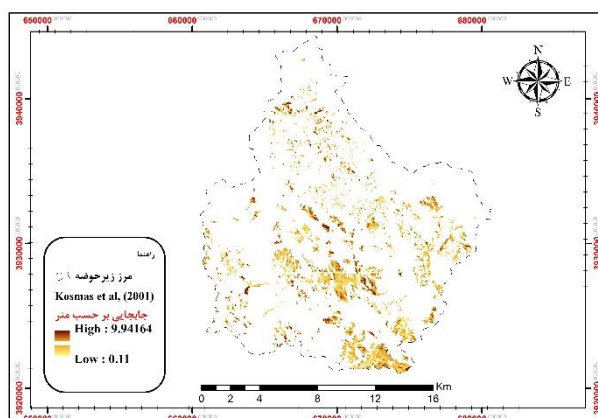
معادله پیش‌بینی ون مویسن و همکاران (۲۰۰۶)



معادله پیش‌بینی سنت جرونیدیس و همکاران (۲۰۰۱)



معادله پیش‌بینی ون مویسن و همکاران (۲۰۰۲)



معادله پیش‌بینی کوسماس و همکاران (۲۰۰۱)

شکل ۴- نقشه مقادیر برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با گاواهن برگردان دار

نقشه‌های پیش‌بینی جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک-

ورزی چیزل

به‌منظور تحقق مفهوم و اهمیت فرسایش خاک-

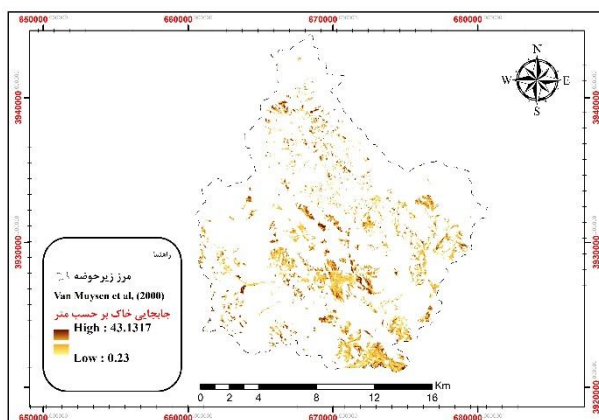
ورزی، با توجه به عدم رغبت و توجه کمتر کشاورزان به

شخم چیزل، معادله پیش‌بینی جابجایی خاک با ابزار چیزل

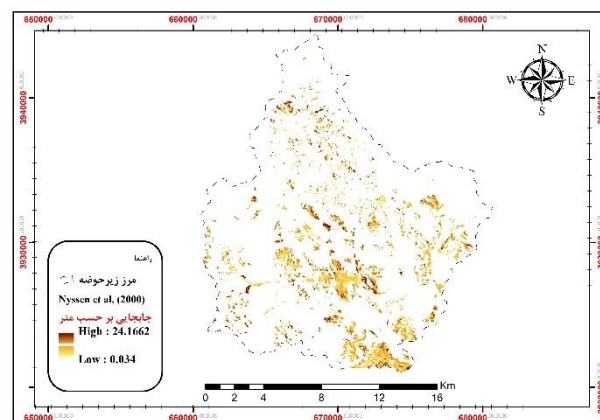
نیز نسبت به شیب اراضی زراعی حوضه توسعه داده شد که

شکل (۵) نقشه پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک

ناشی از عملیات خاک‌ورزی با ابزار چیزل را نشان می‌دهد.



معادله پیش‌بینی ون مویسن و همکاران (۲۰۰۰)



معادله پیش‌بینی نیسن و همکاران (۲۰۰۰)

شکل ۵- نقشه مقادیر برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با چیزل

مقایسه نتایج

پس از توسعه معادلات پیش‌بینی در اراضی زراعی مقایسه‌ای دوسویه در بین معادلات پیش‌بینی گاواهن برگردان دار نسبت به یکدیگر و نسبت به چیزل در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی صورت گرفت. در طی این مقایسه نتایج مطالعه پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با استفاده از گاواهن برگردان دار نسبت به شیب اراضی زیرحوضه چهل‌گزی گویای این است که تغییرات جابجایی خاک معادله ون مویسن و همکاران (۲۰۰۶) از ۶/۴۳ تا ۲۲/۰۷ متر و تغییرات جابجایی خاک معادله کوین و ژانگ (۲۰۰۴) از ۰ تا ۱۲۵/۳۸ متر، تغییرات جابجایی خاک معادله ون مویسن و همکاران (۲۰۰۲) از ۰/۳۱ تا ۴۰/۹۷ متر، تغییرات جابجایی خاک معادله سنت جرونیدیس و همکاران (۲۰۰۱) از ۰/۱۶ تا ۲۴/۲۹ متر و تغییرات جابجایی خاک معادله کوسماس و همکاران (۲۰۰۱) از ۰/۱۱ تا ۹/۹۴ متر است. همچنین مقایسه نتایج مطالعه پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با استفاده از چیزل گویا این

است که تغییرات جابجایی خاک معادله نیسن و همکاران (۲۰۰۰) از ۰/۰۳۴ تا ۲۴/۱۶ متر و تغییرات جابجایی خاک معادله ون مویسن و همکاران (۲۰۰۰) از ۰/۲۳ تا ۴۳/۱۳ متر است؛ که معادلات پیش‌بینی سنت جرونیدیس و همکاران در سال ۲۰۰۱ و ون مویسن و همکاران در سال ۲۰۰۶ میزان جابجایی خاک را تقریباً نزدیک به هم نشان می‌دهند. نکته قابل تأمل در نتایج حاصل از معادلات چیزل با وصف شناخت این ابزار به‌عنوان یک وسیله حفاظتی و تأثیر کمتر نسبت به گاواهن برگردان دار، این است که میزان پیش‌بینی جابجایی در این معادلات، نزدیک به پیش‌بینی معادلات گاواهن برگردان دار و حتی بیشتر از آن‌ها است که خود می‌تواند عدم کارایی معادلات را بیان و به‌نوعی اهمیت پژوهش و توسعه معادلاتی متناسب با شرایط کشور ایران را پیشنهاد دهد. لذا با توجه به معادلات مذکور گاواهن برگردان دار متوسط پیش‌بینی و مقدار جابجایی طولی خاک در اراضی زراعی دیم زیرحوضه چهل‌گزی از ۱/۴۰ تا ۴۴/۵۳ متر تعیین شد.

نتیجه گیری

پیشنهادهای ترویجی

مطالعه حاضر به بررسی معادلات و پیش‌بینی و برآورد مقدار جابجایی طولی خاک حاصل از عملیات خاک‌ورزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گری پرداخته است. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این زیرحوضه در فرسایش خاک‌ورزی و جابجایی خاک با توجه به سهم قابل توجه مساحت اراضی زراعی دیم است. لذا با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک‌ورزی و همچنین موقعیت زیرحوضه در تأمین آب سد قشلاق پیشنهاد می‌شود، الگوهای ارزیابی و برنامه‌ریزی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای پروژه‌های سودمند در ارتباط با کاهش نرخ جابجایی خاک در سطح حوضه با جدیت موردتوجه قرار گیرد تا قدمی کوچک در راستای واقعیت‌های حاکم بر سیستم کشاورزی استان کردستان و کشور ایران باشد.

استفاده از منابع طبیعی به‌عنوان اصل اساسی زندگی، نیازمند دیدگاهی در راستای پتانسیل‌ها و واقعیت‌های حاکم بر آن است که تحت برنامه‌ریزی و مدیریت اصولی انجام می‌پذیرد، هرگونه بهره‌برداری بدون توجه به اصول پایداری، تأثیرات جبران‌ناپذیر و یا پرهزینه را رقم می‌زند. لذا با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک-ورزی توصیه‌های کلی زیر به‌عنوان دستاورد مطالعه حاضر در راستای واقعیت‌های حاکم بر سیستم کشاورزی استان کردستان و کشور ایران پیشنهاد می‌گردد:

الف- ارائه مطالعه بنیادی در سطح کشور به‌منظور تعیین میزان نرخ فرسایش ناشی از خاک‌ورزی.

ب- ترغیب، ترویج و آموزش کشاورزان به عملیات کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در اراضی زراعی.

ج- اعطای تسهیلات در راستای تجهیز کشاورزان به ابزارآلات کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی.

د- متناسب‌سازی الگوهای کشت با پتانسیل هر منطقه به‌منظور بهره‌برداری از پتانسیل واقعی هر منطقه.

ه- ترغیب کشاورزان به اهمیت راهکارهای حفاظتی در اراضی زراعی از قبیل احداث نوارهای بافر و...

فهرست منابع

۱. شرکت مهندسی مشاور سازه آب شفق، ۱۳۹۳. گزارش مطالعات ارزیابی اجرایی و اثربخشی پروژه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز پارسل A سد قشلاق سنندج (۶ فصل)، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان، ص: ۴۶۹-۱.
۲. سیدالعلماء، س.ن، اسدی، ح، زواره، م، ۱۳۹۴. اثر فرسایش شخم بر میزان جابجایی و توان تولید خاک (مطالعه موردی: توتکابن در استان گیلان)، تحقیقات آب‌و خاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۴، ص: ۷۸۰-۷۶۹.
۳. صادقی، ح.ر، غلامی، ل، خالدی درویشان، ع، ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل‌گری سد قشلاق استان کردستان، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب‌و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱، ص: ۱۵۰-۱۴۱.
۴. نی‌نیوا، س.پ، شاهدی، ک، زاهدی، ص، انتظامی، ه. ۱۳۹۹. سهم برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در تأمین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گری، استان کردستان، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۲، شماره ۴، ص: ۹۷۶-۹۶۲.
5. Blanco, H., & Lal, R. (2008). Principles of soil conservation and management (Vol. 167169). New York: Springer.

6. Busari, A., Surinder, K., Amanpreet, K., Rajan, B and Ashura, D. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research* 3 (2015) 119–129.
7. Hösl, R., & Strauss, P. (2016). Conservation tillage practices in the alpine forelands of Austria—Are they effective?. *Catena*, 137, 44–51.
8. Klavdivko EJ (2001) Tillage systems and soil ecology. *Soil till Res* 61(1-2): 61–76. Doi: 10.1016/S0167-1987(01)00179-9.
9. Kosmas C, Gerontidis S, Marathanou M (2001) the effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil Tillage Res* 58:31–44.
10. Kouselou, M., Hashemi, S., Eskandari, I., McKenzie, B. M., Karimi, E., Rezaei, A., & Rahmati, M. (2018). Quantifying soil displacement and tillage erosion rate by different tillage systems in dryland northwestern Iran. *Soil Use and Management*, 34(1), 48–59.
11. Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A. (2021). A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. *Journal of Environmental Management*, 279, 111631.
12. Nyssen J, Poesen J, HaileMet al. (2000) Tillage erosion on slopes with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. *Soil Tillage Res* 57:115–127.
13. Quine TA, Zhang Y (2004) Re-defining tillage erosion: quantifying intensity-direction relationships for complex terrain. 1. Derivation of an adirectional soil transport coefficient. *Soil Use Manage* 20:114–123.
14. Rosner, J., Zwatz, E., Klik, A., Gyuricza, C., 2008. Conservation tillage systems soil nutrient and herbicide loss in lower Austria and the mycotoxin problem. *Substance* 2(1.0), 0–6.
15. St Gerontidis DV, Kosmas C, Detsis B et al. (2001) the effect of moldboard plow on tillage erosion along a hillslope. *J Soil Water Conserv* 56:147–152.
16. Strauss, P., Klaghofer, E., 2001. Effects of soil erosion on soil characteristics and productivity. *Aust. J. Agric. Res.* 52 (2), 147–153.
17. Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere, M., (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Eur. J. Agron.* 33, 231–241.
18. Van Muysen W, Govers G, Van Oost K (2002) Identification of important factors in the process of tillage erosion: The case of mouldboard tillage. *Soil Tillage Res* 65:77–93.
19. Van Muysen W, Govers G, Van Oost K et al. (2000) the effect of tillage depth, tillage speed, and soil condition on chisel tillage erosivity. *J Soil Water Conserv* 55:355–364.
20. Van Muysen W, Van Oost K, Govers G (2006) Soil translocation resulting from multiple passes of tillage under normal field operating conditions. *Soil Tillage Res* 87:218–230.
21. Wang, Z., Liu, L., Chen, Q., Wen, X and Liao, Y. (2016). Conservation tillage increases soil bacterial diversity in the dryland of northern China. *Agron. Sustain. Dev.* (2016) 36: 28.

بررسی و ارزیابی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته و پیش‌بینی آن با استفاده از

مدل زنجیره مارکوف

(مطالعه موردی زیدآباد، شهرستان سیرجان)

عبدالرضا کاظمی نیا کرانی^۱ و ابوالفضل نژادخراسانی

مربی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران.

kazeminia@sirjantech.ac.ir

دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران.

a.n.khorasani@gmail.com

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

سنجش از دور فناوری کلیدی برای ارزیابی وسعت و مقدار تغییرات پوشش اراضی است که اطلاع از این تغییرات به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف اهمیت ویژه‌ای دارد. در این بررسی تغییرات سطح زیر کشت پوشش گیاهی پسته بررسی شده است و امکان پیش‌بینی آن در آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف برای منطقه زیدآباد، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش، تصاویر سنجنده ETM^+ لندست ۷ و OLI لندست ۸ به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸، استفاده شده است. تصاویر هر سه مقطع زمانی به دو طبقه کاربری اراضی: پوشش گیاهی (محصول پسته) و فاقد پوشش گیاهی (مسکونی، بستر رودخانه، بایر، مرتع)، طبقه‌بندی شده است. بنا بر نتایج، کشاورزی و لزوماً سطح زیر کشت پسته که پویاترین کاربری موجود در منطقه است و وسعت آن طی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ روندی صعودی داشته است، به‌طوری که مقدار ۱۸۸۸/۸۳ هکتار (۱۵/۰۴ درصد) به این اراضی اضافه شده است. روند تغییرات سطح زیر کشت محصول پسته نیز طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نیز روندی صعودی بوده، به‌طوری که مقدار ۱۶۸۵/۰۷ هکتار (۱۱/۶۶ درصد) به این اراضی افزوده شده است. نتایج حاصل از آنالیز زنجیره مارکوف در دوره ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۴۰۸ استفاده شده است. که نتایج حاصل از افزایش سالانه سطح زیر کشت پسته در این منطقه خبر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پسته، تغییرات اراضی، تصاویر ماهواره‌ای، زنجیره مارکوف، سیرجان

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران.

مقدمه

با توجه به تغییرات روزافزون کاربری اراضی و ضرورت آگاهی مدیران و کارشناسان از چگونگی تغییر و تحولات رخ داده برای سیاست‌گذاری و چاره‌اندیشی برای رفع مشکل موجود، آشکارسازی تغییرات برای مشخص کردن روند تغییرات در طول زمان ضروری به نظر می‌رسد (پارکر و همکاران، ۲۰۰۳). ارزیابی روند تغییرات در منابع و شرایط اکولوژیک چنین مناطقی، مدیران را در اتخاذ تصمیمات مورد نیاز کمک می‌کند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). سنجش از دور یک فن‌آوری کلیدی، جهت ارزیابی وسعت و میزان تغییرات پوشش اراضی است (لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴). از طریق این فن می‌توان با استفاده از مجموعه تصاویر چند زمانه و پردازش آن‌ها با یکی از روش‌های مناسب موجود و با سرعت و دقت بالا نسبت به آشکارسازی تغییرات مورد نظر در منطقه اقدام کرد. با به کارگیری داده‌های سنجش از دور می‌توان به شیوه‌ای علمی و کارآمد به مدیریت منابع حساس پرداخت (گروس، ۲۰۰۶). در دهه‌های اخیر، استفاده از فن سنجش از دور به منظور پایش تغییرات مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات متعددی در این زمینه در ایران و جهان انجام شده است. به عنوان مثال، در تحقیقی با استفاده از تصاویر ETM و TM طی سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ در جنگل‌های تایلند اقدام به تهیه نقشه پوشش گیاهی شد و نتایج نشان داد که مهم‌ترین تغییرات در منطقه کاربری جنگل به اراضی کشاورزی بوده است (دونتری، ۲۰۰۳). از طرفی دیگر پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات احتمالی آینده برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی اهمیت دارد (وفائی و همکاران، ۲۰۱۳)؛ بنابراین آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات، لازمه یک اکوسیستم به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای در حال توسعه است. از جمله مدل‌هایی که برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود، می‌توان به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف اشاره کرد (لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴). در سال ۲۰۰۶ در پژوهشی با استفاده

از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و نیز با استفاده از مدل پیش‌بینی مارکوف به بررسی تغییر ساختار سرزمین منطقه‌ای در اندونزی پرداخته شد و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تعداد بسیار زیادی از لکه‌های جنگل در حال کاهش و تبدیل به دو طبقه شالیزار و مناطق مسکونی هستند (ویجانارتو، ۲۰۰۶). بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پایش، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده سنجش از دور انجام شده است. آنچه مسلم است، نیاز است تا با انجام پژوهش‌های علمی بیشتر روند تغییرات و پیش‌بینی این تغییرات در سایر نقاط ایران مورد ارزیابی قرار گیرد (کریمی و هم کاران، ۱۳۹۵). پسته، درخت کوچکی است که مبدأ آن خاورمیانه و آسیای مرکزی است. در کشورهای مانند ایران، سوریه، ترکمنستان و غرب افغانستان رشد می‌کند. تولید پسته در ایران در سال ۲۰۱۷ میلادی، معادل ۵۷۴/۹۷۸ تن بوده است که ایران را در مقام اول جهان قرار داده است؛ و بعد از ایران، ایالات متحده آمریکا با تولید ۲۷۲/۲۹۱ تن و سپس چین با تولید ۹۵/۲۹۴ تن در جایگاه‌های دوم و سوم قرار دارند (الصغیر و پارتو، ۲۰۱۲). در ایران تولید پسته بیشتر در شهرستان‌های رفسنجان، سیرجان، دامغان، نیریز، مرودشت، انار، شهربابک، راور و نائین صورت می‌گیرد. ایران و ایالات متحده آمریکا، دو کشور اصلی در زمینه تولید و صادرات پسته در جهان به شمار می‌روند. بیش از ۹۰ درصد پسته آمریکا در ایالت کالیفرنیا تولید می‌شود و در ایران شهرستان رفسنجان بیشترین تولید پسته را به خود اختصاص داده است. تولید پسته در ایران پیشینه چند هزارساله دارد، اما پسته‌کاری در آمریکا در دهه ۱۹۳۰ میلادی با کاشت بذر پسته ایرانی آغاز شده است. میزان تولید پسته در ایران سالانه حدود ۲۰۰ هزار تن است و تنها ۱۰ درصد از این محصول مصرف داخلی دارد و ۹۰ درصد دیگر صادراتی است. صادرات پسته ایرانی، سالانه حدود ۱/۴ تا ۱/۷ میلیارد دلار برای ایران درآمدزایی می‌کند. استان کرمان (شهرستان‌های رفسنجان، سیرجان، زرنند، کشکویه و انار)

مراکز اصلی تولید پسته در ایران به شمار می‌آیند. در میانه دهه ۸۰ خورشیدی تولیدات پسته بیش از ۲۵۰ هزار تن بوده است اما این میزان در ابتدای دهه ۹۰ خورشیدی به ۱۵۰ هزار تن کاهش یافته است (الصغیر و پارتو، ۲۰۱۲). بزرگترین مشکل کنونی در تولید پسته را می‌توان خشکسالی‌های پی‌درپی نام برد. عدم برنامه‌ریزی برای تأمین آب مورد نیاز باغ‌های پسته و نیز قوانین و مقررات دست‌وپا گیر صادراتی باعث شده است که میزان صادرات پسته ایران، افت چشمگیری را در سال‌های اخیر تجربه کند؛ و در همین زمان با افزایش تولید پسته در ایالت کالیفرنیا آمریکا، این کشور در حال تبدیل‌شده به اولین صادرکننده این محصول در سطح جهان شده است (لو، د، ونگ، س، ۲۰۰۷)؛ بنابراین با توجه به اهمیت محصول پسته این طلای سبز در کشور، این مطالعه به بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته برای دوره ۲۰ ساله و پیش‌بینی تغییرات برای ۱۰ سال آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف پرداخته است.

تاکنون، مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناسایی پوشش‌های مختلف اراضی و ارزیابی تغییرات اراضی و مخصوصاً "درخت پسته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره گردیده است:

ویجانارتو در سال ۲۰۰۶ در پژوهشی با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و نیز با استفاده از مدل پیش‌بینی مارکوف به بررسی تغییر ساختار سرزمین منطقه‌ای در اندونزی پرداخت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تعداد بسیار زیادی از لکه‌های جنگل در حال کاهش و تبدیل به دو طبقه شالیزار و مناطق مسکونی هستند. ریزوی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام به تهیه نقشه تغییرات پوشش اراضی در کشور پاکستان کردند. ریمال و همکاران (۲۰۱۸) به مدل‌سازی روند تغییرات اراضی شهری در کشور نپال با استفاده از زنجیره مارکوف پرداختند. در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد که به منظور تجزیه و تحلیل بهتر، اطلاعات تغییرات

اراضی و پوشش زمین از دوره‌های زمانی مختلف، این تصاویر را به روش ماشین بردار طبقه‌بندی کردند. تراور و همکاران در سال ۲۰۱۸ به کمک روش زنجیره مارکوف در سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور، تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی روند تغییرات اراضی در کشور گینه را انجام دادند. ژولیو و همکاران (۲۰۱۹) در کشور ازبکستان اقدام به بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه، نمودند. میراخورلوررحیم آزادگان (۱۳۹۶) با استفاده از روش مارکوف- اتوماتای سلولی و تصمیم‌گیری چندمعیاره تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز تالار را مدل‌سازی کردند. جعفر زاده و همکاران (۱۳۹۷) با هدف رسیدن به توسعه پایدار شهری در قائم‌شهر به مدل‌سازی تغییرات اراضی با استفاده از روش مارکوف پرداختند. در این مطالعه مدل‌سازی نیروی انتقال به کمک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه انجام گرفت. رایگانی و همکاران (۱۳۹۷) مطالعه‌ای را در مورد پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از سنجش از دور برای اراضی شهر مشهد انجام دادند. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه‌ای بر اساس روش زنجیره مارکوف و مدل‌های سلولی خودکار پرداختند و در پایان، روند تغییرات کاربری اراضی را برای حوزه آبخیز صفارود رامسر، پیش‌بینی کردند. همچنین مطالعاتی که در مورد درختان پسته صورت گرفته بدین شرح است: قدیری معصوم و حجی پور (۱۳۹۴) آمایش اکولوژیکی مکان در راستای پیشبرد توسعه پایدار کشاورزی را با بررسی کاشت پسته در شهرستان نهبندان را انجام دادند. آن‌ها با استفاده از عملگر گامای فازی مناطق مستعد کشت پسته را تحلیل نمودند و پیشنهاد کردند که می‌توان بهره اقتصادی مناسبی از آن برای کمک به وضعیت اقتصادی خانوارهای روستایی و توسعه پایدار کشاورزی برد. رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶) از روش‌های مختلفی دمای پوشش گیاهی درختان پسته در بهاباد شهر یزد را به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست ارزیابی کردند. زارع و غفاریان (۱۳۹۹) با بهره‌گیری از سنجش از دور در حاشیه کویر ابرکوه یزد ضریب گیاهی

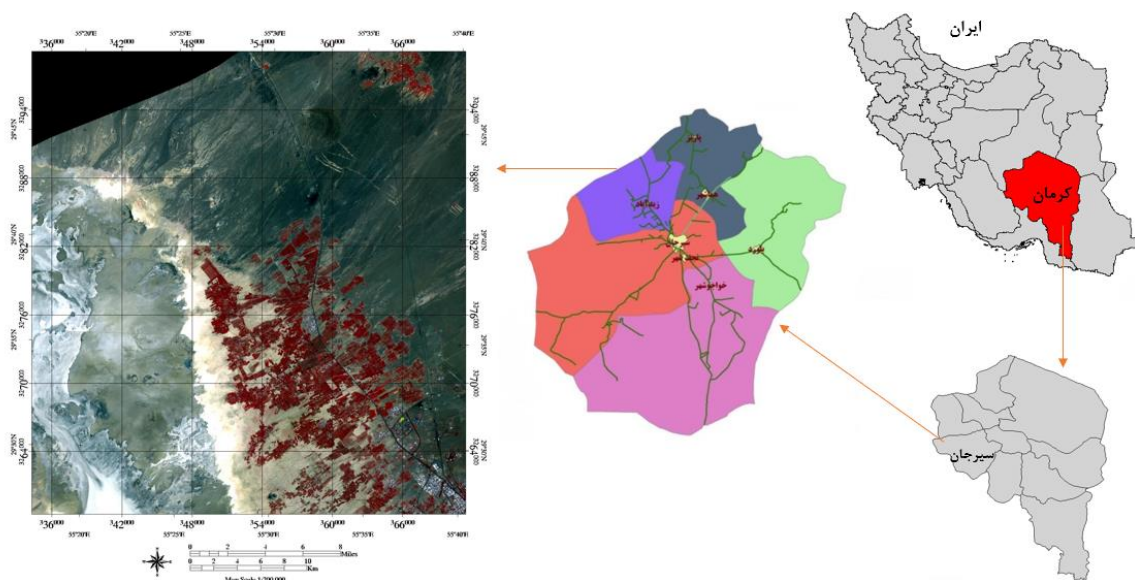
گیاه پسته را تخمین زدند. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد پژوهش‌های زیادی در زمینه پایش، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی انجام شده است. آنچه مسلم است، نیاز است تا با انجام پژوهش‌های علمی بیشتر روند تغییرات و پیش‌بینی این تغییرات در سایر نقاط ایران مورد ارزیابی قرار گیرد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). درعین حال، از آنجاکه عوامل مؤثر در تغییر اراضی پیچیده است و احتمالاً "عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در این فرآیند دخیل باشد، شبیه‌سازی آن مشکل است (وربورگ و همکاران، ۲۰۰۲). به همین دلیل، محققان مدل‌های مختلفی را اصلاح و توسعه داده‌اند تا پیچیدگی و پویایی اراضی را شبیه‌سازی کنند (سین، ۲۰۰۳). زنجیره مارکوف، روشی مناسب برای مدل‌سازی تغییرات اراضی در جایی است که توصیف تغییرات و فرآیندهای تحول سیمای سرزمین مشکل باشد. تجزیه و تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات اراضی از دوره‌ای به دوره دیگر را توصیف نموده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند (استمان، ۲۰۱۲)؛ بنابراین هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته برای دوره ۲۰ ساله و

پیش‌بینی تغییرات برای ۱۰ سال آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف است.

روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان سیرجان با اقلیم نیمه بیابانی، رطوبت متوسط ۳۶ درصد و میانگین بارندگی سالانه ۱۶۰ میلی‌متر است. تابستان‌های نسبتاً گرم با شب‌های تابستانی خنک و زمستان‌های نسبتاً سرد دارد. منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۶۶۵۴۱/۵ هکتار در شهرستان سیرجان، استان کرمان واقع شده است و در جاده سیرجان به شهربابک قرار گرفته است. کویر نمک سیرجان نیز در باختر زیدآباد واقع شده و به فاصله ۲۵ کیلومتری از شهرستان سیرجان و ۲۱۰ کیلومتری از کرمان قرار دارد. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه، ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی، است و در ارتفاع ۱۷۱۸ متر از سطح دریا واقع است. درآمد مردم شهر زیدآباد بیشتر از راه پسته‌کاری تأمین می‌شود و رونق کشاورزی منطقه باعث مهاجرپذیری آن شده است. همچنین منطقه مورد مطالعه دارای خاک‌های عمیق همراه با بافت یکنواخت و نسبتاً "سبک تا متوسط است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه استخراج شده از ترکیب رنگی کاذب ماهواره لندست

تصاویر ماهواره‌ای

به منظور دستیابی به تغییرات کمی و کیفی رخ داده در منطقه مورد بررسی، از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سنجنده‌های ETM^+ و OLI مورد استفاده قرار

گرفته است که به ترتیب مربوط به سه دوره زمانی ۱۳۷۹ (۲۰۰۰ میلادی)، ۱۳۸۰ (۲۰۱۰ میلادی) و ۱۳۹۸ (۲۰۱۹ میلادی) می‌باشند که تصاویر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده
۲۰۰۰/July/۳۱	۱۳۷۹/مرداد/۱۰	لندست ۷	ETM^+
۲۰۱۰/July/۳۱	۱۳۸۹/مرداد/۹	لندست ۷	ETM^+
۲۰۱۹/July/۳۱	۱۳۹۸/مرداد/۹	لندست ۸	OLI

پیش‌پردازش و بررسی کیفیت تصاویر

قبل از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی، پرتوسنجی مانند راه راه شدگی، زیر هم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های تکراری، خطاهای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر مورد بررسی قرار خواهند گرفت؛ و تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

کار از داده‌های آموزشی و آزمایشی، برای هر کدام از کس‌ها به صورت طبقه‌بندی تصادفی از سطح منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردیده است. پس از پیاده‌سازی نمونه‌ها و داده‌های آموزشی و آزمایشی بر سطح تصویر، با استفاده از نرم‌افزار $ENVI 5.3$ ، دقت کلی و شاخص کاپا برای هر کدام از کلاس‌ها تعیین می‌گردد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده

برای ارزیابی صحت نقشه تهیه شده با واقعیت زمینی، با حضور در منطقه مورد مطالعه و دید میدانی و سپس از نرم‌افزار Google Earth استفاده شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

پیش‌بینی تغییرات کاربری برای آینده

در این تحقیق از ماتریس تغییرات کاربری و مدل زنجیره‌ای مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده شده است. زنجیره مارکوف مدلی تصادفی برای توصیف یک توالی از رویدادهای احتمالی است که در آن احتمال هر رویداد فقط به حالت رویداد قبلی بستگی دارد. زنجیره مارکوف به افتخار اندی مارکوف ریاضی‌دان اهل روسیه نام‌گذاری شده است. زنجیره مارکوف یک حالت فرایند تصادفی بدون حافظه است، بدین معنی که توزیع احتمال شرطی حالت بعد تنها به حالت فعلی بستگی دارد

طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری

لازمه اجرای این تحقیق، در اختیار داشتن نقشه کاربری اراضی صحیح از سه مقطع زمانی است. با توجه به نبود این نقشه‌ها، برنامه‌ریزی لازم برای تهیه هر چه دقیق‌تر این اطلاعات انجام گرفته است. به این ترتیب که با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، اهداف تحقیق و قابلیت‌های کم و بیش شناخته شده تصاویر مورد استفاده در استخراج اطلاعات مفید به ویژه نقشه کاربری اراضی/پوشش زمین، دو کاربری شامل پوشش گیاهی (سطح زیر کشت پسته) و فاقد پوشش گیاهی (مسکونی، بستر رودخانه، بایر و تپه ماهور، مرتع) مد نظر قرار گرفته است. برای روش طبقه‌بندی از الگوریتم بیشترین شباهت ($Maximum Likelihood$) در محیط نرم افزار $ENVI 5.3$ استفاده شده است. که نسبت به سایر روش‌ها که طبقه‌بندی از دقت بالاتری برخوردار است. برای انجام این

فقط به حالت فعلی وابسته بوده و به حالت‌های پیشین و همسایه‌ها وابسته نیست.

$$M_{LC} \times M_t = M_{t+1} \quad (1)$$

MLC ، اتریس انتقال، M_t و M_{t+1} تعداد پیکسل هر کاربری در دو زمان t و $t+1$ می‌باشند. به عبارت دیگر می‌توان رابطه زنجیره مارکوف را به شکل دیگر بیان نمود (رابطه ۲).

$$\begin{bmatrix} LC_{AA} & LC_{AB} & LC_{AP} & LC_{AO} \\ LC_{BA} & LC_{BB} & LC_{BP} & LC_{BO} \\ LC_{PA} & LC_{PB} & LC_{PP} & LC_{PO} \\ LC_{OA} & LC_{OB} & LC_{OP} & LC_{OO} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_t \\ B_t \\ P_t \\ O_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{t+1} \\ B_{t+1} \\ P_{t+1} \\ O_{t+1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در این رابطه LC_{AB} نشان‌دهنده احتمال تغییر از کاربری A در زمان t به کاربری B در زمان $t+1$ ، LC_{AB} نشان‌دهنده احتمال تغییر از کاربری B در زمان t به کاربری A در زمان $t+1$ ، B_t ، A_t ، P_t و O_t نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های موجود در کاربری‌های A ، B ، P و O در زمان t است. ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق نقشه‌های دو تصویر است که توسط خطای نسبی، اصلاح می‌گردد. ماتریس مساحت انتقال یافته^۲، تعداد پیکسل‌هایی را که برای تغییر از یک پوشش اراضی به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند ثبت می‌کند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). این ماتریس با ضرب هر ستون از ماتریس احتمال انتقال در تعداد پیکسل‌های کاربری اراضی مربوط به آن در تصویر دوم ایجاد شده و خروجی مارکوف شامل چند تصویر احتمال از نمونه‌های تعلیمی است که در منطقه مورد مطالعه دارای دو نمونه بوده و خروجی این دو نمونه تهیه شده است. این تصاویر که از ماتریس احتمال انتقال به دست آمده‌اند، احتمال این‌که هر نوع از پوشش اراضی در هر موقعیت مکانی در

و مستقل از گذشته آن است. این نوع بدون حافظه بودن، خاصیت مارکوف نام دارد. زنجیره مارکوف در مدل‌سازی دنیای واقعی کاربردهای زیادی دارد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵، نظری و همکاران ۱۳۸۹)؛ بنابراین از جمله مدل‌هایی که برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود، می‌توان به تحلیل زنجیره مارکوف اشاره کرد (لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴). زنجیره مارکوف یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در جایی است که توصیف تغییرات و فرایندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. هر فرآیند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به صورت کلی بر اساس وضعیت ماقبل آن سیستم مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان یک به زمان دو انجام می‌گیرد که به عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. آشکارسازی تغییرات و همچنین پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، در دادن دید کلی برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و حفاظت اراضی کشاورزی اطراف مناطق شهری و اتخاذ تدابیر سیاست‌های درازمدت مؤثر است. با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود. در مارکوف، با شناخت کاربری زمین در دو دوره زمانی مختلف کار شروع شده و سپس از آن‌ها برای نقشه سازی و مدل کردن تغییرات برای آینده استفاده خواهد شد. خروجی مارکوف دارای دو ماتریس با فرمت txt در مسیر ذخیره شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). زنجیره مارکوف طبق رابطه (۱) مدلی است که احتمال تغییر از یک حالت در زمان t_1 به حالت دیگر در زمان t_2 را با استفاده از ماتریس انتقال بیان می‌کند. ویژگی این روش این است که حالت بعدی

آینده پیدا شود را بیان می کند که بر اساس دو تصویر پوشش زمینی معرفی شده ایجاد می گردند (آرخی و اصفهانی، ۱۳۹۳).

نتایج

نتایج بررسی کیفیت رادیومتری و کنترل هندسی تصاویر نشان داد که تصاویر هر سه سال از کیفیت مطلوب برخوردار بوده و هیچ یک از خطاهای شناخته شده رادیومتری را ندارند. همچنین تصاویر با لایه های وکتوری جاده ها و آبراهه ها کاملاً همخوانی مکانی دارند و به تصحیح هندسی مجدد نیاز ندارند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

دقت طبقه بندی

برآورد دقت برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم گیری خیلی مهم هستند. معمول ترین پارامترهای برآورد دقت شامل، دقت کلی، دقت

تولیدکننده و ضریب کاپا می باشند که معادلات این معیارها به ترتیب روابط (۳)، (۴) و (۵) خواهند بود. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر کل پیکسل ها طبق رابطه ی دلایلان و اسمیت، به دست می آید. نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه بندی ها در جدول (۲) نشان داده شده اند. دقت طبقه بندی ها به طور کلی بیش از ۸۷ درصد برای استفاده از مدل زنجیره مارکوف مناسب است. در اینجا جهت ارزیابی ضریب کاپا و دقت کلی از گزینه *Post Classification* در نرم افزار *ENVI 5.3* استفاده شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵) کریمی و همکاران (۱۳۸۹).

$$\phi_1 = 1/n \sum_{i=1}^n pii \quad (3)$$

$$K = \frac{\phi_1 - \phi_2}{1 - \phi_2} \quad (4)$$

$$\phi_2 = 1/n^2 \sum_{i=1}^n pix pi \quad (5)$$

جدول ۲- نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه بندی ها

سال	نقشه کاربری تهیه شده	
	شاخص کاپا	دقت کلی
۱۳۷۹	۹۸/۳۰ درصد	۹۹/۹۸ درصد
۱۳۸۹	۶۰/۸۹ درصد	۹۹/۲۷ درصد
۱۳۹۸	۶۴/۲۲ درصد	۹۶/۴۲ درصد

آشکارسازی تغییرات

میزان تغییرات کاربری های مختلف طی دوره های مورد بررسی و در جداول (۳) الی (۵) نشان داده شده است. نتایج تفسیر بصری تصاویر ماهواره ای سال های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ را نیز در شکل های (۲) الی (۴) آمده است. برای درک تغییرات منطقه گسترش و کاهش مساحت کلاس ها طی دوره ۲۰ ساله، نقشه های طبقه بندی شده به محیط نرم افزار Arc GIS 10.6.1 وارد گردیده است. با مقایسه این نقشه ها و جداول تقاطعی به دست آمده، نقشه و درصد تغییرات هر کلاس مشخص و محاسبه شده است. نمودار میزان سطح هر کلاس را نیز می توان در سال های مورد مطالعه در شکل (۵) مشاهده کرد؛ و در شکل (۶)،

روند تغییرات کلاس ها را در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸، می توان مشاهده کرد. نتایج حاصل را می توان به صورت زیر بیان کرد که در سال ۱۳۷۹ هجری شمسی میزان سطح زیر کشت پسته ۱۲۵۵۷/۷ هکتار بوده است که این میزان در سال ۱۳۸۹ هجری شمسی با رشد ۱۵/۰۴ درصد، به اندازه ۱۸۸۸/۸۳ هکتار، به مساحت ۱۴۴۴۶/۵۳ هکتار رسیده است. در سال ۱۳۹۸ هجری شمسی، سطح زیر کشت پسته به مقدار ۱۶۱۳۱/۶ هکتار رسیده است که رشدی ۱۱/۶۶ درصدی به مقدار ۱۶۸۵/۰۷ هکتار نسبت به سال ۱۳۸۹ هجری شمسی رسیده است.

روند تغییرات کاربری ها را نیز می توان به صورت بصری در شکل های شماره (۷) و (۸) مشاهده کرد.

جدول ۳- میزان تغییرات کاربری‌ها، حاصل از تصویر طبقه‌بندی سال ۱۳۷۹ هجری شمسی

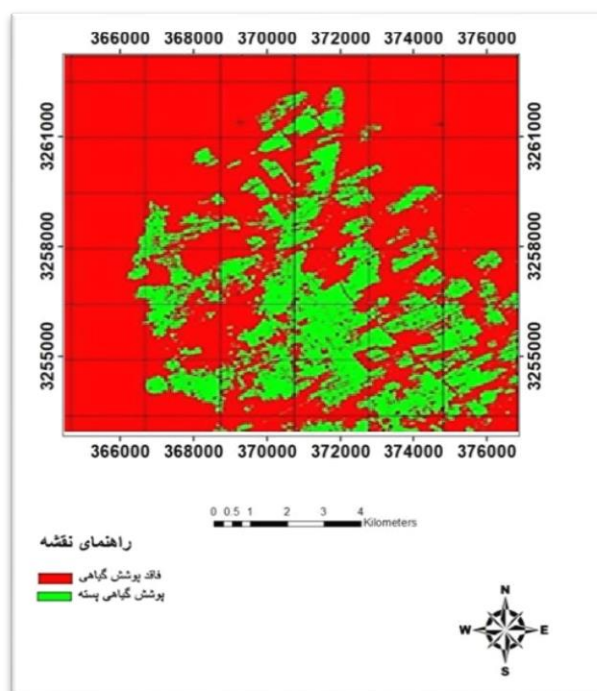
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
پوشش گیاهی پسته	۱۲۵۵۷/۷
فاقد پوشش گیاهی	۵۳۹۸۳/۸
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۳۳۶۹/۱۶
کوچک‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۰/۰۹

جدول ۴- میزان تغییرات کاربری‌ها، حاصل از تصویر طبقه‌بندی سال ۱۳۸۹ هجری شمسی

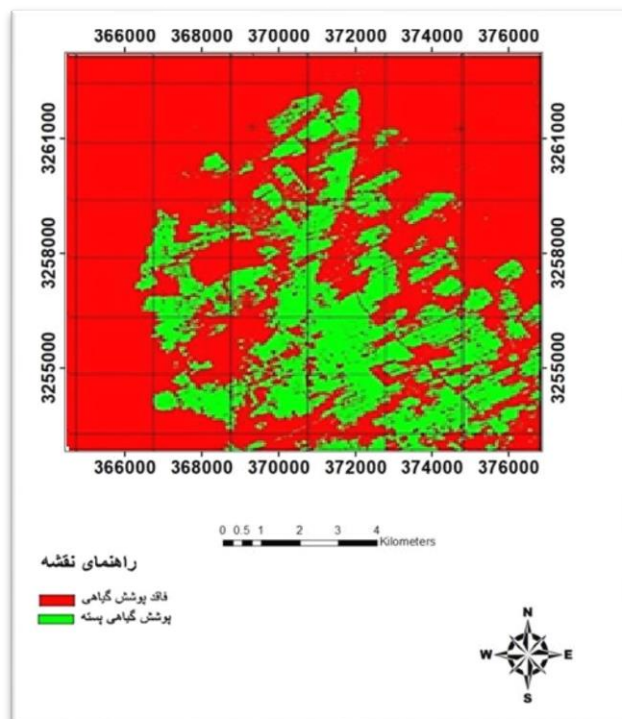
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
پوشش گیاهی پسته	۱۴۴۴۶/۵۳
فاقد پوشش گیاهی	۵۲۰۹۴/۹۷
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۴۵۸۷/۴۸
کوچک‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۰/۰۹

جدول ۵- میزان تغییرات کاربری‌ها، حاصل از تصویر طبقه‌بندی سال ۱۳۹۸ هجری شمسی

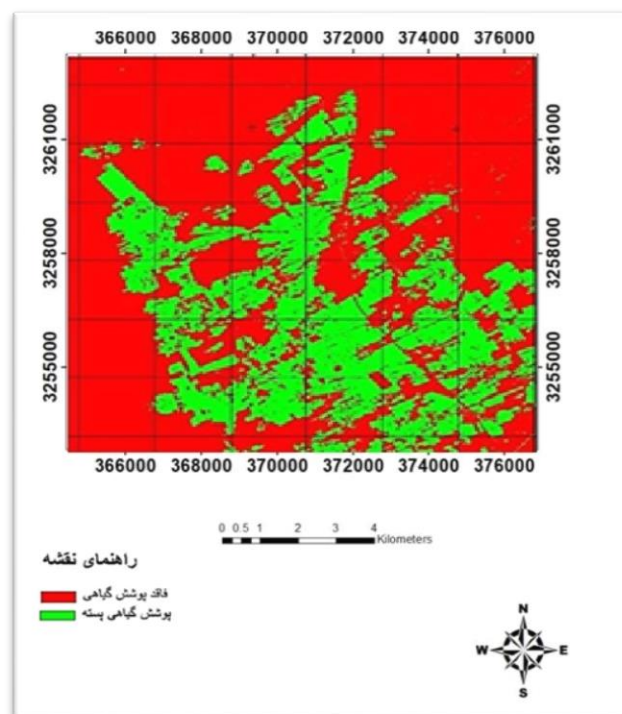
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
پوشش گیاهی پسته	۱۶۱۳۱/۶
فاقد پوشش گیاهی	۵۰۴۰۹/۹
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۷۱۹۵/۱۴
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۰/۰۹



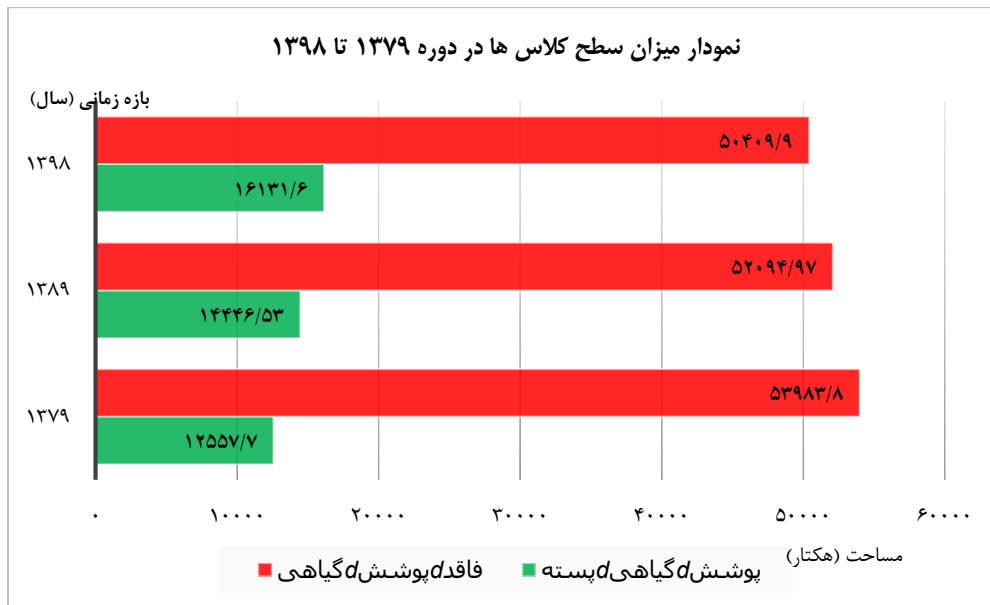
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده ETM^+ در سال ۱۳۷۹



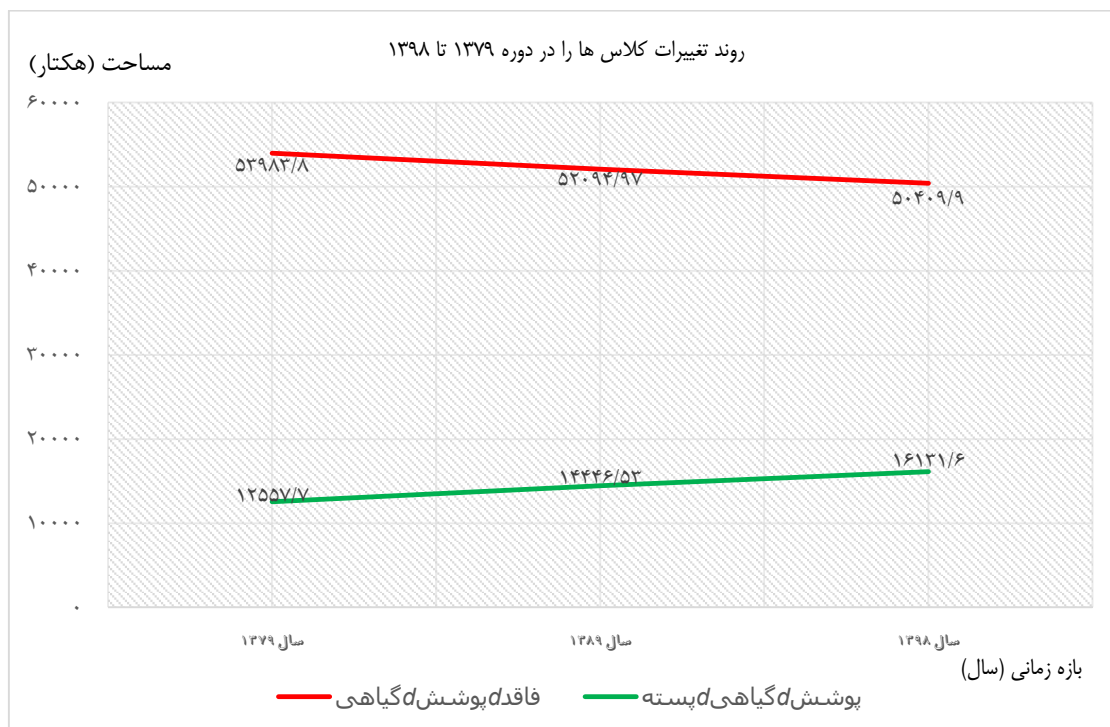
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده ETM^+ در سال ۱۳۸۹



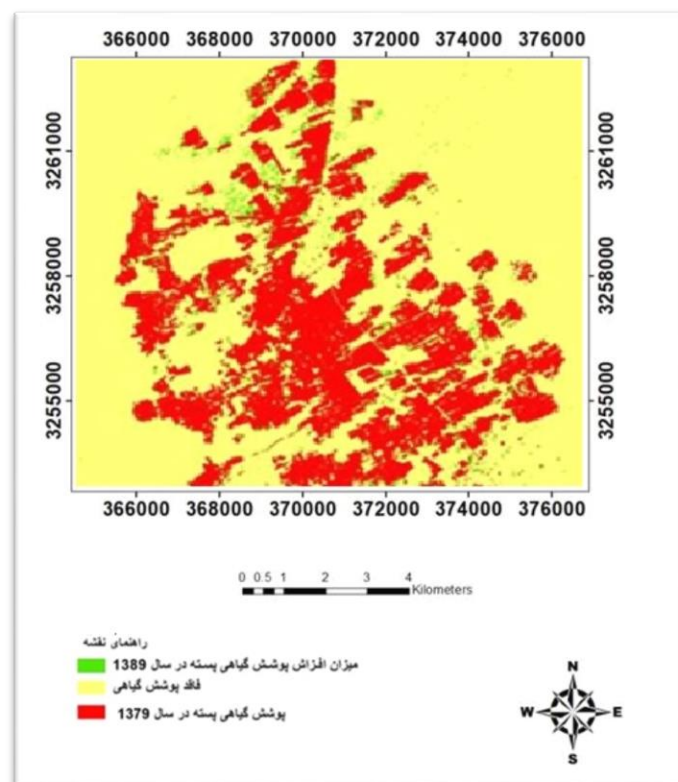
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده OLI در سال ۱۳۹۸



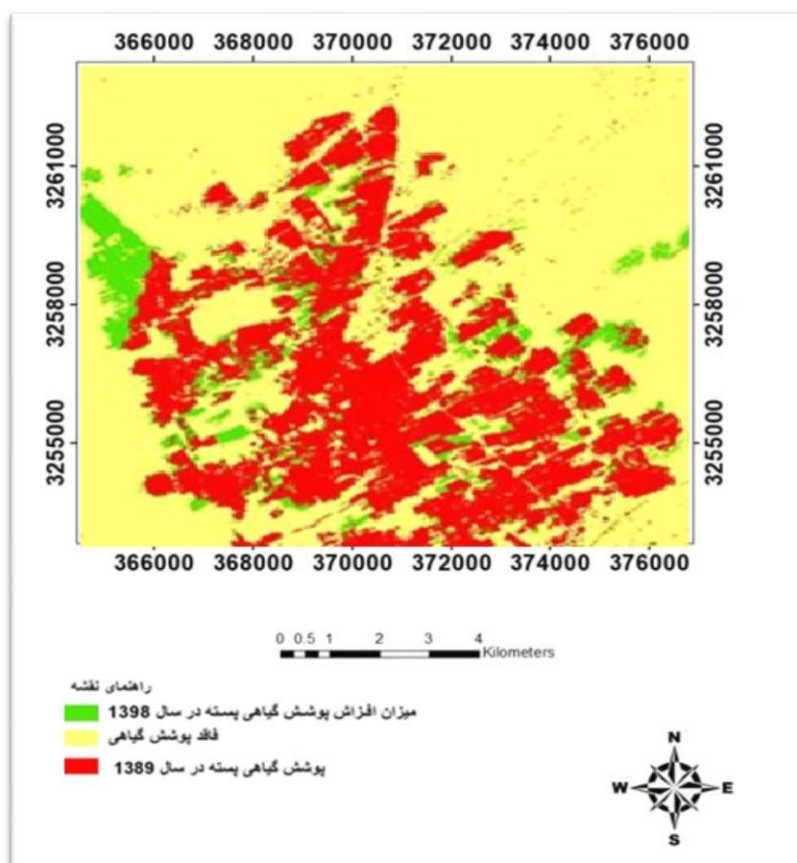
شکل ۵- نمودار میزان سطح کلاس‌ها در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸



شکل ۶- روند تغییرات کلاس‌ها را در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸



شکل ۷- میزان تغییرات سطح زیر کشت پسته بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹



شکل ۸- میزان تغییرات سطح زیر کشت پسته بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸

تحلیل زنجیره مارکوف

در این تحقیق مدت زمان ۱۰ سال مدنظر قرار گرفته است و نتایج حاصل مربوط به سال ۱۴۰۸ است. مقادیر ماتریس‌های فوق بر اساس کلاس‌های موجود، به ترتیب در جداول (۶) و (۷) بیان شده است؛ بنابراین نقشه

نهایی سطح اراضی زیر کشت درختان پسته برای ده سال آینده پیش‌بینی شده حاصل از ماتریس‌های موجود در دو کلاس، در شکل (۹) تهیه شده است. قابل ذکر است، احتمال وقوع هر کلاس در مدت ۱۰ سال آینده (سال ۱۴۰۸ شمسی)، براساس واحد هکتار نشان داده شده است.

جدول ۶- ماتریس احتمال انتقال

	کلاس اول	کلاس دوم
کلاس اول	۰/۸۹۷۴	۰/۱۰۲۶
کلاس دوم	۰/۲۲۵۷	۰/۷۷۴۳

کلاس اول: اراضی فاقد زیر کشت پسته

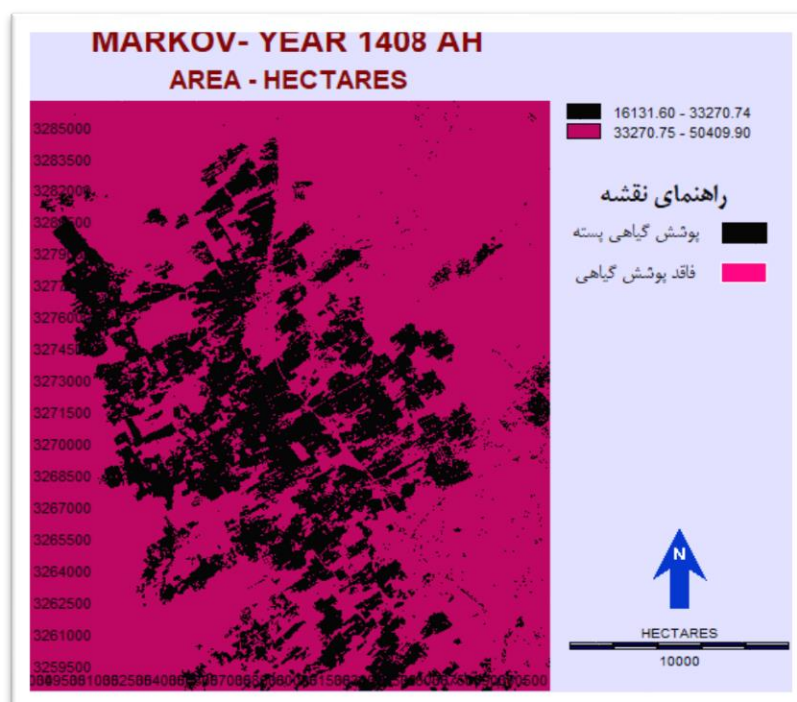
کلاس دوم: اراضی زیر کشت پسته

جدول ۷- ماتریس مساحت انتقال

	کلاس اول	کلاس دوم
کلاس اول	۵۰۲۶۶۵	۵۷۴۴۵
کلاس دوم	۴۰۴۵۲	۱۳۸۷۸۸

کلاس اول: اراضی فاقد زیر کشت پسته

کلاس دوم: اراضی زیر کشت پسته



شکل ۹- نقشه پیش‌بینی سطح اراضی زیر کشت درختان پسته منطقه مورد مطالعه بر اساس روش مارکوف در سال ۱۴۰۸

بنابراین می‌توان از نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل زنجیره مارکوف، دریافت سطح اراضی زیر کشت درختان پسته، از ۱۶۱۳۱/۶۰ هکتار در سال ۱۳۹۸ به ۳۳۲۷۰/۷۴ هکتار در سال ۱۴۰۸، خواهد رسید؛ اما آنچه بایست در نظر داشت منطقه زیدآباد به‌عنوان منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر، به‌عنوان یک قطب تولید پسته در سال‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی با افت شدید سطح ایستابی و افزایش سریع شوری آب و عوارض تبعی آن‌ها در توسعه کشاورزی روبرو شده است. چنانچه این افت سطح ایستابی ادامه داشته باشد کیفیت آب مورد نیاز پسته در منطقه کاهش یافته و نامناسب برای رشد این گیاه می‌شود. همچنین از سویی آب‌های آبیاری این محدوده به دلیل مجاورت با کفه نمک خیرآباد، بهره‌برداری بیش از حد منابع آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر سبب شده که جهت حرکت آب‌های زیرزمینی برعکس شده و از سمت کفه نمک به سمت اراضی بالادست حرکت نماید و این امر باعث شور شدن منابع آب مورد استفاده کشاورزی در منطقه گریده و کشاورزی را در این اراضی مشکل ساخته است. همچنین آبیاری موجب شوری و سدیمی شدن خاک شده و شوری و نسب جذب سدیم از پارامترهای مؤثر بر کاهش تولید پسته هستند؛ بنابراین کشت بیش از حد در دهه‌های اخیر و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی دارای کیفی نامطلوب شده‌اند و آبیاری با آب‌های خیلی شور سبب تشکیل افق سالیک شده و بر تحول خاک نیز تأثیر زیادی گذاشته و به تبع آن سطح زیر کشت پسته در اراضی منطقه را دستخوش تغییرات قرار می‌دهد؛ بنابراین با توجه به دلایل بیان‌شده، به احتمال زیاد سطح پیش‌بینی‌شده اراضی زیر کشت پسته حاصل از مدل زنجیره مارکوف برای سال ۱۴۰۸ منطقه مورد مطالعه در پژوهش پیش رو، تغییر خواهد کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان جهت تهیه نقشه

کاربری اراضی/پوشش زمین است. تجزیه و تحلیل این داده‌ها می‌تواند بینش‌های صحیحی جهت تعامل انسان با محیط طبیعی فراهم کند، به‌خصوص استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی می‌تواند جهت شناسایی پوشش زمین و شبیه‌سازی آن در آینده به مدیران و استفاده‌کنندگان برای مدیریت و برنامه‌ریزی و کاربرد سیاست‌های توسعه پایدار کمک کند. همچنین داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری‌های موجود، لازمه مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی و اراضی کشاورزی است. یکی از مبانی مدیریت اراضی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. در تحقیق حاضر، تغییرات سطح اراضی زیر کشت باغات پسته در منطقه‌ای به وسعت حدوداً ۶۶۵۴۱/۵ هکتار در بخشی از شهرستان سیرجان در دوره زمانی (۱۳۷۹-۱۳۸۹ هجری شمسی) و (۱۳۸۹-۱۳۹۸ هجری شمسی) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و همچنین توانایی پیش‌بینی کاربری بر اساس رویکرد مدل زنجیره مارکوف، وضعیت طبقه‌بندی کاربری اراضی ۱۰ سال آینده (۱۴۰۸ هجری شمسی) مورد پیش‌بینی قرار گرفته و اندازه تغییرات و متغیرهای مؤثر در آن از طریق داده‌های سنجش از دور بررسی شد.

در طول دوره مورد نظر کاربری‌های (مسکونی، بستر رودخانه، بایر و تپه‌ماهور، مرتع) که در طبقه فاقد زیر کشت درختان پسته و کاربری اراضی زیر کشت محصول پسته مورد بررسی قرار گرفتند. میزان سطح زیر کشت پسته از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ با رشدی ۱۵/۰۴ درصدی همراه بوده و این مقدار در بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نیز با رشدی ۱۱/۶۶ درصدی همراه بوده است. استفاده از مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات اراضی زیر کشت پسته و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی زیر کشت باغات پسته از جنبه‌های مهم نوآوری این مطالعه محسوب می‌شود. با در اختیار داشتن نقشه موقعیت مکانی-احتمالی (طول و عرض جغرافیایی) تمام پیکسل‌های هر یک از کاربری‌ها، می‌توان از این مسئله در برنامه‌ریزی‌های آتی کمک گرفت. با توجه به اینکه اغلب هدف پیش‌بینی تغییر کاربری، ارزیابی

پیامدهای سناریوهای مختلف به‌ویژه ادامه روند موجود
 است، نتایج این پیش‌بینی به‌رغم اختلاف نسبت به آنچه در
 آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشدار برای وضعیت
 کاربری‌ها در آینده باشد.

فهرست منابع

۱. جعفرزاده، ک. سبزیابی، غ. یوسفی، ش و سلطانیان، س (۱۳۹۷). مدل سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه عیمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۷)، ۲۲۲-۲۰۹.
۲. صالحی، ن. اختصاصی، م و طالبی، ع (۱۳۹۸). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه عیمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۷)، ۲۲۲-۲۰۹.
۳. میراخوخلو، م. س و رحیم زادگان، م (۱۳۹۶). سبزیابی، غ. یوسفی، ش و سلطانیان، س (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه عیمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۷)، ۲۲۲-۲۰۹.
۴. رایگانی، ب. جهانی، ع. ستاری راد، ا و شوقی، ن (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه‌ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۷)، ۲۲۲-۲۰۹.
۵. رحیمیان، م. ح، شایان نژاد، م. اسلامیان، س. جعفری، ر، قیصری، م و تقواییان، ص. (۱۳۹۶). ارزیابی روش‌های مختلف تعیین دمای پوشش گیاهی درختان پسته به کمک تصاویر ماهواره ای لندست ۸، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۹۸، ۷۹-۲.
۶. زارع خورمیزی، ه و غفاریان المیری، ح. (۱۳۹۹). تخمین ضریب گیاهی و رابطه KC-NDVI گیاه پسته با بهره‌گیری از سنجش ازدور در حاشیه کویر ابرکوه یزد، نشریه مدیریت بیابان، ۱۵، ۱۲۰-۱۰۱.
۷. قدیری معصوم، م و حجتی پور، م. (۱۳۹۵). آمایش اکولوژیکی مکان در راستای پیشبرد توسعه پایدار کشاورزی، مطالعه موردی: کاشت پسته در شهرستان نهبندان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۲۲، ۱۲۴-۱۰۹.
۸. کریمی، ک. غ. ر. زهتابیان، م. فرامرز یوح. خسروی (۱۳۹۵). پایش و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف به منظور پیش‌بینی آن (بررسی م. ردی: دشت عباس)، مجله مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۳)، ۷۲۴-۷۱۱.
۹. نظری سامانی، ع. ا. م. قربانی و ح. ر. کوهبانی ۱۳۸۹. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰. مرتع ۴(۳): ۴۵۱-۴۴۲.
۱۰. آرخی، ص. و اصفهانی، م. (۱۳۹۳). آموزش تصویری نرم افزار ایدرسی سلوا، انتشارات دانشگاه گلستان، ص ۱-۳۳۶.

11. AL-saghir, m.g, and D.M porter (2012) Taxonomic revision of the genus pistacia l, (plant sciences).
12. Dontree, S., 2003. Land use dynamics from multi temporal remotely - sensed date: a case study Northern Thailand, Proceedings of Map Asia, Malaysia.
13. Eastman, J.R. 2012. *IDRISI Selva Tutorial*. IDRISI Production. Worcester: Clark Labs-Clark University.
14. Gross, J. E., 2006. Remote sensing for the national parks. Park Science, 24, 30-36.

15. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley and Sons, New York, 750 pp.
16. Juliev, M., Pulatov, A., Fuchs, S., and Hubl, J. 2019. Analysis of Land Use Land Cover Change Detection of Bostanlik District, Uzbekistan. Polish Journal of Environmental Studies, 28(5), 3235–3242.
17. Lu D, Weng Q. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International journal of remote sensing 28(5); 523-870.
18. Parker, D.C., Manson Hoffmann, S.M. and Deadman, .MJ. 2003. Multi agent systems for the simulation of landuse and land cover change: a Review. Annals of the Association of American Geographers, 43, 314-337.
19. Traore, Arafan; Mawenda, John; Komba, Atupelye W. 2018. Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model. *Urban Sci.* Volume 2, Issue2.
20. Rimal, B.; Zhang, L.; Keshtkar, H.; Haack, B.N.; Rijal, S.; Zhang, P 2018. Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration.
21. Rizvi, R., Newaj, R., Karmakar, P. S., Saxena, A., and Dhyani, S. 2016. Remote Sensing Analysis of Agroforestry in Bathinda and Patiala Districts of Punjab using Sub-pixel Method and Medium Resolution Data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 44(4), 657–664.
22. Singh, A.K. Modeling Land use/ Land cover Changes Using Cellular Automata in Geo-Spatial Environment, MSC Theses. Netherland. 2003; 58 P.
23. Vafai, S., Darvishsefat, A.A., Pirbavachar, M. 2013. Monitor and predict changes in spatial land-use by using LCM model (Case Study: Marivan region). Iranian Journal of Forest, Forest Society of Iran, Fifth Year, 3, 336.323.
24. Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R. and Espaldon, V 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. Environ. Manage. 30(1): 391-405.
25. Wang, Y.Q., et al. 2009. Remote sensing of land-cover change and landscape context of the national parks: A case study of the Northeast Temperate Network. Remote Sensing of Environment.
26. Wijanarto AB. 2006. Application of Markov Change Detection Technique for Detecting Landsat ETM Derived Land Cover Change Over Banten Bay. *Journal of Ilmiah Geomatika*, 12(1), 11-21.

مکان‌یابی عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در عرصه‌های طبیعی

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز نازلو چای، ارومیه)

مرتضی مفیدی چلان، حبیب نظرنژاد^۱ و الهام محرم‌پور

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. mofidi.morteza@gmail.com

دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. h.nazarnejad@urmia.ac.ir

کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. el.moharampour@yahoo.com

دریافت: تیر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

شناسایی محل‌های مناسب برای عملیات ذخیره نزولات آسمانی، گامی مهم در راستای تأمین آب در حوزه‌های آبخیز است. این تحقیق باهدف شناسایی عوامل تأثیرگذار بر نفوذ و ذخیره‌ی آب باران برای شناسایی محل‌های مناسب برای استفاده از روش‌های ذخیره نزولات آسمانی در حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه انجام شد. برای انجام تحقیق؛ ابتدا معیارهای شیب، مقدار بارندگی، کاربری اراضی، بافت و عمق خاک به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر ذخیره‌ی آب باران مشخص شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن معیارهای انتخاب‌شده برای هر کدام از عملیات اصلاحی به دست آمد. سپس با استفاده از مدل تاپسیس، زیرحوزه‌ها نسبت به اجرای عملیات اصلاحی پیتینگ، بانکت، تراس‌بندی و کنتورفارو اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد اجرای عملیات پیتینگ در حوزه مورد مطالعه از اولویت بالاتری برخوردار است، به‌طوری‌که آماره حاصل از مدل تاپسیس برای عملیات اصلاحی پیتینگ در زیرحوزه‌های یک تا هفت به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۲۸، ۰/۲۰، ۰/۳۱، ۰/۰۸، ۰/۰۲، ۰/۰۱ به دست آمد که نشان داد، زیر حوزه‌ی شماره ۱ برای اجرای عملیات اصلاحی پیتینگ نسبت به سایر زیرحوزه‌ها از اولویت بالاتری برخوردار است. همچنین برای عملیات اصلاحی بانکت‌بندی، تراس‌بندی و کنتورفارو، اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها به ترتیب شامل زیر حوزه‌های سه، دو و چهار به دست آمد. با توجه به این‌که اجرای روش‌های جمع‌آوری آب باران به دلیل پرهزینه بودن و عدم توجه اقتصادی در اولویت قرار ندارند، اجرای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی با توجه کم‌هزینه بودن و اهداف چندمنظوره آن می‌تواند بهترین گزینه برای جمع‌آوری آب باران در حوزه آبخیز نازلو چای باشد. همچنین معیارها و مدل تلفیقی AHP- TOPSIS به کار گرفته شده در این تحقیق می‌تواند در خصوص انتخاب عملیات اصلاحی مناسب برای جمع‌آوری آب باران در حوزه‌های آبخیز برای بخش اجرایی کشور راهگشا باشد.

واژه‌های کلیدی: پیتینگ؛ بانکت بندی؛ شیب؛ کنتورفارو؛ مدل تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس

^۱ -آدرس نویسنده مسئول: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

مقدمه

کشور ایران به علت قرار گرفتن بر روی کمربند مناطق خشک جهان همواره با پدیده خشکی و کمبود بارش در مناطق وسیعی مواجه است. میانگین بلندمدت بارندگی سالیانه آن در حدود ۲۳۵ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی کشور؛ ۱۳۹۹) که این مقدار بارش کم‌تر از یک‌سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی توزیع بارندگی در کشور از نظر زمانی و مکانی یکنواخت نبوده از این‌رو بیش‌تر نقاط کشور همواره با مشکل فرسایش و کم‌آبی مواجه است. اصولاً الگوی بارش در مناطق خشک به‌گونه‌ای است که در زمانی کوتاه رگبارها با شدت زیاد می‌بارد و این موضوع باعث ایجاد رواناب در سطح حوزه شده که علاوه بر حمل خاک سطحی با ارزش، فرصت نفوذ آب در خاک نیز از دست می‌رود (دهداری و همکاران، ۱۳۹۷). در حال حاضر؛ رشد جمعیت و افزایش نیاز به مواد غذایی، تخریب منابع آب، خاک و نابسامانی محیط‌زیست را سبب شده است بنابراین حفاظت خاک، تأمین آب و بهره‌وری بهینه از این عنصر حیاتی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

مهار و بهره‌برداری بهینه از آب کلید حل مسئله کم‌آبی محسوب می‌شود (معمودی و شیدای کرکچ، ۱۳۹۷). حتی اگر متوسط بارندگی منطقه بالا باشد، در مناطق کوهستانی و پرتپه به‌دلیل پاسخ سریع دامنه‌ها به بارش و جاری شدن رواناب و کم بودن عمق خاک، مقدار قابل‌توجهی از آبی که حوزه دریافت می‌کند از دسترس خارج می‌شود در نتیجه توانایی مدیریت صحیح رواناب در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (دورگا و همکاران، ۲۰۰۳؛ میلی‌نی و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین رواناب حاصل از رگبارها در یک حوزه آبخیز، یک منبع بالقوه آب است که در صورت مدیریت صحیح، می‌تواند به‌عنوان یک مکمل برای رفع نیازهای آبی استفاده شود (واینار و همکاران، ۲۰۰۷). در این خصوص اویس و هاشم، (۲۰۰۶) به‌منظور مکان‌یابی جمع‌آوری آب در

سیستم‌های کشاورزی در غرب آسیا و شمال آفریقا در محیط GIS از لایه‌های اطلاعاتی عمق خاک، بافت خاک، بارندگی و پوشش گیاهی استفاده کرده و گزارش دادند که لایه عمق خاک و بارندگی دارای اهمیت بالایی هستند. رامکرشنا و همکاران، (۲۰۰۹) گزارش دادند معیار نفوذپذیری به‌عنوان مهم‌ترین عامل در افزایش ذخیره سازی آب است. در خصوص مکان‌یابی و اولویت‌بندی عملیات اصلاحی جمع‌آوری آب باران در حوزه‌های آبخیز آلاذنولا و ادبوی (۲۰۱۰) در شمال اردن با تکنیک GIS و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره، مناطق مناسب جهت ساخت گوراب‌ها را شناسایی کردند. در این راستا پراسادو همکاران (۲۰۱۴) در حوزه آبخیز پیسانگان هند در آنالیز تناسب سایت برای احداث سازه‌های جمع‌آوری آب، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار در محیط GIS گزارش دادند، معیار شیب تأثیر بیش‌تری نسبت به سایر معیارها دارد. همچنین آبلالونه و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP به انتخاب مکان مناسب برای اجرای ترانس‌بندی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد فیزیوگرافی مهم‌ترین معیار برای پیاده‌سازی عملیات اصلاحی ترانس‌بندی است. نظریان و همکاران (۱۳۹۴) برای مکان‌یابی عرصه‌های مستعد جمع‌آوری آب باران، از پارامترهای بارش، بافت خاک، شیب و کاربری اراضی در حوزه آبخیز آق امام استان گلستان استفاده کرده و گزارش دادند که عرصه‌های مناسب برای جمع‌آوری باران در هر زیر حوزه دارای توزیع مکانی یکنواختی نیست و شیب بیش‌ترین تأثیر را در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد جمع‌آوری باران دارد. در امر مدیریت رواناب‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، چنانچه عرصه‌های ذخیره بارش و روش ذخیره‌سازی صحیح انتخاب شوند، تأثیر بسزایی بر کمیت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهند داشت. حال آن‌که عدم انتخاب صحیح و علمی می‌تواند منجر به صرف هزینه‌های گزاف و نهایتاً سود کم این پروژه‌ها شود.

این حوزه نماید به طوری که احداث سیستم‌های استحصال و ذخیره آب در این حوزه ضروری به نظر می‌رسد نماید. لذا این پژوهش با هدف اولویت‌بندی زیر حوزه‌های نازلو چای ارومیه برای جمع‌آوری آب باران و پیشنهاد عملیات اصلاحی مناسب برای ذخیره آب باران با توجه به ویژگی‌های منطقه انجام شد.

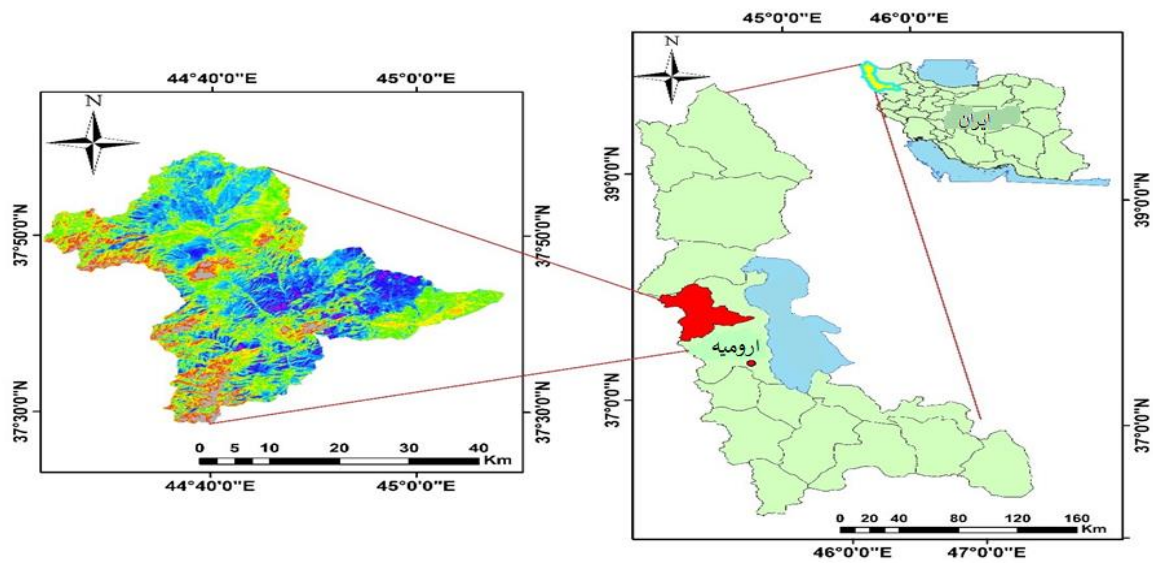
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز نازلو چای در استان آذربایجان غربی و در غرب دریاچه ارومیه، در شمال غربی شهرستان ارومیه در محدوده $24^{\circ} 44'$ تا $53^{\circ} 45'$ طول شرقی و $30^{\circ} 37'$ تا $58^{\circ} 37'$ عرض شمالی واقع شده است. این حوزه یکی از زیر حوزه‌های دریاچه ارومیه به شمار می‌آید و با کشور ترکیه دارای مرز مشترک بوده و مساحت کل آن 152267 هکتار است. ارتفاع متوسط اراضی 1420 متر از سطح دریای آزاد و بارندگی متوسط سالانه حوزه در بازه زمانی $(1370-1391)$ 300 میلی‌متر است (شکل ۱). این حوزه در منطقه نیمه‌خشک قرار گرفته و از مشخصات اصلی این اقلیم کمبود میزان بارش، توزیع نامناسب فصلی بارش، بالا بودن میزان تبخیر منطقه (حدود 70% بارش به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود) و همچنین وقوع بارش‌هایی با شدت بالا است که باعث ایجاد سیل-های مخرب و هدر رفت خاک و آب می‌شود. به طوری که نیاز به احداث سیستم‌های استحصال آب و روش‌های ذخیره نزولات آسمانی جهت مقابله و تعدیل مشکلات فوق ضروری به نظر می‌رسد (نظریان و همکاران، 1394).

بسیاری از بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان آب در سرتاسر جهان پتانسیل برداشت از آب باران را به منظور افزایش بهره‌وری بیش‌تر از آب حائز اهمیت می‌دانند (قضاوی و همکاران، 2015). ال‌عبادی و همکاران (2017) از پنج معیار گروه‌های هیدرولوژیک، پوشش گیاهی، عمق رواناب سطحی، شیب و فاصله از رودخانه برای مکان‌یابی مناطق مستعد ذخیره باران استفاده کردند و گزارش دادند معیار عمق رواناب بیش‌ترین تأثیر را دارد. همچنین راجاسخار و همکاران (2019) با استفاده از پارامترهای ژئومورفولوژی، سطح آب‌های زیرزمینی، بافت خاک، تراکم زهکشی، شیب، کاربری اراضی به تعیین مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در منطقه نیمه‌خشک حوزه جیلدوباندرو^۲ با استفاده از روش‌های AHP و فازی AHP پرداختند و یافته‌های آن‌ها نشان داد پارامتر ژئومورفولوژی بیش‌ترین تأثیر را در ذخیره آب باران دارد. در این راستا شاد و همکاران (2020) از بین پارامترهای کاربری اراضی، بافت خاک، تراکم زهکشی، شیب، بارندگی، منحنی CN و تبخیر و تعرق، برای شناسایی مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران برای کشاورزی پایدار استفاده کردند و گزارش دادند پارامتر بارندگی بیش‌ترین تأثیر را در مکان‌یابی مناطق ذخیره آب باران دارد.

حوزه نازلو چای ارومیه در منطقه نیمه‌خشک قرار گرفته و از مشخصات اقلیمی این حوزه کمبود میزان بارش، توزیع نامناسب فصلی بارش، بالا بودن میزان تبخیر منطقه (حدود 70% بارش به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود) و همچنین وقوع بارش‌هایی با شدت بالا است که باعث ایجاد سیل‌های مخرب و هدر رفت خاک و آب می‌شود. از طرفی با توجه به خشک‌سالی سال‌های اخیر در سطح کشور و چالش خشکی دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی و برداشت بی‌رویه آب در منطقه بخصوص در بخش کشاورزی جمع‌آوری و نفوذ آب باران می‌تواند کمک شایانی به تغذیه آب‌های زیرزمینی در

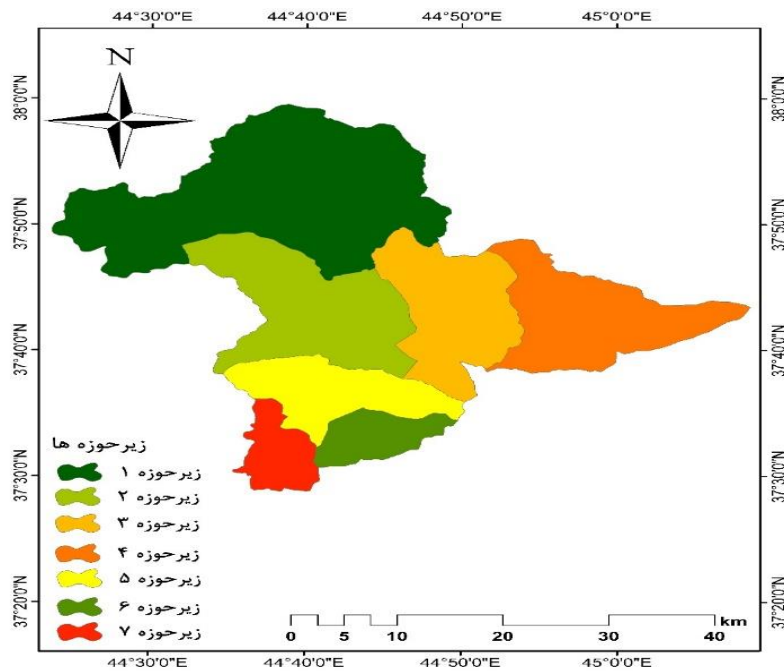


شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز نازلو چای در استان آذربایجان غربی

از الحاقیه Arc Hydro بسته‌شده است که نقشه زیرحوزه-
ها در شکل (۲) ارائه شده است.

زیرحوزه‌های نازلو چای

مرز زیرحوزه‌ها در حوزه نازلو چای با استفاده



شکل ۲- زیر حوزه‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز نازلوچای ارومیه

۲- شناسایی و انتخاب عملیات اصلاحی ذخیره آب و
پارامترهای مناسب در مکان‌یابی مناطق مستعد ذخیره
نزولات آسمانی در منطقه

انجام تحقیق

۱- مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری آمار و اطلاعات
موردنیاز

۳- تهیه پرسشنامه برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین وزن معیارهای مهم مکانیابی عملیات ذخیره نزولات آسمانی

۴- تکمیل پرسشنامه‌های تهیه‌شده توسط ۳۰ نفر (شامل اعضای هیئت علمی و کارشناسان متخصص اجرایی با مدرک کارشناسی ارشد و بالاتر و خبرگان محلی) به منظور مقایسه زوجی معیارهای اصلی

۵- تعیین وزن نسبی و نهایی معیارها در محیط نرم‌افزار Expert Choice (با توجه به نرخ سازگاری) و اولویت‌بندی عملیات اصلاحی با استفاده از مدل تاپسیس

روش‌های ذخیره نزولات آسمانی

با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه، چهار نوع عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی؛ شامل پیتینگ، بانکت‌بندی، تراس‌بندی و کنتورفارو برای بررسی و مکان‌یابی در نظر گرفته شد. با توجه به پیشینه تحقیق و مطالعات صورت گرفته توسط محققین داخلی و خارجی ذکرشده در مقدمه، در زمینه جمع‌آوری آب باران پارامترهای بارندگی، بافت خاک، عمق خاک، شیب زمین و کاربری اراضی به عنوان معیارهای تأثیرگذار در شناسایی بهترین منطقه برای عملیات اصلاحی در نظر گرفته شدند. در مناطقی که شیب زمین در آن‌ها کم‌تر از پنج درصد باشد، به علت پایین آمدن ضریب رواناب و مشکل انتقال رواناب ناشی از بارندگی، روش‌هایی توصیه می‌شود که نیاز به سیستم انتقال نداشته و آب در محل بارش جمع‌آوری شود (نگهداری آب در محل) از این روش‌ها می‌توان به شخم عمیق برای کشت دیم محصولات زراعی و روش چاله‌های کوچک برای افزایش پوشش گیاهی مراتع (پیتینگ) استفاده کرد. پیتینگ عبارت از ایجاد چاله‌های کوچک در خاک به منظور افزایش نفوذپذیری آب و ذخیره بارش در داخل چاله‌ها و خاک اطراف آن و جلوگیری از جریان سطحی آب‌های حاصل از بارندگی که به افزایش رطوبت قابل‌استفاده گیاهان و افزایش تولید علوفه می‌شود.

پیتینگ نقش مؤثری در اصلاح سطوح سله بسته و خاک‌های کوبیده شده مراتع دارد. این روش برای احیای اراضی تخریب‌شده بسیار مناسب است. برای اجرای پیتینگ منطقه موردنظر باید دارای باران‌های سیل‌آسا و رواناب کافی بوده و بارندگی سالانه هم بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر باشد. این عملیات در اراضی با شیب کم و ملایم تا تپه‌ماهورهای کم ارتفاع (ارضی دارای ناهمواری‌های زیاد و نامنظم) با شیب سه تا پنج درصد قابل انجام است. پیتینگ به‌طور معمول در خاک‌های رسی، رسی شنی، لومی و آهکی که نفوذپذیری خاک کم است اجرا می‌شود (باباخانلو و احمدی، ۱۳۸۷؛ آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷) (شکل ۳).

کنتورفارو، به ایجاد نهر یا فارو بر روی مراتع شیب‌دار و تخریب‌شده به منظور کنترل فرسایش و افزایش نفوذپذیری آب در خاک اطلاق می‌گردد. عملیات کنتورفارو در شیب‌های ملایم (۸-۱۲) موفق‌تر است، اما تا شیب حداکثر ۲۰ درصد نیز نتایج مطلوبی به بار می‌آورد. احداث کنتورفارو در مناطقی با خاک کم‌عمق (کمتر از ۳۰ سانتی‌متر) و غیر حاصلخیز و فاقد استعداد طبیعی بالا، در افزایش تولید علوفه و پوشش گیاهی نتیجه‌بخش نخواهد بود. در خاک‌های شنی و سنگ‌ریزه دار و نیز خاک‌های فشرده خیلی رسی و رسی آهکی خیلی سنگین نباید اقدام به ایجاد فارو نمود، مگر اینکه ایجاد شیار تنها به منظور کنترل هرز آب‌های شدید انجام گرفته باشد. همچنین، در اراضی شدیداً ناهموار و سنگلاخی که قرار دادن کامل شیارها بر روی خطوط تراز تا انتهای مسیر، تقریباً غیرممکن است و نیز در مناطقی که در خطر فرسایش توده‌ای خاک وجود دارد، نباید عملیات کنتورفارو اعمال گردد. به‌طورکلی، احداث کنتورفارو بهترین نتیجه را در خاک‌هایی با بافت متوسط تا نسبتاً سنگین و با سطح کوبیده شده و یا خاک‌هایی با یک‌لایه کم‌عمق رسی، خواهد داشت. (باباخانلو و احمدی، ۱۳۸۷؛ آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷؛ رفاهی، ۱۳۹۴) (شکل ۳).



شکل ۳- جمع‌آوری آب باران با استفاده از روش پیتینگ (نیمه پایین تصویر) و کنتور فارو (نیمه بالای تصویر) در مراتع

تراس‌بندی در حفاظت خاک به عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن درجه شیب با انجام خاک‌برداری تغییر کرده و زمین حالت پلکانی پیدا کرده و سکوه‌های خاکی عمود بر جهت شیب ایجاد شده و زمین شیب‌دار به حالت پله‌پله تبدیل می‌شود تراس‌های سکویی به‌منظور کاهش شیب دامنه و به‌منظور سد کردن مسیر رواناب و در نتیجه جلوگیری از فرسایش خاک احداث می‌شوند. در این روش، منطقه شیب‌دار به چند پله تقسیم شده که باعث ایجاد مناطق مسطحی می‌شود که می‌توان به کار کشاورزی اختصاص داد. در حقیقت با این عمل یک شیب فرسایش‌پذیر به اراضی مزروعی تبدیل می‌شود؛ اما باید توجه داشت که احداث تراس‌ها بسیار پرهزینه است و زمانی استفاده می‌شوند که یا زمین بهتری برای کشاورزی

در دسترس نباشد و یا آنکه بهره‌وری زمین موردنظر با انجام تراس‌بندی ارتقا یابد. برای اجرای تراس‌بندی؛ باید منطقه دارای شیب ۶ تا ۳۳ درصد باشد و دارای بارندگی سالانه بیش از ۴۰۰ میلی‌متر با شدت بارندگی بالا باشد و تراس‌بندی به‌عنوان تنها راه حل ممکن برای کنترل فرسایش در نظر گرفته شود. خاک محل باید عمیق باشد و بیرون‌زدگی سنگی در آن وجود نداشته باشد. خاک محل از نظر بافت و ساختمان مناسب بوده و معمولاً بافت لومی رسی مناسب‌تر است. محل موردنظر بالقوه مستعد لغزش نباشد و منطقه موردنظر شیب یکنواختی داشته باشد (منوری و صفاری، ۱۳۸۸؛ علمی و همکاران، ۱۳۹۲) (شکل ۴).



شکل ۴- جمع‌آوری آب باران با سیستم تراس‌بندی روی خطوط تراز و توسعه باغات دیم

خاک آن‌ها کمتر از ۴۵ سانتی‌متر باشد، قابل اجرا نیستند. همچنین بانکت‌ها نبایستی آبراهه‌های بزرگ را که عمق آن‌ها بیش از ۶۰ سانتی‌متر است، قطع نمایند. بانکت‌بندی نباید موجب ظاهر شدن سنگ‌بستر شود. همچنین در خاک‌های فشرده و رسی که قابلیت نفوذ اندکی دارند نباید به ایجاد بانکت اقدام کرد. فاصله بانکت‌ها از هم نیز بستگی به شیب دامنه، نفوذپذیری خاک، تاج پوشش گیاهی و شدت و تکرار بارندگی دارد. (باباخانو و احمدی، ۱۳۸۷؛ اسمعیلی و عبداللهی، ۱۳۹۰) (شکل ۵).



شکل ۵- اجرای عملیات بانکت بندی برای جمع‌آوری آب باران در عرصه‌های مرتعی

بانکت‌بندی یکی از روش‌های متداول آبخیزداری است که با حفر شیارها و کانال‌هایی به منظور کاهش شیب دامنه با اهدافی چون کنترل فرسایش، کنترل رواناب، افزایش رطوبت نسبی، ایجاد بستر رشد گیاه ایجاد می‌شود. این عملیات بیشتر در اراضی جنگلی و مرتعی و در شیب‌های ۷۰-۲۰ درصد (بسته به نوع بانکت) در امتداد خطوط تراز با فاصله ۵-۱۰ متر از یکدیگر ایجاد می‌شوند. برای ایجاد بانکت باید منطقه دارای بارندگی‌های شدید و رواناب کافی باشد بانکت‌ها بایستی بر روی خطوط تراز احداث گردند و در اراضی که عمق

از داده‌های شش ایستگاه (چهار ایستگاه در داخل حوزه و دو ایستگاه در خارج از حوزه) استفاده شد. با داشتن بارش متوسط در دوره آماری ۲۱ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۱) و معادله خطی بین ارتفاع زیرحوزه‌ها و متوسط مقدار بارندگی در هر زیرحوزه، نقشه بارندگی حوزه تهیه شد.

معیارهای اصلی جهت مکان‌یابی مناطق مستعد برای جمع-آوری آب باران بارندگی

مقدار بارندگی یکی از مهم‌ترین معیارها جهت مکان‌یابی مناطق مستعد برای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی است. برای تهیه نقشه بارندگی ۲۴ ساعته

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده برای تهیه نقشه بارندگی حوزه آبخیز نازلو چای

مشخصات جغرافیایی			ایستگاه
ارتفاع	عرض	طول	
۱۴۱۰	۳۷° ۶۶'	۴۴° ۹۰'	تپیک
۱۶۵۰	۳۷° ۷۱'	۴۴° ۶۳'	مرز سرو
۱۹۱۹	۳۷° ۸۱'	۴۴° ۷۱'	گچی
۱۴۹۵	۳۸° ۰۶'	۴۵° ۰۶'	قره‌باغ
۱۶۵۵	۳۸° ۰۸'	۴۴° ۶۰'	چهریق علیا
۱۲۹۰	۳۷° ۷۱'	۴۵° ۱۳'	آباجالو سفلی

بافت خاک

بهترین بافت خاک برای جمع‌آوری آب باران بافت خاکی است که بتواند حداکثر آب را در ناحیه ریشه (منطقه هدف) ذخیره سازد (اویس، ۲۰۰۴). خاک‌هایی که سرعت نفوذ آب در آن‌ها بالا است، مانند خاک‌های شنی و درشت‌دانه برای اجرای سیستم‌های جمع‌آوری آب باران مناسب نمی‌باشند. در این مطالعه از نقشه‌های بافت خاک تهیه‌شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی استفاده شد (گزارش مطالعات تفصیلی خاکشناسی و ارزیابی قابلیت اراضی حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. ۱۳۹۵).

عمق خاک

به‌منظور لحاظ کردن تأثیرگذاری سطوح مختلف عمق خاک در مکان‌یابی مناطق مستعد عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی، ابتدا عمق خاک منطقه مورد مطالعه در شش طبقه تقسیم شد و به هر طبقه وزن خاصی داده شد. محدوده خاک رخنمون کمتر از ۱۰ سانتی‌متر، کم‌عمق ۱۰-۲۵ سانتی‌متر، خاک کم‌عمق تا متوسط ۵۰-۲۵ سانتی‌متر، خاک با عمق متوسط ۸۰-۵۰ سانتی‌متر، متوسط تا عمیق ۱۲۰-۸۰ سانتی‌متر و عمیق بالاتر از ۱۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این مطالعه از نقشه عمق خاک تهیه‌شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی استفاده شد (گزارش مطالعات تفصیلی خاکشناسی و ارزیابی قابلیت اراضی حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. ۱۳۹۵).

کاربری اراضی

مناطق مستعد عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در حوزه، مناطقی با کاربری دیم، مرتع، اراضی توده سنگی و زراعت آبی در نظر گرفته شد. اراضی دیم بهترین کاربری برای اجرای این روش است زیرا این اراضی از نظر کشت محصولات در موقعیت بهتری (خاک مناسب، حاصلخیزی قابل قبول) نسبت به سایر اراضی (

اراضی کشت نشده) قرار داشتند، بنابراین بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد. مرتع در اولویت بعدی قرار دارد. با توجه به تکمیل فرم تعیین وضعیت مرتع و مشاهدات میدانی، وضعیت مراتع، متوسط تا فقیر بوده و درصد پوشش گیاهی پایینی دارد، در نتیجه ضریب رواناب در این اراضی متراکم، بالاتر است و با توجه به تولید کم در این مناطق اجرای روش‌های جمع‌آوری آب باران تأثیر بیش‌تری در افزایش تولید دارد، در نتیجه مراتع وزن بیش‌تری دریافت می‌کنند. به‌منظور تهیه نقشه کاربری، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به ۱۹ جولای سال ۲۰۱۷ (فصل رویش گیاهان) انتخاب و از سایت USGS دانلود شد. نقشه کاربری اراضی، پس از انجام تصحیح هندسی، به‌روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و ترکیب باندی ۷۴۲ با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.7 در چهار طبقه (زراعت آبی، زراعت دیم، مرتع و اراضی با پوشش کم یا برون‌زدگی سنگی) و با دقت ضریب کاپا ۸۵ درصد تهیه گردید.

شیب

شیب زمین در مکان‌یابی و اجرای عملیات ذخیره نزولات آسمانی مهم است. مناسب‌ترین شیب برای اجرای این روش‌ها شیب ۵-۱۰ درصد است (متی و همکاران، ۲۰۰۶). در شیب‌های کم‌تر از این مقدار، ضریب رواناب به‌شدت کاهش می‌یابد در نتیجه نمی‌توان آب موردنیاز گیاه را از سطح آبگیر جمع‌آوری نمود. در شیب‌های پایین‌تر از ۵ درصد روش جمع‌آوری آب باران که نیاز به سیستم انتقال ندارند، مانند سیستم نگهداری آب در محل توصیه می‌شود. در شیب‌های بالاتر نیز به‌علت توزیع نامناسب رواناب و هزینه‌دار بودن اجرای این روش‌ها همچنین به علت احتمال وارد شدن صدمه به سازه‌های سیستم جمع‌آوری آب باران اجرای این روش‌ها کم‌تر توصیه می‌شود. در شیب‌های بالاتر از ۶۰ درصد هم به‌دلیل نبود خاک سطحی مناسب و هزینه بالا، اجرای این

تشکیل ماتریس داده‌های هم مقیاس: در این مرحله ماتریس داده‌ها با کمک روش نرم اقلیدسی به یک ماتریس بی مقیاس تبدیل می‌شود.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2)$$

تشکیل ماتریس هم مقیاس موزون: در این مرحله وزن‌های به‌دست‌آمده در مراحل قبل در هرکدام از شاخص‌ها ضرب می‌گردد.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

تعیین راه‌حل ایده آل مثبت و راه‌حل ایده آل منفی

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J)\} \quad (4)$$

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (5)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J_b), (\max_i v_{ij} | j \in J_c)\} \quad (6)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (7)$$

تعیین فاصله به ازای راه‌حل ایده آل مثبت و راه‌حل ایده آل منفی: در این مرحله با استفاده از نرم اقلیدسی فاصله به ازای راه‌حل ایده آل مثبت و گزینه منفی و همین مقدار به ازای راه‌حل ایده آل منفی و گزینه مثبت به صورت زیر به دست می‌آید.

روش‌ها توصیه نمی‌شود. جهت تهیه نقشه شیب از نقشه DEM ۳۰ متری استفاده گردید.

تعیین وزن معیارها و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها نسبت به

عملیات اصلاحی با مدل Topsis

برای تعیین اهمیت هریک از معیارها از روش AHP استفاده شد. وزن دهی به کمک مقایسه زوجی و تکمیل پرسشنامه‌ها توسط ۳۰ کارشناس انجام شد. سپس بر اساس نظرات کارشناسان، وزن دهی معیارها به کمک نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. پس از وزن دهی، میزان ناسازگاری وزن‌ها موردبررسی قرار گرفت. باید توجه داشت که میزان ناسازگاری در روش AHP تا حد امکان باید از صفر تا یک‌دهم تغییرات داشته باشد. سپس در نهایت با استفاده از مدل TOPSIS اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها نسبت به انواع عملیات اصلاحی جمع‌آوری آب باران صورت گرفت. در این روش، ماتریس $n \times m$ که دارای m گزینه و n معیار است مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیش‌ترین فاصله را با ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. به‌طورکلی اجرای این روش شامل شش مرحله است (هوانگ و یون، ۱۹۸۱).

تشکیل ماتریس داده‌ها: در این مرحله با توجه به تعداد گزینه‌ها و شاخص‌ها ماتریس داده‌ها بر اساس m گزینه و n معیار تشکیل می‌شود.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

نتایج

جدول (۲) وزن معیارهای اصلی حاصل از نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول، برای عملیات اصلاحی پیتینگ، تراس، کنتورفارو و بانکت‌بندی به ترتیب معیارهای شیب، بارندگی، شیب، بیش‌ترین امتیاز را به خود اختصاص دادند و با توجه به نظرات کارشناسان، متخصصان منابع طبیعی و خبرگان محلی برای اجرای عملیات اصلاحی تأثیر معیار شیب بیش‌تر مدنظر بوده است.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل: نزدیکی نسبی هر کدام از گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (9)$$

رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل صورت می‌گیرد.

جدول ۲- وزن نسبی معیارهای اصلی جهت مکان‌یابی عملیات ذخیره نزولات آسمانی برحسب درصد

معیارهای اصلی	عملیات اصلاحی				
	بارندگی	کاربری اراضی	بافت خاک	عمق خاک	شیب
پیتینگ	۱۹/۷	۱۸/۳	۱۴/۸	۸/۲	۳۹
تراس	۳۰/۶	۱۷/۷	۱۵/۱	۱۰/۲	۲۶/۳
کنتورفارو	۲۷/۲	۱۵/۳	۷/۵	۱۴/۴	۳۱/۶
بانکت‌بندی	۲۲/۷	۱۹/۶	۱۵/۴	۱۴/۲	۲۸/۲

جدول (۲)، برای عملیات اصلاحی پیتینگ، تراس، کنتورفارو و بانکت‌بندی به ترتیب زیر حوزه‌های شماره یک، دو، چهار و سه از اولویت بالاتری برخوردار هستند.

در جدول ۳ نتایج اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها برای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی با استفاده از مدل تلفیقی AHP- TOPSIS آمده است. با توجه به نتایج

جدول ۳- اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها برای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی

عملیات اصلاحی	زیرحوزه‌های مورد بررسی						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
بانکت‌بندی	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۸۹	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۱
رتبه	۴	۳	۱	۲	۵	۶	۷
تراس‌بندی	۰/۲۵	۰/۹۴	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۱
رتبه	۳	۱	۴	۲	۵	۶	۷
پیتینگ	۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۱
رتبه	۱	۳	۴	۲	۵	۶	۷
کنتورفارو	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۷۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۱۰
رتبه	۳	۲	۴	۱	۵	۷	۶

بحث و نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی آن تخریب یافته است. در این مناطق با وجود بارش‌های شدید به علت عدم وجود پوشش گیاهی، سیلاب‌های شدیدی ایجاد می‌شود. از جمله مؤثرترین راه-

در حال حاضر اغلب نواحی کشور به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، در اثر چرای بی‌رویه

های حفظ آب و خاک در سرشاخه‌ها ترکیبی از عملیات مکانیکی بیولوژیکی است. در چنین شرایطی با انجام برخی عملیات مکانیکی سرعت جریان آب در دامنه کاهش و مقدار نفوذ و رطوبت افزایش می‌یابد، در نتیجه پوشش گیاهی امکان استقرار یافته و با وجود پوشش گیاهی، رواناب کاهش می‌یابد. از جمله روش‌های جمع‌آوری آب، پیتینگ، کنتور فارو، بانکت، ترانس است (دلاوری و همکاران، ۱۳۹۶؛ آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۶). رواناب سطحی که نتیجه پاسخ‌های بارش در یک حوزه است، منبع آب بالقوه‌ای است که اگر به‌طور صحیح مدیریت شود، می‌تواند برای تأمین تقاضا آب استفاده گردد. جمع‌آوری آب باران گزینه‌ای مناسب برای انحصار و ذخیره رواناب سطحی جهت کاربردهای بعدی به‌ویژه در طول دوره‌هایی است که محدودیت دسترسی به آب وجود دارد. از دهه‌های گذشته انواع روش‌های ذخیره نزولات آسمانی همچون پیتینگ، کنتور فارو و بانکت‌بندی در بعضی از مناطق ایران توسط دستگاه‌های اجرایی بکار گرفته شده‌اند، لیکن اغلب آن‌ها با موفقیت مطلوبی همراه نبودند که مهم‌ترین علت آن، عدم آگاهی از تناسب منطقه برای اجرای چنین روش‌هایی بوده است.

امروزه با ظهور فنون و مدل‌های پیشرفته نرم-افزاری از جمله GIS و سایر نرم‌افزارهای مرتبط، می‌توان با شناخت و معرفی مناطق مناسب برای اجرای این‌گونه عملیات میزان موفقیت را افزایش داده و از خسارات ناشی از عدم تناسب مناطق با روش‌های مختلف عملیات ذخیره آب جلوگیری کرد. در این خصوص تحویلی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش دادند نفوذپذیری خاک، بافت خاک، هدایت الکتریکی، عمق خاک، کیفیت آب، درصد پوشش، متوسط بارش سالانه و افت سطح آب زیرزمینی به ترتیب مؤثرترین شاخص‌ها برای استحصال آب باران هستند که در پروژه‌های استحصال آب باران باید در اولویت قرار گیرد. با توجه به نتایج حاصل از وزن دهی معیارهای اصلی در این پژوهش می‌توان گفت در عملیات اصلاحی پیتینگ، ترانس، کنتور فارو و بانکت‌بندی مهم‌ترین معیارها

به ترتیب شیب و بارندگی هستند. در خصوص عملیات اصلاحی پیتینگ؛ معمولاً در اراضی با شیب کم نتایج مطلوبی دارد و شیب‌های بالاتر به دلیل هزینه بیش‌تر مقرون به صرفه نیستند؛ بنابراین معیار شیب عامل محدودکننده در اجرای این طرح‌ها است و کارشناسان هم بیش‌ترین وزن را به معیار شیب دادند که با نتایج محققین از جمله مبینی و همکاران (۲۰۰۷)؛ نظریان و همکاران (۱۳۹۴) و دبیری و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. نتایج حاصل از مدل تلفیقی AHP- TOPSIS نشان داد که از بین عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی پیشنهاد شده برای منطقه نازلو جای عملیات پیتینگ نسبت به سایر عملیات اصلاحی مذکور اولویت بیش‌تری به منظور افزایش ذخیره آب در خاک و احیاء پوشش گیاهی منطقه دارد. با توجه به اینکه اجرای روش‌های پرهزینه جهت جمع‌آوری آب باران به دلیل عدم توجیه اقتصادی در اولویت قرار ندارند، بنابراین، روش‌های کم‌هزینه‌ای مانند پیتینگ در صورتی که به‌طور علمی، صحیح، در مناطق مناسب و نیز اگر توأم با عملیات بیولوژیک انجام گردد، می‌تواند کمک زیادی در ذخیره نزولات جوی در خاک و کنترل رواناب‌ها و فرسایش خاک نماید. با توجه به شرایط ایجاد پیتینگ که در شیب‌های کم تا ۵ درصد و کاربری دیم و مرتع و بارندگی ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌متر و بافت خاک با نفوذپذیری نسبتاً کم تا متوسط (لومی و سیلت لوم) و عمق خاک ۸۰-۵۰ سانتی‌متر اجرا می‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت چون زیرحوزه یک نسبت به سایر زیرحوزه‌ها دارای شرایط مناسب‌تری است لذا بالاترین اولویت برای اجرای پیتینگ در این زیرحوزه به دست آمد. در این خصوص، آذرنیوند و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند روش‌های جمع‌آوری آب باران از جمله پیتینگ معمولاً اگر در اراضی با شیب کم و ملایم و تپه‌ماهورهای کم ارتفاع انجام شود نتایج مطلوبی خواهد داشت؛ بنابراین با توجه به اینکه عامل شیب عامل محدودکننده در اجرای پیتینگ است و بیش‌ترین درصد از مساحت زیرحوزه ۱، طبقات شیب‌های ۵-۰ و ۵-۸ درصد

است، لذا عملیات پیتینگ برای این حوزه در اولویت اول قرار گرفته است. در عملیات پیتینگ اهمیت لایه بارندگی کم‌تر از سایر معیارها تشخیص داده شد همچنان که اجرای این عملیات در مناطقی که دارای بارندگی نسبتاً کم و پوشش گیاهی ضعیف باشد توصیه می‌شود. در این خصوص یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) و نظریان و همکاران (۱۳۹۴) گزارش دادند که عامل بارندگی کم‌ترین تأثیر را در انتخاب محل مناسب جمع‌آوری آب باران دارد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. برای اجرای عملیات اصلاحی پیتینگ بافت خاک یکی از معیارهای مهم است زیرا روش‌های جمع‌آوری آب باران، در خاک‌های با نفوذپذیری نسبتاً کم تا متوسط انجام می‌گیرد، با توجه به بافت (لومی سیلتی و لومی) منطقه که جزو بافت متوسط تا نسبتاً سنگین می‌باشند، لذا محدودیتی در این خصوص مشاهده نمی‌شود که با نتایج دبیری و همکاران (۱۳۹۴) نیز مطابقت دارد.

بنا به گزارش‌های مختلف، از مجموع ۳۹۷/۹ میلیارد مترمکعب بارندگی سالانه در کشور، ۶۶ درصد آن پیش از رسیدن به رودخانه‌ها تبخیر می‌شود (محمد جانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). با توجه خشک‌سالی‌های گسترده در سالیان اخیر به نظر می‌رسد تهیه نقشه عرصه‌های مناسب جمع‌آوری رواناب حاصل از نزولات آسمانی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک لازم و ضروری است. در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار تاپسیس و فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس معیارهای مختلف، مناسب‌ترین مکان برای اجرای عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در حوزه نازلو چای ارومیه تعیین شود برای ارزیابی نتایج به دست آمده در این تحقیق مطالعات تفصیلی- اجرایی تعدادی از زیرحوزه‌های آبخیز نازلوچای که توسط شرکت مهندسی مشاور مطالعه و به اداره کل ارائه شده است مورد بررسی قرار گرفت. مکان‌های پیشنهادی برای اجرای عملیات اصلاحی (تراس، بانکت، فاروئینگ،

پیتینگ) در آن گزارش‌ها با محل‌های پیشنهادی تحقیق حاضر تطابق بالایی داشت. از جمله می‌توان به مطالعات تفصیلی اجرایی زیرحوزه‌های مینگل، میرداود، عمرآباد، ملونه، اشک‌سو در این حوزه اشاره داشت. مکان‌یابی مناطق پیشنهادی در این گزارش‌ها برای اجرای هر یک از عملیات اصلاحی با مکان‌های ارائه شده در تحقیق حاضر به‌عنوان مکان‌های مناسب دارای تشابه مکانی بالایی بوده است. لازم به توضیح است که پژوهش حاضر برای کل حوزه نازلوچای بوده است و مطالعات انجام شده توسط اداره کل تنها برای تعدادی از زیرحوزه‌ها است و برای کل حوزه مطالعه جامع انجام نشده است. از محل‌های پیشنهادی مطالعات تفصیلی- اجرایی نیز تعدادی از آن‌ها به فاز اجرایی رسیده‌اند (به‌ویژه عملیات پی‌تینگ و کتورفارو در زیرحوزه‌های میرداود، عمرآباد) و بقیه به دلایل مختلف (از جمله عدم تخصیص بودجه اجرایی) هنوز طراحی و اجرا نشده‌اند. لذا با بازدید از مناطقی که عملیات اصلاحی در آن‌ها انجام شده بود و بررسی تطابق آن مناطق با اولویت‌بندی به‌دست آمده از تحقیق حاضر، اعتبار نقشه‌ها مورد تأیید قرار گرفت و می‌توان گفت معیارها و تکنیک‌های مورد استفاده در این تحقیق به‌خوبی توانسته است عملیات اصلاحی ذخیره نزولات آسمانی در منطقه مطالعاتی را تبیین و اولویت‌بندی نماید.

پیشنهادهای ترویجی

ذخیره نزولات آسمانی در حوزه‌های آبخیز، علاوه بر قطع یا کاهش حجم رواناب سطحی و کاهش فرسایش خاک، باعث افزایش قابلیت نفوذ و قابلیت نگهداری آب در خاک شده و ضمناً تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی را نیز موجب می‌گردد و از خشک شدن چشمه‌ها و قنات‌ها جلوگیری می‌کند؛ بنابراین با توجه به کم‌هزینه بودن، اهداف چندمنظوره و اجرای آسان روش‌های ذخیره نزولات آسمانی در مقایسه با روش‌های استحصال آب پیشنهاد می‌شود اجرای این روش‌ها در حوزه‌های آبخیز کشور با توجه به پتانسیل‌های موجود با

اولویت بیش‌تری موردبررسی قرار گیرد. همچنین معیارها و تکنیک‌های به کار گرفته‌شده در این تحقیق می‌تواند در خصوص مکان‌یابی عملیات اصلاحی مناسب برای ذخیره بخش اجرایی کشور راهگشا باشد.

فهرست منابع

۱. آذرنیوند، ح.، ر. نامجویان. ح. ارزانی. م. جعفری. م.ع. زارع چاهوکی. ۱۳۸۶. مکان‌یابی برنامه‌های اصلاح و احیاء مراتع با استفاده از GIS و مقایسه آن با پروژه‌های پیشنهادی در طرح‌های مرتعداری مراتع منطقه لار. نشریه مرتع، دوره ۱، شماره ۲، صفحات ۱۶۹-۱۵۹.
۲. آذرنیوند، ح.، زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۷. اصلاح مراتع. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۹۹ صفحه.
۳. اسمعیلی، ا.، خ. عبداللهی. ۱۳۹۰. آبخیزداری و حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ دوم، ۵۷۴ صفحه.
۴. باباخانلو، ب.، ع. احمدی. ۱۳۸۷. دستورالعمل اصلاح مراتع با استفاده از روش های ذخیره نزولات آسمانی، نشریه شماره ۴۱۹، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و سازمان جنگلها و مراتع کشور: ۷۰ صفحه.
۵. تحویلی، ز.، آ. ملکیان. ح. خسروی. ش. خلیقی سیگارودی. ۱۳۹۶. مطالعه مکانیابی پتانسیل استحصال آب باران در مناطق خشک با استفاده از روش TOPSIS، مطالعه موردی دشت انارک، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۷، شماره ۲۷، صفحات ۷۴-۶۰.
۶. جعفری، م.، ح. آذرنیوند. م. سوری. خ. مهدوی. ۱۳۹۴. مکان‌یابی اجرای پروژه‌های پیتینگ و فاروئینگ به کمک سیستم تصمیم‌یار مکانی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). تحقیقات مرتع و بیابان ایران. دوره ۲۱، شماره ۲۱(۱)، صفحات ۱۰۸-۹۵.
۷. دبیری، د.، ع. عباسپور. ع. فتاحی. ب. آزاد. ۱۳۹۴. مکانیابی مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران بر پایه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان کرمان، مجله بین المللی مهندسی و تحقیقات فناوری پیشرفته، اردیبهشت ماه، جلد، شماره ۳(۴)، صفحات ۱۰ تا ۱۴.
۸. دلاوری، ع.و.، ح. بشری، م. ترکش اصفهانی، م.ر. مصدقی. ۱۳۹۶. تاثیر عملیات اصلاحی هلالی‌های آبگیر بر شاخص‌های پوشش گیاهی و مدل‌های توزیع فراوانی گونه‌ای (مطالعه موردی: مراتع نارون- سیستان و بلوچستان)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال ۱۱، شماره ۳، صفحات ۳۴۱-۳۳۱.
۹. دهداری، س.، ن. آرمنند. م. فرجی. ن. آرمان. ج. موسویان. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر عملیات اصلاح مراتع بر برخی فاکتورهای خاک و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: مراتع منطقه چاه ماری بهبهان)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال ۱۲، شماره ۳، صفحات ۳۱۵-۳۰۵.
۱۰. رفاهی، ح. ۱۳۹۴. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۴ صفحه.
۱۱. سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹. سالنامه مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، ۳۶ صفحه.
۱۲. علمی، س.، ع.ا. شمسی پور. م. رضوانی. ۱۳۹۲. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت اجرای عملیات پیتینگ با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (منطقه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۱ صفحه.

۱۳. قضاوی، ر.، ی. یزدانی. ع. ولی. س.ج. ساداتی‌نژاد. ۱۳۹۴. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب ذخیره بارش آسمانی با استفاده از GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۶، پیاپی ۵۸، شماره ۲، صفحات ۸۵-۹۶.
۱۴. گزارش مطالعات تفصیلی خاکشناسی و ارزیابی قابلیت اراضی حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. ۱۳۹۵. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی. ۱۳۰ صفحه.
۱۵. محمدجانی، ا.، ن. یزدانیان. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، سال بیست و یکم، شماره‌های ۶۵ و ۶۶، صفحات ۱۱۷-۱۴۴.
۱۶. معتمدی، ج.، ا. شیدای کرکج. ۱۳۹۷. ضرورت توجه به معیارها و شاخص‌های موثر در مکان‌یابی عملیات مدیریتی و بیولوژیکی اصلاح مراتع (مطالعه موردی: مراتع کوهستانی هندوان، خوی، آذربایجان غربی). نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال ۱۲، شماره ۳، صفحات ۳۶۹-۳۵۴.
۱۷. منوری، ب.، ا. صفاری. ۱۳۸۸. مبانی طراحی و راهنمای اجرای سازه‌های کنترل فرسایش جلد سوم: دستورالعمل و ضوابط فنی طراحی و اجرای تراس بندی، نشریه ۳-۴۵۰، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و سازمان جنگلها و مراتع کشور: ۵۸ صفحه.
۱۸. نظریان، س.، ع. نجفی نژاد. ن. نورا. ۱۳۹۴. ارزیابی مکانی پتانسیل جمع‌آوری آب‌های سطحی در سیستم آبخیز آق امام استان گلستان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۱، صفحات ۱-۱۱.
۱۹. یوسفی، م.، س. نورمحمدی. ه. معماریان. ۱۳۹۴. مکان‌یابی پروژه‌های جمع‌آوری آب در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره سلسله مراتبی در محیط GIS. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، جلد ۸، شماره ۳، صفحات ۷۲-۵۷.
20. Al-Abadi, A.M., HB. Ghalib, A.M. Handhal, and SH. Shahid. 2017. A GIS-based integrated fuzzy logic and analytic hierarchy process model for assessing water-harvesting zones in northeastern maysan governorate, Iraq, Arabian Journal for Science and Engineering, DOI: 10.1007/s13369-017-2487-1.
21. Aladenola, O.O., and BO. Adeboye. 2010. Assessing the potential for rainwater harvesting. Water Resources Management, 24(10): 2129-2137.
22. Albalawneh, A., TK. Chang., CW. Huang, and S. Mazahreh. 2015. Using landscape metrics analysis and analytic hierarchy process to assess water harvesting potential sites in Jordan. Environments. 2(3): 415-434.
23. De Winnaar, G., G.P. Jewitt, and M. Horan. 2007. A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin. South Africa. Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C, 32 (15-18):1058-1067.
24. Durga Rao, K.H., M.K. Bhaumik. 2003. Spatial expert support system in selecting suitable sites for water harvesting structures- a case study of song watershed. Uttaranchal India. Geocarto International. 18(4): 43-50.
25. Hwang, C.L., Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York: Springer-Verlag.
26. Mati, BT., MD. Bock. E. Malesu. A. Khaka. M. Oduor. and V. Oduor. 2006. Mapping the potential of rainwater harvesting technologies in Africa. A GIS overview on development domains for the continent and ten selected countries. Technical Manual, 6: 126-138.
27. Mbilinyi, B.P., S.D. Tumbo. H. Mahoo. and F.O. Mkiramwinyi. 2007. GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 32(15): 1074-1081.
28. Mbilinyi, B.P., S.D. Tumbo. H.F. Mahoo. E.M. Senkondo. and N. Hatibu. 2005. Indigenous knowledge as decision support tool in rainwater harvesting. Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C, 30 (11): 792-798.

29. Oweis, T., A. Hachum. 2006. Water harvesting and supplemental for irrigation. *Journal of Hydrology*, 401: 65–76 p.
30. Oweis, T.Y. 2004. Rainwater harvesting for alleviating water scarcity in the drier environments of west Asia and North Africa. In *International Workshop on Water Harvesting and Sustainable Agriculture*, Moscow Russia, 88-95 p.
31. Prasad, H., C.P. Bhalla. and S. Palria. 2014. Site Suitability analysis of water harvesting structures using remote sensing and GIS—a case study of pisang watershed Ajmer district rajasthan ISPRS-International archives of the photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 24(1): 1471-1482.
32. Rajasekhar, M., G. Sudarsana Raju. Y. Sreenivasulu. and R. Siddi Raju. 2019. Delineation of groundwater potential zones in semi-arid region of Jilledubanderu river basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India using fuzzy logic, AHP and integrated fuzzy-AHP approaches. *Journal of journals hydroresearch*, 11(2):97-108.
33. Rakad Alshabeed, A.R. 2016. The Use of ahp within GIS in selecting potential sites for water harvesting sites in the Azraq basin-jordan. *Journal of Geographic Information System*, 8(1): 73-88 p.
34. Ramakrishnan, D., A. Bandyopadhyay. and K.N., Kusuma. 2009. SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the kali watershed mahi river basin. *India Journal of Earth System Sciences*, 118 (4):355–368.
35. SHadeed, S., T. Judeh. and M. Riksen. 2020. Rainwater Harvesting for Sustainable Agriculture in High Water-Poor Areas in the West Bank, Palestine. *Journal of Water*, 11(4):1-16.

بررسی و تحلیل مذاکرات اولین دوره مجلس شورای ملی در لغو تیولداری

عباس نوروزی^۱

استادیار آموزشی مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. anoroz66@yahoo.com

دریافت: اسفند ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

بخش قابل توجهی از اراضی خالصه (اراضی از آن دولت) در آستانه انقلاب مشروطه و تشکیل نهاد قانون گذاری مجلس در کشور به صورت تیول مورد بهره برداری قرار می گرفت. یکی از مهم ترین مصوبات دوره اول مجلس شورای ملی لغو تیولداری بود. هدف این مقاله بررسی مشروح مذاکرات صورت گرفته در دوره اول مجلس شورای ملی، در خصوص لغو تیولداری است. این مطالعه به روش کتابخانه ای و اسنادی و مبتنی بر مشروح مذاکرات مجلس ملی صورت گرفته است. نتایج بررسی نشان می دهد که مهم ترین انگیزه تصویب این مصوبه از سوی مجلس، بهبود وضع مالی دولت از طریق کاهش مواجب تیولداران و همچنین افزایش درآمد دولت از محل تیولات برگشتی است. علاوه بر این، نتایج نشان داد که مجلس در تصویب این قانون اتفاق نظر داشت. به عبارت دیگر، علی رغم این که ملاکین یکی از شش طبقه نمایندگان دوره اول مجلس شورای ملی را تشکیل می دادند، اما، هیچ مخالفت آشکاری در بازگرداندن تیولات از سوی نمایندگان ابراز نشد و فقط در پنج جلسه سخنانی از نمایندگان در این موضوع ابراز شد. همچنین، حداقل پانزده درصد از نمایندگان در موضوع لغو تیولداری مشارکت داشتند. علاوه بر این، مهم ترین امتیاز لغو تیولداری که از سوی نمایندگان مورد تأکید قرار گرفت را باید افزایش درآمد دولت دانست.

واژه های کلیدی: لغو تیولداری، مجلس شورای ملی، دوره اول

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

بیش از یکصد سال از انقلاب مشروطه و تشکیل نهاد مجلس در ایران می‌گذرد. در طول این سال‌ها و از نخستین دوره مجلس شورای ملی در سال ۱۲۸۵ هجری خورشیدی، مجلس با مصوبات خود منشأ آثار گوناگون در کشور بوده است. از جمله مهم‌ترین تصمیمات متخذه در اولین دوره قانون‌گذاری در ایران باید از لغو تیولداری نام برده شود. اتفاقی که به‌عنوان یک رویداد مهم در نظام زمین‌داری کشور قلمداد می‌شود. درجه اهمیت این موضوع تا به آنجا است که در غالب منابع درسی معطوف به تحولات زمین‌داری در ایران، به لغو تیولداری به‌عنوان یک واقعه مهم و قابل ذکر اشاره و از آن نام برده شده است. در این مقاله که به شیوه کتابخانه‌ای و مبتنی بر مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی در اولین دوره قانون‌گذاری تهیه شده است، سعی گردیده که به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

- ۱- چه سهمی از نمایندگان مجلس به اظهارنظر (مشارکت) در موضوع موردنظر پرداختند؟
- ۲- خاستگاه ایده لغو تیولداری دولت بوده است و یا مجلس؟
- ۳- نمایندگان مجلس بر چه نکاتی به‌عنوان نقاط قوت و همچنین ضعف لغو تیولداری تأکید داشتند؟

اولین دوره قانون‌گذاری در ایران

به گفته عاقلی (۱۳۸۵) انتخابات نخستین دوره مجلس شورای ملی به‌صورت طبقاتی انجام گرفت و برای این منظور مردم به شش طبقه تقسیم‌شده و برای هر طبقه تعدادی نماینده تعیین کرده بودند. این طبقات عبارت بودند از: ۱- شاهزادگان، ۲- اعیان و اشراف، ۳- علماء و طلاب علوم دینی، ۴- تجار، ۵- اصناف و ۶- ملاکین و فلاحین. صدر روحانی (۱۳۸۶)، عده نمایندگان دوره اول مجلس شورای ملی را ۱۲۰ نفر ذکر می‌کند که نیمی از آن‌ها از تهران بودند تا با توجه به بعد مسافت، مجلس که مورد خواست عمومی بود، زودتر منعقدشده و نمایندگان زمام امور کشور را در دست بگیرند.

قابل ذکر است که دوره اول مجلس شورای ملی در تاریخ ۵ شوال ۱۳۲۴ ه. ق. (۳۰ آبان ۱۲۸۵ ه. خ؛ و ۲۲ نوامبر ۱۹۰۶) میلادی، گشایش یافت. اولین دوره قانون‌گذاری در ایران در بیست و سوم جمادی‌الاولی ۱۳۲۶ ه. ق. (دوم تیر ۱۲۸۷ ه. خ؛ و ۲۳ ژوئن ۱۹۰۸) به پایان می‌رسد. گفتنی است که مشروح مذاکرات ۲۸۶ جلسه از این دوره که آخرین آن بیستم جمادی‌الاولی ۱۳۲۶ بوده است در سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی موجود است و از مذاکرات بین بیستم تا بیست و سوم جمادی‌الاولی اثری یافت نشد (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی www.ical.ir).

تعریف و اهمیت تیول

از تیول تعاریف مختلفی توسط صاحب‌نظران ارائه شده است. نایب‌پور (۱۳۸۹) به نقل از پطروشفسکی، ضمن تأکید بر این نکته که تیول یکی از نهادهای اجتماعی است که متناسب با اهمیت آن مورد بررسی قرار نگرفته است، تیول را قطعه زمینی می‌داند که تیولدار بخشی از عایدات یا مالیات آن را به‌عنوان موجب به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، لمتون (۱۳۶۲) در تعریف تیول می‌گوید: "تیول از اصطلاحات دوره ایلخانان قاجار است و مقصود از آن واگذاری درآمد و هزینه ناحیه معینی است از طرف پادشاه به اشخاص در اثر ابراز لیاقت یا به ازای موجب و حقوق سالیانه". بنا بر تعریفی دیگر، تیول عبارت است از آنچه که از دهات و مزارعات به کسی از اهل خدمت یا اهل دعا واگذارند، به طوری که مطالبه مالی دیوان از او نشود (فروغ اصفهانی، ۱۳۷۸). شاهدی (۱۳۷۶) ضمن اشاره به این‌که در غالب موارد تیول و سیورغال مترادف هم به کار می‌روند، تیول را این‌گونه تعریف می‌کند: "واگذاری املاک فوق [خالصه] از سوی حکومت مرکزی به افراد لشکری و دیوانی و خاندان شاهی و ... به‌جای موجب بود و اغلب تا پایان عمر در اختیار آنان قرار می‌گرفت". وی وجه تمایز ظریف سیورغال با تیول را در این نکته می‌داند که در سیورغال املاک خالصه به‌صورت هبه و بخشش از

سوی حکومت و شاه به افراد واگذار می‌شد و حتی گاهی صورت تملک نیز به خود می‌گرفت.

تیولداری را باید دارای پیشینه‌ای طولانی در ایران دانست. در این زمینه دندامایف (۱۳۸۵) مدعی است که در دوره هخامنشیان روشی برای بهره‌برداری از زمین متداول شد که به موجب آن پادشاه سربازانش را بر روی زمین مستقر می‌کرد و به دنبال آن زمین‌های تیولی مختلفی پدید آمد که از انواع آن‌ها از زمین کمان‌داران، زمین سواره‌نظام و زمین گردونه‌رانان نام می‌برد. شریف (۱۳۵۲) با تأکید بر این که رسم تیول و اقطاع، سنتی باستانی در ایران است، قائل به ۴ قسم تیول به شرح زیر است: ۱- اختصاص عوایدی که به مناصب معین تعلق می‌گیرد. ۲- اعطای زمین خالصه به جای حقوق و مواجب ۳- تعهد تیولدار به‌ویژه در مناطق عشایری به تهیه قوای نظامی و ۴- اعطای حق وصول مالیات ناحیه‌ای که یا زمین آن خالصه بود یا ملک شخص ثالث یا ملک کسی که تیول به او داده شده بود.

شاهدی (۱۳۷۶) نیز در تحلیلی دقیق‌تر و مصداقی

از پنج نوع تیول نام می‌برد:

۱- واگذاری اراضی خالصه به کارکنان درون قصر برای تأمین هزینه‌های دربار. به‌عنوان نمونه وی به نقل از دالمانیه واگذاری دهکده بزرگ "سیاهدن" در ۳۶ کیلومتری قزوین از سوی ناصرالدین‌شاه به آبدارچی باشی خود ملقب به امین حضرت اشاره می‌کند که در عوض پرداخت مخارج آبدارخانه و هزینه‌های قند و چای و شربت‌های مختلف که مصارف زیادی هم داشت، این واگذاری صورت گرفته بود.

۲- تیول لشکری. این نوع تیول به افراد لشکری واگذار شده و در آن بین تعداد سوارانی که تیولدار می‌توانست آماده سازد و اندازه زمین واگذار شده رابطه مستقیمی وجود داشت. هر چند به‌ندرت این امر رعایت می‌شد. ۳- تیول حکام ولایات. مواجب حکام ولایات (امور نظامی و دیوانی و غیره) در حوزه حکمرانی آن‌ها عموماً از طریق واگذاری تیول املاک خالصه تأمین می‌شد. ۴- واگذاری تیول برای رهایی از آزار و غارت‌گری ایلات. در این نوع تیول انتظار خدمتی از سوی تیولدار به حکومت مرکزی نمی‌رفت و

پرداختن به فلاح و ترک غارت‌گری و صحرانشینی مورد انتظار بود. ۵- واگذاری تیول در موارد خاص. مثل تأمین غله و علیق بیوتات سلطنتی در تهران از محل تیولات سمنان و ناحیه خوار و اردوان.

به نظر می‌رسد که تیولداری در ایران تا قبل از انقلاب مشروطه دارای گسترش و اهمیت بوده است. در این زمینه پطروشفسکی به صدور فرمانی از شاه‌عباس به سال ۱۰۵۶ هجری قمری اشاره می‌کند که به‌موجب آن مبلغ ۶۴ تومان و پنج هزار دینار از درآمدهای مالیاتی محله‌ای در آذربایجان به تیول فردی به نام عباسقلی سلطان واگذار گردیده است (نایب پور، ۱۳۸۹). گستره اراضی تیول در آستانه انقلاب مشروطه را می‌توان از نوشته‌های لمتون دریافت. وی (۱۳۶۲) در این مورد ضمن اشاره به مشکل بودن تخمین زمین‌هایی که به‌عنوان تیول به افراد داده می‌شد و متأثر بودن این مهم از عوامل متعدد، می‌گوید: "چنانکه در سیاهه‌ای مربوط بزنجان و محال زنجان که تاریخ آن ۹- ۱۸۷۸ میلادی و ۱۲۹۶ هجری قمری است اسامی ۸۰۰ تا ۹۰۰ ده دیده می‌شود". به‌عنوان یک نمونه شاخص و جالب از دهات تیولی در دوره قاجار می‌توان به ده قلهک در شمیران اشاره کرد. شیل، همسر وزیرمختار انگلیس ضمن این‌که اجاره آن را به‌عنوان باغ ییلاقی سفارت انگلیس به دولت انگلستان مورد اشاره قرار می‌دهد، بر تیولی بودن ده قلهک تأکید دارد (شیل، ۱۳۶۸).

باورها نسبت به مزایا و مضرات تیولداری و ادامه آن در مقطع مورد مطالعه متفاوت است. از نویسندگانی که لغو تیولداری در ایران را متضمن ضرر زارعان شاغل در این اراضی می‌دانند، عبدالله مستوفی (۱۳۲۵) است. وی بر این باور است که مقارن دوره اول مجلس شورای ملی، کسب عواید کلان تیولداران از تیول‌هایشان پایان‌یافته بود و در واقع لغو تیولداری نفعی برای دولت در پی نداشت. ضمن آن به اعتقاد وی دارنده تیول، روستائیان را که در معرض همه نوع ستم و اخاذی مقام‌های حکومت قرار داشتند، حفظ می‌کرد. در مقابل تعداد بیش‌تری از محققان بر ضرر و زیان تیولداری تأکید دارند. فلاح توتکار (۱۳۸۵)

معتقد است که همزمان با انقلاب مشروطه تیولداران به دلیل فقدان تضمین مالکیت و حاکمیت خود بر اراضی تحت تصرف به دنبال این بودند که در کوتاه‌ترین زمان، بیش‌ترین بهره را کسب نمایند و همین امر مهاجرت گسترده دهقانان به شهرها و حتی خارج از کشور را به همراه داشت. لیدی شیل، همسر وزیرمختار انگلیس در ایران در آغاز سلطنت ناصرالدین‌شاه در ایران در سال ۱۸۵۰ میلادی در خاطرات خود، تیول را یکی از مسائل خانمان‌برانداز در ایران می‌داند که رواج دارد. به‌زعم وی با آنکه عواقب شومی از تیول به وجود می‌آید، به دلیل آن‌که عده معدودی از آن استفاده می‌کنند و منافع کلانی را به چنگ می‌آورند، لذا سلطان مستبد به هیچ‌وجه راضی به الغای آن نمی‌شود. او معتقد بود که صاحب تیول اجازه دارد که علاوه بر محصول زراعتی، حق ویژه‌ای برای خود نسبت به هستی و زندگی زارعین از مرغ و تخم‌مرغ و گوسفند گرفته تا هیزم و علوفه و میوه آن‌ها دارد و اگر شخص تیولدار فرد بی‌انصافی باشد می‌تواند از آزادی بی‌حدی که مقررات تیول به او ارزانی داشته سوءاستفاده‌ها کند و مالک همه چیز رعایای خود بشود (شیل، ۱۳۶۸). فریزر نیز در وصف کاستی‌های تیول می‌گوید: "تیولداران در عمل هیچ‌گونه مالیاتی به دولت نمی‌پرداختند و می‌کوشیدند املاک تیولی را در برابر عمال دولت خصوصی یا اربابی جلوه دهند و برعکس در مقابل در برابر رعایا خود را وابسته به دولت قلمداد کنند و همان مالیاتی را که در سابق بنام [به نام] دولت می‌گرفتند، برای خود وصول کنند." (شریف، ۱۳۵۲)

نتایج و بحث

لغو تیولداری در دوره اول مجلس شورای ملی

نکته قابل‌توجهی که در زمینه لغو تیولداری باید مورد توجه قرار گیرد این‌که لغو تیولداری در مجموعه قوانین مصوب دوره موردنظر (اولین دوره) مشاهده نمی‌شود. همین امر سبب شده است که برخی محققان منکر تصویب قانون لغو تیولداری در دوره اول باشند. در این زمینه، عاقلی (۱۳۸۵) با اشاره به این‌که دوره اول مجلس

شورای ملی را باید مجلس مؤسسان و خبرگان به حساب آورد، چرا که این مجلس باید قانون اساسی را برای مجلس می‌نوشت و با برهم زدن اصول سیاسی، اداری و اجتماعی تشکیلات نوینی را جایگزین آن می‌کرد، برخی از مهم‌ترین تصمیمات متخذه توسط این دوره از مجلس و یا اتفاقات مرتبط را مورد توجه قرار می‌دهد و در این میان هیچ اشاره‌ای به مصوبه مجلس در مورد لغو تیولداری نمی‌کند. صدر روحانی (۱۳۸۶) نیز که به گونه‌ای دقیق‌تر تصمیمات دوره یادشده را مورد بررسی قرار داده است، به لغو تیولداری به عنوان مصوبه‌ای در دوره یادشده اشاره‌ای ندارد.

اما در تصویب این قانون تردیدی نمی‌توان داشت. شاهد بر این مدعا اظهارات شریف (۱۳۵۲) است. وی با اشاره به پیدا نشدن اصل قانون لغو تیولداری، تأکید می‌نماید که این قانون از تصویب نهایی مجلس گذشت و توسط شاه نیز مورد تأیید قرار گرفت. او علت به دست نیامدن اصل قانون را فراموش شدن چاپ قانون فوق از سوی مجلس در مجموعه قوانین چاپ‌شده دوره اول ذکر می‌کند. شریف جهت تأکید بیشتر بر وجود چنین مصوبه‌ای توسط مجلس در دوره موردنظر با اشاره به انتصاب حاج محتشم السلطنه به معاونت وزارت داخله و معرفی وی به مجلس در تاریخ ۲۵ ربیع‌الاولی ۱۳۲۵ اظهارات وی در تاریخ سوم ربیع‌الثانی ۱۳۲۵ ه. ق. (۲۵ اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. ش.) در مجلس را این چنین ذکر می‌کند:

"لایحه در باب تیول که به امضای همایونی رسیده و به وزارت مالیه فرستاده شده است عجلتاً در این خصوص لایحه از طرف وزارت داخله به مجلس مقدس ایفاد شده محض استحضار خاطر محترم وکلاء عظام قرائت می‌شود: مجلس مقدس را زحمت اظهار می‌دارد لایحه قانونی مرسله از مجلس مبنی بر چهار فصل امروز از لحاظ انور همایونی گذشت و اجرای آن به وزارت مالیه ابلاغ شد" (شریف، ۱۳۵۲).

همچنین، لمتون در کتاب "مالک و زارع در ایران" که محتوای آن مورد استناد بسیاری از متخصصان جامعه‌شناسی روستایی ایرانی است، وی از جمله اقدامات

مجلس شورای ملی که در سال ۱۳۲۵ (۱۹۰۷ میلادی) تازه افتتاح شده بود را تعیین کمیسیون موسوم به "انجمن مالیه" نام می‌برد تا بررسی لازم را در زمینه اصلاحات اقتصادی که ارتباط کاملی هم با مقوله زمین‌داری و مالیات ارضی داشت، انجام دهد. لمتون حاصل کار این کمیسیون را چهار قدم اصلاحی بزرگ توصیف می‌کند که به‌زعم او تمام آن‌ها در موضوع زمین‌داری و وظایف مختلفی که بر عهده زمین‌داران بود، سخت مؤثر واقع می‌شود. او سومین مورد از این اقدامات اصلاحی بزرگ را این چنین نام می‌برد: "روش تیولداری لغو شد" (لمتون، ۱۳۶۲).

علاوه بر این‌ها، محکم‌ترین سندی که در باب تصویب قانون لغو تیولداری در دوره اول مجلس شورای ملی می‌توان ارائه داد، اظهارات صورت گرفته از سوی برخی از نمایندگان در جلسات متعددی از این دوره است که تصویب قانون فوق را تصریح می‌کند که در ادامه مورد اشاره قرار می‌گیرند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، www.ical.ir).

مذاکرات مجلس در لغو تیولداری

بررسی مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی در دوره اول نشان می‌دهد که برای نخستین بار در جلسه ۴۵ در تاریخ ۱۵ محرم سال ۱۳۲۵ ه. ق. (هشتم اسفند ۱۲۸۵ ه. خ.) در مورد تیولات سخن به میان می‌آید. در این جلسه یکی از نمایندگان تبریز به نام آقا میرزا فضلعلی در مورد چهار کرور استقراض دولت از بانک ملی بابت مخارج مختلف دولت و از جمله حقوق قشون، در مورد "ارباب حقوق رکابی" اظهار می‌دارد: "آن‌هایی که کلی دارند از تیولات و جاهای دیگر گرفته‌اند". همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این جمله ضمن آن‌که مبین آگاهی نماینده نسبت به عایدی و درآمد تیول است، در آن هیچ‌گونه جهت‌گیری در مورد خوب بودن یا بد بودن تیول صورت نمی‌گیرد. دومین مورد ذکر تیول و تیولات نیز در همان جلسه ۴۵ صورت می‌گیرد این بار نماینده‌ای به نام شیخ ابراهیم زنجانی لایحه‌ای را در زمینه تحدید حدود حکام و

محکومین و بیان تکالیف مجالس قرائت می‌کند. بیانات وی دربردارنده چهار نکته اصلاحی است که به‌زعم وی تأخیر در آن‌ها عیوب زیادی را به همراه خواهد داشت. وی در بند چهارم از اصلاحات پیشنهادی خود در یک جمله کوتاه می‌گوید: "این تیولات موقوف شود" (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۴۵ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir). به این ترتیب، از عبارت فوق می‌توان دریافت که نماینده یادشده موضع مساعدی نسبت به تیولداری در کشور نداشته است. هشت جلسه بعد (جلسه ۵۳) که در تاریخ چهارم صفر سال ۱۳۲۵ ه. ق. (۲۷ اسفند ۱۲۸۵ ه. خ.) منعقد می‌شود، مجلس به‌صورت جدی به بحث در مورد تیولداری می‌پردازد. در جلسه یادشده رایزنی انجمن (کمیسیون) مالیه در زمینه مالیات اراضی مطرح تفاوت ۶ کروری دخل و خرج کشور (دخل ۱۵ کرور و خرج ۲۱ کرور) مطرح می‌شود. نخستین نماینده‌ای که به موضوع می‌پردازد، سید حسن تقی‌زاده نماینده تبریز است که مدعی عدم توجه گزارش انجمن مالیه نسبت به تیولات می‌شود. پس از تقی‌زاده، وثوق‌الدوله که از قرار از اعضاء کمیسیون مالیه بود بحث قابل توجه در مورد تیولات در انجمن را مورد تأکید قرار داده و با اشاره به این که تیولات دو دسته هستند (تیولاتی که عایدی زیادی دارند و تیولاتی که به قدر موجب صاحب تیول عایدی دارند) تأکید می‌کند که انجام اقدامی در مورد تیولات باید محدود به تیولات دسته اول باشد و در ادامه با اشاره به آسان بودن این کار، توجه نمایندگان را به این نکته جلب می‌کند که "اما به کیسه دیوان امسال چیزی نمی‌آید". پس از وثوق‌الدوله، تقی‌زاده خواستار پیگیری موضوع در انجمن می‌شود. نماینده دیگر اظهار نظر کننده مخبرالملک بود که تأکید می‌کند: "تیول باید برگردد". وی یکی از فواید برگشتن تیول را این مورد ذکر می‌کند که با بازگشت تیول به دولت محکومین نمی‌توانند غله را احتکار کنند. علاوه بر این، نرخ غله به دست دولت بوده و ارزان می‌شود. این سخن را باید نخستین تحلیل نسبت به مزایای لغو تیولداری قلمداد کرد. پس از وی آقا شیخ حسین هم خواستار

برگشت تیول می‌شود. وی به‌عنوان شاهی بر ادعای خود مبنی بر ضرر ملت و دولت از محل تیولات مدعی می‌شود که بشیرالملک، فیوج رشت را به هزار و چهارصد و نود تومان تیول کرده، در حالی که فردی قسم یاد می‌کرد که وی تنها از همین تیول چهل هزار تومان می‌گیرد. رئیس‌التجار نیز به‌عنوان نماینده بعدی با اشاره به این که تمام عایدی دولت باید به بانک ملی وارد شود، نتیجه می‌گیرد که تیولات باید برگردد. در ادامه میرزا حسین طیب به‌عنوان نخستین نماینده مخالف برگشت تیول با اشاره به این که تیول دو دسته است، یکی آن که شخصی جایی را تیول کرده و برده و چیزی هم به دولت نمی‌دهد و دوم، آن که به‌جای مواجب، جایی را تیول دارد و عایدی بیشتر از مواجب از محل تیول ندارد، برگشت دسته دوم را مورد پرسش قرار می‌دهد. میرزا محمود خوانساری نماینده دیگری بود که معتقد به برگشت تیول بود. وی با مورد توجه قرار دادن اظهارات وثوق‌الدوله تأکید می‌کند "در تمام ایران تیولاتی که هست از تومانی دو هزار الی سه هزار تومان، تفاوت عمل دارد، باید این تفاوت عمل عاید دولت بشود". وی سه امتیاز را بر برگشت تیول ذکر می‌کند: "فایده کلی هم عاید دولت بشود و رعایای تیولات هم از دست ظلم و استبداد فوق‌العاده خلاص شوند و ارباب حقوق هم بالسویه به حقوق خود برسند" وی در توضیح مورد سوم مدعی می‌شود که تیولداران یک ماه مانده به سال حقوق خود را دو برابر از محل دریافت می‌کنند، در حالی که سایرین بعد از یک سال و دو سال هم به حقوق خود نمی‌رسند. نماینده دیگر میرزا ابوالحسن خان بود. وی فایده داشتن تیولات برای صاحبان آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد و سؤال مطرح در انجمن مالیه را این‌گونه طرح می‌کند که در صورت برگشت تیول در سال جاری عواید آن نصیب دولت می‌شود یا حاکم محلی؟ وی پیشنهاد می‌کند که اگر فایده امسال تیول نصیب دولت می‌شود، برگرداندن تیول به بعد از ممیزی تیولات موکول شود. نماینده موافق بعدی مشهدی باقر بقال بود که برگشت تیول را فرضی بر جبران پنج کرور کسر محل و قرض دولت می‌داند. میرزا حسن خان احسن‌الدوله هم آخرین نماینده‌ای

بود که در جلسه ۵۳ در مقام موافق با بازگشت تیول صحبت می‌کند. وی ادعا می‌کند که باوجود سلطنت مشروطه و آزادی ملت، رعایا ارباب تیول را دیگر قبول نمی‌کنند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۵۳ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir)؛ به عبارت دیگر، به‌زعم وی شرایط اجتماعی پس از انقلاب مشروطه ایجاب می‌کرد که با برگرداندن تیولات، تیولداران حذف گردند.

در جلسه ۵۴ که در تاریخ ششم صفر ۱۳۲۵ ه. ق. (۲۹ اسفند ۱۲۸۵ ه. خ.) منعقد می‌شود نیز بحث مختصری در مورد لغو تیولداری صورت می‌گیرد. دستور کار جلسه نیز همچون جلسه ۵۳ گزارش انجمن مالیه است. تنها نماینده سخنران در این زمینه فتح‌الله خان بیگدلی است که می‌گوید امسال نمی‌توان بدون ممیزی عشر (یک‌دهم) گرفت و به همین دلیل خواستار برگشت تیولات به دولت می‌شود (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۵۴ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

پس از یک وقفه یک جلسه‌ای بحث در مورد لغو تیولداری در جلسه ۵۶ در تاریخ نهم صفر ۱۳۲۵ ه. ق. (سوم فروردین ۱۲۸۶ ه. خ.) با یک اظهار نظر ادامه پیدا می‌کند. در این جلسه آقا شیخ حسین شهیدی راه حلی برای جبران پنج کرور کسری دخل کشور ارائه می‌دهد. مطابق پیشنهاد وی یک کرور می‌توان از محل برگشت تیول به عایدی دولت افزود. وی شرط تحقق این مهم را بهره‌گیری از افراد امین ذکر می‌کند که به ازای هر تومان که یک تومان اضافه می‌گرفتند، پنج هزار (پنج ریال) بگیرند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۵۶ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

در جلسه ۵۷ در تاریخ ۱۱ صفر ۱۳۲۵ ه. ق. (پنجم فروردین ۱۲۸۶ ه. خ.) میرزا محمود خوانساری با اشاره به این که ارباب تیول دست‌اندازی می‌کنند، خواستار خاتمه بحث تیول می‌شود. پس از وی آقا سید محمد مجتهد بدون ذکر دلیل تقاضا می‌کند که مجلس برای مدتی موضوع برگرداندن

تیولات را دست نگه دارد. پس از وی میرزا ابوالحسن خان با رد درخواست آقا سید محمد مجتهد با تأکید بر اولویت موضوع برگرداندن تیول، آن را فرصتی برای جبران شش کرور کسری دولت عنوان می‌کند. نفر بعدی مستشارالدوله بود. وی هم خواستار برگرداندن تیولات شده و ضمن باور خود به این که بازگشت تیولات در سال جاری عایدی برای دولت به همراه ندارد و منافع آن به جیب حکام می‌رود، تأکید می‌کند که مجلس باید به گونه‌ای عمل کند که تفاوت حاصله متوجه دولت شود. سید حسن تقی‌زاده در پاسخ به نگرانی مستشارالدوله ضمن تأکید بر این که مجلس نباید ملاحظه چند نفر تیولدار را بنماید و با وقوع انقلاب مشروطه حکام امسال با سال قبل تفاوت دارند، پرداخت قبوضات سال قبل که در دست رعایا است و اگر زیادی داشته باشند، آن هم معلوم می‌شود را تضمینی بر عاید شدن تفاوت عمل به دولت ذکر می‌کند. میرزا حسین طیب هم که در جلسه ۵۳ به عنوان مخالف با بازگشت تیول صحبت کرده بود، در جلسه ۵۷ با آوردن مثالی از تظلم خواهی رعایای قلعه الموت از ابعاد گوناگون اجحاف تیولداران نسبت به رعایا را مورد تأکید قرار می‌دهد. نماینده دیگری که در جلسه ۵۷ به سخن گفتن در مورد تیول می‌پردازد، حسام‌الاسلام است. وی این پرسش را مطرح می‌کند که با توجه به اتفاق آراء حاصله در مورد برگشت تیولات آیا برگشت تیول شامل املاک وقفی که خادمین اکثر آنها املاک وقفی را تیول کرده‌اند، هم می‌شود که با پاسخ اکثریت نمایندگان مبنی بر این که این هم جزء تیولات است، مواجه می‌شود. در ادامه جلسه ۵۷ رأی‌گیری در مورد لغو تیولداری صورت گرفت و با اخذ ۷۴ رأی نمایندگان به برگشت تیول رأی موافق دادند و به این ترتیب، لغو تیولداری از تصویب مجلس شورای ملی گذشت. نکته در خور توجه این که تمام نمایندگان به لغو تیولداری رأی ندادند. این مهم را می‌توان از تعداد نمایندگان موافق دو مصوبه دیگر هیمن جلسه گرفت که اتفاقاً هم‌زمان با تصمیم‌گیری در مورد لغو تیولداری رخ داد، به‌طوری که به مصوبه "موقوفی تسعیر جنس" ۸۳ رأی موافق و به

"برگشت سی هزار تومان خراسان بابت تفاوت ممیزی" عموم و کلاً رأی دادند. به این ترتیب، می‌توان دریافت که اگرچه در مذاکرات مجلس لغو تیولداری مخالف جدی نداشت، اما در جریان رأی‌گیری شماری از نمایندگان که لااقل بیش از ۱۰ نفر بودند (تفاضل اعداد ۸۳ و ۷۴) به لغو تیولداری رأی موافق ندادند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۵۷ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

در جلسه ۵۹ در تاریخ ۱۵ صفر ۱۳۲۵ ه. ق. (نهم فروردین ۱۲۸۶ ه. خ.) مستشارالدوله به جهت اهمیت موضوع خواستار ابلاغ کتبی مصوبه برگشت تیول به وزیر مالیه می‌شود. به دنبال وی، نماینده دیگری به نام حاج محمد اسمعیل آقا تأکید می‌کند که در موضوع برگشت تیول باید لایحه قانونی نوشته تا به صحنه همایونی برسد (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۵۹ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

در جلسه ۶۲ در تاریخ ۲۲ صفر ۱۳۲۵ ه. ق. (۱۶ فروردین ۱۲۸۶ ه. خ.) لایحه انجمن مالیه قرائت می‌شود. در ابتدای لایحه تأکید می‌شود که مجلس شورای ملی برای تصفیه مالی سال جاری چهار فقره اصلاحات را به اتفاق آراء تصویب نموده و به وزارت داخله می‌فرستد تا توسط محمدعلی شاه توشیح شده و جهت اجرا به وزارت مالیه ابلاغ شود. بند سوم از این لایحه به این شرح قرائت می‌شود: "سیم: تیولات است که باید بلا استثناء برگردد. صاحبان موجب و ارباب حقوق، حقوق خود را از خزانه دولت به اقساط مقرر دریافت دارند" (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۶۲ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

پس از تصویب لایحه لغو تیولداری، چالش بعدی ابلاغ آن توسط پادشاه است. این موضوع در چند جلسه محل بحث نمایندگان واقع می‌شود. در جلسه ۶۶ در تاریخ ۲۹ صفر ۱۳۲۵ ه. ق. (۲۳ فروردین ۱۲۸۶ ه. خ.) یکی از

نمایندگان^۲ از شنیده شدن صحه و یا توشیح فرمان بازگشت تیولات توسط شاه (محمدعلی شاه) سخن به میان می‌آورد. در پاسخ این نماینده، آقا سید محمد مجتهد بر معلوم نبودن این موضوع تأکید می‌کند. پس از وی نماینده دیگری این چنین گلایه می‌کند: "تا حال چند فقره لایحه قانونی از بابت برگشت تیولات و غیره برای صحه همایونی فرستاده شده هیچ نتیجه نداده و فعلاً هم ارباب تیول مثل سابق رفتار می‌نمایند." در ادامه یکی از نمایندگان آذربایجان هم مدعی می‌شود که مثل سابق حتی تیول و اضافه مواجب داده می‌شود (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۶۶ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

در روز نهم ربیع‌الاول ۱۳۲۵ ه. ق. (اول اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) و در جلسه ۷۲ گلایه‌گذاری‌هایی در مورد روی زمین ماندن مصوبه مجلس انجام می‌شود. یکی از نمایندگان بر دادن تیول علی‌رغم تصویب برگشت تیولات تأکید می‌کند و می‌گوید: "... وزارت مالیه را مجبور می‌کنند که حتماً امضاء بکن." نماینده دیگری هم دولت را در واگذاری اخیر تیولات به "مسامحه" متهم می‌نماید. یک نماینده هم واگذاری‌های اخیر تیولات را به دلیل مسامحه از سوی هم دولت و هم مجلس می‌داند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۷۲ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

در جلسه ۷۳ در تاریخ ۱۱ ربیع‌الاول ۱۳۲۵ ه. ق. (سوم اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) که با حضور وزیر مالیه منعقد می‌شود، یکی از نمایندگان از وزیر مالیه می‌پرسد که پس از تصویب بازگشت تیولات وزارت مالیه باید به تمام حکام تلگراف می‌کرد که تیولات توقیف شود تا رأی مجلس به صحه شاه برسد. با این حال، همچنان تیولداران در این زمینه دخالت دارند. وزیر مالیه پاسخ می‌دهد که به دلیل عدم توشیح هنوز مصوبه مجلس جنبه قانونی پیدا نکرده است.

نماینده یادشده به عریضه‌های زیادی که از اکثر جاها توسط رعایا و دایر بر ابراز تشکر و خوشحالی ایشان از لغو تیولداری ارسال شده، اشاره نموده و با تأکید مجدد بر این که لایحه قانونی نوشته شده و جهت توشیح شاه ارسال شده است، دخالت تیولداران را از وزیر مالیه مورد پرسش قرار می‌دهد. پاسخ وزیر مالیه این است که در مورد بازگرداندن تیولات، مجلس رسماً به وزیر مالیه نامه بنویسد تا وی نیز از طریق تلگراف به حکام تیولات را توقیف کند. یک نماینده هم به نارضایتی تیولداران به دلیل احتمال نرسیدن حقوقشان اشاره می‌کند و بر اهتمام مجلس به این که حقوق ارباب تیول به موقع در خانه پرداخت خواهد شد، تأکید می‌کند. همچنین، یکی از نمایندگان آذربایجان به صحه رساندن مصوبه مجلس در مورد تیولداری جهت اجرا را وظیفه وزیر مالیه ذکر می‌کند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسه ۷۳ دوره اول مجلس شورای ملی www.ical.ir).

در جلسه ۸۱ در تاریخ ۲۵ ربیع‌الاول ۱۳۲۵ ه. ق. (هفدهم اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) وکیل‌التجار با اشاره به گذشت دو ماه از سال برنابسامانی مالی کشور تأکید نموده و می‌گوید: "حکام مالیات را می‌گیرند، ارباب تیول هم در تیول مداخله می‌کنند." در این جلسه سید حسن تقی‌زاده از تغییر رویه وزارت داخله اظهار امیدواری نموده و به عنوان نمونه از مکاتبه وزارت داخله با حکام مبنی بر این که صاحب تیول حق تعرض به رعایا را ندارد، سخن به میان می‌آورد. میرزا محمود خوانساری هم عزل وزیر داخله را نتیجه اهمال وی در توشیح مصوبات مجلس و از جمله لغو تیولداری توسط محمدعلی شاه بیان می‌کند. وی در ادامه خطاب به محتشم‌السلطنه که به عنوان معاون وزیر داخله در مجلس حضور داشت، اقدام وزارت داخله در به صحه رساندن مصوبه مجلس توسط شاه را مورد پرسش قرار می‌دهد و دلیل پرسش خود را مکاتباتی ذکر می‌کند که در مورد

^۲ - در مشروح مذاکرات مجلس به همین صورت ثبت شده است. به نظر می‌رسد که تندنویس مجلس متوجه این که کدام نماینده این سخنان را گفته، نشده است.

این مورد در دولت اشاره می‌کند. وکیل‌التجار نماینده دیگری بود که در جلسه فوق به مقوله تیولات می‌پردازد و به مکاتبه‌ای که در همین زمینه از سوی مجلس و بنابر درخواست وزیر مالیه صورت گرفته، اشاره می‌کند و در خاتمه اظهارات خود در این مورد می‌گوید: "ولی هنوز خبر نرسیده" (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرت جلسه ۸۴ دوره اول مجلس شورای ملی (www.ical.ir)).

دو روز بعد در تاریخ سه ربیع‌الثانی ۱۳۲۵ ه. ق. (بیست و پنجم اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) مجلس جلسه ۸۵ خود را برگزار می‌کند. در ابتدای این جلسه محتشم‌السلطنه گزارشی در مورد لایحه ارسالی از سوی مجلس به وزارت داخله داده و می‌گوید: "اینک امروزه لایحه مزبور به امضای همایونی رسید و به وزارت مالیه فرستاده شده است..." به این ترتیب، لایحه مورد تأیید محمدعلی شاه قرار گرفته و برای اجرا به وزارت مالیه ابلاغ می‌شود. بنابر مشروح مذاکرات جلسه ۸۵ دوره نخست مجلس شورای ملی لایحه قریب به این مضمون از سوی میرزا طاهر قرائت می‌شود: "مجلس مقدس را زحمت اظهار می‌دهد لایحه قانونی مرسله از مجلس مبنی بر چهار فصل امروز از لحاظ انور همایونی گذشت و اجرای آن به وزارت مالیه ابلاغ شد، اظهار تشکر شد". میرزا محمود خوانساری تأکید می‌کند که در این زمینه به سندی نیاز است. ظاهراً وی توشیح لایحه از سوی شاه را کافی ندانسته و همچنان نگران عدم اجرای لایحه بود. در پاسخ وی معاون وزارت داخله می‌گوید: "همین رقعہ سند است" (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرت جلسه ۸۵ دوره اول مجلس شورای ملی (www.ical.ir)).

در جدول یک اسامی نمایندگان اظهارنظرکننده در مورد لغو تیول‌داری مشاهده می‌شود.

تیولات با انجمن عرایض^۳ شده و از آنجا هم موضوع به وزارت داخله منعکس شده است. در تأیید اظهارات میرزا محمود خوانساری نماینده دیگری به نام آقا میرزا مرتضی قلی‌خان که از قرار معلوم عضو کمیسیون عرایض هم بوده است، به سخنان وزیر مالیه در باب تیولات مبنی بر این که لایحه به وزارت داخله داده شده و باید موضوع از وزارت داخله پیگیری شود، اشاره می‌کند. صدیق حضرت هم خلل در لایحه موقوفی تیول را ناشی از مرتب نبودن دفتر وزارت داخله می‌داند؛ اما مستشارالدوله کوتاهی در اجرایی شدن لغو تیول‌داری را متوجه وزارت مالیه می‌داند (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرت جلسه ۸۱ دوره اول مجلس شورای ملی (www.ical.ir)).

دو روز بعد در تاریخ ۲۷ ربیع‌الاول ۱۳۲۵ ه. ق. (نوزدهم اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) و در جلسه ۸۲ محتشم-السلطنه (معاون وزیر داخله) مجدداً حضور یافته و به اطلاع نمایندگان می‌رساند که به جهت ملاحظات لازم در زمینه توقیف تیولات قرار شده در هر هفته دو جلسه با حضور وزرا تشکیل شده و نتیجه حاصله به اطلاع مجلس رسانده شود. در این جلسه میرزا محمود خوانساری هم خواستار ارسال تلگرافی از سوی وزارت داخله به ارباب تیول از جهت توقیف دخل و تصرف در تیولات می‌شود (سایت کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرت جلسه ۸۲ دوره اول مجلس شورای ملی (www.ical.ir)).

در جلسه ۸۴ که به تاریخ اول ربیع‌الثانی سال ۱۳۲۵ ه. ق. (بیست و سوم اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) منعقد می‌شود حسام‌الاسلام از نتیجه و فرجام کارهایی که در مجلس تمام شده است، می‌پرسد و به عنوان نمونه از نظام‌نامه ایالتی و نظام‌نامه بلدی و همچنین تیولات نام می‌برد. پس از ویوثوق‌الدوله به اظهارات وزیر مالیه مبنی بر مذاکره در

۳- کمیسیون اصل ۹۰ در نظام پارلمانی امروز کشور

جدول ۱- اسامی نمایندگان مجلس در دوره اول که در مورد تیول و تیولداری اظهار نظر کردند

ردیف	نام نماینده	حوزه انتخابیه	ردیف	نام نماینده	حوزه انتخابیه
۱	حاج میرزا فضل‌علی آقا صفا	تبریز	۱۲	آقا شیخ حسین ملک المعالی	رشت
۲	شیخ ابراهیم زنجان	زنجان	۱۳	رئیس التجار (رضا مهدوی)	مشهد
۳	سید حسن تقی‌زاده	تبریز	۱۴	میرزا حسین طبیب	قزوین
۴	میرزا حسن خان وثوق الدوله	تهران	۱۵	میرزا محمود کتابفروش خوانساری	تهران
۵	محمدقلی‌خان مخبرالملک	تهران	۱۶	میرزا ابوالحسن خان شیرازی	شیراز
۶	میرزا حسن خان احسن الدوله	تبریز	۱۷	فتح‌اله‌خان بیگدلی	قم
۷	آقا شیخ حسین شهیدی	قزوین	۱۸	شیخ محمد مجتهد	تربت حیدریه
۸	آقا میرزا مرتضی قلی‌خان	تهران	۱۹	میرزا صادق‌خان مستشار الدوله	تبریز
۹	شیخ حسن حسام‌الاسلام	رشت	۲۰	میرزا محمدخان صدیق حضرت	تهران
۱۰	محمد یزدی (وکیل التجار)	رشت	۲۱	حاج محمد اسمعیل آقا تبریزی	تهران
۱۱	مشهدی باقر بقال	تهران			

همان‌گونه که در جدول یک نشان داده شده است، از مجموع نمایندگان دوره نخست مجلس شورای ملی، لااقل ۲۱ نفر از یک تا چند بار مبادرت به طرح دیدگاه‌های خود در مورد تیولداری کردند. از آنجایی که نام شماری از نمایندگان اظهارنظر کننده در مورد تیولداری در مشروح مذاکرات مجلس ثبت و ضبط نشده است، این امکان وجود دارد که تعداد نمایندگان اظهار نظرکننده بیش از این تعداد باشد. بنابر این، در پاسخ به پرسش یک مبنی بر سهم نمایندگان مشارکت‌کننده در موضوع لغو تیولداری باید به رقم حداقل ۲۱ نماینده اشاره کرد. این عدد را می‌توان نشانه خوبی از مشارکت نمایندگان دانست. به گفته شاهی (www.iichs.ir/s/381) تعداد نمایندگان دوره اول مجلس شورای ملی ۱۵۵ نفر بوده است. چنانچه همین تعداد را ملاک قضاوت قرار دهیم، حداقل پانزده درصد از نمایندگان در موضوع لغو تیولداری به اظهار نظر پرداخته و مشارکت داشته‌اند.

در جدول (۲)، مهم‌ترین اظهارنظرهای صورت گرفته در مورد تیولداری از سوی نمایندگان مشاهده می‌شود.

بر اساس مندرجات جدول دو، غالب نمایندگان موافق لغو تیولداری بودند و حداکثر مخالفت ابراز شده توسط نمایندگان محدود به موکول نمودن این مهم به بعد از ممیزی، لزوم توجه به تیولات سودآور و یا اتخاذ تمهیدات لازم برای اطمینان از این‌که عایدی حاصل از آن نصیب دولت می‌شود، بود.

در پاسخ به پرسش دوم دایر بر خاستگاه دولت یا مجلس در لغو تیولداری، باید گفته شود که به دلیل عدم ثبت و ضبط دقیق اطلاعات در مشروح مذاکرات مجلس، امکان حکم قطعی در این زمینه وجود ندارد. هر چند که اظهارات محتشم‌السلطنه در جلسه ۸۵ در تاریخ سوم ربیع‌الثانی ۱۳۲۵ ه. ق. (بیست و پنجم اردیبهشت ۱۲۸۶ ه. خ.) مبنی بر ارائه لایحه از سوی وزارت داخله به مجلس حکایت از آن دارد که دولت را باید خاستگاه این قانون دانست.

جدول ۲- اهم اظهارنظرهای صورت گرفته در مورد لغو تیولداری در دوره اول مجلس شورای ملی

نام نماینده مجلس	شماره جلسه	جهت گیری	خلاصه سخن
میرزا حسن وثوق الدوله	۵۳	منفی	لزوم توجه به تیولات سودآور و عدم امکان سودآوری برای دولت در سال جاری
محمدقلی خان مخبرالملک	۵۳	مثبت	عدم امکان احتکار و ارزان شدن غله با لغو تیولداری
آقا شیخ حسین ملک المعالی	۵۳	مثبت	اختلاف زیاد درآمد تیول و مبلغ پرداختی به دولت
رئیس التجار (رضا مهدوی)	۵۳	مثبت	امکان ورود تمام عایدی دولت به بانک ملی
میرزا حسین طیب	۵۳	منفی	برابری عایدی تیول با مواجب
میرزا محمود خوانساری	۵۳	مثبت	افزایش عایدی دولت، رهایی رعیت از ظلم تیولدار، عدالت در دریافت حقوق میان تیولداران و سایرین
میرزا ابوالحسن خان شیرازی	۵۳	منفی	برگشت تیول به بعد از ممیزی موکول شود
مشهدی باقر بقال	۵۳	مثبت	جبران کسر محل و قرض دولت
میرزا حسن خان احسن الدوله	۵۳	مثبت	عدم قبول ارباب تیول توسط رعیت
فتح اله خان بیگدلی	۵۴	مثبت	افزایش عایدی دولت با برگشت تیولات
آقا شیخ حسین شهیدی	۵۶	مثبت	برگشت تیولات با استفاده از افراد امین
شیخ محمد مجتهد	۵۷	منفی	توقف بحث برگرداندن تیول
میرزا ابوالحسن خان	۵۷	مثبت	جبران ۶ کرور کسری دولت با لغو تیولداری
سید حسن تقی زاده	۵۷	مثبت	پرداخت مالیات بر اساس قبوض سال قبل و مشخص شدن تفاوت به عنوان تضمین عایدات دولت
میرزا حسین طیب	۵۷	مثبت	اجحاف تیولداران از ابعاد گوناگون به رعایا
شیخ حسن حسام الاسلام	۵۷	-	آیا تیول های وقفی هم باید برگشت داده شود؟
مستشارالدوله مستشارالدوله	۵۹	-	ابلاغ کتبی مصوبه برگشت تیول به وزیر مالیه
-	۶۶	-	واگذاری تیول علی رغم مصوبه مجلس
-	۷۲	-	روند واگذاری تیولات از طریق فشار به وزارت مالیه
-	۷۲	-	مسامحه دولت در واگذاری اخیر تیولات
-	۷۲	-	مسامحه دولت و مجلس در واگذاری اخیر تیولات
-	۷۳	مثبت	ابراز خوشحالی رعایا از لغو تیولداری
-	۷۳	مثبت	اهتمام مجلس به پرداخت حقوق تیولداران در خانه
-	۷۳	مثبت	وظیفه مندی وزیر مالیه به توشیح لایحه توسط شاه
آقا میرزا مرتضی قلی خان	۸۱	مثبت	مکاتبات مجلس با وزارت داخله در مورد توشیح

نتیجه گیری و پیشنهادها

در پاسخ به پرسش های مطرح در مقدمه مقاله، پاسخ های زیر را می توان ارائه داد:

مشارکت بیش از بیست نفر و متجاوز از پانزده درصد از نمایندگان مجلس در بحث لغو تیولداری نشان می دهد که این موضوع از مباحث مورد علاقه آنها بوده و به همین دلیل حساسیت لازم را نسبت به آن نشان دادند.

اگرچه در مورد این که کدام یک از دو نهاد دولت و یا مجلس منشأ و خاستگاه لغو تیولداری در دوره اول مجلس شورای ملی بودند، نمی توان حکم قطعی داد، اما بنابر اظهارات معاون وزیر کشور در جلسه ۸۵ این دولت بود که لایحه را تنظیم و جهت تصویب نهایی به مجلس

داده بود. در مقابل، تعلل دولت در توشیح مصوبه توسط پادشاه و ابلاغ آن به دولت جهت اجرا را شاید بتوان به منزله شاهدی بر این که خاستگاه قانون مجلس بوده است، تلقی کرد.

تقریباً تمامی نمایندگان موضع مساعدی نسبت به لغو تیولداری در کشور داشتند. نمایندگان موافق بر این موارد به عنوان نقاط قوت لغو تیولداری تأکید داشتند: افزایش درآمد دولت و جبران کسری بودجه و بدهی دولت، عدم امکان احتکار و ارزان شدن غله، رهایی رعایا از ظلم و ستم تیولداران، عدالت در دریافت حقوق میان تیولداران و سایرین، عدم قبول تیولداران توسط رعایا. در مقابل معبود اظهارنظرهای مخالف در این موارد خلاصه می شد:

برابری عایدی تیولات با موجب تیولداران، عدم امکان سودآوری تیولات برای دولت در همان سال (۱۲۸۶) و موکول نمودن بازگشت تیولات به بعد از ممیزی. علاوه بر این موارد، از دیگر نتایج تحقیق می‌توان به این موارد اشاره کرد:

با عنایت به رابطه زمین با قدرت، تصویب قانون لغو تیولداری را می‌توان اقدامی در راستای کاهش قدرت حکام محلی و تمرکز قدرت در دولت مرکزی در ایران قلمداد کرد.

به نظر می‌رسد که وقفه و تعلل در ابلاغ قانون لغو تیولداری از سوی پادشاه به دولت که محل پرسش برخی از نمایندگان در جلسات بعد از تصویب قانون بود را می‌توان به دلیل عدم میل و رغبت باطنی پادشاه با اجرای قانون دانست. چرا که لغو تیولداری اقدامی در جهت کاهش قدرت و اختیارات شاه بود.

به نظر می‌رسد که مجلس دوره اول در مورد روند اجرایی شدن مصوبات خود دچار سردرگمی بوده است. بررسی اظهارات نمایندگان در موضوع مورد مطالعه و درحالی‌که برخی خواستار توشیح مصوبه توسط شاه بودند و برخی دیگر ابلاغ مصوبه توسط وزارت مالیه و یا وزارت داخله به حکام را (قبل از توشیح) مورد تأکید قرار می‌دادند، شاهی است بر این ادعا.

فهرست منابع

۱. دندامایف، م. ۱۳۸۵. نظام تیولداری بابل در سال‌های نخست حکومت هخامنشیان. ترجمه مریم رضایی. نامه انجمن. ص ۱۳۴-۱۲۵.
۲. شاهی، م. ۱۳۷۶. املاک خالصه و سیاست فروش آن در دوره ناصری. فصلنامه تاریخ معاصر ایران. ۳، ص ۷۰-۴۹.
۳. شریف، ع. ۱۳۵۲. لغو تیول و تیولداری. مجله بررسی‌های تاریخی. ۴۴ و ۴۵، ص ۸۶-۷۷.
۴. شیل، مری لئونورا (وولف). ۱۳۶۸. خاطراتلیدی شیل، همسر وزیر مختار انگلیس در اوائل سلطنت ناصرالدین شاه. ترجمه حسن ابوترابی‌ان. تهران: نشر نو. ۲۷۹ ص.
۵. صدر روحانی، ح. ۱۳۸۶. مجلس شورا: اقدامات مجلس شورای ملی اول. پیام بهارستان. ۷۶، ص ۱۱-۲.
۶. عاقلی، ب. ۱۳۸۵. تاریخچه مجلس شورای ملی. گنجینه اسناد. شماره ۶۲. ص ۷۴-۶۸.
۷. فروغ اصفهانی، م. م. ۱۳۷۸. فروغستان: دانشنامه فن استیفا و سیاق. به کوشش ایرج افشار. تهران: دفتر پژوهشی میراث مکتوب، آینه میراث. ۴۰۷ ص.
۸. فلاح توتکار، ح. ۱۳۸۵. بازتاب مسئله دهقانی در مجلس اول (۱۳۲۴-۱۳۲۶ ق). نامه تاریخ‌پژوهان. شماره ۷. ص ۱۴۴-۱۳۰.
۹. لمتون، آن، ک. اس. ۱۳۶۲. مالک و زارع در ایران. ترجمه منوچهر امیری. چاپ سوم. تهران: مرکز انتشارات علمی و فرهنگی. ۸۵۴ ص.
۱۰. مستوفی، ع. ۱۳۲۵. شرح زندگانی من. جلد دوم. چاپ دوم. تهران: انتشارات زوار. ۵۱۵ ص.
۱۱. نایب پور، م. ۱۳۸۹. زمین‌داری آذربایجان و ارمنستان (بخش دوم). کتاب ماه تاریخ و جغرافیا. شماره ۱۵۲. ص ۷۳-۶۶.
۱۲. کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای ملی، مشروح مذاکرات جلسات ۴۵، ۵۳، ۵۴، ۵۶، ۵۷، ۵۹، ۶۲، ۶۶، ۷۲، ۷۳، ۸۱، ۸۲، ۸۴ و ۸۵ دوره اول مجلس شورای ملی (www.ical.ir).
۱۳. مؤسسه مطالعات و تاریخ معاصر ایران (www.iichs.ir/s/381).

مقایسه برتری‌ها و کاستی‌های رادیونوکلئیدهای سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷ برای ارزیابی فرسایش خاک

فریده عباس‌زاده افشار^۱

استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. f.abbaszadeh@ujiroft.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

رادیونوکلئیدهای ریزشی (سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷) به‌طور قابل توجهی برای ارزیابی و بررسی اطلاعات کمی فرسایش و نرخ توزیع مجدد خاک در زمین‌نماهای کشاورزی، در بازه‌های زمانی مختلف استفاده می‌شوند. این روش می‌تواند مکمل مناسبی برای فناوری‌های مرسوم اندازه‌گیری فرسایش و رسوب‌گذاری خاک باشد. هدف این مقاله بررسی برتری‌ها و کاستی‌ها هر یک از سه رادیونوکلئید ریزشی و شناسایی شکاف‌های کلیدی علمی مرتبط با استفاده از آن‌ها است. علاوه بر این، دستورالعمل انتخاب مناسب‌ترین رادیونوکلئید و روش مرتبط، برای بررسی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف و بررسی مجموعه‌های خاص از مشکلات زیست‌محیطی ارائه شده است. همچنین موارد کلیدی برای پژوهش‌های آتی و کاربرد این رادیونوکلئیدها در بررسی‌های فرسایش خاک، مشخص شده است. این موارد شامل افزایش استفاده از آن‌ها در مقیاس حوضه آبخیز و تبدیل آن از یک ابزار تحقیقاتی به یک ابزار پشتیبانی مناسب در تصمیم‌گیری مدیریت اراضی است.

واژه‌های کلیدی: رادیونوکلئیدهای ریزشی، فرسایش و رسوب‌گذاری خاک، توزیع مجدد خاک، تخریب اراضی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است و تأثیرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد. این پدیده با کاهش حاصلخیزی، تنوع جانداران و ریز جانداران، باعث تخریب اکوسیستم‌های طبیعی نظیر مراتع و جنگل‌ها و اکوسیستم‌های کشاورزی می‌گردد. فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته است؛ اما در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و دگرگونی فعالیت‌های انسانی شدت یافته است. به دست آوردن اطلاعات کمی معتبر از سرعت و وسعت فرسایش خاک یک نیاز ضروری است. به همین منظور تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا روش‌های کمی و کیفی جهت برآورد مقدار فرسایش و تجمع رسوب ارائه گردد. این روش‌ها از روابط ساده تا مدل‌های پیچیده فرسایش و رسوب‌گذاری را شامل می‌شود که هر یک دارای برتری‌ها و کاستی‌هایی هستند. روش‌هایی که تاکنون در بررسی سرعت فرسایش به کار رفته‌اند، براساس نظرات مورگان (۲۰۰۵) در سه گروه قرار گرفته‌اند: ۱) کرت‌های اندازه‌گیری فرسایش (۲) مشاهده و اندازه‌گیری صحرائی عوارض ناشی از پدیده‌های فرسایش خاک (۳) مدل‌سازی. مدل‌های فرسایش به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: الف) مدل‌هایی که بر اساس یک سری روابط تجربی بنا شده و سعی در ارتباط دادن برخی ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری، با سرعت هدر رفت خاک دارند. ب) مدل‌های فیزیکی که با تحلیل جزء به جزء عوامل مؤثر در پاشمان ذرات خاک و انتقال آن‌ها میزان هدررفت خاک را محاسبه می‌کنند.

یکی از مدل‌های فرسایش خاک، تکنیک رادیونوکلئیدهای ریزشی^۱، به‌ویژه سزیم -۱۳۷ که از سال ۱۹۷۰ با موفقیت برای تعیین کمیت فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری مورد استفاده قرار گرفتند (والینگ، ۲۰۰۲؛ زاپاتا، ۲۰۰۲). همان‌طور که انتشار بیش از ۴۰۰۰ مقاله

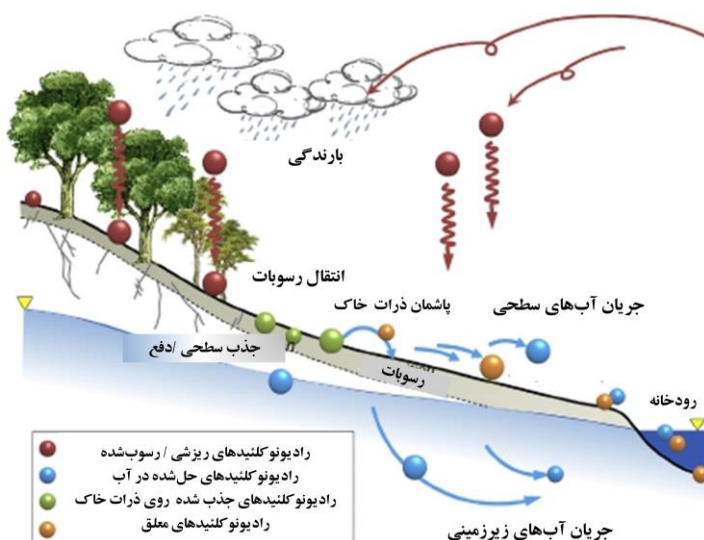
تحقیقاتی استفاده از سزیم -۱۳۷ نشان داده که روشی مؤثر برای تعیین میزان فرسایش خاک و رسوب‌گذاری خاک و مکملی ارزشمند برای فناوری‌های اندازه‌گیری مرسوم فرسایش و رسوب‌گذاری خاک است. رادیونوکلئیدهای سزیم -۱۳۷ (¹³⁷Cs)، سرب -۲۱۰ (²¹⁰Pb) و برلیوم -۷ (⁷Be) به عنوان ردیاب‌های بررسی فرآیندهای فیزیکی فرسایش و رسوب‌گذاری با موفقیت مورد استفاده قرار گرفتند، به دلیل اینکه در زمان ریزش، به سرعت و به شدت توسط خاک سطحی یا ذرات ریز خاک جذب و تثبیت می‌شوند چون رادیونوکلئیدها به شدت جذب سایت‌های تبادلی کاتیونی می‌شود، حرکت آن در خاک به دلیل فرآیندهای شیمیایی و زیستی خیلی محدود است؛ بنابراین توزیع مجدد آن‌ها در زمین‌نما از طریق فرآیندهای فیزیکی مانند فرسایش خاک، خاک‌ورزی یا شخم رخ می‌دهد و به این ترتیب ردیاب مناسبی در توزیع مجدد خاک و رسوبات هستند (شکل ۱) (ریتیچی و ریتیچی، ۲۰۰۷).

ارزیابی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری معمولاً براساس مقایسه میزان فعالیت یا موجودی رادیونوکلئیدها در نقاط نمونه‌برداری شده با میزان فعالیت یا موجودی آن‌ها در مکان مرجع است. مکان مرجع موقعیتی پایدار در زمین‌نما است که فرسایش و رسوب‌گذاری در آن صورت نمی‌گیرد و موجودی رادیونوکلئیدها در مکان مرجع منعکس‌کننده کل ورودی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه است. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده توسط این روش، اطلاعاتی را ارائه می‌دهد که تأثیر همه فرآیندهای منجر به توزیع مجدد خاک را نشان می‌دهد که اغلب با روش‌های مرسوم اندازه‌گیری فرسایش و رسوب‌گذاری خاک امکان‌پذیر نیست. نرخ فرسایش یا رسوب‌گذاری را می‌توان، با استفاده از مدل‌های تبدیل^۲ که به‌صورت رابطه ریاضی بین افزایش یا کاهش موجودی رادیونوکلئیدها نسبت به موجودی مکان مرجع تخمین زد (والینگ و هه، ۱۹۹۹a). میزان فرسایش و رسوب‌گذاری برآورد شده با

² -Conversion models¹ -Fallout radionuclides

(ولاسکو و همکاران، ۲۰۱۸؛ پورتو و همکاران، ۲۰۱۶؛ عباسی و میراخیاری، ۲۰۱۹؛ غریب‌رضا و همکاران، ۲۰۲۰؛ هنرجو و همکاران، ۱۳۸۷؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ بابائزاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ سو و همکاران، ۲۰۲۱).

استفاده از روش رادیونوکلئیدها در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم از جمله پلات‌های فرسایشی، پین‌های فرسایشی و مدل‌سازی فرسایش و رسوب‌گذاری، در طیف وسیعی از محیط‌ها مورد تأیید واقع شده است.



شکل ۱- نمودار شماتیک از توزیع مجدد رادیونوکلئیدها در یک حوضه آبخیز

با توجه به مطالب گفته شده، هدف از این مقاله، بررسی برتری‌ها و کاستی‌های هر یک از رادیونوکلئیدها ^{137}Cs ، ^{210}Pb و ^7Be برای ارزیابی توزیع مجدد خاک و رسوبات در زمین‌نما است. شناسایی شکاف علمی و نیازهای تحقیقاتی و ارائه راهنمایی برای انتخاب مناسب‌ترین رادیونوکلئید است. همچنین مقایسه کاربرد رادیونوکلئیدها با سایر روش‌های ارزیابی فرسایش خاک است.

^{137}Cs : پرکاربردترین و معتبرترین ردیاب متوسط مدت خاک

^{137}Cs به‌عنوان پرکاربردترین ردیاب‌های رادیونوکلئید ریزشی در خاک شناخته شده و در بسیاری از مناطق مختلف جهان تحت شرایط مختلف زیست‌محیطی به کار گرفته شده است (عباسی و میراخیاری، ۲۰۱۹؛ پوتیرسکایا و همکاران، ۲۰۲۰؛ بابائزاد و همکاران، ۱۳۹۷؛

منابع خاک، سرمایه عظیم ملی هر کشوری هستند که این منابع باید به گونه‌ای مدیریت و حفاظت شوند که ضمن انجام خدمات خود و رفع مایحتاج فعلی بشر، پاسخگوی نیاز نسل‌های آینده نیز باشند. مدیریت غیرپایدار منابع خاک موجب تخریب و فرسایش، تولید رسوب در رودخانه‌ها و پرشدن مخازن سدها، افزایش ریزگردها، طوفان‌های شن، سیل‌های مخرب، خشکسالی‌ها، آلودگی خاک، آب و هوا و تغییرات اقلیمی کره زمین می‌گردد. خوشبختانه یکی از کاربردهای فناوری هسته‌ای، در علوم خاک است که در سالیان اخیر فعالیت‌های پژوهشی مختلفی جهت رفع مسائل و چالش‌های عرصه خاک انجام شده است. استفاده از ایزوتوپ‌های سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷ در مطالعات فرسایش خاک و رسوب‌گذاری از جمله مهم‌ترین کاربردهای فناوری هسته‌ای در علوم خاک است.

سو و همکاران، ۲۰۲۱). این رادیونوکلئید، مصنوعی یا ساخته‌شده توسط انسان (با نیمه عمر ۳۰/۲ سال) است و محصول آزمایش‌های تسلیحات هسته‌ای که از اواسط دهه ۱۹۵۰ تا اوایل دهه ۱۹۷۰ انجام شد و یا حوادث هسته‌ای (به عنوان مثال چرنوبیل) است. طی آزمایش‌های تسلیحات هسته‌ای، ^{137}Cs به استراتوسفر منتشر شده و بعد به‌صورت جهانی توزیع می‌شود. توزیع مکانی آن، به محل آزمایش هسته‌ای، الگوی گردش استراتوسفر و میزان بارندگی سالانه بستگی دارد و به‌طور کلی میزان ریزش در نیمکره شمالی به‌صورت قابل توجهی بیشتر از نیمکره جنوبی است (مابیت و همکاران، ۲۰۰۸). قابل ذکر است که موجودی ^{137}Cs در نیمکره جنوبی با استفاده از ردیاب‌ها و زمان شمارش مناسب، هنوز قابل اندازه‌گیری هستند. ^{137}Cs توسط حوادث هسته‌ای، از جمله حادثه چرنوبیل به درون تروپوسفر منتشر شده که منجر به توزیع ناهمگن‌تر این رادیونوکلئید در منطقه می‌شود. این ناهمگنی محلی و منطقه‌ای می‌تواند مشکلاتی را برای تفسیر مکانی موجودی ^{137}Cs در منطقه مورد مطالعه‌ای که در آن از نظر آماری حادثه چرنوبیل رخ داده است، به‌وجود آورد (مابیت و همکاران، ۲۰۰۸).

اندازه‌گیری فعالیت ^{137}Cs معمولاً توسط طیف‌سنجی گاما با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیوم نوع P، با دامنه انرژی ۱۰ KeV - ۴۰ MeV انجام می‌شود و ^{137}Cs در ۶۶۲ KeV آشکار می‌شود. به‌طور کلی، برای آشکارسازهای گاما با راندمان نسبی ۳۰٪، زمان شمارش لازم بین ۲۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ ثانیه، بسته به فعالیت نمونه و هندسه شمارش متغیر است (زاپاتا، ۲۰۰۲). فعالیت ^{137}Cs را می‌توان به‌راحتی در محل، در مزرعه و بدون نیاز به جمع‌آوری نمونه، با استفاده از طیف‌سنج گاما قابل حمل^۱ به‌دست آورد. زمان شمارش معمولاً به‌طور قابل توجهی کوتاه‌تر از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است و خاک هم کمتر دست‌خورده می‌شود (هه و والینگ، ۲۰۰۰).

نمونه‌هایی از توزیع عمقی ^{137}Cs در خاک‌های دست‌نخورده و کشت‌شده در شکل ۲ ارائه شده است. در خاک‌های دست‌نخورده، غلظت ^{137}Cs در زیر چند سانتی‌متر فوقانی به‌طور معمول از نظر نمایی با عمق کاهش می‌یابد (شکل ۲). غلظت تقریباً ثابت ^{137}Cs در حدود پنج سانتی‌متر بالایی نمایانگر تأثیر فرآیندهای بهم‌خوردگی بیولوژیکی^۲ و ورودی سزیم به سطح خاک در دهه ۱۹۷۰ است. همچنین در مناطق کشت‌شده، غلظت‌ها ممکن است در لایه شخم به‌دلیل مخلوط‌شدن ناشی از شیوه‌های کشت تقریباً یکنواخت باشد (والینگ، ۲۰۱۲).

برای تخمین کمی فرسایش و رسوب‌گذاری خاک با استفاده از این روش، مدل‌های تبدیل برای مناطق کشت‌شده و همچنین برای مناطق دست‌نخورده تهیه شده است. مدل نسبی^۳ و انواع مدل‌های بیلان وزنی^۴ (MBM I, II, III)، به‌طور کلی برای خاک‌های کشت‌شده استفاده می‌شوند، در حالی که مدل‌های توزیع پروفیل^۵ و مدل انتشار و مهاجرت^۶ معمولاً برای خاک‌های غیرقابل کشت و دست‌نخورده استفاده می‌شوند (والینگ و همکاران، ۲۰۰۲). هر مدل برتری و کاستی‌های خاص خود را دارد.

^۲- Bioturbation

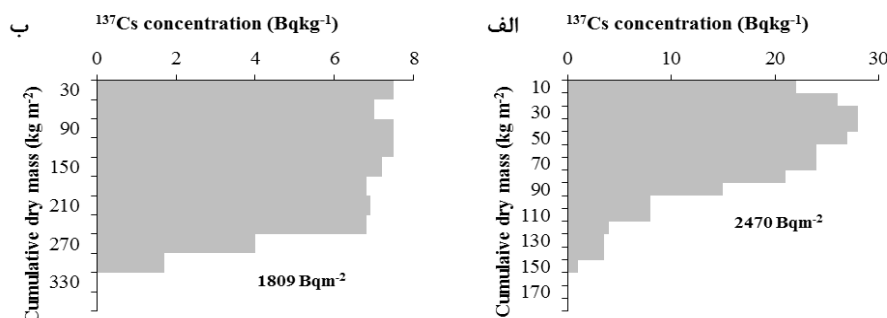
^۳- Proportional Model

^۴-Mass Balance Models

^۵-Profile Distribution

^۶-Diffusion and Migration

^۱ -portable gamma spectrometer



شکل ۲- توزیع عمقی ^{137}Cs در یک خاک دست نخورده (الف) و خاک کشت شده (ب) در لندن (والینگ، ۲۰۱۲)

فرآیندهای رواناب و فرسایش طبیعی وجود ندارد (ولاسکو و همکاران، ۲۰۱۸).

کاستی‌های اصلی تکنیک ^{137}Cs را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱) در برخی مناطق، به‌خصوص در نیمکره جنوبی، موجودی ^{137}Cs کم است و برای به‌دست آوردن یک دقت قابل قبول اندازه‌گیری، زمان بیشتری برای آنالیز گاما نیاز دارد. ۲) حوادثی مانند چرنوبیل، ورودی‌های اضافی از ^{137}Cs را در برخی مناطق فراهم کرد. این ورودی‌ها باید هنگام اندازه‌گیری ^{137}Cs برای برآورد نرخ توزیع مجدد خاک، در نظر گرفته شوند. ۳) این روش در درجه اول برای تخمین متوسط مدت فرسایش خاک (۵۰ سال) مناسب است و به‌راحتی نمی‌توان اطلاعات لازم برای بررسی نرخ فرسایش دوره‌های کوتاه‌مدت از جمله تغییر در اثر استفاده از زمین و شیوه مدیریتی مختلف را فراهم کرد. ۴) این روش معمولاً شامل مقایسه موجودی نقاط اندازه‌گیری شده با موجودی مکان مرجع است. با توجه به اهمیت این موضوع موجودی مرجع باید به‌طور دقیق تعیین شود. همچنین مکان مرجع مورد استفاده باید نماینده‌ای از موجودی منطقه مورد مطالعه باشد (والینگ، ۲۰۰۲؛ مابیت و همکاران، ۲۰۰۸؛ علیزاده و علیپور، ۱۳۹۰).

روش ^{137}Cs به‌طور متوسط تخمین‌هایی از توزیع مجدد خاک طی چند دهه را فراهم می‌کند؛ بنابراین برای تخمین دوره‌های متوسط‌مدت، میانگین فرسایش و میزان رسوب‌گذاری سالانه خاک مفید و مناسب است

تکنیک ^{137}Cs دارای چندین برتری عمده نسبت به روش‌های سنتی و مرسوم برای بررسی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری خاک است. برتری عمده آن را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱) با استفاده از این روش میزان فرسایش گذشته را می‌توان از نمونه‌های جمع‌آوری شده در زمان فعلی برآورد کرد. ۲) تخمینی از نرخ متوسط مدت توزیع مجدد خاک (۵۰ سال) را ارائه می‌دهد. ۳) اطلاعاتی در مورد فرسایش و رسوب‌گذاری را در اختیار ما قرار می‌دهد و بنابراین مقدار کمی فرسایش خالص و رسوب‌گذاری با این روش هم قابل برآورد است. ۴) ارزیابی توزیع مجدد خاک با استفاده از ^{137}Cs ، کلیه فرآیندهای مربوط به انتقال ذرات خاک (فرسایش آبی، فرسایش بادی و توزیع در اثر خاک‌ورزی) را در برمی‌گیرد. ۵) این تکنیک امکان تعیین کمیت فرسایش و رسوب‌گذاری خاک مرتبط با فرسایش ورقه‌ای را فراهم می‌کند که ارزیابی آن با استفاده از سایر روش‌های مرسوم در مقیاس مزرعه، معمولاً به دلیل کم بودن عمق برداشت و انباشت خاک، دشوار است. ۶) نمونه‌برداری نسبتاً ساده و مقرون‌به‌صرفه است و بسته به تعداد نقاط نمونه‌برداری و مساحت منطقه مورد مطالعه، در مدت زمان کوتاه قابل انجام است. ۷) هنگام نمونه‌برداری حداقل تخریب و دست‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه را دارد و در عملیات کشت و کار اختلالی ایجاد نمی‌کند، علاوه بر این، هیچ گونه اختلال در

(والینگ و هه، ۱۹۹۹). ^{137}Cs در تحقیقات فرسایش خاک در طیف وسیعی از مقیاس‌های مختلف، از جمله کرت‌های آزمایشی، مزارع چندهکتاری تا حوضه‌های آبخیز کوچک چند کیلومترمربعی استفاده شده است. مابیت و همکاران (۲۰۰۷) از ترکیب روش ^{137}Cs و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی فرسایش و رسوب‌گذاری خاک استفاده کردند و ترکیب این روش را برای بررسی هدررفت خاک را مناسب بیان کردند. نصرتی و همکاران (۱۳۹۶) از روش ^{137}Cs برای تخمین نرخ فرسایش و رسوب و تأثیر تغییر کاربری (کشاورزی، مرتع و جنگل) در حوضه آبخیز زیارت استان گلستان استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاربری کشاورزی بیشترین میزان فرسایش و رسوب را در منطقه مورد مطالعه داشته است. آن‌ها اذعان داشتند که آگاهی از توزیع مجدد خاک ناشی از فرایندهای فرسایشی مختلف، یکی از ابزارهای مدیریتی در مدیریت فرسایش و رسوب حوضه آبخیز محسوب می‌شود و روش ^{137}Cs توانایی مناسبی برای بررسی توزیع مجدد خاک در این منطقه داشته است. متین‌فر و همکاران (۱۳۹۱) بررسی توانایی روش ^{137}Cs در برآورد فرسایش و رسوب در اراضی کشاورزی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش اندازه‌گیری ^{137}Cs می‌تواند به‌عنوان یک روش سریع و با دقت مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب به‌کار گرفته شود. نتایج این تحقیق در توافق با نتایج عباس‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) و ایوبی و همکاران (۲۰۱۲) رحیمی و همکاران (۲۰۱۳) بود. همچنین اسدی و همکاران (۱۳۹۰)، از روش ^{137}Cs برای برآورد فرسایش سطحی خاک استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از روش ^{137}Cs به‌عنوان یک روش فیزیکی از یک سو نیاز به کار صحرایی کمی داشته و از سوی دیگر دست‌یابی به نتایج مورد نظر در کمترین زمان امکان‌پذیر است. غریب‌رضا و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد تکنیک‌های رادیونوکلئیدها را به‌عنوان روشی قابل‌اعتماد در اندازه‌گیری برخی از اثرات جانبی جنگل‌زدایی

به‌خصوص در رسوبات لسی توصیه کرده‌اند. همچنین مطالعه حاضر اطلاعات کلیدی را برای کاربران اراضی و تصمیم‌گیرندگان در مورد اجرای اقدامات حفاظتی استراتژیک و پایدار برای احیا اراضی تخریب‌شده فراهم می‌کند. هنرجو و همکاران (۱۳۸۷) پیشنهاد کردند تعداد نمونه‌های بیشتر و در جهت‌های مختلف شیب برداشته شود تا برآورد دقیق‌تری از میزان فرسایش خاک با استفاده از روش ^{137}Cs بدست آید.

$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$: ردیاب بلند مدت توزیع مجدد خاک و رسوب‌گذاری در زمین‌نما

^{210}Pb یک رادیوایزوتوپ طبیعی با منشأ زمین‌شناسی (با نیمه عمر ۲۲/۳ سال) است که شامل بخشی از سری واپاشی اورانیوم است. این پدیده از طریق واپاشی ^{226}Ra صورت می‌گیرد که در بیشتر خاک‌ها و سنگ‌ها یافت می‌شود و همچنین در این پدیده ^{222}Rn گازی با نیمه عمر ۳/۸ روز نیز تولید می‌شود. ^{226}Ra بیشتر به ^{210}Pb در خاک واپاشی می‌شود و ^{210}Pb تولیدشده با منشأ خودشان ^{226}Ra در تعادل هستند. با این حال، برخی از ^{222}Rn گازی به درون اتمسفر پخش می‌شود و به‌سرعت ^{210}Pb تبدیل می‌شود، این ^{210}Pb به‌عنوان منبع ریزشی ذخیره می‌شود و از آنجایی که در تعادل با منشأ اصلی خودش (^{226}Ra) نیست، معمولاً ^{210}Pb اضافی ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) نامیده می‌شود تا از ^{210}Pb که در تعادل با منشأ خودشان ^{226}Ra است در خاک متمایز شود. برخلاف ^{137}Cs ، احتمال ریزش $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ با منشأ طبیعی در طول زمان ثابت است (خدادادی و همکاران ۱۳۹۳b؛ پورتو و همکاران، ۲۰۱۴؛ مسبورگر و همکاران، ۲۰۱۸؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ باسکاران و همکاران، ۲۰۲۰؛ سو و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به مطالب ذکر شده، هنگام استفاده از اندازه‌گیری‌های ^{210}Pb برای توزیع مجدد خاک، باید کل ^{210}Pb و ^{226}Ra تعیین شوند، همچنین $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ، برای محاسبه مقدار اضافی ^{210}Pb استفاده می‌شود. استفاده از طیف‌سنجی گاما، برای اندازه‌گیری

مشابه همان تعداد نمونه‌ها در مناطق فرسایش‌یافته باشد. این کار برای بهبود طرح‌های نمونه‌برداری و در نتیجه دقت برآورد فرسایش خاک حاصل از روش ^{137}Cs مفید خواهد بود. پورتو و همکاران (۲۰۱۴) مقایسه کارایی رادیونوکلیدهای ^{137}Cs و $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ با روش سنتی برای ارزیابی فرسایش شیاری-بین‌شیاری و فرسایش گالی را در ایتالیا انجام دادند. به دلیل نیمه عمر و منشأ متفاوت ^{137}Cs و $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ می‌توانند اطلاعاتی در مورد روند تخریب اراضی در بازه‌های زمانی مختلف ارائه دهند. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که اندازه‌گیری‌های ^{137}Cs و $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ را به عنوان یک مکمل بالقوه مهم برای اندازه‌گیری‌های سنتی در نظر گرفت.

علیزاده و علیپور (۱۳۹۰) از رادیونوکلیدهای ریزشی (^{137}Cs ، $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ، ^7Be) در جابه‌جایی ذرات خاک در لس‌های مراوه‌تپه استان گلستان استفاده کردند. نتایج ناشی از طیف‌سنجی در عرصه، حاکی از این است مقدار $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ هر چند با عدم قطعیت بالا، بسیار بالاست و در مناطقی که مقدار ^{137}Cs بسیار کم است، می‌توان از $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ به عنوان یک ردیاب مناسب در مطالعات فرسایش و رسوب خاک استفاده کرد. همچنین از رادیونوکلوئید ^7Be در موارد عدم وجود منطقه‌ی مرجع، جابه‌جایی خاک ناشی از تغییرات عملیات مختلف حفاظتی (انواع شخم، کاربری اراضی و رخدادهای ناگهانی) به‌راحتی توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل، می‌توان استفاده کرد. همچنین استفاده توأم رادیونوکلیدهای ریزشی در دو حالت در عرصه و آزمایشگاه، ابزار قدرتمند مدیریتی در جابه‌جایی ذرات خاک محسوب شده و در کوتاهترین زمان به نتایج مطلوب می‌توان رسید.

استفاده از اندازه‌گیری‌های $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ برای تعیین نرخ توزیع مجدد خاک در اراضی کشاورزی دارای همان برتری‌های کلی ^{137}Cs است. علاوه بر این برتری‌های بیشتری از جمله موارد زیر را شامل می‌شود:

^{210}Pb وقت‌گیر و مشکل است. پس از تیمارهای استاندارد و قبل از اندازه‌گیری ^{210}Pb ، نمونه‌های خاک باید در ظروف محکم (به عنوان مثال ظروف آلومینیومی) حداقل ۲۰ روز در آن نگهداری شوند تا از تعادل بین ^{226}Ra و ^{222}Rn اطمینان حاصل شود. فعالیت $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ در نمونه‌های خاک و رسوب با اندازه‌گیری هر دو ^{210}Pb و ^{226}Ra تعیین می‌شود. از آنجایی که ^{210}Pb در طیف ۴۶/۵ keV توسط یک آشکارساز کواکسیال ژرمانیوم نوع N با محدوده انرژی ۱۰ MeV - ۳ keV استفاده می‌شود. مقدار $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ با کم کردن ^{210}Pb در تعادل با ^{226}Ra از کل فعالیت ^{210}Pb تعیین می‌شود (زاپاتا، ۲۰۰۲). همچنین اگر نمونه‌های آنالیز شده چندین سال قبل جمع‌آوری شده باشد، در اثر فروپاشی رادیواکتیو، نیاز به تصحیح مقدار $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ است. به‌منظور تخمین نرخ توزیع مجدد خاک با روش $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ برای خاک‌های کشت‌شده، مدل توازن جرمی استفاده می‌شود (والینگ و هه، ۱۹۹۹b). همچنین مدل انتشار و مهاجرت استفاده‌شده برای ^{137}Cs در مناطق دست‌نخورده نیز با موفقیت برای اندازه‌گیری موجودی $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ در مناطق دست‌نخورده (به عنوان مثال مراتع) مورد استفاده قرار می‌گیرد (والینگ و همکاران، ۲۰۰۲).

خدادادی و همکاران (۱۳۹۳b) از دو رادیونوکلوئید ^{137}Cs و $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ برای تخمین میزان هدررفت خاک استفاده کردند. نتایج آن‌ها یک توافق کلی بین الگوهای توزیع مجدد خاک توسط این دو رادیونوکلوئید را در منطقه نشان داد. میزان بالای فرسایش تخمین‌زده شده با استفاده از $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ نسبت به ^{137}Cs بازتاب دوره‌ی زمانی بسیار طولانی‌تری است که توسط $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ برآورد شده است. زانگ و همکاران (۲۰۱۹) از روش زمین‌آمار برای بهبود نمونه‌برداری و ارزیابی فرسایش خاک توسط ^{137}Cs و $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ در مقیاس‌های کوچک استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند که برای اندازه‌گیری فرسایش به کمک تکنیک ^{137}Cs که فاصله‌ی حداقل ۱۰ متر بین نمونه‌ها مناسب است. همچنین پیشنهاد کردند که تعداد نمونه‌ها در مکان مرجع

بسیار بالا خاک را با فرونشست کم $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ کمتر منعکس کند (ماییت و همکاران، ۲۰۰۸؛ مسبورگر و همکاران، ۲۰۱۸؛ باسکاران و همکاران، ۲۰۲۰).

^7Be : یک ردیاب کوتاه‌مدت خاک

^7Be یک رادیونوکلئید طبیعی با منشأ کیهانی است که در جو فوقانی با پاشش پرتوی کیهانی ازت و اکسیژن تولید می‌شود (بلاک و همکاران، ۱۹۹۹). این رادیونوکلئید دارای نیمه عمر بسیار کمی (۵۳/۳ روز) نسبت به ^{137}Cs و ^{210}Pb است، در نتیجه پتانسیل بررسی فرایندهای فرسایش خاک که در بازه‌های زمانی کوتاه به‌ویژه طوفان یا باران‌های شدید رخ می‌دهند، فراهم می‌کند. این به نوبه خود می‌تواند فرصتی برای ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی یا عملیات خاک‌ورزی در فرسایش خاک را فراهم کند. ^7Be به‌طور کلی توسط چند میلی‌متر بالایی خاک به سرعت تثبیت می‌شود و به ندرت در عمق بیشتر از حدود سه سانتی‌متر یافت می‌شود. نیمه عمر کوتاه آن به این معنی است که مدت زمان کافی برای انتقال رادیونوکلئید به قسمت‌های عمیق‌تر خاک وجود ندارد؛ بنابراین اگر در قسمت‌های عمیق‌تر یافت شود، به‌طور کلی با حرکت رو به پایین ذرات خاک از طریق شکاف‌ها، فرایندهای زیستی و یا فرایندهای شخم و شیار مرتبط است (سپولودا و همکاران، ۲۰۰۸؛ ماییت و بلاک، ۲۰۱۹). فعالیت ^7Be را می‌توان در $477/6 \text{ keV}$ به آسانی با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیوم نوع P تعیین کرد. به‌طور کلی برای تبدیل موجودی‌های ^7Be به نرخ توزیع مجدد خاک، از مدل توزیع پروفیل روش ^{137}Cs استفاده می‌شود (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳a؛ بلاک و همکاران، ۱۹۹۹).

نکات کلیدی استفاده از ^7Be برای ارزیابی توزیع مجدد خاک، شامل موارد زیر می‌شوند:

- استفاده از ^7Be برای بررسی نرخ توزیع مجدد خاک در کوتاه مدت شامل فرضیه‌های مهمی است، از جمله: (۱) ورودی ^7Be مرتبط با رویداد فرسایشی یکنواخت است و (۲) ^7Be موجود از قبل به‌طور یکنواخت

(۱) استفاده از اندازه‌گیری‌های $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ می‌تواند بازه زمانی مرتبط با اندازه‌گیری‌های ^{137}Cs را گسترش دهد و ارزیابی بلندمدت توزیع مجدد خاک (۱۰۰ سال) فراهم کند. (۲) روش ^{210}Pb را می‌توان در نیمکره جنوبی استفاده کرد، مکان‌هایی که موجودی ^{137}Cs برای اندازه‌گیری‌های دقیق خیلی کم هستند و همچنین در مناطقی که تحت تأثیر حادثه چرنوبیل قرار گرفتند و باعث شده ورودی‌های اضافی رادیوسزیم تفسیر اندازه‌گیری‌های این عنصر را پیچیده کند. (۳) ورودی ریزش ^{137}Cs ناشی از تسلیحات اتمی و موجودی ^{137}Cs به‌دلیل فروپاشی رادیواکتیو در حال کاهش است؛ بنابراین در آینده، استفاده از ^{137}Cs به‌ویژه در نیمکره جنوبی امکان‌پذیر نخواهد بود. از آنجا که ریزش $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ به‌طور پیوسته و متداوم است، استفاده از این رادیونوکلئید با این مشکلات روبرو نیست (ماییت و همکاران، ۲۰۰۸؛ علیزاده و علیپور، ۱۳۹۰؛ سو و همکاران، ۲۰۲۱).

کاستی‌های اصلی روش ^{210}Pb شامل موارد زیر است:

(۱) ^{210}Pb در $46/5 \text{ keV}$ آشکار می‌شود که خیلی نزدیک به حد پایین دامنه انرژی یک آشکارساز استاندارد است. در نتیجه برای اندازه‌گیری ^{210}Pb ، یک ردیاب حساس‌تر با برد انرژی از 3 keV تا 10 MeV نیاز است. (۲) علاوه‌براین، مشکلات به‌دست آوردن اندازه‌گیری دقیق ^{210}Pb نیز مطرح می‌شود و اندازه‌گیری ^{210}Pb با استفاده از طیف‌سنجی گاما با انرژی کم کار ساده‌ای نیست و به کارشناس آموزش‌دیده و باتجربه نیاز دارد. (۳) ورود منابع اضافی ^{222}Rn به اتمسفر ممکن است مشکلاتی را ایجاد کنند. ^{222}Rn و محصولات فروپاشی کوتاه‌مدت آن معمولاً در اتمسفر در مقادیر بسیار پایین‌تر از خاک موجود هستند. با این حال، افزایش فعالیت‌ها در مجاورت آتشفشان‌ها، چشمه‌های آب‌گرم و دیگر منابع گازی ناشی از مناطقی که دارای سنگ‌ها یا مواد معدنی حاوی مقادیر زیاد رادیوم، می‌تواند رخ دهد. (۴) در برخی از مناطق، مقدار $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ در خاک بسیار کم و حتی پایین‌تر از سطح ردیابی است و این محدودیت می‌تواند نرخ فرسایش

نمونه‌برداری باید با دقت برنامه‌ریزی شود تا اهداف مطالعه را منعکس کند (والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ مابیت و همکاران، ۲۰۰۸؛ مابیت و بلاک، ۲۰۱۹).

^7Be از اواخر دهه ۱۹۹۰ برای تخمین فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری خاک، مربوط به رخدادهای رگباری ناگهانی و شدید، در مقیاس پلات چند مترمربع تا مزارع چند هکتاری استفاده شده است (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳؛ اسکولر و همکاران، ۲۰۰۶). والینگ و همکاران (۱۹۹۹) پتانسیل استفاده ^{137}Cs و ^7Be برای تخمین میان‌مدت و کوتاه مدت فرسایش خاک در اراضی کشاورزی بررسی کردند. نتایج به دست آمده از این تحقیق، پتانسیل استفاده از اندازه‌گیری ^{137}Cs و ^7Be را در تحقیقات فرسایش خاک تأیید می‌کند. همچنین بیان کردند یکی از کاربردهای بالقوه اطلاعات مربوط به نرخ توزیع مجدد خاک ارائه‌شده توسط ^7Be می‌تواند برای اعتبارسنجی و کالیبراسیون مدل‌های فرسایش خاک ناشی از رخدادهای ناگهانی و دوره‌های کوتاه‌مدت استفاده شود. خدادادی و همکاران (۱۳۹۳ا) برای برآورد توزیع مجدد خاک در اراضی دیم استان کرمانشاه از رادیونوکلوئید ^7Be استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که مقدار زیاد فرسایش خالص در منطقه، حاکی از شرایط بحرانی منطقه مورد مطالعه و نیاز به انجام کارهای حفاظتی و مدیریتی ضروری است. همچنین نتایج این تحقیق پتانسیل استفاده از روش ^7Be برای تعیین مقدار توزیع مجدد خاک در دوره زمانی کوتاه‌مدت در منطقه نیمه‌خشک را تأیید نمود؛ اما در هر حال نیاز به بررسی بیشتر برای بررسی امکان اجرای روش در سایر نقاط با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. ویلسون و همکاران (۲۰۰۳) برای ارزیابی کوتاه‌مدت فرسایش خاک از رادیونوکلوئید ^7Be استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ^7Be ابزار جدیدی برای ارزیابی کمی‌سازی فرسایش خاک ناشی از رواناب و رخدادهای ناگهانی است.

در سراسر منطقه مورد بررسی توزیع می‌شود (بلاک و همکاران، ۱۹۹۹؛ مابیت و همکاران، ۲۰۰۸).

- از آنجا که ^7Be به راحتی توسط پوشش گیاهی سطحی و بخشی از آن با توجه به تراکم و ماهیت پوشش گیاهی توسط خاک جذب می‌شوند، استفاده از این رادیونوکلوئید برای بررسی نرخ توزیع مجدد خاک معمولاً به خاک‌های بدون پوشش محدود می‌شود (مابیت و همکاران، ۲۰۰۸؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳ا).

- روش‌های نمونه‌برداری و در دسترس بودن تجهیزات نمونه‌برداری مناسب می‌تواند یک محدودیت بالقوه مهم در استفاده از ^7Be در ارزیابی توزیع مجدد خاک باشد. همچنین نیاز به جمع‌آوری نمونه‌های خاک از اعماق کم دارد، زیرا ^7Be به لایه سطحی خاک محدود می‌شود. اگر نمونه‌ها در عمق مناسب جمع‌آوری نشود، موجودی کل ^7Be را شامل نمی‌شود. نمونه‌هایی با ضخامت حدود ۲ میلی‌متر اغلب مورد نیاز است. برای برآورده کردن این مورد واحد علوم خاک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی یک نمونه‌گیر اولیه FSIC^۱ برای این منظور تهیه کرده است (مابیت و همکاران، ۲۰۰۸).

- اگرچه نیمه عمر کوتاه ^7Be یک ویژگی مهم این رادیونوکلوئید است، اما می‌تواند یک محدودیت هم باشد؛ بنابراین توزیع مجدد خاک فقط در دوره‌های کوتاه قابل ثبت است. اگر دوره در نظر گرفته شده بیش از حد طولانی باشد، میزان فرسایش کل خاک در طول دوره ممکن است کمتر برآورد شود (سپولودا و همکاران، ۲۰۰۸؛ علیزاده و علیپور، ۱۳۹۰).

- اندازه‌گیری درجا روشی مؤثر برای به‌دست آوردن موجودی ^7Be از منطقه مورد مطالعه است که نیاز به روش‌های نمونه‌برداری وقت‌گیر و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی ندارد. با این حال، مطالعات انجام شده توسط یکی از نویسندگان نشان می‌دهد که زمان شمارش باید حداقل دو برابر بیشتر از زمان مورد نیاز برای ^{137}Cs باشد و این مورد ممکن است یک محدودیت مهم باشد.

^۱- Fine Soil Increment Collector

روندهای اخیر و آینده استفاده از رادیونوکلئیدها برای

بررسی فرسایش و توزیع مجدد خاک

در جدول (۱) مزایا و محدودیت‌های رادیونوکلئیدهای ^{137}Cs ، ^{210}Pb و ^7Be در تحقیقات فرسایش خاک به صورت خلاصه ارائه شده است. اگرچه در بسیاری از تحقیقات، یک رادیونوکلئید برای بررسی

انتخاب می‌شود، اما استفاده همزمان دو یا حتی سه رادیونوکلئید در بازه‌های زمانی مختلف، اطلاعات ارزشمندی در مورد تاریخچه فرسایش یک منطقه را ارائه می‌دهد. استفاده همزمان از رادیونوکلئیدهای ریزشی باید به عنوان پتانسیل قابل توجهی در آینده در نظر گرفته شود.

جدول ۱- مقایسه برتری‌ها و کاستی‌ها رادیونوکلئیدهای ^{137}Cs ، ^{210}Pb و ^7Be برای بررسی فرسایش و توزیع مجدد رسوب (ماییت و همکاران، ۲۰۰۸)

رادیونوکلئید	منشأ رادیونوکلئید	انتشار انرژی (keV)	نیمه عمر	مدت زمان	ارزیابی فرسایش	نمونه‌برداری	مساحت مورد مطالعه	تجهیزات مورد نیاز	اندازه‌گیری آزمایشگاهی	اندازه‌گیری درجا	تاریخ‌نگاری رسوب
^{137}Cs	مصنوعی	۶۶۲	۳۰/۲ سال	۵۰ سال	متوسط مدت ^۱	ساده	پلات تا حوضه آبخیز	آشکارساز ژمانیوم	آسان	آسان	ممکن
^{210}Pb	طبیعی زمین‌شناسی	۴۶/۵	۲۲/۳ سال	۱۰۰ سال	بلند مدت	ساده	پلات تا حوضه آبخیز	آشکارساز ژمانیوم با گسترده انرژی	خیلی سخت	محدود و غیرقابل اعتماد	ممکن
^7Be	طبیعی کیهانی	۴۷۷/۶	۵۳/۳ روز	≤ ۶ ماه	کوتاه مدت	به نمونه‌برداری مناسب افزایشی با عمق نیاز دارد	پلات تا مزرعه	آشکارساز ژمانیوم	آسان	حداقل دوبرابر زمان شمارش مورد نیاز توسط ^{137}Cs نیاز دارد. ^۲	ممکن ^۳

۱. در برخی از کشورهای اروپایی حادثه راکتور چرنوبیل ورودی اصلی ^{137}Cs به داخل زمین‌نما را فراهم کرد. در این مناطق می‌توان فرسایش خاک و توزیع مجدد آن را از سال ۱۹۸۶ تعیین کرد. این بازه زمانی حدود ۲۰ سال است که به‌طور قابل توجهی کوتاه‌تر از آن است که توسط تسلیحات هسته‌ای ارائه شده است.

۲. براساس بررسی اندازه‌گیری درجا که توسط آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای IAEA و CU در مارس و آگوست ۲۰۰۷ در حوزه آبخیز میتلباخ (اتریش) انجام شده است.

۳. آنالیز ^7Be همچنین می‌تواند اطلاعات مربوط به فرآیندهای رسوب‌گذاری اخیر و فصلی را ارائه دهد.

چندین موضوع مهم دیگر که با کاربرد رادیونوکلئید ریزشی مرتبط است و در حال حاضر توسط جامعه علمی نیز مورد توجه قرار گرفته و شامل موارد زیر است:

(۱) ایجاد درک بهتر از رفتار پس از ریزش رادیونوکلئید در خاک و محیط‌های مرتبط (به عنوان مثال قطع گیاهان، مکانیسم‌های جذب/دفع ترجیحی)، (۲) ارائه دستورالعمل‌های دقیق‌تر برای انتخاب مکان مرجع، (۳) کاربرد گسترده‌تر اندازه‌گیری‌های درجا برای ^7Be و ^{137}Cs ، (۴) بهبود مدل‌های تبدیل مورد استفاده برای تخمین میزان توزیع مجدد خاک، (۵) بررسی رابطه بین

فعالیت‌های رادیونوکلئیدهای ریزشی و شاخص‌های کیفیت خاک، (۶) استفاده از رادیونوکلئیدهای ریزشی به عنوان اثر انگشت در مطالعات ردیابی منبع رسوب، (۷) استفاده از درون‌یابی مکانی و ابزارهای زمین‌آمار برای کمک به برون‌یابی مکانی و نقشه‌برداری نتایج در مقیاس‌های مختلف، (۸) کاربرد استفاده از رادیونوکلئیدها و پذیرفتاری مغناطیسی در بررسی توزیع مجدد خاک، (۹) بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر توزیع مجدد خاک توسط رادیونوکلئیدها (عباس زاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ ایوبی و همکاران، ۲۰۱۲؛ بازشوستری و همکاران، ۲۰۱۶؛ رحیمی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ولاسکو و همکاران، ۲۰۱۸؛

پورتو و همکاران، ۲۰۱۶؛ عباسی و میراختیاری، ۲۰۱۹؛ هولیکا و همکاران، ۲۰۲۰؛ دینگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ نصرتی و همکاران، ۲۰۱۵؛ غریب رضا و همکاران، ۲۰۲۰؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳b؛ بابانژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ سو و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از اصلی‌ترین نیازها برای توسعه بیشتر کاربرد رادیونوکلئیدهای ریزشی در مطالعه خاک و توزیع مجدد رسوب در حوضه‌های آبخیز است که تا به امروز بیشتر مطالعات در مقیاس مزارع انجام شده است. گام مهم بعدی که تاکنون فقط توسط محدود محققان با استفاده از رادیونوکلئیدهای ریزشی صورت گرفته است، ارزیابی تأثیر فعالیت کشاورزی بر فرسایش و توزیع مجدد خاک از مقیاس مزرعه به حوضه آبخیز است. این امر به استراتژی‌ها و روش‌های مختلف نمونه‌برداری نیاز دارد. با این حال، این روش باید در طیف وسیعی از شرایط محیطی مختلف (آب و هوا، خاک، توپوگرافی و سیستم‌های کشت) بیشتر توسعه یابد و اعتبارسنجی شود (ماییت و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین اگر تعداد رادیونوکلئیدهای ریزشی بیشتری و در مقیاس بزرگ‌تر مورد استفاده قرار بگیرند و مستقیماً در تصمیم‌گیری مشارکت داشته باشند، چالش مهم دیگر، ترویج انتقال کاربرد آن‌ها از روش‌های تحقیقی به ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری و استفاده از آن‌ها به‌عنوان شاخص کلیدی کیفیت خاک خواهد بود.

مقایسه تکنیک رادیونوکلئیدهای ریزشی با سایر روش‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک

داده‌های مورد نیاز در روش رادیونوکلئیدهای ریزشی در مقایسه با روش‌های دیگر، با سهولت بیشتری قابل حصول می‌باشند؛ که این برتری در پژوهش سیدعلیپور و همکاران (۱۳۹۳) کاملاً مشهود است. در این پژوهش از دو مدل ^{137}Cs و RUSLE-3D برای اندازه‌گیری فرسایش خاک در نهشته‌های لسی شمال شرق ایران استفاده شد. با توجه به نبود داده‌های مشاهداتی در

منطقه، نتایج آن‌ها دقت بالای روش ^{137}Cs در اندازه‌گیری میزان فرسایش را تأیید کرد. همچنین نتایج ناشی از مقایسه روش ^{137}Cs با مدل RUSLE-3D دارای همبستگی پایینی بود که عدم تناسب مدل را برای نهشته‌های لسی نشان می‌دهد. یوسف کلافی (۱۳۷۳) فرسایش سطحی را در مراتع با استفاده روش سزیم ^{137}Cs اندازه‌گیری کرد و نتایج را با مدل USLE مقایسه نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش ^{137}Cs نسبت به مدل معادله جهانی فرسایش به سهولت و دقت قابل قبولی می‌تواند فرسایش سطحی را روی یک سطح شیب‌دار محاسبه نماید. همچنین خواجوی و همکاران (۱۳۹۴) هدررفت خاک را با دو روش پلات‌های آزمایشی و روش ^{137}Cs مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نسبت‌های تغییر فرسایش و هدررفت خاک بین دو روش، از چند برابر تا چند صد برابر، در کاربری‌های مختلف (جنگل، مرتع و دیم) متغیر است و تفاوت‌های بنیادی بین دو روش از دلایل اصلی بروز چنین اختلافاتی است. در این پژوهش کمی آمار و اطلاعات موجود از فرسایش و هدررفت خاک، عدم بررسی شرایط طبیعی مانند فرسایش‌های رودخانه‌ای، خندقی و لغزش در روش‌های ^{137}Cs و پلات‌های آزمایشی و عدم بررسی میزان تأثیر تغییر مقیاس‌های مکانی و زمانی در ارقام موجود را از مهم‌ترین محدودیت‌های مربوط به این پژوهش بیان کردند. کلهر (۱۳۷۷) به‌منظور برآورد فرسایش و رسوب، مقایسه دو روش ^{137}Cs و مدل USLE را در حوزه آبخیز ریمله (لرستان) انجام دادند و بین دو روش همبستگی بالایی در سطح پنج درصد مشاهده کردند. همچنین نتایج تحقیق فنگ و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که میزان فرسایش خاک بدست‌آمده از مدل سزیم ^{137}Cs در توافق با مدل USLE بود.

نتایج مطالعه آلونسا و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که نرخ فرسایش خالص با روش ^{137}Cs مشابه معادله USLE است. اگرچه مقاله ارائه‌شده نتیجه یک تحقیق آزمایشی در تعیین میزان فرسایش با استفاده از تکنیک

کردند که روش ^{137}Cs اطلاعات ارزشمندی را در مورد هدررفت خاک فراهم کرده است، اما باید در جمع‌آوری نمونه‌های مرجع و استفاده از مدل تبدیل احتیاط شود.

نتیجه‌گیری

استفاده روزافزون رادیونوکلیدهای ریزشی برای بررسی فرسایش و توزیع مجدد خاک در طیف وسیعی از اراضی کشاورزی قابلیت و پتانسیل این روش را تأیید می‌کند. علاوه بر این، بسیاری از مطالعات انجام شده تا به امروز پایه‌ای برای شناسایی برتری‌ها و کاستی‌های احتمالی مرتبط با رادیونوکلیدهای ریزشی را فراهم کرده است. اگرچه مطالعات کاربرد ^{137}Cs و تا حدودی $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ بیشتر صورت گرفته، اما هنوز نیاز به کار بیشتر در ارتباط با استفاده ^7Be ، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان وجود دارد. ^7Be پتانسیل خوبی در ارزیابی فرسایش و توزیع مجدد خاک در ارتباط با رویدادهای ناگهانی یا دوره‌های کوتاه‌مدت با بارندگی شدید، اثرات تغییر کاربری اراضی و اقدامات خاص برای حفاظت خاک را ارائه می‌دهد. با این حال، اندازه‌گیری رادیونوکلیدهای ریزشی توسط طیف‌سنجی گاما با آشکارساز ژرمانیوم، به‌ویژه در مورد $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ، به پرسنل ماهر و سیستم‌های تضمین کیفیت تحلیلی مناسب، از جمله روش‌های عملیاتی استاندارد نیاز دارد. انتخاب و کاربرد رادیونوکلیدهای ریزشی خاص برای بررسی فرسایش و توزیع مجدد خاک باید منعکس‌کننده اهداف کاربر، برتری‌ها و کاستی‌های هر روش و در دسترس بودن منابع انسانی و آزمایشگاهی باشد. نیاز به افزایش استفاده از رادیونوکلیدهای ریزشی از مقیاس مزرعه به حوضه آبخیز، استفاده از ابزارهای اضافی (به عنوان مثال GIS، سیستم‌های موقعیت‌یابی جهانی (GPS) و زمین‌آمار) را برای کمک به تفسیر پیچیدگی مکانی زمین‌نما ضروری می‌کند. همچنین بیشتر به ترکیب رادیونوکلیدهای ریزشی با روش‌های مرسوم توجه شود زیرا روش رادیونوکلیدهای ریزشی پتانسیل قابل توجهی دارند که هنوز به‌طور کامل مورد بهره‌برداری

^{137}Cs است، اما اعتقاد بر این است که کار میدانی بیشتر و بهبود روش‌های آزمایشگاهی می‌تواند این روش را به یک ابزار قدرتمند مدیریت اراضی در مناطق بزرگ‌تر تبدیل کند. ایوانز و همکاران (۲۰۱۷) روش مرسوم اندازه‌گیری فرسایش خاک و تکنیک ^{137}Cs را در اراضی کشاورزی و مرتعی در انگلیس را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان فرسایش با استفاده از تکنیک ^{137}Cs نسبت به روش مرسوم بیشتر برآورد شده است. همچنین برآورد فرسایش خاک مبتنی بر روش تکنیک ^{137}Cs در این منطقه تنها میزان فرسایش آبی را منعکس نمی‌کند، اما در عوض، مجموعه‌ای از فرآیندهای انتقالی مختلف، از جمله: انتقال ناشی از خاک‌ورزی، از دست دادن خاک مرتبط با برداشت محصول، رواناب‌های حاوی ذرات خاک و فرسایش بادی شامل می‌شود. مقایسه‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد که مدل‌های تبدیل باید با دقت بیشتری براساس ارزیابی دقیق مبتنی بر مشاهدات صحرائی و جمع‌آوری داده‌ها برای فرآیندهایی مانند فرسایش ناشی از خاک‌ورزی و برداشت محصول کالیبره شوند. در پژوهش مارتینز و همکاران (۲۰۰۹) مدل RUSLE به‌طور قابل توجهی نرخ فرسایش خاک را در این مطالعه بیش از حد تخمین زده بود و نرخ فرسایش به‌دست آمده از دو مدل SIBERIA و ^{137}Cs مشابه هم بودند. همچنین نتایج این مطالعه محدودیت‌های مربوط به استفاده از مدل‌های تبدیل نظری ^{137}Cs را در محیط‌هایی که برای آن‌ها مناسب نیست نشان داد.

لی و همکاران (۲۰۲۱) از دو روش ^{137}Cs و پلات‌های فرسایشی برای تخمین میزان هدررفت خاک در چین استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان هدررفت خاک خاک‌های زیر کشت حاصل از هر دو روش به‌طور قابل توجهی بالاتر از خاک‌های بدون کشت بود. اختلافاتی بین میزان هدررفت خاک حاصل از ^{137}Cs و پلات‌های فرسایشی وجود دارد که به دلیل فرآیندهای مختلف فرسایش و مقیاس‌های مکانی-زمانی که این دو روش بر روی آن‌ها تمرکز کرده‌اند است. همچنین بیان

رسوبگذاری خاک است. همچنین با بررسی میزان هدررفت خاک با استفاده از این فناوری امکان مدیریت مناسب و بهینه از اراضی و حفظ منابع خاک و آب برای آیندگان فراهم می‌شود.

قرار نگرفته است. با توجه به میزان زیاد فرسایش خاک در کشور ایران، به دست آوردن اطلاعات کمی معتبر از سرعت و وسعت فرسایش خاک یک امر ضروری است. فناوری رادیونوکلیدهای ریزشی روش صلح‌آمیز هسته‌ای مناسب، سریع و دقیق برای ارزیابی میزان فرسایش و

فهرست منابع

۱. اسدی، ت؛ شاهوئی، س.ص؛ اسدی، م و شهسوار، ا.م. ۱۳۹۰. کاربرد روش سزیم-۱۳۷ به منظور برآورد فرسایش و رسوب در خاک‌های حوزه آبخیز طاسران کبودرآهنگ. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۳، شماره ۲. صفحه ۹۴-۱۰۱.
۲. بابانژاد، ن؛ کیانی، ف؛ خرمالی، ف؛ ایزدپناه، ع و اصغریزاده؛ ف. ۱۳۹۷. امکان‌سنجی استفاده از رادیونوکلئید سزیم-۱۳۷ در تخمین فرسایش خاک‌های حوزه آبخیز شصت کلا استان گلستان. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد هشتم، شماره دوم. صفحه ۱۴۷-۱۳۳.
۳. خدادادی، م؛ گرجی، م؛ قنادی مراغه، م؛ بهرامی سامانی، ع؛ میرسید حسینی، ح؛ زاهدی امیری، ق و مفتاحی، م. ۱۳۹۳a. استفاده از رادیونوکلئید بریلیم-۷ در برآورد توزیع مجدد خاک در زمین‌های دیم استان کرمانشاه. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد چهارم، شماره چهارم. صفحه ۱۴۸-۱۲۷.
۴. خدادادی، م؛ گرجی، م؛ قنادی مراغه، م؛ بهرامی سامانی، ع؛ میرسید حسینی، ح؛ مفتاحی، م و زاهدی امیری، ق. ۱۳۹۳b. ارزیابی اولیه‌ی امکان استفاده از رادیونوکلید سرب-۲۱۰ اضافی در برآورد توزیع مجدد خاک در اراضی دیم منطقه‌ی کوهین. مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای. جلد ۷۰. صفحه ۶۳-۵۳.
۵. خواجوی، ا؛ عربخدری، م؛ مهدیان، م.ح؛ شادفر، ص. ۱۳۹۴. بررسی مقادیر فرسایش و تلفات خاک در سطح کشور با استفاده از ارقام اندازه‌گیری‌شده روش سزیم ۱۳۷ و پلات‌های آزمایشی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز جلد ۶، شماره ۱۱. صفحه ۱۵۱-۱۳۷.
۶. سیدعلیپور، ح؛ فیض نیا، س؛ احمدی، ح؛ زارع، م.ر؛ حسینعلی‌زاده، م. ۱۳۹۳. مقایسه فرسایش خاک به روش سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE-3D در نهشته‌های لسی شمال شرق ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آق‌امام). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۵. صفحه ۴۸-۲۸.
۷. علیزاده، ح و علیپور، س.ح. ۱۳۹۰. کاربرد رادیونوکلئیدهای ریزشی (^{7}Be ، ^{210}Pb ، ^{137}Cs) در جابه‌جایی ذرات خاک در لس‌های مراوه‌تپه استان گلستان. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. جلد دوم، شماره هفتم. صفحه ۸۳-۱۰۱.
۸. کلهر، م. ۱۳۷۷. مقایسه دو روش سزیم ۱۳۷- و مدل جهانی تلفات خاک (USLE) به منظور برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز ریمله (لرستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.
۹. نصرتی ک، جلالی س، زارع م. ر. و شیرزادی ل. ۱۳۹۶. برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز زیارت‌گران با استفاده از سزیم ۱۳۷. محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۳، شماره ۲، صفحات: ۱۱۸-۱۰۹.

۱۰. هنرجو، ن؛ علی محمدی، ع؛ چرخابی، ا.ح؛ محمودی، ش؛ جلالیان ۱۳۸۷.ا. مطالعه تاثیرات واحدهای ژئومورفولوژی در میزان فرسایش و رسوب به کمک سزیم رادیواکتیو در یک لنداسکیپ حوضه آبخیز گرگک. مجله علمی کشاورزی، جلد ۳۱، شماره ۲، صفحه ۹۹-۱۰۹.
۱۱. یوسف کلافی، س. ۱۳۷۳. استفاده از سزیم -۱۳۷ در اندازه گیری فرسایش سطحی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
12. Abbasi, A., and F. Mirekhtariy. 2019. ^{137}Cs and ^{40}K concentration ratios (CRs) in annual and perennial plants in the Caspian coast. *Marine Pollution Bulletin*. 146: 671-677.
13. Abbaszadeh, F., S. Ayoubi. and A. Jalalian. 2010. Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using ^{137}Cs technique in a cultivated complex hillslope in western Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 101: 606-614.
14. Alonso, J., Audicio, P., Martinez, L., Scavone, M., Rezzano, E. 2012. Comparison of measured Cs-137 data and USLE/RUSLE simulated long term erosion rates. *Agrociencia Uruguay*. 261-267.
15. Ayoubi, S., M. Ahmadi. M.R. Abdi. and F. Abbaszadeh Afshar. 2012. Relationships of ^{137}Cs inventory with magnetic measures of calcareous soils of hilly region in Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 112: 45-51.
16. Baskaran, M., R. Mudbidre and L. Schweitzer. 2020. Quantification of Po-210 and Pb-210 as tracer of sediment resuspension rate in a shallow riverine system: Case study from southeast Michigan, USA. *Journal of Environmental Radioactivity*. 222: 106339.
17. Bazshoushtari, N., S. Ayoubi and M. R. Abdi. 2016. Variability of ^{137}Cs inventory at a reference site in west-central Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 165: 86-92.
18. Blake, W. D.E. Walling, and Q. He 1999. Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations. *Applied Radiation and Isotopes*. 51 (5): 599-605.
19. Ding, Z., Z. Zhang, Y. Li, L. Zhang and K. Zhang. 2020. Characteristics of magnetic susceptibility on cropland and pastureland slopes in an area influenced by both wind and water erosion and implications for soil redistribution patterns. *Soil and Tillage Research*. 199:104568.
20. Evans, R., A.L.Collins, Y. Zhang, I.D.L.Foster, J.Boardmane, H. Sint, M.R.F Lee and B.A. Griffith. 2017. A comparison of conventional and ^{137}Cs -based estimates of soil erosion rates on arable and grassland across lowland England and Wales. *Earth-Science Reviews*. 173: 49-64.
21. Feng, T., Chen, H., Polyakov, V.O., Wang, K., Zhang, X., Zhang, W. 2016. Soil erosion rates in two karst peak-cluster depression basins of northwest Guangxi, China: Comparison of the RUSLE model with ^{137}Cs measurements. *Geomorphology*, 253: 217-224.
22. Gharibreza, M.R., M. Zaman, P. Porto, E. Fulajtar, L. Parsaei and H. Eisaei. 2020. Assessment of deforestation impact on soil erosion in loess formation using ^{137}Cs method (case study: Golestan Province, Iran). *International Soil and Water Conservation Research*. 8(4): 393-405.
23. He, Q. and D.E. Walling. 2000. Calibration of a field-portable gamma detector to obtain in situ measurements of the ^{137}Cs inventories of cultivated soils and floodplain sediments. *Applied Radiation and Isotopes*. 52: 865-872.
24. Holiaka, D., V. Yoschenko, S. Levchuk, and V. Kashparov. 2020. Distributions of ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentrations in trunk of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Chernobyl zone. *Journal of Environmental Radioactivity*. 222: 106319.
25. Li, Y., Wang, Z., Zhao, J., Lin, Y., Tang, G., Tao, Z., Gao, Q., Chen, A. 2021. Characterizing soil losses in China using data of ^{137}Cs inventories and erosion plots. *Catena*. 203: 105296.
26. Mabit, L. and W. Blake. 2019. Assessing Recent Soil Erosion Rates through the Use of Beryllium-7 (Be-7). Springer.

27. Mabit, L., A. Toloza, and A. Nirschl 2008a. Development of a fine soil increment collector (FSIC) to solve the main limitation of the use of ^7Be as soil tracer. In: IAEA-Soils Newsletter, vol. 30(2), Laboratory Activities-Research, pp. 21–22.
28. Mabit, L., C. Bernard, and M.R. Laverdie`re. 2002. Quantification of soil redistribution and sediment budget in a Canadian watershed from fallout caesium-137 (^{137}Cs) data. *Canadian Journal of Soil Science*. 82 (4): 423–431.
29. Mabit, L., C. Bernard, and M.R. Laverdie`re. 2007. Assessment of erosion in the Boyer River watershed (Canada) using a GIS oriented sampling strategy and ^{137}Cs measurements. *Catena*. 71 (2): 242–249.
30. Mabit, L., C. Bernard, M. Makhlof, M.R. Laverdie`re. 2008b. spatial variability of erosion and soil organic matter content estimated from ^{137}Cs measurements and geostatistics. *Geoderma*. 145 (3–4): 245–251.
31. Martinez, C., Hancock, G.R., Kalma, J.D. 2009. Comparison of fallout radionuclide (caesium-137) and modelling approaches for the assessment of soil erosion rates for an uncultivated site in south-eastern Australia. *Geoderma*. 151: 128–140.
32. Meusburger, K., P. Porto, L. Mabit, C. La Spada, L. Arata and C. Alewell. 2018. Excess Lead-210 and Plutonium-239+240: Two suitable radiogenic soil erosion tracers for mountain grassland sites. *Environmental Research*. 160: 195-202.
33. Morgan, R.P.C., 2005. *Soil Erosion and Conservation*, third ed. Blackwells, 314 pp.
34. Nosrati, K., A. Haddadchi, M. R. Zare and L. Shirzadi. 2015. An evaluation of the role of hillslope components and land use in soil erosion using ^{137}Cs inventory and soil organic carbon stock. *Geoderma*. 243–244: 29-40.
35. Porto, P., D.E. Walling, C. La Spada, and G. Callegari. 2016. Validating the Use of ^{137}Cs measurements to derive the slope component of the sediment budget of a small rangeland catchment in southern Italy. *Land Degradation and Development*. 27: 798-810.
36. Porto, P., D.E. Walling and A. Capra. 2014. Using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ measurements and conventional surveys to investigate the relative contributions of interrill/rill and gully erosion to soil loss from a small cultivated catchment in Sicily. *Soil and Tillage Research*. 135: 18-27.
37. Putyrskaya, V., E. Klemt, S. Röllin, J.A. Corcho-Alvarado, and H. Sahli. 2020. Dating of recent sediments from Lago Maggiore and Lago di Lugano (Switzerland/Italy) using ^{137}Cs and ^{210}Pb . *Journal of Environmental Radioactivity*. 212: 106135.
38. Rahimi, M.R., S. Ayoubi, and M.R. Abdi. 2013. Magnetic susceptibility and Cs-137 inventory variability as influenced by land use change and slope positions in a hilly, semiarid region of west-central Iran. *Journal Applied Geophysics*. 89: 68–75.
39. Ritchie, J.C. and C.A. Ritchie. 2007. Bibliography of publications of ^{137}Cs studies related to erosion and sediment deposition. <http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=15237>.
40. Schuller, P., A. Iroume', D.E., Walling, B., Mancilla, A. Castillo, and R.E. Trumper. 2006. Use of beryllium-7 to document soil redistribution following forest harvest operations. *Journal of Environmental Quality*. 35: 1756–1763.
41. Sepulveda, A., P. Schuller, D.E. Walling, and A. Castillo. 2008. Use of ^7Be to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall. *Journal of Environmental Radioactivity*. 99 (1): 35–49.
42. Su, Z., T. Zhou, X. Zhang, X. Wang, J. Wang, M. Zhou, J. Zhang, Z. He and R. Zhang. 2021. A Preliminary Study of the Impacts of Shelter Forest on Soil Erosion in Cultivated Land: Evidence from integrated ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ Measurements. *Soil and Tillage Research*. 206: 104843.
43. Velasco, H., R. Torres Astorgaa, D. Joseph, J.S. Antoineb, L. Mabitd, A. Tolozad, G. Dercond and E. Wallinge. 2018. Adapting the Caesium-137 technique to document soil redistribution rates associated with traditional cultivation practices in Haiti. *Journal of Environmental Radioactivity*. 183: 7–16.
44. Wallbrink, P.J., D.E. Walling, and Q. He. 2002. Radionuclide measurements using HpGe gamma spectrometry. In: Zapata, F. (Ed.), *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides*. Kluwer, Dordrecht, pp. 67–96.

45. Walling, D.E. 2002. Recent advances in the use of environmental radionuclides in soil erosion investigations. IAEA C&S Papers Series 11/C. In: Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Management. IAEA, Vienna, pp. 279–301.
46. Walling, D.E. 2012. Fallout Radionuclides and the Study of Erosion and Sedimentation. P: 3705-3768. In R.A. Meyers (ed). Springer, New York, NY.
47. Walling, D.E. and Q. He. 1997. Use of fallout ^{137}Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains. *Catena*. 29: 263–282.
48. Walling, D.E. and Q. He. 1999a. Improved models for estimating soil erosion rates from ^{137}Cs measurements. *Journal of Environmental Quality*. 28: 611–622.
49. Walling, D.E. and Q. He. 1999b. Using fallout Lead-210 measurements to estimate soil erosion in cultivated land. *Soil Science Society of America Journal*. 63: 1404–1412.
50. Walling, D.E., A.L. Collins, P.A. Jones, G.J.L. Leeks, and G. Old. 2006. Establishing finegrained sediment budgets for the Pang and Lambourn LOCAR catchments, UK. *Journal of Hydrology*. 330 (1–2): 126–141.
51. Walling, D.E., Q. He, and P.G. Appleby. 2002. Conversion models for use in soil-erosion, soil-redistribution and sedimentation investigations. In: Zapata, F. (Ed.), *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation using Environmental Radionuclides*. Kluwer Ac. Publ., Dordrecht, The Netherlands, pp. 111–164 (Chapter 7).
52. Walling, D.E., Q. He, and W. Blake. 1999. Use of ^7Be and ^{137}Cs measurements to document short-and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land. *Water Resources Research*. 35 (12): 3865–3874.
53. Wilson, C., G. Matisoff, and P. Whiting. 2003. Short-term erosion rates from a ^7Be inventory balance. *Earth Surface Processes and Landforms*. 28: 967–977.
54. Zapata, F. 2002. *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation using Environmental Radionuclides*. Kluwer Ac. Publ., Dordrecht, The Netherlands, 219 p.
55. Zhang, X.C., V.O. Polyakov, B.Y. Liu and M.A. Nearing. 2019. Quantifying geostatistical properties of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ at small scales for improving sampling design and soil erosion estimation. *Geoderma*. 334: 155-164.

تجزیه و تحلیل زمین‌نما با استفاده از تخمین گر کریجینگ (مطالعه‌ی موردی: هرمزآباد رفسنجان، استان کرمان)

علیرضا اوجی^۱، امیر اسلامی و عیسی اسفندیارپور بروجنی

دکتری خاکشناسی و کارشناس خاک سازمان جهاد کشاورزی فارس. claymineral_84@yahoo.com

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و مدیر آب‌و خاک سازمان جهاد کشاورزی.

amireslami.50@gmail.com

دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. esfandiarpoor@vru.ac.ir

دریافت: آذر ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

زمین‌نماها یکی از عوارض طبیعی سطح زمین هستند و به‌عنوان یک ویژگی خاص مورفولوژیکی در سطح زمین محسوب می‌شود که از مقیاس‌های بزرگ (مثل دشت‌ها و کوه‌ها) تا مقیاس‌های کوچک‌تر (مثل تپه‌های کوچک) را شامل می‌شود. یکی از کاربردهای زمین‌آمار تعیین مرز واحدهای فیزیوگرافی بوده که در این پژوهش با استفاده از تخمین گر کریجینگ معمولی منطقه‌ی هرمزآباد رفسنجان مورد مطالعه قرار گرفته است. به همین منظور، موقعیت ۷۷ نقطه‌ی مشاهداتی در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم با فاصله‌ی ۵۰۰ متر مشخص و از عمق‌های صفر تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری انجام شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مشابه با دیگر مطالعات و بر اساس شاخص درصد کارایی مدل، کریجینگ معمولی به‌عنوان تخمین‌گری مناسب در پهنه‌بندی ویژگی‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه بوده است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه زمین‌آمار، فاصله‌ی نمونه‌برداری ۱۸۰۰ متر به‌عنوان معیاری برای مطالعات آینده در این منطقه بدست آمد. همچنین مقایسه‌ی نقشه‌های کریجینگ و توپوگرافی منطقه، حاکی از آن بود که تخمین گر کریجینگ، وجود واحدهای فیزیوگرافی در زمین‌نمای منطقه‌ی مطالعاتی را بهتر نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، به‌واسطه‌ی وجود روند بلند دامنه در فواصل بیش‌تر از حدود ۱۸۰۰ متری در تغییر نمای خصوصیات خاکی بررسی شده کریجینگ مرز موجود میان واحدهای فیزیوگرافی را با دقت بالاتری نسبت به نقشه‌های توپوگرافی جدا می‌نماید. از این رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات خاکشناسی تفصیلی دقیق و تفصیلی که به نقشه‌ها و اطلاعات دقیق‌تری نیاز می‌باشد از زمین‌آمار استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، زمین‌نما، مطالعات خاکشناسی، واحد فیزیوگرافی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: کارشناس خاک سازمان جهاد کشاورزی فارس.

مقدمه

خاک، یک منبع کلیدی و به‌عنوان کنترل‌کننده چرخه‌های ژئوشیمیایی، آب و موجودات زنده محسوب می‌شود (برویک و همکاران، ۲۰۱۵) و خدماتی را ارائه می‌دهد که برای یک زیست‌کره سالم و انسان ضروری است (تیمیس و روماس، ۲۰۲۱) و متأثر از فرایندهای خاکسازی تشکیل می‌شود. پستی و بلندی یکی از پنج عامل خاکسازی است که سبب ایجاد انرژی جنبشی و پتانسیل برای تغییر در سیستم خاک می‌شود (شواتزل و اندرسون، ۲۰۰۵). نقش توپوگرافی در پیدایش و تحول خاک اهمیت دارد و گاهی مجموعه شرایط ناشی از ویژگی‌ها و موقعیت زمین‌نما می‌تواند زمینه مناسب را برای تشکیل و تحول خاک‌ها فراهم آورد. با تغییر توپوگرافی، سرعت حرکت مواد و انرژی تغییر نموده و سبب تغییر آب نفوذی گردیده که این امر بر بسیاری از فرایندهای دیگر خاکسازی از جمله عمق تشکیل افق کلسیک (ینی، ۱۹۹۱)، افق آرجیلیک (خرمالی و ابطحی، ۲۰۰۳) میزان ماده آلی (ینی، ۱۹۹۱) و الگوی توزیع و نوع پوشش گیاهی (فانینگ و فانینگ، ۱۹۹۲) و غیره اثرگذار است. تومانیان و همکاران (۲۰۰۱)، در منطقه اصفهان نحوه تشکیل و تکامل خاک‌ها را در ارتباط با واحدهای فیزیوگرافی مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد که افق‌های گچی در ارتباط با سطوح ژئومورفیک از توالی تکاملی متفاوتی به لحاظ میکرومورفولوژی برخوردارند. بادیا و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعات خود با بررسی خاک‌های مختلف بیان داشتند که شدت خاکسازی تا حد زیادی وابسته به خصوصیات ژئومورفیک است و خصوصیات این سطوح باعث تغییر درجه هوادیدگی، میزان شستشوی املاح محلول خاک، مراحل و فرایندهای شست‌وشو و انتقال مواد، عمق تجمع املاح و نهایت عمق سولوم می‌شود. کاتنا (Catena) به زنجیری از خاک که روی یک زمین‌نما (Landscape) از بخش‌های مرتفع به سمت بخش‌های کم ارتفاع‌تر قرار دارند اطلاق می‌شود (فانینگ و فانینگ، ۱۹۹۲). از آنجایی که تغییر شرایط

پستی و بلندی سبب ایجاد خاک‌های با خصوصیات و ویژگی‌های متفاوت می‌شود، مطالعه رابطه بین خصوصیات خاک‌ها در امتداد یک شیب می‌تواند برای دستیابی به اثرات توپوگرافی و زهکشی بر ویژگی‌های خاک‌ها استفاده شود (شواتزل و اندرسون، ۲۰۰۵). زمین‌نما بیان‌گر بخش بزرگی از اراضی است که توسط تکرار انواع پستی و بلندی‌های مشابه یا مجموعه‌ای از انواع پستی و بلندی‌های غیرمشابه مشخص می‌شود (زینک، ۱۹۸۹). به دیگر سخن، زمین‌نما یک ویژگی خاص مورفولوژیکی در سطح زمین بوده که از مقیاس‌های بزرگ تا مقیاس‌های کوچک‌تر را شامل می‌شود (بلاژنسکی، ۱۹۹۷). در واقع، زمین‌نماها محدوده‌های بخش‌هایی از سطح زمین را معین می‌کنند و این امکان وجود دارد که حالت ناپیوسته داشته باشند و تمام سطح زمین را پوشش ندهند (ایوانز، ۲۰۱۲). سان و همکاران (۲۰۲۱) طی مطالعه‌ای بیان کردند که موقعیت و نوع زمین‌نما بر خصوصیات خاک و میزان کلروفیل مرکبات مؤثر بوده و بایستی در مطالعات در نظر گرفته شود. هارتمن و همکاران (۲۰۲۰) طی مطالعه‌ای تغییرات هیدرولوژی متأثر از تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک (از جمله شن، رس، سیلت و سنگریزه) با توجه به موقعیت زمین‌نما را نشان دادند.

الگو و موقعیت نسبی هر کدام از زمین‌نماها به‌طور مستقیم بر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی فعال در آن‌ها (مانند عادت‌های طبیعی گیاهان، پتانسیل فرسایش و تابش‌های خورشیدی) مؤثر است (بلاژنسکی، ۱۹۹۷). در نتیجه، تعیین موقعیت‌های مختلف زمین‌نما موضوعی است که می‌توان آن را با بهره‌گیری از ویژگی‌های توپوگرافیکی، ژئومورفولوژیکی و یا فیزیوگرافیکی هر زمین‌نما بررسی نمود. از آنجا که مشاهده و ترسیم واحدها متکی بر قابلیت‌های فردی و تجربی است، نمایش توزیع جغرافیایی خاک‌ها که بر مبنای تفکیک واحدهای نقشه بر روی عکس‌های هوایی و یا نقشه‌های توپوگرافی به همراه کنترل زمینی است، بدون

خطا نیست (النگار، ۲۰۰۷). در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزار و افزایش قدرت تجزیه و تحلیل داده‌ها، سمت و سوی جدیدی به روش‌های تجزیه و تحلیل زمین‌نماها و درک موقعیت‌های آن‌ها داده است (پیکه، ۱۹۹۹). نظر به این‌که مدل‌سازی آماری (آمار کلاسیک) موقعیت‌های نسبی زمین‌نماها چالش‌های جدیدی در رابطه با فهم خصوصیات سیستماتیک آن‌ها ایجاد نموده است (بیشاپ، ۲۰۰۹)؛ استفاده از زمین‌آمار (Geostatistics) به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر و پرکاربرد در رابطه با ارزیابی تغییرپذیری متغیرهای موجود در پهنه مطالعات منابع طبیعی (شور و همکاران، ۲۰۰۶)، می‌تواند در نظر گرفته شود. زمین‌آمار توانایی ارایه‌ی مجموعه‌ی وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیات مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده را دارد (بورگس، ۱۹۸۰؛ گوارتس، ۱۹۹۷؛ حسنی پاک، ۱۳۷۷) از جمله روش‌های میان‌یابی که در بسیاری از منابع به‌عنوان تخمین‌گری کارا معرفی شده است، کریجینگ (Kriging) است (عالمی و همکاران، ۱۹۸۸؛ محمدی، ۱۳۷۷؛ محمدی ۲۰۰۰، کراوچنکو، ۲۰۰۳؛ سکوتی اسکوتی و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمدزمانی و همکاران، ۱۳۸۶). استفاده از این روش، زمانی قوت می‌گیرد که مشخص شود خاک‌ها وابستگی شدیدی به موقعیت‌های مختلف زمین‌نما دارند (جرارد، ۱۹۹۲). ویژگی‌های مختلف خاک، دارای تغییرات زمانی و مکانی از مقیاس‌های کوچک تا بزرگ هستند که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (مانند فاکتورهای خاک‌سازی) و غیرذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک) قرار می‌گیرند (کوپن و ژانگ، ۲۰۰۲؛ گادوین و میلر، ۲۰۰۳)؛ از این رو شناخت این تغییرات، می‌تواند راه‌گشای تجزیه و تحلیل موقعیت‌های زمین‌نما و برنامه‌ریزی ویژه مکانی (Site-specific management) باشد. به‌عبارت دیگر، با توجه به این‌که عوامل خاک‌سازی در طول زمین‌نما به‌صورت پیوسته تغییر می‌کنند، خاک‌ها نیز از یک ماهیت

تغییرپذیری مکانی برخوردار بوده و به‌صورت پیوسته تغییر می‌کنند. با این وجود، تعیین مرز بین خاک‌های مختلف از دقت تقریبی برخوردار بوده و جز در موارد خاص که مرز بین واحدهای نقشه به‌راحتی قابل تشخیص است، محل خاصی برای مرز بین خاک‌ها نمی‌توان در نظر گرفت (بریج و همکاران، ۲۰۰۰). شانتزل و اندرسون (۲۰۰۵) طی مطالعه‌ای بیان داشته‌اند که تکامل و تشکیل خاک‌ها، به‌شدت ارتباط نزدیک و متقابلی با موقعیت زمین‌نمای منطقه‌ی آن خاک‌ها دارد. ایشان همچنین اعتقاد دارند که تغییرپذیری خاک، تابعی از موقعیت مکانی یا واحد فیزیوگرافیک خاک است که الگو و مقدار این تغییرات، به موقعیت استقرار خاک در زمین‌نما، نوع خاک و ویژگی‌های مختلف آن بستگی دارد.

نظر به اینکه هر نوع خاک در یک زمین‌نما موقعیت، وضعیت اکولوژیکی و تکاملی خود را داراست (مارکوس و مرکلی، ۲۰۰۷) و اثرپذیری نتایج مطالعات از واحدهای فیزیوگرافی؛ پژوهش حاضر می‌کوشد تا با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ و ترسیم نقشه‌های موضوعی (Thematic maps) متغیرهای خاک (شن، رس، ذرات درشت خاک)، مرز واحدهای فیزیوگرافی موجود در زمین‌نمای منطقه‌ی هرمزآباد رفسنجان را تخمین بزند و آن را با نقشه‌های توپوگرافی این منطقه مقایسه کند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

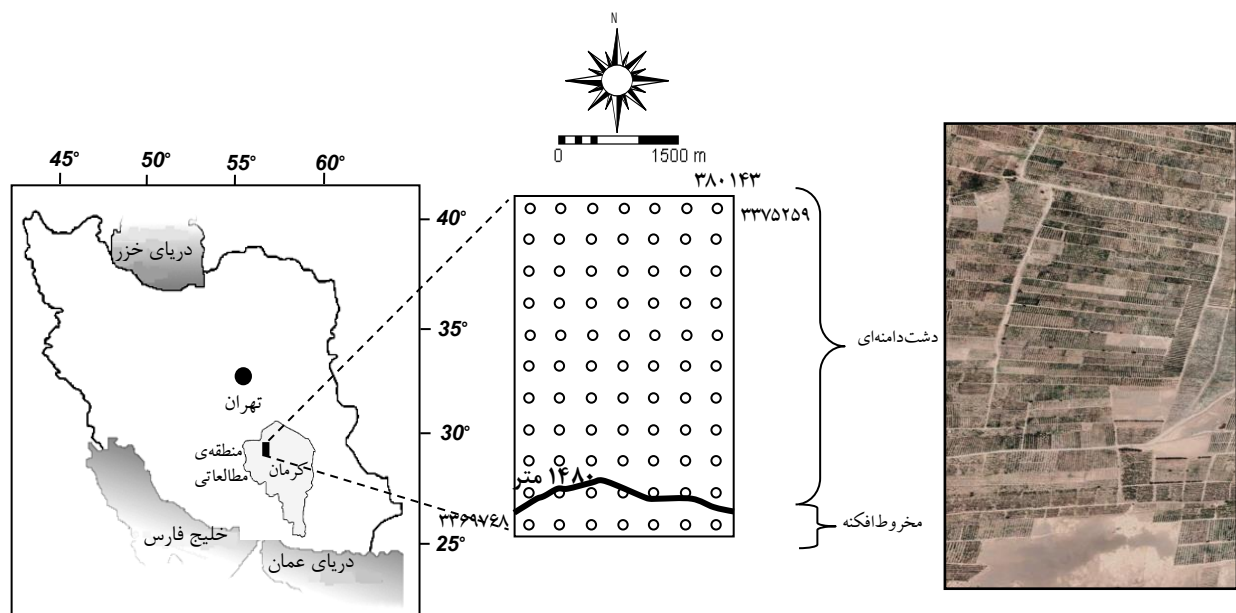
منطقه‌ی مطالعه شده با مساحتی نزدیک به ۱۵۰۰ هکتار، در بیست کیلومتری حومه‌ی غربی رفسنجان-هرمزآباد- واقع شده است. از منظر موقعیت جغرافیایی، این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی $43^{\circ} 7' 87''$ تا $55^{\circ} 58' 26''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $21^{\circ} 19' 27''$ تا $30^{\circ} 30' 47''$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۴۵۰ متر، متوسط بارندگی سالیانه‌ی آن، ۸۹ میلی‌متر و هم‌چنین،

روی محدوده‌ی مطالعاتی اعمال شد و بدین ترتیب، مختصات جغرافیایی ۷۷ نقطه‌ی مشاهداتی به‌دست آمد (شکل ۱). نظر به این‌که تراکم عمده‌ی ریشه‌ی درختان پسته‌ی بالغ در عمق‌های بیش از ۴۰ سانتی‌متری است (حسینی فرد و همکاران، ۲۰۱۰)، سه عمق صفر تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر تعیین و در هر نقطه، از هر سه عمق مزبور نمونه‌برداری انجام و پس از هواخشک نمودن نمونه‌ها و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، درصد ذرات درشت (ذرات بزرگ‌تر از دو میلی‌متر) با استفاده از الک و به روش حجمی و هم‌چنین درصد اجزای تشکیل‌دهنده‌ی بافت خاک (شن، سیلت و رس) با استفاده از روش هیدرومتر (جی و باودر، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد.

میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه، به‌ترتیب، ۵/۳ و ۳۱/۳ درجه‌ی سلسیوس است. منطقه‌ی هرمزآباد، از دو واحد فیزیوگرافی مخروط‌افکنه و دشت دامنه‌ای تشکیل شده است که واحد دوم، سهم عمده‌ی آن را تشکیل می‌دهد. مواد مادری منطقه، دارای منشأ آبرفتی هستند. پوشش گیاهی ناحیه‌ی مطالعه شده، درخت پسته، رقم غالب پسته در این منطقه، رقم اوحدی و سن درختان، به‌طور متوسط، ۳۰ سال است.

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

از آن‌جاکه روش نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم، معمول‌ترین شیوه در مطالعات زمین‌آماري است (وبستر و الیور، ۲۰۰۱)، شبکه‌ای منظم با ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر بر



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی به‌همراه ۷۷ نقطه‌ی مشاهداتی

محیط نرم‌افزاری SPSS ۱۹ محاسبه شدند. نخستین گام برای ورود به یک مطالعه‌ی زمین‌آماري، بررسی پیروی داده‌ها از توزیع نرمال است. هرچند تبعیت از توزیع نرمال شرط لازم نیست، اما در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال باشد، فرایند میان‌یابی از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود (وبستر و الیور، ۲۰۰۱). برای بررسی نرمال بودن یا

مطالعات زمین‌آماري

پیش از انجام هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، منظم کردن و سازمان‌دهی داده‌های اولیه و ارائه‌ی یک خلاصه‌ی آماری از توزیع داده‌ها ضروری است. آماره‌های توصیفی شامل میانگین، میانه، واریانس، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات (Coefficient of Variation; CV) در

(رابطه ۴) باشد؛ به عبارت دیگر، هر چه مقادیر این شاخص کوچک‌تر باشند، دقت روش مورد استفاده برای تخمین بیشتر است (محمدی، ۱۳۷۷). برای مدلسازی الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، مدل‌های تئوری بر تغییرنماهای تجربی به‌دست آمده برازش داده و شاخص‌های اعتبارسنجی مذکور برای تمام مدل‌ها محاسبه شد. پس از بررسی مقادیر به‌دست آمده، مدلی که کمترین مقدار ریشه میانگین مربع خطا را داشت، به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شد. پس از انتخاب بهترین مدل برازش شده، برای تخمین در نقاط نمونه‌برداری نشده و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی متغیرها از روش تخمین‌گر کریجینگ معمولی (Ordinary kriging) (گوارتس، ۱۹۹۷، اوجی و همکاران، ۲۰۱۴) به‌عنوان روشی پرکاربرد (وبستر و اولیور، ۲۰۰۱) در محیط نرم افزار (Surfer) نسخه‌ی هشت انجام شد.

برای بررسی صحت تحلیل کریجینگ از شاخص درصد کارایی مدل (Model Efficiency; EF) استفاده شد. بر این اساس هرچه درصد کارایی مدل به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد؛ تخمین‌های کریجینگ از صحت بیشتری برخوردار خواهند بود و چنان‌چه درصد کارایی مدل به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، بر قابلیت اعتماد بیشتر میانگین مقادیر واقعی نسبت به مقادیر تخمینی و نیز محدودیت‌های عمده‌ی مدل دلالت دارد (گرینوود و همکاران، ۱۹۹۷؛ ویسته سرانو و همکاران، ۲۰۰۳). رابطه این شاخص به‌صورت زیر است:

$$EF = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x'_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{x} + x_i)^2} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

که در این رابطه:

$\bar{x}$ میانگین مقادیر مشاهدات، x' مقادیر تخمینی، x مقادیر مشاهده‌شده و n تعداد مشاهدات می‌باشند.

نبودن توزیع فراوانی داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogrov-Smirnov test) استفاده شد. برای پهنه‌بندی متغیرهای یادشده در هر عمق، نخست مرحله‌ی واریوگرافی (Variography) با استفاده از نرم‌افزار (Variowin) نسخه‌ی ۲/۲ انجام شد. مرحله‌ی واریوگرافی، یک ابزار اساسی برای تخمین‌های زمین-آماري محسوب می‌شود که شامل سه زیرمرحله‌ی "بررسی همسان‌گردی یا ناهمسان‌گردی متغیرها"، "ترسیم تغییرنما" و "برازش مدل" است. یکی از مناسب‌ترین شیوه‌های مطالعه‌ی وضعیت همسان‌گردی یا ناهمسان‌گردی متغیرها ترسیم و بررسی تغییرنمای رویه‌ای^۱ است. از این رو، نخست تغییرنماهای رویه‌ای تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در عمق‌های سه‌گانه‌ی مطالعاتی ترسیم و سپس با توجه به ساختار تغییرپذیری موجود در آن‌ها، نوع تغییرنما (جهت‌دار یا همه‌جانبه) برای هر متغیر تعیین شد. به دیگر سخن، پس از بررسی همسان‌گردی یا ناهمسان‌گردی متغیرها، برای تشریح پیوستگی مکانی آن‌ها از تغییرنما که معمول‌ترین تابع زمین‌آماري محسوب می‌شود (وبستر و اولیور، ۲۰۰۱) استفاده شده.

تابع تغییرنما به‌صورت زیر است (وبستر و اولیور، ۲۰۰۱):

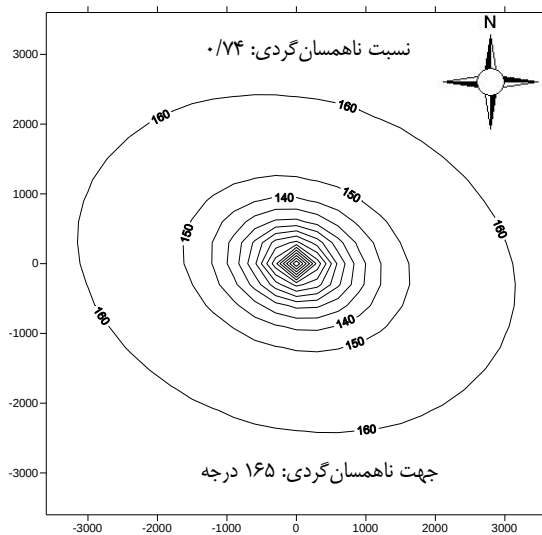
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (1)$$

که در این تابع:

$Z(x_i)$ بیان‌گر مقدار متغیر مورد نظر در موقعیت x ; $Z(x_i + h)$ مقدار متغیر مزبور در موقعیت $x+h$ و $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبه به ازای فاصله‌ی h است (وبستر و الیور، ۲۰۰۱؛ لی و هیپ، ۲۰۰۸). هم‌چنین در این مرحله، ضمن تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما و اجزای آن‌ها [دامنه (Range)، حد آستانه (Sill) و اثر قطعه‌ای (Nugget effect)]، مدل‌های نظری کروی، خطی، گوسین و نمایی بر داده‌های نیم‌تغییرنمای تجربی برازش داده شد. یک تخمین‌گر خوب تا حد ممکن باید دارای، کمترین مقدار عددی ریشه میانگین مربع خطا

^۱ - Variogram surface

نتایج و بحث



شکل ۲- خطوط هم‌مقدار تغییرنمای رویه‌ای مربوط به درصد شن در عمق سوم مطالعاتی

برای تشریح پیوستگی مکانی متغیرهای یادشده از تابع واریوگرام استفاده شد (شکل ۳). از آنجا که تغییرپذیری ویژگی‌های دیگر خاک، مستقل از جهات جغرافیایی خاص بود. به همین دلیل، واریوگرام‌های همه-جهته^۲ در ارتباط با این متغیرها مد نظر قرار گرفت. پارامترهای تغییرنمای مربوطه و معیارهای کنترل اعتبار تخمین گر کریجینگ برای متغیرهای مطالعه شده در منطقه مطالعاتی (جدول ۲) نشان داد که از بین مدل‌های موجود (کروی، خطی، گوسین و نمایی) مدل نمایی، بهترین مدل برازش‌یافته بر تمامی متغیرهای مطالعاتی بود. مقدار نیم تغییرنما در گام صفر موسوم به اثر قطعه‌ای منعکس‌کننده واریانس خطاهای نمونه‌برداری و واریانس در فواصل کوچک‌تر از حد فاصله‌ی نمونه‌برداری است (لی و هیپ، ۲۰۰۸). این بخش از نیم تغییرنما برای تمامی متغیرها نزدیک به صفر به‌دست آمد (جدول ۲). حد آستانه، بیان‌گر مقدار نیم تغییرنما در شرایطی است که تابع مورد نظر به مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسد و فاقد هرگونه تغییرات معنی‌دار باشد که بیش‌ترین آن در مورد ذرات

جدول ۱ خلاصه‌ی آمار توصیفی متغیرهای مربوط به اعماق مطالعاتی خاک را نشان می‌دهد. تغییرپذیری متغیرها را می‌توان از طریق بررسی ضریب تغییرات بررسی نمود. وای و همکاران (۲۰۰۸)، بیان کردند که تغییرات کمتر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری کم ویژگی‌های مورد نظر و تغییرات بزرگ‌تر از ۹۰ درصد، نشان‌دهنده تغییرپذیری زیاد آن است. با استناد بر محدوده‌های ارائه‌شده توسط وای و همکاران (۲۰۰۸)، تمامی ویژگی‌های مطالعاتی از تغییرپذیری متوسط برخوردار بودند (جدول ۱)؛ اما باید در نظر داشت که آمار کلاسیک به دلیل داشتن فرضیاتی مانند استقلال نمونه‌ها از یکدیگر همیشه الگوی تغییرپذیری ویژگی‌های خاک را به دلیل وابستگی مکانی موجود در بین آن‌ها به‌خوبی نشان نمی‌دهد (بروج، ۱۹۹۳). به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های مکانی و یکسان‌سازی محاسبات، پیروی داده‌ها از توزیع فراوانی نرمال بررسی و نتایج نشان داد که از بین متغیرهای بررسی شده تنها ذرات درشت عمق دوم و سوم از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. به‌همین دلیل، داده‌های مربوط به این متغیرها از توزیع فراوانی نرمال پیروی نمی‌کردند با استفاده از تبدیل لگاریتمی، نرمال شدند و تمامی مراحل بعدی تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري بر روی داده‌های تبدیل‌شده (نرمال‌شده) انجام شد. نخستین گام از مرحله واریوگرافی، رسم و بررسی تغییرنمای رویه‌ای است که یکی از مناسب‌ترین شیوه‌های بررسی ناهمسان‌گردی متغیرهای بررسی شده بود. از بین تغییرنماهای رویه‌ای بررسی‌شده، سیلت و شن عمق سوم در راستای ۱۶۵ درجه (شمال غربی- جنوب شرقی) جهت‌دار بودند. از این رو، بر هر کدام از چهار ویژگی اخیر، یک تغییرنمای جهت‌دار برازش داده شد. خطوط هم‌مقدار تغییرنمای رویه‌ای این متغیرها نشان دهنده ناهمسان‌گردی آن‌ها در جهات مختلف و با نسبت‌های ناهمسان‌گردی متفاوت بود (شکل ۲).

^۲- Omni-directional

^۱- Directional

که با توجه به آن می‌توان قدرت ساختار مکانی هر متغیر را به‌دست آورد. کمبردلا و همکاران (۱۹۹۴) اثر قطعه‌ای نسبی کوچک‌تر از ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۷۵ درصد و بیش از ۷۵ درصد را به‌ترتیب دلیلی بر قوی، متوسط و ضعیف بودن هم‌بستگی مکانی یک متغیر بیان نموده‌اند. از آن‌جا که اثر قطعه‌ای نسبی به‌دست آمده در مورد خصوصیت‌های مورد مطالعه نزدیک صفر است؛ بنابراین، تمامی این ویژگی‌ها دارای هم‌بستگی مکانی قوی در منطقه می‌باشند (جدول ۲).

شن (به‌طور میانگین، ۱۵۹/۳۵) و کم‌ترین آن مربوط به ذرات درشت (به‌طور میانگین، ۵/۶۶) بود. شعاع تأثیر یا دامنه، تعیین‌کننده‌ی حد هم‌بستگی مکانی هر یک از متغیرهای مورد مطالعه است (وبستر و الیور، ۲۰۰۱) که بیش‌ترین آن در بین متغیرهای بررسی‌شده مربوط به ذرات رس عمق سوم (۲۲۹۶ متر) و کم‌ترین آن مربوط به ذرات درشت عمق سوم (۱۵۴۵ متر) است. ایساکس و سیرواستاوا (۱۹۸۹) نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه را "اثر قطعه‌ای نسبی" (Relative nugget effect) نامیدند

جدول ۱- خلاصه‌ی آماری توصیفی ویژگی‌های خاک‌های مطالعه شده در منطقه هرمزآباد رفسنجان

متغیر	عمق (سانتی‌متر)	میانگین	میانه	واریانس	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرپذیری (درصد)	P-value ^۱
رس (%)	۴۰-۰	۵/۹۰	۵/۵۴	۹/۷۵	۱/۵۰	۱۶/۵۰	۵۲/۹۵	۰/۳۱
	۸۰-۴۰	۵/۹۰	۵/۴۵	۸/۰۶	۰/۵۰	۱۲/۵۰	۴۸/۱۰	۰/۴۰
	۱۲۰-۸۰	۶/۳۷	۵/۰۰	۱۷/۰۴	۱/۰۰	۱۹/۵۰	۶۴/۸۱	۰/۰۵
شن (%)	۰-۴۰	۲۳/۶۵	۲/۲۹	۱۶۵/۷۱	۲/۰۰	۶۲/۰۰	۵۴/۴۴	۰/۸۱
	۴۰-۸۰	۲۷/۶۲	۲/۵۳	۲۵۵/۶۹	۲/۰۰	۵۹/۵۰	۵۷/۸۹	۰/۲۱
	۸۰-۱۲۰	۲۶/۱۶	۲/۱۳	۳۰۱/۴۲	۱/۰۰	۵۷/۰۰	۶۶/۳۸	۰/۰۶
ذرات درشت (%)	۰-۴۰	۸/۲۲	۷/۰۰	۲۰/۳۲	۱/۰۰	۲۳/۰۰	۵۴/۸۲	۰/۱۷
	۴۰-۸۰	۹/۵۲	۸/۰۰	۳۲/۰۶	۱/۵۰	۳۵/۰۰	۵۹/۴۸	۰/۰۱*
	۸۰-۱۲۰	۹/۸۷	۷/۰۰	۶۱/۵۶	۱/۵۵	۵۱/۷۲	۷۹/۵۳	۰/۰۰*

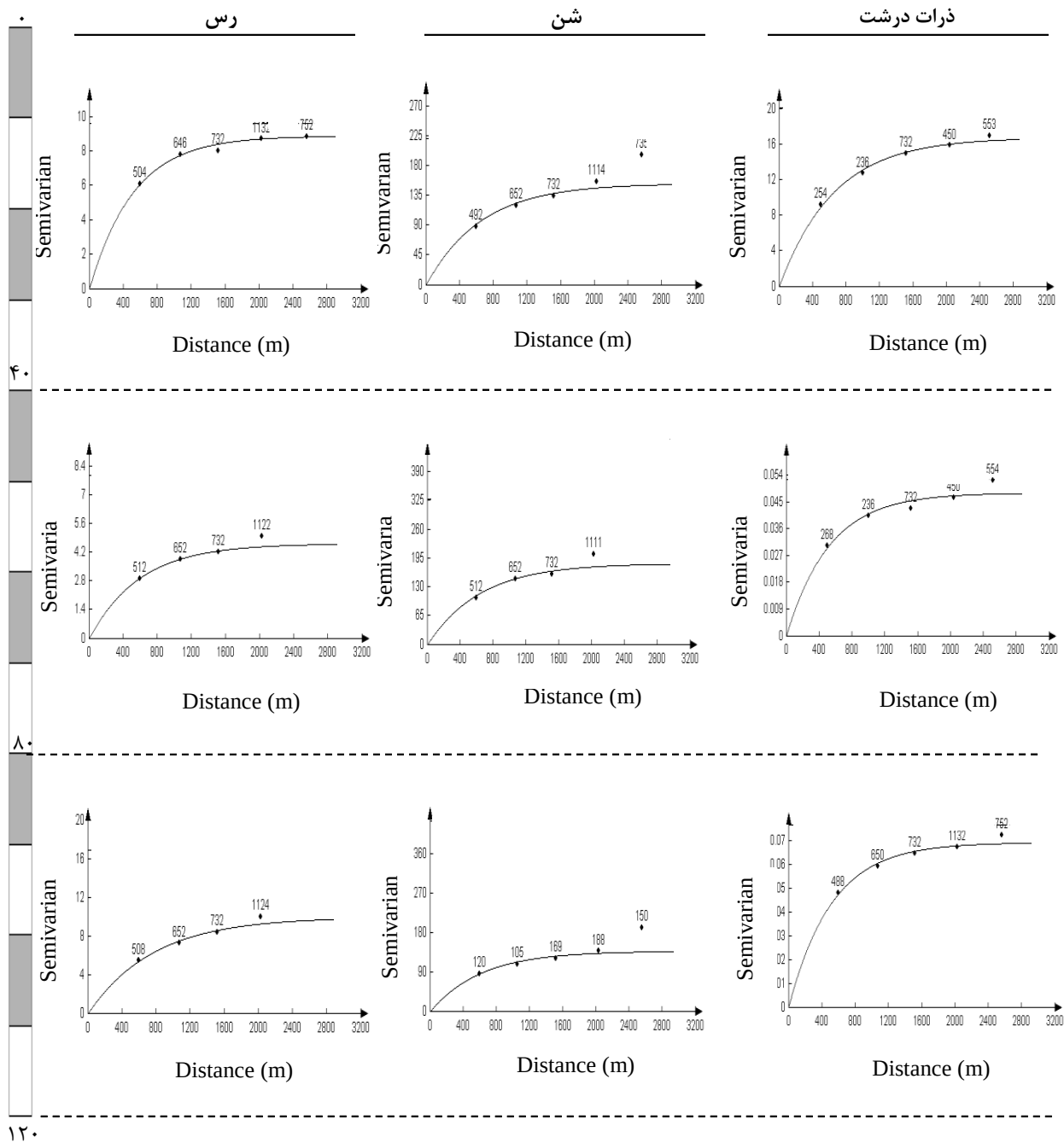
^۱: اعداد مربوطه، بیان‌گر نتیجه‌ی حاصل از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف می‌باشند که علامت *، نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد است

جدول ۲- مدل‌های تغییرنما، ویژگی‌های میان‌بایی و آماره‌های اعتبارسنجی ویژگی‌های مورد مطالعه

متغیر	عمق (سانتی‌متر)	مدل	دامنه (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	کلاس هم‌بستگی مکانی ^۱	شاخص RMSE	شاخص کارایی مدل (EF) (%)
رس (%)	۰-۴۰	نمایی	۱۵۵۴	۰/۰۰۳	۸/۹۲	قوی	۲/۸۷	۹۴/۴۹
	۴۰-۸۰	نمایی	۱۷۷۰	۰/۰۰۱	۴/۶۵	قوی	۱/۷۳	۹۷/۹۷
	۸۰-۱۲۰	نمایی	۲۲۹۶	۰/۰۰۱	۱۰/۰۱	قوی	۲/۲۱	۹۷/۲۶
شن (%)	۰-۴۰	نمایی	۱۹۵۲	۰/۰۱۰	۱۵۴/۵۲	قوی	۴/۲۳	۹۹/۲۱
	۴۰-۸۰	نمایی	۱۹۲۹	۰/۰۰۱	۱۸۴/۶۰	قوی	۴/۳۹	۹۹/۴۴
	۸۰-۱۲۰	نمایی	۱۸۳۲	۰/۰۰۱	۱۳۸/۹۱	قوی	۴/۰۶	۹۹/۴۱
ذرات درشت (%)	۰-۴۰	نمایی	۱۹۵۹	۰/۰۰۴	۱۶/۸۶	قوی	۴/۰۶	۹۴/۳۳
	۴۰-۸۰	نمایی	۱۵۶۲	۰/۰۰۳	۰/۰۵	قوی	۲/۱۵	۹۸/۷۵
	۸۰-۱۲۰	نمایی	۱۵۴۵	۰/۰۰۱	۰/۰۷	قوی	۳/۱۵	۹۷/۵۱

^۱: بر اساس کمبردلا و همکاران (۱۹۹۴)

عمق (سانتی‌متر)



شکل ۳- تغییرنماهای مربوط به ذرات درشت، شن و رس خاک در عمق‌های مختلف خاک (۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰، ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری) در منطقه هرمز آباد رفسنجان

نقشه‌های موضوعی ذرات شن، رس و ذرات درشت خاک‌های مطالعاتی بر اساس مؤلفه‌های بهینه-سازی شده‌ی تغییرنا آ‌ها و با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی ترسیم شدند (شکل ۴). به‌طور کلی، نقشه‌های کریجینگ شن و ذرات درشت خاک، بیان‌گر بیش‌ترین مقادیر این دو ویژگی در نواحی جنوبی بوده و به سمت مرکز دشت (شمال منطقه)، درصد نسبی آن‌ها کاهش می‌یابند. این در حالی است که با افزایش عمق، میزان شن و ذرات درشت در نواحی جنوبی، روند افزایشی دارد و در قسمت‌های شمالی منطقه، روند کاهشی از خود نشان می‌دهد (شکل ۴). واقع‌شدن جنوب منطقه‌ی مطالعاتی در انتهای یک مخروط‌افکنه و نیز نزدیک‌تر شدن به مواد مادری خاک‌ها با افزایش عمق را می‌توان به‌عنوان دلایلی برای زیاد بودن مقادیر این دو متغیر و کاهش مقادیر آن‌ها به طرف شمال منطقه یا به‌عبارتی به طرف مرکز دشت در نظر گرفت. مشابه با پژوهش حاضر هارتمن و همکاران (۲۰۲۰) طی مطالعه‌ای پیروی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک (شن، رس، سیلت و سنگریزه) از موقعیت زمین نما را نشان دادند.

روند تغییرات مکانی رس در منطقه، نشان داد که کم‌ترین مقادیر آن در جنوب منطقه وجود و به طرف مرکز دشت (شمال منطقه)، افزایش تدریجی دارند. الگوی تغییرپذیری شن، ذرات درشت و رس بیان‌گر وضوح تفکیکی بیشتر نقشه‌های کریجینگ برای لایه‌های دوم و سوم است. فعالیت‌های انسانی و افزودن ماسه به خاک سطحی باغ‌های پسته (حسینی فرد و همکاران، ۲۰۱۰) می‌تواند دلیلی بر تغییرپذیری نامشخص و نامنظم موجود در لایه اول ویژگی‌های بررسی شده قلمداد شود. در فاصله نزدیک به ۷۵۰ متر از جنوب به طرف شمال منطقه در نقشه‌ی توپوگرافی منطقه، خط تراز واضحی با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا قابل مشاهده است (شکل ۱ و خطوط آبی‌رنگ خط چین بزرگ- در شکل ۴). در واقع این خط تراز، مرز میان دو واحد فیزیوگرافی مخروط‌افکنه و دشت موجود در منطقه است؛ اما نگاهی کلی به

تغییرنماهای ترسیم‌شده برای متغیرها (شکل ۳) و نیز اغلب نقشه‌های کریجینگ ترسیم‌شده برای آن‌ها (شکل ۴) نشان می‌دهد که منطقه‌ی مطالعه شده در فواصل بیش‌تر از حدود ۱۸۰۰ متری از جنوب به طرف شمال منطقه (خطوط زردرنگ (خط چین کوچک) در شکل ۴)، دارای نوعی تغییرات نظام‌دار بلند دامنه در مقادیر میانگین ویژگی‌های مورد بررسی است. در واقع، مقایسه‌ی نقشه-های کریجینگ و توپوگرافی منطقه دلالت بر آن دارد که با توجه به روند بلند دامنه‌ی موجود، تخمین‌گر کریجینگ بهتر از نقشه‌های توپوگرافی در تفکیک واحدهای ژئومورفولوژیکی عمل نموده است. لازم به ذکر است که در مقیاس بزرگ و با توجه به روند محلی و نیز در نظر گرفتن همه دشت دامنه‌ای و مخروط افکنه روند مشاهده شده در منطقه منطقی بوده است و تغییرپذیری یافت شده در منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر، در دیگر پژوهش‌ها (از جمله هارتمن و همکاران، ۲۰۲۰ و سان و همکاران، ۲۰۲۱) نیز مشاهده شده است. البته مرز میان دو زمین‌نمای موجود در منطقه (مخروط‌افکنه و دشت دامنه‌ای) در عمق‌های دوم و سوم مطالعاتی واضح‌تر است (شکل ۴) که دلیل احتمالی آن به‌هم‌خوردگی کمتر این عمق‌ها توسط فعالیت‌های انسانی می‌تواند باشد. مشابه با پژوهش حاضر، مطالعات مختلفی بر روی زمین‌نما انجام شده است. در این راستا، تاگیل و ژینس (۲۰۰۸) ضمن بررسی زمین‌نما با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) و نقشه‌های توپوگرافی بیان کردند که مطالعه‌ی زمین‌نما با استفاده از علوم نوین (نسبت به نقشه‌های توپوگرافی) ابزار مناسب‌تری برای مدیریت منابع طبیعی است. به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده‌ی آن است که بررسی تغییرپذیری مکانی خاک زمین‌نما به کمک روش‌های زمین‌آمار، دید بهتری برای مطالعات آینده در منطقه و نیز مدیریت بهتر منابع خواهد داشت که این نتایج با مطالعات حاصل از کوبو و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارند. مطالعات خاکشناسی متناسب با جزئیات اطلاعات

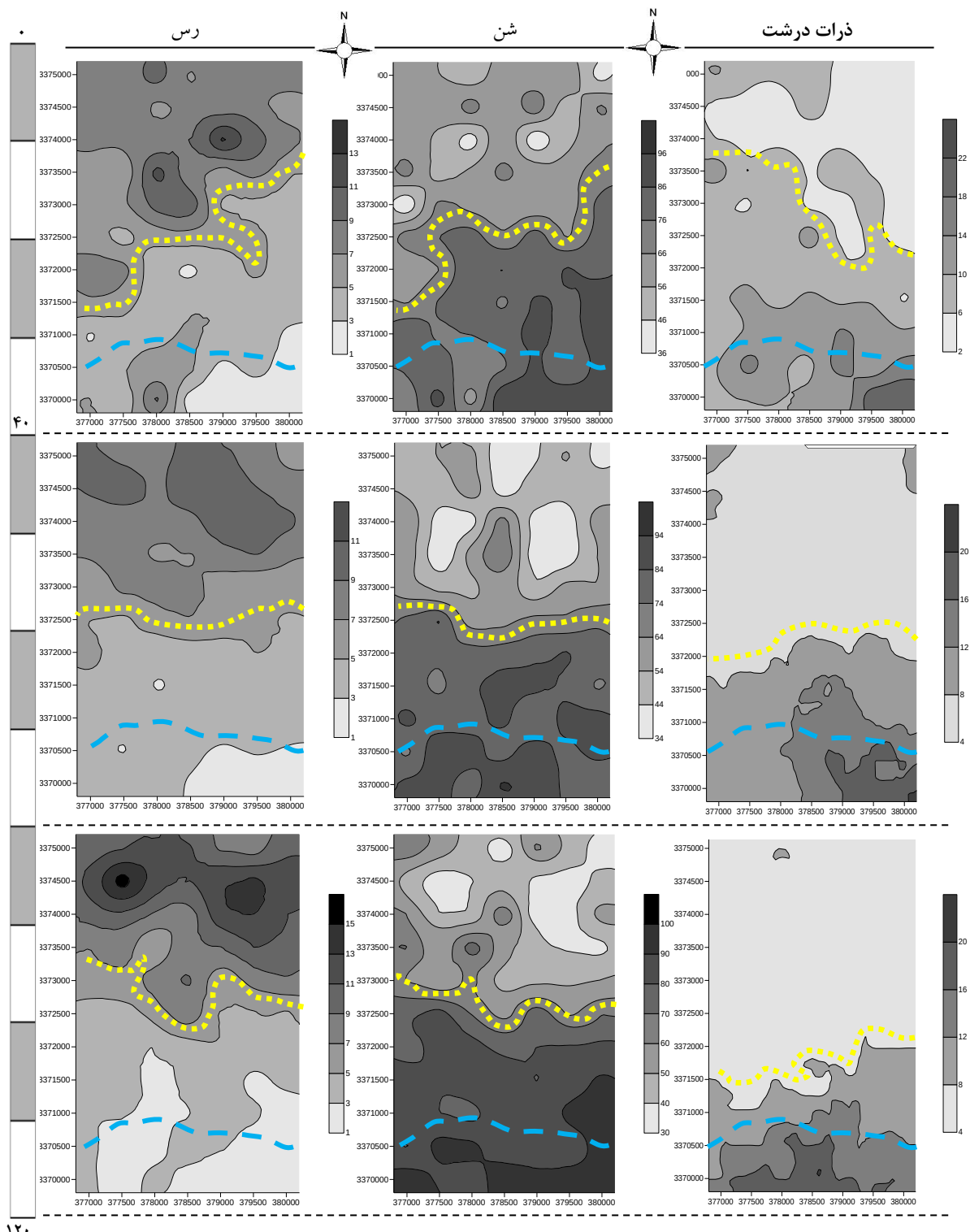
و دقت داده‌های مورد نیاز، در سطوح مختلف دقت انجام می‌گیرد. از آنجا که در منابع علمی معتبر خاکشناسی همچون راهنمای شناسایی خاک (۱۹۹۳) و اداره حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا (۲۰۱۴b) پنج سطح دقت مختلف اصلی برای مطالعات خاکشناسی (تفصیلی دقیق، تفصیلی، نیمه تفصیلی، اجمالی و شناسایی) پیشنهاد و در سطح گسترده‌ای پذیرفته شده است؛ به نظر می‌رسد که به منظور کاهش هزینه‌ها و زمان انجام مطالعات، انتخاب خاک رخ شاهد در مطالعات نیمه تفصیلی، اجمالی و شناسایی می‌تواند از مزیت نسبی برخوردار باشد. در مطالعات آینده در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل زمین‌نما و برای پیش‌بینی رفتار و مدیریت زمین‌نماها به نقشه‌ها و اطلاعات دقیق‌تری نیاز است که تنها از طریق انجام مطالعات خاکشناسی تفصیلی دقیق و تفصیلی قابل دستیابی است در این صورت استفاده از تکنیک‌های کارا، همچون زمین‌آمار می‌تواند توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

وجود روند بلند دامنه در فواصل بیش‌تر از حدود ۱۸۰۰ متری، به نوعی تداعی‌کننده‌ی مرز بین دو واحد فیزیوگرافی موجود در منطقه (انتهای مخروطافکنه و ابتدای دشت دامنه‌ای) است. مرز آشکار موجود بین بافت خاک‌های این دو پهنه می‌تواند شاهده‌ی بر این موضوع باشد. مقایسه‌ی نقشه‌های کریجینگ و توپوگرافی

منطقه، حاکی از آن است که تخمین گر کریجینگ اثرات واحدهای فیزیوگرافی بر زمین‌نما را بهتر تعیین می‌نماید. دامنه‌ی تأثیر تقریبی ۱۸۰۰ متر را می‌توان به‌عنوان دامنه‌ی متوسط منطقه در نظر گرفت که این عدد، پژوهش‌های آینده را در تعیین فاصله‌ی بهینه‌ی نمونه‌برداری در منطقه یاری خواهد نمود. وجود هم‌بستگی مکانی قوی برای تمامی خصوصیت‌های مطالعاتی و نیز نزدیک بودن درصد کارایی مدل تمامی خصوصیات مطالعاتی به عدد ۱۰۰، بر کارایی بالای علم زمین‌آمار در بررسی الگوی تغییرات مکانی متغیرهای مورد مطالعه دلالت دارد. تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک از یک نقطه به نقطه دیگر باعث گردیده است که تخمین‌های نقطه‌ای با استفاده از نقشه‌های سستی خاک از دقت مناسبی برخوردار نباشند. اگرچه انتخاب خاک رخ شاهد به دلیل در نظر نگرفتن تغییرپذیری خاک ممکن است با مشکلاتی روبه‌رو شود و قابلیت اعتماد به نتایج آن کم شود، به نظر می‌رسد که به‌منظور کاهش هزینه‌ها و زمان انجام مطالعات، انتخاب خاک رخ شاهد در مطالعات نیمه تفصیلی، اجمالی و شناسایی می‌تواند از مزیت نسبی برخوردار باشد. از طرفی استفاده از تکنیک‌های کارا مانند زمین‌آمار برای مطالعاتی که به نقشه‌ها و اطلاعات دقیق‌تری نیاز است که تنها از طریق انجام مطالعات خاکشناسی تفصیلی دقیق و تفصیلی قابل دستیابی است توصیه می‌شود.

عمق (سانتی متر)



شکل ۴- نقشه‌های کریجینگ مربوط ذرات درشت، شن و رس خاک در عمق‌های مختلف خاک
(۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری) در منطقه هرمزآباد رفسنجان

فهرست منابع

۱. سکوتی اسکوئی، ر، مهدیان، م ح، محمودی، ش، قهرمانی، ا (۱۳۸۶). مقایسه‌ی کارایی برخی روش‌های زمین‌آمار برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک (مطالعه‌ی موردی دشت ارومیه). مجله‌ی پژوهش و سازندگی، (شماره‌ی ۷۴)، ۹۰-۹۴.
۲. حسنی پاک، ع (۱۳۷۷). زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.
۳. محمدی، ج (۱۳۷۷). مطالعه‌ی تغییرات مکانی شوری در منطقه‌ی رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه‌ی ژئواستاتیک (کریجینگ). مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دوم، (شماره‌ی ۴)، ۴۹-۶۴.
۴. محمدزمانی، س، ایوبی، ش، خرمالی، ف (۱۳۸۶). بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخکلاته‌ی استان گلستان. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، (شماره‌ی ۴۰)، ۷۹-۹۱.
5. Alemi, M.H., Shahriari, M.R., and Nielsen, D.R. 1988. Kriging and cokriging of soil properties. *Soil Technology*, 1: 117-132.
6. Badia, D., Martia, C., Aznar, J.A., and Leon, J. 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environment. *Geoderma*, 193: 13-21.
7. Bishop, M.A. 2009. A generic classification for the morphological and spatial complexity of volcanic (and other) landforms. *Geomorphology*, 11: 104-109.
8. Blaszczyński, J.S. 1997. Landform characterization with geographic information systems. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 63(2): 183-191.
9. Brevik, E.C., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J., and Van Oost, K. 2015. The interdisciplinary nature of soil. *Soil Journal*. 1: 117-129.
10. Bridge, S., Watt, W.R., Lucking, G., and Naylor, B. 2000. Landscape Analysis for Forest Management Planning in Boreal Northeastern Ontario. Developed and produced by Northeast Science and Technology, TR-040.
11. Bugress, T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I- The Semi-variogram and Punctual Kriging. *Soil Science Journal*, 31: 315-331.
12. Burrough, P.A. 1993. Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers*, 56: 529-562.
13. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci Soc Am J* 58:1501-1511.
14. Cobo, J.G., Dercon, G., Yekeye, T., Chapungu, L., Kadzere, C., Murwira, A., Delve, R., and Cadisch, G. 2010. Integration of mid-infrared spectroscopy and geostatistics in the assessment of soil spatial variability at landscape level. *Geoderma*, 158: 398-411.
15. Elnaggar, A.A. 2007. Development of predictive mapping techniques for soil survey and salinity mapping. (Doctoral dissertation, Oregon State University, Corvallis, Oregon). Retrieved from <http://hdl.handle.net/148/1957-5754>.
16. Fanning, D.S., and Fanning, M.B. 1992. Soil morphology, genesis and classification. John Wiley and Sons. USA.
17. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle Size Analysis. P. 388-409. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed., Agron. Monger, No. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
18. Gerrard, A.J. 1992. *Soil Geomorphology: An Integration of Pedology and Geomorphology*. Chapman and Hall, New York, USA.
19. Godwin, R., and Miller, P.C.H. 2003. A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystem Engineering*, 84: 393-407.

20. Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, USA.
21. Greenwood, D.J., Neeteson, J.J., and Draycott, A. 1985. Response of potatoes to N fertilizer: dynamic model. *Plant and Soil*, 85: 185-203.
22. Hartmann, A., Weiler, M., and Blume, T. 2020. The impact of landscape evolution on soil physics: Evolution of soil physical and hydraulic properties along two chronosequences of proglacial moraines. *Earth Syst. Sci. Data*, 12: 3189–3204.
23. Hosseinifard, S.J., Khademi, H., and Kalbasi, M. 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistachio Vera L.*) trees in Rafsanjan, Iran. *Geoderma*, 155: 289-297.
24. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
25. Khormali, F., and Abtahi, A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, Southern Iran. *Clay minerals*, 38: 511-527.
26. Kravchenko, A.N. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1564-1571.
27. Li, J., and Heap, A.D. 2008. *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Geoscience publication, Australia.
28. Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill, New York. 281. P.
29. Markus, E., and Merkli, C. 2007. Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along a Holocene soil toposequence developed on carbonate-rich materials. *Geomorphology* 97: 675-696.
30. Mohammadi, J. 2000. Evaluation and mapping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjunctive kriging. *Journal of Agricultural Research*, 25(6): 45-57.
31. Owji, A., Esfandiarpour-Boroujeni, I., Kamali, A., Hosseinifard, S. J. and Bagheri-Bodaghabadi, M. 2013. The effects of hydrometer reading times on the spatial variability of soil textures in southeast Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. Springer Link, 7:1491–1499.
32. Pike, R.J. 1999. *A bibliography of geomorphometry, the Quantitative Representation of Topography Supplement 3 (Open-File Report 99-140)*, US. Geological Survey.
33. Quine, T.A. and Zhang, Y. 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon, UK. *Journal of soil and Water Conservation*, 57: 50-60.
34. Sauer, T.J., Cambardella, C.A., and Meek, D.W. 2006. Spatial variation of soil properties relating to vegetation changes. *Plant and Soil*, 280: 1-5.
35. Shaetzel, R.J., and Anderson, S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, New York, USA.
36. Soil Survey Staff. 2014b. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th Edition. Washington, DC: US Department of Agriculture–Natural Resources Conservation Service, 372 pp.
37. Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual. Keys to Soil Taxonomy*. 12th Edition Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
38. Sun, S., Zhang, G., He, T., Song, S., Chu, X. (2021). Effects of Landscape Positions and Landscape Types on Soil Properties and Chlorophyll Content of Citrus in a Sloping Orchard in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Sustainability*. 13, 4288.
39. Tagil, S., and Jenness, J. 2008. GIS-based automated landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences*, 8(6): 910-921.
40. Timmis, K., and Ramos, J. L. 2021. The soil crisis: the need to treat as a global health problem and the pivotal role of microbes in prophylaxis and therapy. *Microbial Biotechnology*. 14(3): 769–797.
41. Toomanian, N., Jalalian, A., and Karimian Eghbal, M. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma*, 99:199-224.

42. Vicente-Serrano, S.M., Saz-Sánchez, M.A., and Cuadrat, J.M. 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, 24: 161-180.
43. Webster, R., and Oliver, M.A. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK.
44. Wei, J.B., Xiao, D.N., Zeng, H., and Fu, Y.K. 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China. *Environmental geology*, 53: 1663-1672.
45. Zinck, J.A. 1989. *Physiography and Soils*. Lecture notes for soil students. Soil Science Division, Soil survey courses subject matter: K6 ITC, Enschede, The Netherlands.

Landscape Investigations Using the Kriging Estimator (A Case Study of Hormozabad in Rafsanjan, Kerman Province)

A. Owji¹, A. Eslami, and I. Esfandiarpour Boroujeni

PhD in soil science and soil and water expert, Fars Agricultural Organization.

claymineral_84@yahoo.com

Academic Member and Director of Soil and Water Division, Fars Agriculture and Natural Resources Research and Education Center. **amireslami.50@gmail.com**

Associate Professor of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

esfandiarpour@vru.ac.ir

Received: November 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

As natural land features, landscapes ranging in size from large plains and mountains to small hills are regarded as morphological formations characteristic of the earth's surface. The objective of the present study was to determine the physiographic unit boundaries in Hormozabad, Rafsanjan, using the ordinary kriging estimator. For this purpose, 77 observation points at distances of 500 m from each other were selected over a regular sampling grid and soil samples were collected from depths of 0–40, 40–80, and 80–120 cm at the specified locations. Similar to the findings reported elsewhere and based on model efficiency estimates, the results obtained showed that ordinary kriging served as a good estimator in zoning the properties of the study area. Additionally, geostatistical results indicated that a sampling distance of 1800 m could be used as a criterion for future surveys in areas similar to the present study one. Comparison of the kriging and topographic maps of the area demonstrated that the kriging estimator used was superior to topographic maps in representing physiographic units. This was evidenced by the more accurate unit boundaries detected by the estimator despite the high variations in soil properties depicted in the respective variograms for intervals above 1800 meters. It is, therefore, recommended that modern techniques such as geostatistics should be employed for detailed soil studies as required for preparing more adequately detailed maps with precise data.

Keywords: Spatial variations, Landscape, Soil survey, Physiographic unit

¹. Corresponding author: Soil and Water Expert, Fars Agricultural Organization.

Comparison of the advantages and limitations of ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, and ^7Be fallout radionuclides in soil erosion assessments

F. Abbaszadeh Afshar¹

Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

f.abbaszadeh@ujiroft.ac.ir

Received: November 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Fallout radionuclides, FRNs, (i.e., ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, and ^7Be) are being increasingly used to obtain quantitative information on soil erosion and sediment redistribution within agricultural landscapes over different timescales. The technique is frequently regarded as a valuable complement to conventional measurement methods. The objective of the present article is two-fold: to review the advantages and limitations of each of the above three FRNs and to identify the key gaps in the current knowledge on their application. In addition, guidelines are introduced for selecting the most appropriate FRNs and the associated application methods for a wide range of spatial and temporal scales. Also, the key objectives to be pursued in future investigations including upscaling FRN applications in soil erosion to catchment scale and the shift from their use as a research tool to a decision support one will be explored.

Keywords: Fallout radionuclides (FRNs), Soil erosion and sedimentation, Soil redistribution, Soil degradation

¹ - Corresponding author: Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

A Survey of the 1st National Legislative Assembly's Negotiations on the Abolition of Feudal Land Ownership

A. Norouzi¹

Assistant Professor; Imam Khomainsi Higher Education Center; Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran. anorouzi66@yahoo.com

Received: February 2021, and Accepted: July 2021

Abstract

On the eve of the Constitutional Revolution when the parliament was first established in Iran (1906), a large amount of governmental property, then termed as 'Net Property', was exploited through a kind of lease agreement to landlords and users in return for revenues under a feudal system. One of the most important bills passed by the first parliament was the Act on Abolition of Feudal Ownership of Public Property. The present library survey reviews the proceedings from the parliamentary discussions leading to the above-mentioned Act. It was found that efforts to raise the government's income through reducing pays to the lessees of public property and to increase the revenues from the returned property on lease had been the most important motivation behind the Act. It was also observed that, although landlords were members on one of the six parliamentary committees at that time, no serious objection had been raised and that the act had been adopted unanimously after only five parliamentary hearings. The documents reviewed also revealed that at least 15 percent of the MPs had actively participated in drafting the Act. It was concluded the MPs' main drive in passing the Bill had been escalation of government financial resources.

Keywords: Abolition of Feudal Land Ownership, First National Legislative Assembly (Parliament) of Iran.

¹ - Corresponding author: Imam Khomainsi Higher Education Center; Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran.

Siting Improvement Operations for Rainwater Conservation Schemes in Natural Areas (A Case study of Nazluchai Basin, Urmia)

M. Mofidi Chelan, H. Nazarnejad¹, and E. Moharampour

Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. mofidi.morteza@gmail.com

Associate professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. h.nazarnejad@urmia.ac.ir

M Sc Graduate in Watershed Management, Department of Natural Resources, Urmia University.
el.moharampour@yahoo.com

Received: July 2021, and Accepted: December 2021

Abstract

Proper siting of rainwater conservation systems is an important step to ensure water supply in a watershed. The present study was carried out to identify the factors involved in rainwater infiltration and storage and to determine suitable locations for the construction of rainwater conservation systems in Nazluchai Basin, Urmia. For this purpose, slope, rainfall, land use, soil texture, and soil depth were selected as the parameters affecting rainwater storage and subsequently subjected to AHP analysis in order to determine the weight of each in the different improvement operations studied. In a second step, the TOPSIS model was used to prioritize the sub-basins with regard to the improvement operations of pitting, contour trenching, terracing, and contour furrowing. Based on the results, pitting was found superior to the other improvement operations in the study area as evidenced by the C_i values of 0.94, 0.28, 0.20, 0.31, 0.08, 0.02, and 0.01% obtained from the TOPSIS model for pitting in sub-basins 1 to 7, respectively, indicating the higher priority of sub-basin 1 for performing the pitting improvement operation. According to the same results, sub-basins 3, 2, and 4 were identified as the priority ones for contour trenching, terracing, and contour furrowing, respectively. It was found that while the costly rainwater harvesting schemes cannot be economically justified for the study area, the alternative rainwater conservation schemes may be of priority on economic grounds. A final finding of the study indicated that not only the criteria but also the combined AHP-TOPSIS model used in this study may help state executive departments to select appropriate improvement operations in other watersheds.

Keywords: Pitting, Contour trenching, Slope, Contour Furrowing, AHP-TOPSIS model

¹ - Corresponding author: Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

Using the Markov chain model to predict variations in pistachio plantations (A case study of Zeidabad, Sirjan Town)

A. Kazeminia Korrani¹ and A. Nezhad Khorasani

Instructor of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Iran. kazeminia@sirjantech.ac.ir
Undergraduate student of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Iran.
a.n.khorasani@gmail.com

Received: November 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Remote sensing is the key technology used to assess land use changes that serve as basic information in all planning. The current study uses the Markov chain model to investigate changes in the area under pistachio cultivation and explores its potential for predicting future variations in land use in Zeidabad, Sirjan. For this purpose, use is made of ETM⁺ Landsat 7 and OLI Landsat 8 sensor images taken in the years 2000, 2010, and 2019, all of which are classified into the two land use classes of vegetation (pistachio plantations) and non-vegetation (residential areas, riverbeds, barren land, and pastures). The results obtained indicate an upward trend in agricultural development, particularly in pistachio cultivation as the most dynamic land use, in the study region so that an increase of 1888.83 hectares (15.04%) is recorded for the total cultivated land. Similarly, an upward trend is recorded for changes in pistachio plantations during the years 2010 to 2019 so that 1685.07 hectares (11.66%) of land is shown to be added to the total land area under pistachio cultivation. Markov chain analysis of the period from 2010 to 2019 indicates a steady increase in pistachio cultivation in the study region by 2029.

Keywords: Pistachio, Land change, Satellite imaging, Markov chain, Sirjan

¹. Corresponding author: Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Iran.

Equations and methods employed to estimate soil displacement due to tillage operations (A case study of Chehelgazi Sub-basin, Kurdistan Province)

S. P. Nainiva¹, M. Shahrivar, and A. Najafi Nejad

PhD Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (GUASNR), Iran. Pedram.nainava@gmail.com

PhD Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (GUASNR), Iran. shahrivar.m2015@yahoo.com

Associate Professor of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sci.& Natural Resources, Gorgan, Golestan Province, Iran. najafinejad@gmail.com

Received: April 2021, and Accepted: July 2021

Abstract

Natural resources comprise principal ingredients of human life and require special consideration of their potentials and realities within a comprehensive and integrated framework; such an outlook might be only achieved through a disciplined planning and management system. Resource exploitation in the absence of due attention to sustainability principles will lead to irreparable or costly effects. Using the land use map of 2014, the present study employed GIS to estimate soil displacement due to tillage operations in an attempt to develop planning schemes, making managerial decisions, and implementing projects to reduce soil displacement rates across the dry farms in Chehelgazi sub-basin. For this purpose, the land use and sloping maps of the dry farms in the region were prepared and the type of tillage tools (plow and chisel) used were identified using the exiting data and field visits. Subsequently, soil displacement equations were developed according to the type of tools used and soil displacement estimates in the region were obtained. The results showed the high potential of tillage erosion and soil displacement due to the large area under dryland farming in this sub-basin so that the average longitudinal soil displacement due to reversible plough operation as the dominant practice in the basin was estimated to range from 1.40 to 44.53 m. The importance of tillage operations and soil erosion as well as the role of the sub-basin in supplying water to Gheshlagh dam require more decisive actions to reduce soil movement and to monitor and improve the agricultural system in Kurdistan Province and across the whole state.

Keywords: Tillage tools, Tillage erosion, Soil degradation, Soil loss, reduced crop production

¹ - Corresponding author: Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (GUASNR), Iran.

A Review of Biofertilizer Application in Wheat Cultivation in Iran and the Related Research Findings

H. Khosravi¹

Research Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. hkhosravi@areeo.ac.ir

Received: June 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Wheat is the main staple food in Iran where it accounts for almost one third of the area under crop cultivation. Being the most important sources of nutrients supplied to wheat farms, chemical fertilizers have caused environmental problems due to their excessive application beyond plant requirements. One solution to resolve these problems and to achieve sustainable agriculture is bio fertilizer application since these compounds enhance plant growth by fixing molecular nitrogen, dissolving insoluble elements such as phosphorus and zinc, releasing soil potassium, producing siderophore to increase iron availability, oxidating sulfur, and producing growth promoting materials. Research has confirmed enhanced wheat growth and yield as a result of biofertilizer application. Biofertilizers are also reportedly able to reduce the adverse effects of environmental stresses such as drought and salinity on wheat by producing ACC-deaminase enzyme, osmolite compounds, and extracellular polysaccharides. Not only has biofertilizer production witnessed a dramatic rise worldwide, especially in developed countries, but Iran has also recently produced and introduced a variety of biofertilizers for various crops, including wheat. A number of guidelines and quality standards for biofertilizer production have also been developed in some countries such as Iran. Research has shown that seed inoculation is an effective and economical method of biofertilizer application and, further, that skilled professionals, technical know-how, and infrastructure available to the private sector in Iran may be regarded as the potentials and opportunities for increasing biofertilizer production and application in wheat farming. However, their use is reportedly limited by the poor organic content of Iranian soils; the heterotrophic bacteria used in their production; the chemical fertilizers abundantly available on the market; the need for special equipment and preparations; and the lack of proper communication among the research, production, and extension sectors. Research in the field may be boosted by investigating the responses of different lands to biofertilizers for wheat production and fundamental molecular research may be carried out to achieve enhanced growth promoting properties and establish a symbiotic nitrogen fixation. Biofertilizer production and consumption may also be increased by calling in the mass media to publicize the benefits of their application. Finally, basic and molecular research is recommended on the growth stimulant properties of microorganisms.

Keywords: Inoculum, Growth promoter, Nitrogen fixation, Microorganisms

¹ - Corresponding author: Soil Biology Department, Soil and Water Research, POBox: 31785-311, Karaj, Iran.

Sustainable soil management and its role in mitigating greenhouse emissions

M. Mirzaei, M. Gorji¹, E. Moghiseh, H. Asadi, and E. Razavy-Toosi

PhD Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University. Mirzaei.Morad95@ut.ac.ir

Prof., Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University. mgorji@ut.ac.ir

Assistant Prof., Nuclear Agriculture School, Nuclear Science and Technology Research Institute. emoghiseh@aeoi.org.ir

Associate Prof., Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University. ho.asadi@ut.ac.ir

Prof., Department of Plant, Soil and Microbial Sciences, Michigan State University, Michigan, USA. ertoosi@gmail.com

Received: November 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Increasing concentrations of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) in the atmosphere and the consequent climate change have irreversible effects on the environment and human health. Greenhouse gases in the soil are produced by microbial activity, root respiration, chemical decomposition, and heterotrophic respiration of organisms; the carbon flux from the soil in the form of carbon dioxide is caused by respiration and other activities of soil organisms, nitrous oxide is produced by nitrification and denitrification processes, and methane is produced by microbial methanogenesis under anaerobic conditions. This is while various environmental and managerial factors might affect their concentrations in the soil. Proper management of agricultural soils offers a significant potential to reduce greenhouse emissions. For instance, crop rotation, cover crop farming, conservation tillage, crop residues retention, and avoiding plant residue burning or removal serve as appropriate management practices to reduce carbon dioxide emission. Strategies employed to mitigate nitrous oxide emission include better nitrogen management, well-planned application of nitrogen fertilizers only to meet crop requirements in a timely manner, reduced application of nitrogen fertilizers tailored to the different stages of plant growth, using Legume plants in crop rotation, proper crop residue management, use of slow-release fertilizers, and application of nitrification and denitrification inhibitors. Methane emissions may be reduced through drainage of rice paddies to provide adequate ventilation for methane oxidation and tillage or composting to decompose crop residues before flooding.

Keywords: Agriculture, Carbon dioxide, Climate change, Conservative agriculture, Global warming, Methane, Nitrous oxide

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

Subject	Page
Sustainable soil management and its role in mitigating greenhouse emissions.....	13
<i>M. Mirzaei, M. Gorji, E. Moghiseh, H. Asadi, and E. Razavy-Toosi</i>	
A Review of Biofertilizer Application in Wheat Cultivation in Iran and the Related Research Findings.....	14
<i>H. Khosravi</i>	
Equations and methods employed to estimate soil displacement due to tillage operations (A case study of Chehelgazi Sub-basin, Kurdistan Province).....	15
<i>S. P. Nainiva, M. Shahrivar, and A. Najafi Nejad</i>	
Using the Markov chain model to predict variations in pistachio plantations (A case study of Zeidabad, Sirjan Town).....	16
<i>A. Kazeminia Korrani and A. Nezhad Khorasani</i>	
Siting Improvement Operations for Rainwater Conservation Schemes in Natural Areas (A Case study of Nazluchai Basin, Urmia).....	17
<i>M. Mofidi Chelan, H. Nazarnejad, and E. Moharampour</i>	
A Survey of the 1st National Legislative Assembly's Negotiations on the Abolition of Feudal Land Ownership.....	18
<i>A. Norouzi</i>	
and ⁷Be fallout radionuclides Comparison of the advantages and limitations of ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pbex, in soil erosion assessments.....	19
<i>F. Abbaszadeh Afshar</i>	
Landscape Investigations Using the Kriging Estimator (A Case Study of Hormozabad in Rafsanjan, Kerman Province).....	20
<i>A. Owji, A. Eslami, and I. Esfandiarpour Boroujeni</i>	

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

Journal of Land Management

Vol. 9, No. 2
2022

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 9/ No. 2/ 2022

Subject	Page
Sustainable soil management and its role in mitigating greenhouse emissions.....	13
<i>M. Mirzaei, M. Gorji, E. Moghiseh, H. Asadi, and E. Razavy-Toosi</i>	
A Review of Biofertilizer Application in Wheat Cultivation in Iran and the Related Research Findings.....	14
<i>H. Khosravi</i>	
Equations and methods employed to estimate soil displacement due to tillage operations (A case study of Chehelgazi Sub-basin, Kurdistan Province).....	15
<i>S. P. Nainiva, M. Shahrivar, and A. Najafi Nejad</i>	
Using the Markov chain model to predict variations in pistachio plantations (A case study of Zeidabad, Sirjan Town).....	16
<i>A. Kazeminia Korrani and A. Nezhad Khorasani</i>	
Siting Improvement Operations for Rainwater Conservation Schemes in Natural Areas (A Case study of Nazluchai Basin, Urmia).....	17
<i>M. Mofidi Chelan, H. Nazarnejad, and E. Moharampour</i>	
A Survey of the 1st National Legislative Assembly's Negotiations on the Abolition of Feudal Land Ownership.....	18
<i>A. Norouzi</i>	
and ⁷Be fallout radionuclides Comparison of the advantages and limitations of ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pbex, in soil erosion assessments.....	19
<i>F. Abbaszadeh Afshar</i>	
Landscape Investigations Using the Kriging Estimator (A Case Study of Hormozabad in Rafsanjan, Kerman Province).....	20
<i>A. Owji, A. Eslami, and I. Esfandiarpour Boroujeni</i>	