نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحات ۹۵۳-۹۶۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 4, 2021, Pages 953-961
DOI: 10.22092/ijwmse.2020.125680.1633

تاثیر استفاده از جریانات زیرقشری در بهبود کیفیت خاک و کنترل فرسایش در اراضی دیم‌زار کم‌بازده

یحیی پرویزی*[۱]، محمود عرب‌خدری[۲]، مسیب حشمتی[۳] و محمد قیطوری[۴]

[۱ و ۳] دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، [۲] دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [۴] استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲

چکیده

دیم‌زارهای شیب‌دار و کم‌بازده، کانون‌های اصلی و بحرانی فرسایش و تخریب کیفیت خاک در دامنه‌ها و دشت‌سرهای زاگرس میانی هستند. مدیریت نادرست بهره‌برداری در آن‌ها منجر به تبعاتی نظیر کاهش پایداری و کیفیت تولید و معضلات زیست‌محیطی شده است. به‌علاوه، تنش رطوبتی پایان فصل رشد در این اراضی محدودیت اصلی برای ارتقاء بهره‌وری آن‌ها است. استفاده از آب‌های زیرقشری برای بهره‌برداری بهینه از این اراضی یکی از گزینه‌هایی است که به‌دلیل شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی، می‌تواند در حل این دو معضل کلیدی این اراضی کمک کند. این پژوهش با هدف بررسی تاثیر استفاده از جریانات آب زیرقشری برای استفاده به‌صورت آبیاری تکمیلی و کشت مو و بادام و یونجه در این دیم‌زارها در بهبود نفوذپذیری خاک و کنترل فرسایش و بهبود کیفیت خاک در حوزه آبخیز رزین استان کرمانشاه طرح‌ریزی و اجراء شد. برای این‌منظور، پس از انتخاب محدوده مورد ارزیابی و شاهد، ضمن حفر پروفیل و نمونه‌برداری، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیفیت خاک نظیر بافت، وزن مخصوص ظاهری، درصد اشباع، آهک، اسیدیته، شوری، غلظت عناصر غذایی و ذخیره کربن آلی در آزمایشگاه و بر روی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده تعیین شد. همچنین، در محدوده طرح انتخاب‌شده و شاهد وضعیت تخریب و فرسایش خاک و نفوذپذیری خاک با دیسک پرامتر با مطالعه میدانی، اندازه‌گیری شد. نتایج ارزیابی نشان داد که شکل پنهان تخریب خاک که تحت عنوان آرمور شناخته می‌شود، شسته شدن ذرات ریز از ماتریکس خاک و باقیماندن ذرات شن و سنگریزه، مهمترین شکل تخریب را تشکیل می‌دهد. در درجه دوم فرسایش سطحی و به‌ویژه فرسایش شیاری عامل اصلی هدررفت خاک است. در بلندمدت اصلاح کاربری یادشده، یعنی تغییر الگوی کشت و خاک‌ورزی دیم به کشت مو و یونجه با آبیاری تکمیلی با استفاده از سامانه سد زیرزمینی و استحصال آب زیرقشری قادر به حذف این اشکال از تخریب و هدررفت خاک از منطقه است. همچنین، این عملیات، شاخص نفوذپذیری خاک را ۱/۳ برابر کرده، فرسایش خاک را به میزان ۵۶ /۵ تن در هکتار کاهش داده است، همچنین شاخص کیفیت خاک حدود ۳۵ درصد ارتقاء یافته است.

واژه‌های کلیدی: اراضی شیب‌دار، تنش رطوبتی، سد زیرزمینی، فرسایش سطحی، نفوذپذیری

* مسئول مکاتبات: yparvizi1360@gmail.com

مقدمه

تخریب و فرسایش خاک از جمله فرایندهایی است که بر زیرساخت‌های تولید یعنی منابع آب و خاک تاثیر نامطلوبی داشته و پایداری تولید را به خطر می‌اندازد. فرسایش خاک سطحی حاصلخیز در درازمدت باعث کاهش عمق، کاهش گنجایش رطوبتی و هدررفت مواد آلی و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش باروری خاک می‌شود (Li و همکاران، ۲۰۰۹). نرخ رشد تخریب خاک در اراضی کشاورزی جهان بین ۰/۳ تا ۱ درصد است (Ferenc و همکاران، ۲۰۰۶). در گزارشی دیگر آمده است که هر ساله حدود ۱۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دنیا در اثر فرسایش توان باروری خود را از دست داده و از حیطه استفاده خارج می‌شوند (Lal، ۲۰۰۱). بررسی‌های انجام‌شده به‌وسیله فائو و UNDP نشان می‌دهد که۹۰ درصد از عرصه منابع خاک کشور به درجات مختلف و به شکل برگشت‌ناپذیری در معرض تخریب شیمیائی قرار گرفته‌اند (FAO، ۲۰۰۶).

تخریب کیفیت و باروری خاک به‌علت مدیریت کاربری نامتناسب است. دیم‌زارهای شیب‌دار و کم‌بازده در کشور اصلی‌ترین کانون‌های تلفات خاک و تولید رسوب هستند و به شدت در معرض تخریب کیفیت خاک هستند (Heshmati و همکاران، ۲۰۱۷). بسیاری از اشکال این تخریب شناخته شده (نظیر اشکال فرسایش خاک) است. اما بسیاری از آن‌ها به‌صورت اشکال پنهان تخریب خاک نظیر تراکم و تحکیم، تخریب ساختمان خاک، تخریب ماده آلی و ذخایر کربنی و نیز تخریب بیولوژیکی و نابودی یا تغییر ترکیب فلور و فون خاک است. نتایج در سطح کشور نیز موید همین روند است (Mahdian، ۲۰۰۵؛ Kooch و Moghimian، ۲۰۱۵). در سطح کشور و به‌ویژه در استان کرمانشاه تصویر صحیحی از اشکال پیدا و پنهان تخریب خاک به‌ویژه در دیم‌زارهای شیب‌دار و کم‌بازده وجود ندارد. Arabkhedri و همکاران (۲۰۱۵)، بیشترین میزان فرسایش را در کشور به‌ترتیب مربوط به اراضی مارنی و دیم‌زارها دانستند. آن‌ها نسبت تلفات خاک دیم به مرتع را هفت برابر به‌دست آوردند. این کاهش پتانسیل تولید خاک، اصلی‌ترین عامل تهدید برای پایداری تولید در منطقه است. این فرایند منجر به کاهش عمق سالوم خاک و در نتیجه کاهش ذخیره رطوبتی خاک به‌ویژه در پایان فصل رشد خواهد شد. کمبود رطوبت ذخیره‌شده در خاک به‌علت کاهش بارش در طول فصل رشد و توزیع نامناسب بارندگی، محدودیت مهمی در استقرار پوشش گیاهی و رشد و تولید در این اراضی را در پی دارد.

استان کرمانشاه یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور است. شرایط اکوکلیمائی و توپوگرافی استان، توقع تولید از عرصه اراضی آن را بالا می‌برد. اما در شرایط کنونی و به‌ویژه پس از بروز تغییرات شتابنده اقلیمی، مهمترین محدودیت برای نیل به این ظرفیت، تنش خشکی و محدودیت رطوبتی در برخی زمان‌ها به‌ویژه در پیک فصل رشد و گلدهی است. استحصال و بهره‌برداری از آب‌های باران، سطحی و زیرقشری می‌تواند کارکرد کلیدی در بهبود بهره‌برداری و ارتقاء کیفیت خاک داشته باشد. Heshmati و همکاران (۲۰۱۷)، تحقیقی به‌منظور بررسی تاثیر سطوح آبگیر باران در کنترل روند خشکیدگی بلوط در جنگل‌های زاگرس انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که اعمال تیمار بانکت به‌علاوه قرق بعد از سه سال، موجب کاهش خشکیدگی ۳۷ پایه و احیای ۱۹ پایه در هکتار (در مقایسه با تیمار شاهد) شد.

عملیات مدیریتی متنوعی چه به‌صورت سنتی و چه به‌صورت نوین در عرصه‌های منابع طبیعی استان کرمانشاه به‌منظور استحصال آب و بهره‌برداری بهینه از این منابع آب و خاک اعمال می‌شود. مع‌الوصف، اثرات این عملیات در کیفیت خاک و نیز تخریب آن و نیز کمیت ذخایر کربن آلی خاک، مطالعه نشده است. حوزه آبخیز رزین با داشتن تنوع کاربری، به‌دلیل مدیریت ناصحیح حاکم بر عرصه اراضی آن منجر به ایجاد شرایط بحرانی تخریب خاک (فرسایش فیزیکی و حاصلخیزی و سایر اشکال تخریب خاک) و انهدام ذخایر کربن آلی خاک به‌ویژه در دیم‌زارهای شیب‌دار شده است. هدف مطالعه حاضر، بررسی اثر بهره‌برداری از آب‌های زیرقشری برای اراضی دیم شیب‌دار و کم‌بازده در حوضه رزین استان کرمانشاه بر کنترل تخریب و بهبود کیفیت خاک بود. در محدوده اثر این عملیات کشت یونجه و احداث باغ صورت پذیرفته بود که در این مطالعه اثرات آن بر باروری خاک و کنترل

فرسایش خاک مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز رزین با وسعت ۱۴۶۸۸ هکتار در شمال استان کرمانشاه در محدوده '۱۰ °۴۷ تا '۱۲ °۴۷ طول شرقی و '۳۴ °۳۴ تا '۴۲ °۳۴ عرض شمالی واقع شده است. میانگین دمای سالیانه هوا ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالیانه به‌طور متوسط ۵۸۸/۵ میلی‌متر است. نوع اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح‌شده خیلی مرطوب و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌مرطوب سرد است. شیب متوسط حوضه ۷/۰۹ درصد و ارتفاع متوسط وزنی حوضه ۱۷۰۷ متر است. کاربری اراضی حوزه آبخیز شامل کشاورزی، باغ، جنگل، مرتع و بیرون‌زدگی سنگی و مخلوط بیرون‌زدگی سنگی و جنگل است. محدوده مورد ارزیابی محدوده چهار هکتاری از دیم‌زارهای کم‌بازده روستای پیرکاشان بود که با احداث سد زیرزمینی و استحصال آب زیرقشری به‌صورت کشت یونجه و باغ تغییر کاربری یافته بود. در شکل ۱ محدوده مورد نظر نشان داده شده است.

شکل ۱- نمایی از موقعیت سد زیرزمینی مورد ارزیابی

نمونه‌برداری: در محدوده مورد مطالعه با در نظر گرفتن تنوع توپوگرافی سامانه نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی طرح‌ریزی و اعمال شد. نمونه‌برداری و آزمایش‌های خاک در محدوده سایت مطالعاتی و شاهد انجام شد. چون عملیات در محدوده دیم‌زارهای شیب‌دار کم‌بازده صورت پذیرفت، منطقه شاهد، دیم‌زار اطراف در نظر گرفته شد. نقاط شاهد در مجاورت عملیات انتخابی و دارای ویژگی‌های توپوگرافی و خاک نسبتا یکسان با محدوده عملیات مورد ارزیابی بود. در عرصه عملیات و شاهد، پروفیل حفر و نمونه‌های خاک از لایه‌های مختلف خاک به دو روش دست‌خورده و دست‌نخورده (با استفاده از Core sampler برای تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک) برداشته شد. در زمان نمونه‌برداری با روش ترانسکت و پلات ضمن تعیین‌کردن ترکیب و تیپ‌های پوششی گیاهی، شاخص‌های بیوفیزیکی خاک در محدوده

پلات‌های یک متر مربعی تعیین شد.

به‌منظور بررسی اثر عملیات مورد ارزیابی در کنترل تخریب خاک و بهبود شاخص‌های کیفیت خاک، با مطالعه میدانی شاخص‌های بیوفیزیکی باروری و کیفیت خاک نظیر بررسی میدانی ساختمان خاک از نظر مورفولوژی و استحکام، وضعیت اشکال مواد آلی لابیل و بقایای در حال پوسیدگی، ظرفیت نگهداری آب و نفوذپذیری خاک، وجود لایه‌های محدودکننده توسعه ریشه و دیگر محدودیت‌ها نظیر وضعیت سنگریزه سطحی و عمقی، درز و ترک و تخلخل، اشکال آهک ثانویه و شدت جوشش با اسید و در نهایت شاخص کیفیت خاک تعیین شد. این کار به کمک روش GLADIS و با روش ارزیابی کارشناسی، در محدوده اثر عملیات و شاهد انجام شد. (Liniger و همکاران، ۲۰۰۸ و McDonagh و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین در این مرحله، شاخص‌های تخریب خاک و فرسایش خاک (بررسی اشکال، شدت و عوامل فرسایش، وضعیت کراست سطحی و پاشمان ذرات، پراکنش آرمور و دیگر اشکال تخریب خاک، اندازه‌گیری فرسایش شیاری و دیگر اشکال فرسایش) در محدوده عملیات و محدوده شاهد، برای این کار از روش ارزیابی مزرعه‌ای فرسایش خاک ارائه شده به‌وسیله برنامه LADA (Nachtergaele و همکاران، ۲۰۱۱؛ Nachtergaele و همکاران، ۲۰۱۳) استفاده شد. همچنین، برای تعیین شاخص نفوذپذیری آب در خاک از دستگاه نفوذسنج به روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای استفاده شد.

دیگر شاخص‌های بیوفیزیکی با کمک روش‌های آزمایشگاهی تعیین شد. این شاخص‌ها شامل بافت خاک، مقادیر کربن آلی خاک، CEC، ESP، مقادیر NPK و عناصر غذائی کم‌مصرف، آهک، بافت، pH و EC، جرم مخصوص ظاهری و همچنین، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها شامل شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها GMD و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها MWD بود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از رابطه (رابطه ۱) محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i \qquad (۱)$$

که در آن، MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، x_i میانگین قطر خاکدانه‌هایی که بر روی هر الک باقی می‌ماند (میلی‌متر)، w_i نسبت وزن خاکدانه در هر الک به وزن کل خاک به‌کار برده شده در آزمایش و n تعداد الک به‌کار رفته در آزمایش است. شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها GMD نیز از رابطه (۲) تعیین شد.

$$GMD = exp\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} log\, x_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i}\right) \qquad (۲)$$

که در آن، GMD میانگین هندسی قطر، x_i میانگین قطر خاکدانه‌هایی که بر روی هر الک باقی می‌ماند (میلی‌متر)، w_i نسبت وزن خاکدانه در هر الک به وزن کل خاک به‌کار برده شده در آزمایش و n تعداد الک به‌کار رفته در آزمایش است.

به‌منظور تعیین اثرات عملیات مورد ارزیابی در انباشه یا ذخیره کربن، نمونه‌های خاک، بیوماس و لاشبرگ تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه بیوماس تاج پوشش و ریشه به روش میانگین وزنی محاسبه شد. بیوماس گونه‌های درختی بر اساس رابطه تاج پوشش و بیوماس تخمین زده می‌شود. همچنین، بیوماس ریشه با انجام نمونه‌برداری از شواهد موجود در منطقه (نظیر ریشه گونه‌های موجود در ترانشه‌های واقع در عرصه طرح) تخمین زده شد. به‌منظور تعیین مقدار کربن ذخیره‌شده در اندام‌های هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ، میزان ماده آلی گیاه با روش احتراق (McDichen، ۱۹۹۷به نقل از Abdi و همکاران، ۲۰۰۸) به‌دست آمد. ذخیره کربن آلی خاک (Cs) هر لایه و در هکتار نیز با داشتن مقدار کربن آلی خاک در عمق (d) و جرم مخصوص ظاهری، با استفاده از رابطه سه محاسبه شد (Parvizi و همکاران، ۲۰۱۰).

$$Cs = 10000 \times \%SOC \times Bd \times d \qquad (۳)$$

که در آن، Cs ذخیره کربن (کیلوگرم در مترمربع یا تن در هکتار برای لایه مورد نظر)، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک لایه مورد نظر (تن در مترمکعب)، $\%SOC$ درصد کربن آلی خاک لایه مورد نظر و d عمق لایه (متر) است.

نتایج و بحث

بررسی نتایج به‌دست آمده از مطالعه و اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که عملیات یادشده تاثیر ملموسی بر بهبود شاخص‌ها و اشکال فرسایش و تخریب خاک داشته است. شاخص‌های تخریب خاک نظیر تشکیل

سله سطحی یا کراست، فرسایش سطحی اعم از شیاری و بین‌شیاری و سایر اشکال مشهود تخریب در محدوده یونجه‌کاری و باغ در حد صفر بود. ولی در دیم‌زارهای اطراف، تشکیل کراست سطحی و کمیت فرسایش شیاری و بین‌شیاری مشهود و قابل اندازه‌گیری بود. در جدول ۱، کمیت این شاخص‌ها نشان داده شده است. همان‌گونه که از ارقام جدول پیداست در محدوده دیم‌زارهای اطراف، فرسایش سطحی منجر به تلفات on site به میزان ۵/۵۶ تن خاک در هکتار شده است. در حالی‌که در محدوده یونجه یا باغ حتی کراست سطحی هم مشاهده نشد. حال آن‌که در دیم‌زارهای اطراف ۴۰ درصد سطح خاک را کراست سطحی پوشانده بود که نشان از تخریب ساختمان خاک در این اراضی بود. به‌عبارت بهتر سامانه یادشده منجر به توانبخشی و بهبود ساختمان خاک شده بود که بررسی‌های مزرعه‌ای هم این بهبود را نشان می‌داد. به‌گونه‌ای که در نهایت این اصلاح مدیریت کاربری منجر به افزایش ۳۵ درصدی در شاخص تلفیقی کیفیت خاک SQI شده بود (جدول ۱).

جدول ۱- وضعیت شاخص‌های تخریب و کیفیت خاک در محدوده باغ و یونجه‌کاری (اصلاح کاربری‌شده) و شاهد دیم‌زار

	کراست (درصد سطح)	فرسایش بین-شیاری ($tonha^{-1}$)	فرسایش شیاری			مواد آلی	ساختمان خاک		امتیاز کیفیت خاک SQI
			تراکم شیار ($m100m^{-2}$)	عرض ×عمق (cm)	فرسایش ($tonha^{-1}$)	لابیل درصد	پایداری در حالت مرطوب	شکل	
اصلاح کاربری شده	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵	متوسط	دانه‌ای ریز	۳۶/۵
دیم‌زار شاهد	۴۰	۲/۱	۷	۱۰×۴/۲	۳/۴۶	۱۷	خرد شونده (fragile)	متراکم (Massive)	۲۷

در جدول ۲، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک پروفیل‌های حفرشده در دو محدوده طرح و شاهد دیم‌زار مقایسه شده است. همان‌گونه که از ارقام این جدول پیدا است، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی خاک چندان تحت تاثیر این عملیات نبوده‌اند. تنها مورد استثناء فسفر قابل جذب است که در دیم‌زار و در خاک سطحی و تحتانی به‌ترتیب دو و سه برابر منطقه عملیات است. دلیل این امر آن است که در دیم‌زارها به‌دلیل کاربرد سالانه کود فسفره و انبارش باقی‌مانده آن که سالانه بین ۸۰ تا ۹۰ درصد کود مصرفی است، کمیت فسفر قابل جذب افزایش یافته است. همچنین، منگنز قابل جذب در عرصه پروژه تقریبا دو برابر دیم‌زار است. Kooch و Moghimian (۲۰۱۵) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. بقیه موارد از جمله کمیت کربن آلی خاک تفاوت محسوس ندارند.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه طرح و شاهد دیم‌زار

تیمار	عمق (cm)	TNV %	Ec (dSm^{-1})	pH	C.E,C (me/100gr)	P ($mgkg^{-1}$)	K ($mgkg^{-1}$)	O.C %	Mn ($mgkg^{-1}$)	Fe ($mgkg^{-1}$)	Zn ($mgkg^{-1}$)	CU ($mgkg^{-1}$)	Sand %	SiLt %	Clay %	Bd ($grcm^{-3}$)	نفوذپذیری ($cmmin^{-1}$)
طرح	۰-۲۵	۲۰/۸	۱/۳	۷/۱	۲۶	۱۱	۵۶۰	۱/۷	۲۳	۵/۴	۰/۸۶	۱/۳	۱۵	۵۶/۴	۲۸/۶	۱/۲	۰/۱۸۸
طرح	۲۵-۵۰	۲۲	۰/۴۷	۷/۲۶	۲۷/۴	۳	۲۶۰	۰/۹۵	۱۰/۲	۷/۴۴	۱/۰۸	۲/۱۶	۱۱	۴۶/۴	۴۲/۶	۱/۱۴	--
شاهد دیم‌زار	۰-۲۵	۳/۶	۰/۶۴	۷/۲۹	۱۹/۶	۲۳	۶۰۰	۱/۶	۱۹/۸	۴/۱۲	۱/۲۴	۰/۹	۲۵	۵۰/۴	۲۴/۶	۱/۲۳	۰/۲۳۰
شاهد دیم‌زار	۲۵-۵۰	۳۱/۸	۰/۵۹	۷/۴۶	۲۰	۹/۶	۵۲۰	۱/۰۲	۸/۶	۲/۵۲	۱/۰۲	۱/۲۲	۱۷	۵۵/۶	۲۷/۴	۱/۱	--

در محدوده اجرای طرح ظرفیت نفوذ کمتر از مناطق شاهد دیم‌زار بود (جدول‌های ۲ و ۳). دلیل این امر، درز و ترک شدید در محدوده شاهد دیم‌زار بود. به‌علاوه، عملیات آبیاری تکمیلی و اعمال خاک‌ورزی

بیشتر در محدوده طرح باعث شسته‌شدن و حرکت ذرات ریز به لایه پایینی و کاهش ظرفیت نفوذ نهائی خاک شده بود. شایان توجه است که این تفاوت در مقادیر نهائی نفوذ و با افزایش زمان آزمایش بیشتر نیز می‌شد (جدول ۳).

جدول ۳- تغییرات نفوذ در نفوذسنج صفحه‌ای در مناطق طرح و دیم‌زار شاهد مربوطه

طرح پیرکاشان		شاهد دیم‌زار	
نفوذ لحظه‌ای (سانتی‌متر)	زمان نفوذ (دقیقه)	نفوذ لحظه‌ای (سانتی‌متر)	زمان نفوذ (دقیقه)
۰/۹	۰/۵	۱	۰/۵
۰/۵۵	۰/۵	۰/۷	۰/۵
۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵
۰/۶۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵
۰/۵	۰/۵	۰/۵۵	۰/۵
۰/۵۵	۰/۵	۰/۴	۰/۵
۱/۰۵	۱	۰/۴۵	۰/۵
۱	۱	۰/۵	۰/۵
۱/۰۵	۱	۱	۱
۰/۹۵	۱	۰/۹۵	۱
۲/۴۵	۲	۰/۹۵	۱
۱/۹۵	۲	۲	۲
۲/۳	۲	۲/۱۵	۲
۲/۳۵	۲	۲/۳	۲
۵/۶	۵	۲	۲
۵/۶۵	۵	۶/۵	۵
		۶/۹	۵

از نظر پایداری خاکدانه‌ها، روند تغییرات در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از ارقام جدول پیداست، در نهایت عملیات احیایی یادشده، یعنی اصلاح کاربری دیم‌زار کم‌بازده با استحصال آب زیرقشری، شاخص‌های اندازه و پایداری خاکدانه‌ها را بهبود بخشیده بود. چرا که در نتایج الک تر در خاک برداشته شده از محدوده طرح، خاکدانه‌های درشت پایدارتر بودند، به‌گونه‌ای که در خاک سطحی در منطقه طرح پایداری خاکدانه‌های درشت در سری الک تر حدود شش برابر دیم‌زار شاهد بود. البته این نسبت در خاک سطح‌الارض صدق نمی‌کرد و کمیت توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو منطقه و در این دو عمق تقریبا یکسان بود.

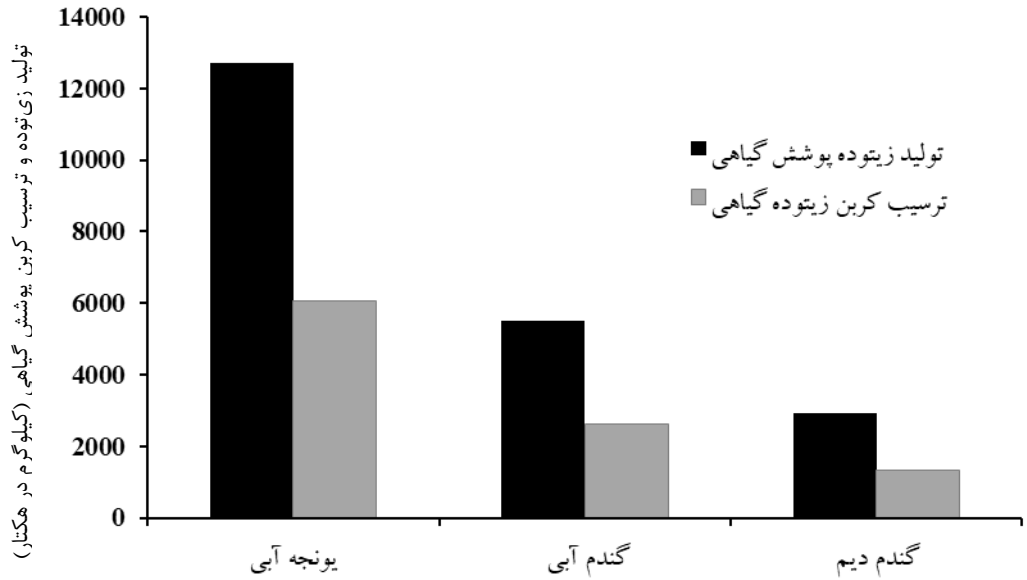
بررسی شاخص‌های پایداری MWD و GMD یعنی توزیع وزنی و هندسی اندازه خاکدانه‌ها در سری الک تر نشانگر تفاوت بسیار فاحش شاخص پایداری MWD در طرح نسبت به شاهد دیم‌زار آن بود. به گونه‌ای که، این کمیت در محدوده طرح حدود ۶/۵ برابر بیش از دیم‌زار شاهد و در خاک سطحی بود. این افزایش پایداری البته به میزان به مراتب کمتری در خاک تحت‌الارض نیز مشاهده شد. شایان توجه است، تفاوت ملموسی در کمیت شاخص GMD در دو محدوده یادشده و در هر دو عمق وجود نداشت.

بررسی کلی شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در سری الک تر در دو عمق خاک و در هر دو مدیریت دیم‌زار و منطقه اجرای عملیات، نشانگر تفوق پایداری خاکدانه‌ها در سری الک تر در افق سطح‌الارض نسبت به خاک تحت‌الارض بود. این مهم ناشی از بالابودن ماده آلی خاک در خاک سطحی و در نتیجه بهترشدن ساختمان خاک در اثر ورود ماده آلی بالاتر در آن است.

برای اندازه‌گیری مقدار زی‌توده هوایی و ریشه یونجه از کوادرات‌های کوچک مربعی شکل ۲۰×۲۰ سانتی‌متری به تعداد ۲۰ کوادرات استفاده شد. کشت

گیاهان علوفه‌ای چندساله مانند یونجه می‌تواند فشار چرا بر مراتع و جنگل‌های منطقه را کاهش دهد و با ریشه‌های قوی و دارای باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، شرایط مناسبی برای تکامل خاک و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی را فراهم کند. همچنین، کشت گیاهان علوفه‌ای چندساله (یونجه) منجر به کنترل فرسایش و حفاظت خاک، افزایش حاصلخیزی، کاهش رواناب، افزایش نفوذپذیری آب در خاک، افزایش زی‌توده گیاهی و ترسیب کربن ناشی از آن و در نهایت بهبود معاش و درآمد خانوارهای کشاورزان خواهد شد. بنابراین، جایگزینی کشت علوفه با کشت غلات در حوزه‌های آبخیز، راهکار مناسبی برای بهره‌برداری پایدار و مدیریت جامع حوزه آبخیز است.

در جدول ۵، مقایسه‌ای میان کشت یونجه با کشت گندم از دیدگاه تولید زی‌توده پوشش گیاهی و مقدار ترسیب کربن پوشش گیاهی انجام شده است. تولید زی‌توده هوایی ۸۵۰۰ کیلوگرم در سه چین یونجه بیش از دو برابر تولید غلات است. در شکل ۲، سه کشت یونجه آبی، گندم دیم و آبی از دیدگاه تولید زی‌توده و ترسیب کربن پوشش گیاهی مقایسه شده‌اند. مطالعات Yao و همکاران (۲۰۱۴) در چین نشان می‌دهد که عملیات احیایی تبدیل اراضی زراعی کم‌بازده به کشت علوفه بر مقدار ترسیب کربن و نیتروژن، اثر مثبت دارد که کمیت این اثر وابسته به نوع بافت خاک است.



شکل ۲- تولید زی‌توده و ترسیب کربن پوشش گیاهی در عملیات مختلف کشت در محدوده سامانه مورد ارزیابی

جدول ۴- شاخص‌های اندازه خاکدانه‌ها و سهم نسبی هر طبقه اندازه همراه با میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها با الک‌تر درطرح و شاهد دیم‌زار

تیمار	دو میلی‌متر		یک میلی‌متر		۰/۵میلی‌متر		۰/۲۵میلی‌متر		۰/۱۰۶ میلی‌متر		۰/۰۷۵ میلی‌متر		MWD	GMD
	Wi	wixi	wi	wixi	wi	wixi	wi	wixi	wi	wixi	wi	wixi		
طرح	۰/۳۷	۱/۳۰	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۱۸۱	۰/۵۲	۰/۳۰۴
طرح	۰/۴۸	۱/۶۸	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۰۹۰۵	۰/۸۶	۰/۲۸۳
شاهد دیم‌زار	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۰۲۷۱۵	۰/۰۸	۰/۳۰۴
شاهد دیم‌زار	۰/۴۵	۱/۵۸	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱۲۶۷	۰/۷۵	۰/۲۸۳

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های تولید زی‌توده و ترسیب کربن یونجه‌کاری و کشت شاهد گندم

کشت	تراکم	ارتفاع	متوسط تولید هوایی	بیومس	ضریب تبدیل	ترسیب کربن پوشش هوایی	بیومس پلات	زی‌توده ریشه	ضریب تبدیل	ذخیره کربن ریشه	زی‌توده کل	ذخیره کربن کل زی‌توده
	درصد	cm	gr	$kgha^{-1}$		$kgha^{-1}$	gr	$kgha^{-1}$		$kgha^{-1}$	$kgha^{-1}$	$kgha^{-1}$
یونجه	۹۵	۴۰	۱۴/۲۴	۸۵۰۰	۰/۴۸	۴۰۸۰	۱۶/۸۴	۴۲۱۰	۰/۴۷	۱۹۷۸/۷	۱۲۷۱۰	۶۰۵۸/۷
گندم دیم	۶۰	۵۵	۸/۴	۲۱۰۰	۰/۴۸	۹۷۱	۳/۲	۸۰۵	۰/۴۷	۳۷۲	۲۹۰۵	۱۳۴۳

نتیجه‌گیری

اثر مدیریت کاربری بر ارتقاء کیفیت خاک و بهبود ذخایر کربن آلی آن به‌وسیله محققینی نظیر Parvizi و همکاران (۲۰۱۰) به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش نیز مشخص شد که اصلاح مدیریت کاربری دیم‌زار و تبدیل آن به کشت علوفه‌کاری یونجه با استفاده از استحصال آب‌های زیرقشری، منجر به بیشترین بهبودی در شاخص‌های باروری خاک، کنترل تخریب و فرسایش و ارتقاء ظرفیت ترسیب کربن بود. در مجموع، بررسی اعداد و ارقام نشان داد که با تغییر کاربری دیم‌زارهای کم‌بازده و علوفه‌کاری در آن‌ها، به‌طور متوسط وزنی می‌توان در حوضه در میان‌مدت حدود ۲۲/۳ تن کربن در هکتار ترسیب کرد. اگر معیار ارزش اقتصادی و زیست‌محیطی معادل ۲۰۰ دلار برای هر تن کربن ترسیبی، ارائه‌شده به‌وسیله Lal (۲۰۰۸)، به‌عنوان مبنا برای ارزش‌گذاری اقتصادی کربن قابل ترسیب در عرصه دیم‌زارهای کم‌بازده حوضه قرار داده شود، بر این مبنا، ارزش کربن ترسیبی در هر هکتار از عرصه‌های یاد شده بین ۴۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ دلار در هکتار در یک بازه ۱۰ ساله خواهد بود. از سوی دیگر، کاشت دیم محصولات نخود و گندم دیم به‌طور متوسط حدود دو تن بیوماس تولید خواهد کرد که ارزش اقتصادی ناخالص آن به‌طور متوسط معادل ۶۳۵ دلار در سال خواهد بود. با احتساب هزینه تولید که بر اساس عرف و تعرفه‌های خدماتی و نهاده‌های موجود در عرصه به‌طور متوسط ۱۷۰ دلار برای هر هکتار دیم خواهد بود. بدین‌ترتیب درآمد خالص کشت دیم معادل ۴۶۵ دلار در سال در شرایط ایده‌آل خواهد بود. همچنین، نهال‌کاری این عرصه‌ها الگوهای موفقی در کنترل روند تخریب، فرسایش و بهبود باروری خاک بودند و این عملیات توانسته بود این شاخص‌ها را به‌صورت متمایزی بهبود بخشد. اثر احداث باغات در مراتع و دیم‌زارهای ضعیف حوضه علاوه‌بر توانبخشی باروری خاک، ترسیب ۱۵/۵ تا ۳۰/۵ تن کربن در هکتار در عرصه این باغات بوده است.

سپاسگزاری

حمایت مالی دفتر پروژه بین‌المللی منارید در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری موجب سپاسگزاری و تقدیر فراوان است.

منابع مورد استفاده

1. Abdi, N., H. Madah and G. Arefi Zahedi. 2008. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi Province, a case study: Malmir rangeland in Shazand region. Iranian Journal of Range and Desert Research, 15(2): 269-282 (in Persian).
2. Arabkhedri, M., S. Shadfar and R. Sokoti. 2015. Improving the estimates of water erosion and determining of soil loss tolerance in Iran. Research Final Report of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 253 pages (in Persian).
3. FAO. 2006. Carbon sequestration in dryland soils. Corporate Document Repository. Available online at: http://www.fao.org /docrep/ 007/y5738e/y5738e05.html.
4. Ferenc, K., S. József and R. János. 2006. Assessment of the special soil degradation (bench erosion) with GIS methods from the Great Hungarian Plain. 9th AGILE Conference on Geographic Information Science, Visegrád, Hungary, 29-34.
5. Heshmati, M., M. Gheitouri, M. Sheikhvaisi, M. Arabkhedri and M. Hoseini. 2017. Combating the forest mortality crises in Zagros regions, Iran through adaptive approaches solutions. Geography and Environmental Hazards, 23(3): 125-141 (in Persian).

6. Kooch, Y. and N. Moghimian. 2015. The effect of deforestation and land use change on ecophysiology indices of soil carbon and nitrogen. Iranian Journal of Forest, 7(2): 243-256 (in Persian).
7. Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. Land Degradation and Development, 12: 519-539.
8. Lal, R. 2008. The role of soil organic matter in the global carbon cycle. Soil and Environment Pollution, 116: 353–36.
9. Li, L., S. Du, L. Wu and G. Liu. 2009. An overview of soil loss tolerance. Catena, 78 (2009): 93–99.
10. McDonagh, J., S. Bunning, D. McGarry, H. Liniger and J. Rioux. 2010. Field manual for local level land degradation assessment in drylands, Part 2: local assessment: tools and methods for fieldwork. LADA-L. FAO, Rome.
11. Nachtergaele, F., R. Biancalani, S. Bunning, J. McDonagh, J. Rioux and A. Woodfine. 2011. Manual for local level assessment of land degradation and sustainable land management, part 2: field methodology and tools. LADA. FAO/UNEP.
12. Parvizi, Y., M. Gorji, M.H. Mahdian and M. Omid. 2010. Mapping of spatial variability of soil organic carbon and predicting the influences of physical and management factors by use of multivariate analysis and artificial neural networks. PhD Thesis, Tehran University, 205 pages (in Persian).
13. Yao, R.J., J.S. Yang, P. Gao, J.B. Zhang, W.H. Jin and S.P. Yu. 2014. Soil-quality-index model for assessing the impact of groundwater on soil in an intensively farmed coastal area of E China. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177: 330–342.