

The effectiveness of rainwater harvesting on controlling the phenomenon of desiccation and soil in forests of Kermanshah Province, Iran

Mohammad Gheitury^{1*} and Mosayeb Heshmati²

¹ Associate Professor, Kermanshah Center for Agricultural and Natural Resources Research and Education, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

² Professor, Professor, Kermanshah Center for Agricultural and Natural Resources Research and Education, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

Received: 29 December 2024

Accepted: 28 April 2025

Extended abstract

Introduction

Climate change and its consequences are among the most important concerns for agriculture and the environmental organizations worldwide. Water scarcity and decline soil moisture are the most significant consequences of this trend in arid and semiarid region. One of the consequences of climate change is the phenomenon of oak forest dieback in western Iran (*Quercus persica*). This issue can disrupt the balance of land resources in the Zagros region, leading to consequences such as degradation of land resources, increased dust storm, soil erosion, flooding, climate change, and impoverishment of local communities.

Materials and methods

One of the fundamental solutions in this regard is to maintain soil moisture on slopes using rainwater harvesting systems, such as interrupted and crescent-shaped bunds. The key objective of this research is to determine the role of crescent-shaped bund systems in collecting surface runoff to control the phenomenon of oak forest dieback in western Iran. To achieve this goal, the Merek forest watershed in Kermanshah province where dieback of forest species has been observed, was selected as the study site. Subsequently, rainwater harvesting systems, including crescent-shaped bunds, were constructed in this forest area. Additionally, a nearby site with similar conditions was designated as the control site for comparison. After the construction of the bunds by the Department of Natural Resources of the province, data collection from the forest site was carried out over a three-year period (2022–2024), this included monthly monitoring of changes in soil aggregate size, organic matter, organic carbon, and soil pH, along with measurements of soil moisture percentage.

Results and discussion

The results of this study explored that among the four soil moisture measurement points, including the bottom of bund, bund downwards, between the bund and the control (without bund), soil moisture storage in sub layer (15 to 30 cm) were about 20, 17, 14 and 13 percent, respectively, which was significantly higher in the bund bottom compared with control plot. The results of this study also showed that in the third year, the soil organic carbon storage in the bund treatment and the control treatment was 4.01% and 1.6%, respectively, indicating a statistically significant difference between them. In addition, the bunds significantly increase the proportion of large and very large soil aggregates. The combination of these conditions led to improvements in cation exchange capacity, essential nutrient elements, and some micronutrients within the area where the bunds were implemented. Finally, the increase in soil organic matter and the accumulation of runoff in the bunds reduced soil erodibility and stabilized it against erosive factors. As a result, the erodibility index in the bund treatment and the control treatment was approximately 0.19 and 0.32, respectively.

* Corresponding author: gheituty42@gmail.com

Conclusions

According to the results of this research, the proper and precise construction of these bunds without the use of heavy machinery is a simple, economic and effective measure for rainwater harvesting. In addition to soil moisture storage and enhancement of plant biological indicators, it improves key soil characteristics mainly soil organic matter, coarse soil aggregates proportion and soil nutrients, which ultimately leads to soil sustainable, carbon sequestration, curtailing flooding hazards on the hill-slope, and strengthening subsurface flow.

Keywords: Bulk density, Coarse aggregate, Forest dieback, Bunds bottom, Soil erodibility, Soil moisture

Cite this article: Gheitury, M., Heshmati, M., 2025. The effectiveness of rainwater harvesting on controlling the phenomenon of desiccation and soil in forests of Kermanshah Province, Iran. *Water. Eng. Manag.* 17(3), 374-389.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



اثربخشی استحصال آب باران بر کنترل پدیده خشکیدگی و خاک جنگل‌های استان کرمانشاه

محمد قیطوری^{۱*} و مسیب حشمتی^۲

^۱ دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

^۲ استاد، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

چکیده مبسوط

مقدمه

تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سازمان‌های مرتبط با کشاورزی و محیط زیست در سطح جهان است. کمبود آب و کاهش رطوبت خاک مهم‌ترین پیامد این روند در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. که یکی از پیامدهای تغییر اقلیم پدیده خشکیدگی جنگل‌های بلوط غرب (*Quercus sp.*) است. این موضوع می‌تواند موجب برهم‌زدن توازن منابع سرزمین در منطقه زاگرس شود که پیامد آن تخریب منابع سرزمین، افزایش ریزگردها، فرسایش خاک، سیلاب، تغییرات اقلیمی و فقر جوامع محلی است.

مواد و روش

یکی از راهکارهای اساسی در این زمینه حفظ رطوبت خاک در دامنه با استفاده از سامانه‌های سطوح آبخیز باران از قبیل بانکت‌های منقطع و هلالی شکل است. هدف مهم این پژوهش تعیین نقش سامانه بانکت هلالی در جمع‌آوری رواناب سطحی برای کنترل پدیده خشکیدگی جنگل‌های بلوط غرب است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا سایت جنگلی حوزه آبخیز مرک استان کرمانشاه که پدیده خشکیدگی گونه‌های جنگلی در آن مشاهده شد، انتخاب شد. سپس سامانه‌های سطوح آبخیز باران شامل بانکت‌ها هلالی در این عرصه جنگلی احداث شد و در کنار آن محدوده‌ای با شرایط مشابه به عنوان سایت شاهد تعیین شد. بعد از احداث بانکت‌ها به‌وسیله اداره کل منابع طبیعی استان، زمان داده‌برداری از سایت جنگلی به مدت سه سال (۱۴۰۳-۱۴۰۰) بود که شامل داده‌برداری متوالی ماهانه از تغییرات اندازه خاکدانه‌ها، ماده آلی، کربن آلی و اسیدیته خاک همراه با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که در میان چهار نقطه اندازه‌گیری رطوبت خاک که شامل کف بانکت، پایاب بانکت، بین بانکت و شاهد (بدون بانکت) میزان ذخیره رطوبت لایه زیرین (۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری) به‌ترتیب حدود ۲۰، ۱۷، ۱۴ و ۱۳ درصد بود که به‌طور معنی‌داری در تیمار بانکت بیشتر از شاهد بود. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که میزان ذخیره کربن آلی خاک در سال سوم در تیمار بانکت و شاهد به‌ترتیب ۴/۰۱ و ۱/۶ درصد بود که به‌طور معنی‌داری با هم تفاوت داشتند. علاوه بر این، بانکت‌ها موجب افزایش معنی‌دار خاکدانه‌های درشت و خیلی درشت خاک شدند. مجموعه شرایط

فوق موجب شد که ظرفیت تبادل کاتیونی، عناصر غذایی اصلی و برخی عناصر ریزمغذی نیز در محدوده اجرای بانکت‌ها بهبود یابد. در نهایت، افزایش ماده آلی خاک تجمع رواناب در بانکت‌ها موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک و تثبیت آن در مقابل عوامل فرساینده شد، به‌طوری‌که شاخص فرسایش‌پذیری در تیمارهای بانکت و شاهد به ترتیب حدود ۰/۱۹ و ۰/۳۲ بود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، احداث اصولی و دقیق این بانکت‌ها بدون استفاده از ماشین‌آلات سنگین، روشی ساده، ارزان و مؤثر در استحصال آب باران است که علاوه بر ذخیره رطوبت و تقویت شاخص‌های بیولوژیکی گیاهان، موجب بهبود ویژگی‌های کلیدی خاک از جمله آلی، افزایش نسبت خاکدانه‌های درشت، جرم مخصوص ظاهری و عناصر غذایی شود که در نهایت منجر به پایداری خاک، ترسیب کربن آلی، کاهش سیلخیزی در دامنه و تقویت جریان زیر قشری خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، خاکدانه‌های درشت، درختان دچار خشکیدگی، رطوبت خاک، کف بانکت، فرسایش‌پذیری خاک

مقدمه

تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سازمان‌های مرتبط با کشاورزی و محیط زیست در پدیده خشکیدگی جنگل‌های زاگرس شاید یکی از تبعات قابل توجه در این زمینه باشد. تغییر اقلیم عبارت است از تغییر رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به روند بلند مدت از اطلاعات ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (Behmanesh et al., 2015).

بر اساس نتایج پژوهش‌ها میزان بارش و بخار هوا نسبت به گذشته کاهش یافته، در مقابل تبخیر و تعرق و دمای هوا افزایش یافته است. همچنین مقدار بارش فصل بهار نسبت به میانگین بلند مدت کمتر شده و در عوض مقدار بارش فصل پاییز زیادتر شده است. این روند موجب بروز و تشدید پدیده خشکیدگی درختان جنگلی در منطقه زاگرس شده است (Behmanesh et al., 2015).

جنگل‌های زاگرس به‌عنوان وسیع‌ترین بوم‌سازگان جنگلی طبیعی کشور هستند و نقش مهمی در تنظیم آب و خاک و تعادل اکولوژیک منطقه دارند. متأسفانه در سالان اخیر، بخش‌های وسیعی از جنگل‌های بلوط زاگرس دچار سرخشکیدگی و زوال^۱ شدند (Pourhashemi et al., 2017). مهم‌ترین نشانه بروز زوال بلوط و سرخشکیدگی درختان، به‌طور معمول در

تاج درختان نمایان می‌شود (Hosseinzadeh and Pourhashemi, 2015). جنگل‌های زاگرس با مساحت حدود شش میلیون هکتار ۱۱ استان ایران را در بر دارد. این جنگل‌ها عمدتاً بر روی سازندهای زمین شناسی حساس به فرسایش متشکل از مارن و شیل با شیب بیش از ۱۵ درصد پراکنش دارند و به همین دلیل نقش کلیدی در کنترل فرسایش، زمین لغزش و رسوب دارند. با تخریب این جنگل‌ها خسارات جبران‌ناپذیری در ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی به بار می‌آید که کاهش حجم مفید سدها، گل آلودگی منابع آب و تشکیل کانون‌های وقوع ریزگرد از جمله آن‌ها است. کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و زیان‌های ناشی از کاهش محصولات فرعی (سقز، گیاهان دارویی)، علوفه کف جنگل و تشدید آفات و بیماری‌های زراعی نیز از دیگر پیامدهای این روند است که به‌طور مستقیم معیشت ساکنین محلی را با خطر مواجه می‌کند. متأسفانه روند تخریب این منابع ملی ارزشمند روند نگران‌کننده‌ای دارد و بدترین وضعیت تلاقی تخریب و پدیده نوظهور خشکیدگی درختان جنگلی بر اثر تغییرات اقلیمی است که موجب نگرانی عمیق کارشناسان و محققین دلسوز شده است.

عدم توجه به این موضوع می‌تواند پدیده بیابانی شدن مناطق تحت پوشش و در نتیجه تبعات غیرقابل جبران محیط زیست و اقتصادی و اجتماعی را در

¹ Oak decline

ساخت آنها زیاد است؛ ۲- موجب برهم زدن نیمرخ خاک و جابجایی آن می شوند؛ ۳- برای پوشش گیاهی دامنه های بالادست تأثیری ندارد و ۴- در مقابل جریانات شدید سیل دوام چندانی ندارند. در مقابل جمع آوری و ذخیره رطوبت در سطح دامنه ضمن این که هیچکدام از تبعات فوق را نداشته، نقش مؤثری در نفوذ رواناب در خاک، افزایش جریان زیرقشری و تغذیه آب های زیرزمینی دارد و رطوبت ذخیره شده در خاک می تواند در اختیار گیاه قرار گیرد. بر اساس نتایج تحقیقات متعدد از جمله در جنگل های زاگرس در استان کرمانشاه، اتخاذ این رویکرد با استفاده از بانک های هلالی شکل موجب کنترل قابل توجه پدیده خشکیدگی و افزایش کیفیت خاک شد.

مواد و روش ها

منطقه مطالعاتی: معیار مناسب انتخاب مکان اجرای پژوهش در عرصه جنگلی شامل موارد زیر است: وجود آثار خشکیدگی جنگل، قابلیت قرق به مدت سه سال؛ وجود یک ایستگاه هواشناسی در نزدیکی محل و شیب دامنه بین ۱۵ تا ۲۰ درصد باشد و بخشی از آن به عنوان تیمار شاهد باشد. بر این مبنا محل اجرای پژوهش منطقه جنگلی چهارزبر در استان کرمانشاه که آثار خشکیدگی جنگل در آن قابل مشاهده بود، انتخاب شد. این منطقه در مسیر راه اصلی کرمانشاه-اسلام آباد غرب در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمانشاه روی دامنه شمالی گردنه معروف چهارزبر (مرصاد) قرار دارد.

منطقه مطالعاتی انتخاب شده در طول جغرافیایی ۳۷۸۷۸۱۲ تا ۳۷۸۸۹۸۳ و عرض جغرافیایی ۶۵۵۴۱۵ تا ۶۵۴۶۵۸ متر در ارتفاع متوسط ۱۶۵۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط دامنه ۱۶ درصد با بارش متوسط سالانه ۵۰۰ میلی متر توام با زمستان سرد که معرف منطقه نیمه خشک است، قرار دارد (شکل ۱). همچنین منطقه اجرای پژوهش در تقسیم بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده در اقلیم مرطوب سرد قرار گرفته است. محل مورد مطالعه بخشی از زاگرس چین خورده بوده که تناوبی از طاق دیس-ناودیس و دشت های محصور بین آنها است و جهت کلی دامنه شمال غرب-جنوب شرق است. دامنه مورد مطالعه بالادست حوزه آبخیز مرک

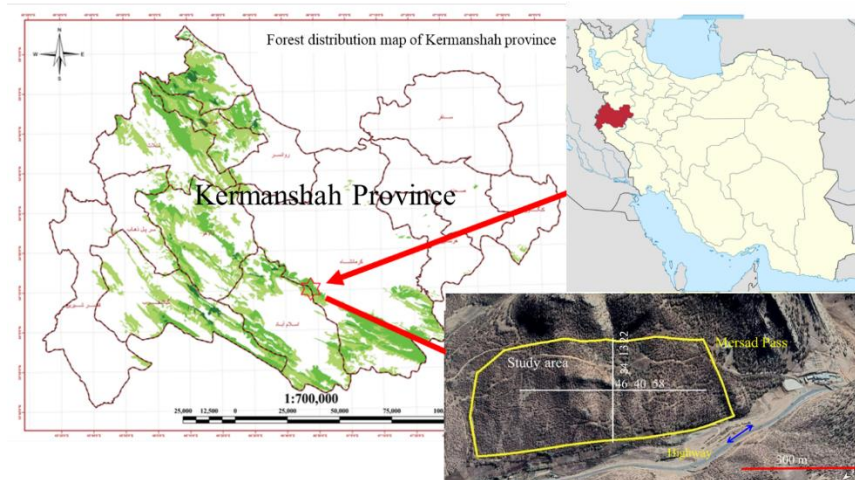
آینده ای نه چندان دور که از هم اکنون پیداست در بر داشته باشد. این امر موجب از دست رفتن دست کم ۲۰ درصد خاک های مرغوب کشور، ۴۰ درصد آب های سطحی، صدمه شدید به ده ها سد ساخته شده، آسیب های اجتماعی به روستاییان و عشایر (بیش از ۱۹۲۰۰ روستا و ۷۰ درصد کل عشایر کشور) خواهد شد. در منطقه حفاظت شده دنا، شیب های زیاد و جهت های جنوبی از درصد خشکیدگی بیشتری برخوردارند، اما متغیرهای خاک هیچ گونه رابطه معنی داری با خشکیدگی نشان ندادند و به طور کلی شرایط توپوگرافی و جنگل شناسی از جمله عوامل مهمی بودند که بر چگونگی پراکنش خشکیدگی درختان بلوط ایرانی به ویژه بر درختان کوچک و شاخه زاد تأثیر گذاشتند (Amir Ahmadi et al., 2015).

در همین راستا، پژوهش Hosseini et al., (2022) نشان داد، در جنگل های مله سیاه ایلام، میزان کربن آلی خاک تحت تأثیر معنی دار جهت دامنه بود و میزان کربن آلی عمق صفر تا ۲۰ سانتی متر خاک در رویشگاه شمالی کمتر از رویشگاه جنوبی بود. میزان pH، کربنات کلسیم، رطوبت خاک عمق صفر تا ۲۰ سانتی متر و رطوبت خاک عمق ۲۰ تا ۵۰ سانتی متر نیز تحت تأثیر جهت دامنه تغییر کردند. به طوری که ساخت سطوح آبگیر باران به منظور ذخیره نزولات آسمانی و بهره برداری مناسب از بارندگی برای ایجاد پوشش گیاهی بهبود محیط زیست روش مناسبی برای مناطق کم باران به خصوص نواحی خشک و نیمه خشک محسوب می شود (Noori and Zare Chahouki, 2018).

بررسی سابقه پژوهش نشان می دهد که سامانه های سطوح آبگیر باران نقش کلیدی در ذخیره نزولات آسمانی دارند و یکی از راهکارهای اساسی برای حفظ رطوبت خاک در دامنه است. لذا، هدف مهم این پژوهش تعیین نقش سامانه بانک هلالی در جمع آوری رواناب سطحی برای کنترل پدیده خشکیدگی جنگل های بلوط غرب است. این رویکرد بر حفظ رطوبت خاک در دامنه تأکید دارد که در مقابل ذخیره و استحصال آب های سطحی در شبکه زهکشی است. رویکرد اول متکی به اقدامات بیومکانیکی و دومی متکی به اقدامات سازه ای از جمله ساخت انواع بندها (سنگی، ملاتی، گابیونی) و سدها است که دست کم چهار پیامد دارد: ۱- هزینه

آسماری) و مارنی (احتمالاً امیران و تله‌زنگ) است.

است که ابتدا به رودخانه قرسو و سپس به رودخانه سیمره می‌ریزد. زمین‌شناسی منطقه آهکی (آهک‌های

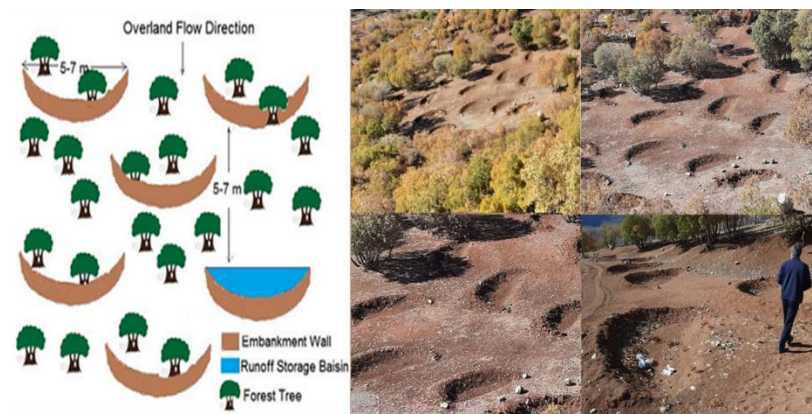


شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز چهارزبر استان کرمانشاه

Fig. 1. The Geographical location of study areas (Chaharzabar) in Kermanshah, Iran

منقطع، بسته به شرایط توپوگرافی و تراکم درختان قابل تغییر است. طول بانکت‌ها بین پنج تا هفت متر؛ عرض فوقانی بانکت بین یک تا ۱/۵ متر که به سمت دو گوشه‌ها کاهش می‌یابد (گوشه‌های بانکت نیز به سمت بالادست کشیده می‌شود). همچنین فاصله دو بانکت از هم حدود پنج تا هفت متر و عمق بانکت ۰/۵۰ تا ۰/۷۰ متر احداث شد. بانکت‌ها در ردیف‌های عمود بر جهت شیب به شکل زیگزاگی ایجاد شد تا بیشینه رواناب را جمع‌آوری کند. همچنین زمان مناسب ایجاد بانکت وقتی است که رطوبت خاک در حد متعادل است که اصطلاحاً زمین گاو رو است.

مشخصات سامانه‌های آبخیز باران: با توجه به روش پژوهش مصوب، سامانه سطوح آبخیز باران مورد احداث از نوع بانکت هلالی^۱ شکل بود که به وسیله اداره کل منابع طبیعی و بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استان احداث شد (شکل ۲). این بانکت‌ها به دلیل قابلیت انعطاف در شرایط مختلف توپوگرافی (دامنه‌هایی با شرایط متغیر شیب، جهت، شکل، پوشش گیاهی و برون‌زدگی سنگی)، نقش کلیدی در استحصال آب باران دارد. ضمن احداث با هزینه کم، به آسانی قابلیت احداث و گسترش در عرصه‌های جنگلی، مرتعی و باغات دیوم را دارد. ابعاد این بانکت‌های هلالی شکل و



شکل ۲- ابعاد بانکت‌های منقطع هلالی شکل در جنگل‌های منطقه زاگرس- استان کرمانشاه (منبع: Heshmati et al., 2018)

Fig. 2. Schematic map of semi-circular bund (left) and constructed bund (right) in the study area (Heshmati et al., 2018)

^۱ Semi-circular bund

تجزیه آماری داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با نرم افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج پژوهش حاضر بر نقش سامانه سطوح آبیگر باران در مناطق جنگلی تحت تأثیر خشکیدگی بر ذخیره رطوبت خاک، تغییرات کربن آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، توزیع اندازه خاکدانه‌ها و فرسایش پذیری خاک در بندهای زیر تشریح شده است.

نقش سامانه سطوح آبیگر باران در ذخیره رطوبت

خاک: میانگین ذخیره رطوبت به ترتیب در کف بانکت، خاکریز (دیواره پایاب)، بین بانکت و شاهد (محدوده بدون بانکت) به ترتیب ۲۰/۱۳، ۱۶/۶۷، ۱۳/۶۵ و ۱۳/۰۹ درصد بود که بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در داخل بانکت به طور معنی داری بیشتر است (جدول ۱). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بانکت‌ها موجب انتقال رطوبت به داخل خاک و ذخیره آن می شوند، که در دوره‌های خشک موجب دوام درختان در مقابل تنش‌های خشکی می‌شود.

پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است چنانچه داده‌ها نشان می‌دهد که سطوح آبیگر تا ۱۸۷ مترمکعب رواناب در هکتار را در خاک ذخیره می‌کند که به طور متوسط ۳۰ درصد کل بارش را شامل شده است (Ali et al., 2010). اجرای سامانه‌های سطوح آبیگر باران در اراضی کشاورزی موجب افزایش محصول نیز می‌شود. تحقیقات (Rehman et al., 2014)، نشان داد که این بانکت منجر به افزایش ۱۸ درصد عملکرد باغات انگور، لیمو و زیتون شد و علاوه بر آن از طریق کاهش فرسایش خاک نیز عناصر غذایی و کربن آلی خاک افزایش معنی داری یافت. مشابه این نتایج در تحقیقات (Tabatabaee et al., 2016)، در آبیاری تکمیلی گندم با استفاده از سطوح آبیگر باران گزارش شده است. همچنین تحقیقات (Gheitury et al., 2020)، سامانه‌های سطوح آبیگر کوچک را بستر مناسب برای افزایش رطوبت خاک برای توسعه باغات دیم در شرایط خشکسالی به منظور سازگاری با تغییرات اقلیمی و حفظ معیشت ساکنین محلی می‌داند.

اندازه‌گیری رطوبت خاک و خاکدانه‌ها : رطوبت

خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج^۱ اندازه‌گیری شد. به این منظور سه نقطه در محدوده مورد مطالعه شامل داخل بانکت، دیواره بانکت (به سمت خارج) و فضای میان دو بانکت همراه با منطقه شاهد انتخاب شد. رطوبت خاک از اواخر زمستان تا اواسط تابستان نمونه خاک از دو لایه صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی متری انجام شد. پایداری خاکدانه‌ها یکی از شاخص‌های کلیدی مؤثر بر کیفیت خاک، نگهداری رطوبت و مقاومت در مقابل عوامل فرساینده است که فراوانی خاکدانه‌های درشت تر نقش بیشتری دارند.

بدین منظور، نسبت وزنی خاکدانه‌ها به روش الک تر انجام شد. بر این اساس، ۵۰ گرم خاک از خاک با قطر ۲-۴/۶ میلی متر پس از خیس کردن تدریجی با پیست بر روی یک سری الک‌های (به ترتیب از پایین به بالا) ۰/۱۲۵، ۰/۵، یک، دو و ۴/۶ میلی متر قرار داده شد و در مخزن آب الک تر قرار گرفت. در مرحله بعد، سری الک‌ها با سرعت ۳۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه الک تر تکان داده شد و خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک به ظرف جداگانه منتقل و پس از خشک شدن در آن وزن شد که نهایتاً نسبت آنها با هم محاسبه شد.

نمونه برداری خاک: نمونه‌های خاک از لایه صفر تا ۲۰

سانتی متری برداشت شد. بدین منظور، در هر پلات نمونه از سه نقطه با عمق یکسان برداشت و شماره گذاری شد. نمونه کلوخه دست نخورده نیز برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری جداگانه برداشت شد و آزمایش متداول، شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کربنات (آهک کل)، نسبت ذرات خاک (رس، سیلت و شن) و نسبت شن ریز و درشت (برای محاسبه فرسایش پذیری) انجام شد.

عامل فرسایش پذیری: عامل فرسایش پذیری (K) در

فرمول جهانی فرسایش خاک و بر اساس پنج عامل درصد مواد آلی، درصد سیلت + شن ریز (۰/۲ تا یک میلی متر)، درصد شن درشت (یک تا دو میلی متر)، ساختمان خاک و نفوذپذیری محاسبه شد. در نهایت

¹ Time Domain Reflectometry (TDR)

مناطق خشک و نیمه خشک در به کمینه رساندن ریسک تنش‌های خشکی نقش ارزنده‌ای داشته باشند. Ali et al., (2010)، اظهار داشتند که سابقه استفاده از انواع مختلف سامانه‌های جمع‌آوری رواناب در خاورمیانه برای نفوذ آن در خاک و یا آبیاری تکمیلی به سه هزار سال پیش برمی‌گردد.

بنابر نتایج پژوهش Mahajan et al., (2006)، امروزه انواع متنوعی از این فناوری‌ها برای مقابله با تغییرات اقلیمی برای سازگاری با خشکی و حفظ پوشش گیاهی و عملکرد محصولات کشاورزی ابداع شده است. این فناوری‌ها در مقایسه با سایر اقدامات سازه‌ای ساده، سازگار با محیط زیست، کم‌هزینه و مؤثر در هستند. نکته مهم در نتایج این بررسی‌ها، تأکید بر حفظ و مرمت بانکت‌ها برای حفظ عملکرد آنها است. توجه به این‌که الگوهای بارش و دما بیانگر خشکسالی برای بخش زیادی از ایران است (Babaei and Alijani, 2010)، این موضوع برای بقای درختان جنگلی در مقابل تنش‌های خشکی اهمیت حیاتی دارد. بنابراین، ایجاد بانکت که با کمینه جابجایی و برهم‌زدن لایه خاک همراه بوده و روشی ارزان و ساده نیز هست، موجب جمع‌آوری رواناب و هدایت آن به داخل لایه خاک می‌شود (شکل ۳).

استفاده از سطوح آبگیر کوچک برای جمع‌آوری رواناب به منظور آبیاری درختان مثمر در ایران نیز طی سالیان اخیر انجام یافته است که می‌توان به تحقیقات Gheitury et al., (2012)، اشاره کرد. در هر دو پژوهش میزان رطوبت ذخیره شده با دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله نشان‌دهنده اثر آنها در افزایش معنی‌دار رطوبت خاک توأم با مهار فرسایش و رسوب بود. بر اساس نتایج تحقیقات Altieri (1999)، مقابله با خشکیدگی جنگل‌ها، شرایط حفظ ماده آلی خاک و کاهش شخم سطح جنگل مهیا می‌کند و کارایی اقدامات کنترل و مهار خشکیدگی به‌طور چشمگیری در بهبود زیست بوم جنگل مؤثر است. نتایج پژوهش‌های Heshmati et al., (2018)، نشان داد که در چنین شرایطی (حذف چرای مفرط و شخم کف جنگل‌های زاگرس) احداث بانکت هلالی شکل میانگین ذخیره رطوبت را به میزان دو برابر حد معمول می‌شوند که در لایه زیرین خاک بیشتر است.

ذخیره رطوبت در عمق خاک علاوه بر دسترسی بیشتر سامانه ریشه‌ای به آن، از تبخیر نیز مصون می‌ماند. بر اساس تحقیقات Oweis and Hachum, (2012)، این مزایا باعث شده که چنین روش‌هایی در

جدول ۱- مقایسه میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف منطقه مورد مطالعه

Table 1. The effects of treatments on soil moisture storage in the study area

Pr > F	Treatments			
	Downward bounds	Between bunds	Bund bottom	Control
0.001	16.67 ^(b)	13.65 ^(c)	20.13 ^(a)	13.09 ^(c)

Statistically significant trends at the 95% confidence level

هدایت الکتریکی (EC) خاک تیمارها در حد معمولی و بدون ایجاد پتانسیل شوری و ایجاد سایر محدودیت‌های رشد گیاهی است. مقدار کربن آلی و سطح عناصر غذایی اصلی (فسفر و پتاسیم) در سال اول برای منطقه شاهد و محل احداث بانکت‌ها در سال اول تفاوت چندانی نداشتند.

با توجه به این نتایج، مجموع رس و سیلت همه تیمارها حدود ۷۵ درصد است که به نوبه خود در جذب و ذخیره رطوبت خاک نقش مهمی دارند. این نسبت زیاد به دلیل منشاء گرفتن خاک آن از سازندهای مارنی و مواد مادری حاوی رس و سیلت است. مشخصات

نتایج تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک: نتایج معمول خاکشناسی نشان داد که میانگین درصد رس حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد، سیلت حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد و شن بین ۱۲ تا ۱۷ درصد متغیر است. با توجه به نسبت زیاد رس و سیلت خاک سایت، بافت خاک نیز نسبتاً سنگین و از نوع سیلتی کلی و سیلتی کلی لوم است.

میانگین سطوح آهک کل (درصد)، سایت در عمق سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) متغیر بوده، بین پنج تا ۱۵ درصد متغیر است. این نسبت در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری به ۳۰ تا ۴۰ درصد بود. اسیدیته (pH)، و

شیمیایی مورد آزمایش یعنی سطوح اسیدیته (pH)، آهک کل و هدایت الکتریکی معرف یک خاک قلیایی بدون محدودیت رویشی است (جدول ۲).



شکل ۳- نقش بانکت‌ها در استحصال رواناب و ذخیره آن در لایه‌های خاک

Fig. 3. The role of bunds in harvesting runoff and storing it in soil layers

زمین لغزش می‌شود (Chen؛ Desir and Marin, 2007). بنابراین اگر روند تخریب فعلی پوشش گیاهی و فرسایش خاک این جنگل‌ها متوقف شود، اسمکتیت یک گنجینه ارزشمند برای ذخیره رطوبت خاک این جنگل‌ها و در نتیجه مقابله با خشکیدگی آن خواهد بود، اما با تخریب و کاهش ماده آلی خاک روند فرسایش و هدررفت رطوبت تشدید خواهد شد.

کانی رسی غالب سازند و خاک حاصل در غالب جنگل‌های زاگرس از نوع اسمکتیت است (Heshmati et al., 2017). این کانی دارای ترکیب ساختمانی ویژه و متشکل از سیلیس، آلومینیوم، منیزیم، آهن، کلسیم و آب ساختمانی است و به دلیل فاصله زیاد بین لایه‌ای (تا ۱۷ آنگستروم) رابطه مستقیمی با افزایش رطوبت دارد و در صورت تغییر کاربری و کاهش پوشش گیاهی موجب تشدید پدیده انحلال، فرسایش خندقی و

جدول ۲- نتایج آزمایش خاک منطقه مورد مطالعه و شاهد (بدون بانکت)

Table 2. Soil analyses chrectristics in study and control (without bund) areas

Years	Treatment	Soil depth (cm)	pH	EC ds/m	calsite (%)	Soil particle distribution			Texture
						clay	silt	sand	
1 st yr	bund	0-20	7.79	0.46	12.54	29.4	56.0	14.6	Si-C
		20-40	7.83	0.53	28.5	31.4	54.0	14.6	Si-C
	control	0-20	7.72	0.51	13.6	31.4	59.0	9.6	Si-C
		20-40	7.69	0.67	31.5	28.5	61.0	10.5	Si-C-L
2 nd yr	bund	0-20	7.79	0.46	12.54	29.4	56.0	14.6	Si-C
		20-40	7.83	0.53	28.5	31.4	54.0	14.6	Si-C
	control	0-20	7.72	0.51	13.6	31.4	59.0	9.6	Si-C
		20-40	7.69	0.67	31.5	28.5	61.0	10.5	Si-C-L
3 rd yr	bund	0-20	7.79	0.46	12.54	29.4	56.0	14.6	Si-C
		20-40	7.83	0.53	28.5	31.4	54.0	14.6	Si-C
	control	0-20	7.72	0.51	13.6	31.4	59.0	9.6	Si-C
		20-40	7.69	0.67	31.5	28.5	61.0	10.5	Si-C-L

خاک: متوسط کربن آلی خاک تیمارهای بانکت در سال‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۲/۴۰، ۲/۳۰ و ۴/۰۱

نقش بانکت‌ها در تغییرات کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک: الف- تغییرات کربن آلی

(تراکتور و غیره) عامل مهم هدررفت کربن آلی، عناصر غذایی و رطوبت خاک است که در مناطق نیمه خشک این تأثیرات شدیدتر است (Miralles et al., 2009). شخم بی‌رویه فعلی با گاوآهن برگردان دار منجر به فرسایش^۲ می‌شود که تأثیرات منفی آن بر کربن آلی و ساختمان خاک و رسوب‌زایی و هدررفت رطوبت خاک قابل ملاحظه است (Roza Bechmann et al., 2009; et al., 1999).

در چنین شرایطی حاصلخیزی و ظرفیت جذب و نگهداری آب جنگل‌های زاگرس دچار نقصان می‌شود. حاصل این تخریب و تغییر کاربری در مرحله نخست فرسایش‌های سطحی، خندقی، تونلی و لغزشی و نهایتاً سیل و کم‌آبی شدید به همراه تشکیل کانون‌های محلی ریزگرد است. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک بر اثر تردد زیاد ماشین‌آلات کشاورزی، تردد زیاد دام نیز یکی از پیامدهای این روند است (Mohammad and Adam., 2010).

درصد بود، درحالی‌که این روند تیمار شاهد به همان ترتیب ۱/۶۰، ۱/۶۹ و ۱/۶۴ درصد بود. بر اساس نتایج تجزیه آماری، تغییرات کربن آلی خاک در تیمار بانکت، در این سایت نیز افزایش معنی‌دار یافت، به‌طوری‌که از ۲/۴۰ درصد در سال اول به ۴/۰۱ درصد در سال سوم (۱/۶۱ درصد افزایش کربن آلی خاک) رسید. در مقابل، تغییر معنی‌داری در ذخیره کربن آلی خاک تیمار شاهد انجام نشد (جدول ۳).

کربن آلی خاک تغییرات مکانی بیشتری دارد و بیشتر از سایر ویژگی‌های خاک تأثیر تغییر کاربری و نوع مدیریتی قرار می‌گیرند (Jafarian et al., 2017). همچنین تحقیقات (Gheitury et al., 2018)، تحت عنوان مقایسه کارایی بهره‌برداری‌های مختلف بر ترسیب کربن نشان داد که تغییر کاربری تأثیر معنی‌داری بر کمیت ذخیره و ترسیب کربن دارد. تغییرات کربن آلی خاک بستگی به شرایط اقلیمی، توپوگرافی، بافت خاک، وضعیت خاکورزی (شخم) و تغییر کاربری دارد (Karlen et al., 2008). برهم زدن خاک^۱ با ماشین‌آلات

جدول ۳- تغییرات درصد کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه
Table 3. Changes in soil organic carbon percentage in the study area

Treatment	Site			
	1 st yr	2 nd yr	3 rd yr	Ratio 1 st yr to 3 rd yr
bund	2.40 ^(a)	2.30 ^(a)	4.01 ^(a)	1.61
control	1.60 ^(b)	1.69 ^(b)	1.64 ^(b)	0.04
(Pr>F)	0.490	0.003	0.0001	-

Statistically significant trends at the 95% confidence level

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (گرچه در سایت بانکت اندکی کاهش یافت) (جدول ۴).

تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک: متوسط جرم مخصوص ظاهری خاک تیمارهای بانکت و شاهد به‌ترتیب ۱/۵۳ و ۱/۵۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود که

جدول ۴- تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم در سانتی‌مترمکعب) در سال سوم

Table 4. Changes in soil bulk density (g/cm³) in the third year

Site	Bund	Control	(Pr>F)
Kermanshah	1.53(a)	1.58(a)	0.351

Statistically significant trends at the 95% confidence level

می‌دهد. این طبقات شامل خیلی ریز (کوچک‌تر ۰/۵۰)، ریز (۰/۵۰ تا یک)، متوسط (یک تا دو)، درشت (دو تا ۴/۶) و خیلی درشت (بزرگ‌تر ۴/۶) میلی‌متر است. - نسبت خاکدانه‌های خیلی درشت در تیمار بانکت به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد است.

نقش تیمار بانکت بر توزیع خاکدانه‌ها: نتایج تجزیه آزمایش‌های مربوط به توزیع اندازه خاکدانه‌ها در سه نقطه بین بانکت‌ها، داخل بانکت و شاهد (بدون بانکت) در جدول ۵ نیز نتایج تجزیه آماری (مقایسه میانگین تیمارها) قطر خاکدانه‌ها را طبقه مختلف نشان

² Tillage erosion

¹ Soil disturbance

و درشت داشته است. این روند موجب کاهش معنی دار خاکدانه های ریزتر شده است. بنابراین پایداری خاکدانه ها که شاخص کلیدی آن افزایش نسبت خاکدانه های درشت تر است، در محدوده اجرای بانکت رخ داده است که یکی از مهم ترین دلایل آن افزایش چشمگیر کربن آلی خاک است.

- خاکدانه های ریز در تیمار شاهد به طور معنی داری بیشتر از تیمار بانکت است.
- خاکدانه های خیلی ریز در تیمار شاهد به طور معنی داری بیشتر از تیمار بانکت بود.
- سایر طبقات خاکدانه تغییر معنی داری نداشته است.
با توجه به نتایج فوق، تیمار بانکت بیشترین نقش را به ترتیب در افزایش معنی دار خاکدانه های خیلی درشت

جدول ۵- نسبت قطر خاکدانه ها در منطقه مورد مطالعه

Table 5. Ratio of soil aggregate diameters in the study area

Site	Soil aggregate size (mm)	Treatments			Pr>F
		Control	Bund bottom	Between bunds	
Kermanshah	<0.125	31.20 ^(a)	36.50 ^(a)	27.06 ^(a)	0.5141
	0.125-0.5	22.07 ^(a)	15.93 ^(ab)	12.54 ^(b)	0.0532
	0.5-1	29.27 ^(a)	20.95 ^(b)	18.44 ^(b)	0.0259
	1-2	8.88 ^(a)	8.25 ^(a)	10.15 ^(a)	0.8270
	2-4.6	3.09 ^(a)	4.15 ^(a)	6.29 ^(a)	0.4268
	>4.6	5.06 ^(b)	14.19 ^(ab)	26.21 ^(a)	0.0388

Statistically significant trends at the 95% confidence level

- سطح ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصر غذایی نیز در حد قابل قبول بود.
بیشتر عناصر غذایی مورد ارزیابی خاک تیمارها نیز به دلیل اسیدیته مناسب، آهک کل، نوع کانی رسی و نبود محدودیت های شوری و قلیایی از رتبه کیفی متوسط تا خوب برای گیاهان طبیعی هستند (Hazelton and Murphy, 2007). همچنین مقدار پتاسیم تیمارها به دلیل ساختار خاک های منطقه زیاد بوده، سطح دیگر عناصر غذایی مورد اندازه گیری شده از جمله فسفر نیز بر اساس رتبه بندی Hazelton and Murphy, (2007)، در حد متوسط است.

نقش تیمار بانکت بر عناصر غذایی خاک : نتیجه بررسی نقش تیمار بانکت در ذخیره عناصر غذایی اصلی شامل ازت، فسفر و پتاسیم (NPK) در جدول ۶ درج شده است. همچنین، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی^۱ و برخی عناصر ریز مغذی (شامل آهن، منگنز، روی و مس) تیمار بانکت نیز در جدول ۶ درج شده است. بر این اساس:
- ازت کل در تیمار بانکت نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.
- فسفر قابل جذب در تیمار بانکت نسبت به تیمار شاهد معنی دار بود.
- پتاسیم قابل جذب در تیمار بانکت نسبت به شاهد افزایش یافت و تفاوت معنی داری داشت (جدول ۷).

جدول ۶- عناصر غذایی اصلی خاک تیمارهای مختلف منطقه مورد مطالعه

Table 6. Main soil nutrients of different treatments in the study area

Site	Treatments		Soil nutrients	Pr>F
	Bund	Control		
Kermanshah	2.67 ^(a)	1.91 ^(b)	Total N (%)	0.0331
	32.85 ^(a)	20.47 ^(b)	Available P (ppm)	0.0323
	857.6 ^(a)	645.6 ^(b)	Available K (ppm)	0.4122

¹ Cations Exchange Capacity (CEC)

جدول ۷- عناصر غذایی خاک در محل احداث بانکت در منطقه مورد مطالعه

Table 7. Soil nutrients at the bunds construction site in the study area

Fe (ppm) Bunds	Mn (ppm) Bunds	Zn (ppm) Bunds	Cu (ppm) Bunds	CEC** Bunds
13.62	36.02	0.38	3.22	38.8
8.88	28.32	0.37	2.94	38.9
8.64	28.08	0.38	3.10	37.2
-	-	-	-	35.6
-	-	-	-	42.6
-	-	-	-	-
Mean	10.38	30.80	3.09	38.62

*Bund, **Cations Exchange Capacity

تخریب بر اثر قطرات باران تفاوت معنی‌دار است و همبستگی زیادی با ماده آلی و کاربری دارد.

مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که شخم در جهت شیب با گاوآهن برگرداندار به‌عنوان یک معضل مهم محیط زیستی فراتر از سایر شکل‌های و عوامل تخریب موجب فرسایش خاک و انتشار کربن آلی می‌شود. دلیل این امر فراوانی تراکتور، عدم نظارت، خلاء قانونی و تغییرات آب و هوایی (خشک شدن اراضی حاشیه رودخانه‌ها، تالاب‌ها، چمنزارها و نیز کاهش دوره یخبندان) است.

به همین دلیل صاحبان تراکتور در هر فرصت ممکن و در همه فصل‌های سال خاک مرتع و جنگل و اراضی کشاورزی را تا جایی که امکان داشته باشد زیر و رو می‌کند. مطالعات (Negassa et al., 2015)، نشان داد که کناره‌های خاک شخم بسته به دما و موقعیت توپوگرافی بیشترین نقش را در رهاسازی کربن آلی، عناصر غذایی و رطوبت دارند که با افزایش دما نیز افزایش می‌یابد. این برای اراضی دیمزار منطقه با مقدار زیاد رس و سیلت و قرارگیری روی شیب بیش از ۱۰ درصد با شخم موازی شیب محتمل‌تر است. معمولاً در این اراضی بعد از شخم حدود نیمی از کربن آلی خاک در کمتر از ۱۰۰ روز به هوا انتشار می‌یابد و در خاک نیز منجر به کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک می‌شود (Polyakov and Lal, 2008).

همچنین بررسی‌های Heshmati and Gheitury (2021)، نشان داد قرق پنج سال متوالی در مراتع بیلاقی نیمه‌خشک موجب بهبود معنی‌دار شاخص‌های پایداری خاک بر اساس افزایش کربن آلی خاک، نسبت خاکدانه‌های درشت می‌شود.

نقش تیمار بانکت بر فرسایش‌پذیری خاک: (الف)

تعیین امتیاز عوامل سطحی فرسایش (SSF):

عوامل سطحی فرسایش شامل حرکت خاک، لاشبرگ سطحی، سنگ سطحی، پدیده‌های خاص فرسایشی، فرسایش شیاری، الگوی جریان سطحی و فرسایش خندقی است. امتیاز هر یک از این عوامل بر اساس مشاهدات صحرایی تعیین می‌شود. هرچه امتیاز هر عامل بیشتر باشد، به همان نسبت خاک سطحی نسبت به عوامل تخریب آسیب‌پذیرتر است.

بر این مبنا، امتیازات هر عامل در پیوست ۱۲ درج شده است که جدول ۸ مجموع امتیازات آنها را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در ستون انتهایی جدول فوق مشاهده می‌شود، جمع امتیازات عوامل فرسایش سطحی در تیمارهای بانکت و شاهد به‌ترتیب ۱۵/۰۳ و ۳۲/۷۳ است. به عبارت دیگر ایجاد بانکت‌ها جمع امتیازات عوامل سطحی را بیش از دو برابر کاهش داده است که بیانگر نقش آنها در کاهش فرسایش‌پذیری و حرکت ذرات خاک است.

پایداری خاک در برابر برخورد قطرات باران نیز یک سوی این قضیه است. نخستین پیامد برخورد قطرات باران بر خاک، تخریب خاکدانه‌ها است و مهم‌ترین شاخص پایداری خاکدانه‌ها پایداری آنها است که به نوبه خود بستگی زیادی به میزان رطوبت، بافت و ماده آلی دارد. یکی دیگر از شاخص‌های مهم پایداری خاکدانه‌ها توزیع اندازه آنها است. خاکدانه‌های درشت‌تر پایدارترند، اما نسبت به تغییر کاربری و شخم شدیداً حساس هستند.

تحقیقات (Akbari and Vaezi., 2015)، بر روی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های (MWD) خاک‌های نیمه‌خشک نشان داد که بین خاک‌های مختلف از نظر

تبدیل جنگل‌های زاگرس به دیم‌زار موجب تغییر معنی‌دار در سه ویژگی مورد اشاره شد و تغییرات مکانی آنها در دیم‌زار به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. در مقابل، نتایج تحقیقات (Crittenden et al., 2015)، نشان داد که استفاده از خیش زیرشکن بدون زیر و رو کردن خاک منجر به حفظ کیفیت فیزیکی خاک و ذخیره رطوبت بدون کاهش محصول در مقایسه با خیش برگردان‌دار بود.

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) یکی از عوامل کلیدی معادله جهانی فرسایش و نیز یکی از عوامل نه گانه مدل MPSIAC است که بر پایه هفت عامل فرعی شامل درصد شن، شن ریز، سیلت، ماده آلی، ساختمان و نفوذ پذیری محاسبه می‌شود. این عامل انعکاسی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است که به‌دلیل تفاوت معنی‌دار میانگین آن در جنگل و دیم‌زار به نوبه خود بازتابی از تفاوت در سایر ویژگی‌های خاک است.

شخم موازی شیب یکی از عوامل کلیدی در این تراژدی زیست محیطی مناطق زاگرس است. معمولاً شخم موازی شیب با خیش برگردان‌دار بیشترین میزان جابجایی فسفر و ازت و ورود آن‌را به رواناب را موجب می‌شود (Bertol et al., 2007)، که معمولاً به‌وسیله کشاورزان جزء انجام می‌شود (Haileslassie, 2005).

فرسایش شخم در دیم‌زارها منجر به ایجاد شیار، رسوب‌زایی^۱، گل‌آلودگی منابع آب، هدررفت عناصر غذایی و انتشار کربن به جو زمین می‌شود که تداوم شخم علاوه بر این موارد کاهش تخلخل مفید خاک، افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش نفوذپذیری را نیز به افزایش ضریب رواناب نیز اضافه کرد (Haileslassie., 2008).

تغییر کاربری، شخم و سوزاندن بقایای گیاهی سه عامل کلیدی تغییرات منفی در جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها هستند. Heshmati et al., (2015)، با استفاده از فن زمین‌آمار نشان داد که

جدول ۸- امتیاز عوامل سطحی فرسایش در تیمارهای مورد بررسی در سال سوم

Table 8. Score of surface erosion factors in the treatments studied in the third year

Factors	Treatments		
	Bunds	Control	Difference
Soil movement	5	6	1
Plant litter	7	12	5
Stoiness	2	2	0
Erosion feature	5	6	1
Rill erosion	3	6	3
Runoff	5	7	2
Gully erosion	0	0	0
Total	27	39	12

افزایش ماده آلی خاک می‌شود که عامل اصلی پایداری خاک و مقاومت آن در مقابل عوامل فرسایشی است. بر اساس نتایج حاصله میزان فرسایش‌پذیری خاک تیمار بانکت در سایت به‌طور قابل توجهی کمتر از تیمار شاهد بود.

فرسایش‌پذیری: با توجه به جدول ۸، تغییر در فرسایش‌پذیری خاک بر اثر افزایش ماده آلی خاک رخ داده است، زیرا سایر عوامل فرسایش‌پذیری مندرج در جدول ۹ تقریباً ثابت هستند. بنابراین ایجاد بانکت به دلیل نقشی که در بهبود بیومس گیاهی دارد، موجب

جدول ۹- عوامل فرسایش‌پذیری خاک در محل احداث بانکت و شاهد (بدون بانکت)

Table 9. Soil erodibility factors at the bund construction site and control (without bund)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Site	Treatments	SOC %	SOM	Sand %	Silt %	Very fine sand %	Colomns 6+7	Soil structure	Permibility	Soil erodibility coefficient (K)
Kermanshah	Bund	4.01	6.90	14.6	56.0	0.95	56.95	3	4	0.19
	Control	1.64	2.82	14.6	54.0	0.89	54.89	3	4	0.32

SOM= 1.72SOC

¹ Siltation

خاک است. به همین دلیل لازم است، با بهره‌گیری از ظرفیت‌های قانونی، مالی و آموزشی نسبت به جایگزینی شخم‌های حفاظتی در منطقه زاگرس اقدام کرد. تغییر کاربری، شخم و سوزاندن بقایای گیاهی سه عامل کلیدی تغییرات منفی در جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها هستند (Blanco and Lal, 2008). مطالعات (Heshmati et al., 2015)، با استفاده از فن زمین‌آمار نشان داد که تبدیل جنگل‌های زاگرس به دیم‌زار موجب تغییر معنی‌دار در سه ویژگی مورد اشاره شد و تغییرات مکانی آنها در دیم‌زار به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

حفظ عرصه‌های منابع طبیعی بر مبنای نقشه اراضی ملی: امروزه بر خلاف گذشته چرای دام مانند گذشته عامل کلیدی تخریب منابع طبیعی نیست و تغییر کاربری به دلایل مختلف از جمله نبود نظارت، وضعیت فعلی مدیریت اراضی ملی، اعمال نفوذ اشخاص حقیقی و حقوقی، آتش سوزی و زغال گیری عوامل اولویت‌دار تخریب این میراث همگانی^۳ هستند. این روند با قوانین جاری خرید و فروش اراضی مشاع، تغییرات اقلیمی (خشک شدن تالاب‌ها و حاشیه رودخانه‌ها و تبدیل آن به اراضی زراعی) و قانون بهره‌وری فعلی (اراضی تداخلی) شتاب بسیار زیادی گرفته است. خوشبختانه یکی از خدمات برجسته سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری که در گذشته وجود داشته ممیزی اراضی ملی، به‌ویژه قبل از دهه ۱۳۸۰ است. این اسناد ارزشمند هویت اصلی عرصه‌های ملی، به‌ویژه جنگل‌ها هستند و می‌توان بر مبنای آن نسبت به احیا و بازسازی جنگل‌ها برنامه‌ریزی کرد.

نتیجه‌گیری

بر پایه نتایج این پژوهش، احداث بانک‌های هلالی توام با قرق (تیمار بانک هلالی+قرق) که برای اولین بار در جنگل‌های زاگرس در مقیاس پلات مورد ارزیابی قرار گرفت، منجر به بهبود سه ویژگی کلیدی خاک یعنی کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت شد. نتیجه این تغییرات کاهش روند پدیده خشکیدگی درختان جنگلی در منطقه زاگرس بود. این تغییرات در تیمار

نتایج این پژوهش نشان داد که احداث بانک در عرصه‌های جنگلی در صورتی که به‌طور اصولی احداث شوند، فراتر از حفظ رطوبت، منجر به بهبود شاخص‌های کلیدی خاک از جمله افزایش کربن آلی، پایداری خاکدانه‌ها، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، پایداری خاک و کاهش فرسایش پذیری خاک شود.

امروزه این روش به‌عنوان راهکاری ارزان، ساده و مؤثر که کمترین تخریب خاک را (در مقایسه با کاربرد ماشین‌آلات سنگین در عرصه‌های منابع طبیعی و دیم‌زارهای شبیدار) برای سازگاری^۱ و تاب‌آوری در شرایط تغییرات اقلیمی است. تغییرات اقلیمی به‌ویژه در یک دهه اخیر بر مبنای کاهش مقدار میانگین بارش سالانه، افزایش شاخص‌های حدی آب و هوا، کاهش بارش‌های فصل بهار، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش تبخیر و تعرق است که همچون مهمان ناخوانده‌ای چاره‌ای جز کنار آمدن با آن وجود نداشته و باید با بررسی امکانات محلی، گردآوری تجربیات جامعه محلی و تداوم پژوهش‌های کاربردی در سطح محلی، ملی، منطقه‌ای و جهانی به راهکارهای سازگار با تغییرات اقلیمی برای حفظ این جنگل‌ها همت گماشت. سامانه‌های جمع‌آوری آب باران که بانک‌های هلالی بخشی از آنها هستند از جمله راهکارهای مناسب و کم هزینه در این زمینه، به‌ویژه برای حفظ درختان ارزشمند جنگلی است. این سطوح بیشترین رطوبت را در خود ذخیره می‌کنند (Hosseini et al., 2011). در مواردی نیز حتی آبیاری درختان ارزشمند نیز لازم است (Gordon et al., 2013).

مؤثر بودن سطوح آبگیر باران در ذخیره‌سازی و حفظ رطوبت خاک منوط به حذف هر نوع عاملی است که منجر به تشدید تبخیر و تعرق و جابجایی نیم‌رخ خاک می‌شود. به این منظور اصلاح و کنترل موارد زیر ضروری است.

اصلاح شخم: شخم متداول فعلی در عرصه‌های جنگلی و دیم‌زارهای مجاور آنها، اصلاح شیوه جاری شخم که با گاوآهن برگردان‌دار^۲ انجام می‌گیرد، ضرورتی کلیدی برای حفاظت خاک، مهار سیل و رسوب و انتشار کربن آلی خاک و از همه مهم‌تر حفظ رطوبت

³ Heritage

¹ Adaptation approach

² Moldboard plow

به‌ویژه عوامل برهم زدن نیمرخ خاک مانند شخم و کاربرد ماشین‌آلات سنگین، چرای مفرط، زغال‌گیری و قطع درختان در عرصه‌های جنگلی است. اساس این رویکردها سازگاری با شرایط خشکسالی، حذف عوامل تشدید خشکیدگی و تداوم پژوهش‌های بیشتر است. نتایج اتخاذ این رویکردها نیز در نهایت جمع‌آوری رواناب و کاهش تبخیر و تعرق خاک با شیوه‌هایی چون ایجاد سامانه‌های جمع‌آوری باران و حفظ ماده آلی خاک در در بر می‌گیرد. این رویکردها راه‌حلهایی کوتاه مدت، با هزینه کم و کارایی بیشتر است که لازم است تمهیدات لازم برای عملیاتی کردن آنها در محدوده جنگلی به شکل پایلوت تکمیل شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری مسئولین محترم سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در تأمین اعتبار این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافع وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

بانکت بدون قرق به مراتب کمتر بود، به‌طوری‌که بانکت بدون قرق نسبت به تیمار شاهد، تغییرات معنی‌داری در بهبود شاخص‌های خاک و کاهش پدیده خشکیدگی ندارد. بنابراین، هر اقدام اصلاحی در جنگل بدون حفاظت (قرق) کارایی چندانی نداشته و چرای دام، شخم، زغال‌گیری، تغییر کاربری و سایر فعالیت‌های تخریبی موجب کاهش ظرفیت ذخیره رطوبت خاک و تشدید تبخیر از آن می‌شود.

بنابراین، فائق آمدن بر پدیده خشکیدگی جنگل‌های زاگرس مستلزم مدیریت مبتنی بر حفظ رطوبت خاک برای سازگاری با شرایط خشکسالی در عرصه‌های جنگلی است. در نهایت جمع‌آوری رواناب و کاهش تبخیر و تعرق خاک با شیوه‌هایی چون ایجاد سامانه‌های جمع‌آوری باران و حفظ ماده آلی خاک راه‌کاری کوتاه مدت، کم‌هزینه و مؤثر در این زمینه خواهد بود.

بر پایه نتایج این پژوهش فائق آمدن بر خشکیدگی جنگل‌های زاگرس مستلزم مدیریت مستقیم و جامع آنها با اتخاذ رویکردهایی مبتنی بر حفظ رطوبت خاک، سازگاری با شرایط خشکسالی و حذف عوامل تخریب،

منابع مورد استفاده

- Akbari, S., Vaezi, A., 2015. investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi-arid region, North West of Zanjan. *Water Soil Sci.* 25(2), pp. 65-77.
- Ali, A., Yazarb, A., Aalc, A.A., Oweisd, A., Hayekd, P., 2010. Micro-catchment water harvesting potential of an arid environment. *Agricul. Water Manage.* 98, 96-104.
- Altieri, M., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agricult. Ecosys. Environ.* 74, 19-31.
- Amir Ahmadi, B., Zolfaghari, R., Mirzaei, M.R., 2015. Relation between dieback of *quercus brantii* lindl. trees with ecological and silvicultural factors, study area: Dena Protected area. *Ecol. Iran. Forest* 3(6), 19-27 (in Persian).
- Babae, O., Alijani, B., 2013. Spatial analysis of long duration droughts in Iran. *Physic. Geograph. Res.* 45(3), 1-12. doi:10.22059/jphgr.2013.35831
- Bechmann, M., Stalnacke, P., Kværno, S., Eggesta, D., Oygarden, L., 2009. Integrated tool for risk assessment in agricultural management of soil erosion and losses of phosphorus and nitrogen. *Sci. Total Environ.* 407(2), 749-759.
- Behmanesh, J., Azad Talatappeh, N., Montaseri, M., Rezayi, H., Khalili, K., 2015. Climate change impact on reference evapotranspiration, precipitation deficit and vapor pressure deficit in Urmia. *Water Soil Sci.* 25(2), 79-91.
- Bertol, I., Engel, F.L., Mafra, A.L., Bertol, O.J., Ritter, S.R., 2007. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in run-off water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil Tillage Res.* 94 (1), 142-150.
- Blanco, H., Lal, R., 2008. Principles of soil conservation and management. Springer Publisher, New York.
- Crittenden, N.P., Heinen, M., Balen, D.J.M., Pulleman, M.M., 2015. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil Tillage Res.* 154, 136-144.
- Fick, S.E., Belnap, J., Duniway, M.C., 2020. Grazing-induced changes to biological soil crust cover mediate hillslope erosion in long-term exclosure experiment. *Rangeland Ecol. Manage.* 73 (1), 61-72.
- Gheytury, M., Jafary, M., Azarnivand, H., Arzani, H., Javadi, S.A., Heshmati, M., 2012. Contribution of soil organic carbon levels, different grazing and converted rangeland on aggregates size distribution

- in the rangelands of Kermanshah Province, Iran. *Afri. J. Agric. Res.* 7(17), 2622-2631. doi: 10.5897/AJAR11.2060.
- Gheitury, M., Heshmati, M., Parvizi, Y., 2013. rangeland management effects on soil organic carbon content and soil aggregates in four sites in Kermanshah Province, Iran. *Iran. J. Soil Res.* 27(3), 349-357. doi: 10.22092/ijsr.2013.126263
- Gheitury, M., Parvizi, Y., Heshmati, M., Ahmadi, M., 2018. Comparing the effects of different rangeland utilization on carbon sequestration in the Kermanshah Province, Iran. *Iran. J. Range Desert Res.* 25(1), 44-53. doi: 10.22092/ijrdr.2018.116225
- Gheitury, M., Heshmati, M., Roughani, M., 2020. Comparing the effects of different micro catchments on runoff harvesting in Kermanshah Province, Iran. *Water. Engin. Manage.* 12(1), 20-29. doi: 10.22092/ijwmse.2019.123908.1567
- Gordon, E., Grant, C.L., Allen, C.D., 2013. Watering the forest for the trees: An emerging priority for managing water in forest landscapes. *Front. Ecol. Environ.* 11(6), 314-321.
- Hailelassie, A.P., Veldkamp, J.A., Teketay, E., Lesschen, J.P., 2005. Assessment of soil nutrient depletion and its spatial variability on smallholders; mixed- farming systems in Ethiopia. *Agri. Ecosys. Environ.* 108, 1-16.
- Hazelton, P., Murphy, B., 2007. Interpreting soil test results. CSIRO Publisher Sydney.
- Heshmati, M., Gheitury, M., 2021. Effects of long term grazing exclusion on some soil physicochemical characteristics and sustainability. *Iran. J. Soil Res.* 35(1), 15-26. doi: 10.22092/ijsr.2021.352965.573
- Heshmati, M., Gheitouri, M., Sheikhvaisy, M., Arabkhedri, M., Hosini, M., 2017. Combating the forest mortality crises in Zagros Regions, Iran through adaptive approaches solutions. *J. Geograph. Environ. Hazards* 6(3), 125-141. doi: 10.22067/geo.v6i2.60466.
- Hosseini, A., Matiniazadeh, M., Pourhashemi, M., Asghari, S., 2022. Effect of slope aspect and crown dieback intensity on leaf and soil nutrient status in Persian oak stands, *Quercus brantii* Lindl., case study, Melah-Siah forests, Ilam Province. *Iran. J. Forests Rangelands Protec. Res.* 19(2), 354-367 (in Persian).
- Heshmati, M., Gheitury, M., Hosseini, M., 2018. Effects of runoff harvesting through semi-circular bund on some soil characteristics. *Global J. Environ. Sci. Manage.* 4(2), 207-216.
- Heshmati, M., Gheitury, M., Parvizi, Y., Hosseini, M., 2015. Effect of converting forest to rainfed on spatial variability of soil chemical properties in the Zagros Forest, West Iran. *Ecopersia* 3(4), 1161-1174.
- Hosseinzadeh, J., Pourhashemi, M., 2015. An investigation on the relationship between crown indices and the severity of oak forests decline in Ilam. *Iran. J. Forest* 7(1), 57-66 (in Persian).
- Hosseini, M., Atapour, A., Karami, S.A., 2011. Micro catchments and role of them to soil moisture keeping. *J. Water. Engin. Manage.* 3(2), 121-131 (in Persian).
- Jafaran, Z., Kargar, M., Ghorbani, J., 2011. Spatial variability of soil properties in two plant communities of grassland and scrubland, case study: Vavsar Kiasar Rangeland. *J. Range Water. Manage. (Iran. J. Nat. Resour.* 64(1), 31-24.
- Mahajan, R., Kumar, S., Khitoliya, R.K., 2006. Rain water harvesting: a viable solution to conserve water. National Seminar on Rainwater Harvesting and Water Management 11-12 Nov. Nagpur.
- Miralles, I., Ortega, R., Almendros, G., Maranon, M. S., Soriano, M., 2009. Soil quality and organic carbon ratios in mountain agro-ecosystems of South-east Spain. *Geoderma* 150(1-2), 120-128.
- Mohammad, A., Adam, M.A., 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena* 81(2), 97-103.
- Negassa, W., Price, R., Basir, A., Snapp, S., Kravchenko, A., 2015. Cover crop and tillage systems effect on soil CO₂ and N₂O fluxes in contrasting topographic positions. *Soil Tillage Res.* 154, 64-74.
- Noori, Z., Zare Chahouki, M.A., 2018. Optimal use of rainwater harvesting: a strategy to deal with water shortages in arid and semi-arid regions. *J. Water Sustain. Develop.* 5(1), 115-122. doi: 10.22067/jwsd.v5i1.62964
- Polyakov, V.O., Lal, R., 2008. Soil organic matter and CO₂ emission as affected by water erosion on field run-off plots. *Geoderma* 143, 216-222.
- Pourhashemi, M., Jahanbazi, H., Bordbar, K., Iranmanesh, Y., Khodakarami, Y., 2017. Background of Zagros oak forest decline. *Iran. Nat.* 2(1), 37-30 (in Persian).
- Rehman, O., Rashid, R., Kausar, R., Alvi, S., 2014. Microcatchment techniques for efficient utilization of stored rain water in gullied lands. *Int. J. Agri. Crop Sci.* 7(13), 1304-1311.
- Rosa, D., Mayol, J.A., Moreno, T., Lozano, S., 1999. An expert system/neural network model for evaluating agricultural soil erosion in Analucia region, Spain. *Agri. Ecosys. Enviro.* 73, 211-226.
- Oweis, T., Hachum, A., 2012. Supplemental irrigation, a highly efficient water-use practice (2nd edition, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Syria, Aleppo.
- Tabatabaee, J., Kazemi Gelyan, R., 2016. upstream groundwater recharge, promising solution for survival of almond farmlands in Kashmar (Khorasan Razavi). *J. Rainwater Catch. Sys.* 4(1), 65-71.