Integrated Watershed Management, Summer, 2025, 5(2), 147-159 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/iwm.2025.2050619.1202 **Online ISSN: 2783-4581**

Assessing the impact of crescent-shaped water harvesting systems on increasing soil moisture (Case study: A Part of the Manesht and Qhalarang Region)

Alireza Mohammadi[1], Mohsen Tavakoli[1*], Freidoon Soleimani[2]

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
2. Agriculture and Natural Resources Research Center, Ilam, Iran

* Corresponding authors; Email: m.tavakoli@ilam.ac.ir

(Received: 13 January 2025 Revised: 28 February 2025 Accepted: 24 April 2025)

Extended Abstract

Introduction: The depletion of water resources in forested protected areas poses a critical environmental challenge, necessitating innovative watershed management strategies. In this regard, the implementation of water harvesting systems, such as crescent-shaped runoff capture terraces, is of paramount importance for enhancing surface water infiltration and increasing soil moisture retention. The present study investigates the effects of these systems on runoff infiltration and soil moisture content within a part of the Manesht and Qalarang protected area in Ilam Province. The objective of this research is to assess the impact of crescent-shaped water harvesting terraces on soil moisture storage and to compare it with the natural conditions (control area) in sloped terrains.

Materials and methods: This study was conducted experimentally using a randomized block design. In the first step, several rows of crescent-shaped water harvesting terraces were constructed in a zigzag pattern along the sloping terrain of the study area. These systems were designed such that the runoff between two adjacent water harvesting systems was captured and managed by the lower-row terrace. Following the installation of the systems, soil moisture content was measured at three locations in the control area and at 15 locations within the treatment area (various points of the crescent-shaped water harvesting system) after five precipitation events, from November 2022 to May 2023. Soil moisture measurements were taken at two depths: 0-15 cm and 15-30 cm, and the data were recorded accordingly. Data analysis was performed using the SAS software, and mean comparisons were conducted using the Duncan's Multiple Range Test.

Results and Discussion: The results of this study indicated that depth, system type, and precipitation amount significantly affect soil moisture retention. Specifically, the crescent-shaped system at a depth of 15 cm exhibited the highest soil moisture retention compared to the other systems. In particular, at the 15 cm depth, soil moisture in the crescent-shaped system increased by approximately 15% compared to the control area. Additionally, the results revealed that the water harvesting point inside the pit had the highest soil moisture retention, with an average of 27.38%, while this value did not show a statistically significant difference from the water harvesting point at the top of the ridge, which had an average of 36.50%. Further analysis of the interactions between different water harvesting points at varying depths indicated that the point inside the pit, at a depth of 15 cm, exhibited the highest soil moisture retention, with an average of 51.70%. Conversely, the lowest soil moisture retention at the 30 cm depth was observed at the point located on the ridge, with an average of 20.49%. These findings suggest that the crescent-shaped system, particularly at the water harvesting points inside the pit, plays a critical role in enhancing soil moisture retention.

Conclusion: The results of this study clearly demonstrated that the use of crescent-shaped water harvesting systems can significantly contribute to soil moisture retention in sloped terrains. Specifically, the water harvesting points inside the pit exhibited the greatest impact on increasing soil moisture retention compared to other locations. Additionally, the increase in soil depth generally led to a reduction in soil moisture retention across all treatments. Furthermore, data analysis revealed that the effectiveness of the water harvesting systems in improving soil moisture retention is influenced by factors such as precipitation intensity, soil depth, and the type of system employed. In instances of sufficient precipitation, the crescent-shaped system, particularly inside the pit, played a prominent role in collecting and storing water, thereby significantly increasing soil moisture compared to natural conditions (control area). These findings suggest that the crescent-shaped system can be a highly effective tool in improving soil moisture conditions in arid and semi-arid regions facing water scarcity. The results emphasize that the design and application of water harvesting systems can serve as an efficient and sustainable strategy for water resource management and ecological restoration in forested areas, particularly in regions with limited precipitation and steep slopes. Such systems offer a promising solution for addressing drought crises and mitigating the depletion of water resources.

Keywords: Soil moisture, Runoff, Water harvesting systems, Sloped terrains, Infiltration

Citation: Mohammadi, A., Tavakoli, M.,& Soleimani, F. (2025). Assessing the impact of crescent-shaped water harvesting systems on increasing soil moisture (Case study: A Part of the Manesht and Qhalarang Region). *Integrated Watershed Management*, 5(2), 147-159. doi= 10.22034/iwm.2025.2050619.1202

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴، (۱۵۹-۱۴۷) نوع مقاله: پژوهشی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/iwm.2025.2050619.1202

بررسی تأثیر سامانه‌های هلالی آبگیر در افزایش رطوبت خاک (مطالعه موردی: بخشی از منطقه مانشت و قلارنگ)

علی‌رضا محمدی[۱]، محسن توکلی[۱*]، فریدون سلیمانی[۲]

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، ایلام، ایران

* نویسنده مسئول: m.tavakoli@ilam.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱)

چکیده مبسوط

مقدمه: کاهش منابع آب در مناطق جنگلی، به‌ویژه در نواحی حفاظت‌شده، یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی است که نیازمند ارائه راه‌کارهای مدیریتی نوین می‌باشد. در این راستا، استفاده از سامانه‌های مدیریت آب مانند سطوح هلالی آبگیر برای بهبود نفوذ رواناب و افزایش ذخیره رطوبت خاک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در تحقیق حاضر، اثرات این سامانه‌ها بر نفوذ رواناب و میزان رطوبت خاک در بخشی از منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلارنگ در استان ایلام بررسی شد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح هلالی آبگیر بر ذخیره رطوبت خاک و مقایسه آن با وضعیت طبیعی (ناحیه شاهد) در مناطق شیب‌دار صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌صورت آزمایشی و با استفاده از طراحی بلوک‌های تصادفی انجام شد. ابتدا چندین ردیف از سامانه‌های سطوح هلالی آبگیر با الگوی شکسته و پیوسته در دامنه‌های شیب‌دار منطقه موردنظر احداث شد. این سامانه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شدند که رواناب حدفاصل دو سامانه آبگیر کناری توسط سامانه آبگیر ردیف پایینی جمع‌آوری و مهار شود. پس از احداث سامانه‌ها، از آبان‌ماه ۱۴۰۱ تا اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۲، میزان رطوبت خاک در سه نقطه از عرصه شاهد و ۱۵ نقطه از عرصه تیمار (نقاط مختلف سیستم سطوح هلالی آبگیر) پس از پنج واقعه بارش اندازه‌گیری شد. برای این منظور، اندازه‌گیری رطوبت خاک در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری سطح زمین انجام و داده‌ها ثبت گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث: نتایج این تحقیق نشان داد که عمق، نوع سامانه و میزان بارندگی تأثیر معنی‌داری بر ذخیره رطوبت خاک دارند. به‌ویژه، سامانه هلالی در عمق ۱۵ سانتی‌متری بیشترین ذخیره رطوبت را در مقایسه با سایر سامانه‌ها به خود اختصاص داد. به‌طور خاص، در عمق ۱۵ سانتی‌متری، ذخیره رطوبت خاک در سامانه هلالی نسبت به عرصه شاهد حدود ۱۵ درصد افزایش داشت. هم‌چنین، نتایج نشان داد که نقطه استحصال داخل چاله با میانگین ۳۸/۲۷ درصد، بیشترین ذخیره رطوبت خاک را داشت، در حالی که این میزان با نقطه استحصال در انتهای پشته که میانگین ۳۶/۵۰ درصد بود، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. بررسی اثرات متقابل دوگانه نقطه‌های استحصال آب باران در عمق‌های مختلف نشان داد که نقطه استحصال داخل چاله در عمق ۱۵ سانتی‌متری با میانگین ۵۱/۷۰ درصد، بیشترین ذخیره رطوبت خاک را به خود اختصاص داد. همچنین، کمترین ذخیره رطوبت خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری در نقطه استحصال روی پشته با میانگین ۲۰/۴۹ درصد مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهند که سامانه هلالی به‌ویژه در نقاط استحصال داخل چاله، نقش مهمی در افزایش ذخیره رطوبت خاک ایفا می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق به‌وضوح نشان داد که استفاده از سامانه‌های سطوح هلالی آبگیر می‌تواند به‌طور مؤثری به ذخیره رطوبت خاک در مناطق شیب‌دار کمک کند. به‌ویژه نقاط استحصال داخل چاله در مقایسه با سایر نقاط، بیشترین تأثیر را در افزایش ذخیره رطوبت خاک داشته‌اند. هم‌چنین، افزایش عمق خاک به‌طور کلی موجب کاهش ذخیره رطوبت در همه تیمارها شد. علاوه بر این، تحلیل داده‌ها نشان داد که تأثیر سامانه‌های آبگیر بر ذخیره رطوبت خاک تحت تأثیر میزان بارندگی، عمق خاک و نوع سامانه قرار دارد. در شرایطی که بارش باران کافی بوده است، سامانه هلالی به‌ویژه در نقاط داخل چاله، نقش بارزی در جمع‌آوری و نگهداری آب ایفا کرده و توانسته است رطوبت خاک را در مقایسه با شرایط طبیعی (ناحیه شاهد) به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که سامانه هلالی می‌تواند در بهبود وضعیت رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، کمک شایانی کند. این یافته‌ها تأکید دارند که طراحی و استفاده از سامانه‌های آبگیر در مدیریت منابع آب و بهبود شرایط اکولوژیکی مناطق جنگلی، به‌ویژه در نواحی با بارش محدود و شیب‌های بالا، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار کارآمد و پایدار در مقابله با بحران‌های خشکسالی و کاهش منابع آب مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، رواناب، سامانه‌های هلالی آبگیر، مناطق شیب‌دار، نفوذ

استناد: محمدی، ع.، توکلی، م؛ و سلیمانی، ف. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر سامانه‌های هلالی آبگیر در افزایش رطوبت خاک (مطالعه موردی: بخشی از منطقه مانشت و قلارنگ). *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۵(۲)، ۱۵۹-۱۴۷.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

رطوبت خاک به آبی که بین ذرات خاک موجود است اطلاق می‌شود و نقش مهمی در آب‌شناسی و احیای پوشش گیاهی دارد. این عامل الگوهای مکانی و زمانی نفوذ آب، تبخیر و توزیع پوشش گیاهی را کنترل می‌کند (Penna *et al.*, 2013; Chaney *et al.*, 2015). با این حال، رطوبت خاک در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، بسیار متفاوت است (Wang *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2021)، که به شدت تحت تأثیر توپوگرافی، دما، کاربری اراضی، نوع پوشش گیاهی، تقاضای آب و ویژگی‌های خاک قرار دارد (Kassaye *et al.*, 2021). کمبود منابع آبی، بارش‌های غیرقابل پیش‌بینی و تنش آبی در خاک، باعث می‌شود که شیوه‌های مدیریت منابع آب، ازجمله جمع‌آوری آب باران، به‌عنوان اقدامات حیاتی برای تأمین آب و تولید مواد غذایی اهمیت زیادی پیدا کنند (Mucheru-Muna *et al.*, 2017). جمع‌آوری آب ناشی از بارش‌ها، به جای رها شدن و ایجاد فرسایش، به‌عنوان روشی امیدوارکننده برای تقویت کشاورزی پایدار و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی مطرح شده است (Tadros *et al.*, 2021). با بهره‌برداری از بارش‌ها و جلوگیری از روان‌آب‌ها، جمع‌آوری آب نه‌تنها منابع آب را حفظ می‌کند، بلکه اثرات منفی خشکسالی را نیز کاهش می‌دهد. این روش‌ها به‌دلیل توانایی در افزایش دسترسی به منابع آب، به‌ویژه در مناطقی که با چالش کمبود آب مواجه هستند، توجه جهانی زیادی را به خود جلب کرده‌اند (Shaikh and Birajdar, 2024). ذخیره آب باران یک منبع ارزشمند می‌باشد که می‌توان از آن برای پشتیبانی از فعالیت‌های کشاورزی، حمایت از جوامع و حفظ محیط‌زیست محلی استفاده کرد. در نهایت، این روش به کاهش آسیب‌پذیری این مناطق در برابر اثرات خشکسالی کمک می‌کند (Dile *et al.*, 2013). علاوه‌براین، سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در کاهش سیلاب‌ها نقش مهمی دارند (Yannopoulos *et al.*, 2019; Londra *et al.*, 2021).

مدیریت و جمع‌آوری رواناب‌های سطحی می‌تواند از طریق روش‌های مختلف زیست‌سازه‌ای و سازه‌ای مانند پخش سیلاب[1]، کنتور فارو[2]، هلالی آبگیر[3]، چاله فلسی[4]و دیگر فناوری‌های زیست‌سازه‌ای، انجام شود. به‌طور ویژه، استفاده از هلالی‌های آبگیر به‌عنوان یکی از روش‌های زیست‌سازه‌ای مؤثر در مدیریت و جمع‌آوری نزولات جوی، با هدف اصلاح و احیای مراتع مورد توجه قرار دارد (Ahmadpour *et al.*, 2022). هلالی‌های آبگیر در واقع بانکت‌های افقی و کوتاهی هستند که به‌صورت کمانی یا قوسی طراحی و ساخته می‌شوند. این ساختارها به‌منظور ایجاد خرده آبخیزهایی طراحی شده‌اند که در جمع‌آوری آب و کنترل رواناب‌ها نقش مؤثری ایفا می‌کنند (Moghim *et al.*, 2024). مهم‌ترین و بارزترین اهداف ساخت هلالی‌های آبگیر شامل کنترل و ذخیره‌سازی آب‌های سطحی رواناب، افزایش نفوذ آب به درون خاک، کنترل فرسایش و جلوگیری از هدررفت خاک، ایجاد شرایط خرداقلیمی مناسب برای رشد گیاهان و در نهایت، فراهم آوردن بستر مناسب برای اجرای طرح‌های اصلاح و احیای مراتع می‌باشد (Moghim, 2014).

مطالعات متعددی مزایای استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب را بر افزایش رطوبت خاک و بهبود عملکرد گیاهان نشان داده‌اند. نتایج یک مطالعه در جنگل‌های زاگرس نشان داد که بانکت هلالی موجب افزایش دو برابری رطوبت خاک و احیای درختان خشکیده و کاهش خشکیدگی شده است (Heshmati *et al.*, 2017b). در پژوهشی در روستای کبوده علیا واقع در استان کرمانشاه، از دو نوع عایق (پلاستیک با

1- Floodwater Spreading
2- Contour Furrow
3- Water harvesting
4- Half-Moon Pit

سنگفرش و مخلوط خاک و کاه کوبیده شده) و سه شکل مختلف برای سطوح آبگیر (مسطح، هلالی و لوزی) استفاده شد. طبق نتایج، تیمار عایق با ۹۲ درصد استحصال بارش، بالاترین کارایی را در افزایش رطوبت خاک داشت، درحالی‌که شکل سامانه تأثیر معنی‌داری بر رطوبت خاک نداشت (Gheitury *et al.*, 2019). نتایج پژوهشی دیگر در بررسی تأثیر پنج تکنیک جمع‌آوری آب (مالچ‌پاشی، کشت مخلوط، موانع سنگی، بندهای خاکی هلالی و L شکل) بر وضعیت رطوبت خاک و عملکرد گیاه سورگوم نشان داد که این تکنیک‌ها به‌طور معنی‌داری بر پارامترهای خاک و گیاه تأثیر می‌گذارند. مالچ‌پاشی بهترین عملکرد را در حفظ رطوبت و بهبود عملکرد گیاه داشت. بندهای خاکی هلالی نیز در ذخیره رطوبت مؤثر بودند (Saeed *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های RIM1[5] (شامل دو ناحیه برداشت آب باران، دو لوله نفوذ و مالچ‌پاشی) و RIM2 (شامل یک ناحیه برداشت آب باران، یک لوله نفوذ و مالچ‌پاشی) منجر به افزایش قابل توجه رطوبت خاک در عمق‌های مختلف شده و به بهبود عملکرد محصول سیب کمک کرده است (Ding *et al.*, 2021). نتایج مطالعه دیگری در مراتع دشتی آهنگران خراسان جنوبی نشان داد که در سال‌های پرباران ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، اجرای سامانه هلالی آبگیر باعث افزایش پوشش گیاهی نسبت به منطقه شاهد شد، اما در سال‌های خشک ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، این سامانه تأثیر کمی بر افزایش پوشش گیاهی داشت (Rostampour *et al.*, 2023). نتایج مطالعه‌ای در باغ زیتون در بائنا (کوردوبا، اسپانیا) نیز نشان داد که استفاده از سامانه نفوذ آب باران (HRHS[6]) باعث افزایش رطوبت خاک به میزان تقریباً سه برابر و افزایش تولید زیتون شده است (Rojano-Cruz *et al.*, 2023). علاوه‌براین، اجرای سامانه‌های هلالی آبگیر در حوزه آبخیز چدرویه در استان فارس به‌طور معنی‌داری موجب افزایش پوشش گیاهی و بهبود ویژگی‌های خاک شد و در ابعاد بزرگ، تأثیر بیشتری در حفظ رطوبت و تقویت اکوسیستم‌های مرتعی دارند (Moghim *et al.*, 2024). با توجه به کاهش چشمگیر منابع آبی مناطق جنگلی بلوط در منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلارنگ واقع در استان ایلام و همچنین پدیده خشکیدگی این جنگل‌ها (Heshmati *et al.*, 2017a)، لزوم به‌کارگیری راه‌کارهای مؤثر مدیریت منابع آب در این عرصه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. وقوع خشکسالی‌های مکرر، شیب‌دار بودن اراضی و پایین بودن ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، فشار مضاعفی بر پوشش گیاهی و پایداری اکولوژیکی این مناطق وارد می‌کند. در چنین شرایطی، ارزیابی کارایی سامانه‌های آبگیر، به‌ویژه سطوح هلالی آبگیر، در بهبود نفوذ رواناب و افزایش ذخیره رطوبت خاک، از اهمیت بالایی برخوردار است. این سامانه‌ها به‌عنوان یک راه‌کار طبیعی و کم‌هزینه، می‌توانند در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، تسهیل فرایند احیای پوشش گیاهی و ارتقاء پایداری زیست‌بوم‌های جنگلی نقش مؤثری ایفا کنند. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی این سامانه‌ها در حفظ رطوبت خاک و کمک به پایداری اکولوژیکی در این منطقه، ضرورتی علمی و کاربردی دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند تأییدی بر کارایی این روش‌ها باشد و زمینه را برای استفاده گسترده‌تر از آن‌ها در بهبود رطوبت خاک و کاهش خشکی در جنگل‌های بلوط این منطقه و سایر جنگل‌های زاگرس را فراهم نماید.

مواد و روش‌ها

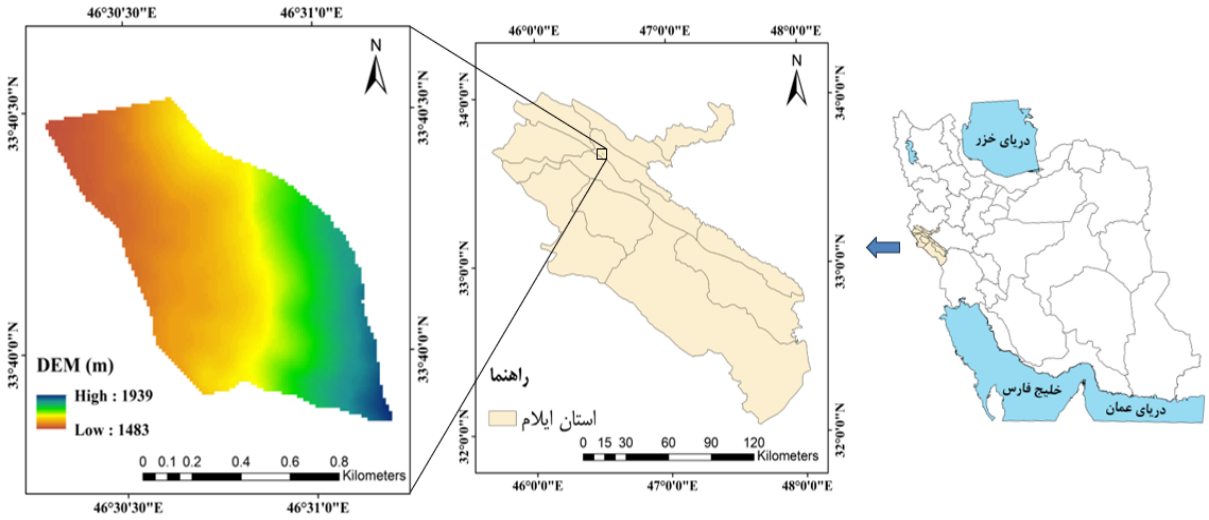
منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این تحقیق، بخشی از منطقه کوهستانی و حفاظت‌شده مانشت و قلارنگ با مساحت

5- Rainwater harvesting + Infiltration enhancement + Mulching

6- Hydroinfiltrator Rainwater Harvesting System

۹۲ هکتار در استان ایلام و در طول جغرافیایی "۴۶°۳۰'۱۶ تا "۴۶°۳۱'۱۲ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۹°۳۳'۵۱ تا "۳۳°۴۰'۳۱ شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه با محدوده ارتفاعی ۱۴۸۳ تا ۱۹۳۹ متر از سطح دریا، دارای ارتفاع متوسط ۱۶۵۶ متر و متوسط شیب ۳۷ درصد می‌باشد. کاربری‌های اراضی غالب در این منطقه شامل جنگل، مرتع مشجر، زراعت دیم و باغ است که عمده مساحت آن به جنگل بلوط با ۷۰ هکتار اختصاص دارد. براساس داده‌های بلندمدت (۱۳۷۸ تا ۱۴۰۲) ایستگاه هواشناسی ایلام، متوسط بارش سالانه منطقه ۵۶۷ میلی‌متر است که ۳۸ درصد آن به صورت برف می‌بارد. همچنین اقلیم این منطقه بر اساس روش دومارتن، مدیترانه‌ای و میانگین دمای سالانه آن ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Fathizadeh *et al.*, 2017).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان ایلام و کشور ایران

Figure 1- Location of the study area in Ilam province, Iran

روش تحقیق

در سال ۱۴۰۱، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام سامانه‌های هلالی آبگیر را در منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلارنگ احداث کرد. در پژوهش حاضر، دو عرصه انتخاب شد که یکی از آن‌ها دارای سامانه‌های هلالی آبگیر (تیمار) و دیگری یک عرصه طبیعی بدون سامانه (شاهد) بود. تا حد امکان سعی شد که این دو عرصه به لحاظ زمین‌شناسی، بافت خاک، شیب و ارتفاع از سطح دریا به هم نزدیک باشند. در ابتدا، چندین ردیف سامانه هلالی آبگیر با الگوی شکسته و پیوسته در هر دامنه به‌سازی شد تا رواناب بین دو سامانه آبگیر کناری توسط سامانه آبگیر ردیف پایین‌تر جمع‌آوری و مهار گردد. شکل ۲ تصویری از عرصه شاهد و سامانه‌های هلالی آبگیر در پلات‌های جنگل بلوط منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. هر سامانه دارای ۵ تا ۷ متر طول، ۰/۵ متر عمق و ۱ متر شعاع بود و ۳/۵ متر با سامانه کناری و ۷ متر با سامانه‌های بالادستی و پایین‌دستی فاصله داشت. پس از آماده‌سازی، اندازه‌گیری رطوبت خاک از آبان‌ماه ۱۴۰۱ تا اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۲، پس از پنج رویداد بارش، به تعداد پنج بار انجام شد. به‌طوری‌که پنج روز بعد از هر رویداد بارش در عرصه شاهد، ۶ نمونه از سه نقطه در دو عمق (۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری) و در منطقه تیمار، ۶ نمونه از سه نقطه بین سامانه‌های هلالی در دو عمق جمع‌آوری شد. همچنین، ۲۴ نمونه از سه نقطه مختلف سامانه هلالی (داخل چاله، روی

پشته خاکی و انتهای پشته هلالی) در دو عمق فوق‌الذکر از ۴ سامانه برداشت شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک به دو روش برداشت نمونه و محاسبه اختلاف وزنی نمونه تر و خشک‌شده (در اولین نمونه‌برداری) و اندازه‌گیری مستقیم با دستگاه رطوبت‌سنج پرتابل (در چهار نمونه‌برداری دیگر) انجام شد. همچنین به‌دلیل نزدیکی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ایلام به منطقه موردمطالعه، اطلاعات ۵ رویداد بارش مربوط به این ایستگاه از اداره کل هواشناسی استان ایلام اخذ گردید که خصوصیات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل ۲- نمایی از عرصه شاهد و سامانه‌های هلالی آبگیر ذخیره رطوبت خاک در پلات‌های جنگل بلوط

Figure 2- A view of the control area and water harvesting soil moisture retention systems in the oak forest plots

جدول ۱- خصوصیات پنج رویداد بارش مورد استفاده در تحقیق

Table 1- Characteristics of the 5 precipitation events used in the study

ردیف	میزان بارندگی (میلی‌متر)	تاریخ بارندگی	تاریخ نمونه‌برداری
1	9	1401/8/22	1401/8/27
2	11	1401/9/04	1401/9/10
3	72	1401/10/25	1401/10/30
4	36	1401/12/22-24	1401/12/29
5	20	1402/01/23	1402/01/28

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. این تحلیل شامل دو عامل سامانه (هلالی یا شاهد)، چهار نقطه استحصال آب (داخل چاله، روی پشته، داخل پشته، بین پشته‌ها)، دو عمق نمونه‌برداری (۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری) و ۵ سطح بارندگی بود. داده‌ها در نرم‌افزار SAS تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. به‌منظور ارزیابی اثر نوع سامانه، ابتدا اثر سامانه‌های هلالی آبگیر و شاهد در دو عمق و پنج سطح بارندگی بر رطوبت خاک بررسی شد. سپس اثرات متقابل سامانه با عمق و سامانه با میزان بارندگی بررسی و در صورت معنی‌دار بودن، مقایسه میانگین‌ها انجام شد. همچنین به‌منظور ارزیابی اثر نقطه استحصال آب، اثر نقاط مختلف استحصال آب در دو عمق و پنج سطح بارندگی با روش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. اثرات متقابل نیز در صورت معنی‌دار بودن با آزمون دانکن مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات عمق خاک، سامانه و میزان بارندگی بر ذخیره رطوبت خاک در جدول ۲ ارائه شده است. طبق این جدول، تأثیر میزان بارندگی و عمق خاک بر مقدار رطوبت خاک در سطح یک درصد معنی‌دار است، که نشان می‌دهد با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت هر یک از این عوامل به‌طور مستقل بر رطوبت خاک تأثیر دارند. این یافته با پژوهش‌های پیشین که بر نقش کلیدی بارندگی و ویژگی‌های فیزیکی خاک در حفظ رطوبت تأکید کرده‌اند، همخوانی دارد (Mimeau *et al.*, 2020; Dai *et al.*, 2022; Da Silva-Dias *et al.*, 2024). به‌ویژه، افزایش میزان بارندگی باعث افزایش ذخیره رطوبت در لایه‌های مختلف خاک می‌شود، زیرا بخش زیادی از آب ناشی از بارش توسط خاک جذب و ذخیره می‌شود. برای مثال، پژوهشی در منطقه بین‌النهرین نشان داد که کاهش بارش‌ها منجر به کاهش رطوبت خاک و افزایش پدیده‌های غباری شده است (NasrAzadani *et al.*, 2015).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر عمق، سامانه و میزان بارش بر ذخیره رطوبت خاک

Table 2- ANOVA of the effect of depth, system, and precipitation on soil moisture storage

منابع تغییرات (SOV)	درجه آزادی	ذخیره رطوبت (٪)
تکرار	2	97.02
عمق	1	8721.79**
سامانه	1	481.66**
میزان بارندگی	4	2140.95**
عمق × سامانه	1	41.66*
عمق × میزان بارندگی	4	375.29**
سامانه × میزان بارندگی	4	3.30ns
عمق × سامانه × میزان بارندگی	4	3.30ns
خطای آزمایش	38	31.35
ضریب تغییرات	-	16.04

همچنین، تأثیر همزمان عمق خاک و میزان بارندگی نیز در سطح یک درصد معنی‌دار است و این دو عامل به‌طور مشترک بر حفظ رطوبت خاک تاثیرگذار هستند. با این‌حال، اثر ترکیب عمق خاک و نوع سامانه کمی متفاوت است و سطح معنی‌داری آن به ۵ درصد کاهش می‌یابد؛ بنابراین با اطمینان ۹۵ درصد می‌توان گفت که ترکیب این دو عامل بر رطوبت خاک پس از بارش تأثیرگذار است. در نهایت، سایر منابع تغییر، هیچ اثر معنی‌داری بر ذخیره رطوبت خاک نداشتند.

همچنین بر اساس نتایج جدول ۳، موقعیت نقطه استحصال آب باران بر میزان ذخیره رطوبت خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود؛ بنابراین، با ۹۹ درصد اطمینان می‌توان اظهار کرد که درصد رطوبت خاک پس از رویداد بارش، بسته به موقعیت اندازه‌گیری آن (نقاط شاهد، بین دو سامانه، چاله سامانه، روی خاک پشته سامانه و انتهای خاک پشته سامانه)، متفاوت است و تفاوت‌های معنی‌داری بین این نقاط وجود دارد. این یافته ممکن است به عوامل متعددی نسبت داده شود. یکی از مهم‌ترین عوامل می‌تواند تأثیر ویژگی‌های هندسی و فیزیکی سامانه‌های آبیاری یا پشته‌های خاک باشد که بر توزیع و نگهداری رطوبت در مناطق مختلف تأثیر می‌گذارد. برای مثال، در مناطقی که بارش‌های متمرکز رخ می‌دهند، مانند نواحی نزدیک به چاله‌های سامانه، مقدار رطوبت بیشتر تجمع می‌یابد، درحالی‌که در نقاطی که تحت تأثیر وزش باد یا حرکت آب قرار دارند، رطوبت کاهش می‌یابد.

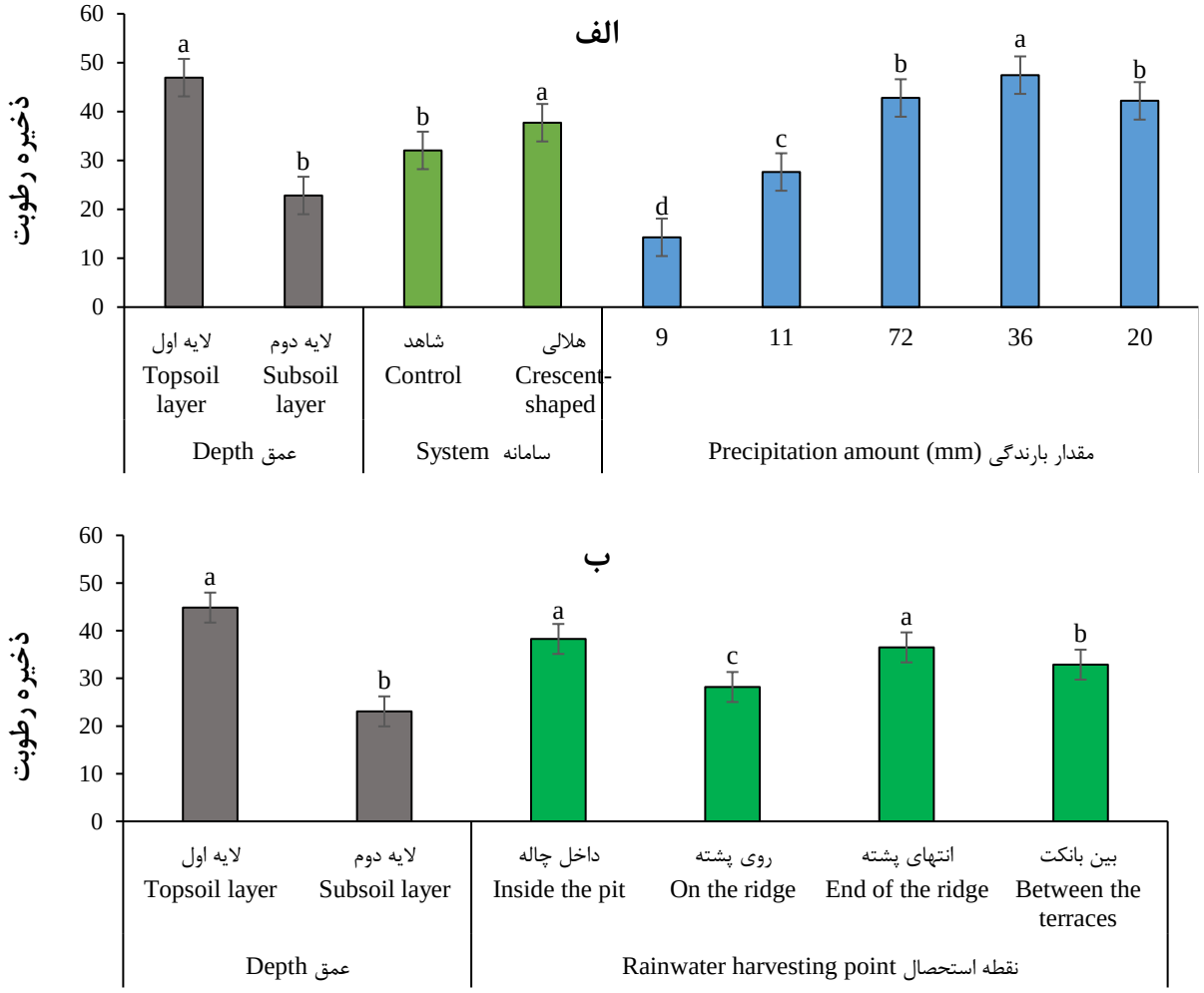
علاوه‌براین، اثرات ساده عمق خاک و میزان بارندگی بر ذخیره رطوبت و هم‌چنین اثرات ترکیبی عمق در نقطه استحصال و عمق در میزان بارندگی نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند. این نتایج بیانگر آن است که رفتار تیمارهای مختلف در نقاط استحصال آب باران در عمق‌های متفاوت خاک، تفاوت‌هایی دارند. درحالی‌که اثرات متقابل سه‌گانه عمق در نقطه استحصال و میزان بارندگی بر ذخیره رطوبت تأثیر نشان ندادند.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر عمق، نقطه استحصال و میزان بارندگی بر ذخیره رطوبت خاک

Table 3- ANOVA of the effect of depth, rainwater harvesting point, and precipitation amount on soil moisture storage

منابع تغییرات	درجه آزادی	ذخیره رطوبت (٪)
تکرار	2	68.62
عمق	1	14224.51**
نقطه استحصال	3	594.89**
میزان بارندگی	4	3645.8**
عمق × نقطه استحصال	3	204.49**
عمق × میزان بارندگی	3	577.49**
نقطه استحصال × میزان بارندگی	4	44.83ns
عمق × نقطه استحصال × میزان بارندگی	12	33.11ns
خطای آزمایش	78	36.50
ضریب تغییرات	-	16.04

براساس نتایج شکل ۳ سامانه هلالی آبگیر به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ذخیره رطوبت خاک نسبت به تیمار شاهد می‌شود. در این شکل، میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند. این نتیجه در تطابق با نتایج پژوهش Mahmoodimoghadam و همکاران (۲۰۱۵) در مراتع استپی شهرستان سربیشه واقع در استان خراسان جنوبی و پژوهش Gheitury و همکاران (۲۰۱۹) در روستای کبوده علیا واقع در استان کرمانشاه می‌باشد. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، بیشترین ذخیره رطوبت در لایه اول نمونه‌برداری با عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک با ۳۷/۷۲ درصد، مشاهده گردید که ۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین بیشترین ذخیره رطوبت در لایه اول خاک (۴۶/۹۴ درصد) مشاهده شد که حدود ۲۵ درصد بیشتر از لایه دوم بود. این تفاوت به وضوح نشان‌دهنده تأثیر عمق خاک بر ذخیره رطوبت است. این یافته حاکی از آن است که بخش سطحی خاک توانایی بالاتری در نگهداری آب دارد که می‌تواند ناشی از ترکیبی از ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک باشد. از سوی دیگر، در عمق‌های بیشتر، کاهش میزان مواد آلی و افزایش فشردگی خاک می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت نگهداری آب شود. همان‌طور که مطالعه Leu و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که افزایش محتوای ماده آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهد. علاوه‌براین، میانگین ذخیره رطوبت در دو رویداد بارش با مقادیر ۷۲ و ۲۰ میلی‌متر تقریباً برابر بود و نشان داد که میزان بارندگی در این شرایط تأثیر معنی‌داری بر ذخیره رطوبت نداشته است. به‌طورکلی، وجود سامانه هلالی آبگیر و عمق خاک به‌عنوان عوامل مؤثر در افزایش ذخیره رطوبت خاک شناسایی شدند که نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مطالعاتJangjo (۲۰۰۹) و Sadeghzadeh و همکاران (۲۰۱۷) که بر تأثیر مثبت حوضچه‌های هلالی بر ذخیره رطوبت خاک تأکید دارند، مطابقت دارد. مقایسه میانگین ذخیره رطوبت در نقاط نیز مختلف نشان داد که نقطه استحصال داخل چاله با میانگین ۳۸/۲۷ درصد، بالاترین میزان ذخیره رطوبت را به خود اختصاص داده است که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با نقطه استحصال در انتهای پشته نداشت. این یافته ممکن است به دلایل مختلفی مربوط باشد. یکی از دلایل ممکن می‌تواند این باشد که در نقاط داخل چاله، تجمع آب باران به‌طور مؤثرتری انجام می‌شود، زیرا سطح آب در این نقاط می‌تواند بیشتر تجمع یابد و از تبخیر آن جلوگیری شود. همچنین، در این نقاط، خاک ممکن است بیشتر قادر به جذب آب باشد. در مقابل، کمترین میزان ذخیره رطوبت مربوط به نقطه استحصال روی پشته با میانگین ۲۸/۱۹ درصد بود. این موضوع ممکن است به دلیل شیب و ویژگی‌های فیزیکی پشته‌ها باشد که باعث می‌شود آب باران در این نقاط سریع‌تر از خاک خارج شود یا به سرعت تبخیر گردد. این یافته‌ها نشان داد که استفاده از نقطه استحصال داخل چاله، تأثیر بیشتری در افزایش ذخیره رطوبت خاک نسبت به سایر نقاط داشت. مطالعه Gheitury و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که نقاط استحصال مختلف اثرات متفاوتی بر ذخیره رطوبت دارند.

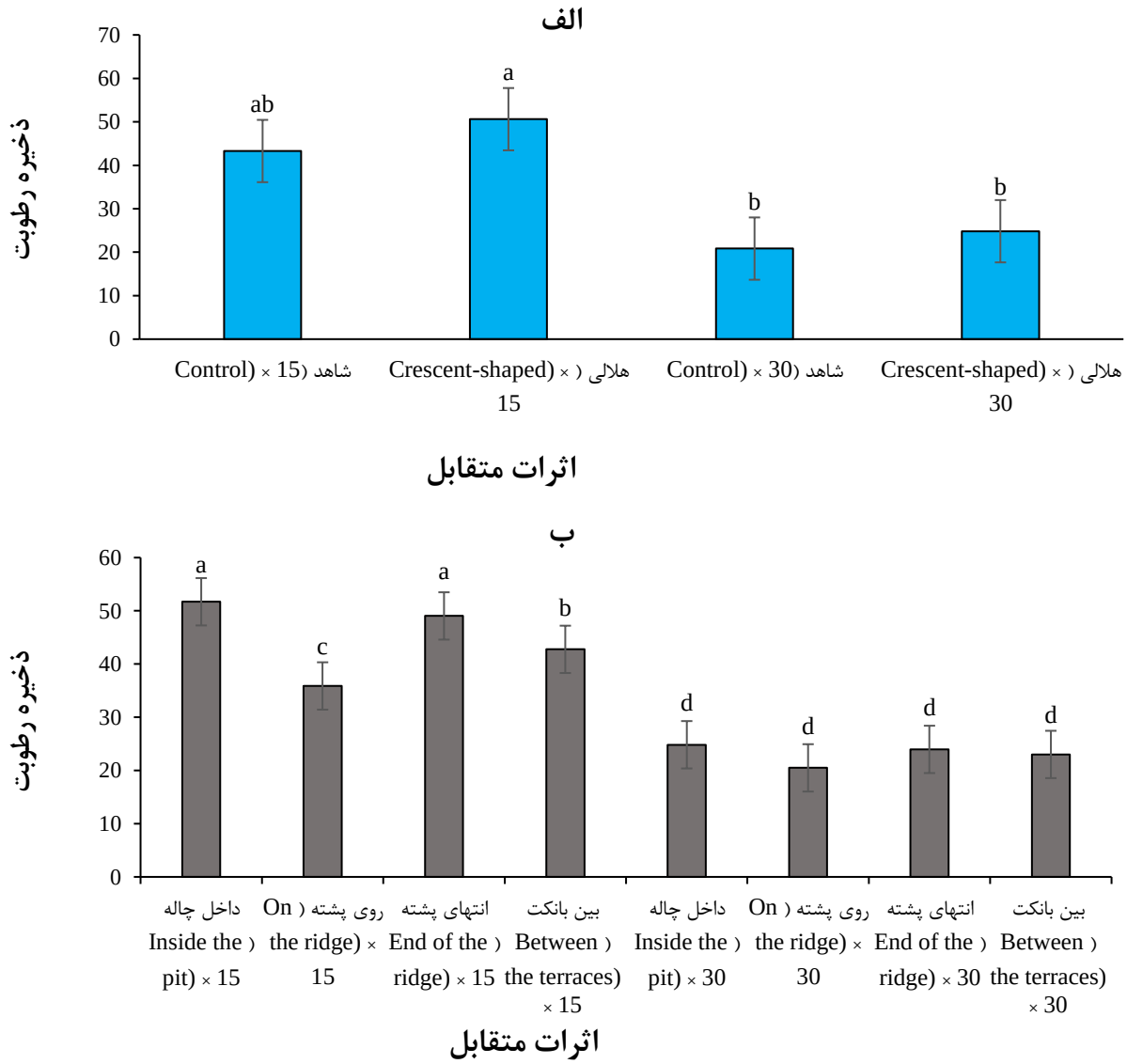


شکل ۳- مقایسه میانگین (الف) اثرات ساده عمق، سامانه و مقدار بارندگی و (ب) اثرات ساده عمق و نقطه استحصال بر ذخیره رطوبت خاک

Figure 3- Comparison of the mean (a) simple effects of depth, system, and precipitation amount, and (b) simple effects of depth and extraction point on soil moisture storage

براساس نتایج مقایسه اثرات متقابل دوگانه عمق و نوع سامانه (شکل ۴)، میزان ذخیره رطوبت خاک پس از پنج روز از بارندگی بین ۲۱ تا ۵۱ درصد متغیر بود. بیشترین ذخیره رطوبت در سامانه هلالی در لایه اول مشاهده شد. همچنین، در لایه دوم، تفاوت معنی‌داری بین سامانه شاهد و هلالی از نظر ذخیره رطوبت وجود نداشت و میزان ذخیره رطوبت در این عمق بین ۲۱ تا ۲۵ درصد بود. در این شکل میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند. مقایسه میانگین ذخیره رطوبت خاک در نقاط مختلف استحصال آب باران و در عمق‌های متفاوت نیز نشان داد که پنج روز پس از بارندگی، با افزایش عمق خاک، ذخیره رطوبت در تمامی تیمارها کاهش یافته است. به‌طور خاص، نقطه استحصال داخل چاله در لایه اول با میانگین ۵۱/۷۰ درصد بالاترین میزان ذخیره رطوبت را داشت، درحالی‌که کمترین ذخیره رطوبت در لایه دوم مربوط به نقطه استحصال روی پشته مشاهده شد. این موضوع می‌تواند در ارتباط با عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های توپوگرافی، خصوصیات فیزیکی خاک و توزیع آب در نقاط مختلف باشد. در لایه اول خاک، با توجه به تجمع آب باران در نقاط چاله‌ای، رطوبت

بیشتری در این نواحی حفظ می‌شود، زیرا تجمع آب و کاهش تبخیر به‌دلیل موقعیت توپوگرافی باعث می‌شود که خاک بتواند آب بیشتری جذب کند. در مقابل، در لایه دوم، این ویژگی‌ها ممکن است به‌دلیل حرکت و نفوذ آب در خاک کاهش یابد، به‌ویژه در نقاطی مانند روی پشته که سرعت تبخیر و خروج آب از خاک بیشتر است.



شکل ۴- مقایسه میانگین (الف) اثرات متقابل دوگانه عمق در سامانه و (ب) اثرات متقابل دوگانه عمق در نقطه استحصال بر ذخیره رطوبت خاک

Figure 4- Comparison of the mean (a) dual interaction effects of depth and system, and (b) dual interaction effects of depth and collection point on soil moisture storage

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق به‌طور مؤثری نشان داد که سامانه‌های هلالی آبگیر می‌توانند در بهبود ذخیره رطوبت خاک در مناطق شیب‌دار نقش مهمی ایفا کنند. نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه‌های هلالی آبگیر تأثیر مثبتی بر افزایش رطوبت خاک دارند. به‌طور کلی،

میزان رطوبت خاک در تیمارهای دارای سامانه آبگیر بیشتر از تیمار شاهد بود.

در عین حال، این تحقیق نشان داد که با افزایش عمق خاک، میزان ذخیره رطوبت کاهش می‌یابد؛ پدیده‌ای که می‌تواند ناشی از محدودیت نفوذ آب در لایه‌های عمیق‌تر و نیز کاهش حرکت رطوبت به سمت پایین در نتیجه تبخیر بیشتر در لایه‌های سطحی باشد. بنابراین، این نتایج می‌توانند مبنای مناسبی برای بهینه‌سازی طراحی و اجرای سامانه‌های هلالی در مناطق مختلف به‌ویژه در شیب‌های تند و مناطق با بارش محدود باشند.

این پژوهش همچنین به‌طور غیرمستقیم بر اهمیت توجه به عواملی چون نوع طراحی، عمق خاک و میزان بارندگی تأکید داشت. برای گسترش این پژوهش در آینده، بررسی اثرات دیگر پارامترهای محیطی مانند نوع خاک، پوشش گیاهی و تغییرات اقلیمی می‌تواند در گسترش تعمیم‌پذیری نتایج این تحقیق مفید واقع شود. از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود که مدل‌های بهینه‌سازی بیشتری برای طراحی سامانه‌های آبگیر هلالی و بررسی اثرات بلندمدت آن‌ها در ذخیره آب و جلوگیری از فرسایش خاک در مناطق مختلف به‌ویژه در مناطق حفاظت‌شده و مناطق مستعد خشکسالی انجام شود. این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان راهکارهای کاربردی در مدیریت منابع آب و حفاظت از خاک در مناطق جنگلی و شیب‌دار مورد استفاده قرار گیرند و در کاهش بحران‌های آبی و تقویت تاب‌آوری اکوسیستم‌های طبیعی مؤثر واقع شوند.

References

Ahmadpour, H., Jahantab, E., Sharafatmandrad, M., & Khosravi Mashizi, A. (2022). The effect of rainfall storage methods on soil properties of arid rangelands (Case study: Bastak, Hormozgan Province). *Desert Management*, *10*(3), 37- 48. https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.554711.1386 (In Persian)

Chaney, N.W., Roundy, J.K., Herrera-Estrada, J.E., & Wood, E.F. (2015). High-resolution modeling of the spatial heterogeneity of soil moisture: Applications in network design. *Water Resources Research*, *51*(1), 619-638. https://doi.org/10.1002/2013WR014964

Da Silva-Dias, R., Raposo-Díaz, X., García-Tomillo, A., & López-Vicente, M. (2024). Response time of soil moisture to rain in a vineyard with permanent cover. *Geoderma*, 444, 116866. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116866

Dai, L., Fu, R., Guo, X., Du, Y., Zhang, F., & Cao, G. (2022). Soil moisture variations in response to precipitation across different vegetation types on the northeastern Qinghai-Tibet plateau. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 854152. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854152

Dile, Y. T., Karlberg, L., Temesgen, M., & Rockström, J. (2013). The role of water harvesting to achieve sustainable agricultural intensification and resilience against water related shocks in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *181*, 69-79. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.014

Ding, W., Wang, F., Dong, Y., Jin, K., Cong, C., Han, J., & Ge, W. (2021). Effects of rainwater harvesting system on soil moisture in rain-fed orchards on the Chinese Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, *243*, 106496. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106496

Fathizadeh, O., Marvi Mohajer, M. R., Jafari, M., & Zahedi Amiri, G. (2014). Temporal stability of throughfall spatial patterns under an individual Persian oak tree in the Zagros region (case study: Forests around Ilam city, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 67(2), 397–409. (In Persian)

Gheitury, M., Heshmati, M. & Roghani, M. (2019). The effects of micro catchment runoff harvesting system on soil moisture enhancement. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13 (47), 107-114. (In Persian)

Heshmati, M., Gheitouri, M., Sheikhvaisi, M., Arabkhedri, M., & Hosini, M. (2017a). Combating the forest mortality crises in Zagros regions, Iran through adaptive

approaches solutions. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *6*(3), 125-141. https://doi.org/10.22067/geo.v6i2.60466 (In Persian)

Heshmati, M., Ghaitury, M., Parvizi, Y., Ahmadi, M., Shaikhvaisi, M., Arabkhedri, M., Hosini, M., & Shademani, A. (2017b). Effect of runoff harvesting trough crescent shaped bounds on oak dieback curtailing and increasing soil organic carbon in the Zagros Forest, Kermanshah, Iran. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5(1), 1-10. (In Persian)

Jangjo, M. (2009). *Rangeland improvement and development*. Mashhad Academic Publications. 239p. (In Persian)

Kassaye, K.T., Boulange, J., Saito, H., & Watanabe, H. (2021). Soil water content and soil temperature modeling in a vadose zone of Andosol under temperate monsoon climate. *Geoderma*, *384*, 114797. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114797

Leu, J.M., Traore, S., Wang, Y.M., & Kan, C.E. (2010). The effect of organic matter amendment on soil water holding capacity change for irrigation water saving: Case study in Sahelian environment of Africa. *Scientific Research and Essays*, *5*(23), 3564-3571.

Londra, P.A., Kotsatos, I.E., Theotokatos, N., Theocharis, A.T., & Dercas, N. (2021). Reliability analysis of rainwater harvesting tanks for irrigation use in greenhouse agriculture. *Hydrology*, *8*(3), 132. https://doi.org/10.3390/hydrology8030132

Mahmoodimoghadam, G., Saghari, M., Rostampour, M., & Chakoshi, B. (2015). Effects of constructing small arc basins system on rangeland production and some soil properties in arid lands (case study: Steppic rangelands of Sarbishe, South Khorasan Province). *Journal of Rangeland*, *9*(1), 66-75. (In Persian)

Mimeau, L., Tramblay, Y., Brocca, L., Massari, C., Camici, S., & Finaud-Guyot, P. (2020). Modeling the response of soil moisture to climate variability in the Mediterranean region. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, *2020*, 1-29. https://doi.org/10.5194/hess-25-653-2021

Moghim, H. (2014). *Watershed Engineering*. Sobeh-e-Entezar publications. p.651 (In Persian)

Moghim, H., Naghibi, A., Sabzi, M., & Faramandian, Z. (2024). Investigating the Effect of Crescent Catchment Systems on Runoff Collection and Management (Case study: Chadroyeh watershed, Fars). *Desert Management*, 12(3), 15-30. https://doi.org/10.22034/jdmal.2024.2040142.1478 (In Persian)

Mucheru-Muna, M., Waswa, F., & Mairura, F.S. (2017). Socio-economic factors influencing utilisation of rain water harvesting and saving technologies in Tharaka South, Eastern Kenya. *Agricultural Water Management*, 194, 150-159. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.005

NasrAzadani, A., Shams, S., & Khalasifard, H. R. (2015). *Investigation of soil moisture and precipitation variations and their impact on dust production in the Mesopotamian region from 2001 to 2014*. Proceedings of the 3rd Regional Conference on Climate Change and Global Warming, Zanjan, Iran, March 9. (In Persian)

Penna, D., Brocca, L., Borga, M., & Dalla Fontana, G. (2013). Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods. *Journal of Hydrology*, *477*, 55-71. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.052

Rojano-Cruz, R., Martínez-Moreno, F.J., Galindo-Zaldívar, J., Lamas, F., González-Castillo, L., Delgado, G., Párraga, J., Ramírez-González, V., Durán-Zuazo, V.H., Cárceles-Rodríguez, B., & Martín-García, J.M. (2023). Impacts of a hydroinfiltrator rainwater harvesting system on soil moisture regime and groundwater distribution for olive groves in semi-arid Mediterranean regions. *Geoderma*, *438*, 116623. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116623

Rostampour, M., Saghari, M. & Chabok Estend, H. (2023). Comparison of the effect of a semi-circular bunds system on vegetation and soil moisture levels in drought and wet conditions (Case study: Zirkouh rangelands - South Khorasan). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(3), 30-53. (In Persian)

Sadeghzadeh, M.E., Yarahmadi, J., Mehrvarz Moghanlou, K., Niknezad, D. (2017). The effect of rainwater catchment systems on increasing soil moisture and growth of

Elaeagnus angustifolia in Oun Ibn Ali, Tabriz. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5(1), 19-28. (In Persian)

Saeed, A.B., Hamid, A. M. N., Abdalhi, M. A., & Mohamed, A.A. (2019). Evaluation the Effects of Water Harvesting Techniques in Improving Water Conservation and Increasing Crop Yields. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 8(86), 106-114.

Shaikh, M. A. J., & Birajdar, F. (2024). Water harvesting: Importance and techniques for mitigating drought in solapur district. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, *7*(2), 74-83. https://doi.org/10.5281/zenodo.10684207

Tadros, M.J., Al-Mefleh, N.K., Othman, Y.A., & Al-Assaf, A. (2021). Water harvesting techniques for improving soil water content, and morpho-physiology of pistachio trees under rainfed conditions. *Agricultural Water Management*, *243*, 106464. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106464

Wang, Y., Hu, W., Zhu, Y., Shao, M.A., Xiao, S., & Zhang, C. (2015). Vertical distribution and temporal stability of soil water in 21-m profiles under different land uses on the Loess Plateau in China. *Journal of Hydrology*, *527*, 543-554. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.010

Xu, Y., Zhu, G., Wan, Q., Yong, L., Ma, H., Sun, Z., Zhang, Z., & Qiu, D. (2021). Effect of terrace construction on soil moisture in rain-fed farming area of Loess Plateau. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100889. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100889

Yannopoulos, S., Giannopoulou, I., & Kaiafa-Saropoulou, M. (2019). Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide. *Water*, 11(10), 2168. https://doi.org/10.3390/w11102168