

Effects of contour furrow on vegetation restoration in critical centers of wind erosion in arid regions (Case study, west of Hamoon Lake)

Moien Jahantigh^{1*}, Mansour Jahantigh¹, Hamidreza Peyrowan²

1. Department of Soil Conservation and Water Management, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

2. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran

* Corresponding author: moienja23@yahoo.com

(Received: 21 December 2024

Revised: 26 April 2025

Accepted: 01 Jun 2025)

Extended Abstract

Introduction: Wind erosion is a critical environmental issue and a major barrier to development in arid and semi-arid regions. This destructive process causes considerable ecological damage by stripping away topsoil, reducing land productivity, and increasing dust and sandstorm occurrences. Vegetation cover, soil stability, and surface roughness are among the key factors influencing wind erosion. The Sistan region, characterized by flat topography and long-term drought, experiences severe wind erosion due to the degradation of vegetation cover. This leads to frequent dust storms, further disrupting the ecosystem. To combat these effects, the construction of contour furrows for rainwater harvesting has proven effective. These furrows increase soil surface roughness and enhance water retention, creating favorable conditions for vegetation establishment and ecological restoration.

Materials and Methods: This study was conducted in a flat area with approximately 0.5% slope and sparse vegetation, located west of Lake Hamun. Furrows measuring 40 cm in depth and 50 cm in width were constructed along horizontal lines, each 90 meters long. Seeding was conducted inside the furrows. The experimental design included three variables: precipitation storage location (inside the furrows, between the furrows, and a control area without furrows), sampling season (beginning and end of the rainy season), and year (first and second year). Each treatment was replicated four times. Vegetation characteristics, including plant height, canopy cover, bare soil percentage, and plant vitality, were assessed using 90-meter transects and quadrat sampling. Soil samples from each treatment zone were analyzed for their hydrological classification based on the SCS (Soil Conservation Service) method. Data were statistically analyzed using ANOVA in SPSS software to evaluate treatment effects.

Results and Discussion: Statistical analysis revealed that the location of precipitation storage and sampling season significantly affected plant height and canopy cover ($P < 0.05$). Vegetation indicators improved markedly within the furrows during the second year, especially after rainfall. Plant vitality assessment showed that 54% of plants in the furrows had high vitality (first degree), 40% moderate (second degree), and only 6% low vitality (third degree). In contrast, in the control area, 73% of plants exhibited low vitality and 27% moderate vitality, with no high-vitality plants observed. Soil infiltration capacity also improved significantly in the furrowed areas. While infiltration rates in the control zone ranged from 0.3 to 1 mm/hour, they increased to between 1.3 and 3.8 mm/hour in furrowed zones. This improvement enhances water availability in the root zone, increasing soil moisture and thereby creating a suitable environment for plant growth and stabilization of the soil surface.

Conclusion: This study demonstrates that contour furrows are an effective technique for vegetation restoration and soil conservation in wind-eroded, arid environments such as the western area of Lake Hamun. By improving infiltration and increasing soil moisture, furrow construction facilitates vegetation establishment and resilience. Given the region's limited precipitation, high evaporation rates, and compact soil layers, furrows represent a practical and low-cost solution for managing water resources and combating desertification. Their application can greatly enhance the effectiveness and sustainability of restoration efforts in degraded arid lands.

Keywords: Furrows system, Sistan, freshness degree, vegetation cover, Water harvesting

Citation: Jahantigh, M., Jahantigh, M., & Peyrowan, H. (2026). Effects of contour furrow on vegetation restoration in critical centers of wind erosion in arid regions (Case study, west of Hamoon Lake). *Integrated Watershed Management*, 5(4), 111-127. doi= 10.22034/iwm.2025.2048669.1197

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>).



اثربخشی عملیات کنتور فارو بر احیاء پوشش گیاهی در کانون‌های فرسایشی مناطق خشک (مطالعه موردی: غرب دریاچه هامون)

معین جهان تیغ^{۱*}، منصور جهان تیغ^۱، حمیدرضا پیروان^۲

۱. بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

۲. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: moienja23@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

چکیده مبسوط

مقدمه: فرسایش بادی یکی از مهمترین مخاطرات زیست‌محیطی و موانع توسعه و پیشرفت جوامع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. به‌طوری که این پدیده مخرب هر ساله خسارات زیادی را بر زیست بوم این نواحی به‌همراه دارد. عواملی از جمله پوشش گیاهی، پایداری ساختمان خاک و زبری سطح زمین نقش به‌سزایی در وقوع فرسایش بادی دارند. از این رو قدرت فرسایش‌پذیری باد، در اراضی مسطح و فاقد پوشش گیاهی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. منطقه سیستان به دلیل خشکسالی‌های طولانی‌مدت و از بین رفتن پوشش گیاهی همواره تحت تاثیر پدیده مخرب فرسایش بادی قرار دارد که ضمن تخریب زیست بوم این منطقه باعث ایجاد طوفان‌های شنی و بروز پدیده گردوغبار در این منطقه شده است. از این‌رو به منظور کنترل فرسایش بادی و حفاظت خاک، احداث فارو به منظور جمع‌آوری نزولات آسمانی ضمن افزایش زبری خاک، بستر مناسبی برای احیاء پوشش گیاهی در این مناطق را فراهم می‌نماید.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش محدوده‌ای در غرب دریاچه هامون با شیب حدود نیم درصد و با پوشش گیاهی فقیر انتخاب و با فاصله دو متر از همدیگر فاروهایی به عمق ۴۰ و عرض ۵۰ سانتیمتر در امتداد خطوط تراز به طول ۹۰ متر و در راستای عمود بر جهت وزش باد احداث و عملیات بذرپاشی (بذر گونه‌های سیاه‌شور و ترات) در آنها انجام شد. تیمارهای این پژوهش شامل محل ذخیره نزولات آسمانی (داخل فاروها، بین فاروها و منطقه شاهد)، فصل نمونه‌برداری (در دو سطح ابتدا و انتهای فصل بارندگی) و سال اجرا (سال اول و دوم) می‌باشد که در چهار تکرار اجرا شد. به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات پوشش گیاهی با استفاده از ترانسکت ۹۰ متری و روش پلات‌اندازی به‌طور سیستماتیک- تصادفی شاخص‌های ارتفاع گیاه، مساحت تاج‌پوشش گیاهی، خاک لخت و وضعیت شادابی گیاه در هر یک از تیمارها اندازه‌گیری شد. همچنین با نمونه‌برداری از خاک محل ذخیره نزولات بر اساس روش SCS، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک آنها نیز تعیین شد.

نتایج و بحث: تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر محل ذخیره نزولات آسمانی (منطقه شاهد، فواصل بین فارو و داخل فاروها)، فصل برداشت و سال اجرا بر ارتفاع و تاج‌پوشش گیاهی معنی‌دار می‌باشد و شاخص‌های مورد مطالعه در محل احداث فاروها بعد از بارندگی و طی سال دوم به‌طور محسوس افزایش یافته است ($P < 0.05$). در بررسی درجه شادابی گیاهان نیز یافته‌ها بیانگر آن است که در محل احداث فاروها بعد از بارندگی ۵۴ درصد گیاهان دارای شادابی درجه ۱ و ۴۰ و ۶ درصد به‌ترتیب دارای شادابی درجه ۲ و ۳ می‌باشند. درحالی‌که در منطقه شاهد، به ترتیب ۲۷ و ۷۳ درصد گیاهان دارای شادابی درجه ۲ و ۳ بوده است. در بررسی گروه‌های هیدرولوژیکی محل ذخیره نزولات نیز میزان نفوذ از ۰/۳ تا ۱ میلی‌متر بر ساعت در منطقه شاهد به ۱/۳ تا ۳/۸ میلی‌متر بر ساعت در محل احداث فاروها افزایش یافته است که بستری مناسب برای نفوذ و به‌تبع آن افزایش رطوبت خاک و در نتیجه زمینه رشد و استقرار گیاهان را فراهم نموده است.

نتیجه‌گیری: یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که احداث فارو با افزایش میزان نفوذ آب در خاک، ضمن افزایش رطوبت خاک، شرایط مناسب برای رشد گیاه و احیاء پوشش گیاهی در اراضی مستعد فرسایش بادی را به همراه داشته است. با توجه به ریزش کم نزولات جوی در منطقه سیستان و در مقابل بالا بودن میزان تبخیر و همچنین وجود لایه متراکم و سخت در سطح خاک، عملیات ذخیره نزولات آسمانی با استفاده از کنتور فارو رویکردی کاربردی برای مدیریت نزولات آسمانی و احیاء پوشش گیاهی در این منطقه به‌شمار می‌رود که ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، اثربخشی پروژه‌های احیاء پوشش گیاهی در این منطقه را دوچندان می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: سیستان، درجه شادابی، کنتور فارو، پوشش گیاهی، نزولات آسمانی

استناد: جهان تیغ، م.، جهان تیغ، م.؛ و پیروان، ح (۱۴۰۴). اثربخشی عملیات کنتور فارو بر احیاء پوشش گیاهی در کانون‌های فرسایشی مناطق خشک (مطالعه موردی: غرب دریاچه هامون). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۴)، ۱۱۱-۱۲۷.

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

مناطق خشک تقریباً ۴۵ درصد از مساحت زمین (۶۷ میلیون کیلومتر مربع) را تشکیل می‌دهند که بیش از ۲ میلیارد نفر در آن زندگی می‌کنند (Právalie, 2016; Berdugo et al., 2020). در طول ۱۰۰ سال گذشته، تغییرات شدید آب و هوایی منجر به وقوع سیل‌های مخرب، طوفان‌های شدید به همراه گردوغبار و بروز خشک‌سالی شده است که چنین وضعیتی نقش بازدارنده‌ای بر زیست بوم‌های طبیعی، به‌ویژه پوشش گیاهی این مناطق داشته است (Wang et al., 2019). پوشش گیاهی نقش مؤثری در تثبیت زیست بوم‌های زمینی ایفا می‌کند و به‌عنوان یک رابط بین جو، خاک و آب عمل می‌نماید که نقش مهمی در تبادل مواد انرژی، چرخه بیوشیمیایی و تنظیم سامانه آب و هوا در سطوح زمین ایفا می‌کند (Gao et al., 2022; Sawut et al., 2023). پوشش گیاهی همچنین مهم‌ترین مشخصه ارزیابی فرآیند تخریب زمین و روند بیابانزایی در اکوسیستم‌های خشک بشمار می‌رود (Huang et al., 2023; Moradi et al., 2023; al., 2024). در زیست بوم‌های خشک و نیمه خشک، آب یکی از محدودکننده‌ترین عوامل است (Hao et al., 2012) و بارش عامل اصلی است که گیاهان را از حالت متحمل به خشکی به حالت رشد فعال سوق می‌دهد (Fay et al., 2003). بنابراین، کمی‌سازی بهینه اثرات تغییرات بارش بر پوشش گیاهی در مناطق خشک و کم‌آب برای توسعه راهکارهای سازگاری برای مقابله با تغییرات آب و هوایی و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست در آینده، که برای مدیریت پایدار و حفاظت از بوم‌سازگان، مورد نیاز می‌باشد (Linscheid et al., 2020; Diao et al., 2021). با گرم شدن سطح زمین، ظرفیت لایه مرزی اتمسفر برای نگهداری بخار آب افزایش می‌یابد و در نتیجه شدت و فراوانی رویدادهای شدید بارش افزایش پیدا می‌کند (Gimeno-Sotelo & Gimeno, 2023).

(Zhang et al., 2023) که چنین وضعیتی، تغییر در مقدار و ساختار منطقه‌ای بارش، به‌ویژه در عرض‌های جغرافیایی متوسط و پایین را به‌همراه دارد (Yin et al., 2021). بارش یک عامل کلیدی تعیین‌کننده رشد پوشش گیاهی است و تغییر در میزان بارندگی می‌تواند محتوای مواد آلی خاک را تغییر دهد و بر تشعشعات مؤثر فتوسنتزی و عملکردهای فیزیولوژیکی تأثیر گذاشته و در نتیجه ساختار و پوشش گیاهی را تغییر دهد (Araujo et al., 2023). با این حال، تغییرات در ویژگی‌های ساختاری بارش، مانند فراوانی، شدت و توزیع سالیانه بارش، می‌تواند بر مصرف آب توسط گیاه تأثیر گذاشته و در نتیجه بر ساختار و بهره‌وری از آن نیز مؤثر باشد (Yu et al., 2019; Norton et al., 2022; Dai et al., 2023). تغییر پوشش گیاهی به دلیل تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند زیست بوم‌های مرتعی را به‌طور قابل توجهی از طریق تغییر الگوهای کاربری پوشش گیاهی و تعادل آب، زیست بوم بین بارندگی و تبخیر و تعرق تغییر دهد. شبیه‌سازی تغییر پوشش گیاهی نشان داده است که تغییرات آشکاری در جریان رودخانه‌ها از طریق تغییر پوشش گیاهی بالا دست و پایین حوزه آبخیز رخ داده است. کاهش پوشش گیاهی قادر به افزایش جریان رودخانه در زمان بارندگی و فصل ذوب برف می‌باشد، ولی این اثرات در فصول بارندگی و در سال‌های خشک مشهودتر است (Sun, 2017). علاوه بر آن تغییر و کاهش پوشش گیاهی، تخریب و فرسایش شدید خاک را نیز به‌همراه دارد؛ بنابراین، مدیریت و بهبود پوشش گیاهی یکی از مؤثرترین و پایدارترین روش‌های بهبود منابع آبی و حفاظت از خاک در مناطق خشک به‌حساب می‌آید (Sun, 2017). زیرا پوشش گیاهی در این نواحی تبخیر و تعرق (ET) و بارش (P) را تعدیل و حفظ می‌نماید؛ ولی در عرصه‌های عاری از پوشش گیاهی، چرخه آب سطحی به دلیل تلفات بیشتر تبخیر و تقلیل

به تبع آن تخریب خاک بشمار می‌رود (Seneviratn *et al.*, 2010; Chaney *et al.*, 2015; Ren *et al.*, 2018). یکی از روش‌های مناسب افزایش پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی ایجاد کنتور فارو می‌باشد. در همین خصوص Hessary و Gerald (۱۹۷۹) گزارش دادند که کنتور فارو روش مناسبی برای ذخیره نزولات آسمانی و افزایش رطوبت بر روی خاک‌های با بافت لومرسی و کلی لوم است، به طوری که باعث افزایش ۳۳ درصدی تولید علوفه مراتع می‌شود. نتایج آزمایش Ross wight و همکاران (۱۹۷۸) به مدت ۸ سال در مراتع نواحی خشک آمریکا نشان داد که احداث فارو سبب افزایش ۱۶۵ درصدی (۵۲۷ کیلوگرم در هکتار) تولید علوفه شده است. همچنین آنان گزارش دادند که میزان آب قابل دسترس گیاهان ۱۰۷ درصد افزایش داشته است. Zhang و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که سامانه شیپار و فارو یک روش مناسب برای استحصال، جمع‌آوری و استفاده از بارش به منظور افزایش رطوبت موردنیاز گیاهان در نواحی خشک است که به دلیل مزایای قابل توجه آن برای دسترسی به آب در خاک و عملکرد محصول، به طور گسترده در اراضی کشاورزی و عرصه‌های طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. Ren و همکاران (۲۰۰۹) در آزمایشی به منظور ذخیره نزولات آسمانی در شمال غربی چین با احداث شیپارهایی، میزان تولید محصولات کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که بارش ۲۳۰-۴۴۰ میلی‌متر در شیپارها باعث افزایش محسوس رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در مقایسه با منطقه شاهد شده است. آنان همچنین گزارش نموده‌اند که شاخص‌های رشدی گیاه همانند طول ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه گیاهان در داخل فاروها نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌دار افزایش یافته است. در تحقیقی دیگر Jahantigh و Pessarakli (۲۰۰۹) تأثیر کنتور فارو بر افزایش پوشش گیاهی در منطقه نیروگاه ایرانشهر با متوسط بارش سالیانه حدود

میزان بارندگی، بسیار کندتر خواهد. مناطق خشک ورودی آب باران خود را به صورت تبخیر یا رواناب‌های سطحی و زیرسطحی از دست می‌دهند (Fraedrich *et al.*, 1999). بررسی تغییرات در فرم‌های پوشش گیاهی به عنوان شاخصی از پویایی زیست بوم‌ها عمل می‌کند و در نتیجه به مدیریت آنها اجازه می‌دهد تا پایداری آنها را حفظ نماید (Mohseni & Sepehr, 2015). علاوه بر پوشش گیاهی، ویژگی‌های آن، از جمله ارتفاع و تراکم پوشش گیاهی، ساختار جامعه گیاهی، عمق ریشه گیاه، بستر سطحی و تغییر ساختمان خاک به دلیل تخریب پوشش گیاهی نیز می‌تواند بر ایجاد رواناب سطحی و کاهش رطوبت خاک و به دنبال آن کاهش پوشش گیاهی تأثیرگذار باشد. پوشش گیاهی و کاربری اراضی دو عامل اصلی مؤثر بر فرآیندهای فیزیکی اکوهیدرولوژیکی هستند. مطالعات متعددی نشان داده است که پوشش گیاهی و کاربری زمین می‌تواند با تغییر توزیع آب بین تبخیر، رواناب، رطوبت خاک و آب‌های زیرزمینی، تا حدی بر تعادل آب تأثیر گذاشته و باعث تثبیت زیست بوم‌ها شود (Sun, 2008). از این رو، با توجه به نقش کلیدی پوشش گیاهی در تثبیت، توسعه و بهره‌برداری مستمر و پایدار از زیست بوم‌ها، احیاء و توسعه آن ضروری می‌باشد. با توجه به این که رطوبت خاک یکی از مؤلفه‌های اصلی رشد و نمو گیاه محسوب می‌شود، ذخیره آن به منظور دسترسی آسان گیاه به روش‌های متعدد مکانیکی، بیولوژیکی و یا ترکیبی از آنها ضروری می‌باشد. استحصال و جمع‌آوری نزولات آسمانی به روش‌های متعددی ممکن است که به کارگیری هر روش و یا ترکیبی از آنها به شرایط محلی، اهمیت منطقه و اثرات اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی آن زیست‌بوم بستگی دارد. رطوبت خاک معمولاً تغییرات مکانی و زمانی پیچیده‌ای را به دلیل تأثیر عوامل متعددی مانند تغییرات آب و هوا، ناهمگونی خاک، شیوه‌های مدیریت خاکورزی و رژیم بارندگی ایجاد می‌کند (Zucco *et al.*, 2014; Jia *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2021)؛ که این شرایط در مناطق خشک مهمترین عامل برای ایجاد فرسایش و

نزولات آسمانی در افزایش پوشش گیاهی مراتع در بخش تیکمه‌داس استان آذربایجان شرقی بیانگر آن بود که احداث فارو با میانگین ۸۰ درصد به طور محسوس باعث افزایش پوشش گیاهی نسبت به تیمار شاهد شده است.

بررسی منابع در خصوص ذخیره نزولات آسمانی نشان می‌دهد که ایجاد سامانه‌های ذخیره نزولات آسمانی در نواحی با بارندگی بالاتر از ۱۰۰ میلی‌متر تاثیر مثبت بر ذخیره نزولات آسمانی و افزایش پوشش گیاهی دارد. منطقه سیستان از جمله مناطق خشک و بحرانی کشور است که تحت تاثیر خشکسالی‌های طولانی مدت و همچنین فرسایش بادی قرار دارد که تداوم این شرایط طی سال‌های اخیر باعث گسترش کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در این منطقه شده است. از این رو با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر فارو بر پوشش گیاهی به منظور حفاظت خاک در مناطق خشک با بارندگی متوسط حدود ۵۰ میلی‌متر که تحت فرسایش شدید بادی قرار دارد، صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

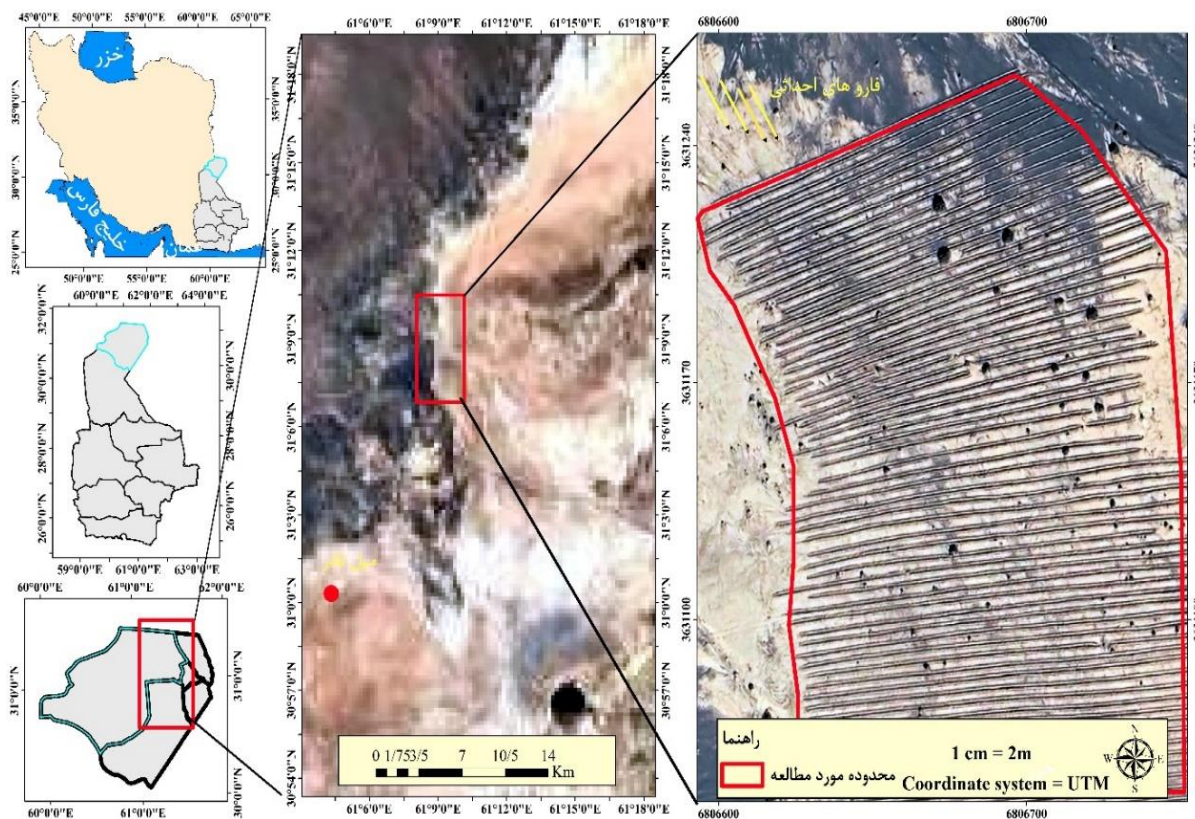
محدوده مورد آزمایش در حدود ۵۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان زابل و غرب دریاچه هامون با مختصات جغرافیایی "۶۱° ۶' ۰" تا "۶۱° ۱۸' ۰" ثانیه طول شرقی و بین "۳۱° ۱۸' ۰" تا "۳۰° ۵۴' ۰" شمالی با ارتفاع حدود ۴۷۳ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد پژوهش حدود ۵۰ میلی‌متر است که بیشترین آن در فصل زمستان ریزش می‌نماید. ولی در ده سال اخیر این مقدار نیز کاهش یافته است. میانگین درجه حرارت، متوسط حداکثر و حداکثر مطلق سالیانه بر اساس ایستگاه هواشناسی زابل به ترتیب ۱۸، ۲۵، ۴۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۸۰ میلی‌متر و خاکی با ۶/۸، ۱۹/۵، ۷۳/۷ درصد به- ترتیب رس، سیلت و شن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که ایجاد فارو باعث افزایش حدود ۴ درصد رطوبت خاک، کاهش ۸۷/۵ درصد رواناب و در نتیجه افزایش ۵ برابری تعداد گونه گیاهی *Hammada saliconica* قبل از ایجاد سامانه‌های مزبور شد.

Liang و همکاران (۲۰۲۴) اثرات بارندگی طبیعی بر رطوبت خاک زمین‌های کشاورزی شیب‌دار با احداث فارو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که رژیم‌های بارش بر ضریب رواناب سطحی و عمق رواناب در زمین‌های کشاورزی شیب‌دار شاهد و همراه با کنتور فارو تأثیر دارد. به طوری که رطوبت خاک محدوده شاهد در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر با بارندگی بیشتر از ۲۰ میلی‌متر، به طرز محسوسی افزایش یافت. در حالی که رطوبت خاک در لایه ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری تیمار کنتور فارو، زمانی که مقدار بارندگی بیش‌تر از ۱۵ میلی‌متر بود، افزایش یافت. همچنین آنان گزارش کردند که کنتور فارو می‌تواند به طور محسوسی رطوبت خاک را حفظ و میزان تبخیر را کاهش دهد که چنین وضعیتی نقش به‌سزایی در ذخیره‌سازی آب در زمین‌های کشاورزی و مراتع ایفاء می‌نماید که فرآیند نهایی آن بهبود پوشش گیاهی است. در پژوهشی Zarekia و همکاران (۲۰۲۱) با هدف شناسایی اثر روش‌های مکانیکی بر افزایش پوشش در مناطق خشک در سه محل شامل اشکذر، گهر و چاه‌متک اردکان در استان یزد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که میزان پوشش گیاهی در درون کنتور فارو نسبت به منطقه شاهد ۲-۳ درصد افزایش یافت. آنان گزارش دادند که ایجاد سامانه‌های ذخیره نزولات آسمانی همراه با بذرکاری گونه‌های *Artemisia sieberi* و *Salsola crassa* برای پوشش گیاهی مناطق بیابانی با بارندگی پایین‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر می‌تواند مؤثر واقع شود. نتایج مطالعات Habibzadeh و Noroozi (۲۰۲۲) در بررسی تاثیر سامانه‌های ذخیره

littoralis، علف‌شور (*Salsola crassa*)، گز درختچه‌ای (*Tamarix stricta*) و در برخی از نقاط فاقد پوشش گیاهی است. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مربوط به دوره‌های نئوژن-کواترنری است و دارای آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای، مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی و پادگانه‌های آبرفتی می‌باشد. خاک منطقه حاصل رسوباتی است که از ارتفاعات حوزه آبخیز هیرمند توسط رودخانه به این مکان انتقال یافته است. وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که از اواسط خردادماه شروع و تا اوایل مهرماه ادامه دارد، از بارزترین مشخصه‌های آب و هوایی این منطقه محسوب می‌شود. جهت حرکت این بادهای شمال - جنوب می‌باشد و سرعت آنها به ۱۲۰ کیلومتر در ساعت و سرعت هسته مرکزی این بادهای به ۱۸ متر بر ثانیه نیز می‌رسد.

متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بر اساس آمار قبل از دهه هفتاد حدود ۵۰۰۰ میلی‌متر است که ۳۰۰۰ میلی‌متر آن در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد اتفاق می‌افتد. ولی با توجه به تغییرات اقلیمی طی سال‌های اخیر، این میزان نیز افزایش یافته است. بالا بودن نرخ تبخیر و تعرق در منطقه، کاهش متوسط رطوبت نسبی منطقه را در پی داشته است، به طوری که متوسط رطوبت سالانه آن ۲۸ درصد است. با توجه به شرایط اکولوژیکی، منطقه مورد مطالعه از لحاظ شرایط اقلیمی (بارش کم نزولات جوی، بالا بودن میزان دما و تبخیر، وزش بادهای ۱۲۰ روزه) جزء مناطق خشک و بحرانی کشور به حساب می‌آید. از لحاظ پستی و بلندی محدوده مورد بررسی دارای سطحی صاف و عاری از پستی و بلندی است. پوشش گیاهی منطقه فقیر و از نوع شورپسند شامل سیاه‌شور (*Suaeda fruticosa*)، ترات (*Hammada saliconica*)، بونو (*Aeluropus*)



شکل ۱- موقعیت محدوده اجرای طرح در شهرستان، استان و کشور
Figure 1- Location of the study area in the city, province, and country

روش تحقیق

ورود رواناب به داخل فاروهای احداثی ارائه شده است. تیمارهای این پژوهش شامل محل ذخیره نزولات آسمانی (داخل فاروها، بین فاروها و منطقه شاهد) و فصل نمونه‌برداری (در دو سطح شامل ابتدا و انتهای فصل بارندگی) در طی دوره مورد مطالعه (دوسال) می‌باشد که در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا شد. نمونه‌برداری مربوط به داده‌های پوشش گیاهی در عرصه به روش سیستماتیک- تصادفی صورت گرفت. بدین منظور با تقسیم‌بندی سیستماتیک محل ذخیره نزولات (فاروها و فواصل بین آنها)، اندازه‌گیری خصوصیات پوشش گیاهی (ارتفاع گیاه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، خاک لخت و وضعیت شادابی گیاه) با استقرار ترانسکت ۹۰ متری به‌طور سیستماتیک و روش پلات‌اندازی (اندازه سطح پلات‌ها ۱۰ متر مربع) به‌صورت تصادفی روی هر یک از ترانسکت‌ها (تعداد ۴ پلات بر روی هر ترانسکت) صورت گرفت (Zare *et al.*, 2018; Vali *et al.*, 2022). در مجموع ۱۹۲ پلات برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های گیاهی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

پژوهش حاضر طی سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ و در غرب دریاچه هامون اجرا شد. بدین منظور طی عملیات میدانی یک پایلوت مطالعاتی (عرصه‌ای با شیب حدود نیم‌درصد و دارای پوشش گیاهی فقیر) برای اجرای این طرح انتخاب شد. در ابتدای سال ۱۴۰۱ با استفاده از تراکتور و نهرکن فاروهایی به عمق حدود ۴۰ و عرض ۵۰ سانتیمتر به طول ۹۰ متر (با فاصله ۲ متر از یکدیگر) و در جهت عمود بر شیب منطقه احداث و عملیات بذرپاشی (بذر گونه‌های سیاه‌شور و ترات) در آنها انجام شد (ذکر این نکته نیز حائز اهمیت می‌باشد که احداث فاروها باعث ایجاد پشته‌های خاکی در اطراف آنها شده که به‌طور متوسط ۱۵ سانتی‌متر نسبت به اراضی همجوار ارتفاع دارد که این شرایط با ایجاد یک مانع فیزیکی، محیطی مناسب برای ذخیره نزولات آسمانی در فواصل بین فاروها را فراهم نموده است). در شکل ۲ و ۳ به ترتیب نمایی از مناطق هدف جهت ذخیره نزولات آسمانی و تغییرات آن در قبل و بعد از



شکل ۲- شماتیک مناطق هدف برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه (داخل فاروها و فواصل بین آنها)
Figure 2 - Schematic of target areas for measuring vegetation cover in the study area (furrows and their ridges)

ذخیره نزولات و همچنین تعیین بافت آنها با استفاده از استاندارد^۱ SCS، گروه‌های هیدرولوژیکی براساس جدول ۲ طبقه‌بندی شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین داده‌ها نیز از روش دانکن در محیط نرم‌افزاری SAS استفاده شد.

به منظور بررسی وضعیت شادابی پوشش گیاهی نیز از دستورالعمل طرح مدیریت جنگل‌های دست کاشت نواحی بیابانی مصوب شورای عالی جنگل سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری مطابق جدول ۱ استفاده شد (Zare *et al.*, 2022). با نمونه‌برداری از خاک محل



شکل ۳- نمایی از فاروهای احداثی، الف) قبل از ورود رواناب به داخل فارو، ب) بعد از ورود رواناب به داخل فاروها.
Figure 3- view of the constructed, a) before furrow irrigation, b) after furrow irrigation.

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت شادابی گونه‌های گیاهی

Table 1- Classification of the vitality status of the plant species

توصیف ویژگی	درجه شادابی
نبود سرشاخه‌های خشک‌شده، سبزی و شادابی، ایستادگی گونه جنگلی و نبود آفت بر روی گونه	1
وجود سرشاخه‌های خشک‌شده، آفت‌زده و وضعیت ظاهری متوسط	2
خشکیدگی و آفت‌زدگی شاخه‌های اصلی و پژمردگی گونه	3

جدول ۲- طبقه‌بندی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (مهدوی، ۱۳۹۳)

Table 1- Classification of soil hydrological groups (Mahdavi, 2014)

میزان نفوذ (mm/h)	گروه هیدرولوژیکی خاک	کلاس بافت خاک	پتانسیل تولید رواناب
7.11 تا 5.5	A	شنی	کم
8.5 تا 3.7	B	شنی-لوم، لومی-شنی، رسی	نسبتاً کم
3.8 تا 1.3	C	لومی-رسی، سیلت-لوم-رسی، شن-رسی-لوم، لوم سیلتی-لوم، سیلتی	نسبتاً زیاد
1 تا 0.3	D	رسی، سیلتی-رسی، شن-رسی	زیاد

نتایج

نتایج بررسی آمار نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محدوده اجرای پژوهش در جدول ۳ ارائه شده است. باتوجه به نتایج، بیشترین میزان بارندگی‌ها در سال ۱۴۰۱ برابر با ۱۴/۲ و ۱۳/۳ میلی‌متر بود در حالیکه در سال ۱۴۰۲ بارش موثری صورت نگرفت. در طی سال ۱۴۰۳ نیز بیشترین میزان بارندگی‌ها برابر با ۹/۵ و ۷/۸ میلی‌متر گزارش شده است. با تجزیه و تحلیل واریانس داده‌های پوشش گیاهی، یافته‌ها بیانگر آن است که اثر محل ذخیره نرولات آسمانی و همچنین فصل برداشت

بر میزان ارتفاع، مساحت تاج پوشش و همچنین سطح خاک لخت در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). با توجه به نتایج اثر متقابل این متغیرها بر شاخص تاج پوشش و سطح خاک لخت نیز تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ($p < 0.05$). مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر آن است که مساحت تاج پوشش گیاهی تحت تاثیر روش ذخیره نرولات در داخل فاروها و همچنین فواصل بین آنها باعث افزایش به ترتیب ۱/۷ و ۱/۳ برابری این شاخص نسبت به منطقه شاهد شده است که در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۵). میانگین بیشترین میزان ارتفاع

است. در بررسی اثر فصل نمونه‌برداری نیز یافته‌ها بیانگر آن است که بعد از اتمام فصل بارش در محدوده مورد مطالعه شاخص‌های رشدی گیاه از جمله تاج پوشش و ارتفاع گیاه به طور محسوس افزایش یافته است. اثر متقابل محل ذخیره نزولات آسمانی و فصل برداشت نیز بیانگر آن بود که بیشترین مقادیر پارامترهای تاج‌پوشش و ارتفاع گیاه در پایان دوره ریزش‌های جوی و در داخل فاروهای احداثی صورت گرفته است.

گیاه برابر با ۱۴/۷ سانتی‌متر می‌باشد که در داخل فاروهای احداثی اندازه‌گیری شد و به ترتیب با افزایش ۱/۱ و ۱/۲ برابری نسبت به فواصل بین فاروها و منطقه شاهد همراه بوده است. در بررسی مساحت خاک لخت نیز یافته‌ها بیانگر آن است که با احداث فاروها و ذخیره نزولات در داخل و فواصل بین آن‌ها مساحت خاک لخت نسبت به منطقه شاهد به ترتیب ۱/۷ (۰/۴۱ مترمربع) و ۱/۲ (۰/۵۴ مترمربع) برابر کاهش یافته است که به لحاظ آماری نیز دارای اختلاف معنی‌دار

جدول ۳- داده‌های ایستگاه هواشناسی زابل در طی دوره مورد مطالعه

Table 3- Data from the Zabol City meteorological station during the study period

متغیر	بارش (mm)	تبخیر (mm)	سرعت باد	میانگین دما (T)	میانگین رطوبت	زمان تابش خورشید
1401/8/14	14.2	5.4	7	20.8	55	8.4
1401/10/7	3.2	2.6	11	12.3	56	3.1
1401/10/17	3	2.6	9	15	29	4.8
1401/10/20	6.9	3.5	23	7.1	73	0.4
1401/10/28	13.3	4	11	4.4	92	0
1402/1/20	1	9.6	11	23.7	39	9
1402/8/26	2.2	4.4	14	22.2	25	1.3
1402/9/30	4.6	-	4.5	18.6	43	-
1402/10/30	-	-	1.1	13	38.7	-
1402/12/6	6.7	-	13	3	44.7	-
1402/12/15	3.4	-	3	16	33.6	-
1402/12/20	1.7	-	2	19	-	-
1403/1/1	1.1	-	9	24	-	-
1403/1/26	1.2	-	10	20	-	-
1403/1/28	2	-	8	25	-	-
1403/1/29	9.5	-	9	18	-	-
1403/2/14	7.8	-	2	28	-	-

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر میانگین تاج‌پوشش، ارتفاع و خاک لخت محدوده مورد مطالعه

Table 4- Analysis of variance of the effect of treatments on the average canopy cover, height and bare soil of the study area

Sig	F آزمون	میانگین مربعات	مجموع مربعات	Df	منابع تغییر	
0.000**	13.74	0.27	0.59	2	محل ذخیره نزولات	
0.000**	4.17	0.011	0.21	1	فصل برداشت	
0.000**	0.31	0.012	0.27	1	سال اجرا	
0.000**	0.19	0.002	0.01	5	محل ذخیره نزولات × فصل برداشت	تاج‌پوشش گیاهی
0.000**	0.19	0.017	0.02	5	محل ذخیره نزولات × سال اجرا	
0.000**	0.23	0.021	0.22	3	فصل برداشت × سال اجرا	
0.000**	0.13	0.01	0.31	11	محل ذخیره نزولات × فصل برداشت × سال اجرا	
		0.01	0.2	2.8	خطا	
				14.1	کل	
0.009**	13.74	24.37	8902.57	2	محل ذخیره نزولات	ارتفاع گیاه
0.030*	4.17	103.13	48.75	1	فصل برداشت	
0.000**	21.1	76.12	24.17	1	سال اجرا	

Sig	F آزمون	میانگین مربعات	مجموع مربعات	Df	منابع تغییر
0.21 ^{ns}	0.19	12.02	32.11	5	محل ذخیره نزولات × فصل برداشت
0.000**	1.32	14.2	41.21	5	محل ذخیره نزولات × سال اجرا
0.000**	1.09	10.32	30.02	3	فصل برداشت × سال اجرا
0.060 ^{ns}	4.17	103.13	48.75	11	محل ذخیره نزولات × فصل برداشت × سال اجرا
		4.81	21.20	21.1	خطا
				91.1	کل
0.000**	10.01	0.37	0.47	2	محل ذخیره نزولات
0.000**	6.3	0.121	0.31	1	فصل برداشت
0.000**	6.3	0.112	0.26	1	سال اجرا
0.000**	0.19	0.32	0.11	5	محل ذخیره نزولات × فصل برداشت
0.070 ^{ns}	0.15	0.31	0.115	5	محل ذخیره نزولات × سال اجرا
0.067 ^{ns}	10.01	0.37	0.42	3	فصل برداشت × سال اجرا
0.077 ^{ns}	12.11	0.45	0.49	11	محل ذخیره نزولات × فصل برداشت × سال اجرا
		0.04	0.010	4.12	خطا
				12.1	کل

** : معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، * : معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و ns : غیرمعنی‌دار است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر شاخص‌های تاج‌پوشش، ارتفاع و درصد خاک لخت محدوده اجرای طرح

Table 5- Comparison of the average effect of treatments on canopy cover, height, and bare soil

تیمار	تاج‌پوشش گیاهی (m ²)	ارتفاع گیاه (cm)	خاک لخت (m ²)	
محل ذخیره نزولات	داخل فارو	0.6 ^a	14.66 ^a	0.41 ^c
	بین فارو	0.46 ^b	13.9 ^b	0.54 ^b
	شاهد	0.35 ^c	12.25 ^c	0.64 ^a
فصل برداشت	پاییز	0.28 ^b	12.2 ^b	0.71 ^a
	بهار	0.53 ^a	18.2 ^a	0.47 ^b
سال اجرا	سال اول	0.32 ^b	13.3 ^b	0.61 ^a
	سال دوم	0.48 ^a	16.2 ^a	0.52 ^b
(سال اجرا × فصل برداشت × محل ذخیره نزولات آسمانی) اثر متقابل تیمار بر شاخص‌ها				
داخل فارو × پاییز × سال اول	0.36 ^d	12.7 ^d	0.37 ^e	
داخل فارو × بهار × سال اول	0.42 ^c	13.3 ^c	0.43 ^d	
بین فارو × پاییز × سال اول	0.3 ^f	11.8 ^e	0.47 ^{cd}	
بین فارو × بهار × سال اول	0.36 ^d	12.1 ^{de}	0.58 ^c	
شاهد × پاییز × سال اول	0.27 ^g	10.8 ^g	0.48 ^{cd}	
شاهد × بهار × سال اول	0.32 ^e	11 ^f	0.67 ^b	
داخل فارو × پاییز × سال دوم	0.48 ^b	13.4 ^c	0.46 ^d	
داخل فارو × بهار × سال دوم	0.58 ^a	15.1 ^a	0.45 ^d	
بین فارو × پاییز × سال دوم	0.43 ^c	12.8 ^d	0.57 ^c	
بین فارو × بهار × سال دوم	0.47 ^{bc}	13.6 ^b	0.48 ^{cd}	
شاهد × پاییز × سال دوم	0.28 ^g	10.5 ^g	0.72 ^a	
شاهد × بهار × سال دوم	0.32 ^e	11.6 ^e	0.59 ^c	

(میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری دارند)

سیاه‌شور (*Suaeda fruticosa*) و ترات (*Hammada saliconica*) در عرصه‌های مورد مطالعه مشترک ولی گونه‌های گیاهی از جمله بونو (*Aeluropus litoralis*) و علف‌شور (*Salsola crassa*) فقط در محل ذخیره نزولات آسمانی ظاهر شده است (شکل ۴). علی‌رغم بالا بودن دمای هوا، کم بودن رطوبت و بالا بودن میزان تبخیر، گونه‌های گیاهی دائمی از جمله سیاه‌شور و ترات قابلیت سازگاری بالایی با شرایط سخت اقلیمی منطقه سیستان را نشان داد. بطوریکه متوسط تاج پوشش این گیاهان ۰/۱۵ متر مربع و همه آنها دارای درجه شادابی یک می‌باشند.

در بررسی درجه شادابی گیاهان در مناطق مورد مطالعه با استفاده از آزمون فریدمن، یافته‌ها بیانگر آن است که در پشته فاروهای احداث شده، ۵۴ درصد گیاهان دارای شادابی درجه ۱ و ۴۰ و ۶ درصد به ترتیب دارای شادابی درجه ۲ و ۳ می‌باشند در حالی که در منطقه شاهد ۷۳ و ۲۷ درصد گیاهان دارای شادابی درجه ۳ و ۲ هستند (شکل ۴). همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که بین مقادیر میانگین رتبه‌ای درجه شادابی گیاهان نیز تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۶). با توجه به نتایج در محل ذخیره نزولات آسمانی ۴ گونه و در منطقه شاهد ۲ گونه گیاهی مشاهده شد که گونه‌های گیاهی

جدول ۶- درجه شادابی گیاهان در منطقه شاهد، پشته فارو و داخل فاروها

Table 6- Freshness degree of plants in the control treatment, inside the piles and in the furrow site

شماره	درجه شادابی گیاه		
	شاهد	بین فاروها	داخل فارو
1	3	1	1
2	3	1	1
3	2	1	1
4	3	1	1
5	3	2	1
6	2	2	1
7	3	2	1
8	2	2	1
9	3	1	1
10	3	1	1
11	3	2	1
12	3	2	1
13	3	1	1
14	2	1	1
15	3	3	1

۱: نبود سرشاخه‌های خشک‌شده، سبزی و شادابی، ایستادگی گونه‌جنگلی و نبود آفت بر روی گونه

۲: وجود سرشاخه‌های خشک‌شده، آفت‌زده و وضعیت ظاهری متوسط

۳: خشکیدگی و آفت‌زدگی شاخه‌های اصلی و پژمردگی گونه

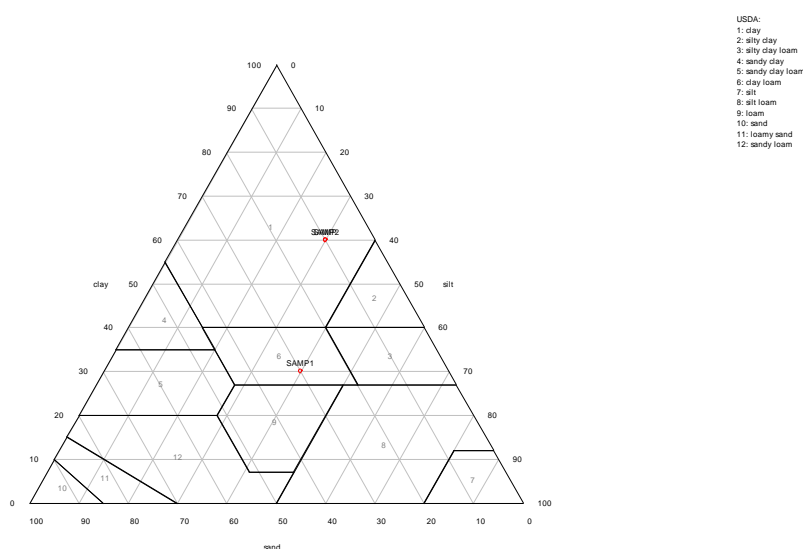


شکل ۴- نمایی از اندازه‌گیری شاخص‌های گیاهی در داخل فاروها طی سال ۱۴۰۲ در محدوده اجرای پژوهش

Figure 4- A view of the measurement of plant indices inside the Furrows during 2023

مشابه با منطقه شاهد دارای بافت رسی می‌باشد. این درحالی است که احداث فاروهای به عمق ۴۰ سانتی‌متر باعث تغییر بافت خاک از کلاس رسی به کلاس لومی-رسی شده است که براساس آن گروه هیدرولوژیکی خاک به کلاس C تغییر یافته است؛ بنابراین میزان نفوذپذیری در کلاس کم (با تولید رواناب نسبتاً زیاد) قرار می‌گیرد.

در ادامه با تعیین بافت نمونه‌ها و طبقه‌بندی آنها، گروه‌های هیدرولوژیک آن‌ها مشخص شد که نتایج در شکل ۵ و جدول ۷ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده خاک منطقه شاهد دارای مقادیر زیادی رس می‌باشد که در کلاس رسی قرار می‌گیرد و براساس روش SCS، خاک این محدوده در گروه هیدرولوژیکی D با میزان نفوذپذیری بسیار کم و پتانسیل تولید رواناب بالا قرار می‌گیرد. در فواصل بین فاروها نیز بافت خاک



شکل ۵- طبقه‌بندی بافت خاک محل ذخیره نزولات آسمانی در محدوده اجرای طرح

Figure 5 - Determining the soil texture of the rain water catchment

جدول ۷- نتایج گروه‌های هیدرولوژیکی خاک محل ذخیره نزولات آسمانی در محدوده اجرای طرح

Table 7- Results of classification of hydrological groups of soil in the study area

میزان نفوذ (mm/hr)	گروه هیدرولوژیکی خاک	کلاس بافت خاک	محل برداشت
3.8 تا 1.3	C	لومی-رسی	داخل فارو
1 تا 0.3	D	رسی	بین فارو
1 تا 0.3	D	رسی	منطقه شاهد

یافت که در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای را نیز نشان داد ($P < 0.05$). در بررسی تغییرات ارتفاع گیاه نیز نتایج مشابه با شاخص پوشش گیاهی مشاهده شد که به لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در مطالعات صورت گرفته همچون Jahantigh (۲۰۱۷)، Habibzadeh و Noroozi (۲۰۲۲) و Jahantab و همکاران (۲۰۲۳) گزارش شده است که ذخیره نزولات آسمانی با اجرای

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر محل ذخیره نزولات آسمانی (منطقه شاهد، فواصل بین فارو و داخل فاروها)، زمان داده‌برداری و سال اجرای بر ارتفاع و تاج‌پوشش گیاهی در سطح ۵ درصد معنی‌داری می‌باشد. میانگین درصد تاج‌پوشش در محل احداث فاروها و فواصل بین آنها بعد از ریزش نزولات جوی در طی سال دوم به ترتیب ۱/۷ و ۱/۲ برابر نسبت به منطقه شاهد افزایش

۲۰۲۴). در این راستا تجزیه و تحلیل آماری درجه شادابی گیاهان نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و فارو وجود دارد ($P < 0.05$). این نتایج با مطالعات صورت گرفته همچون Zhang و همکاران (۲۰۲۲) و Liu و همکاران (۲۰۲۰) و Zhang (۲۰۲۲) مبنی بر اثر فارو بر بهبود شاخص‌های رشدی و وضعیت شادابی گیاهان در مناطق خشک همخوانی دارد. بر اساس نتایج به دست آمده در عرصه ذخیره نزولات آسمانی ۴ گونه و در عرصه شاهد ۲ گونه مشاهده شد. از اینرو ۲ گونه در هر سه عرصه حضوری مشترک دارند درحالی‌که ۲ گونه از جمله بونو (*Aeluropus litoralis*) و علف‌شور (*Salsola crassa*) صرفاً در عرصه احداث فارو و بین فواصل آنها مشاهده شد. بر اساس گزارش‌های ارائه شده ظاهر شدن گونه‌های جدید در منطقه ذخیره نزولات را می‌توان متأثر از انتقال بذرهای آنها توسط رواناب از مناطق بالادست و یا به دام افتادن بذرهایی که توسط باد جابجا می‌شوند در محل ذخیره نزولات آسمانی مربوط دانست (Jahantab et al., 2023).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش که با هدف بررسی تاثیر فارو بر پوشش گیاهی غرب دریاچه هامون انجام شد، تغییرات پوشش گیاهی و میزان نفوذ پذیری خاک محدوده اجرای طرح مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که احداث فارو با افزایش نفوذ آب در خاک ضمن افزایش رطوبت خاک، شرایط مناسب برای رشد گیاه و احیاء پوشش گیاهی در اراضی مستعد فرسایش بادی را فراهم نموده است. با توجه به ریزش کم نزولات جوی در منطقه سیستان و از طرفی بالا بودن میزان تبخیر و همچنین وجود لایه سخت در سطح خاک، بخش قابل توجهی از اراضی این منطقه فاقد پوشش گیاهی می‌باشد که همواره تحت تاثیر فرسایش بادی قرار دارد. از اینرو عملیات ذخیره نزولات آسمانی با هدف بهره‌برداری از این نزولات، بستری مناسب برای

پروژه کنتور فارو باعث تغییر قابل ملاحظه‌ای در شاخص‌های پوشش گیاهی نسبت به تیمار شاهد شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. با توجه به کمبود نزولات آسمانی و پراکنش نامنظم آن در مناطق خشک، عملیات ذخیره نزولات جوی با احداث فاروها ضمن جمع‌آوری هرزآب‌ها فرصتی برای نفوذ آب و در نتیجه افزایش رطوبت در خاک را فراهم می‌نماید (Noroozi & Habibzadeh, 2022). بطوریکه نتایج نشان داد که ضمن بهبود شاخص‌های پوشش گیاهی باعث افزایش میزان نفوذ پذیری خاک در محل احداث فاروها شده است. بطوریکه نتایج بررسی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نشان داد که میزان نفوذ از ۰/۳ تا ۱ میلی‌متر بر ساعت در منطقه شاهد به ۱/۳ تا ۳/۸ میلی‌متر بر ساعت در محل احداث فاروها افزایش یافته است. در فواصل بین فاروها نیز اگرچه گروه هیدرولوژیکی خاک مشابه با منطقه شاهد است اما با ایجاد ناهمواری‌هایی در امتداد خطوط تراز باعث جلوگیری از هدررفت رواناب و تمرکز در محیط محصور شده می‌شود که شرایط مطلوبی را برای نفوذ تدریجی آن در خاک فراهم می‌نماید. این درحالی است که در منطقه شاهد رواناب فرصتی برای نفوذ پیدا نمی‌کند و در کوتاه‌ترین زمان ممکن از دسترس خارج می‌شود. بنابر گزارش‌های ارائه شده به‌طور عمده سطح خاک منطقه سیستان از یک لایه سخت و متراکم (با میانگین عمق ۳۰ سانتی‌متر) تشکیل شده که نفوذپذیری بسیار کمی دارد (Jahantigh et al., 2020). بر این اساس با احداث فاروهایی به عمق ۴۰ و عرض ۵۰ سانتی‌متر لایه سطحی متراکم خاک حذف و بستر مناسبی برای ذخیره رواناب فراهم می‌شود که علاوه بر آن با افزایش ناهمواری در حاشیه فاروهای احداثی، سطح مناسبی برای ذخیره نزولات آسمانی در فواصل بین فاروها نیز ایجاد می‌شود. از اینرو با وقوع بارندگی در منطقه، زمینه مناسبی برای ذخیره‌سازی و نفوذ جریان آب به داخل زمین فراهم می‌شود که با تسهیل استقرار گیاه شرایط رشد گیاه را نیز بهبود می‌دهد (He et al., 2012; Chaney et al., 2015; Xu et al., 2021; He et al.,

توجه به اجرای پروژه‌های متعدد احیاء پوشش گیاهی و بیابانزدایی در منطقه سیستان و از طرفی عدم موفقیت آنها، اجرای عملیات ذخیره نزولات آسمانی ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، اثربخشی این پروژه‌ها برای احیاء پوشش گیاهی و در نتیجه کنترل فرسایش بادی در منطقه سیستان را دوچندان می‌نماید.

References

- Araujo, H.F., Canassa, N.F., Machado, C.C., & Tabarelli, M. (2023). Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. *Scientific reports*, 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45571-9>
- Berdugo, M., Delgado-Baquerizo, M., Soliveres, S., Hernández-Clemente, R., Zhao, Y., Gaitán, J.J., Gross, N., Saiz, H., Maire, V., Lehmann, A., Rillig, M.C., Solé, R.V., & Maestre, F.T. (2020). Global ecosystem thresholds driven by aridity. *Science*, 367(6479), 787-790. <https://doi:10.1126/science.aay5958>
- He, Z., Zhao, W., Liu, H., & Chang, X. (2012). The response of soil moisture to rainfall event size in subalpine grassland and meadows in a semi-arid mountain range: A case study in northwestern China's Qilian Mountains. *Journal of hydrology*, 420, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.056>
- He, X., Miao, Z., Wang, Y., Yang, L., & Zhang, Z. (2024). Response of soil erosion to climate change and vegetation restoration in the Ganjiang River Basin, China. *Ecological indicators*, 158, 111429. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111429>
- 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, 619-638. <https://doi.org/10.1002/2013WR014964>
- Diao, C., Liu, Y., Zhao, L., Zhuo, G., & Zhang, Y. (2021). Zhang Regional-scale vegetation-climate interactions on the Qinghai-Tibet plateau. *Ecological informatics*, 65, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101413>
- Gimeno-Sotelo, L., & Gimeno, L. (2023). Where does the link between atmospheric moisture transport and extreme precipitation matter. *Weather and Climate Extremes*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100536>
- Dai, X., Wang, L., Li, X., Gong, J., & Cao, Q. (2023). Characteristics of the extreme precipitation and its impacts on ecosystem services in the Wuhan urban agglomeration. *Science of the total environment*, 864, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161045>
- Jia, X., Zhu, Y., & Luo, Y. (2017). Soil moisture decline due to afforestation across the Loess Plateau, China. *Journal of hydrology*, 546, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.011>
- Fraedrich, K., Kleidon, A., Lunkeit, F. (1999). A green planet versus a desert world: Estimating the effect of vegetation extremes on the atmosphere. *Journal of climate*, 12(10), 3156-3163. [https://doi.org/10.1175/15200442\(1999\)012](https://doi.org/10.1175/15200442(1999)012)
- Fay, P.A., Carlisle, J.D., Knapp, A.K., & Blair, S.L. (2003). Collins Productivity responses to altered rainfall patterns in a C4-dominated grassland. *Oecologia*, 137(2), 245-251. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1331-3>
- Gao, W., Zheng, C., Liu, X., Lu, Y., Chen, Y., Wei, Y., & Ma, Y. (2022). NDVI-based vegetation dynamics and their responses to climate change and human activities from 1982 to 2020: A case study in the Mu Us Sandy Land, China. *Ecological indicators*, 137, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108745>
- Jahantigh, M. (2017). Comparison of two precipitation storage methods (contourfarrow and pitting) on vegetation in Iranshahr region. *Journal of geography and urban-regional planning*, 7(22), 133-144.

جمع‌آوری هرزآب‌ها و فراهم نمودن رطوبت مورد نیاز برای رشد گیاه در مناطق خشک را میسر می‌نماید که ضمن سازگاری با شرایط سخت اقلیمی به دلیل نیاز نداشتن به فناوری‌های پیچیده و هزینه اجرایی ارزان، رویکردی کاربردی برای مدیریت نزولات آسمانی در مناطق خشک و احیاء پوشش گیاهی به‌شمار می‌رود. با

- <https://doi.org/10.22111/GAIJ.2017.3039>
(In Persian)
- Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2020). Investigating the Effects of Incoming Floods from Afghanistan on the Quantitative and Qualitative Changes of Groundwater Resources in the Sistan Plain. *Journal of ecohydrology*, 7(2), 463-479. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.290738.1222> (In Persian)
- Jahantigh, M., & Pessarakli, M. (2009). Utilization of contour furrow and pitting techniques on desert rangelands: Evaluation of runoff, sediment, soil water content and vegetation cover. *Journal of food, agriculture & environment*, 7(2), 736-739.
- Jahantab, E., Khosravani, Z., Parsamehr, A.H., & Ghanbari, A.H. (2023). Investigating the effect of banqueting operations on the characteristics of vegetation in the rangelands of Fasa city. *Journal of plant ecosystem conservation*, 11(22), 160-173. (In Persian)
- Hao, Y.B., Kang, X.M., Cui, X.Y., Ding, K., Wang, Y.F., & Zhou, X.Q. (2012). Verification of a threshold concept of ecologically effective precipitation pulse: from plant individuals to ecosystem. *Ecological Informatics*, 12, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.07.006>
- Habibzadeh, A., & Noroozi, A. (2022). The effect of rainfall harvesting systems on increasing rangeland vegetation. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 102-113. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.352776.1863> (In Persian)
- Huang, T., Liu, Y., Wu, Z., Xiao, P., Wang, J., & Sun, P. (2024). Quantitative analysis of runoff alteration based on the Budyko model with time-varying underlying surface parameters for the Wuding River Basin, Loess Plateau. *Ecological Indicators*, 158, 111377. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111377>
- Hessary, K., & Gerald, F. (1979). Impact of avarious Range Improvement practices on watershed protective cover and Annual Production within the Colorado River Basin. *Journal of rangemanagement*, 32(2), 134-140.
- Linscheid, N., Estupinan-Suarez, L.M., Brenning, A., Carvalhais, N., Cremer, F., Gans, F., Rammig, A., Reichstein, M., & Sierra, M.D. (2020). Mahecha Towards a global understanding of vegetation–climate dynamics at multiple timescales. *Biogeosciences*, 17(4), 945-962. <https://doi.org/10.5194/bg-17-945-2020>
- Liang, Z., Chen, X., Wang, C., & Zhang, Z. (2024). Response of Soil Moisture to Four Rainfall Regimes and Tillage Measures under Natural Rainfall in Red Soil Region, Southern China. *Water*, 16(10), 1-13. <https://doi.org/10.3390/w16101331>
- Liu, X., Wang, Y., Yan, Y., Hou, H., Liu, P., Cai, T., Zhang, P., Jia, Z., & Re, X. (2020). Appropriate ridge-furrow ratio can enhance crop production and resource use efficiency by improving soil moisture and thermal condition in a semi-arid region. *Agricultural water management*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106289>
- Mohseni, N., & Sepehr, A. (2015). Self-organized vegetation patterns: Early warning signals for predicting ecosystem transitions. *Journal of environmental studies*, 41, 163–177. <https://doi.org/10.22059/jes.2015.53907> (In Persian)
- Moradi, E., Darabi, H., Alamdarloo, E.H., Karimi, M., & Kløve, B. (2023). Vegetation vulnerability to hydrometeorological stresses in water-scarce areas using machine learning and remote sensing techniques. *Ecological Informatics*, 73, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101838>
- Norton, A.J., Rayner, P.J., Wang, Y.P., Parazoo, N.C., Baskaran, L., Briggs, P.R., Haverd, V., & Doughty, R. (2022). Hydrologic connectivity drives extremes and high variability in vegetation productivity across Australian arid and semi-arid ecosystems. *Remote sensing of environment*, 272, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112937>
- Práválie, p. (2016). Drylands extent and environmental issues. A global approach. *Earth-science reviews*, 161, 259-278. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.003>
- Ren, X.L., Chen, X.L., & Jia, Z.K. (2009). Effect of Rainfall Collecting with Ridge and

- Furrow on Soil Moisture and Root Growth of Corn in Semiarid Northwest China. *Journal of agronomy and crop science*, 196(2), 109–122. <https://doi.org/10.1111/j.1439037X.2009.00401>
- Ren, Z.P., Li, Z.B., Liu, X.L., Li, P., Cheng, S.D., & Xu, G.C. (2018). Comparing watershed afforestation and natural revegetation impacts on soil moisture in the semiarid Loess Plateau of China. *Scientific Reports*, 8, 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21362-5>
- Ross wight, J., Neff, E., & Soiseth, R.J. (1978). Vegetation Response to Contour furrowing. *journal of rangemanagement*, 31(2), 97–101.
- Sawut, R., Li, Y., Kasimu, A., & Ablat, X. (2023). Examining the spatially varying effects of climatic and environmental pollution factors on the NDVI based on their spatially heterogeneous relationships in Bohai Rim. China. *Journal of Hydrology*, 617, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128815>
- Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B., & Teuling, A.J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99, 125–161. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>
- Sun, L., Yang, L., Hao, L., Fang, D., Jin, K., & Huang, X. (2017). Hydrological Effects of Vegetation Cover Degradation and Environmental Implications in a Semiarid Temperate Steppe, China. *Sustainability*, 9(2), 281. <https://doi.org/10.3390/su9020281>
- Sun, G., McNulty, S.G., Myers, J.A.M., & Cohen, E.C. (2008). Impacts of multiple stresses on water demand and supply across the southeastern United States. *Journal of the american water resources association*, 44, 1441–1457. <https://doi.org/10.1111/j.17521688.2008.00250.x>
- Vali, A. A. , Barabadi, H., & Amir ahmadi, A. (2018). Investigating effect of urban wastewater treatment On the Soil Properties of desert areas (Case Study: Sabzevar Sewage Treatment Plant). *Journal of arid regions geographic studies*, 9(32), 36–47. (In Persian)
- Wang, W., Yin, S., Xie, Y., & Nearing, M.A. (2019). Minimum Inter- Event Times for Rainfall in the Eastern Monsoon Region of China. *Transactions of the ASABE*, 62, 9–18. <https://doi.org/10.13031/trans.12878>
- Webb, N.P., Okin, G.S., & Brown, S. (2014). The effect of roughness elements on wind erosion: The importance of surface shear stress distribution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 6066–6084. <https://doi.org/10.1002/2014JD021491>
- Xu, G., Huang, M., Li, P., Li, Z. & Wang, Y. (2021). Effects of land use on spatial and temporal distribution of soil moisture within profiles. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09464-2>
- Yin, Y., Chen, H., Wang, G., Xu, W., & Wang, W. (2021). Characteristics of the precipitation concentration and their relationship with the precipitation structure: A case study in the Huai River basin, China. *Atmospheric Research*, 253, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105484>
- Yu, Y., Wei, W., Chen, L., Feng, T., & Daryanto, S. (2019). Quantifying the effects of precipitation, vegetation, and land preparation techniques on runoff and soil erosion in a loess watershed of China. *Science of the total environment*, 652, 755–764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.255>
- Zare, A., Hakimzadeh, M.A., & Karimian, A. A. (2022). Evaluating Ripping and Planting of Haloxylon and Its Impact on Vegetation and Soil Characteristics: A Case Studies of Ashniz Meybod. *Desert ecosystem engineering*, 9(29), 101–114. <https://doi:10.22052/deej.2020.9.29.59> (In Persian)
- Zucco, G., Brocca, L., Moramarco, T., & Morbidelli, R. (2014). Influence of land use on soil moisture spatial-temporal variability and monitoring. *Journal of hydrology*, 516, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.043>
- Zhang, M., Wang, K., Liu, H., Yue, Y., Ren, Y., Chen, Y., Zhang, C., & Deng, Z. (2023). Vegetation inter- annual variation responses

- to climate variation in different geomorphic zones of the Yangtze River Basin, China. *Ecological Indicators*, 152, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110357>
- Zhang, X., Song, J., Wang, Y., Sun, H., & Li, Q. (2022). Threshold effects of vegetation coverage on runoff and soil loss in the loess plateau of China: A meta-analysis. *Geoderma*, 412, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115720>
- Zhang, G., Mo, F., Shah, F., Meng, W., Liao, Y. & Han, H. (2021). Ridge-furrow configuration significantly improves soil water availability, crop water use efficiency, and grain yield in dryland agroecosystems of the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 245, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106657>
- Zhang, K.C., Qu, J.J., & Qiu, R.P. (2004). Wind tunnel simulation to determine the effect of underlying sand-laden layer surface characteristics on air current turbulence. *Bull. Soil Water Conserv*, 24(3), 1-4.
- Zarekia, S., Baghestani-Meybodi, N., Mirjalili, A., & Ahmadi-Roknabadi, M. (2021). The 18-year impact of rainfall storage projects on vegetation in steppe rangelands (Case study: Rangelands less than 100 mm of rainfall in Yazd province). *Iranian journal of range and desert research*, 28(1), 69-81. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.123855>