

(OPEN ACCESS)

Analysis the impacts of extreme precipitation events on Severe erosion of rainfed lands in Asadli Pass, North Khorasan

Morteza Miri^{*1}, Zahra Gerami², Mahmood Arabkhedri³,
Aliakbar Abbasi⁴, Alireza Majidi⁵

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: morteza.miri64@gmail.com
2. Researcher, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. E-mail: z.gerami530@gmail.com
3. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: arabkhedri@scwmri.ac.ir
4. Associate Prof., Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad, Iran. E-mail: ak_abbasi@yahoo.com
5. Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: majidi_geo@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Many studies focus on erosion in sloped agricultural lands due to its significant impacts on soil fertility and potential negative effects on downstream water quality. Drylands are particularly vulnerable to severe erosion because of climate change and the frequent occurrence of extreme precipitation events. This study analyzes the effects of an extreme rainfall event on June 5, 2007, on soil erosion in tilled sloped lands in Asadli Pass, North Khorasan.
Article history: Received: 09.29.2024 Revised: 10.29.2024 Accepted: 11.02.2024	
Keywords: Climate change, Extreme events, Rainfed agriculture, Remote sensing	Materials and Methods: To document the effects of the extreme rainfall event, field visits and surveys were conducted to identify the topography and record deep linear erosion features. Additionally, historical imagery from Google Earth was used to examine the evolution of these erosion features. Due to the absence of a local rain gauge station, daily rainfall data from the nearest synoptic station in Bojnord and remote sensing data from GPM satellite images with an 11 km resolution were utilized to investigate extreme precipitation events. Furthermore, extreme precipitation indices (10 indices based on the CCL/CLIVAR Expert Team's recommendations) were calculated and analyzed using R software and the ClimPACT2 package.
	Results: Field investigations and Google Earth imagery revealed that deep linear erosions outside agricultural lands in Asadli Pass have existed for a long time. However, human activities, such as tilling along the slope, destruction of natural grass cover, and extreme precipitation events, have exacerbated the erosion. Field studies showed that after the intense rainfall in June 2007, deep erosive rills and temporary gullies with an average width of 40 cm, a depth of 30 cm, and an average spacing of 150 cm were formed, resulting in erosion exceeding 1000 tons per hectare on a tilled slope in Asadli Pass, North Khorasan. Daily rainfall data from the Bojnord station indicated that intense showers occur somewhat frequently during the warm season in this region. The maximum 24-hour rainfall recorded at

this station during the 1978-2023 period was 54 mm in September 2000. Notably, there is a relatively high frequency of extreme precipitation events in this region, especially during the warm season, which, combined with weak vegetation cover, sets the stage for severe soil erosion. Records show that more than 5 mm of rainfall occurred on June 5, 2007, at the Bojnord synoptic station. GPM satellite images for this date revealed that the rainfall in Asadli Pass, amounting to 8-10 mm, was higher than that recorded at Bojnord station.

Conclusion: Based on field observations, historical data analysis from the Bojnord station, interpretation of Google Earth and GPM images, and the unique climatic and environmental conditions of Asadli Pass, it can be concluded that the study area is highly susceptible to extreme precipitation events and soil erosion. Therefore, it is recommended that converting rangeland to rainfed agriculture be avoided, annual tilling be minimized, and perennial or cover crops be prioritized for soil protection on such slopes. Despite the low probability of such extreme events, their impacts are significant and far-reaching. Documenting these occurrences is crucial for better understanding the role of intense precipitation in soil erosion and geomorphological changes in arid and semi-arid regions.

Cite this article: Miri, Morteza, Gerami, Zahra, Arabkhedri, Mahmood, Abbasi, Aliakbar, Majidi, Alireza. 2025. Analysis the impacts of extreme precipitation events on Severe erosion of rainfed lands in Asadli Pass, North Khorasan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 32 (1), 81-104.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22829.3761

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تحلیل تأثیر بارش‌های حدی بر فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار شخم‌خوردۀ: مطالعه موردی گردنه اسدلی، خراسان شمالی

مرتضی میری^{۱*}، زهرا گرامی^۲، محمود عرب‌خدری^۳، علی اکبر عباسی^۴، علیرضا مجیدی^۵

۱. نویسنده مسئول، استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: morteza.miri64@gmail.com
۲. پژوهشگر، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: z.gerami530@gmail.com
۳. استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: arabkhedri@scwmri.ac.ir
۴. دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان‌رضوی، مشهد، ایران. رایانامه: ak_abbasi@yahoo.com
۵. استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: majidi_geo@yahoo.com

چکیده	اطلاعات مقاله
سابقه و هدف: بسیاری از پژوهش‌ها بر روی فرسایش در زمین‌های کشاورزی شیب‌دار متمرکز شده‌اند، زیرا فرسایش این اراضی تأثیرات قابل‌توجهی بر حاصلخیزی خاک این زمین‌ها و هم‌چنین پیامدهای مضر احتمالی بر کیفیت آب در پایین‌دست دارند. اراضی دیم شیب‌دار به‌علت تغییر اقلیم و فراوانی وقوع بارش‌های حدی در معرض خطر شدید فرسایش هستند که در این پژوهش به تحلیل اثرات یک بارش حدی که در تاریخ ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ روی داده، بر میزان فرسایش خاک در دیمزارهای شخم‌خورده در گردنه اسدلی، خراسان شمالی پرداخته شده است.	نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۰۳/۰۷/۰۸ تاریخ ویرایش: ۰۳/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۸/۱۲
مواد و روش‌ها: به‌منظور مستندسازی اثرات بارش حدی مورد مطالعه، علاوه بر بازدید و برداشت‌های میدانی با هدف شناسایی وضعیت توپوگرافی زمین موردنظر و ثبت فرسایش‌های عمیق خطی ایجاد شده، از تصاویر ذخیره‌شده در سامانه گوگل ارث برای بررسی تاریخی این‌گونه اشکال فرسایشی و تغییرات روند آن‌ها استفاده شد. هم‌چنین به‌دلیل فقدان ایستگاه سنجش باران در محل، با استناد به داده‌های روزانه بارش نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک در بجنورد و داده‌های سنجش‌ازدور حاصل از تصاویر ماهواره‌ای GPM با رزولوشن ۱۱/۱۱ کیلومتر به کنکاش در خصوص رخدادهای حدی بارش پرداخته شد. هم‌چنین، شاخص‌های حدی بارش (۱۰ شاخص	واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دیمزار، رخدادهای حدی، سنجش‌ازدور

حدی بارش براساس توصیه گروه کارشناسی (CCL/CLIVAR) با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار R و افزونه ClimPACT2 برای تحلیل اقلیمی محاسبه و بررسی شد.

یافته‌ها: بررسی‌های میدانی و همچنین استفاده از تصاویر ذخیره‌شده در سامانه گوگل ارث نشان داد که فرسایش‌های عمیق خطی خارج از زمین‌های کشاورزی در گردنه اسدلی از گذشته دور وجود داشته است؛ ولی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هم‌چون شخم در جهت شیب زمینی با شیب تا ۱۰۰ درصد، از بین بردن پوشش طبیعی مراتع و رخدادهای حدی بارش، وضعیت فرسایش تشدید شده است. به‌طوری‌که مطالعات میدانی نشان داد پس از رخداد بارش شدید خردادماه ۱۳۸۶ شیارهای فرسایشی عمیق و حتی آبکندهای موقتی با عرض ۴۰ سانتی‌متر، عمق ۳۰ سانتی‌متر و فاصله متوسط ۱۵۰ سانتی‌متر ایجادشده و فرسایشی بالغ‌بر هزار تن در هکتار در یک دامنه شخم‌خورده در منطقه گردنه اسدلی واقع در استان خراسان شمالی اندازه‌گیری شد. بررسی داده‌های بارش روزانه ایستگاه بجنورد نشان داد که رگبارهای شدید طی دوره گرم سال در این منطقه از کشور کم‌وبیش رخ می‌دهد. بر اساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه مذکور، بیشینه مقدار بارش ۲۴ ساعته طی دوره ۲۰۲۳-۱۹۷۸ با مقدار ۵۴ میلی‌متر در سپتامبر سال ۲۰۰۰ (شهریورماه ۱۳۷۹) ثبت شده است. یکی از نکات قابل توجه، فراوانی نسبتاً زیاد بارش‌های حدی این منطقه طی دوره گرم سال است که به دلیل ضعف پوشش گیاهی، شرایط را برای فرسایش شدید خاک فراهم می‌کند. بررسی داده‌های ثبت‌شده نشان داد که بارشی با مقدار بیش از ۵ میلی‌متر در ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ در ایستگاه سینوپتیک بجنورد روی داده است. دریافت و پردازش تصاویر ماهواره‌ای GPM برای این تاریخ مشخص کرد که بارش گردنه اسدلی با مقدار ۸ تا ۱۰ میلی‌متر، بیش از ایستگاه بجنورد بوده است.

نتیجه‌گیری: درمجموع براساس مشاهدات میدانی، تحلیل داده‌های تاریخی ایستگاه بجنورد، تفسیر تصاویر گوگل ارث و GPM و همچنین شرایط خاصی اقلیمی و محیطی گردنه اسدلی می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه از توان بالایی برای رخداد بارش‌های حدی و فرسایش خاک برخوردار است. از این رو، پیشنهاد می‌شود از تغییر کاربری اراضی از مرتع به دیم، جلوگیری از شخم سالانه، کشت محصولات دائمی یا پوششی چندساله برای حفاظت از خاک این نوع دامنه‌ها باید در اولویت کشاورزان و دستگاه‌های مسئول قرار گیرد. هم‌چنین، با این‌که چنین رویدادهای استثنایی، احتمال وقوع کمی دارند، اثرات برجای آن‌ها بسیار زیاد است و مستندسازی آن برای فهم بهتر نقش بارش‌های شدید بر فرسایش خاک و تغییرات ژئومورفولوژی ناشی از آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری به نظر می‌رسند.

استناد: میری، مرتضی، گرامی، زهرا، عرب‌خدری، محمود، عباسی، علی‌اکبر، مجیدی، علیرضا (۱۴۰۴). تحلیل تأثیر بارش‌های حدی بر فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار شخم‌خورده: مطالعه موردی گردنه اسدلی، خراسان شمالی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲(۱)، ۸۱-۱۰۴.

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22829.3761



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خاک یک منبع طبیعی ارزشمند و غیرقابل جایگزین است که خدمات ضروری اکوسیستم را ارائه می‌دهد و وظایف متعدد زیست‌محیطی را برای حمایت از حیات روی زمین انجام می‌دهد (۱). این منبع نقش مهمی در تولید غذا، علوفه و چوب، تصفیه و ذخیره آب، چرخه مواد غذایی، فیلتر کردن مواد سمی و حفظ تنوع زیستی، و غیره دارد (۲). باوجود این، یک‌سوم خاک‌های جهان تخریب شده‌اند و سالانه بین ۲۵ تا ۴۰ میلیارد تن خاک به دلیل فرسایش از بین می‌رود که میزان زیاد فرسایش، تأثیرات زیادی بر بهره‌وری، تاب‌آوری و پایداری سامانه‌های کشاورزی و زیست‌محیطی دارد (۳).

بسیاری از پژوهش‌ها بر روی فرسایش در زمین‌های کشاورزی شیب‌دار متمرکز شده‌اند، زیرا فرسایش این اراضی تأثیرات قابل‌توجهی بر حاصلخیزی خاک این زمین‌ها و همچنین پیامدهای مضر احتمالی بر کیفیت آب در پایین‌دست دارند (۴). فرسایش خاک در دیمزارها به‌عنوان یکی از چالش‌های بزرگ در مدیریت منابع طبیعی به‌ویژه در مناطق کشاورزی و کوهستانی مطرح است. در این مناطق بارش‌های شدید و مداوم موجب رواناب سطحی و افزایش نرخ فرسایش خاک می‌شود. شخم زدن در اراضی شیب‌دار که به‌منظور بهبود شرایط زراعی انجام می‌شود، می‌تواند ساختمان خاک را ضعیف‌تر کرده و خطر فرسایش را در هنگام بارش‌های شدید افزایش دهد. با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش دفعات و شدت بارش‌های حدی، مطالعه و تحلیل تأثیر این بارش‌ها بر فرسایش خاک در این اراضی ضروری به‌نظر می‌رسد.

اراضی دیم شیب‌دار به‌علت تغییر اقلیم و فراوانی وقوع بارش‌های حدی (۵) بیش‌تر در معرض خطر فرسایش سطحی از نوع فرسایش شیاری و بین‌شیاری

که بخش عمده‌ای از کل فرسایش در این اراضی را شامل می‌شود (۶)، هستند که علاوه بر خسارت برجا به‌ویژه کاهش عمق خاک و حاصلخیزی، در آلوده کردن آب‌های جاری و رسوب‌گذاری مخازن (۷) نیز نقش مهمی دارند. از سوی دیگر، مشاهدات بیانگر شدت تغییر کاربری اراضی منابع طبیعی به مرتع و افزایش سطح دیم‌زارها است. در نتیجه تغییر کاربری این منابع به اراضی دیم، بخش عمده‌ای از آب باران به شکل رواناب سطحی از دسترس خارج شده که عامل پراهمیتی در فرسایش خاک است و همچنین، تلفات خاک در اراضی دیم آیش به‌دلیل خاک‌ورزی و نبود پوشش گیاهی نیز قابل‌توجه است (۸) و مقدار تلفات خاک در اراضی آیش نسبت به اراضی کشت شده با جهت شخم مشابه، چهار برابر بیش‌تر است (۹).

نتایج پژوهش‌هایی هم‌چون اسمیت و همکاران (۲۰۱۸) در زمینه فرسایش خاک در اراضی دیم نشان داده است که بارش‌های شدید می‌تواند یکی از اثرگذارترین عوامل تشدید فرسایش در مناطق شیب‌دار باشد (۱۰). هم‌چنین، لین و همکاران (۲۰۲۰) تأثیرات شخم زدن را در اراضی شیب‌دار مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که این روش زراعی به‌دلیل تخریب ساختار خاک و کاهش مقاومت سطحی، فرسایش را در بارش‌های سنگین افزایش می‌دهد (۱۱). بررسی‌های جانسون و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و افزایش فراوانی بارش‌های حدی به‌طور مستقیم تشدید رواناب و فرسایش را موجب می‌شود. این پژوهش‌ها به خوبی نشان می‌دهند که بارش‌های حدی و شخم زدن می‌توانند به‌عنوان عوامل اصلی در فرسایش خاک در اراضی دیم مورد توجه قرار گیرند (۱۲).

عوامل متعددی موجب افزایش فرسایش خاک در زمین‌های دیم می‌شوند که شامل تک‌کشتی، نبود

تناوب زراعی، شخم‌های عمیق و مکرر، آیش، چرای مفرط (۱۳) و بارش‌های شدید (۱۴) هستند. تغییرات اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به افزایش خطر و فراوانی بارش‌های شدید و نابهنگام منجر می‌شود (۱۳) که بخشی قابل‌توجهی از فرسایش خاک و تولید رسوب را به خود اختصاص می‌دهند (۱۴ و ۱۵). در صورت رخداد بارش‌های حدی، ممکن است تراس‌های کشاورزی فروریزد که این خود به تولید رسوب و افزایش فرسایش می‌انجامد (۱۶). عرب‌خدری (۲۰۱۵) معتقد است که بارش‌های شدید و سنگین به دلیل ضریب رواناب بالاتر، نقش عمده‌ای در تلفات خاک و تولید رسوب دارند، چرا که بدون وجود رواناب، خاک جداشده از بستر توسط قطرات باران از محل خود جابجا نمی‌شود (۱۷). گزارش‌های متعددی در ایران (۱۸، ۱۹، ملکوتی و نوروزی به نقل از ۱۷) و در نقاط دیگر جهان (۱۴، ۲۰، ۲۱) نشان داده‌اند که بارش‌های ثبت شده با شدت بالا و مدت زمان کوتاه، منجر به تلفات بالای خاک و تولید رسوب شده‌اند. واکنش خاک به فرآیندهای فرسایشی پیچیده است و به‌علت تغییر در خصوصیات خاک از جمله ساختمان خاک و رطوبت اولیه، از یک رویداد به رویداد دیگر متفاوت است (۲۲).

اندازه‌گیری‌های مستقیم فرسایش یا تلفات خاک در کرت‌های کوچک از سطح اراضی مرتعی، جنگلی و دیم‌زارها در ۱۹ سایت پژوهشی مربوط به ۱۴ استان از کشور بیانگر مقدار کم فرسایش اغلب در حد زیر یک (و به‌ندرت تا حدود دو) تن در هکتار در سال است. در مقابل اندازه‌گیری‌های محدود در کرت‌های احداث شده در روی مارن‌ها حکایت از مقادیر بسیار بالا حتی تا ۳۴ تن در هکتار در سال دارد (۲۳) که نقش تعیین‌کننده سازندهای حساس به فرسایش در تولید رسوب را نشان می‌دهد. مارن‌ها معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک فاقد پوشش گیاهی

مناسب هستند. در اراضی شخم‌خورده و تخریب شده شمال کشور نیز مقادیر بالای ۱۰ تن در هکتار در کرت‌های فرسایش ثبت شده است. گونزالس-هیدالگو و همکاران (۲۰۱۲) داده‌های طولانی‌مدت کرت‌های فرسایش USLE آمریکا (۴۴۵۲۸ اندازه‌گیری از ۵۹۴ کرت در ۳۵ ایستگاه در یک دوره ۴۱ ساله) را مورد بررسی قرار دادند (۲۰). نتایج این بررسی نشان داد که مجموع سهم ۵ رویداد حداکثر، در حدود ۵۰ درصد از کل تلفات خاک هر کرت را در بر می‌گیرد که نشان‌دهنده نقش بسیار زیاد رویدادهای فرین در فرسایش است. در پژوهشی دیگر نور و عرب‌خدری (۱۵) نقش رویدادهای اثرگذار در تولید رسوب شش آبخیز کوچک در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه را بررسی کردند. مطابق یافته‌های این پژوهش، سهم رسوب یک رویداد به‌تنهایی ۳۱ تا ۹۱ درصد از ۵۶ رویداد ثبت شده در ۱۰ سال است. در هر شش حوضه، یک تا دو رویداد موجب انتقال بیش از ۵۰ درصد و یک تا شش رویداد به انتقال بیش از ۸۰ درصد رسوب منجر شده است.

مطابق جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده با کرت‌های فرسایش در مناطق مختلف کشور (۲۴) تولید رسوب و هدررفت خاک در کاربری زراعت سالانه دیم (۹۱ پلات) به‌طور متوسط ۷ برابر بیشتر از فرسایش کاربری مرتع (۱۸۳ پلات) است. در همین زمینه صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) نیز ضمن تهیه نقشه فرسایش و رسوب‌گذاری در حوزه آبخیز معرف و زوجی خامسان و تهیه نمودارهای بودجه رسوب بر مبنای طبقات شیب و کاربری اراضی، به این نتیجه رسیدند که متوسط فرسایش خاک در اراضی دیم نسبت به مراتع با شیب مشابه حدود هفت برابر است (۲۵). صوفی و همکاران (۲۰۲۱) با جمع‌بندی داده‌های به‌دست آمده از طرح بررسی مورفوکلیماتیک آبکندهای کشور انجام گرفته در پژوهشکده حفاظت

خاک و آبخیزداری نشان دادند که از دو میلیون هکتار عرصه‌های فرسایش آب‌کندی بیش از یک میلیون هکتار (حدود ۵۵٪) در کاربری دیم رخ داده است (۲۶). برآوردهای مختلفی از مقدار فرسایش در ایران وجود دارد و هنوز اجماع کاملی در خصوص آن به دست نیامده است. با این همه، آنچه کارشناسان بر آن توافق دارند، فزونی مقدار فرسایش در ایران از حد مجاز است. ادامه این وضعیت به سیر قهقراپی محیط زیست، از تعادل خارج شدن زیست‌بوم، تهدید امنیت غذایی و حتی استقلال کشور منجر می‌شود (۲۷).

باتوجه به اهمیت خاک در امنیت پایدار و سلامت غذایی و همچنین با توجه تغییرات رخ داده در شرایط اقلیمی جهان و به تبع در ایران زمین، پژوهش حاضر بر تأثیر بارش‌های حدی بر فرسایش خاک منطقه گردنه اسدلی واقع در استان خراسان شمالی به‌ویژه فرسایش ایجاد شده در نتیجه بارش ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ تمرکز کرده است. در مطالعات مشابه انجام شده بیش‌تر متغیر بارش و تأثیر آن بر روی فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفته است درحالی‌که بارش‌های حدی در یک منطقه می‌تواند سبب رخداد فرسایش خاک و رخداد حرکات دامنه‌ای شود که این مهم در این پژوهش با استفاده از داده‌های جدید و منحصربه‌فرد و استفاده از روش‌های نوین با جزئیات در یک منطقه مشخص موردتوجه قرار گرفته است. همچنین در این پژوهش در ابتدا پتانسیل رخداد بارش‌های حدی در منطقه با استفاده از شاخص‌های حدی بارش پیشنهاد شده توسط سازمان هواشناسی جهانی طی دوره طولانی‌مدت ۱۹۷۸-۲۰۲۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه فرسایش شدید منطقه گردنه اسدلی تحت تأثیر رخداد بارش شدید تحلیل می‌شود که در پژوهش‌های مشابه انجام شده به این نکته توجه نشده است و یا کم‌تر به آن پرداخته شده است. محاسبه شاخص‌های حدی در طولانی‌مدت،

اندازه‌گیری میدانی فرسایش خاک تحت تأثیر رخداد بارش سنگین و استفاده از ترکیب روش‌های مدل‌سازی اقلیمی، میدانی و سنجش از دوری در این پژوهش (تلفیق دانش‌های مختلف مانند اقلیم، سنجش از دور، خاک‌شناسی و کشاورزی) به رویکرد مدیریت جامع نسبت به مسأله فرسایش خاک کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در گردنه اسدلی، ۲۵ کیلومتری جنوب بجنورد در استان خراسان شمالی و در طول جغرافیایی $39^{\circ} 35' 57''$ شرقی و عرض جغرافیایی $47^{\circ} 29' 37''$ غربی و ارتفاع ۱۷۰۰-۱۹۰۰ متر (از سطح دریاهای آزاد)، متوسط بارندگی حوزه ۳۶۳/۵ میلی‌متر با اقلیم نیمه‌خشک سرد در ارتفاعات آلاداغ در مسیر بجنورد به اسفراین واقع شده است (۲۸). کاربری غالب این منطقه مرتع و دیم بوده و تشکیلات زمین‌شناسی حوزه از نوع رسوبی و متعلق به دوران اول تا سوم است که در این میان، سازندهای دوره ژوراسیک و نئوژن بخش اعظم تشکیلات زمین‌شناسی حوزه را به خود اختصاص داده‌اند. ارتفاعات منطقه را عمدتاً تشکیلات آهکی ژوراسیک و مناطق تپه ماهوری را مارن‌های نئوژن تشکیل می‌دهند. نهشته‌های دوران چهارم به‌صورت رسوبات کوپایه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی دیده می‌شوند (۲۹).

ارزیابی میدانی فرسایش: داده‌های مرتبط با فرسایش، از دو مرجع مختلف به‌دست آمد. اصلی‌ترین داده فرسایش به اندازه‌گیری‌های مستقیم شیارها و آب‌کندهای حاصل از یک رویداد بارش شدید در شب در منطقه اسدلی در ۱۵ خرداد ۱۳۸۶ مربوط است که روز بعد از این رخداد به محل مراجعه و عکس‌هایی از وضعیت فرسایش‌های عمیق ایجاد شده در قطعه زمینی به مساحت تقریبی نیم هکتار که در جهت شیب شخم‌خورده بود، تهیه شد (شکل ۱، چپ).

متعاقباً با لحاظ جرم مخصوص خاک به وزن خاک فرسایش یافته تبدیل شد. به دلیل دشواری در تخمین فرسایش بین شیاری، مقادیر به دست آمده کم‌تر از مقدار واقعی است. در بخشی دیگر از عملیات صحرایی، نیمرخ طولی دامنه نیز تعیین شد.

به منظور نمایش وضعیت فرسایش‌های رخ داده در سطح منطقه علاوه بر استناد به بازدیدها در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ و اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در سال ۱۳۸۶، از تصاویر تاریخی ماهواره‌ای، ذخیره شده در سامانه گوگل ارث نیز استفاده شد. به این منظور، تصاویر هوایی چهار سال مختلف از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۲ دانلود شد و با تفسیر چشمی وضعیت اراضی و علائم فرسایش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

متعاقباً در سال ۱۳۸۹ نیز از منطقه بازدیدهایی به عمل آمد و از وضعیت کلی دیمزارها و نحوه شخم تصاویری برداشت شد که در شکل (۱، راست) ملاحظه می‌شود. دلیل انتخاب قطعه زمین دیم مذکور برای اندازه‌گیری، قرار داشتن آن در مجاورت قطعه زمینی با پوشش مرتعی طبیعی بود که فرسایش کمی داشتند و امکان مقایسه بصری وضعیت فرسایش ناشی از باران شدید در دو کاربری فراهم می‌شد (شکل ۲). بعد از گذشت چند روز و خشک شدن سطح زمین، ابعاد و طول شیارها و آبکندهای ایجاد شده در زمین مذکور با استفاده از نوار با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۳). علاوه بر آن، تعداد شیارها شمارش و فاصله بین آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. از داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری تعداد و فاصله بین شیارها، برای محاسبه حجم فرسایش به کار رفت که



شکل ۱- نمایی از دیمزارهای شخم خورده در جهت شیب (راست) و فرسایش‌های عمیق خطی در نتیجه رخداد حدی بارش ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ (چپ) حد فاصله اسدلی و گردنه پلمیس.

Figure 1. View of tilled dryland fields along the slope (right) and deep linear erosions resulting from the extreme rainfall event on June 5, 2007 (left) between Asadli and Palmis Pass.



شکل ۲- وضعیت فرسایش شدید در کاربری دیم در مقایسه با فرسایش کم در کاربری مرتع مجاور هم.

Figure 2. Method of measuring erosion in the examined dryland plot using a tape measure with centimeter accuracy.

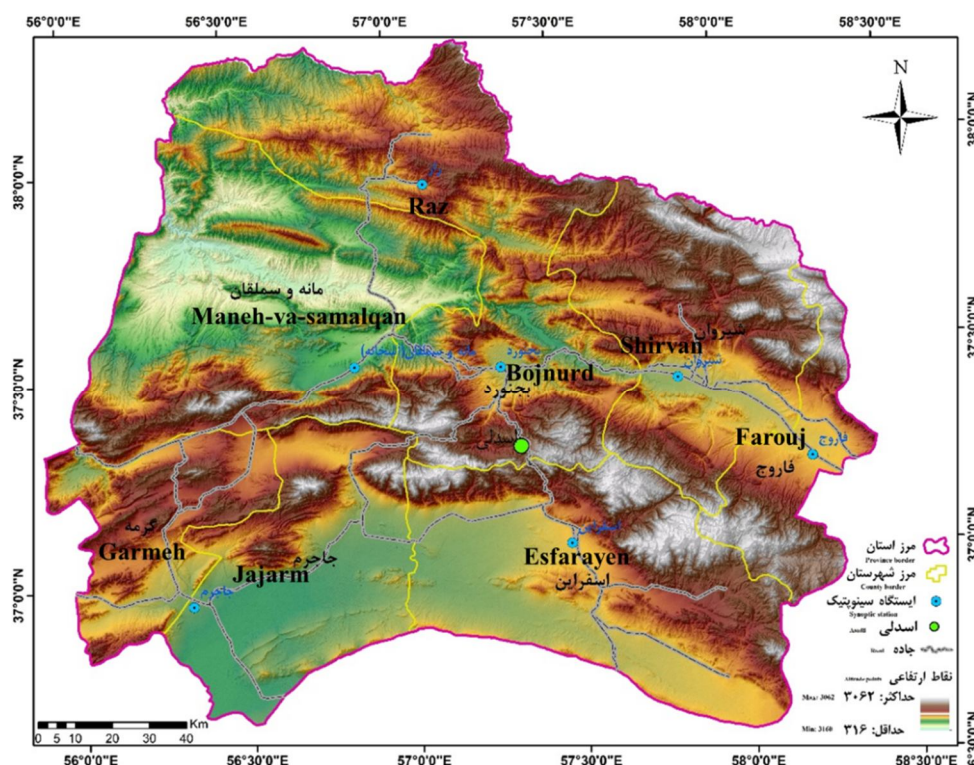


شکل ۳- نحوه اندازه‌گیری فرسایش در قطعه زمین دیم مورد بررسی با نوار با دقت سانتی‌متر.

Figure 3. Method of measuring erosion in the examined dryland plot using a tape measure with centimeter accuracy.

اسفراین نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقه مورد مطالعه هستند. در این بین، فاصله ایستگاه سینوپتیک بجنورد کم‌تر است و هم‌چنین طول دوره آماری و کیفیت مناسب‌تری دارد. از این جهت، داده‌های این ایستگاه مشتمل بر بارش روزانه از بدو تأسیس تا سال ۲۰۲۳ از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد. علاوه بر آن، تصاویر روزانه سنجنده GPM و تصاویر ذخیره شده در سامانه گوگل ارث گردآوری شد.

ارزیابی اقلیمی و سنجش از دوری: برای بررسی بارشی که سبب فرسایش شدید قطعه زمین دیم شده بود، از روش‌های ترکیبی آماری-دورسنجی استفاده شد. ابتدا، براساس موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدیدی کشور، ایستگاه‌های مجاور محدوده مورد مطالعه یعنی اسدلی که با دایره سبز مشخص شده است، مشخص شد (شکل ۴). همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، دو ایستگاه سینوپتیک بجنورد و



شکل ۴- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان شمالی.

Figure 4. Geographical location of the study area and distribution of synoptic stations in North Khorasan Province.

شاخص‌های حدی بارش مورد استفاده شامل؛ حداکثر بارش یک‌روزه (R_{x1day})، حداکثر بارش پنج‌روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی (R_{x5day})، نمایه ساده شدت روزانه ($SDII$)، روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر (R_{10mm})، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیش‌تر از بیست میلی‌متر (R_{20mm})، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیش‌تر از بیست و پنج میلی‌متر (R_{25mm})، روزهای خشک متوالی (CDD)، روزهای تر (CWD)، روزهای خیلی تر (R_{95p})، روزهای بیش‌ازاندازه تر (R_{99p}) و مقدار سالانه بارش در روزهای تر ($PRCPTOT$) هستند. بررسی روند شاخص‌های حدی مورد استفاده بر اساس آزمون من کندال انجام شده است. این آزمون، یک آزمون دوطرفه است.

پس از انتخاب ایستگاه مناسب و دریافت داده‌ها، به‌منظور محاسبه شاخص‌های حدی و تحلیل‌های اقلیمی، در ابتدا ویژگی‌های کمی و کیفی داده‌های دریافت شده در محیط R و با استفاده از افزونه $Climpact2$ کنترل شد. بررسی داده‌های پرت ایستگاه با استفاده نمودارهای باکس پلات انجام گرفت. پس از بررسی ویژگی‌های داده‌ها و برطرف کردن مشکلات احتمالی مربوط به داده‌ها و اطمینان از صحت آن‌ها، ماتریس داده‌های روزانه بارش برای ایستگاه بجنورد طی دوره آمار مشترک تهیه و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار R و استفاده از قابلیت افزونه $Climpact2$ رخدادهای فرین رخ داده در اقلیم منطقه برای دوره ۴۶ ساله ۱۹۷۸-۲۰۲۳ محاسبه شدند.

قابل ذکر است که در این پژوهش برای بررسی رخدادهای فرین اقلیمی، از شاخص‌های حدی بارش توصیه‌شده از سوی گروه کارشناسی $CCL/CLIVAR$ استفاده شده است (۳۰).

زمانی ۱۸ ساله از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۲ (۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲) به همراه تصویری بزرگ‌تر از منطقه در شکل ۵ مشاهده می‌شود. بر اساس تصاویر ذکر شده علائم فرسایش خطی در نتیجه فرایندهای اقلیمی هم‌چون بارش‌های شدید و ذوب برف را به‌خوبی می‌توان در اراضی مرتعی حاشیه جاده به‌جنورد اسفراین و حد فاصله اسدلی و گردنه پلمیس مشاهده نمود (دو محدوده به رنگ آبی). با نگاه به قطعات زمین دیم مشخص شده در هر چهار تصویر (محدوده به رنگ قرمز)، می‌توان عمیق‌تر شدن فرسایش خطی بین مزارع را متوجه شد. از سوی دیگر علائم فرسایش و نهشتن رسوب با رنگ روشن‌تر در حاشیه جاده‌های دسترسی به مزارع نیز قابل رویت است.

نکته آخر و دارای اهمیت دیگر، نقش باغ‌کاری دیم روی جوی‌های تراز در تثبیت دامنه‌ها است که در تصاویر به‌خوبی مشاهده می‌شود. باغ‌کاری، به‌عنوان یک روش حفاظت از اراضی در برابر فرسایش، به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش فرسایش و تثبیت خاک در این منطقه عمل کرده و نتایج مثبتی به همراه داشته است. این تحلیل تصویری، اهمیت مدیریت صحیح زمین و استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار را در جلوگیری از تخریب زمین و حفظ کیفیت منابع طبیعی به‌خوبی نشان می‌دهد. ویانی سابیوموا و همکاران (۲۰۲۳)، نیز در پژوهشی اهمیت و نقش مؤثر درختان در کاهش رواناب و در نتیجه کاهش فرسایش خاک در اثر وقوع بارش‌های حدی در مقایسه با اراضی شخم خورده و شیب‌دار را نشان دادند (۳۳).

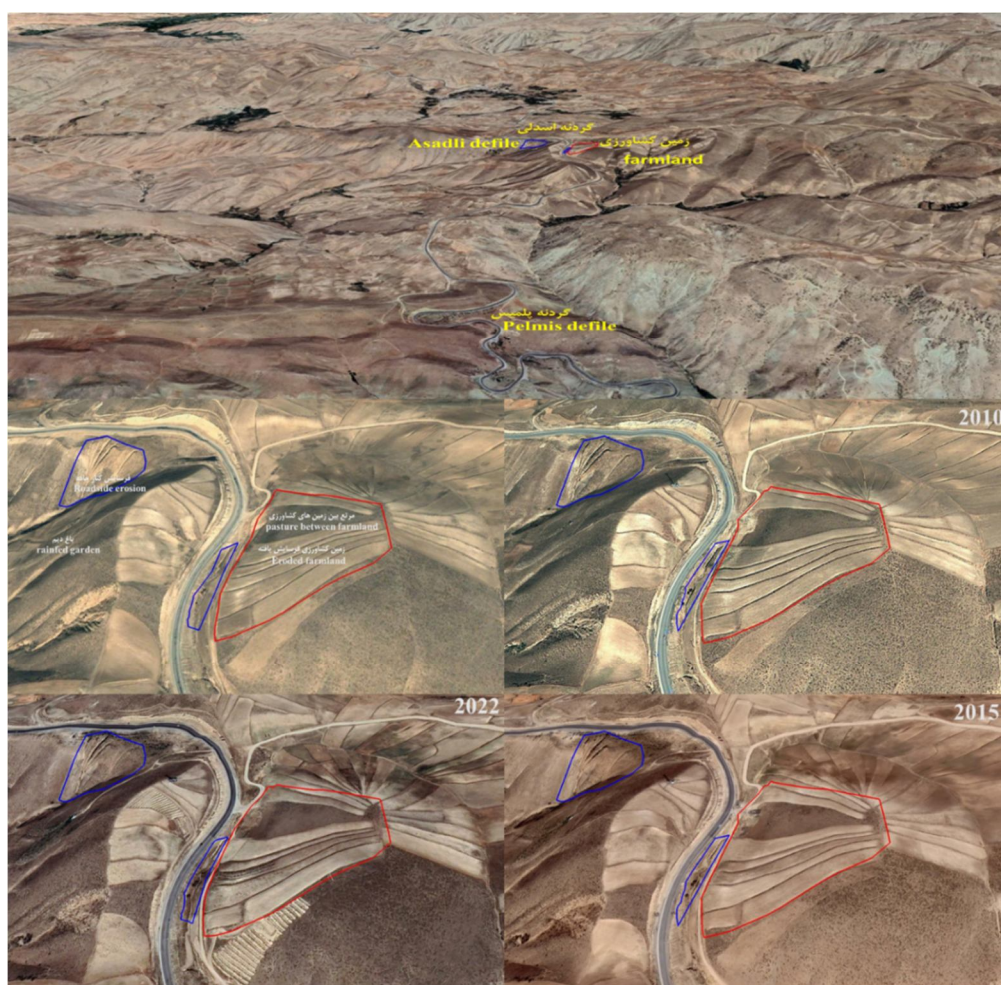
بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha 2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این‌صورت فرض صفر رد خواهد شد.

مقادیر مثبت و منفی آماره Z به ترتیب بیانگر روند افزایشی و روند کاهشی در سری داده‌های مورد بررسی است. سطح معناداری روند منفی و مثبت آماره Z من‌کنندال بر اساس مقایسه مقادیر این آماره با مقدار Z جدول توزیع نرمال استاندارد در سطح اطمینان $Z_{\alpha 2}$ تعیین می‌شود. بدین‌صورت که اگر $|Z| > 1.64$ ، $|Z| > 1.96$ و $|Z| > 2.57$ باشد، فرض صفر (عدم وجود روند) در سری داده‌ها رد و فرض وجود روند در سری داده‌ها به ترتیب در سطح معناداری ۱۰ درصد، در سطح معناداری ۵ درصد و در سطح معناداری ۰/۰۱ درصد پذیرفته می‌شود (۳۱ و ۳۲).

باتوجه به مشاهدات میدانی پس از بارش رخ داده در خردادماه ۱۳۸۶ فرسایش خاک در سطح و اندازه قابل‌توجهی رخ داده است که با توجه به محلی بودن بارش رخ داده، برای آشکارسازی و توزیع مکانی آن در سطح منطقه از تصاویر ماهواره‌ای GPM استفاده شد. تصاویر روزانه سنجنده GPM با دقت مکانی ۰/۱۰×۰/۱۰×۰/۱۰ درجه جغرافیایی در مقیاس روزانه برای رخداد موردنظر و همچنین بارش‌های خردادماه منطقه مورد مطالعه طی دوره مورد بحث از تارنمای جیووانی دریافت و در محیط GIS پردازش شد.

نتایج و بحث

نتایج مشاهدات میدانی: چهار تصویر ذخیره شده از منطقه گردنه اسدلی در سامانه گوگل ارث در دوره



شکل ۵- علائم فرسایش خطی در حاشیه جاده بجنورد اسفراین و حد فاصله اسدلی و گردنه پلمیس، محدوده با رنگ قرمز (زمین‌های کشاورزی و مرتع بین آنها) و محدوده‌های با رنگ آبی (فرسایش‌های کنار جاده).

Figure 5. Signs of linear erosion along the Bojnord-Esfarayen road, between Asadli and Palmis pass. The areas marked in red indicate agricultural lands and pastures between them, while the areas marked in blue show erosion along the roadside.

و رسوب‌دهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای، میزان فرسایش رویداد حدی بارش ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ در این قطعه زمین دیم شخم‌خورده مورد مطالعه در این پژوهش را بالغ بر هزار تن در کیلومترمربع و حتی حدود صد هزار تن در کیلومترمربع که با اندازه‌گیری مستقیم شیارها و آب‌کندها توسط دکتر علی‌اکبر عباسی، دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی صورت گرفته است، گزارش کردند (۲۷).

ابعاد و میزان فرسایش شیار یا آب‌کندی در قطعه زمین دیم شخم‌خورده در منطقه اسدلی، پس از اندازه‌گیری میدانی بارش ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶، در جدول ۱ آمده است. طول فرسایش‌های عمیق خطی در جهت شیب ۱۵۵ متر و عرض آن ۳۰ سانتی‌متر، اندازه‌گیری شد. براساس جرم مخصوص خاک مزرعه، وزن کل خاک فرسایش‌یافته ۵۲۰ تن و فرسایش ویژه رویداد، ۱۱۲۰ تن در هکتار بوده است. عرب‌خدری (۲۰۲۱) در بررسی وضعیت فرسایش آبی

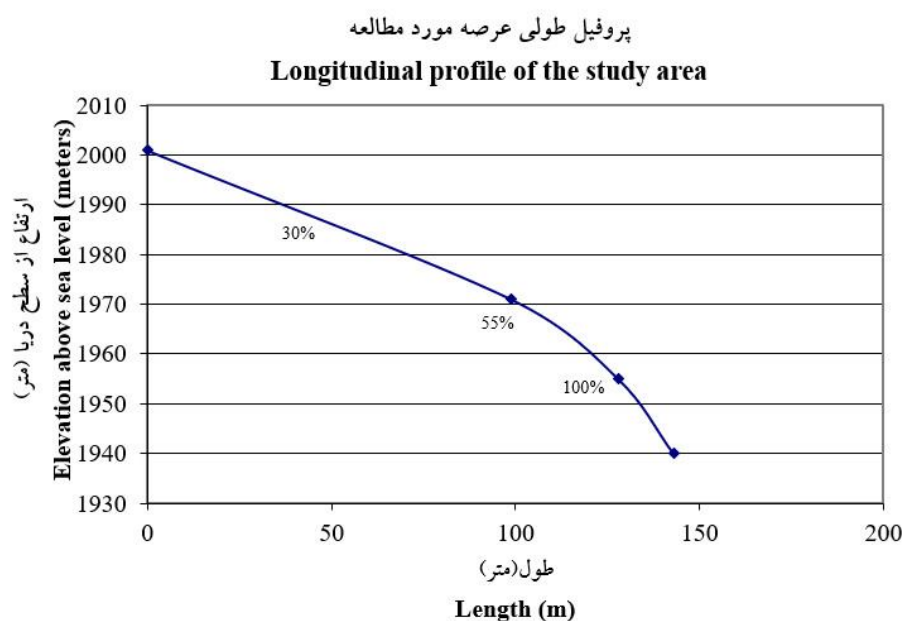
جدول ۱- ابعاد و میزان فرسایش شیاری/آبکند موقتی در قطعه زمین دیم شخم خورده در منطقه اسدلی.

Table 1. Dimensions and extent of rill and ephemeral gully erosion on tilled dryland in the Asadli region.

مقدار Amount	واحد Unit	ویژگی Property
40	سانتی‌متر cm	عرض متوسط شیاریها/آبکندهای موقتی Average width of rills/ ephemeral gullies
30	سانتی‌متر cm	عمق متوسط شیاریها/آبکندهای موقتی Medium depth of rills/ ephemeral gullies
150	سانتی‌متر cm	فاصله متوسط شیاریها/آبکندهای موقتی Medium distance of rills/ ephemeral gullies
155	متر m	طول شیاریها/آبکندهای موقتی Length of rills/ ephemeral gullies
372	مترمکعب m ³	حجم کل خاک فرسایش‌یافته از شیاریها و آبکندهای موقتی The total volume of soil eroded from rills/ ephemeral gullies
1.4	گرم بر سانتی‌مترمکعب gcm ⁻³	جرم مخصوص ظاهری خاک Bulk density of the soil
520	تن ton	وزن کل خاک فرسایش‌یافته از شیاریها/آبکندهای موقتی Total weight of soil eroded from rills/ ephemeral gullies
1120	تن در هکتار ton ha ⁻¹	فرسایش ویژه Specific erosion

شن و همکاران (۲۰۲۳)، در بررسی میزان فرسایش در شکل‌های مختلف شیب براساس آزمایش‌های بارش شبیه‌سازی‌شده و مشاهدات میدانی، به این نتیجه رسیدند که تلفات خاک در شیب‌های مقعر و شیب‌های یکنواخت بسیار کم‌تر از شیب‌های محدب است و در نتیجه، زمین‌های کشاورزی و غیرکشاورزی به سرعت بیش‌تری با کاهش عمق، کاهش رطوبت، هدررفت مواد غذایی و آلی و در نهایت حاصلخیزی مواجه می‌شوند (۳۴). آاو و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش داد که میانگین تلفات خاک در شیب‌های محدب به‌ترتیب ۱/۵ برابر و ۱/۳ برابر در شیب‌های مقعر و یکنواخت است (۳۵).

شکل ۶، پروفیل طولی (انحنای سطح زمین) قطعه زمین مورد بررسی در گردنه اسدلی را نشان می‌دهد. نیمرخ طولی قطعه زمین مورد بررسی از نوع محدب است. در دامنه‌های محدب مقدار و قدرت جریان به‌صورت فزاینده‌ای در امتداد شیب اضافه و به تشدید فرسایش و هدر رفت بیش‌تر خاک منجر می‌شود. شیب این دامنه در بالادست ۳۰ درصد و در پایین‌دست ۱۰۰ درصد است که بیش از شیب ۱۲ درصد مجاز برای دیمکاری است. شیب تندتر دامنه (۱۰۰ درصد) در بخش انتهایی دامنه نیز در حادثه شدن شرایط فرسایشی مؤثر بوده است. ابعاد بسیار زیاد فرسایش‌های خطی ایجاد شده که عملاً در طبقه فرسایش آبکندی قرار می‌گیرند و هم‌چنین، وجود قلوه‌سنگ‌های نهشته شده در پای دامنه (شکل ۱ بالا چپ و شکل ۳) بیانگر پرقدرت بودن جریان است.



شکل ۶- پروفیل طولی (انحنای سطح زمین) حد فاصله اسدلی و گردنه پلمیس.

Figure 6. Longitudinal profile (ground surface curvature) between Asadli and Palmis Pass.

نتایج بررسی رخدادهای حدی: بر اساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه بجنورد، بیشینه بارش ۲۴ ساعته در این منطقه به مقدار ۵۴ میلی‌متر برای تاریخ ۲۱ شهریور ۱۳۷۹ (۱۱ سپتامبر ۲۰۰۰) و برای تاریخ ۲۹ شهریور ۱۳۷۹ (۱۹ سپتامبر ۲۰۰۰) با مقدار ۴۵ میلی‌متر ثبت شده است. همچنین بررسی داده‌ها نشان داد که در این منطقه فراوانی رخداد بارش‌های ۲۴ ساعته با مقدار بیش از ۱۰ میلی‌متر قابل توجه است. به طوری که طی دوره ۲۰۲۳-۱۹۷۸، تعداد ۲۹۱ رخداد حداکثر بارش ۲۴ ساعته با مقدار ۱۰ میلی‌متر و بیش‌تر از آن در ایستگاه بجنورد ثبت شده است (متوسط ۶/۳ رویداد در سال). جدول ۲، فراوانی و حداکثر بارش ۲۴ ساعته با مقدار ۲۰ میلی‌متر و بیش‌تر از آن را برای ایستگاه بجنورد طی دوره ۲۰۲۳-۱۹۷۸ نشان می‌دهد.

یکی از نکات قابل توجه در بررسی میدانی و تحلیل عکس‌ها، شواهد فرسایشی بسیار کم در قطعه زمین مرتعی مجاور زمین دیم فرسایش‌یافته و مورد بررسی است. فرسایش آبی ناچیز در عرصه مرتعی و متقابلاً رخداد فرسایش شدید آبی در زمین‌های دیم شکل (۲)، ضرورت جلوگیری از شخم شیب‌های تند را نشان می‌دهد. مشاهدات میدانی و تفسیر تصاویر نشان داد که از دلایل اصلی فرسایش خاک این منطقه شخم خاک در جهت شیب، تغییرات کاربری اراضی، از بین رفتن مراتع، جاده‌سازی و رخداد بارش‌های حدی و سنگین است. در پژوهش‌ها (۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹) بر نقش بارش‌های رگباری حدی و تغییرات کاربری بر افزایش میزان فرسایش خاک تاکید شده است.

جدول ۲- حداکثر بارش ۲۴ ساعته با مقدار ۲۰ میلی‌متر و بیش‌تر در ایستگاه بجنورد طی دوره ۱۹۷۸-۲۰۲۳.

Table 2. Maximum 24-hour rainfall of 20 millimeters or more at Bojnord station during the period 1978-2023.

حداکثر بارش ۲۴ ساعته Maximum rainfall in 24 hours	روز Day	ماه Month	سال Year	حداکثر بارش ۲۴ ساعته Maximum rainfall in 24 hours	روز Day	ماه Month	سال Year
24.40	15	5	2018	20.00	12	3	1994
24.60	27	4	1992	20.00	18	3	2013
25.00	13	6	2000	20.20	5	3	1988
25.20	25	7	2004	20.20	22	4	1995
25.40	28	3	1979	20.20	21	2	2015
25.40	13	3	2005	20.20	14	2	2017
26.00	15	4	1996	20.30	19	4	1992
26.00	8	2	2007	20.40	13	5	1992
27.00	13	12	1991	21.00	19	2	1980
27.10	18	3	2019	21.00	18	11	1980
28.00	5	12	1989	21.00	31	5	2005
28.10	5	4	2004	21.00	9	6	2005
28.90	11	2	2019	21.10	2	3	2020
29.10	7	5	1981	21.90	7	3	1991
30.00	27	7	1987	22.00	12	4	2002
30.00	27	7	1999	22.00	4	5	2002
32.01	27	3	2007	22.00	4	9	2008
33.00	25	1	1989	22.00	30	8	2016
35.30	23	11	2007	22.00	25	8	2023
37.10	20	7	1981	23.00	5	5	1986
39.00	12	2	1980	23.01	17	4	2004
41.00	21	8	1988	23.50	8	3	2003
45.01	19	9	2000	24.00	9	11	2005
54.31	11	9	2000	24.00	3	4	2007
				24.30	3	2	2011

وقوع ۴۹ رویداد بارش بیش از ۲۰ میلی‌متر در روز، در دوره آماری ۴۶ ساله (جدول ۱)، بیانگر فراوانی قابل‌توجه بارش‌های حدی در منطقه مورد مطالعه است. نکته قابل توجه دیگر، ثبت ۱۸ مورد از ۴۹ بارش ۲۰ میلی‌متر در روز و بیش‌تر برای ماه‌های مه، ژوئن و سپتامبر که تقریباً معادل ماه‌های شمسی اردیبهشت، خرداد و شهریور است. تعدد وقوع چنین بارش‌هایی در ماه‌های دوره گرم طی دوره ۱۹۷۸-۲۰۲۳ نشان می‌دهد که باتوجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و وجود ارتفاعات و همچنین امکان نفوذ هوای سرد و مرطوب از سمت عرض‌های شمالی، پتانسیل بالایی برای رخداد بارش‌های شدید در زمان کوتاه برای منطقه وجود دارد.

با توجه به تأثیرگذاری بالای مقدار و شدت بارش در فرسایش خاک (۴) در این قسمت براساس شاخص‌های حدی پیشنهادشده توسط CCL/CLIVAR، رخدادهای حدی بارش منطقه مورد مطالعه بررسی شده است که در جدول ۳، مقادیر شاخص‌های حدی بارش ایستگاه بجنورد طی دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس مقادیر شاخص‌های حدی بارش محاسبه شده، متوسط بارش ثبت شده طی دوره ۴۶ ساله، ۲۴۱/۴ میلی‌متر است که از نظر زمانی بیشینه بارش سالانه در سال ۱۹۸۱ با مقدار ۳۶۶ میلی‌متر و کمینه آن در سال‌های ۲۰۲۱ با مقدار ۱۰۸ میلی‌متر و در سال ۱۹۹۰ با مقدار ۱۱۵ میلی‌متر ثبت شده است. براساس مقادیر شاخص‌های حدی بارش، فراوانی رخداد بارش‌های حدی یک‌روزه در ایستگاه بجنورد قابل‌توجه است، چراکه برای این منطقه امکان ریزش تقریباً یک پنجم از بارش سالانه در یک روز وجود دارد. همچنین، در این منطقه، فراوانی رخداد

بارش‌های سنگین (بیش‌تر از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر) نیز قابل‌توجه است، به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۳، تعداد ۱۴ روز با بارش مساوی یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر ثبت شده است.

نتایج بررسی روند شاخص‌های حدی بارش با استفاده از آزمون من کندال در جدول ۴ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که هر چند مقادیر برخی از شاخص‌های بارش برای منطقه افزایشی است اما در حالت کلی، مجموع بارش منطقه و شاخص‌های آن کاهشی است که این روند کاهشی برای برخی از شاخص‌ها در سطح ۱۰ درصد معنادار است. بر اساس نتایج آزمون Z من کندال، در بین شاخص‌های مورد بررسی تنها روند شاخص‌های روزهای تر و شدت بارش مثبت است که البته این روند مثبت در سطح خاصی معنادار نیست. مقدار آزمون Z من کندال برای سایر شاخص‌های حدی بارش ایستگاه بجنورد منفی است. در بین شاخص‌های حدی بارش مورد بررسی روند کاهشی مجموع بارش سالانه منطقه با مقدار ۱/۹۱- آزمون Z، از بیش‌ترین نرخ کاهشی برخوردار است که این روند کاهشی در سطح ۱۰ درصد معنادار است. همچنین مقدار آزمون Z من کندال برای شاخص روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر و بیش‌تر با مقدار ۱/۵۱- منفی نیز قابل توجه است. نتایج این پژوهش در خصوص رخدادهای حدی بارش تا حد زیادی با پژوهش‌های مشابه داخل کشور (هم‌چون؛ ۳۰، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴) و هم‌چنین پژوهش‌های مشابه در خارج از کشور (هم‌چون؛ ۴۵، ۴۶، ۴۷) که بر افزایش شدت بارش‌ها و کاهش مجموع بارش تأکید دارند، مطابقت دارد.

جدول ۳- رخدادهای حدی بارش در ایستگاه بجنورد طی دوره ۱۹۷۸-۲۰۲۳.

Table 3. Extreme rainfall events at Bojnord station during the period 1978-2023.

r99p	r95p	cwd	cdd	sdii	R20	R10	RX5	RX1	preptot	
0.00	55.10	3.00	115.00	5.63	0.00	9.00	45.00	19.10	275.84	1978
25.40	79.40	5.00	70.00	5.30	1.00	10.00	40.40	25.40	339.11	1979
39.00	81.00	3.00	99.00	4.90	3.00	7.00	50.00	39.00	298.71	1980
66.20	119.20	3.00	41.00	5.09	2.00	11.00	49.40	37.10	366.61	1981
0.00	0.00	4.00	66.00	4.40	0.00	7.00	27.21	15.00	237.86	1982
0.00	0.00	4.00	67.00	3.64	0.00	2.00	19.21	15.01	131.06	1983
0.00	35.10	4.00	67.00	5.08	0.00	8.00	26.70	19.00	258.95	1984
0.00	0.00	5.00	60.00	3.29	0.00	3.00	17.80	14.50	134.84	1985
0.00	89.10	5.00	40.00	5.09	1.00	7.00	37.80	23.00	280.10	1986
30.00	49.40	4.00	53.00	4.64	1.00	5.00	39.10	30.00	264.35	1987
41.00	61.20	4.00	53.00	5.16	2.00	7.00	41.00	41.00	314.51	1988
61.00	78.00	5.00	70.00	5.52	2.00	6.00	54.12	33.00	226.43	1989
0.00	0.00	4.00	154.00	3.49	0.00	2.00	21.31	10.80	115.04	1990
27.00	84.10	3.00	111.00	6.61	2.00	13.00	42.00	27.00	310.74	1991
0.00	65.30	6.00	57.00	4.83	3.00	5.00	40.20	24.60	318.74	1992
0.00	52.72	8.00	137.00	4.33	0.00	8.00	29.40	18.21	238.04	1993
0.00	20.00	4.00	118.00	5.99	1.00	8.00	34.70	20.00	245.44	1994
0.00	52.31	3.00	69.00	4.90	1.00	5.00	26.90	20.20	181.34	1995
26.00	26.00	4.00	73.00	4.70	1.00	3.00	26.31	26.00	178.76	1996
0.00	17.70	4.00	77.00	4.79	0.00	8.00	37.10	17.70	273.14	1997
0.00	19.10	4.00	51.00	4.21	0.00	4.00	22.10	19.10	197.99	1998
30.00	47.00	4.00	58.00	5.17	1.00	5.00	44.40	30.00	278.98	1999
124.32	143.62	3.00	89.00	7.98	3.00	9.00	54.31	54.31	303.38	2000
0.00	0.00	4.00	68.00	3.69	0.00	2.00	15.40	13.00	129.23	2001
0.00	77.80	5.00	96.00	5.94	2.00	12.00	45.90	22.00	326.96	2002
0.00	61.00	3.00	62.00	6.48	1.00	14.00	40.21	23.50	363.04	2003
53.30	92.91	3.00	71.00	6.17	3.00	9.00	39.91	28.10	277.64	2004
25.40	91.40	4.00	59.00	6.06	4.00	8.00	48.32	25.40	351.74	2005
0.00	16.70	3.00	79.00	4.62	0.00	4.00	23.01	16.70	203.25	2006
93.31	154.42	4.00	65.00	6.57	4.00	6.00	60.84	35.30	262.91	2007
0.00	40.00	4.00	63.00	4.26	1.00	3.00	25.01	22.00	187.35	2008
0.00	69.91	4.00	53.00	5.30	0.00	8.00	31.30	19.01	291.32	2009
0.00	34.00	3.00	81.00	5.30	0.00	9.00	36.11	18.00	217.47	2010
0.00	40.80	5.00	68.00	4.36	1.00	5.00	38.81	24.30	235.46	2011
0.00	17.00	3.00	62.00	4.32	0.00	2.00	23.21	17.00	207.22	2012
0.00	39.00	3.00	99.00	4.54	1.00	5.00	34.01	20.00	167.82	2013
0.00	0.00	4.00	53.00	5.04	0.00	5.00	33.32	12.40	196.54	2014
0.00	57.20	6.00	70.00	4.56	1.00	5.00	37.72	20.20	218.97	2015
0.00	38.00	5.00	46.00	5.46	1.00	9.00	28.13	22.00	240.44	2016
0.00	35.80	4.00	59.00	4.87	1.00	2.00	36.61	20.20	160.70	2017
0.00	40.80	5.00	73.00	4.66	1.00	4.00	55.70	24.40	191.00	2018
56.00	109.20	5.00	33.00	6.02	2.00	8.00	60.81	28.90	348.90	2019
0.00	40.70	5.00	36.00	5.20	1.00	5.00	35.20	21.10	254.70	2020
0.00	0.00	6.00	115.00	4.70	0.00	3.00	42.20	13.50	108.20	2021
0.00	16.50	3.00	26.00	4.44	0.00	4.00	27.30	16.50	159.70	2022
0.00	76.30	3.00	76.00	6.50	1.00	7.00	30.51	22.00	234.00	2023

جدول ۴- مقادیر آزمون Z من کندال برای شاخص‌های حدی بارش ایستگاه بجنورد طی دوره ۱۹۷۸-۲۰۲۳.

* معناداری در سطح ۱۰ درصد، ** معناداری در سطح ۵ درصد، *** معناداری در سطح ۰/۰۱ درصد.

Table 4. Kendall's Z-test values for extreme precipitation indices at Bojnord station during the period 1978-2023.

شاخص	سال ابتدایی	سال انتهایی	دوره آماری	شاخص Z	سطح معناداری
Index	First year	Last Year	period	Z index	significant level
<i>precip</i>	1978	2023	46	-1.91	*
<i>RX1</i>	1978	2023	46	-0.98	-
<i>RX5</i>	1978	2023	46	-0.06	-
<i>R10</i>	1978	2023	46	-1.51	-
<i>R20</i>	1978	2023	46	-0.04	-
<i>sdi</i>	1978	2023	46	0.51	+
<i>cdd</i>	1978	2023	46	-1.14	-
<i>cwd</i>	1978	2023	46	0.44	+
<i>r95p</i>	1978	2023	46	-0.80	-
<i>r99p</i>	1978	2023	46	-1.40	-

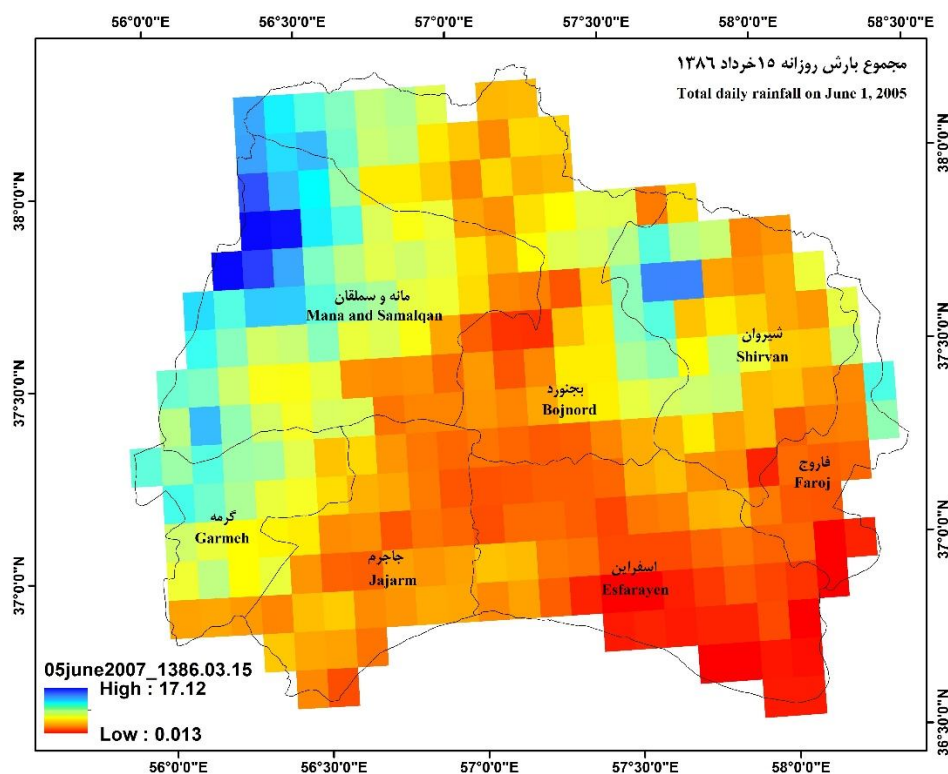
نتایج تحلیل بارش رگباری خردادماه ۱۳۸۶:

همان‌طور که در قسمت مشاهدات میدانی اشاره شد، براساس مشاهدات میدانی انجام شده، رخداد بارش شدید در ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ سبب فرسایش قابل‌توجه خاک زمین‌های دیم شخم‌زده در جهت شیب و همچنین عمیق‌تر شدن شکل‌های خطی فرسایش (تصویر مربوط به سال ۲۰۱۰ شکل ۵) حاشیه جاده اسفراین-بجنورد حد فاصل گردنه پلمیس تا اسدلی شده است. با توجه به اهمیت شدت و مقدار بارش در فرسایش خاک، علاوه بر بارش ۱۵ خرداد ۱۳۸۶، یک نمونه دیگر از بارش‌های شدید خردادماه بر اساس داده‌های روزانه ایستگاه بجنورد و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای GPM بررسی شد.

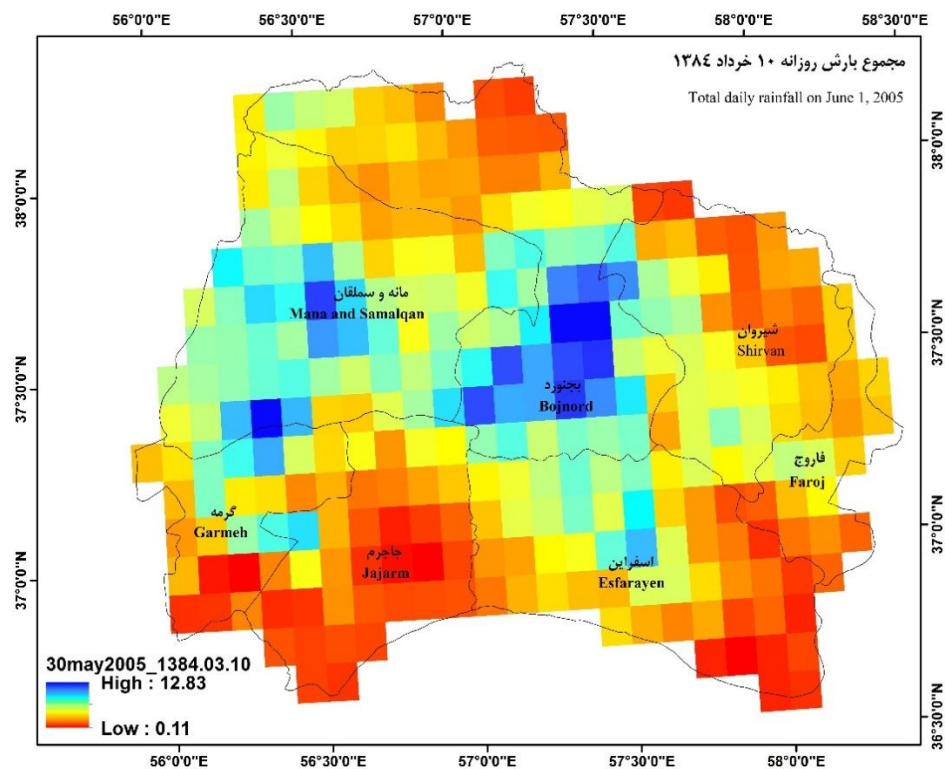
بررسی داده‌های ثبت شده برای ایستگاه بجنورد نشان داد که در تاریخ ۱۳۸۶/۰۳/۱۵ در ایستگاه بجنورد بارشی به مقدار پنج میلی‌متر ثبت شده است. بررسی مقادیر بارش رخ داده در ۱۳۸۶/۰۳/۱۵ بر روی تصاویر ماهواره‌ای GPM (شکل ۷) نشان داد که در

سطح استان خراسان شمالی در قسمت غرب استان برای مانه و سملقان بارشی به مقدار ۱۷ میلی‌متر ثبت شده است. در منطقه اسدلی نیز بارش ثبت شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای GPM بین ۸ تا ۱۰ میلی‌متر برآورد شده است (شکل ۷). تحلیل مشابه با استفاده از سنجنده GPM برای بارش روز ۱۳۸۶/۰۳/۱۰ نیز انجام شد که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود. مطابق این شکل، مقدار بارش برآوردی برای اسدلی به مقدار حدود ۱۲ میلی‌متر بیش‌تر از سایر مناطق است.

با این همه، به اتکا مشاهدات میدانی در زمان وقوع بارش سیل‌آسا در خرداد ۱۳۸۶ و مشاهده تندآب سطحی و فرسایش شدید خاک و با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی خاص منطقه گردنه اسدلی و تفسیر رویدادهای مشابه از جمله بارش ۱۰ خرداد ۱۳۸۶ با اطمینان می‌توان گفت که بارش برآورد شده با تصاویر ماهواره‌ای GPM برای منطقه اسدلی در پیکسلی به ابعاد ۱۲/۵ کیلومتر، مبین ماهیت محلی و نقطه‌ای بارش رخ داده نیست.



شکل ۷- مقادیر بارش برآوردی با استفاده از سنجنده GPM برای روز ۱۵/۳/۱۳۸۶.
Figure 7. Estimated rainfall amounts using the GPM sensor for June 5, 2007.



شکل ۸- مقادیر بارش برآوردی با استفاده از سنجنده GPM برای روز ۱۰/۳/۱۳۸۴.
Figure 8. Estimated rainfall amounts using the GPM sensor for May 31, 2005.

نتیجه‌گیری کلی

براساس مشاهدات میدانی و تحلیل تصاویر گوگل ارث، منطقه حدفاصل گردنه پلمیس-اسدلی دچار فرسایش شدید در زمین‌های کشاورزی دیم شده است. هم‌چنین آب‌کندهایی در دامنه‌های شیب‌دار این منطقه مشاهده شد. نتایج نشان داد که از دلایل اصلی فرسایش خاک این منطقه شخم خاک در جهت شیب، تغییرات کاربری اراضی و از بین رفتن مراتع و جاده‌سازی و هم‌چنین رخداد بارش‌های حدی و سنگین است. قابل‌ذکر است که با توجه به روند افزایشی بارش‌های حدی در بیش‌تر مناطق کشور از یک‌طرف و بالا بودن حساسیت خاک به فرسایش، پایین بودن ماده آلی خاک و ساختمان تخریب‌یافته خاک‌های دیم از سوی دیگر، در صورت تداوم شخم در جهت شیب‌های تند و بدون رعایت اصول فنی، وقوع فرسایش‌های شدید در سایر مناطق کشور دور از انتظار نیست. به‌عبارت‌دیگر، ایجاد فرسایش شیاری عمیق و آب‌کندهای موقتی با عرض و عمق فرسایشی ۴۰ و ۳۰ سانتی‌متر بعد از بارش ۱۵ خردادماه ۱۳۸۶ در زمین‌های کشاورزی گردنه اسدلی نمونه‌ای است که عمق مخاطرات ناشی از این پدیده را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج شاخص‌های حدی بارش ایستگاه بجنورد در شمال‌شرق ایران در مجاورت منطقه موردبررسی می‌توان بیان کرد که با توجه به افزایش فراوانی پدیده‌های حدی اقلیمی هم‌چون بارش‌های حدی، خشکسالی‌های شدید، امواج گرما و اثرات آن‌ها بر محیط‌زیست انسانی و طبیعی، منطقه شمال شرق (و هم‌چنین سایر مناطق کشور) نیازمند بررسی تأثیرات این شاخص‌ها و هم‌چنین برنامه‌ریزی صحیح برای مقابله و سازگاری با تغییرات و نوسان‌های اقلیمی در سطوح مختلف مدیریتی است.

درنهایت، براساس مشاهدات عینی، تفسیر تصاویر، بررسی رخداد بارش‌های حدی و محاسبه انحنای

سطح زمین گردنه پلمیس تا اسدلی می‌توان بیان کرد که توصیه می‌شود علاوه بر اجتناب از تغییر کاربری اراضی از مرتع به دیم و جلوگیری از شخم سالانه، کشت محصولات دائمی یا پوششی چندساله برای حفاظت از خاک این نوع دامنه‌ها باید در اولویت کشاورزان و دستگاه‌های مسئول قرار گیرد و این نتایج بر اهمیت مدیریت صحیح زمین و استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار برای جلوگیری از تخریب زمین و حفظ کیفیت منابع طبیعی تأکید دارند. هم‌چنین، با توجه به مشکلات ناشی از فرسایش آبی، لازم است اقدامات کافی برای کاهش سرعت این پدیده و تضمین مدیریت پایدار منابع آب‌و خاک انجام شود.

این پژوهش تأثیر بارش‌های حدی بر فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار شخم‌خورده را بررسی کرده و به‌روشنی افزایش خطر فرسایش خاک ناشی از تغییر الگوهای بارش را نشان می‌دهد که چگونه تغییرات در الگوهای بارش می‌تواند به افزایش خطر فرسایش خاک منجر شود. از دستاوردهای کلیدی این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ۱- شناسایی و اولویت‌بندی نواحی پرخطر: با تحلیل شاخص‌های حدی و ارزیابی وضعیت اراضی، این مطالعه به شناسایی مناطقی پرداخته که در برابر فرسایش خاک آسیب‌پذیرتر هستند. این اطلاعات می‌تواند برای برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی در اولویت قرار گیرد. ۲- توسعه ابزارهای ارزیابی سریع: استفاده از تفسیر چشمی تصاویر گوگل ارث برای ارزیابی سریع وضعیت اراضی، رویکردی کارآمد برای شناسایی مناطق مستعد فرسایش فراهم کرده است. ۳- پایه‌ای برای پژوهش‌های آینده: یافته‌های این پژوهش، چارچوبی برای انجام مطالعات تکمیلی و دقیق‌تر، مانند اندازه‌گیری‌های میدانی و مدل‌سازی فرسایش در اراضی شیب‌دار، ایجاد می‌کند و می‌تواند به بهبود

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های سازمان هواشناسی و با اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده است. دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای و میدانی این پژوهش با مکاتبه با نویسنده اول قابل دسترسی است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: آماده‌سازی، پردازش و تحلیل داده‌ها، انجام محاسبات و تهیه پیش‌نویس مقاله
نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی و بازبینی مقاله

نویسنده سوم: مشارکت در تحلیل نتایج پژوهش و بازبینی مقاله

نویسنده چهارم: اندازه‌گیری‌های میدانی و بازبینی مقاله

نویسنده پنجم: مشارکت در تحلیل نتایج پژوهش

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر، رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مالی خاصی برخوردار نبوده است.

مدیریت منابع خاک و کاهش اثرات فرسایش در مناطق حساس کمک کند.

در انجام این پژوهش محدودیت‌هایی وجود داشت که می‌توان به مواردی هم‌چون ۱- تأثیر متغیرهای متعدد: عواملی مانند نوع خاک، پوشش گیاهی، و شرایط توپوگرافی بر فرسایش خاک تأثیرگذار هستند که در این مطالعه محدود به برخی از این عوامل شده و اثر تمامی متغیرهای ممکن بررسی نشده است. ۲- تغییرات اقلیمی در بلندمدت: این پژوهش به تحلیل شاخص‌های حدی و داده‌های فعلی پرداخته است، اما برای درک تأثیر تغییرات اقلیمی در بلندمدت، نیاز به مدل‌سازی و داده‌های طولانی‌مدت است. پیشنهادهای کاربردی برای مطالعات آتی نیز می‌تواند شامل ۱- اجرای برنامه‌های حفاظتی در مناطق پرخطر: با استفاده از یافته‌های این پژوهش، می‌توان مناطق با خطر بالای فرسایش را شناسایی کرده و برنامه‌های حفاظتی، مانند پوشش گیاهی و ترانس‌بندی، در این نواحی اجرا کرد. ۲- توسعه روش‌های ترکیبی برای ارزیابی فرسایش: ترکیب داده‌های سنجش‌ازدور و اندازه‌گیری‌های میدانی می‌تواند دقت بررسی‌ها را افزایش دهد. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، این روش‌ها به‌طور مکمل استفاده شوند. ۳- آموزش کشاورزان در مناطق شیب‌دار: به‌منظور کاهش اثرات فرسایش در این مناطق، آموزش کشاورزان در مورد روش‌های کاهش فرسایش و استفاده صحیح از شخم‌زنی می‌تواند تأثیر مثبتی داشته باشد. ۴- پایش مستمر و به‌روزرسانی داده‌ها: با توجه به تغییرات احتمالی در الگوهای بارشی، پایش مستمر این داده‌ها برای به‌روزرسانی برنامه‌های مدیریت فرسایش ضروری است.

منابع

1. Were, K., Kebeeny, S., Churu, H., Mutio, J. M., Njoroge, R., Mugaa, D., Alkamoi, B., Ng'etich, W., & Singh, B. R. (2023). Spatial prediction and mapping of gully erosion susceptibility using machine learning techniques in a degraded semi-arid region of Kenya. *Land*, 12, 890.
2. Lorenz, K., Lal, R., & Ehle, K. (2019). Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to United Nations' Sustainable Development Goals. *Land Degradation & Development*, 30, 824-838.
3. FAO & ITPS. (2021). Status of the world's soil resources-main report. *Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils*. 650 p.
4. Sun, L., Zhou, J. I., Cai, Q., Liu, S., & Xiao, J. (2021). Comparing surface erosion processes in four soils from the Loess Plateau under extreme rainfall events. *International Soil and Water Conservation Research*, 9, 520-531.
5. Hadi Pour, S., Khairi Abd Wahab, A., & Shahid, S. (2020). Spatiotemporal changes in aridity and the shift of drylands in Iran. *Atmospheric Research*, 233.
6. Jiang, Y., Shi, H., Wen, Z., Guo, M., Zhao, J., Cao, X., Fan, Y., & Zheng, C. (2020). The dynamic process of slope rill erosion analyzed with a digital close range photogrammetry observation system under laboratory conditions. *Geomorphology*, 350.
7. Gharibreza, M., Mehdizadeh, M., Masoumi, H., Asgharipour Dasht-Bozorg, N., & Lotfinasabasl, S. (2022). Ecological risk assessment of the riverine and deltaic environments (Rozechai River, Urmia Lake, Iran), using sediment quality indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(447), 1-12.
8. Nielsen, D. C., Calderon, F. J., Hatfield, J. L., & Sauer, T. J. (2011). Fallow effects on soil. In *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture*. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*, 200 p.
9. Basic, F., Kisic, I., Mesic, M., Nestroy, O., & Butorac, A. (2004). Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil and Tillage Research*, 78, 197-206.
10. Smith, J., Brown, A., & Wilson, T. (2018). Impact of extreme precipitation on soil erosion in sloping lands. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(4), 315-325.
11. Lin, Y., Chen, M., & Zhang, L. (2020). Effect of tillage on soil structure and erosion in hilly agricultural areas. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 512-522.
12. Johnson, R., Martinez, S., & Kim, H., (2019). Climate change implications for extreme rainfall and soil erosion in agricultural terrains. *Environmental Research Letters*, 14(8), 085010.
13. Farooq, M., & Siddique, K. H. M. (2016). Innovations in dryland agriculture.
14. Mueller, E. N., Wainwright, J., Parsons, A. J., & Turnbull, L. (Eds.). (2014). Patterns of land degradation in drylands. *Springer Dordrecht*, 389 p.
15. Noor, H., & Arabkhedri, M. (2021). Analysis of the erosive rainfall event of April 16, 2016, in the Sanganeh research watershed. Technical Journal of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 200 p. [In Persian]
16. Zhang, Y., Huang, C., Zhang, W., Chen, J., & Wang, L. (2021). The concept, approach, and future research of hydrological connectivity and its assessment at multiscales. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 52724-52743.
17. Arabkhedri, M. (2015). Estimating long-term average annual erosion based on erosion measurements from several rainfall events. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, 3(11), 7-15. [In Persian]

18. Noor, H., & Arabkhedri, M. (2020). Sensitivity of runoff and soil loss measured to changes in slope length and direction under natural rainfall in a dry region. *Watershed Management Research Journal*, 11(22), 254-262. [In Persian]
19. Noor, H., Bagherian Kalat, A., & Abbasi, A. A. (2020). Evaluation of sediment production in small watersheds under free grazing and enclosure, case study: Sanganeh Kalat region. *Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(2), 505-513. [In Persian]
20. Gonzalez-Hidalgo, J. C., Batalla, R. J., Cerda, A., & de Luis, M. (2012). A regional analysis of the effects of largest events on soil erosion. *Catena*, 95, 85-90.
21. Wainwright, J., & Parsons, A. J. (2002). The effect of temporal variations in runoff on scale dependency in runoff coefficients. *Water Resources Research*, 38, 1267-1271.
22. Eslami, S. F., & Vaezi, A. R. (2015). Investigation of runoff and sediment production under identical rainfall events in agricultural soil with different aggregate sizes. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 29(6), 1590-1600. [In Persian]
23. Nabaei, M. G., & Ghodousi, J. (2002). Evaluation of land stabilization methods in badlands of the Sefidrud watershed. Final Report of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute Project, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 41 p. [In Persian]
24. Arabkhedri, M., Jafari Ardakani, A., Bayat, R., Shadfar, S., Khajavi, A., Nabipour Lashkarian, S., Mahdian, M. H., Bani-Hashemi, S. A., & Jafarian, M. (2016). Refining estimated soil erosion rates at the national level. Final Report of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute Project, 118 p. [In Persian]
25. Sedighi, F., Khaledi Darvishan, A., & Zare, M. R. (2021). Effect of watershed geomorphological characteristics on sediment redistribution. *Geomorphology*, 375, 107559.
26. Soufi, M., Bayat, R., & Charkhabi, A. H. (2021). Gully erosion in I. R. Iran: Characteristics, processes, causes, and land use. In P. K. Shit et al. (Eds.), *Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions, Advances in Science, Technology and Innovation*, 357-368.
27. Arabkhedri, M. (2021). Status of water erosion and sedimentation in Iran: A statistical and comparative analysis. *Strategic Research in Agricultural and Natural Resources Sciences Biannual*, 6(2), 139-156. [In Persian]
28. Amini, M., Jafari, A., & Gassemezadeh, F. (2021). Floristics study of Assadli. Rakhtian region in Bojnourd (North Khorassan province). *Plan Ecosystem Conservation*, 9(18), 37-67. [In Persian]
29. Moradi, H. R., Asadi, A. M., Arzani, H., & Hossini, S. M. (2007). Determination of land use and ecological capability of Asadly watershed using GIS. *Journal of Rangeland*, 1(2), 170-181. [In Persian]
30. Zand, M., Miri, M., & Kousari, M. R. (2023). Detecting climate change in Lorestan province using extreme indices. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 27-41. [In Persian]
31. Miri, M., Rahimi, R., (2015). Spatial and temporal trend analysis of temperature parameters in Iran. *Geographical Journal of Territory*, 12(47), 65-79. [In Persian]
32. Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., Thurner, K., (2009). Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374, 171-183.
33. Vianney Nsabiyumva, J. M., Apollonio, C., Castelli, G., Petroselli, A., Sabir, M., & Preti, F. (2023). Agricultural practices for hillslope erosion mitigation: A case study in Morocco. *Water*, 15, 2120.
34. Shen, Y., Gu, J., Liu, G., Wang, X., Shi, H., Shu, C., Zhang, Q., Guo, Z., & Zhang, Y. (2023). Predicting soil

- erosion and deposition on sloping farmland with different shapes in northeast China by using ^{137}Cs . *Catena*, 229, 107238.
35. Ao, C., Zeng, W., Yang, P., Xing, W., Lei, G., Wu, J., & Huang, J. (2021). The effects of slope shape and polyacrylamide application on runoff, erosion and nutrient loss from hillslopes under simulated rainfall. *Hydrological Processes*, 35, e14130.
36. Vaezi, A. R., Bayat, H., & Rahmati, S. (2017). Analysis of the effect of consecutive rainstorms on soil properties, surface runoff production, and soil loss in soils with different stability in small plots. *Water and Soil Resources Conservation*, 7(2), 53-66. [In Persian]
37. Duiker, S. W., Flanagan, D. C., & Lal, R. (2001). Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45(2), 103-121.
38. Oliveira, J. R. D., Pinto, M. F., Souza, W. D. J., Guerra, J. G., & Carvalho, D. F. D. (2010). Water erosion in a Yellow-Red Ultisol under different patterns of simulated rain. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(2), 140-147.
39. Willy, K. N. (2011). The role of the aggregate size in soil resistance and decrease erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 10(15), 111-120.
40. Koozegaran, S., & Mousavi Baigi, M. (2015). Investigation of meteorological extreme events in the north-east of Iran. *Journal of Water and Soil*, 29(3), 764-750. [In Persian]
41. Ahmadi, M. H., Lashkari, M., Azadi, M., & Keykhosravi, G. (2015). Detecting climate change using extreme precipitation indices in Greater Khorasan. *Earth Sciences Research*, 23(6), 34-52. [In Persian]
42. Mohammadi, H., Azizi, G., Khoshahklagh, F., & Ranjbar, F. (2017). Analysis of daily precipitation extreme indices trend in Iran. *Physical Geography Research*, 49(1), 21-37. [In Persian]
43. Hedjazizadeh, Z., Halabian, A. H., Karbalaee, A., & Toulabi, M. (2020). Detection of extreme values variations of precipitation over Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 23(9), 135-150. [In Persian]
44. Zand, M., Miri, M., & Kousari, M. (2023). Detection of climate change in Lorestan Province using climate extreme indices. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 27-41. [In Persian]
45. Klein Tank, A. M. G. (2006). Changes in daily temperature and precipitation extremes in Central and South Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111.
46. Im, E. S., Jung, I. W., & Bae, D. H. (2011). The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. *International Journal of Climatology*, 31(1), 72-86.
47. Jones, M. R., Fowler, H. J., Kilsby, C. G., & Blenkinsop, S. (2012). An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 and 2009. *International Journal of Climatology*, 33(5), 1178-1194.