



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 13
No. 2 (50)**

Received:
2023-06-03

Accepted:
2023-07-18

Pages: 95-108



Role of Biological Measures in Soil Erosion Processes using InVEST Model in the Sharghong Watershed, South Khorasan, Iran

Reza Chamani¹, Sahar Mostafaei Younjali² and Seyed Hamid Reza Sadeghi^{3*}

- 1) Former Ph.D., Ph.D. Student, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
2) M.Sc. Student, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
3) Professor (Corresponding author), Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
*Corresponding author email: sadeghi@modares.ac.ir

Abstract:

Introduction and Aim: Ecosystems nowadays play a unique role in meeting human demands and offering a variety of services to their stakeholders. However, occurrence of various happening, including population increase and rising demand for basic human requirements, have created problems for Ecosystem Services (ES). As a result, land degradation is a significant environmental issue that is impacted by a variety of elements and factors. Soil conservation and erosion prevention can benefit from management and conservation measures, as well as the development of plant cover in a watershed. Therefore, an effort has been made in this study to assess how the Sharghong Watershed in Southern Khorasan, Iran, and its biological and management activities affect soil erosion at various rainfall intensities.

Method: The Sharghong Watershed, with an area of 94.87 km^2 , is located in Birjand Township, South Khorasan Province, Iran. The mean annual precipitation in the watershed is approximately 210 mm . Due to its steep slopes in the eastern and southeastern parts, the presence of residential areas and barberry orchards in the floodplain, and intense precipitation in the spring, the Sharghong Watershed has a good potential for flooding. For evaluating the role of biological restoration operations in soil erosion processes in study watershed InVEST Model was used. Annual precipitation data from the Qaen, Birjand, Mousavieh, and Mansourabad stations were utilized for the period between 2002 and 2020, with return periods of 2, 5, 10, and 50 years, to generate the inputs for the InVEST model. The erosivity, erodibility, crop management and land maintenance factor were then determined.

Results: The maximum rainfall erosivity index (R) values for return periods of 2, 5, 10, and 50 years were 47.08, 63.68, 85.01, and 98.94 $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectively. The minimum values of R for the same return periods were 42.88, 56.68, 74.47, and 85.85 $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectively. The annual sediment yield for return periods of 2, 5, 10, and 50 years were 6699.27, 9024.56, 17452.27, and 20862.30 t, respectively. Following the implementation of the management scenario in different sub-watersheds, sediment yield reached 6439.39, 8668.37, 16892.94, and 17390.87 t, respectively. The obtained results indicated reductions of 3.9, 3.9, 3.2, and 1.7%, respectively, for return periods of 2, 5, 10, and 50 years.

Conclusion: In this research, the role of biological management in controlling erosion and sedimentation in the Sharghong Watershed during the different return periods of rainfall has been evaluated. The results of the research indicate that with the increase in the intensity of rainfall, in the current land use, the amount of erosion and sedimentation has increased, but with the application of management scenarios at the level of different sub-catchment, erosion and sedimentation has slightly decreased during the different return periods of rainfall. Due to the fact that the intensity of rainfall in the region plays an important role in creating erosion and its effect is intensified by the combination of sloping lands, the principled use of land in accordance with its potential can play an effective role in preventing land degradation. Therefore, the approaches of this research can be beneficial for providing a suitable management model for managers, operators and beneficiaries of watersheds.

Keywords: Ecosystem Services, Integrated Watershed Management, Simulation for Watershed Management, Land Degradation



نقش اقدامات زیستی بر فرآیند فرسایش خاک با استفاده از مدل InVEST در حوزه آبخیز شارقنج، خراسان جنوبی

رضا چمنی^۱، سحر مصطفایی یونجالی^۲ و سیدحمیدرضا صادقی^{۳*}

(۱) دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.
(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.
(۳) استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.
* ایمیل نویسنده مسئول: sadeghi@modares.ac.ir

چکیده:

مقدمه و هدف پژوهش: امروزه بومسازگان‌ها نقش بی بدیلی در تأمین نیازهای انسانی و ارائه خدمات متنوع به ذی‌نفعان خود برعهده دارند. اما بروز پدیده‌های متعدد از جمله افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای رفع نیازهای انسانی، خدمات بومسازگان (ES) را با مشکل مواجه ساخته است. از این رو، تخریب زمین یک مسئله مهم محیط‌زیستی است که تحت تأثیر عناصر و عوامل مختلفی قرار دارد. برهمین اساس اقدامات مدیریتی و حفاظتی و استقرار پوشش گیاهی در یک آبخیز می‌تواند نقش ارزشمندی در حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش ایفا نماید. لذا در این پژوهش سعی شده است نقش عملیات زیستی و مدیریتی حوزه آبخیز شارقنج خراسان جنوبی بر فرسایش خاک در شدت‌های مختلف بارندگی مورد ارزیابی قرار گیرد.

روش پژوهش: حوزه آبخیز شارقنج با مساحت ۹۴/۸۷ کیلومتر مربع در شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه آبخیز نیز حدود ۲۱۰ میلی‌متر است. حوزه آبخیز شارقنج به دلیل دارا بودن شیب زیاد در قسمت شرق و جنوب شرق، قرارگیری مناطق مسکونی و اراضی باغی در حریم و بستر رودخانه و رژیم بارشی شدید در بهار از پتانسیل سیل‌خیزی خوبی برخوردار است. برای ارزیابی نقش عملیات اصلاحی زیستی بر فرآیند فرسایش خاک در حوزه آبخیز مطالعاتی از مدل InVEST استفاده شد. برای آماده‌سازی ورودی‌های مدل از داده‌های بارندگی سالیانه ایستگاه‌های قائن، بیرجند، موسویه و منصورآباد برای دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ و برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال استفاده شد. در ادامه عامل‌های فرسایش‌پذیری باران، فرسایش‌پذیری خاک، مدیریت پوشش و عامل حفاظت زمین تعیین شد.

یافته‌های پژوهش: بیشینه مقادیر شاخص فرسایش‌پذیری باران در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال به ترتیب ۴۷/۰۸، ۶۳/۶۸، ۸۵/۰۱ و ۹۸/۹۴ و کمینه این عامل در همان دوره بازگشت‌ها به ترتیب ۴۲/۸۸، ۵۶/۶۸، ۷۴/۴۷ و ۸۵/۸۵ مگازول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت تعیین شد. هم‌چنین مقدار رسوب تولیدشده در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال به ترتیب ۶۶۹۹/۲۷، ۹۰۲۴/۵۶، ۱۷۴۵۲/۲۷ و ۲۰۸۶۲/۳۰ تن بوده که بعد از اعمال سناریوی مدیریتی به ترتیب به ۶۴۳۹/۳۹، ۸۶۶۸/۳۷، ۱۶۸۹۲/۹۴ و ۱۷۳۹۰/۸۷ تن کاهش یافته است. نتایج به دست آمده بر کاهش ۳/۹، ۳/۹، ۳/۲ و ۱/۷ درصد به ترتیب برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال دلالت دارد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش نقش مدیریت زیستی در کنترل فرسایش و رسوب در سطح حوزه آبخیز شارقنج در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که با افزایش شدت بارندگی، در کاربری فعلی، میزان فرسایش و رسوب افزایش یافته است اما با اعمال سناریوهای مدیریتی در سطح زیرآبخیزهای مختلف، فرسایش و رسوب در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی، کمی کاهش یافته است. با توجه به این‌که شدت بارندگی در منطقه نقش مهمی در ایجاد فرسایش ایفا می‌کند و اثر آن با ترکیب اراضی شیب دار تشدید می‌شود، استفاده اصولی و متناسب با توان اراضی، می‌تواند نقشی مؤثری در پیش‌گیری از تخریب زمین داشته باشد. لذا رهیافت‌های این پژوهش می‌تواند برای ارائه الگوی مدیریتی مناسب برای مدیران، بهره‌برداران و ذی‌نفعان حوزه‌های آبخیز سودبخش باشد.

کلمات کلیدی: تخریب زمین، خدمات بومسازگان، شبیه‌سازی در آبخیزداری، مدیریت جامع حوزه آبخیز



مقدمه

امروزه بوم‌سازگان‌ها^۱ نقش بی‌بدیلی در تأمین نیازهای انسانی و ارائه خدمات متنوع به ذی‌نفعان خود بر عهده دارند. اما بروز رخدادهای متعدد از جمله افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای رفع نیازهای انسانی، خدمات بوم‌سازگان^۲ (ES) را با مشکل مواجه ساخته است (Hu et al., 2023). خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای آبخیزها نقش قابل توجهی در ارائه خدمات از سوی بوم‌سازگان‌های مختلف به انسان دارد؛ به طوری که در قرن ۲۱ خاک سالم پایه و اساس تأمین‌کننده نیازهای بشر عنوان شده است (Keesstra et al., 2016; Robinson et al., 2017). از این رو، تخریب زمین یک مسئله مهم محیط‌زیستی است که تحت تأثیر عناصر و عوامل مختلفی قرار دارد (Mihai et al., 2019). در این میان فعالیت‌های انسانی از قبیل تشدید کشاورزی، چرای بی‌رویه و جنگل‌زدایی نقش غیرقابل انکاری را در تخریب خاک و بروز فرسایش دارند (Ghosh et al., 2023). فرسایش خاک سبب از بین رفتن خاک سطحی غنی از مواد غذایی، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش آب در دسترس گیاهان، کاهش کیفیت آب، افزایش رسوب رودخانه‌ها، کاهش جذب کربن دی‌اکسید، آسیب به سازه‌های مهندسی آب و حمل و نقل، بروز مشکلات محیط‌زیستی و اقتصادی و همچنین برهم خوردن توسعه پایدار و خدمات بوم‌سازگان و کاهش سلامت عمومی انسان‌ها می‌شود (Sidi Almouctar et al., 2021; Ghosh et al., 2023; Negese et al., 2021; Li et al., 2023). لذا اقدامات مدیریتی و حفاظتی در یک حوزه آبخیز می‌تواند نقش ارزشمندی در حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش ایفا نماید (Abdelsamie et al., 2023). استقرار پوشش گیاهی یکی از جمله اقدامات حفاظتی است که امروزه از توجه بسیاری برخوردار است. در واقع، در مقایسه با شرایط بایر در همان تغییرات آب و هوایی، کاربری متناسب با شرایط منطقه می‌تواند رواناب سطحی و از دست دادن خاک را کاهش دهد (Vatandaşlar and Yavuz, 2023). بنابراین، کنترل فرسایش به عنوان یک خدمت بوم‌سازگان ضروری، به ویژه در کشورهای مستعد فرسایش در نظر گرفته می‌شود (Akgöz et al., 2022; Aytop and Shenol, 2022). کمی‌سازی ES برای عملیاتی‌کردن مفهوم ES در چارچوب برنامه‌ریزی مدیریت بسیار مهم است (Baskent, 2020; Caglayan et al., 2021; Tiemann and Ring, 2022). این کمی‌سازی اغلب با اندازه‌گیری‌های مستقیم روی زمین و یا اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم از طریق سنجش از راه دور و یا ابزارهای مدل‌سازی انجام می‌شود (Knöke et al., 2021). روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و ارزیابی توزیع جغرافیایی تلفات خاک در عملکرد بوم‌سازگان‌ها ارائه شده است. در این راستا مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST از جمله

پرکاربردترین مدل‌هاست (Sharp et al., 2018). ارزیابی رسوب در مدل بوم‌سازگان InVEST بر پایه مدل فرسایش جهانی خاک اصلاح شده (RUSLE) بنا شده است که یک مدل تجربی فرسایش خاک (Wischmeier and Smith, 1978; Hagsras, 2023) و از متداول‌ترین روش‌های کاربردی و مورد استفاده در منطقه اقلیم مدیترانه‌ای به شمار می‌آید. مدل RUSLE می‌تواند یک طبقه‌بندی متوسط سالیانه از هدررفت خاک برای یک آبخیز را برای انواع شبیه‌سازی‌های مستلزم سامانه‌های مختلف کشت، راهبردهای مدیریت و فن‌های پایش فرسایش خاک محاسبه کند (Angima et al. 2003; Vaezi and Sadeghi, 2011; Hagsras, 2023). استفاده از مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST و همچنین روش RUSLE فرسایش خاک در آبخیزها را بررسی کرده‌اند. به طور نمونه اسدالهی^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در شرق حوزه آبخیز گرانرود با استفاده از مدل InVEST بیان داشتند میزان هدررفت خاک از صفر تا ۷۵ تن در سال در سطح سلول و نگهداشت رسوب از ۰/۵ تا ۳۹۱۶ تن بر هکتار بر سال تغییرپذیر است. ذبیحی^۴ و همکاران (۲۰۲۱) نیز با اولویت‌بندی زیرآبخیزهای حوزه آبخیز تالار با مدل InVEST بیان داشتند میزان هدررفت، نگهداشت و تولید رسوب سالیانه به ترتیب ۶۵۲۶۸۳، ۷۵۷۵۸۸ و ۵۷۴۲۶ تن است. در پژوهشی دیگر عبدالسمی^۵ و همکاران (۲۰۲۳) با ادغام مدل RUSLE و فن‌های سنجش از دور و GIS برای ارزیابی خطرات فرسایش خاک در مناطق خشک المینیا^۶ در مصر بیان داشتند طبقات میزان فرسایش سالیانه منطقه شامل فرسایش خفیف، کم، متوسط و متوسط روبه بالا به ترتیب با درصد‌های ۱۸، ۳۳ و ۲۰ است. مهم‌ترین عوامل اصلی فرسایش در منطقه نیز پوشش گیاهی کم و مقادیر شیب زیاد تعیین شد. همچنین گوش^۷ و همکاران (۲۰۲۳) با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با مدل RUSLE به برآورد فرسایش خاک در حوزه آبخیز مایورکشی^۸ در هند پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد تلفات سالیانه خاک در این حوزه آبخیز ۴۶۲۹۷۱۴/۸ تن است. بر این اساس، فرسایش خاک در آبخیز مورد مطالعه از بسیار کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. لی^۹ و همکاران (۲۰۲۳) نیز با ارزیابی سناریوهای حفاظتی و غیرحفاظتی (شرایط طبیعی) زمین در آبخیز رودخانه زرد چین با استفاده از مدل RUSLE نشان دادند بیش‌ترین فرسایش خاک در سال ۲۰۰۰ رخ داده و سپس تا سال ۲۰۲۰ فرسایش کاهش یافته است. بر این اساس با استفاده از سناریوی توسعه طبیعی و تحت سناریوی حفاظت از جنگل‌ها و مراتع می‌توان به ترتیب ۱۹۷۸ کیلومتر مربع و ۲۴۰۷ کیلومتر مربع سطح جنگل‌ها و مراتع را افزایش داد که سبب کاهش فرسایش خاک تا ۲۴/۶ درصد شود.

روش پژوهش

لایه‌های ورودی و آماده‌سازی مدل InVEST

ورودی‌های مدل InVEST بر پایه مدل RUSLE و شامل لایه‌های فرساینده‌گی باران^{۱۱}، فرسایش‌پذیری خاک^{۱۱}، مدیریت پوشش^{۱۲} و اقدامات حفاظتی^{۱۳} به صورت تشریح‌شده در زیر است. برای تخمین میزان رسوب برای آماده‌سازی ورودی‌های مدل InVEST از داده‌های بارندگی سالیانه ایستگاه‌های قائن، بیرجند، موسویه و منصورآباد برای دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ استفاده شد (شکل ۱). سپس برای بررسی تغییرات مربوط به ورودی‌های اصلی مختلف ابتدا با استفاده از روش Weibull مقدار بارندگی برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال تعیین شد. در ادامه عامل‌های فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، مدیریت پوشش، اقدامات حفاظتی، طول و تندی شیب تعیین شد. همچنین برای تعیین اثر مدیریت کاربری اراضی، از کاربری حاضر و عملیات زیستی ارائه‌شده از سوی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی استفاده شد.

کاربری اراضی و عملیات اصلاحی

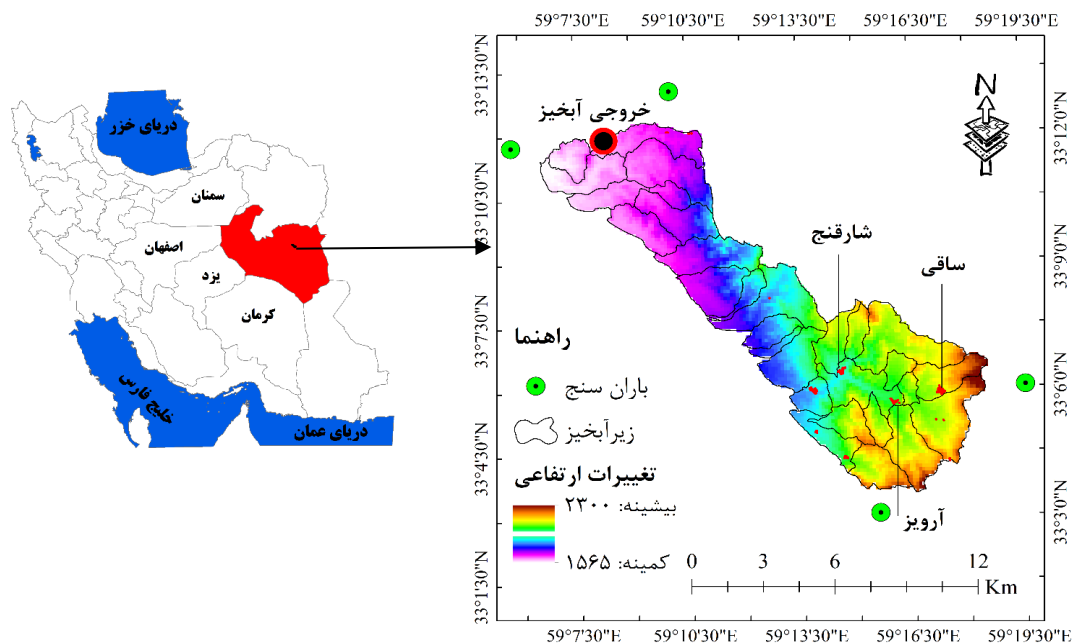
شکل ۲ نقشه کاربری اراضی حاضر (الف) و عملیات اصلاحی (ب) را نشان می‌دهد. نقشه کاربری اراضی از مطالعات پوشش گیاهی حوزه آبخیز شارقنچ تهیه و با نرم افزار گوگل ارث^{۱۴} بروز رسانی شد. صحت و دقت نقشه مزبور نیز با بازدید صحرایی در حوزه آبخیز ارزیابی و تأیید شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود

نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دهد تغییر در کاربری‌های اراضی در جهت کسب منافع کوتاه مدت بیش‌تر و بهره‌کشی بیش از توان اراضی سبب شده است تا تخریب شدید خاک علاوه بر کاهش بهره‌وری، تولید و انباشت رسوب در بخش‌های مختلف حوزه‌های آبخیز را در پی داشته باشد. در همین راستا استفاده از اراضی برحسب توان و استعداد آن‌ها و همچنین احیا و حفظ پوشش گیاهی می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از فرسایش خاک و اثرات سوء آن بر ارائه خدمات از سوی بوم‌سازگان‌های مختلف داشته باشد. لذا در این پژوهش سعی شده است نقش عملیات زیستی و مدیریتی حوزه آبخیز شارقنچ خراسان جنوبی بر فرسایش خاک در شدت‌های مختلف بارندگی مورد ارزیابی قرار گیرد.

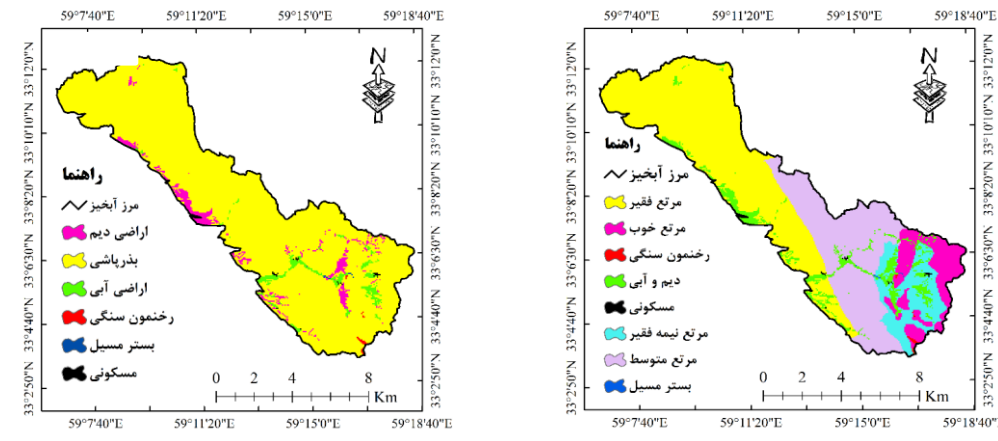
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شارقنچ با مساحت ۹۴/۸۷ کیلومترمربع در شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه آبخیز نیز حدود ۲۱۰ میلی‌متر است. حوزه آبخیز شارقنچ به دلیل دارا بودن شیب زیاد در قسمت شرق و جنوب شرق، قرارگیری مناطق مسکونی و اراضی باغی در حریم و بستر رودخانه و رژیم بارشی شدید در بهار از پتانسیل سیل‌خیزی خوبی برخوردار است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (چمنی و همکاران، ۱۴۰۱).



شکل ۱. موقعیت و تغییرات ارتفاعی در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی موجود (راست) و بهینه (چپ) در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی

پوشش گیاهی عامل بسیار تأثیرگذار در فرسایش خاک است. پوشش گیاهی از برخورد قطرات باران به سطح خاک جلوگیری می‌کند و انرژی قطرات باران را قبل از رسیدن به سطح خاک از بین می‌برد. مقدار C به نوع پوشش گیاهی، مرحله رشد آن و درصد پوشش گیاهی بستگی دارد (Ghosal and Das Bhattacharya, 2020). از این رو، عامل C برای روشن شدن نتیجه محصولات کشاورزی و سایر شیوه‌های مدیریتی بر شدت فرسایش استفاده می‌شود. لذا از آن برای اندازه‌گیری میزان کارآمدی راهبردهای مختلف مدیریت خاک و محصول در جلوگیری از تخریب خاک نیز بهره‌جسته می‌شود. به طور کلی عامل C نشان‌دهنده میزان حفظ خاک توسط پوشش گیاهی است، جایی که پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در کند کردن روند فرسایش آبی دارد. یکی از پرکاربردترین ابزارها برای تعیین عامل C، شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI^{۱۷}) است (Lin et al. 2002). در این روش، داده‌های NDVI تولیدشده توسط ماهواره Landsat 9 (داده‌های USGS) در می ۲۰۲۱ با وضوح ۳۰ متر برای شناسایی عامل C و نشان دادن چگونگی تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر فرسایش خاک مورداستفاده قرار گرفت. همچنین برای تعیین عامل C برای عملیات اصلاحی از تصویر ماه می سنجنده Landsat 5 برای سال ۲۰۰۵ با بیش‌ترین بارندگی و در نتیجه بیش‌ترین پوشش گیاهی در منطقه استفاده شد. برای محاسبه شاخص NDVI از اختلاف بین باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و نوار قرمز (RED) و مجموع این دو باند با استفاده از رابطه (۴) استفاده شد (Hagras, 2023). شاخص C نیز از رابطه (۵) تعیین شد (Zabihi et al., 2021).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$C = \frac{1-NDVI}{2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

بخش زیادی از وسعت حوزه آبخیز شارقنچ را مراتع و به خصوص مراتع فقیر تشکیل داده‌اند. در کاربری بهینه پیشنهاد شده از سوی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی، عملیات بذریاشی^{۱۵} و کنتورفارو^{۱۶} پیشنهاد شده بود که باتوجه به هزینه‌بر بودن انجام عملیات کنتوفارو و عدم اجرای آن، صرفاً تمام عملیات اصلاحی، بذریاشی در نظر گرفته شد.

عامل فرساینده‌گی باران (R)

عامل فرساینده‌گی بارندگی (R) یکی از مهم‌ترین عناصر مؤثر بر میزان فرسایش خاک در مناطق مختلف در سراسر جهان است (Hermassi et al. 2017). علاوه بر این، عامل R میانگین سالیانه مجموع رویدادهای انرژی جنبشی بارندگی است که تأثیر بارندگی و رواناب را کمی می‌کند (Chatterjee et al. 2014). با این حال، عامل R معیاری است که اثر بارندگی و همچنین کمیت و سرعت رواناب ناشی از رویدادهای بارندگی را ارزیابی می‌کند. بنابراین، عامل R نیز تحت تأثیر الگوسازی، توزیع جغرافیایی، شدت و انرژی جنبشی و همچنین اندازه قطرات قرار می‌گیرد (Carollo et al. 2018; Hagras, 2023). در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی به داده‌های شدت بارندگی، از متوسط بارندگی روزانه ایستگاه‌های منتخب (شکل ۱) برای دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ استفاده شد. به این منظور ابتدا با استفاده از رابطه (۲) شاخص فرساینده‌گی بر حسب مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت برای مدل Roose (Roose, 1997) بر اساس متوسط بارندگی سالیانه (P*) محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه (۳) شاخص فرساینده‌گی باران سالیانه (R_{WS}) محاسبه شد (Sadeghi and Tavangar, 2015).

$$R_R = [0.5 + 0.05P^*] \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$R_{WS} = 6.5R_R + 1.52 \quad \text{رابطه (۳)}$$

عامل مدیریت پوشش (C)

در این رابطه، M حاصل ضرب (درصد شن+درصد لای) در (درصد رس-۱۰۰)، OM درصد ماده آلی، S رده ساختمان و P رده نفوذپذیری خاک است (Zabihi et al., 2021). ورودی‌های مورد نیاز این عامل نیز با استفاده از اطلاعات منطقه‌ای و نقشه خاک برآورد شد.

انواع رسوب برآوردی مدل

در این پژوهش از سه مقدار رسوب مستخرج از مدل استفاده شده است. نوع اول میزان کل رسوب تولیدی است که به تمام رسوب تولید شده از سطح آبخیز اطلاق و به رسوب کل شناخته می‌شود. نوع دوم رسوب ته‌نشین‌شده در سطح آبخیز است که پس از فرسایش در سطح حوزه آبخیز به دلایل مختلف از جمله وجود پوشش گیاهی و ریزپستی‌وبلندی‌ها و یا هر مانع دیگری رسوب کرده است و به آبراه منتقل نمی‌شود. نوع سوم آن رسوب خروجی است که پس از تولید، در سطح زمین رسوب نکرده و به همراه جریان آب وارد آبراه اصلی می‌شود.

نتایج و بحث

عامل‌های مؤثر بر فرسایش

در شکل ۳ شاخص فرساینده‌گی باران برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دوره بازگشت، میزان عامل فرساینده‌گی باران نیز افزایش می‌یابد. بیشینه مقادیر شاخص فرساینده‌گی باران در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال به ترتیب ۰۸/۴۷، ۰۱/۸۵، ۰۴/۹۸ و ۰۱/۸۵ مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت برآورد شد. این در حالی است که کمینه این عامل در همان دوره بازگشت‌ها به ترتیب ۰۸/۴۲، ۰۶/۵۶، ۰۷/۷۴ و ۰۵/۸۵ مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت تعیین شد. همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود با افزایش مقدار بارندگی، فرساینده‌گی باران نیز افزایش یافته است. هم‌چنین عامل فرساینده‌گی باران رابطه مستقیمی با ارتفاع داشته و با افزایش ارتفاع در مناطق جنوب و شرق آبخیز شارفتنج، فرساینده‌گی باران افزایش و در مناطق دشتی کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. مطالعات مزبانی و همکاران (۱۴۰۰) در حوزه آبخیز سیکان نیز مؤید آن است که عامل فرساینده‌گی باران با افزایش ارتفاع و حجم بارندگی رابطه مستقیم داشته است. هم‌چنین مطالعات بابایی و همکاران (۱۳۹۵) در حوزه آبخیز کن نیز بیان‌کننده آن است که با افزایش ارتفاع، عامل فرساینده‌گی باران از مقدار بیش‌تری برخوردار است.

عامل حفاظتی (P)

عامل حفاظتی (P) اثر اقداماتی است که فرسایش خاک در مقایسه با شرایط بدون اعمال رهیافت‌های مدیریتی را ارزیابی می‌کند. کشت روی خطوط تراز، تراس‌بندی، کشت در شیب متقاطع و کشت نواری می‌تواند تأثیر رواناب را کاهش دهد و در نتیجه فرسایش خاک را به حداقل برساند (Okenmuo et al., 2023). عامل حفاظتی (P) میزان تلفات خاک را بر اساس عمل کشاورزی نشان می‌دهد. برای مهار فرسایش سه روش مانند کشت روی خطوط تراز، کشت و تراس و عناصر حیاتی وجود دارد (Park و همکاران ۲۰۰۵). مقادیر P از صفر تا ۱ متغیر است. برای این پژوهش از مقادیر P استفاده شده در مطالعات قبلی به سبب به شباهت اقدامات انجام‌شده در کاربری‌های مختلف استفاده شد (Kumar and Kushwaha, 2013; Thapa, 2020). با توجه به اینکه عملیات کنترلفارو پیشنهاد شده هزینه زیادی لازم دارد و احتمال اجرای آن کم است، در این پژوهش، عملیات زیستی به طور کلی بذریاشی در نظر گرفته شد و لذا از تغییر عامل P صرف نظر شده است.

عامل توپوگرافی

عامل توپوگرافی ترکیب عامل‌های طول شیب (L) و تندی شیب (S) است که به صورت LS نشان داده می‌شود. با افزایش طول شیب، مقدار و سرعت رواناب تجمعی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش تندی شیب زمین، سرعت رواناب افزایش می‌یابد که به فرسایش کمک می‌کند. در مطالعه حاضر، DEM با وضوح فضایی ۳۰ متر به دست آمده از پایگاه USGS رویکرد توسعه یافته توسط Moore و همکاران (۱۹۸۶) (معادله ۶) در ArcGIS 10.8 برای تخمین عامل LS استفاده شد. در رابطه (۶) λ تجمع جریان \times وضوح سلول (DEM) و θ زاویه شیب بر حسب درجه است (Okenmuo et al., 2023).

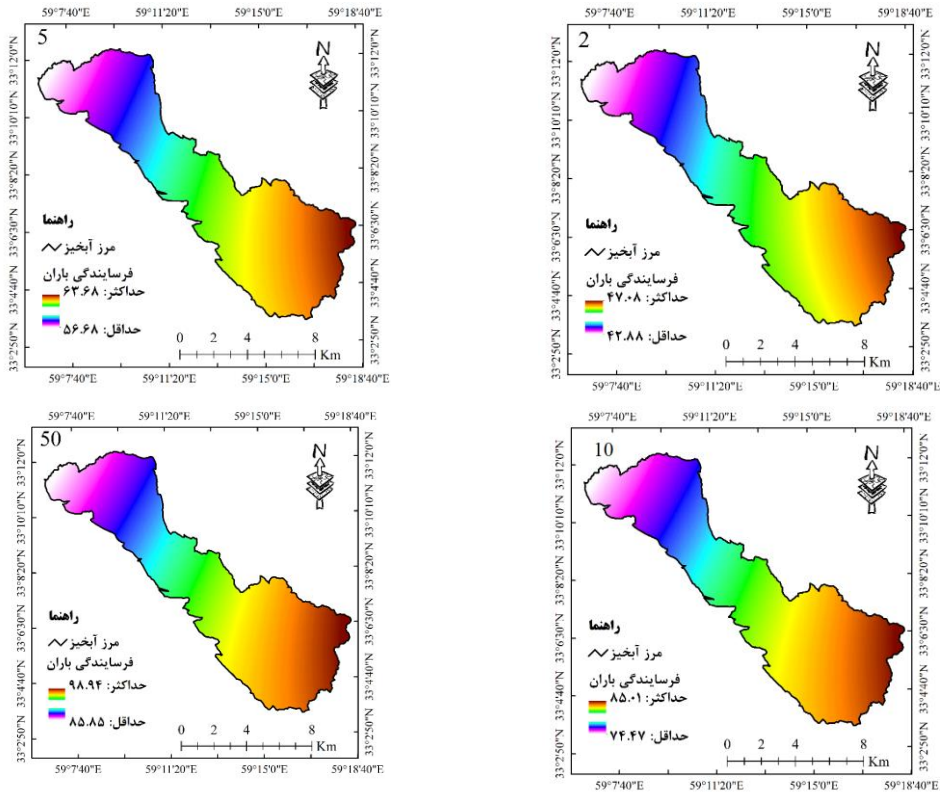
$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{0.4} * \left(\frac{0.01745 \sin \theta}{0.0896}\right)^{1.4} * 1.4 \quad (6)$$

عامل فرسایش‌پذیری خاک

فرسایش‌پذیری خاک نیز یکی دیگر از عامل‌های مهم تأثیرگذار بر فرسایش است که در این پژوهش از رابطه (۷) محاسبه شد.

رابطه (۷)

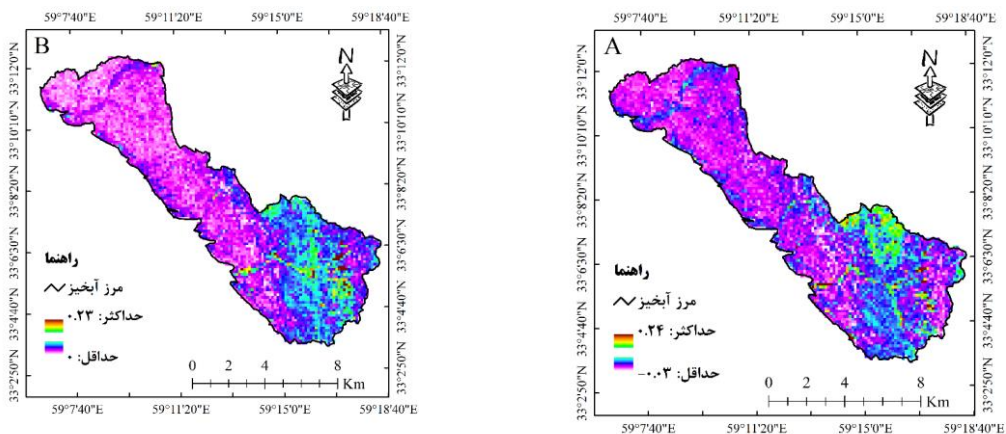
$$100K = 2.1M^{1.114} * 10^{-4} * (12 - \%OM) + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)$$



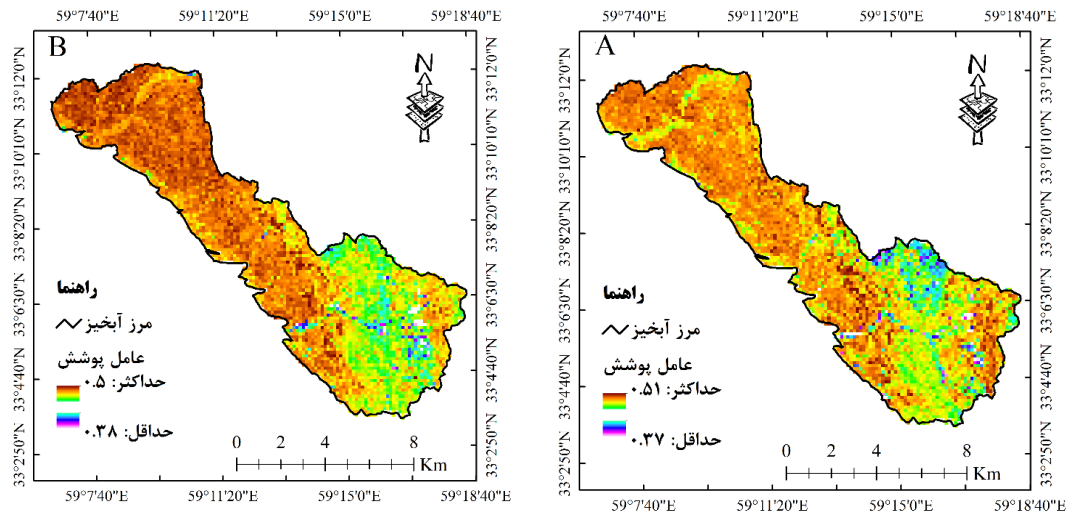
شکل ۳. نقشه شاخص فرسایش باران در دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی

حوزه آبخیز شارقنچ است. با تغییر در شاخص NDVI، شاخص C نیز تغییر کرده است. اگرچه حدود کمینه و بیشینه این شاخص تغییر چندانی نداشته اما پراکنش مکانی آن دستخوش تغییرات است که در شکل ۵ نشان داده شده است. به طور کلی افزایش تراکم پوشش گیاهی و در پی آن، کاهش عامل C نقش مؤثری بر مهار فرسایش و جلوگیری از هدررفت خاک دارد. فرسایش‌پذیری خاک نیز عامل دیگری بود که در حوزه آبخیز شارقنچ برای تعیین هدررفت خاک محاسبه شد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده این شاخص در بازه صفر تا ۰/۱۱ متغیر بوده است. بیش‌ترین میزان فرسایش‌پذیری خاک در

برای تعیین نقش پوشش گیاهی در کاهش هدررفت خاک از شاخص C استفاده شد. برای این منظور، ابتدا شاخص NDVI برای کاربری حاضر (A) و عملیات اصلاحی (B) تعیین شد (شکل ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص NDVI در کاربری حاضر از ۰/۰۳- تا ۰/۲۴+ را به خود اختصاص داده است که در عملیات اصلاحی این مقدار از ۰/۰۳- به صفر در حالت کمینه افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی در سطح زمین است. حداکثر شاخص NDVI پس از اعمال سناریوهای مدیریتی به میزان ۰/۱ کاهش را نشان می‌دهد که ناشی از کاهش تراکم باغ‌های زرشک در سال ۱۳۹۴ در



شکل ۴. نقشه NDVI موجود (راست) و بهینه (چپ) در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی



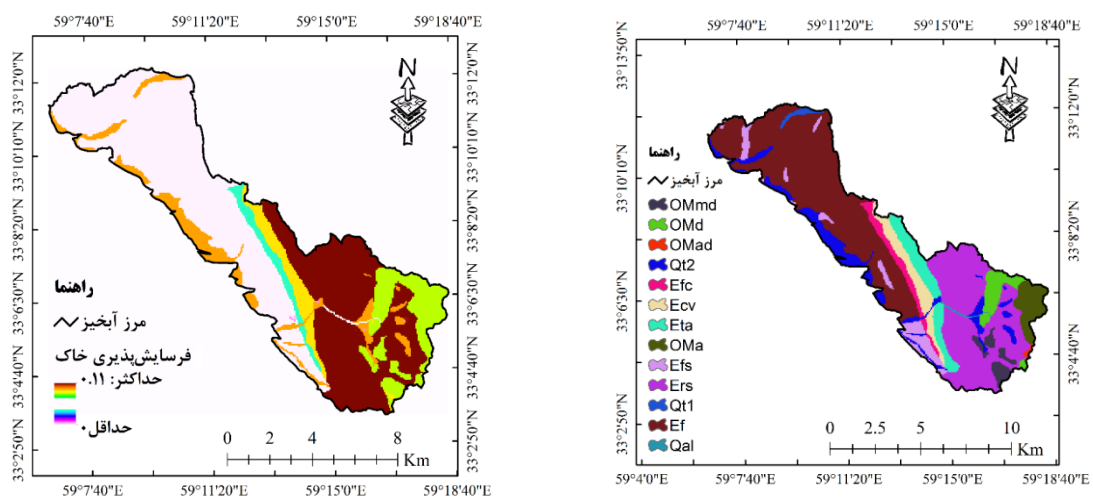
شکل ۵. نقشه عامل پوشش موجود (راست) و بهینه (چپ) در حوزه آبخیز شارقنج، خراسان جنوبی

است. رسوب تخمینی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود میزان کل رسوب تولیدشده در آبخیز شارقنج در بازه ۱۸۰۸/۹ تا ۳۹۹۱۵/۷ تن در زیرآبخیزهای مختلف برآورد شده است. با توجه به نقش پوشش گیاهی در بازدارندگی حمل رسوب، بخش زیادی از رسوب در سطح آبخیز ته‌نشین شده و به رودخانه نرسیده است. لذا از کل رسوب تولیدشده در بیش‌ترین حالت، ۶۱۸۵/۴۳ تن به رودخانه منتقل شده است. این در حالی است که در شرایط استفاده از سناریوی اصلاحی، میزان کل رسوب تولیدی ۳۸۸۵۷/۸ تن در سطح آبخیز برآورد شده است و تنها ۵۱۲۰/۵۱ تن توانسته است با استفاده از رواناب به رودخانه انتقال یابد.

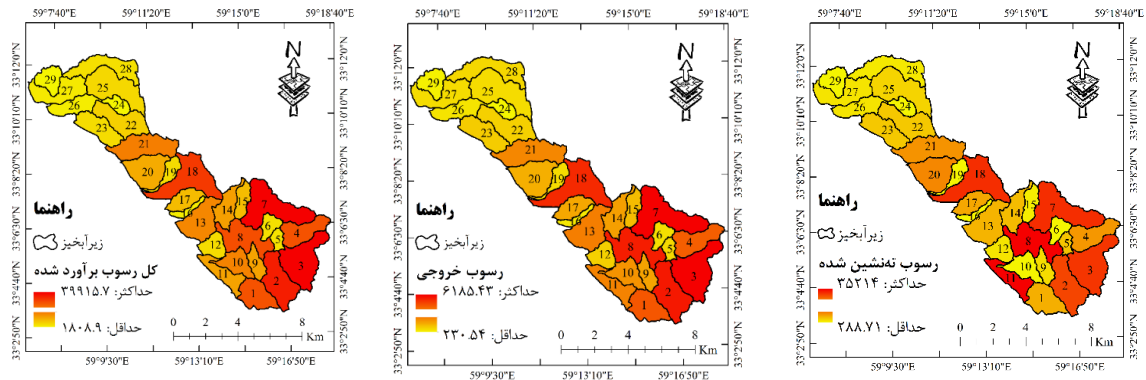
ارتفاعات آبخیز در بخش شمال شرقی دیده می‌شود. با توجه به شکل ۶، بیش‌ترین میزان فرسایش‌پذیری خاک در سازند Ef متشکل از واحدهای فیلیسی بلوک شرق ایران رخ داده است. این سازند از لایه‌های متناوب شیل و ماسه سنگ تشکیل شده است و فرسایش‌پذیری بالایی دارد. مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۹۷) در سطح کشور نیز نشان داد این مقدار در بازه صفر تا ۰/۰۴ متغیر است.

وضعیت فرسایش در زیرآبخیزهای مختلف

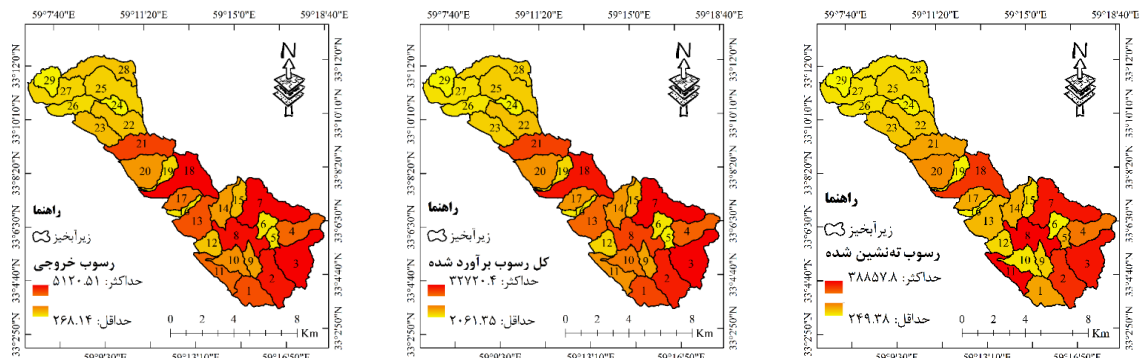
باتوجه به زیاد بودن شکل‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف، برای دوره بازگشت ۵۰ سال میزان رسوب در کاربری حاضر و پس از اعمال سناریوهای مدیریتی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده



شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی (راست) و فرسایش‌پذیری خاک (چپ) در حوزه آبخیز شارقنج، خراسان جنوبی



شکل ۷. وضعیت رسوب در زیرآببیزهای مختلف با کاربری فعلی با دوره بازگشت ۵۰ سال در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی



شکل ۸. وضعیت رسوب در زیرآببیزهای مختلف با رویکردی اصلاحی در دوره بازگشت ۵۰ سال در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی

اصلاحی میزان رسوب افزایش داشته است که می‌تواند ناشی از وجود اراضی بایر و دیم رهاشده در منطقه باشد که هیچ کار حفاظتی در آن‌ها صورت نگرفته و به حال خود رها شده است.

همان‌طور که در جدول‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود میزان رسوب کل تولیدشده، رسوب ته‌نشین‌شده در سطح آبخیز و رسوب راه‌یافته به آبراهه در همه زیرآببیزها به شکل یکسانی تغییر پیدا نکرده است. حتی در برخی از زیرآببیزها در سناریوی

جدول ۱. وضعیت رسوب در کاربری‌های موجود و عملیات زیستی در دوره بازگشت دو سال در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی

زیرآببیز	کاربری موجود		پس از اجرای سناریوی عملیات زیستی	
	رسوب ته‌نشین‌شده	رسوب خروجی	رسوب ته‌نشین‌شده	رسوب خروجی
۱	۱۳۲۰۱/۳۸	۲۴۷۹/۴۶	۱۱۲۸۶/۹۵	۲۱۱۳/۷۷
۲	۱۲۸۶۳/۰۸	۲۳۱۹/۱۱	۱۳۰۰۶/۴۶	۲۳۴۱/۴۶
۳	۲۳۰/۳۵	۳۵۷/۱۰	۲۳۸/۴۳	۳۷۱/۱۸
۴	۶۹۴۸/۳۷	۸۵۸/۷۳	۷۴۹۴/۲۹	۹۷۲/۱۱
۵	۵۴۸۶/۸۷	۱۳۳۴/۳۱	۶۹۵۴/۳۸	۱۷۵۶/۴۷
۶	۳۰۵۹/۲۹	۵۵۲/۳۹	۳۵۱۷/۹۷	۶۲۵/۷۲
۷	۳۱۵۵/۱۱	۴۹۲/۴۱	۳۵۷۴/۰۲	۵۷۰/۳۰
۸	۱۵۱۵/۶۷	۳۵۸/۱۶	۱۷۳۲/۰۰	۴۳۱/۹۱
۹	۱۴۷۵۸/۸۷	۲۷۵۴/۲۸	۱۲۲۸۰/۳۱	۲۲۸۴/۹۵
۱۰	۸۴۷۹/۹۱	۱۷۲۹/۴۰	۶۳۶۱/۲۴	۱۳۶۶/۷۳
۱۱	۴۵۴۴/۲۴	۳۸۶/۷۰	۳۶۲۳/۳۸	۲۷۵/۲۰
۱۲	۳۷۹/۴۱	۳۰۱/۹۲	۳۱۰/۸۳	۲۵۲/۵۷
۱۳	۴۶۹۷/۷۱	۱۰۲۳/۱۵	۴۳۵۶/۷۶	۹۲۲/۲۴
۱۴	۲۵۳۰/۴۱	۹۵۳/۲۴	۲۲۸۶/۸۹	۸۳۱/۶۶
۱۵	۵۳۸۷/۴۵	۱۸۱۸/۴۷	۴۸۸۰/۳۰	۱۵۹۴/۸۳
۱۶	۱۰۵۲/۵۳	۱۱۷۰/۷۰	۹۳۹/۹۰	۱۰۳۲/۸۸

زیر آبخیز	کاربری موجود		پس از اجرای سناریوی عملیات زیستی	
	رسوب ته‌نشین‌شده	رسوب خروجی	رسوب کل تولیدشده	رسوب ته‌نشین‌شده
۱۷	۴۹۰۲/۴۸	۹۳۰/۴۸	۵۰۲۹/۹۳	۱۳۱۲/۱۴
۱۸	۱۵۳۴/۷۰	۲۸۳/۷۴	۱۷۱۸/۷۶	۳۴۰/۰۸
۱۹	۱۳۲۱/۵۹	۴۰۳/۸۹	۲۵۰۰/۳۸	۵۷۰/۳۹
۲۰	۲۴۱۵/۷۱	۳۹۲/۶۷	۳۰۰۱/۵۹	۴۷۵/۲۳
۲۱	۱۲۴/۲۶	۱۳۲/۹۹	۱۱۳۷/۵۵	۱۵۱/۲۲
۲۲	۲۲۳/۷۰	۱۱۳/۴۱	۸۸۹/۷۶	۱۳۱/۹۱
۲۳	۱۶۳۸۳/۹۷	۱۳۲۳/۵۴	۶۴۶۸/۳۸	۱۳۹۷/۲۱
۲۴	۱۷۹۱/۶۷	۵۱۴/۷۳	۲۶۸۶/۸۰	۵۶۵/۵۲
۲۵	۴۰۵۲/۶۳	۱۳۷۶/۱۰	۸۲۹۱/۷۶	۱۶۰/۱۳۷
۲۶	۱۹۶/۶۰	۲۱۳/۰۲	۱۴۷۹/۶۴	۲۷۶/۲۱
۲۷	۱۸۵۷۳/۵۴	۲۴۵۹/۸۱	۱۲۳۶۵/۲۹	۲۱۹۵/۶۵
۲۸	۱۵۰۸۵/۲۲	۲۹۶۰/۰۷	۱۷۸۶۰/۲۵	۲۴۵۰/۷۷
۲۹	۱۵۳۶/۲۰	۷۳۱/۴۸	۴۹۴۴/۱۸	۶۳۴/۲۰

جدول ۲. وضعیت رسوب در کاربری‌های موجود عملیات زیستی در دوره بازگشت پنج سال در حوزه آبخیز شارقنج، خراسان جنوبی

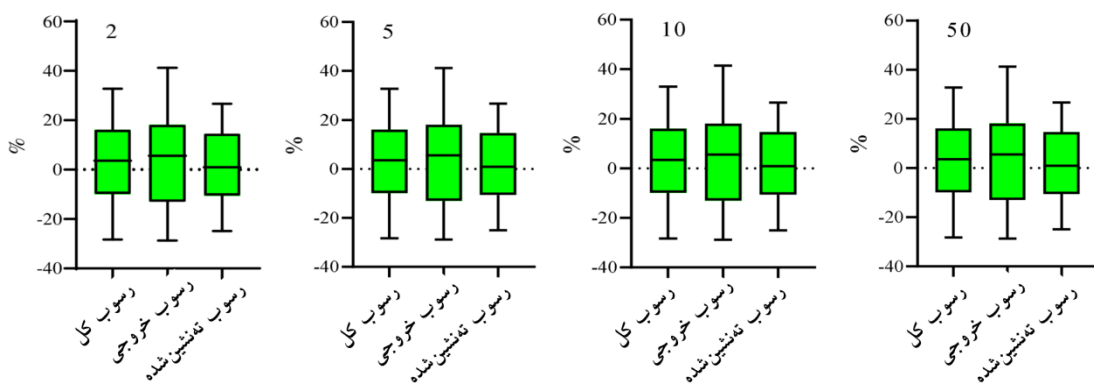
زیر آبخیز	کاربری موجود		پس از اجرای سناریوی عملیات زیستی	
	رسوب ته‌نشین‌شده	رسوب خروجی	رسوب کل تولیدشده	رسوب ته‌نشین‌شده
۱	۱۷۸۷۸/۴۸	۳۳۵۷/۵۰	۲۱۰۷۶/۰۷	۲۸۶۲/۲۶
۲	۱۷۲۷۰/۶۸	۳۱۱۳/۱۷	۱۸۶۹۹۸۷	۳۱۴۳/۱۲
۳	۳۰۸/۷۶	۴۷۸/۷۵	۳۷۰۹/۱۱	۴۹۷/۶۲
۴	۹۳۰/۷۰۹	۱۱۴۹/۶۶	۸۰۲۲/۶۳	۱۳۰/۱۴۶
۵	۷۳۳۲/۸۸	۱۷۸۳/۱۴	۱۲۵۳۷/۸۸	۲۳۴۶/۷۹
۶	۴۰۷۷/۱۹	۷۳۵/۲۵	۳۷۷۶/۸۸	۸۴۶/۲۳
۷	۴۲۰۷/۲۹	۶۵۶/۵۷	۴۸۷۳/۷۹	۷۶۰/۴۱
۸	۲۰۰۸/۵۰	۴۷۴/۲۶	۲۵۹۷/۶۱	۵۷۱/۸۸
۹	۱۹۹۸۰/۰۰	۳۷۲۸/۳۲	۲۵۶۶۸/۲۵	۳۰۹۲/۹۹
۱۰	۱۱۴۶۴/۶۴	۲۳۳۸/۰۹	۱۶۲۰۰/۲۸	۱۸۴۷/۷۳
۱۱	۶۱۴۴/۶۹	۵۲۲/۵۸	۲۷۱۰/۲۳	۳۷۱/۹۱
۱۲	۵۱۲/۲۹	۴۰۷/۶۶	۳۱۱۰/۷۵	۳۴۱/۰۲
۱۳	۶۳۲۷/۳۲	۱۳۷۸/۱۳	۹۳۸۰/۹۵	۱۲۴۲/۲۴
۱۴	۳۴۲۰/۹۴	۱۲۸۸/۶۹	۸۶۸۸/۵۴	۱۱۲۴/۳۲
۱۵	۷۲۹۶/۴۵	۲۴۶۲/۶۴	۱۶۴۳۹/۰۴	۲۱۵۹/۷۷
۱۶	۱۴۲۲/۲۸	۱۵۸۱/۹۵	۱۱۹۴۱/۹۷	۱۳۹۵/۷۲
۱۷	۶۵۹۴/۵۶	۱۲۵۰/۴۰	۶۷۵۹/۵۸	۱۷۶۳/۲۵
۱۸	۲۰۳۹/۵۷	۱۳۷۶/۵۱	۲۲۸۰/۷۵	۴۵۱/۲۹
۱۹	۱۷۵۲/۴۲	۵۳۵/۹۸	۳۳۱۸/۱۴	۷۵۷/۰۴
۲۰	۳۲۱۴/۰۰	۵۲۲/۳۴	۳۹۹۳/۲۵	۶۳۲/۱۲
۲۱	۱۶۴/۴۳	۱۷۵/۹۷	۱۵۰۵/۲۶	۲۰۰/۱۰
۲۲	۲۹۷/۸۹	۱۵۰/۹۸	۱۱۸۴/۵۹	۱۷۵/۶۱
۲۳	۲۲۱۵۷/۹۰	۱۷۸۹/۲۵	۸۷۴۵/۴۸	۱۸۸۸/۸۱
۲۴	۲۴۱۷/۲۹	۶۹۴/۴۳	۳۶۲۵/۰۲	۷۶۲/۹۲
۲۵	۵۴۵۶/۷۹	۱۸۵۲/۴۶	۱۱۴۳۱/۹۴	۲۱۵۵/۶۹
۲۶	۲۶۴/۵۱	۲۸۶/۴۶	۱۹۸۹/۸۱	۳۷۱/۴۱
۲۷	۲۵۰۶۸/۶۵	۳۳۲۰/۰۵	۱۶۶۹۰/۴۶	۲۹۶۳/۴۸
۲۸	۲۰۳۵۰/۷۱	۳۹۹۲/۷۹	۲۴۰۹۳/۳۰	۳۳۰/۵۶۰
۲۹	۲۰۶۹/۴۴	۹۸۵/۵۵	۶۶۶۰/۸۶	۸۵۴/۴۷

جدول ۳. وضعیت رسوب در کاربری‌های موجود و عملیات زیستی در دوره بازگشت ۱۰ سال در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی

زیر حوزه آبخیز	کاربری موجود			پس از اجرای سناریوی عملیات زیستی		
	رسوب تنه‌نشین شده	رسوب خروجی	رسوب کل تولیدشده	رسوب تنه‌نشین شده	رسوب خروجی	رسوب کل تولیدشده
۱	۳۱۵۰۳/۱۱	۵۹۳۴/۵۹	۳۷۱۴۸/۹۳	۲۶۹۳۸/۵۸	۵۰۶۰/۳۱	۳۱۷۳۱/۰۱
۲	۳۵۳۳۳/۱۲	۶۳۷۱/۸۱	۳۸۳۲۷/۹۹	۳۵۷۰۰/۷۰	۶۴۲۲/۷۰	۳۸۵۵۰/۱۷
۳	۶۴۶/۹۳	۹۹۰/۵۱	۷۶۸۶/۱۰	۶۶۹/۳۱	۱۰۲۹/۴۵	۷۹۵۵/۰۹
۴	۱۹۴۱۵/۸۳	۲۳۹۶/۱۵	۱۶۷۴۴/۱۶	۲۰۹۴۱/۱۳	۲۷۱۳/۰۳	۱۸۷۸۱/۴۶
۵	۱۵۶۸۷/۲۱	۳۸۱۲/۹۳	۲۶۸۵۴/۹۱	۱۹۸۵۴/۳۸	۵۰۱۱/۵۰	۳۲۸۹۴/۹۹
۶	۸۸۰۸/۷۹	۱۵۸۹/۰۱	۸۱۷۱/۹۲	۱۰۱۲۷/۷۳	۱۸۲۸/۷۶	۹۴۲۸/۲۹
۷	۹۲۷۱/۶۱	۱۴۴۵/۶۴	۱۰۷۳۰/۸۴۱	۱۰۵۰۲/۵۹	۱۶۷۴/۳۳	۱۲۲۱۱/۳۶
۸	۴۴۲۵/۶۲	۱۰۳۳/۷۸	۵۶۷۲/۵۴	۵۰۵۵/۶۵	۱۲۴۵/۶۷	۶۶۹۸/۲۶
۹	۳۶۱۷۵/۶۹	۶۷۶۸/۱۴	۴۶۵۸۴/۴۸	۳۰۰۷۷/۵۶	۵۶۰۹/۲۱	۳۸۱۴۶/۳۰
۱۰	۲۱۶۳۹/۲۶	۴۴۰۴/۴۶	۳۰۵۱۷/۷۸	۱۶۲۲۹/۶۴	۳۴۷۸/۱۵	۲۳۹۲۳/۵۲
۱۱	۱۱۴۵۳/۶۶	۹۷۸/۷۸	۵۰۸۲/۸۱	۹۱۳۰/۱۱	۶۹۶/۳۳	۳۶۴۳/۳۴
۱۲	۹۷۹/۵۸	۷۷۸/۴۸	۵۹۴۴/۸۷	۸۰۲/۵۳	۶۵۱/۰۸	۴۹۸۸/۰۵
۱۳	۱۲۴۹۹/۳۷	۲۷۲۱/۴۶	۱۸۵۶۴/۴۳	۱۱۵۸۵/۶۴	۲۴۵۱/۰۰	۱۷۰۶۸/۹۳
۱۴	۶۲۴۳/۹۹	۲۳۵۴/۶۲	۱۵۸۳۸/۹۲	۵۶۴۳/۲۸	۲۰۵۴/۲۹	۱۴۳۲۰/۶۶
۱۵	۱۲۶۷۸/۰۷	۴۲۸۴/۱۱	۲۸۵۸۳/۵۹	۱۱۴۸۴/۹۲	۳۷۵۷/۳۹	۲۵۷۸۵/۹۱
۱۶	۲۶۰۲/۶۹	۲۸۹۱/۳۹	۲۱۸۲۱/۱۴	۲۳۲۴/۲۰	۲۵۵۱/۰۸	۱۹۷۳۳/۸۱
۱۷	۱۳۱۳۳/۹۶	۲۴۹۷/۰۲	۱۳۵۲۵/۲۹	۱۴۷۳۰/۳۱	۳۵۱۵/۹۶	۱۷۵۹۰/۸۹
۱۸	۴۴۸۶/۹۱	۸۱۵/۱۷	۴۹۴۰/۴۱	۵۴۴۶/۰۸	۹۷۷/۵۲	۵۷۷۷/۷۷
۱۹	۴۰۴۷/۹۲	۱۲۴۵/۱۹	۷۶۹۳/۶۷	۵۰۳۰/۰۰	۱۷۶۲/۷۰	۱۰۲۳۶/۸۰
۲۰	۷۳۰۰/۳۷	۱۱۸۵/۶۴	۹۰۶۳/۱۶	۸۵۶۹/۰۹	۱۴۳۵/۰۶	۱۰۷۰۰/۵۸
۲۱	۳۶۲/۷۲	۳۸۷/۴۰	۳۳۱۵/۲۰	۴۱۹/۹۴	۴۴۰/۵۶	۳۷۲۵/۴۱
۲۲	۶۶۶/۴۳	۳۳۷/۸۷	۲۶۵۱/۱۴	۷۶۲/۰۰	۳۹۲/۹۸	۳۰۲۱/۱۶
۲۳	۳۹۶۷۲/۴۶	۳۲۱۲/۸۲	۱۵۶۷۸/۵۸	۳۷۵۴۶/۲۰	۳۳۹۱/۴۲	۱۶۲۲۴/۳۷
۲۴	۴۵۴۰/۱۵	۱۳۰۳/۳۶	۶۷۹۹/۴۹	۴۵۷۸/۱۷	۱۴۳۱/۶۹	۷۲۱۲/۸۳
۲۵	۱۰۵۹۰/۲۱	۳۶۰۹/۵۹	۲۲۳۳۰/۷۰	۱۲۲۶۴/۹۷	۴۱۹۳/۴۴	۲۴۳۳۵/۶۷
۲۶	۵۲۵/۳۲	۵۶۷/۲۹	۳۹۴۳/۳۰	۵۲۸/۱۲	۷۳۴/۸۴	۴۸۲۵/۵۱
۲۷	۴۷۵۷۵/۶۹	۶۲۷۵/۲۰	۳۱۵۱۲/۳۸	۴۳۱۱۴/۶۳	۵۶۰۲/۰۱	۲۸۷۵۳/۴۴
۲۸	۳۹۸۱۸/۴۴	۷۸۱۷/۴۵	۴۷۱۶۴/۳۳	۳۳۶۰۰/۳۴	۶۴۷۵/۷۱	۳۹۷۳۴/۸۱
۲۹	۴۱۱۶/۵۳	۱۹۵۱/۷۱	۱۳۲۲۲/۶۳	۳۶۸۵/۰۶	۱۶۹۲/۰۸	۱۱۸۹۴/۹۸

رسوب بوده که در شکل ۹ نیز به خوبی نشان داده شده است. لذا تغییر در بارندگی به مراتب تأثیر بیشتری بر وقوع فرسایش در این حوزه آبخیز دارد و تغییرات پوشش سطح زمین نمی‌تواند به‌خوبی از فرسایش و تولید رسوب جلوگیری کند.

تغییرات تولید رسوب در عملیات زیستی نسبت به کاربری حاضر همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده میزان تولید رسوب در زیرآبخیزهای مختلف غیریکسان و لزوماً در همه زیر حوزه آبخیزها کاهش یافته است. مورد مشابه در همه دوره بازگشت- های استفاده شده تغییرات اندک آن‌ها در کاهش یا افزایش



شکل ۹. تغییرات رسوب نسبت به کاربری حاضر در دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز شارقنچ، خراسان جنوبی

انجام شده است اما وجود اراضی دیم شخم‌خورده و رها شده در دامنه‌های اراضی شیب‌دار و نبود راه‌های حفاظتی و کنترلی سبب شده است تا در زیرآبخیزهای دارای اراضی دیم در شدت‌های مختلف بارندگی میزان رسوب افزایش یابد. مطالعات ذبیحی و همکاران (۲۰۲۱) در حوزه آبخیز تالار با مدل InVEST نشان‌دهنده آن است که با افزایش اراضی دیم میزان رسوب افزایش یافته است. علاوه بر این، مطالعات Degife و همکاران (۲۰۲۱) در ایتوبی با استفاده از مدل InVEST همانند نتایج پژوهش حاضر نشان داد شیب و کاربری اراضی نقش مهمی در تولید و خروج رسوب از حوزه آبخیز دارند به طوری که در این پژوهش اراضی بایر و بدون پوشش بیش‌ترین نقش در هدررفت خاک را داشته است. همچنین شیب‌های ۵ تا ۳۰ درصد نیز از نقش بالایی در خروج رسوب از آبخیز برخوردار بوده است که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. با مطالعات اسدالهی و همکاران (۲۰۱۵) در شرق حوزه آبخیز گرگانود نیز با استفاده از مدل InVEST حاکی از هدررفت خاک تا ۷۵ تن بر سال در سطح سلول و نگهداشت رسوب از ۰/۵ تا ۳۹۱۶ تن بر هکتار بر سال است که نشان از کاربرد مدل InVEST و همچنین هدررفت زیاد خاک در سطح حوزه آبخیز دارد.

نتیجه‌گیری

خدمات بوم‌سازگان همواره از اهمیت خاصی در تأمین نیازهای انسانی و چگونگی مدیریت بوم‌سازگان‌های مختلف برخوردار بوده است. براین اساس در این پژوهش نقش مدیریت زیستی در کنترل فرسایش و رسوب در سطح حوزه آبخیز شارقنج در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی مورد ارزیابی و پژوهش قرار گرفت. نتایج پژوهش حاکی از آن است که با افزایش شدت بارندگی، در کاربری فعلی، میزان فرسایش و رسوب افزایش یافته است اما با اعمال سناریوهای مدیریتی در سطح زیرآبخیزهای مختلف، فرسایش و رسوب در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی، کمی کاهش یافته است. بر اساس نتایج مشاهده شده افزایش پوشش سطح زمین در مواجهه با افزایش شدت بارندگی تأثیر قابل توجهی بر کاهش فرسایش و رسوب در این آبخیز نداشته است. با توجه به این که شدت بارندگی در منطقه نقش مهمی در ایجاد فرسایش ایفا می‌کند و اثر آن با ترکیب اراضی شیب‌دار تشدید می‌شود، استفاده اصولی و متناسب با توان اراضی، می‌تواند نقشی مؤثری در پیش‌گیری از تخریب زمین داشته باشد چرا که هرگونه تخریب در منطقه به منزله هدررفت خاک و ایجاد شرایط غیرقابل کنترل خواهد بود. همچنین پیشنهاد می‌شود استفاده از عملیات تلفیقی مهندسی با زیستی می‌تواند از سرعت رواناب کاسته و میزان فرسایش را کاهش دهد. لذا رهیافت‌های این پژوهش می‌تواند الگوی مدیریتی مناسب برای مدیران، بهره‌برداران و ذی‌نفعان حوزه‌های آبخیز تلقی شود.

تغییر کاربری اراضی همواره یکی از مهم‌ترین مسائل و چالش‌های پیش روی مدیران و برنامه‌ریزان در مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز است. با توجه به افزایش دخالت‌های انسانی و تغییر در طبیعت‌گرایی حوزه‌های آبخیز، سالیانه افزایش هدررفت خاک امری اجتناب‌ناپذیر شده است که نیازمند نگاه مدیریتی جامع و کامل در تشریح چگونگی استفاده از اراضی بر حسب توان، استعداد و شرایط ذاتی آن‌هاست. همان‌طور که در نتایج این پژوهش مشاهده شد افزایش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز شارقنج نقش موثری در کاهش فرسایش و رسوب نداشته است به طوری که افزایش پوشش گیاهی سبب کاهش ۳/۹، ۳/۹، ۳/۲ و ۱/۷ درصد در میزان رسوب تولید شده به ترتیب برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ سال شده است. در حوزه آبخیز شارقنج بارندگی سالیانه در روزهای محدود سال نازل شده و بخش اصلی بارش‌ها در فصل زمستان است که در سطح زمین، پوشش گیاهی برای جلوگیری از فرسایش وجود ندارد یا مقدار سبزی‌نگی برای رشد و سایه‌اندازی سطح خاک بسیار محدود است. در فصل بهار که زمان رشد پوشش گیاهی است بارندگی‌ها محدود و در این حوزه آبخیز رگباری و بعضاً تگرگ است که سبب کاهش نقش پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک و تولید رسوب می‌شود. لذا نقش شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های مختلف به مراتب از اثر پوشش گیاهی بیش‌تر بوده است. در همین راستا مطالعات رضایی‌ارشد و محمودآبادی (۱۳۹۷) در ارزیابی شدت بارش بر فرسایش بین‌شیاری نیز نشان‌دهنده آن است که با افزایش شدت بارندگی، سرعت و قدرت جریان افزایش می‌یابد که تشدید در فرسایش را در پی دارد. شیب عامل دیگری است که در رخداد فرسایش و رسوب تأثیرگذار است. از دیگر دلایل رخداد فرسایش و کاهش نقش بازدارندگی پوشش گیاهی در تولید رسوب، وجود اراضی شیب‌دار و فرسایش‌پذیر است که به دلیل کاهش عمق خاک و عدم استقرار پوشش گیاهی، فرسایش و تولید رسوب در آن‌ها زیاد است. به عبارتی دیگر تقریباً نیمی از حوزه آبخیز شارقنج از ارتفاعات و شیب‌های زیاد تشکیل شده است که توأم با بارندگی‌های شدید سبب افزایش فرسایش می‌گردند. مطالعات خلیلی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۳) در ارزیابی تأثیر شیب توأم با شدت بارندگی بر فرسایش در استان خوزستان بیان داشتند ترکیب شیب و شدت بارندگی اثر معناداری بر رخداد فرسایش و رسوب دارد. همچنین مطالعات Abdelsamie و همکاران (۲۰۲۳) در مصر نیز حاکی از آن است که افزایش شیب از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر افزایش فرسایش خاک است که در راستای نتایج این پژوهش است. علاوه بر این مطالعات Thapa (۲۰۲۰) در نپال با رویکرد RUSLE نیز مؤید آن است که افزایش شیب نقش مهمی در افزایش میزان فرسایش و تولید رسوب داشته است. مطالعات Hagrais (۲۰۲۳) نیز با استفاده از رویکرد RUSLE در مصر مبین نقش زیاد شیب در هدررفت خاک و تولید رسوب است. اگرچه انجام اقدامات آبخیزداری در سطح وسیعی از حوزه آبخیز

Reference:

- Abdelsamie, E. A., Abdellatif, M. A., Hassan, F. O., El Baroudy, A. A., Mohamed, E. S., Kucher, D. E., & Shokr, M. S. (2023). Integration of RUSLE Model, Remote Sensing and GIS Techniques for Assessing Soil Erosion Hazards in Arid Zones. *Agriculture*, 13(1), 35.
- Akgöz, R., Deviren Saygin, S., Erpul, G., & Tel, S. (2022). Monitoring seasonal and phenological variability of cover management factor for wheat cropping systems under semi-arid climate conditions. *Environmental Monitoring Assessment*, 194, 395. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10064-1>
- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A. & Mirkarimi, H. (2015). Modeling the supply of sediment retention ecosystem service (case study: eastern part of Gorgan-rud watershed). *Environ. Erosion Research Journal*, 5(3), 61-75 [in Persian]
- Aytop, H., & Şenol, S. (2022). The effect of different land use planning scenarios on the amount of total soil losses in the Mikail Stream Micro-Basin. *Environmental Monitoring Assessment*, 194, 32. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09937-2>
- Babaei, M., Hossaini, S.Z., Nazari Samani, A.A., & Almodaresi, S.A. (2016). Assessment of soil erosion using RUSLE 3D, case study: Kan-Soleghan watershed. *Watershed Engineering and Management*, 8(2): 156-181 [In Persian].
- Baskent, E.Z. (2020). A framework for characterizing and regulating ecosystem services in a management planning context. *Forests*, 11, 102. <https://doi.org/10.3390/f11010102>
- Caglayan, İ, Yeşil, A., Kabak, Ö. & Bettinger, P. (2021). A decision making approach for assignment of ecosystem services to forest management units: A case study in northwest Turkey. *Ecological Indicators*, 121, 107056. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107056>
- Carollo, F.G., Ferro, V., & Serio, M.A. (2018). Predicting rainfall erosivity by momentum and kinetic energy in Mediterranean environment. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.026>
- Chamani, R., Moradi Rekabkalei, H.R., Somayeh Zare & Tavosi, M. (2021). Evaluation of morphometric and geomorphometric indices of Sharghonj Birjand Watershed. *Extension and Development of Watershed Management Journal*, 10(36): 37-47 [In Persian].
- Chatterjee S., Krishna A.P., Sharma A.P. (2014). Geospatial assessment of soil erosion vulnerability at watershed level in some sections of the Upper Subarnarekha river basin, Jharkhand, India. *Environmental Earth Sciences*, 71:357–374. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2439-3>
- Degife, A., Worku, H., & Gizaw, S. (2021). Environmental implications of soil erosion and sediment yield in Lake Hawassa watershed, south-central Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 10, 1-24.
- Ghosal, K., & Das Bhattacharya, S. (2020). A review of RUSLE model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(4), 689-707.
- Ghosh, A., Rakshit, S., Tikle, S., Das, S., Chatterjee, U., Pande, C.B., & Mattar, M. A. (2023). Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion. *Land*, 12(1), 116.
- Hagras, A. (2023). Estimating water erosion in the EL-Mador Valley Basin, South-West Matrouh City, Egypt, using revised universal soil loss equation (RUSLE) model through GIS. *Environmental Earth Sciences*, 82(1), 1-17.
- Hermassi, T, El Ammami, H., & Ben, K.W. (2017) Impact of anthropogenic activities on erosive behavior of Nebhana Watershed Tunisia. *Water and Land Security in Drylands*. Springer, Cham, pp 185–195.
- Keesstra, S.D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J.N., Pachepsky, Y., van der Putten, W.H. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations sustainable development goals. *Soil*, 2: 111–128.
- Khalili Moghadam, B., Ghorbani, Z., & Shahnazi, A. (2013). A laboratory study of the effect of salinity and alkalinity, slope and rainfall intensity on soil erosion rates in selected soils of Khuzestan province. *Journal of Agricultural and Natural Resources Sciences and Technologies*, 18 (69): 117-128 [In Persian].
- Knoke, T., Kindu, M., Schneider, T., & Gobakken, T. (2021). Inventory of forest attributes to support the integration of non-provisioning ecosystem services and biodiversity into forest planning—from collecting data to providing information. *Current Forestry Reports*, 7, 38–58. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00138-7>.
- Kumar, S., & Kushwaha, S.P.S. (2013). Modelling soil erosion risk based on RUSLE-3D using GIS in a Shivalik sub-watershed. *Journal of Earth System Science* 122(2):389–398.
- Li, Y., Zhang, J., Zhu, H., Zhou, Z., Jiang, S., He, S. & Li, G. (2023). Soil Erosion Characteristics and Scenario Analysis in the Yellow River Basin Based on PLUS and RUSLE Models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2): 1222.
- Mazbani, M., Rezaei Moghadam. M.H., & Hejazi, A. (2021). Assessing the risk of soil erosion in land uses using the modified global equation of soil erosion (case study: Sikan Watershed). *Geography and Environmental Hazards*, 37: 41-63 [In Persian].
- Moisa, M. B., Babu, A., & Getahun, K. (2023). Integration of geospatial technologies with RUSLE model for analysis of soil erosion in response to land use/land cover dynamics: a case of Jere Watershed, Western Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 9(1): 1-21.

- Moore, I.D. (1986). Burch GJ. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5):1294.
- Negese, A., Fekadu, E., & Getnet, H. (2021). Potential Soil Loss Estimation and Erosion-Prone Area Prioritization Using RUSLE, GIS, and Remote Sensing in Chereti Watershed, Northeastern Ethiopia. *Air, Soil and Water Research*, 14, 1178622120985814.
- Okenmuo, F. C., & Ewemoje, T. A. (2023). Estimation of soil water erosion using RUSLE, GIS, and remote sensing in Obibia River watershed, Anambra, Nigeria. *DYSONA-Applied Science*, 4(1): 6-14.
- Rezaei Arshad, R., & Mahmoodabadi, M. (2018). Simultaneous effect of wind and rain on hydraulic parameters of sheet flow and interrill erosion rate. *Journal of soil management and sustainable*, 8(2): 1-21 [In Persian].
- Robinson, D.A., Panagos, P., Borrelli, P., Jones, A., Montanarella, L., Tye, A., Obst, C.G. (2017). Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment. *Scientific Reports*, 7, 6706.
- Roose, E. (1977). Erosion ET ruissellement en Afrique de louest-vingt annees de mesures en petites parcelles experimentales. Pour faire face a` ce proble`me pre`occupant, l'ORSTOM et les Instituts Travaux et Documents de l'ORSTOM No. 78: 108.
- Sadeghi, S. H., & Tavangar, S. (2015). Development of stationnal models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards*, 77(1), 429-443.
- Sadeghi, S.H.R., Shojae, Gh. R. & Moradi, H.R. (2010). Relationship between Land Use and Soil Erosion in Manderijan Catchment in Zayandehrud Dam Basin. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(3):143-149.
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C. K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A. L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D. and Douglass J. (2018). InVEST 3.5.0 user's guide, The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Sidi Almouctar, M.A., Wu, Y., Zhao, F., & Dossou, J.F. (2021). Soil erosion assessment using the RUSLE model and geospatial techniques (remote sensing and GIS) in South-Central Niger (Maradi Region). *Water*, 13: 3511.
- Thapa, P. (2020). Spatial estimation of soil erosion using RUSLE modeling: a case study of Dolakha district, Nepal. *Environmental Systems Research*, 9(1), 1-10.
- Tiemann, A., & Ring, I. (2022). Towards ecosystem service assessment: Developing biophysical indicators for forest ecosystem services. *Ecological Indicators*, 137: 108704.
- Vaezi, A.R. & Sadeghi, S.H.R. (2011). Evaluating the RUSLE model and developing an empirical equation for estimating soil erodibility factor in a semi-arid region, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 912-923.
- Vatandaşlar, C., & Yavuz, M. (2023). Useful indicators and models for assessing erosion control ecosystem service in a semi-arid forest landscape. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1): 1-27.
- Zabihi, M., Moradi, H. R., Khaledi Darvishan, A., & Gholamalifard, M. (2021). Application of InVEST ecosystem services model to prioritize sub-watersheds of Talar in term of soil erosion, sediment retention and yield. *Environment and Water Engineering*, 7(2): 293-303.

یادداشت ها

¹ Ecosystem² Ecosystem Service³ Asadolahi⁴ Zabihi⁵ Abdelsamie⁶ El-Minia⁷ Ghosh⁸ Mayurakshi⁹ Li¹⁰ Rainfall erosivity factor¹¹ Soil erodibility factor¹² Cover management factor¹³ Support practice factor¹⁴ Google Earth¹⁵ Seeds broadcasting¹⁶ Contour farrow¹⁷ Normalized Difference Vegetation Index