نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
"مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب"
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴
توجه به گسترش پدیده‌های حدی،
هوش مصنوعی و جامع نگری در برنامه‌های ملی و محلی خاک

بررسی تغییرات زمانی تولید رسوب و عوامل مؤثر بر آن در حوضه شیشوان استان آذربایجان شرقی

فرشته آذری فام مراغه *[۱]، علیرضا واعظی[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان:fazarifam71@gmail.com

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

درک الگوهای زمانی و مکانی تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز کوهستانی، نقشی اساسی در مدیریت منابع آب و خاک و کاهش خسارات زیست‌محیطی ایفا می‌کند. این مسئله به‌ویژه در مناطق حساس مانند دامنه‌ی کوه‌ها، از اهمیت دوچندان برخوردار است. مطالعه حاضر با هدف بررسی عوامل مؤثر بر تولید رسوب در حوزه آبخیز شیشوان واقع در دامنه‌های کوه سهند (جنوب آذربایجان شرقی) طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار رسوب‌زایی در این منطقه نوسانات زیادی داشته و از الگوی ثابتی پیروی نمی‌کند. بیشترین مقدار رسوب روزانه (۱۲۲ تن) در فروردین‌ماه ثبت شد که همزمان با بیشترین میانگین بارش ماهانه (۸/۷ میلی‌متر) بوده است. در مقابل، ماه‌های اردیبهشت تا شهریور به‌دلیل پوشش گیاهی انبوه‌تر و بارندگی ملایم‌تر، کمترین میزان رسوب را نشان دادند. به دلیل نوع بارش (برفی) در بهمن ماه با وجود میانگین بارش زیاد (۸/۷ میلی‌متر) در این ماه تولید رسوب چشمگیری رخ نداد . همچنین تحلیل‌ها نشان دادند که بین غلظت رسوب و حجم رواناب رابطه مستقیمی وجود ندارد و در برخی موارد، با افزایش رواناب، غلظت به‌دلیل رقیق شدن کاهش یافته است. در نتیجه، اعمال راهکارهایی نظیر مدیریت کاربری، تقویت پوشش گیاهی و عملیات آبخیزداری، برای کاهش رسوب‌زایی در منطقه ضروری است.

کلمات کلیدی: تولید رسوب، فرسایش خاک، مدیریت حوزه آبخیز

مقدمه

هدررفت خاک و تولید رسوب از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌روند. خاک به‌عنوان منبعی غیرقابل تجدید، نقش حیاتی در پایداری اکوسیستم، تولید غذا و تأمین معیشت انسان دارد (Fausak et al., 2024). با این حال، فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی ناپایدار، تخریب پوشش گیاهی و بهره‌برداری بی‌رویه موجب تسریع فرسایش خاک و افزایش هدررفت آن شده است. رسوب‌گذاری که ناشی از فرسایش و انتقال ذرات خاک توسط بارندگی، باد و جریان آب است، تأثیرات منفی بر کیفیت آب، ظرفیت سدها و اراضی کشاورزی دارد (Xu, 2002). عوامل متعددی در شدت فرسایش و تولید رسوب مؤثرند؛ از جمله شدت بارندگی، بافت خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و کاربری اراضی. خاک‌های با ساختمان ضعیف و درصد رس بالا، مانند خاک‌های کائولینیتی، بیشترین آسیب را می‌بینند (Zhang et al., 2025؛ زرندیان و همکاران، ۱۴۰۲). شیب و تغییرات ارتفاع زمین، سرعت رواناب و انتقال رسوب را افزایش می‌دهند (زهرا جباری و همکاران، ۱۴۰۱). کاهش پوشش گیاهی ناشی از تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی یا اراضی بدون پوشش، به شدت فرسایش را افزایش می‌دهد (Karamage et al., 2016). مطالعه‌ای در اتیوپی نشان می‌دهد فرسایش خاک در سال ۲۰۲۰ برابر ۱۳/۳ تن بر هکتار بوده که پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰۵۰ به ۱۵/۹ تن افزایش یابد (Guder and Kabeta, 2025).

غلظت رسوب، میزان ذرات معلق در واحد حجم آب، شاخص مهمی برای سنجش هدررفت خاک است و تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شدت بارندگی و نوع پوشش گیاهی قرار دارد (Smith and Zhang, 2023). افزایش رواناب معمولاً موجب افزایش کل رسوب حمل شده می‌شود، اما غلظت رسوب بسته به شرایط متفاوت است. در برخی بارش‌های شدید، رقیق شدن جریان باعث کاهش موقت غلظت رسوب شده، در حالی که در بارش‌های ملایم، غلظت رسوب به دلیل فرسایش موضعی افزایش یافته است.

حوزه آبخیز شیشوان در استان آذربایجان شرقی، به دلیل ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی متنوع و تأثیرات انسانی مانند کشاورزی و بهره‌برداری ناپایدار، منطقه‌ای مستعد تولید رسوب است. مداخلات انسانی شامل تخریب پوشش گیاهی و کشاورزی در شیب‌های تند، فرسایش خاک و رسوب‌گذاری را تشدید کرده و موجب سیلاب‌ها و پر شدن سریع مخازن سدها شده‌اند. بنابراین، بررسی جامع عوامل مؤثر بر هدررفت خاک و تولید رسوب در این حوزه، زمینه‌ساز تدوین راهکارهای حفاظتی و مدیریتی در جهت حفاظت منابع خاک و آب و توسعه پایدار است.

مواد و روش

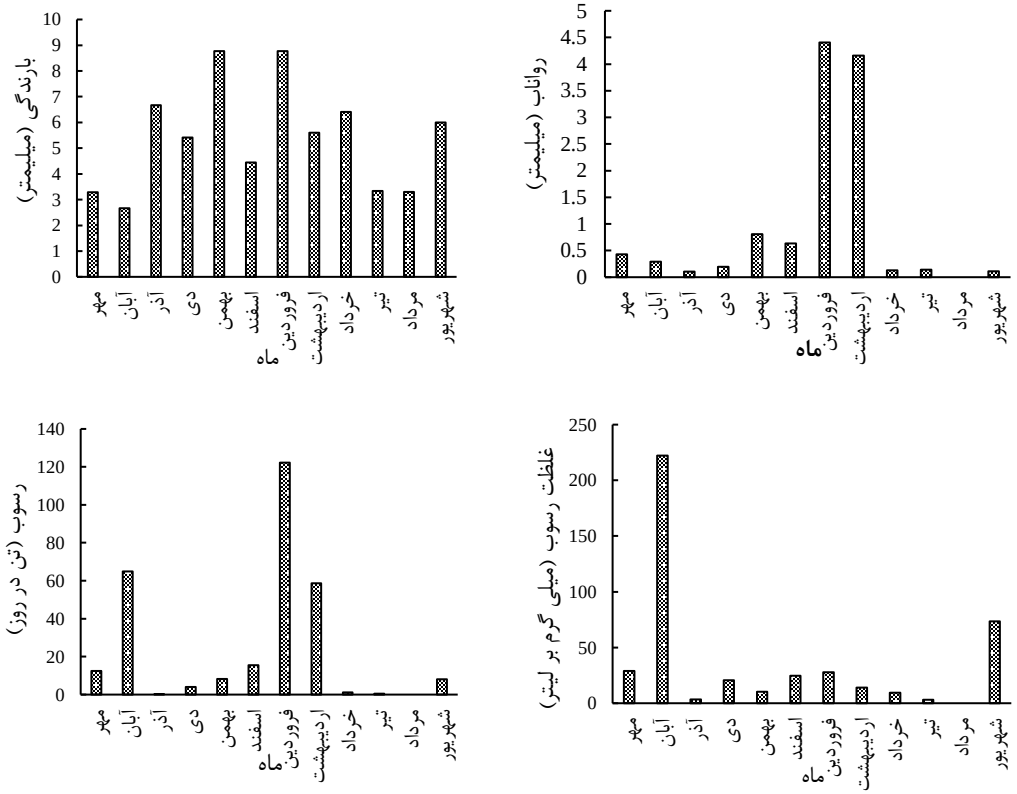
این مطالعه در حوزه آبخیز شیشوان واقع در جنوب استان آذربایجان‌شرقی و در دامنه‌های کوه سهند با اقلیم نیمه‌خشک و سرد انجام گرفت. مرز و وسعت حوزه آبخیز با بهره‌گیری از نرم‌افزار Google Earth مشخص شد و نقشه‌های منطقه و کاربری زمین با کمکUniversal Map Downloader و ArcMap تهیه شد. داده‌های هواشناسی و هیدرومتری شامل بارندگی، رسوب در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی دریافت شد. غلظت رسوب معلق بر اساس روش وزنی و از طریق تقسیم جرم خشک رسوب بر حجم نمونه آب (mg/L) محاسبه شد. کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در محیط GIS تعیین و نتایج آن با بازدید میدانی و نقشه‌های موجود منابع طبیعی کنترل شد. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار Excel نمودارهای مرتبط رسم شدند تا روند تغییرات رسوب در طول این ده سال مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج و بحث

بررسی داده‌های رسوب و رواناب در بازه زمانی ده‌ساله (۱۳۹۰–۱۴۰۰) در حوضه آبخیز شیشوان نشان داد که میزان تولید رسوب در این منطقه دچار نوسانات چشمگیری بوده و روند ثابتی در طول سال‌ها مشاهده نمی‌شود. این نوسانات عمدتاً تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی قرار دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تغییرات زمانی و مکانی بارندگی، نوع و شدت کاربری اراضی، تغییرات پوشش گیاهی در فصول مختلف، و شدت فعالیت‌های انسانی اشاره کرد. در میان ماه‌های سال، بیشترین مقدار تولید رسوب در فروردین‌ماه (۱۲۲ تن در روز) ثبت شد. این همزمانی با بیشترین میانگین بارش ماهانه (۸/۷ میلی‌متر) نشان‌دهنده تأثیر مستقیم بارندگی شدید و متمرکز بر میزان رسوب‌زایی است. در مقابل، در ماه‌هایی مانند اردیبهشت تا شهریور که شرایط پوشش گیاهی بهبود یافته و بارش پراکنده‌تر و با شدت کمتر است، مقدار رسوب به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یافته است. افزایش تراکم پوشش گیاهی در این بازه زمانی، با کاهش انرژی برخورد قطرات باران و افزایش نفوذپذیری خاک، نقش مهمی در کاهش فرسایش سطحی و در نتیجه تولید رسوب ایفا کرده است. با وجود اینکه در ماه بهمن نیز میزان بارندگی (۸/۷ میلی‌متر) بالا بوده است، تولید رسوب در این ماه چندان قابل‌توجه نیست. تحلیل‌های دمایی نشان می‌دهند که بخش عمده بارش‌های این ماه به‌صورت برف رخ داده‌اند که در همان زمان منجر به ایجاد رواناب قابل توجهی نشده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که نوع بارش (باران یا برف) و دما، عوامل تعیین‌کننده در تأثیرگذاری بارندگی بر فرآیند تولید رسوب

هستند (Broxton et al, 2024). در واقع، بارش‌های برفی در زمان وقوع خود باعث رواناب و رسوب‌زایی نمی‌شوند، بلکه در هنگام ذوب شدن، بسته به شرایط زمین و شدت ذوب، ممکن است تبدیل به جریان‌های فرساینده شوند یا به آرامی جذب خاک شوند. یکی از نتایج مهم این پژوهش، تحلیل تغییرات غلظت رسوب در طول زمان است که نشان می‌دهد غلظت رسوب الزاماً با حجم رواناب رابطه مستقیم ندارد. همان‌طور که زارعی و خالدی (۱۴۰۱) نیز تأکید کرده‌اند، در برخی شرایط ممکن است با وجود بالا بودن حجم رواناب، به‌دلیل رقیق شدن جریان، غلظت رسوب کاهش یابد. این الگو در داده‌های حوضه شیشوان نیز به‌خوبی مشاهده شده است. در ماه‌هایی که رواناب بالا بوده است، اگرچه مجموع رسوب حمل‌شده بیشتر بوده، اما غلظت رسوب (mg/L) نسبتاً کاهش یافته است. برعکس، در بازه‌هایی با رواناب کمتر، ولی با فرسایش موضعی شدید یا فعالیت‌های مخرب انسانی، غلظت رسوب افزایش یافته است. این وضعیت نشان‌دهنده آن است که تمرکز صرف بر حجم رواناب برای ارزیابی وضعیت فرسایش کافی نیست و تحلیل کیفی آب نیز ضروری است.

در کنار عوامل طبیعی، تحلیل تغییرات کاربری اراضی حوضه شیشوان طی سال‌های ۱۳۹۰–۱۴۰۰ نشان داد که درصد مراتع طبیعی از ۶۰ به ۴۸ درصد کاهش یافته و هم‌زمان اراضی زراعی از ۲۵ به ۳۷ درصد افزایش یافته است. درصد پوشش جنگلی ثابت و حدود ۱۰ درصد بوده و سایر کاربری‌ها نیز حدود ۵ درصد باقی مانده‌اند. این تغییرات با افزایش رواناب سطحی و غلظت رسوب در جریان‌های آبی منطقه همراه بوده است. به‌عنوان نمونه، تبدیل مراتع طبیعی به اراضی زراعی بدون رعایت شیب زمین و پوشش حفاظتی، موجب برهم خوردن تعادل خاک، کاهش نفوذپذیری، و افزایش رواناب سطحی شده است. نتایج مطالعه Guder وKabeta (2025) نیز در حوزه آبخیز هولوتا تأیید می‌کند که گسترش بی‌رویه کشاورزی و تغییرات کاربری، تأثیر مستقیم بر افزایش بار رسوب دارد. در مجموع، می‌توان گفت که عوامل اقلیمی (مانند نوع و شدت بارش، دما، و برف)، ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، و فعالیت‌های انسانی (از جمله تغییرات کاربری، تخریب پوشش گیاهی، و چرای بی‌رویه دام)، با یکدیگر بر روند تولید رسوب در حوضه شیشوان اثرگذارند. این تأثیرات در قالب نوسانات سالانه و فصلی تولید رسوب قابل مشاهده هستند.



شکل ۱- نمودار میانگین بارندگی، رواناب، رسوب و غلظت رسوب حوضه آبخیز شیشوان

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تولید رسوب در حوضه آبخیز شیشوان تحت تأثیر عوامل متعددی مانند میزان و نوع بارش، پوشش گیاهی، و فعالیت‌های انسانی است. بیشترین رسوب در ماه‌های بارانی با پوشش گیاهی کم رخ داده و بارش برف در ماه‌های سرد موجب کاهش رواناب و تولید رسوب شده است. همچنین، رابطه مستقیمی بین حجم رواناب و غلظت رسوب وجود ندارد و تغییرات کاربری اراضی بدون رعایت اصول حفاظتی، افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری را تشدید کرده است. همچنین تغییرات کاربری اراضی حوضه شیشوان طی دهه گذشته، به ویژه کاهش مراتع و افزایش اراضی زراعی، با افزایش رواناب سطحی و غلظت رسوب در جریان‌های آبی منطقه همراه بوده است. در نهایت، مدیریت مناسب کاربری اراضی، احیای پوشش گیاهی و اجرای عملیات آبخیزداری از راهکارهای موثر برای کاهش تولید رسوب و حفظ پایداری حوضه است.

منابع

زارعی ر.، خالدی درویشان ع. (۱۴۰۱). نقش اندوده سطحی در غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت‌های آزمایشگاهی تحت شبیه‌سازی باران های متوالی پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ،۱۳ (۲۶) :۲۳۰-۲۴۲.

زرندیان، ا.، موسی‌زاده، ر.، رمضانی مهریان، م.، قربان‌زاده زعفرانی، س.ق. (۱۴۰۲). برآورد و مقایسه تغییرات فرسایش خاک ناشی از اتلاف پوشش گیاهی در زیر حوضه‌های شرقی آبخیز دریاچه ارومیه. تحقیقات کاربردی خاک، ۱۱(۴)، ۹۴-۷۷.

زهرا جباری، ع.، محمدی قلعه نی، م.، مقدسی، م.، دهبان، ح. (۱۴۰۱). اثرات شیب و شدت باران بر تولید رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران. پژوهش های فرسایش محیطی. ۱۴۰۱; ۱۲ (۱): ۱۲۸-۱۱۳.

کریمی، م.، ابراهیمی، ع.، رحیمی، س. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر تولید رسوب در حوزه‌های آبخیزداری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۸(۲)، ۱۵۸-۱۴۵.

Broxton, P. D., Goodrich, D. C., Guertin, D., Williams, C. J., Unkrich, C. L., Hernandez, M., Fullhart, A., Houdeshell, C., Seyfried, M., & Metz, L. (2024). *Snow simulation for the Rangeland Hydrology and Erosion* Model. Journal of Hydrology, *643*, Article 131934.

Fausak, L.K., Bridson, N., Diaz-Osorio, F., Jassal, R.S. and Lavkulich, L.M., 2024. Soil health–a perspective. *Frontiers in Soil Science*, *4*, p.1462428.

Guder, A.C. and Kabeta, W.F., 2025. Evaluation of future land use change impacts on soil erosion for holota watershed, Ethiopia. *Scientific Reports*, *15*(1), p.6782.

Karamage, F., Shao, H., Chen, X., Ndayisaba, F., Nahayo, L., Kayiranga, A., Omifolaji, J. K., Liu, T., & Zhang, C. (2016). Deforestation Effects on Soil Erosion in the Lake Kivu Basin, D.R. Congo-Rwanda. Forests, 7(11), 281.

Xu G. 2002. Implication of relationships among suspended sediment size. Water discharge and suspended sediment concentration: The Yellow River basin, China. Catena 49: 289–307.

Zhang, N., Xia, Z., Li, P., Chen, Q., Ke, G., Yue, F., Xu, Y. and Wang, T., 2025. The impact of rainfall and slope on hillslope runoff and erosion depending on machine learning. *Frontiers in Environmental Science*, *13*, p.1580149.

Investigation of temporal changes in sediment production and its influencing factors in the Shishvan Basin of East Azerbaijan Province

Fereshteh Azarifam*, Alireza Vaezi

1- PhD Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan: fazarifam71@gmail.com

2- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture. University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Abstract

Understanding the temporal and spatial patterns of sediment production in mountainous watersheds plays a crucial role in water and soil resource management and in reducing environmental damages. This issue is particularly important in sensitive areas such as mountain slopes. The present study aimed to investigate the factors influencing sediment production in the Shishvan watershed, located on the slopes of Mount Sahand (southern East Azerbaijan Province), during the period 2011–2021. The results indicated that sediment yield in the area exhibited considerable fluctuations and did not follow a fixed pattern. The highest daily sediment yield (122 tons) was recorded in April, coinciding with the highest average monthly rainfall (7.8 mm). In contrast, the months from May to September, due to denser vegetation cover and milder precipitation, showed the lowest sediment production rates. In February, despite relatively high average precipitation (7.8 mm), sediment production remained low due to the snowfall-dominated precipitation type. Furthermore, the analysis revealed no consistent direct relationship between sediment concentration and runoff volume; in some cases, an increase in runoff led to reduced concentration due to dilution effects. Therefore, implementing measures such as land-use management, vegetation cover enhancement, and watershed management operations is essential to reduce sediment production in the region.

Keywords: Sediment production, Soil erosion, Watershed management