Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Regional analysis of sediment load and preparation of soil water erosion map, case study: Middle Alborz region

Davood Nikkami[1], Mohammad Tahmoures[2]✉
1. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran. Email: nikkami@scwmri.ac.ir
2. Corresponding Author, Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran.Email: m.tahnoures@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 21, 2022

Revised: Aug. 3, 2022

Accepted: Aug. 22, 2022

Published online: Sep. 23, 2022

Keywords:
Soil conservation,
Sediment yield,
Multivariate regression,
Modeling,
Soil erosion.

ABSTRACT

Awareness of erosion and its spatial changes is a guide for managers and planners in the important matter of water and soil protection in watersheds. In the present study, with the aim of presenting a map of soil water erosion, water flow and sediment data of 40 hydrometric stations in the Middle Alborz region and in the statistical period between the water years of 1980-1981 to 2020-2021 were used. First, the most important factors affecting erosion and sedimentation in the studied sub-basins including 30 hydrological, physiographic, geomorphological, geological and soil characteristics, climate, land use and vegetation as independent variables and two sediment characteristics; including total yield and specific deposition as dependent variables were identified. Using factor analysis and principal component analysis methods, the most important characteristics of effective basins in sedimentation were identified. In the next stage, the study area basins are divided into six homogeneous groups based on selected characteristics and cluster analysis and multivariate regression stepwise method was used to model between specific sedimentation and basin characteristics. According to the selected regression models, it is determined that the amount of special sediment in the Middle Alborz region to five factors of agricultural land area (rainfed, irrigated and orchards), the area of sub-basins, the total area of erosion-sensitive and Quaternary structures, the average annual discharge and the form factor of the basin depend on the fact that these five factors control 92% of the sediment production changes in the selected sub-basins. Then, considering the sediment transfer coefficient of the sub-basins, the amount of soil erosion was determined and the soil erosion map was drawn for the Middle Alborz region. The results showed that the average sedimentation rate and the average weight of soil erosion in the study area were 3.84 and 13.56 tons per hectare per year, respectively. In general, the factors affecting erosion and sedimentation of the Middle Alborz region can be divided into three groups: land use change due to human activities, geology and physiography.

Cite this article: Nikkami, D., & Tahmoures, M. (2022) Regional analysis of sediment load and preparation of soil water erosion map, case study: Middle Alborz region. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (7), 1593-1609.
© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.339481.669217

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۷ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تحلیل منطقه‌ای بار رسوب و تهیه نقشه فرسایش آبی خاک، مطالعه موردی: منطقه البرز میانی

داود نیک‌کامی[۱] ، محمد طهمورث[۲]✉

۱. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ایمیل: nikkami@scwmri.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، ایمیل: m.tahmoures@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۳۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۱

واژه‌های کلیدی:
حفاظت خاک،
رسوب‌دهی،
رگرسیون چندمتغیره،
مدل‌سازی،
فرسایش خاک.

چکیده

آگاهی از میزان فرسایش و تغییرات مکانی آن راه‌گشای مدیران و برنامه‌ریزان در امر مهم حفاظت آب و خاک در حوزه‌های آبخیز است. در پژوهش حاضر با هدف ارائه نقشه فرسایش آبی خاک از داده‌های دبی آب و رسوب ۴۰ ایستگاه آب‌سنجی در منطقه البرز میانی و در دوره آماری بین سال‌های آبی ۱۳۶۱-۱۳۶۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استفاده شد. در ابتدا مهم‌ترین عوامل موثر بر فرسایش و رسوب‌دهی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه شامل ۳۰ ویژگی هیدرولوژیکی، فیزیوگرافیکی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و خاک، اقلیمی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی به عنوان متغیرهای مستقل و دو ویژگی رسوب‌دهی کل و رسوب‌دهی ویژه به عنوان متغیرهای وابسته مشخص شد. با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مهمترین خصوصیات حوضه‌ها موثر در رسوب‌دهی مشخص شد. در مرحله بعد حوضه‌های منطقه مطالعاتی براساس ویژگی‌های منتخب و انجام تحلیل خوشه‌ای به شش گروه همگن تقسیم و با استفاده از رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام اقدام به مدل‌سازی بین رسوب‌دهی ویژه و خصوصیات حوضه‌ها شد. با توجه به مدل‌های رگرسیونی انتخابی مشخص می‌شود که مقدار رسوب‌دهی ویژه در منطقه البرز میانی به پنج عامل مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی و باغات)، مساحت زیرحوضه ها، مجموع مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کواترنر، دبی متوسط سالیانه و ضریب فرم حوضه بستگی دارد که این پنج عامل ۹۲ درصد تغییرات تولید رسوب زیرحوضه‌های انتخابی را کنترل می‌کنند. سپس با در نظر گرفتن ضریب انتقال رسوب زیرحوضه‌ها میزان فرسایش خاک تعیین و نقشه فرسایش خاک برای منطقه البرز میانی ترسیم شد. نتایج نشان داد که میانگین رسوب‌دهی و میزان متوسط وزنی فرسایش خاک در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب ۳/۸۴ و ۱۳/۵۶ تن در هکتار در سال بوده و عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوب منطقه البرز میانی را می‌توان به سه گروه تغییر کاربری اراضی به‌واسطه فعالیت‌های انسانی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی تقسیم‌بندی کرد.

استناد: نیک کامی؛ داود، طهمورث؛ محمد، (۱۴۰۱) تحلیل منطقه‌ای بار رسوب و تهیه نقشه فرسایش آبی خاک، مطالعه موردی: منطقه البرز میانی. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۷)، ۱۶۰۹- ۱۵۹۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.339481.669217

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

فرسایش خاک مهمترین شکل تخریب زمین در منطقه شمال آفریقا و غرب آسیا از جمله ایران است (FAO and ITPS, 2015). فرسایش خاک به عنوان یکی از چالش‌های مهم در مباحث مدیریت پایدار کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و طبعاً مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز[1] و نیز یکی از مهمترین عوامل تهدیدکننده کمیت و کیفیت خاک محسوب می‌شود که پیامدهای ناخواسته آن را می‌توان به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات امروزی بوم‌سازگان‌های مختلف تلقی کرد (Sadeghi et al, 2020). در این راستا شناخت عوامل موثر در فرسایش از یک طرف و برآورد میزان فرسایش از دیگر سو، برای تصمیم‌گیری‌های صحیح و اصولی استفاده از منابع آبخیز کشور ضروری است (Hatefi and Sadeghi, 2022). زیرا آگاهی از وضعیت و روند فرسایش خاک و تولید رسوب در اراضی، داده مورد نیاز برای تصمیم‌گیری و تدوین راهبردهای مناسب مدیریتی را فراهم می‌آورد (Yakupouglu et al, 2021). برای موفقیت در مهار فرسایش خاک، شناخت و آگاهی از عوامل مؤثر بر فرسایش، دامنه تأثیر آن و اولویت‌بندی مناطق ازنظر شدت فرسایش و تولید رسوب ضرورت دارد. این امر یکی از مهمترین ابزارها در برنامه‌ریزی توسعه و مدیریت پایدار اراضی به ویژه در قالب طرح‌های آبخیزداری است (Arabkhedri and Noor, 2021). حال ازآنجایی‌که جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرایندهای هدررفت خاک در پهنه‌های طبیعی دشوار است، ازاین‌رو، شبیه‌سازی و مدل‌سازی فیزیکی در شرایط تحت کنترل یکی از بهترین گزینه‌های جایگزین به‌حساب می‌آید (Bagarello et al, 2019). محققین مختلف از چندین دهه گذشته تاکنون در مورد مقدار فرسایش و رسوب کشور ارقام متفاوت و در برخی از پژوهش‌ها تا چند برابر اختلاف را ذکر کرده‌اند. این ارقام از کمتر از یک تا بیش از پنج میلیارد تن در سال با هم تفاوت دارند (Nikkami, 2009). ارقام یاد شده مبتنی بر تخمین‌های کارشناسی و یا اندازه‌گیری‌های مستقیم یا غیر مستقیم بوده است. روش‌های مختلفی برای برآورد مستقیم مقدار فرسایش وجود دارد که هریک در نوع خود دارای محاسن و محدودیت‌هایی هستند که در نهایت نمی‌توان از آنها برای مناطق وسیع جغرافیایی استفاده کرد. بنابراین، در شرایط فعلی تنها راه عملی برای دستیابی به مقادیر یکپارچه و نزدیک به واقعیت از وضعیت فرسایش و تولید رسوب در کل کشور، استفاده از مدل‌های برآورد فرسایش و تولید رسوب می‌باشد. از سوی دیگر عدم وجود ایستگاه‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی در بسیاری از زیرحوضه‌های کشور نیز باعث شده تا استفاده از روش‌های تحلیل منطقه‌ای رسوب بیشتر مدنظر قرار گیرد (Chitsaz et al, 2020). تعیین مهمترین عوامل موثر در فرآیند فرسایش و رسوب و تعیین مناطق همگن بر پایه این عوامل، راه‌حل مناسبی جهت برآورد دقیق‌تر میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز خواهد بود (Modares et al, 2010). Saghafian et al. (2009) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی در حوزه‌های آبخیز جنوب غرب ایران عواملی همچون مساحت حوضه، درصد تحدب و درصد اراضی با جهت شمال غربی را به‌ترتیب موثرترین عوامل بر تولید رسوب این حوضه‌ها معرفی نمودند. Faghfouri et al. (2017) در پژوهشی در شمال غرب کشور در حوضه سیدآباد به تعیین عوامل موثر بر رسوب‌دهی در این حوضه با استفاده از روش‌های آماری همچون تجزیه و تحلیل عاملی، مدل رگرسیون چندمتغیره، لجستیک و مدل اسکالوگرام پرداخته و نتیجه گرفتند متغیرهای حجم رواناب، حساسیت سنگ به فرسایش، درصد ضریب رواناب و درصد شن از مهمترین عوامل موثر بر فرسایش و تولید رسوب در منطقه مطالعاتی مذکور است. Nosrati et al. (2018) در تحقیقی به تحلیل منطقه‌ای بار رسوب معلق با استفاده از روش رگرسیون مولفه‌های اصلی در مناطق همگن حوزه آبخیز سفیدرود پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که تعیین مناطق همگن با استفاده از متغیرهای ژئومرفولوژیک و دسته‌بندی آن‌ها جهت اجرای هماهنگ عملیات کنترل فرسایش، به عنوان روشی موثر جهت مدیریت فرسایش در حوضه‌های فاقد آمار است. Chitsaz et al. (2020) در تحقیقی به مدل‌سازی رسوب معلق و تعیین عوامل مؤثر بر آن در حوزه‌های آبخیز کارون بزرگ و کرخه پرداختند و بیان نمودند که ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌ها مانند محیط، مساحت، طول آبراهه اصلی و رلیف حوضه‌ها نسبت به سایر عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی و زمین‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه، از درجه اهمیت بیشتری در تولید رسوب منطقه برخوردارند. Nikkami et al. (2020) در قالب طرح پژوهشی با عنوان " تهیه و یکپارچه‌سازی نقشه‌ها و داده‌های رقومی حوضه‌ها و توسعه پایگاه داده‌های مکانی، زمانی و موضوعی مرتبط با فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های رده هفت کشور" با استفاده از آمار بلندمدت رسوب‌سنجی ۱۱۸ ایستگاه و با روش حد وسط دسته‌ها مقدار رسوبدهی حوزه‌های آبخیز مشرف به هر ایستگاه رسوب‌سنجی را تعیین کردند. با در نظر گرفتن ضریب انتقال رسوب این حوضه‌ها، میانگین رسوب‌دهی و میزان متوسط فرسایش خاک در حوضه‌های مشرف بر ایستگاه‌های دارای آمار رسوب در کشور، به‌ترتیب ۳/۳ و ۱۶ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. Nikkami and Shadfar (2021) با استفاده از داده‌های رسوبدهی و فرسایش خاک برای حوزه‌های آبخیز

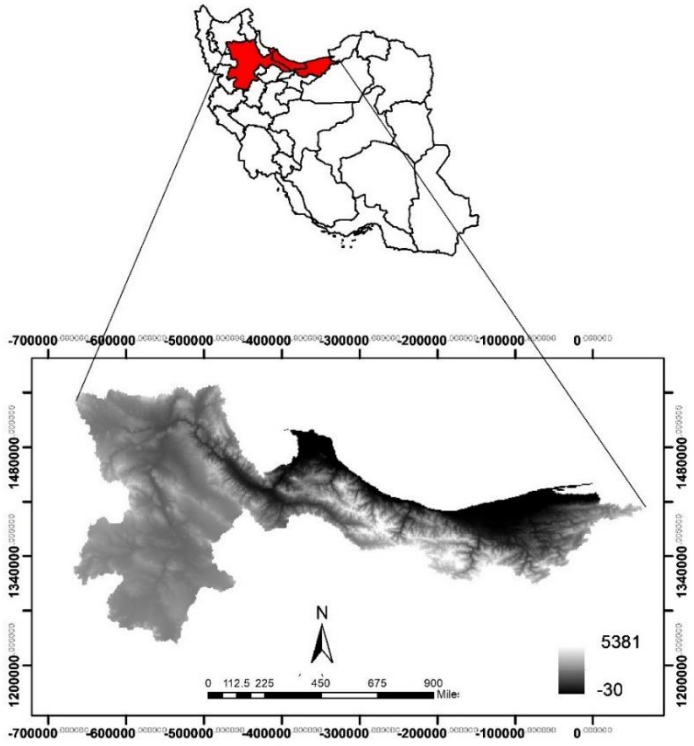
1 Integrated watershed management

مشرف به ایستگاه‌های رسوب‌سنجی (Nikkami et al., 2020) اقدام به واسنجی مدل EPM و تهیه نقشه فرسایش خاک کشور برای حوزه‌های آبخیز مشرف به این ایستگاه‌ها نمودند. با استفاده از این نقشه‌ها، کمترین و بیشترین میزان فرسایش خاک کشور به ترتیب با مقادیر ۹ و ۳۲/۴ تن در هکتار در سال متعلق به مناطق زاگرس میانی و زاگرس جنوبی است. Uca et al. (2018) در پژوهشی به پیش‌بینی میزان تخلیه رسوبات روزانه معلق با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی پرداخته و نتیجه گرفتند که روش رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی تخلیه رسوب معلق (کیلوگرم در روز) در حوزه آبخیز مورد مطالعه مناسب‌ترین روش است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده لزوم اجرای مطالعه‌ای در سطح ملی و در حوزه‌های آبخیز رده یک تماب با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های رسوب سنجی و واسنجی مدل‌های بکار رفته در طرح های قبلی و ایجاد ارتباط بین عوامل موثر در فرسایش در مناطق دارای داده رسوب و مناطق بدون داده به کمک بررسی عوامل حساس احساس می‌شود. هدف از ایـن تحقیـق یـافتن رابطه مناسب آماری بین مقدار تولید رسوب زیرحوضه‌ها و عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی و تهیه نقشه فرسایش خاک در منطقه البرز میانی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال و شمال غرب کشور بین مختصات جغرافیایی ′۴۶°۲۷ تا ′۵۴°۳۳ طول شرقی و ′۳۴°۵۸ تا ′۳۷°۵۶ عرض شمالی واقع شده است. منطقه البرز میانی از شرق به استان گلستان، از غرب به استان گیلان، از طرف شمال به دریای مازندران و از قسمت جنوب به استان‌های تهران، سمنان و البرز محدود می‌شود. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه رقومی واحدهای اراضی، تیپ و واحدهای اراضی در محدوده مورد مطالعه تفکیک شد. براین اساس بیشترین نوع کاربری در این منطقه، به‌ترتیب مربوط به جنگل متراکم با ۳۰/۷۳ درصد، کشاورزی آبی مختلط با اراضی دیم و آیش با ۱۹/۵۰ درصد و مراتع خوب با ۱۱/۰۲ درصد می‌باشند. مناطق مورد تحقیق در شرق استان مازندران شامل حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های نکاء و تجن با شش ایستگاه آب‌سنجی و مساحت ۱۸۲۳۱ کیلومتر مربع، در منطقه مرکزی استان مازندران شامل حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های حدفاصل هراز تا سفیدرود با ۱۰ ایستگاه و مساحت ۱۰۸۳۵ کیلومتر مربع و در غرب استان مازندران حوزه‌های آبخیز رودخانه سفیدرود با ۲۴ ایستگاه آب‌سنجی و مساحت ۵۹۲۴۱ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل شماره (۱) موقعیت منطقه مورد پژوهش را در کشور نشان می‌دهد. تعداد حوضه‌های رتبه چهار و رتبه هفت در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب ۵۷ و ۸۵۲ می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه البرز میانی در ایران

روش پژوهش

مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- انتخاب ۴۰ ایستگاه آب‌سنجی و حوضه‌های مربوط به آنها در منطقه البرز میانی (جدول ۱)؛ طول دوره آماری (داشتن حداقل ۳۰ سال داده که در این پژوهش دوره آماری بین سال‌های آبی ۱۳۶۱-۱۳۶۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد استفاده قرار گرفته است) و دقت آماری مناسب، پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌ها و تنوع مساحت حوضه‌ها، مبنا و معیار انتخاب بوده است.

۲- برآورد متوسط رسوب معلق ۳۰ ساله ایستگاه‌های منتخب باتوجه به روش حدوسط دسته‌ها؛ در این روش که اولین بار توسط Jansson (1970) ارائه شد، ابتدا مجموعه متناظر دبی-رسوب به صورت صعودی مرتب شده و پس از آن به دسته‌های مشخص تقسیم می‌شوند. در گام بعدی به صورت متناظر به ازای متوسط دبی هر دسته، متوسط غلظت رسوب آن دسته تعیین و یک سری جدید از زوج داده‌های دبی-رسوب تهیه می‌شود. پس از آن، سری مذکور به یک دستگاه مختصات لگاریتمی منتقل شده و یک رابطه رگرسیونی توانی[1] با فرم رابطه (۱) به آن برازش داده می‌شود و مطابق با آن از روی دبی روزانه، مقادیر رسوب روزانه و در نهایت سری‌های سالانه رسوب برای هر ایستگاه برآورد می‌شود.

رابطه ۱) $$Q_s = aQ_w^b$$

که در این رابطه، Q_s دبی رسوب به ازای مقادیر دبی جریان، Q_w دبی جریان، a وb ضرایب معادله هستند.

۳- انتخاب و محاسبه ۳۰ ویژگی هیدورلوژیکی، فیزیوگرافی، ژئومورفولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی و خاک، کاربری و پوشش گیاهی زیرحوضه‌های انتخابی به عنوان متغیرهای مستقل (جدول ۲)

۴- محاسبه مقادیر لگاریتمی متغیرهای مستقل (ویژگی‌های هیدورلوژیکی، فیزیوگرافی، ژئومرفولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی و خاک، کاربری و پوشش گیاهی زیرحوضه‌های انتخابی) و متغیر وابسته (مقدار رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها)

۵- تعیین عوامل تأثیر گذار بر میزان رسوب زیرحوضه‌ها از بین متغیرهای مستقل موجود، با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل خوشه‌ای و انجام تجزیه و تحلیل چند متغیره در محیط نرم افزار SPSS نسخه ۲۶

۶- استفاده از رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام و بدست آوردن رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته

۷- انجام واسنجی مدل‌های رگرسیونی، در این تحقیق داده‌های بدست آمده از ۴۰ ایستگاه آب‌سنجی انتخابی، به‌طور تصادفی به دو بخش آموزشی و آزمایشی تقسیم شدند. از ۷۰٪ داده‌ها برای ایجاد مدل‌ها و برآورد پارامترهای آن در بخش آموزشی و از ۳۰٪ داده‌ها نیز برای واسنجی مدل‌های رگرسیونی استفاده شد.

۸- ارزیابی کارایی مدل‌ها، برای این منظور از روش Nash and Sutcliffe (1970) استفاده شد (رابطه ۲). از رابطه (۳) نیز برای تعیین میانگین نسبی مربعات خطا استفاده شده است.

رابطه ۲) $$NSE = 1 - \left[\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2 / \sum_{i=1}^{n}(O_i - O_m)^2\right]$$

رابطه ۳) $$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2} / \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} O_i$$

که در آن‌ها، *NSE* شاخص ارزیابی و کارایی مدل (این ضریب هرچه به یک نزدیک‌تر باشد،کارایی مدل بهتر خواهد بود)، O_i مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب، O_m میانگین مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب و P_i داده مربوط به برآورد رسوب و *RRMSE* میانگین نسبی مربعات خطا است. دامنه تغییرات *RRMSE* از صفر تا بی‌نهایت بوده و هرچه مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بیشتر است (Nash and Sutcliffe, 1970).

۹- محاسبه نسبت تحویل رسوب[2] زیرحوضه‌ها، بدین صورت که از میان روش‌های متعدد محاسبه نسبت تحویل رسوب، با انجام آنالیزهای آماری، روشی که دارای بهترین کارایی بوده و دقت قابل قبولی نیز داشت برای تعیین SDR در منطقه مطالعاتی استفاده شد.

۱۰- تعیین میزان فرسایش خاک با در نظر گرفتن SDR محاسبه شده برای زیرحوضه‌ها و ترسیم نقشه فرسایش خاک برای منطقه البرز میانی

---

1 - Power regression

2 - Sediment Delivery Ratio (SDR)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌ها و حوضه‌های انتخابی و میزان تولید رسوب آن‌ها

ردیف	نام ایستگاه	نام حوضه	کد ایستگاه	مساحت (ha)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	رسوب کل ($t.yr^{-1}$)
۱	آبلو	نکاء	۱۳۰۱۳	۱۸۷۷۸۸/۵	۳۶° ۳۹′	۵۳° ۱۵′	۶۷۱۶۴۴
۲	ریگ چشمه	تجن	۱۲۰۲۵	۲۷۰۰۳۰/۶	۳۶° ۲۲′	۵۹° ۱۰′	۲۹۷۶۹۶
۳	شیرگاه	تالار	۱۴۰۰۱	۳۴۵۹۴/۹	۳۶° ۱۶′	۵۲° ۵۲′	۳۶۲۱۰۲
۴	شیرگاه	کسیلیان	۱۴۰۰۵	۱۷۸۵۹۹/۳	۳۶° ۱۷′	۵۲° ۵۲′	۶۴۲۱۹
۵	قران تالار	بابلرود	۱۴۰۱۱	۴۰۸۴۹/۴	۳۶° ۱۶′	۵۲° ۴۶′	۱۱۵۰۸۰
۶	کرد سنگ	هراز	۱۵۰۱۷	۳۹۶۹۳۳	۳۶° ۱۶′	۵۲°۲۲′	۲۲۰۱۲۷
۷	کورکورسر	کورکورسر	۱۶۰۱۱	۶۷۶۸/۲	۳۶° ۴۰′	۵۱° ۲۸′	۱۳۶۰۰
۸	پل ذغال	چالوس	۱۶۰۲۱	۱۶۲۳۰۷/۸	۳۶° ۰۵′	۵۱° ۳۳′	۵۶۷۳
۹	هرات بر	چشمه کیله	۱۶۰۴۱	۷۷۹۶۳/۴	۳۶° ۴۵′	۵۰° ۵۰′	۳۰۴۹۳۴
۱۰	هرات بر	سموش	۱۶۰۵۵	۱۵۷۲۳۱/۴	۳۶°۵۹′	۵۰°۱۷′	۳۷۸۲۱۷
۱۱	دراز لات	پلرود	۱۶۰۵۹	۱۰۴۰۳/۷	۳۶°۵۹′	۵۰°۱۸′	۶۳۵۱
۱۲	والت	سردابرود	۱۶۰۸۵	۳۳۱۰۸/۹	۳۶° ۳۲′	۵۱° ۱۳′	۲۵۱۶۴
۱۳	دینار سرا	آزادرود	۱۶۰۸۹	۲۲۸۹۶/۲	۳۶° ۳۹′	۵۱° ۰۰′	۲۷۲۸۲
۱۴	باجیکوابر	خشکرود	۱۶۰۹۱	۱۰۱۶۷/۸	۳۷′۰۰	۵۰°۲۶′	۷۲۳۴
۱۵	کل چای	شلمان‌رود	۱۶۰۹۳	۱۳۸۰۱/۱	۳۷′۰۳	۵۰°۰۶′	۱۲۸۷۰
۱۶	توتکی	شمرود	۱۶۲۰۵	۱۳۳۸۵/۶	۳۷′۰۳	۴۹°۵۲′	۶۹۱۲
۱۷	هشتادجفت	کامیشگای	۱۷۰۰۹	۵۸۶۵۲/۴	۳۶°۱۰′	۴۷°۵۳′	۵۶۴۸۲۲
۱۸	قره‌گونی	قزل‌اوزن	۱۷۰۱۱	۱۷۲۷۱/۵	۳۶°۱۴′	۴۷°۵۷′	۱۷۲۷۱
۱۹	پل‌دختر	قزل‌اوزن	۱۷۰۲۱	۳۰۹۱۱۸/۵	۳۷°۲۱′	۴۷°۴۹′	۷۶۶۶۱۳
۲۰	ینگی‌کند	سجاسرود	۱۷۰۷۴	۱۲۹۱۴۲/۱	۳۶°۱۴′	۴۷°۵۸′	۴۹۵۹۰۵
۲۱	باغ‌کلایه	شاهرود	۱۷۰۳۹	۳۵۲۷۰/۲	۳۶°۲۳′	۴۹°۲۹′	۱۳۱۹۱۰
۲۲	لوشان	شاهرود	۱۷۰۴۱	۵۳۰۶۸/۱	۳۶°۳۷′	۴۹°۳۰′	۲۴۵۷۰۵
۲۳	پالتی	تهم‌چای	۱۷۰۱۷	۵۱۴۸/۹	۳۷°۲۱′	۴۷°۴۹′	۸۰۸۳
۲۴	بین‌راه رودبار	سفیدرود	۱۷۰۴۳	۳۵۲۹/۵	۳۶°۴۶′	۴۹°۲۳′	۷۱۲۹
۲۵	گیلوان	قزل‌اوزن	۱۷۰۳۳	۷۶۶۷/۲	۳۶°۴۶′	۴۹°۰۷′	۸۰۵۰
۲۶	جوستان	طالقان	۱۷۹۶۶	۲۲۲۸۱/۵	۳۶°۱۱′	۵۰°۵۴′	۲۵۶۲۳
۲۷	جوستان علیزان	علیزان	۱۷۹۳۴	۲۴۰۱۴/۵	۳۶°۱۲′	۵۰°۵۴′	۴۲۰۵۱
۲۸	شاری چای	شاری چای	۱۷۱۰۹	۱۲۶۰۵/۱	۳۷°۲۷′	۴۷°۴۱′	۴۰۵۳۱
۲۹	تهم گلهرود	گلهرود	۱۷۰۷۶	۶۳۲۴/۳	۳۶°۴۸′	۴۸°۳۰′	۱۰۳۹۹
۳۰	دوآب-شهربیجار	شهربیجار	۱۲۱۰۱	۷۹۵۱۳/۱	۳۷′۰۵	۵۰°۱۵′	۲۴۱۰۸۳
۳۱	درو	شاهرودچای	۱۷۱۳۳	۳۱۴۹۷/۴	۳۷°۲۴′	۴۸°۴۱′	۵۸۴۳۰
۳۲	سرچم	زنجان‌رود	۱۷۰۱۹	۵۸۶۵۲/۴	۳۷′۰۷	۴۷°۵۳′	۵۷۱۶۷۹
۳۳	گلینک	طالقان‌رود	۱۷۸۳۵	۱۷۲۷۱/۵	۳۶°۱۳′	۵۰°۳۹′	۱۴۹۱۴
۳۴	قازلو	کلوچه	۱۹۰۳۶	۲۹۵۱۱۸/۵	۳۷°۲۳′	۴۷°۴۶′	۴۷۷۳۱۳
۳۵	قرنقو	قرنقو	۱۷۰۲۶	۱۲۹۱۴۲/۱	۳۷°۲۴′	۴۷°۳۸′	۵۰۴۲۷۶
۳۶	استور	قزل‌اوزن	۱۷۰۲۹	۷۲۸۸۱/۵	۳۷°۳۰′	۴۷°۵۸′	۵۶۳۹۳۶
۳۷	کوهسالار	شهرچای	۱۷۰۲۷	۲۰۶۹۶/۸	۳۷°۳۱′	۴۷°۲۳′	۶۴۵۲۰
۳۸	بیانلو	قزل‌اوزن	۱۷۰۰۱	۴۴۷۵۳/۳	۳۶°۰۰′	۴۷°۵۸′	۴۰۵۷۸۵
۳۹	توتکابن	توتکابن	۱۷۰۴۵	۵۵۵۰/۶	۳۶°۵۱′	۴۹°۳۳′	۵۴۲۴۷
۴۰	آیدوغموش	قزل‌اوزن	۱۷۰۹۲	۳۰۵۶/۶	۳۷°۲۰′	۴۷°۴۲′	۳۹۵۱۲

جدول ۲- عوامل موثر بر رسوب‌دهی در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در منطقه البرز میانی

گروه اصلی	طبقه	نوع پارامتر
عوامل فیزیوگرافی و ژئومرفومتری	پارامترهای خطی	مساحت حوضه، محیط حوضه، طول حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکشی
	ارتفاع	ارتفاع متوسط حوضه، شیب متوسط حوضه،
	شکل حوضه	ضریب شکل حوضه
	پارامترهای ژئومرفومتری	پستی و بلندی حوضه
عوامل زمین شناسی و خاک		درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش، درصد مساحت سازندهای نسبتاً حساس به فرسایش، درصد مساحت سازندهای با حساسیت متوسط به فرسایش، درصد مساحت سازندهای نسبتاً مقاوم و مقاوم به فرسایش، میانگین حساسیت به فرسایش سازندهای حوضه درصد شن خاک، درصد سیلت خاک، درصد رس خاک
عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی		درصد مساحت زراعت آبی و باغات، درصد مساحت زراعت دیم، درصد مساحت مراتع با تراکم کمتر از ۲۵ درصد، درصد مساحت مراتع با تراکم بیشتر از ۲۵ درصد، درصد مساحت جنگل‌های با تراکم کمتر از ۲۵ درصد، درصد مساحت جنگل‌های با تراکم بیشتر از ۲۵ درصد، درصد مساحت اراضی بدون پوشش و بیرون زدگی سنگی، درصد مساحت سطوح آبی، باتلاق، نیزار و بستر رودخانه، درصد مساحت مناطق مسکونی
عوامل اقلیمی و هیدرولوژی		میانگین بارندگی سالیانه، میانگین دمای سالیانه، میانگین دبی سالیانه

شایان ذکر است برای استخراج عوامل فیزیوگرافی و ژئومرفومتری در حوضه‌های مورد مطالعه از نرم افـزار Arc GIS و نسخه الحاقی Arc Hydro استفاده شد. برای استخراج عوامل زمین شناسی و وزن‌دهی به سازندهای منطقه تحقیق از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور (Sahandi and Soheili, 2005) و روش تعیین حساسیت به فرسایش واحدها ارائه شده توسط Feiznia (1995) استفاده شد. همچنین جهت استخراج پارامترهای خاک نیز از اطلاعات جهانی خاک[1] با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر استفاده شد. پس از دانلود داده‌های جهانی بافت خاک از سایت (www.isric.org) میانگین درصد شن خاک، میانگین درصد سیلت و میانگین درصد رس خاک با استفاده از GIS برای حوضه‌های مورد مطالعه استخراج شد.

برای استخراج (عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی) از نقشه های پوشش گیاهی تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و تصاویر رایگان ماهوارهٔ سنتینل-۲، استفاده شد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا[2] نقشه کاربری اراضی منطقه تحقیق تهیه گردیده و سپس با استفاده از GIS درصد مساحت هریک از طبقات در هر حوضه استخراج شد. برای استخراج (عوامل اقلیمی) از نقشه‌های هم‌باران و هم‌دمای حوضه‌های مورد مطالعه، تهیه شده توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران استفاده شد.

نتایج و بحث

بـا بررسی روی مقادیر ریشهٔ پنهان ماتریسی، درصد واریانس و متغیرهایی که در هر عامل اصلی بیشترین بار وزنی را دارند، سه عامل برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه در منطقه البرز میانی انتخاب شد که ۹۴/۱۴ درصـد تغییر در داده‌های اصلی را توضیح مـی‌دهنـد (جدول ۳).

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، عامل اول ۷۰/۱۵ درصد از واریانس را بیان می‌کند و با چرخش انجام شده، برخی متغیرها بار وزنی بیشتری بر روی این عامل داشته و در حقیقت عامل به‌گونه‌ای چرخیده که بیشترین تاثیر را پدید آورده است و این بدان معنی است که توزیع وزن‌های منفرد هر متغیر تاحد ممکن ساده است. در نتیجه هر یک از متغیرهای مورد بررسی در زیرحوضه‌های منطقه البرز

1 - World Soil Information (ISRIC)
2 - Pixel based

میانی، حداقل و به طور نزدیک با یکی از سه عامل در ارتباط است. در جدول ۴، ماتریس وزنی عاملی و دَوَران یافته برای هریک متغیرها ارائه شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که عامل اول به طور مثبت با متغیرهایی مانند درصد اراضی کشاورزی (دیم و آبی و باغات)، درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش، مساحت حوضه، درصد شیب وزنی آبراهه اصلی، دبی متوسط سالانه و وضعیت مراتع ارتباط دارد. بنابراین این عامل بیان کننده کاربری اراضی است. در عامل دوم که ۲۲/۰۸ درصد واریانس را بیان می‌کند، متغیرهایی مانند درصد مساحت سازندهای نسبتاً حساس به فرسایش، مساحت زیرحوضه‌ها، ضریب فرم حوضه‌ها، محیط زیرحوضه‌ها، ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ها و طول رودخانه اصلی، بار وزنی بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. در عامل دوم متغیر ضریب فرم زیرحوضه‌ها وزن بیشتری (۰/۹۸۵) را نسبت به سایر متغیرها به خود اختصاص داده است و این طور به نظر می‌رسد که این عامل بیان کننده شکل و اندازه حوضه است. در عامل سوم که ۵/۷۷ درصد تغییر داده‌های اصلی را شرح می‌دهد، متغیرهای زمین‌شناسی (درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش) بار وزنی بیشتری (۰/۸۵۵) را به خود اختصاص داده است، از این رو این عامل بیان کننده وضعیت زمین‌شناسی در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان داد که پنج عامل درصد مساحت اراضی کشاورزی، مساحت زیرحوضه‌ها، درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش، دبی متوسط سالیانه و ضریب فرم حوضه ۹۲ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کند.

جدول ۳- مقایسه ریشه پنهان ماتریسی و درصد واریانس عوامل برای زیرحوضه‌های انتخابی

عوامل	ریشه پنهان ماتریسی	درصد واریانس	مقادیر تجمعی درصد واریانس
۱	۱۶/۳۰۶	۷۰/۱۵	۷۰/۱۵
۲	۵/۳۰۲	۲۲/۰۸	۸۷/۶۲
۳	۲/۲۵۴	۵/۷۷	۹۳/۸۵
۴	۰/۶۱۵	۳/۲۹	۹۷/۱۴
۵	۰/۵۰۲	۱/۰۰۲	۹۸/۴۰۲
۶	۰/۴۹۵	۰/۲۵۵	۹۸/۶۵۷
۷	۰/۳۰۳	۰/۱۲۱	۹۸/۷۷۸
۸	۰/۲۹۵	۰/۱۱۳	۹۸/۸۹۱
۹	۰/۲۴۵	۰/۱۰۸	۹۸/۹۹۹
۱۰	۰/۲۱۲	۰/۱۰۴	۹۹/۱۰۳
۱۱	۰/۰۹۹	۰/۱۰۱	۹۹/۲۰۴
۱۲	۰/۰۵۴	۰/۰۹۸	۹۹/۳۰۲
۱۳	۰/۰۳۲	۰/۰۹۷	۹۹/۳۹۹
۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۹۶	۹۹/۴۹۵
۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۹۴	۹۹/۵۸۹
۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۷۱	۹۹/۶۶۰
۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۵۲	۹۹/۷۱۲
۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۲۷	۹۹/۷۳۹
۱۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	۹۹/۷۵۷
۲۰	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۹۹/۷۶۹
۲۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۹۹/۷۸
۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۹۹/۷۸۹
۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۹۹/۷۹۵
۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۹۹/۸
۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۹۹/۸۰۳
۲۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۹/۸۰۴
۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۹/۸۰۶
۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۹/۸۰۸
۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۹/۸۱۱
۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۹/۸۱۶

جدول ٤- ماتریس وزنی عاملی دوران‌یافته برای هریک از متغیرها در زیرحوضه‌های مورد بررسی منطقه البرز میانی

عوامل متغیرها	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
درصد مساحت اراضی کشاورزی (باغات+ کشاورزی آبی)	۰/۹۷۴	۰/۳۶۶	۰/۳۳۲
درصد مساحت اراضی کشاورزی دیم	۰/۹۶۱	۰/۳۴۸	۰/۳۵۷
درصد مساحت اراضی با کاربری مرتع	۰/۹۲۱	۰/۲۰۹	۰/۲۹۶
درصد مساحت اراضی تخریب شده و دارای کاربری مرتع ضعیف	۰/۹۴۴	۰/۲۰۷	۰/۲۱۵
درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کواترنر	۰/۹۱۹	۰/۳۰۹	۰/۸۶۲
درصد مساحت سازندهای نسبتاً حساس به فرسایش	۰/۶۲۸	۰/۱۹۱	۰/۷۹۵
درصد مساحت سازندهای با حساسیت متوسط به فرسایش	۰/۴۱۷	۰/۱۰۵	۰/۶۵۹
درصد مساحت سازندهای نسبتاً مقاوم و مقاوم به فرسایش	-۰/۰۵۹	-۰/۲۵۱	۰/۰۵۲
ضریب شکل حوضه	۰/۱۵۶	۰/۹۵۴	۰/۱۲۴
مساحت حوضه	۰/۲۰۹	۰/۴۸۶	۰/۱۸۸
محیط حوضه	۰/۱۱۴	۰/۵۰۵	۰/۲۴۱
طول حوضه	۰/۱۴۱	۰/۸۸۴	۰/۱۰۳
ارتفاع متوسط حوضه	۰/۸۰۲	۰/۴۴۱	-۰/۰۹۴
مجموع طول آبراهه‌ها	۰/۱۰۶	۰/۶۰۹	۰/۲۰۱
طول رودخانه اصلی	۰/۱۱۱	۰/۹۰۷	۰/۱۰۴
شیب متوسط حوضه	۰/۷۶۶	۰/۲۰۲	۰/۲۰۸
شیب متوسط رودخانه اصلی	۰/۶۳۹	۰/۱۰۸	۰/۱۱۷
متوسط بارش سالیانه	۰/۴۷۷	-۰/۱۰۹	۰/۳۳۶
متوسط دمای سالیانه	۰/۳۲۹	-۰/۲۴۹	۰/۰۹۳
متوسط دبی سالیانه	۰/۸۰۴	۰/۲۱۵	۰/۲۱۷
ضریب فشردگی حوضه	۰/۱۰۱	۰/۴۸۸	۰/۱۰۷
ضریب گردی حوضه	۰/۱۲۲	۰/۵۱۸	۰/۰۹۹
تراکم آبراهه‌ای	-۰/۲۳۸	۰/۳۰۳	۰/۱۵۶
پستی و بلندی حوضه	-۰/۲۱۱	۰/۱۰۴	-۰/۱۱۴
NDVI مرطوب‌ترین سال	۰/۰۹۹	۰/۱۱۴	۰/۱۰۶
NDVI سال نرمال	۰/۰۸۴	۰/۱۵۷	۰/۱۰۹
NDVI خشک‌ترین سال*	۰/۱۶۱	۰/۲۱۱	۰/۱۲۹
درصد ذرات رس خاک	۰/۱۷۳	۰/۱۱۸	۰/۱۰۶
درصد ذرات سیلت خاک	۰/۲۱۴	۰/۲۱۳	۰/۱۱۶
درصد ذرات شن خاک	۰/۲۵۳	۰/۲۲۲	۰/۱۸۵

* در این پژوهش برای استخراج شاخص NDVI از تصاویر هشت روزه MOD09A1 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر استفاده شد. این تصاویر به ازای هر ماه در طول بازه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی) از سایت (www.earthexplorer.usgs.gov) دانلود شد. میانگین تصاویر NDVI مربوط به ماه‌های میلادی فوریه، مارس، آوریل و می (بهمن تا اردیبهشت) که هم‌زمان با اوج رگبارهای فرسایش‌زا در منطقه تحقیق است، برای سال ۲۰۱۹ (معرف مرطوب‌ترین سال در منطقه تحقیق)، سال ۲۰۱۶ (معرف سال نرمال در منطقه مطالعاتی) و سال ۲۰۱۷ (معرف خشک‌ترین سال در منطقه تحقیق) تهیه و میانگین NDVI برای هر یک از سال‌ها با استفاده از GIS در هریک از زیرحوضه‌ها استخراج شد.

همچنین در مطالعه حاضر پس از تکمیل و آماده نمودن داده‌های رسوب و ماتریس ویژگی‌های هر یک از زیرحوضه‌ها و به منظور کاهش ابعاد ویژگی‌ها و انجام مدل‌سازی بهینه، آنالیز مولفه اصلی[1] یا PCA نیز بر روی ویژگی‌های زیرحوضه‌های مطالعاتی انجام شد.

شایان ذکر است که به منظور اطمینان از تناسب داده‌ها برای انجام تجزیه به مولفه‌های اصلی از آماره KMO[2] و آزمون کرویت بارتلت استفاده شد. ضریب KMO در دامنه ۱-۰ در نوسان بوده و در صورتی‌که مقدار آن کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقادیر این ضریب بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد، تناسب داده‌ها متوسط و اگر مقدار این ضریب بیش

1 Principal Component Analysis
2 Kaiser-Meyer-Olki

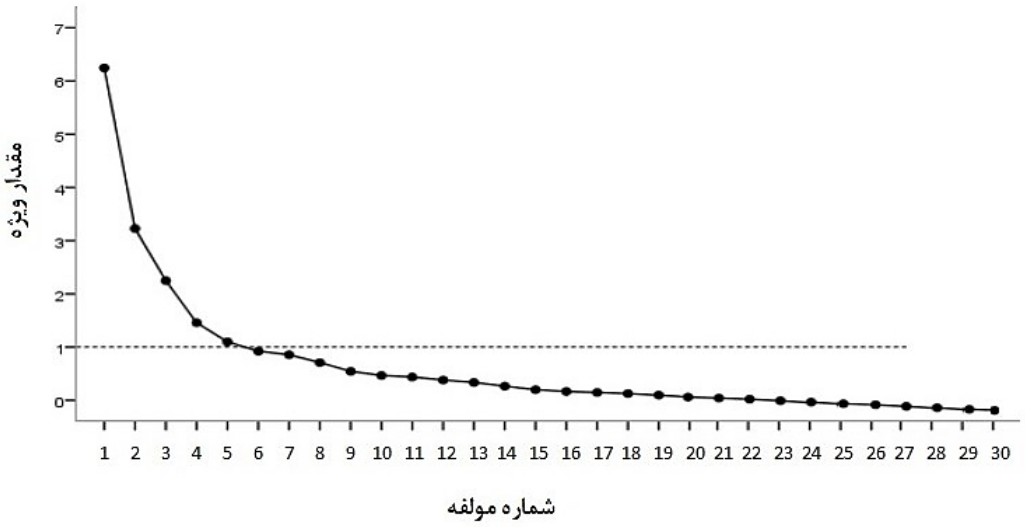
از ۰/۷ باشد، داده‌ها برای انجام آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی کاملاً مناسب خواهند بود. باتوجه به جدول ۵ مقدار KMO=۰/۸ بوده و در نتیجه داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهند بود. همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز معنی‌دار است، به این مفهوم که فرض مخالف تایید می‌شود و بین متغیرها همبستگی معنی‌داری وجود دارد. معنی‌دار بودن مربع کای نیز بیانگر کمینه شرایط لازم برای انجام تحلیل عاملی است.

جدول ۵- آماره KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت

آزمون کرویت بارتلت و KMO		
سنجش کفایت داده‌ها با استفاده از Kaiser-Meyer-Olki		۰/۸۰۰
آزمون کرویت بارتلت	Approx. Chi-Squre	۴۰۵/۰۱۷
	df	۴۵
	Sig	۰/۰۵

نمودار سنگریزه‌ای[1] مولفه‌های اصلی نشان داد که بعد از عامل پنجم شیب نمودار افقی بوده و افزودن عامل ششم تاثیر چندانی در افزایش واریانس نداشته است و پنج مولفه یا عامل اول ۹۱ درصد تغییرات را در برگرفته (شکل ۲) و مقدار واریانس تبیین شده کل براساس پنج عامل مذکور، ۹۱ درصد است. از بین بردارهای ویژه پنج مولفه اول، ویژگی‌هایی (مقادیر چرخش یافته) که دارای قدر مطلق ضرایب بیشتر از ۰/۵ بودند به عنوان ویژگی‌های اثرگذار زیرحوضه‌ها در فرآیند رسوب‌دهی انتخاب و جهت مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۶).

در این پژوهش به منظور کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعیین عوامل موثر در رسوب زیرحوضه‌های مورد مطالعه، از رگرسیون چندمتغیره گام به گام استفاده شد. این روش، اثر چندین متغیر مستقل را بر یک متغیر وابسته بررسی می‌کند. در رگرسیون چند متغیره گام به گام، متغیر مستقلی که تاثیر محسوسی بر متغیر وابسته ندارد، از تحلیل حذف و از معادله خارج می‌شود.



شکل ۲- نمودار سنگریزه‌ای برای شناسایی تعداد عوامل اثرگذار بر اساس تحلیل عاملی

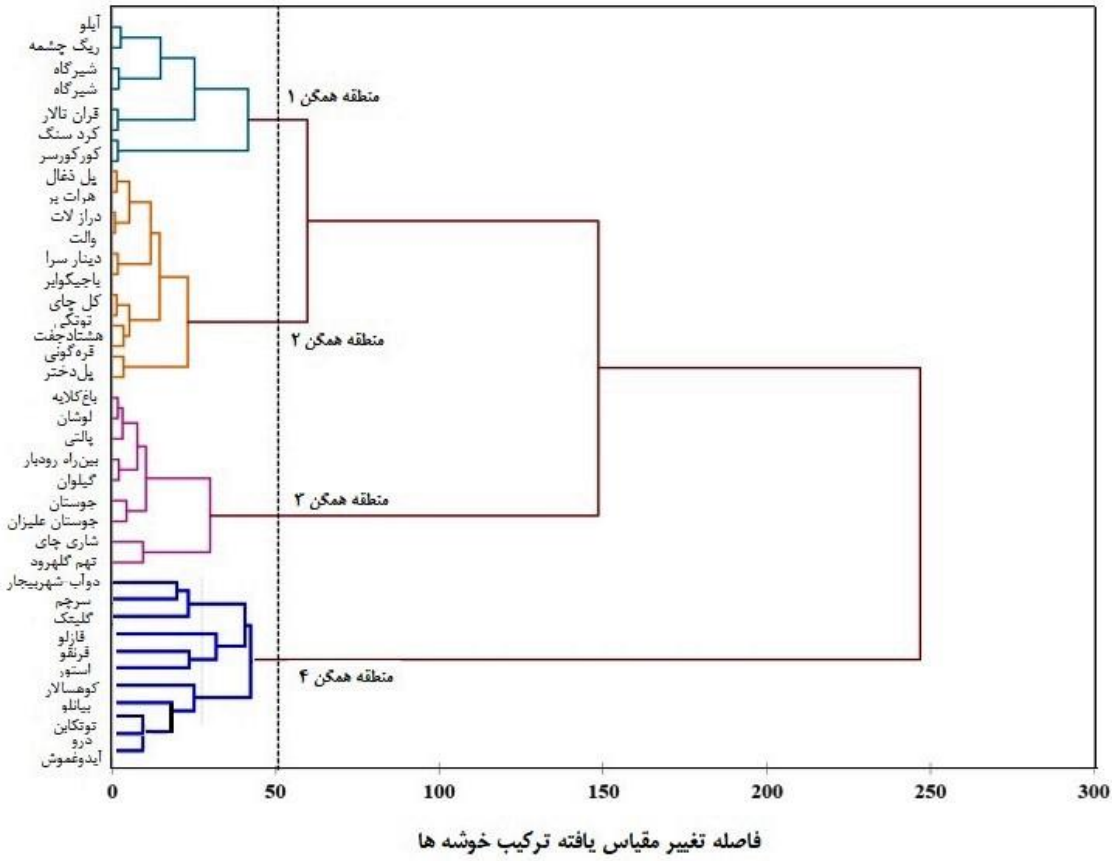
با توجه به ویژگی‌های موثر تعیین شده (جدول ۶) اقدام به گروه‌بندی زیرحوضه‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای شد. براساس نتایج حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی، زیرحوضه‌های مورد مطالعه در چهار گروه همگن قرار گرفتند (شکل ۳). در هریک از گروه‌ها، به صورت جداگانه اقدام به برقراری روابط رگرسیونی چندمتغیره گام به گام شد که در سطح اعتماد پنج درصد معنی‌دار می‌باشند. نتایج نشان داد که مدل اولیه ساخته شده برای منطقه چهارم از ضریب تبیین (R^2) کمی برخوردار بود (R^2=52.7%). از این‌رو به‌منظور افزایش دقت مدل اولیه رگرسیونی تهیه شده برای منطقه همگن چهارم، حوضه‌های منطقه چهارم به سه زیرگروه براساس ویژگی‌های دبی متوسط سالیانه، مساحت و ضریب شکل حوضه‌ها تقسیم شدند. جدول ۷، مدل‌های رگرسیونی ساخته شده جهت برآورد رسوبدهی ویژه در مناطق همگن تعیین شده

1 Screen Plot

در منطقه البرز میانی و نتایج واسنجی و ارزیابی کارایی این مدل‌ها براساس روش نش–ساتکلیف را نشان می‌دهد.

جدول ٦- ویژگی‌های انتخاب شده و اثرگذار زیرحوضه‌ها در تولید رسوب در منطقه البرز میانی

نام ویژگی	واحد	کد متغیر	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4	PC_5
رسوب سالانه	Ton/Year	Y	۰/۸۹				
درصد مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی+ باغات)	ha	X_1		۰/۸۶			
مجموع درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کواترنر	ha	X_2		۰/۸۵			
دبی متوسط سالیانه	m^3/s	X_3		۰/۷۹			
مساحت حوضه	ha	X_4					۰/۷۷
ضریب شکل حوضه	-	X_5			۰/۷۳	۰/۶۹	



شکل ۳- خوشه‌بندی سلسله مراتبی حوضه‌های مورد مطالعه در منطقه البرز میانی

جدول ۷- مدل‌های رگرسیونی ساخته شده جهت برآورد رسوب سالانه در منطقه البرز میانی

منطقه همگن	معادله رگرسیونی	NS	R^2	RRMSE
۱	Log SSy =1.122 +0.607(logx1) +0.923(logx2) + 0.615(logx4) + 1.238(logx5)	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۱۹
۲	Log SSy =1.104 +0.215(logx1) +0.885(logx3) + 0.416(logx4) + 1.118(logx6)	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۲۰
۳	Log SSy =2.038 +0.455(logx1) +0.603(logx2) + 1.202(logx3) + 0.517(logx6)	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۲۴
۴-۱	Log SSy =1.003 +0.299(logx1) +0.715(logx2) + 0.884(logx3) + 0.399(logx5)	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۱۸
۴-۲	Log SSy =0.807 +0.301(logx1) +0.854(logx2) + 0.986(logx3) + 0.395(logx4)	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۱۸
۴-۳	Log SSy =0.849 +0.328(logx1) +0.833(logx2) + 1.004(logx3) + 0.408(logx4)	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۱۷

در روابط ارائه شده در جدول ۷، SSy: رسوب‌دهی ویژه زیر حوضه‌ها بر حسب تن در هکتار در سال، x_1 : مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی+ باغات) بر حسب هکتار، x_2 : مجموع مساحت سازندهای حساس به فرسایش و کواترنر، x_3 : دبی متوسط

سالیانه، x_4 : مساحت حوضه، x_5 : ضریب شکل حوضه، x_6 : مساحت حوضه بر حسب هکتار × دبی متوسط سالیانه (مترمکعب بر ثانیه). NS: شاخص نش–ساتکلیف برای ارزیابی و کارایی مدل‌ها (این ضریب هرچه به یک نزدیک‌تر باشد،کارایی مدل بهتر خواهد بود)، R^2 : ضریب تبیین، RRMSE: میانگین نسبی مربعات خطا.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که بین مقدار رسوب‌دهی ویژه زیرحوضه‌ها در منطقه البرز میانی و مساحت اراضی کشاورزی، همبستگی مثبتی وجود دارد، به طوری که با افزایش و یا کاهش مساحت اراضی کشاورزی، مقدار رسوب نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. همچنین، الگوی به‌دست آمده نشان می‌دهد که مقدار رسوب‌دهی ویژه با مساحت زیرحوضه‌ها نیز همبستگی مثبت دارد، اما با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد چنانچه مساحت زیرحوضه‌ها از یک حدی زیادتر شود، عامل مساحت تاثیر چندانی بر رسوب‌دهی زیرحوضه نخواهد داشت، زیرا در حوضه‌های بزرگ، رسوب تولید شده، افزایش یافته اما این مقدار رسوب تولید شده ممکن است به نقطه خروجی حوضه نرسد و عملاً داده واقعی از حجم رسوب تولید شده در ایستگاه رسوب‌سنجی ثبت نشود و این یافته با نتایج پژوهش‌های Honarbakhsh et al. (2017) و Chitsaz et al. (2020) مطابقت دارد.

پژوهش حاضر تاثیرپذیری مثبت رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها از درصد سازندهای حساس و سازندهای کواترنر را نشان می‌دهد و واحدهای کواترنری و سنگ‌های حساس به‌علت فرسایش‌پذیر بودن تاثیر مثبت در تولید رسوب دارند که این نتیجه هم‌راستا با یافته‌های Zhang et al. (2015)، Arabkhedri and Hakimkhani (2006) و Shabani et al. (2007) است.

استفاده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی جهت کاهش ابعاد ماتریس ویژگی‌ها و گروه‌بندی زیرحوضه‌ها به گروه‌های همگن براساس این ویژگی‌ها، تاثیر مثبتی در تحلیل بهتر رگرسیونی بین ویژگی‌های زیرحوضه‌ها و رسوب تولیدی آن‌ها داشت که این یافته با نتایج تحقیقات Moazemi and Feyznia (2007)، Honarbakhsh et al. (2019) و Chitsaz et al. (2020) و Zanganeh and Naemi (2021) مطابقت دارد.

شکل (۴) نمودار جعبه‌ای هریک از ویژگی‌های مورد بررسی را در هر گروه نشان می‌دهد.

شکل (۵) نیز مقادیر برآورد شده را نسبت به مقادیر واقعی برای هر منطقه همگن نشان می‌دهد.

محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR): بدین صورت که از میان روش‌های متعدد محاسبه SDR، هفت روش مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۸). نتایج نشان داد که از میان این هفت روش، روش ارائه شده توسط Renfro (۱۹۷۵)، با داشتن کمترین میانگین نسبی مربعات خطا (RMSE) و بیشترین مقدار شاخص نش–ساتکلیف (NS) به ترتیب برابر با ۰/۲۴ و ۰/۸۴ مناسب‌ترین روش برای محاسبه SDR در منطقه البرز میانی می‌باشد. پس از محاسبه ضریب رسوب‌زایی (SDR) حوضه‌ها و برآورد رسوب‌دهی برای آن‌ها با مدل رگرسیونی منتخب، با توجه به اینکه نسبت تحویل رسوب، نسبت رسوب به فرسایش می‌باشد، میزان فرسایش خاک نیز براین اساس تعیین و نقش فرسایش ویژه خاک برای منطقه البرز میانی ترسیم شد (شکل ۶).

جدول ۸- روش‌های تجربی مورد استفاده جهت برآورد نسبت تحویل رسوب در منطقه البرز میانی

ردیف	روش	رابطه
۱	رنفرو (۱۹۷۵)[۱]	$\text{Log SDR} = 1.8768-0.14191*\log(10A)$
۲	ونانی (۱۹۷۵)[۲]	$\text{SDR} = 0.42\ A^{-0.25}$
۳	سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۲)[۳]	$\text{SDR} = 0.5656\ A^{-0.11}$
۴	سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۳)[۴]	$\text{SDR} = 0.417762\ A^{-0.34598} - 0.127097$
۵	مانفرو و رنفرو (۱۹۷۵)[۵]	$\text{Log SDR} = 0.294259 + 0.82362 \log(R/L)$
۶	بویس (۱۹۷۵)[۶]	$\text{SDR} = 0.375\ A^{-0.238}$
۷	ویلیامز (۱۹۷۷)[۷]	$\text{SDR} = 1.366*10^{-12}\ (A)^{-0.0998}\ (R/L)^{0.362}\ (C/N)^{5.44}$

۱. A: مساحت حوضه به مایل مربع

۲. A: مساحت حوضه به مایل مربع

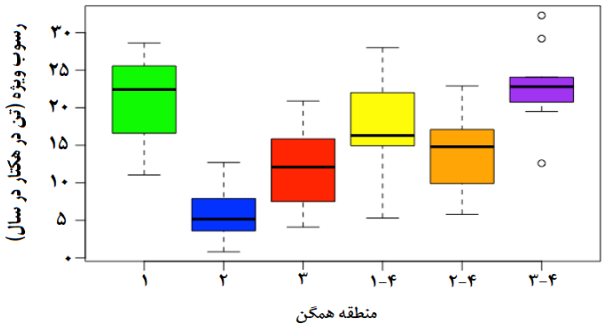
۳. A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع

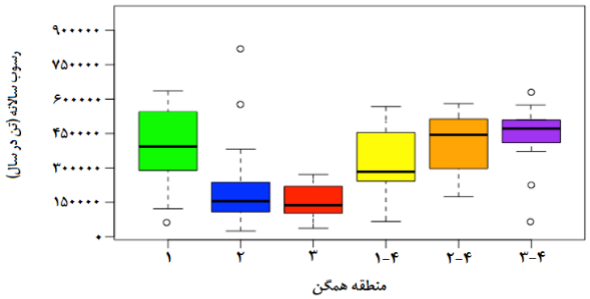
۴. A: مساحت حوضه به مایل مربع

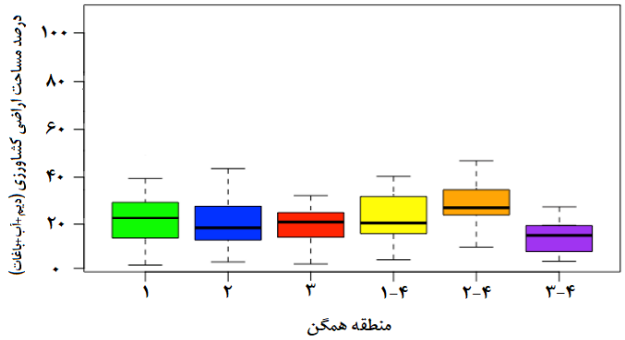
۵. R: اختلاف ارتفاع بین بلندترین و کم ارتفاع‌ترین نقطه حوزه آبخیز به متر، L: طول حوزه آبخیز به متر

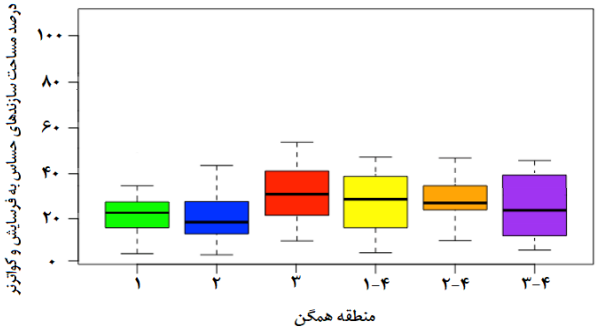
۶. A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع

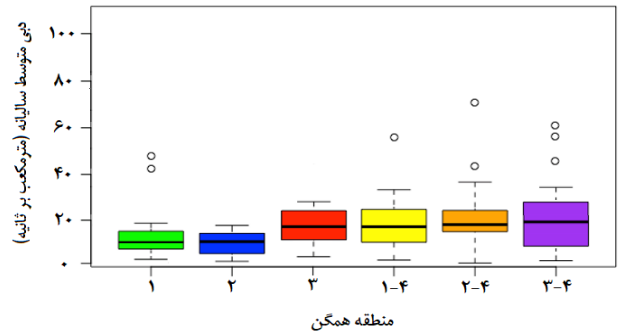
۷. A: مساحت حوضه به مایل مربع، R/L نسبت پستی و بلندی به طول حوزه آبخیز بر حسب مایل به مایل، C/N شماره منحنی

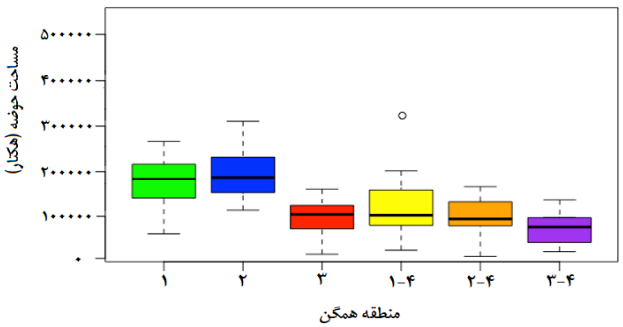


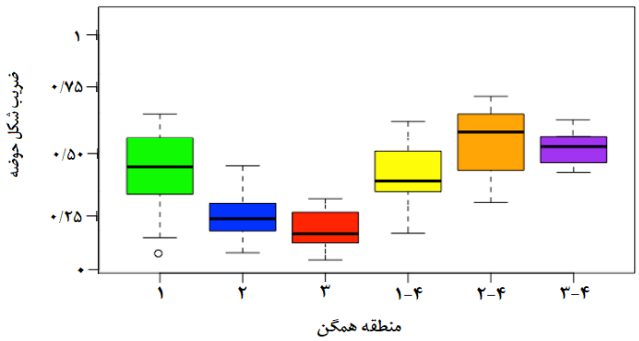




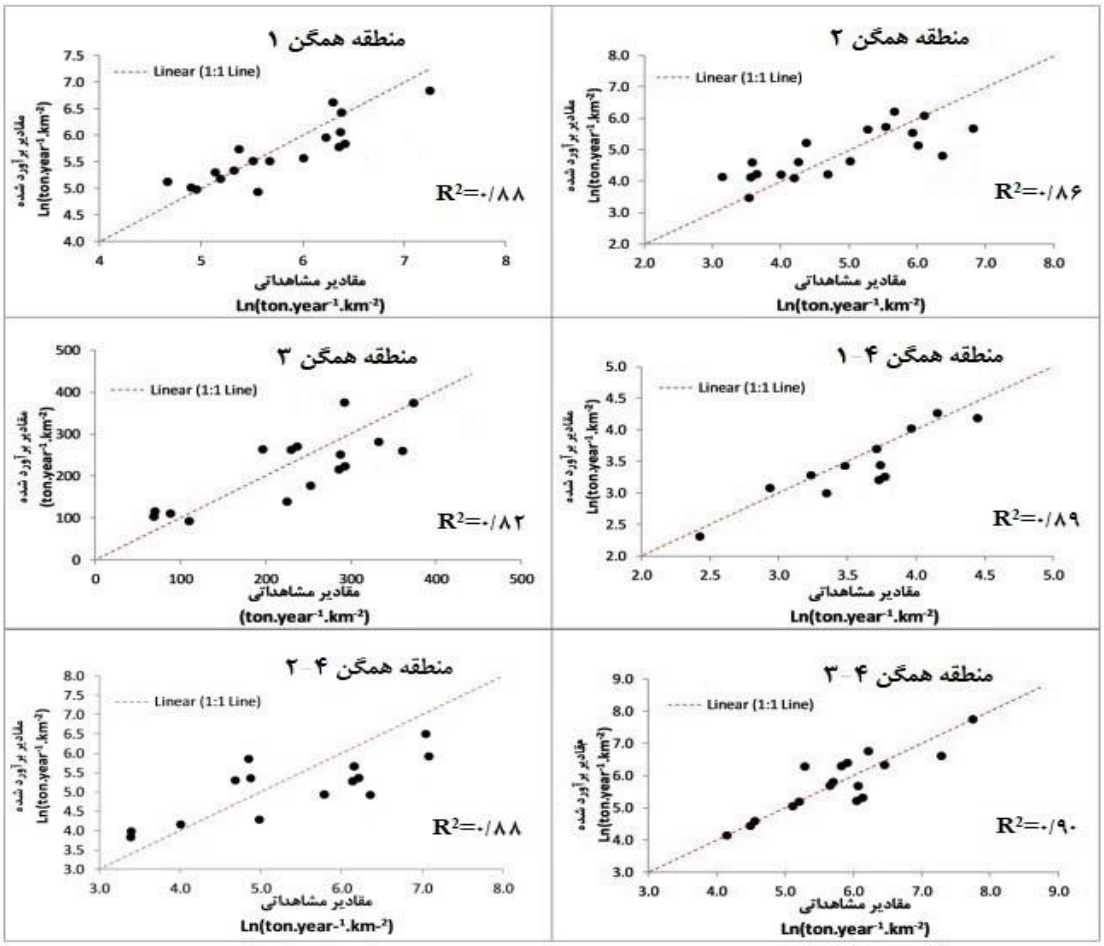




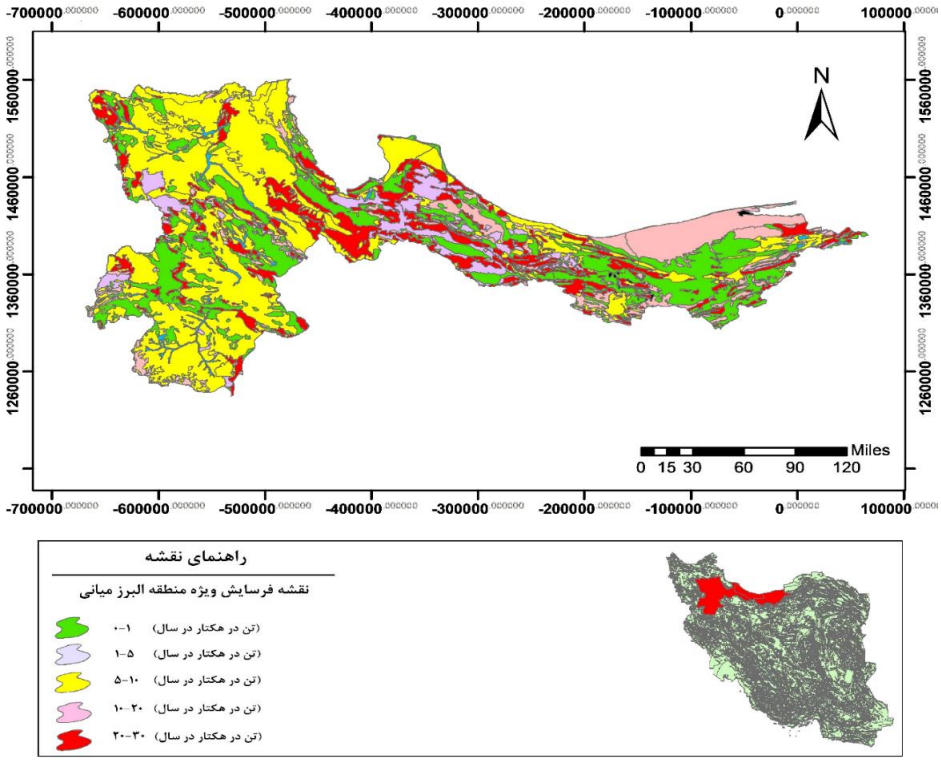




شکل ٤- نمودار جعبه‌ای متغیرهای منتخب در هریک از مناطق همگن



شکل ۵- مقادیر واقعی در مقابل مقادیر برآورد شده در هریک از مناطق همگن



شکل ٦- نقشه فرسایش ویژه منطقه البرز میانی

نتیجه‌گیری

به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی عوامل محیطی و کاربری اراضی، جمع‌آوری این داده‌ها بسیار هزینه‌بردار و وقت‌گیر بوده و از این رو ارزیابی فرسایش خاک در نواحی وسیع با روش‌های سنتی بسیار مشکل خواهد بود. بنابراین کاربرد مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب با بهره‌گیری از روش‌های نوین ضروری است. در پژوهش حاضر با هدف ارائه نقشه فرسایش آبی خاک، توزیع مکانی هدررفت خاک منطقه البرز میانی با دقت قابل قبولی (حدود ۹۰ درصد) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره انجام شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میانگین رسوب‌دهی و میزان متوسط وزنی فرسایش خاک در منطقه البرز میانی به ترتیب ۳/۸۴ و ۱۳/۵۶ تن در هکتار در سال است. شایان ذکر است که میزان فرسایش خاک برآورد شده با مدل در این منطقه بین حداقل ۱/۸ تا حداکثر ۲۷/۴ تن در هکتار در سال متغیر می‌باشد. بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه فرسایش متوسط (۵۷ درصد) با مقدار فرسایش ۱۰-۵ تن در هکتار در سال قرار می‌گیرد که بیشتر در نواحی غربی و شمال غربی منطقه دیده می‌شود. باتوجه به مقدار کل تلفات خاک، در حدود ۱۱ درصد از مساحت عرصه پژوهش نیز در ناحیه فرسایشی خیلی کم و کم با مقدار فرسایش ۵-۰ تن در هکتار در سال قرار گرفته است. در حدود ۳۲ درصد از وسعت منطقه مطالعاتی در ناحیه فرسایشی زیاد و خیلی زیاد با مقدار فرسایش ۳۰-۱۰ تن در هکتار در سال قرار دارد که بخش عمده آن در مناطق مرکزی و حاشیه دریای خزر واقع شده است. اجرای اقدامات حفاظتی بخصوص در این نواحی (مناطق با طبقه فرسایشی زیاد و خیلی زیاد) برای کاهش تلفات خاک در منطقه البرز میانی حائز اهمیت و فوریت می‌باشد. به طور کلی، عوامل موثر بر فرسایش و رسوب منطقه البرز میانی را می‌توان به سه گروه تغییر کاربری اراضی به‌واسطه فعالیت‌های انسانی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی تقسیم‌بندی نمود.

ارزیابی مقدار آزمون کرویت بارتلت و مقدار KMO=۰/۸، نشان می‌دهد که داده‌ها برای تحلیل عاملی و خوشه‌ای مناسب می‌باشند. درصد واریانس تبیین شده توسط هر عامل نشان می‌دهد که کاربری اراضی با ۷۰/۱۵ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کند (جدول ۳). نتایج نشان داد که پنج عامل درصد مساحت اراضی کشاورزی، مساحت زیرحوضه‌ها، درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش، دبی متوسط سالیانه و ضریب فرم حوضه ۹۲ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کند. معمولاً در برآوردهای بار رسوبی، از معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنجه رسوب استفاده می‌شود که مهمترین دلیل آن سهولت کاربرد این معادلات است. با توجه به نتایج قابل قبول پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده توام از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چند متغیره گام به گام کارآیی مناسب و قابل قبولی در برآورد رسوبات حوزه‌های آبخیز دارد که با نتایج Chitsaz et al. (2020) و Shi et al, (2021) مطابقت دارد. کاربرد و واسنجی مدل‌های رگرسیونی در رابطه با رژیم‌های متفاوت اقلیمی و هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز کشور جهت رسیدن به الگوی کارآمد استفاده از این معادلات در برآورد بار رسوبی مناطق گوناگون، می‌تواند ثمر بخش واقع شود. در این مطالعه سعی شد با استفاده از مدل‌سازی خطی، ارتباط بین پارامترهای فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و اقلیمی با رسوب‌دهی سالانه منطقه البرز میانی مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که رسوب‌دهی حوضه‌های مورد مطالعه بیشتر تحت تاثیر عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی و فیزیوگرافی است که با نتایج پژوهش‌های Mosaedi et al. (2021) و Du et al. (2021) مطابقت دارد.

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که علل اصلی فرسایش خاک در منطقه البرز میانی مربوط به دو دسته عوامل طبیعی و انسانی بوده که عوامل طبیعی شامل عوامل زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و اقلیمی بوده و عوامل انسانی نیز در درجه اول مربوط به تخریب پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی و مدیریت نادرست اراضی کشاورزی می‌باشد، ضمن آن‌که با چرای بی‌رویه دام و قطع بوته‌ها و درختان جنگل نیز در این منطقه مواجه هستیم. Asadi (2021) در مطالعه مروری خود در خصوص واکاوی تاریخچه فعالیت دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و سازمان‌های اجرایی مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک در ایران، علل اصلی شدت فرسایش خاک در ایران را در جغرافیایی طبیعی ایران از یک سو، و بهره‌برداری و مدیریت غلط از سوی دیگر بیان می‌نماید. بر اساس گزارش Shahoei (1989) که حاصل سه بازدید از مناطق مختلف ایران بود، سه فعالیت اصلی سبب از بین رفتن پوشش گیاهی در سطح وسیعی از کشور می‌شود. ایشان بیان می‌کند تا زمانی که این سه فعالیت ادامه دارند، نه حفاظت خاک امکان‌پذیر است و نه فرسایش خاک قابل‌کنترل است. این سه فعالیت عبارت است از: چرای بی‌رویه، شخم و کشت مداوم اراضی شیب‌دار، و قطع درختان. به نظر می‌رسد این دلایل همچنان در اغلب مناطق کشور از جمله منطقه البرز میانی کماکان پابرجاست و حتی عوامل دیگری همچون فعالیت‌های عمرانی (جاده‌سازی و معدن‌کاوی)، توسعه کشاورزی در اراضی آبی و تغییر گسترده کاربری/پوشش اراضی نیز بر آن افزوده شده است. بر اساس نتایج تحقیق حاضر مقدار متوسط فرسایش خاک در منطقه البرز میانی، ۱۳/۵۶ تن بر هکتار در سال می‌باشد که با نتایج پژوهش Mahdian (2014) که مقدار متوسط فرسایش خاک برای

اغلب زیرحوضه‌های ایران را بین هشت تا ۱۶ تن بر هکتار در سال برآورد کرده بود، مطابقت دارد.

برای افزایش دقت مدل تهیه شده در این تحقیق و کاربردی کردن آن پیشنهاد می‌شود که واسنجی مدل‌های فرسایش و رسوب در اقلیم‌ها، خاک‌ها و کاربری‌های مختلف انجام پذیرد. افزون بر این برای تعیین دقیق میزان کارایی لازم است، این بررسی در چند دوره زمانی مختلف (مثلاً سه دوره ۱۰ ساله) انجام شود. همچنین جهت ارتقای نتایج این طرح و دقت بیشتر در نتایج، همان‌گونه که در پژوهش‌های Nikkami (2009) و Nikkami and Shadfar (2021) نیز بر آن تاکید شده است، ضروری است که شبکه ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور سامان داده شود. وجود داده‌های بار کف مناسب بر دقت نتایج می‌افزاید. ضریب تحویل رسوب نیز عامل بسیار مهمی در محاسبه میزان فرسایش است، از این رو لازم است تا طرح‌هایی در خصوص محاسبه این ضریب تعریف و در حوضه‌های مختلف به‌مورد اجرا گذاشته شود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان به این نتیجه رسید که بررسی بیشتر خصوصیات حوزه‌های آبخیز، زمینه‌های ارزیابی اهمیت آن‌ها در تولید رسوب را فراهم نموده و در نهایت با توجه به همبستگی بسیاری از پارامترهای مورد بررسی با یکدیگر، تعداد محدودی پارامتر که اهمیت بیشتری در برآورد فرسایش و رسوب منطقه تحقیق دارند، انتخاب شده‌اند. افزایش دقت در تهیه مدل‌های فرسایش و رسوب به دلیل دستیابی به پارامترهایی مهم‌تر و مؤثرتر در تولید رسوب و رخداد فرسایش، شناسایی آن‌ها به منظور بررسی بهترین اقدامات مدیریتی رسوب در حوضه‌های آبخیز از دیگر یافته‌های این پژوهش است. پیشنهاد می‌شود که مشابه با این پژوهش در دیگر مناطق کشور با شرایط متفاوت از نظر وضعیت آب و هوایی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و... انجام شود. نتایج بدست آمده از این پژوهش بخصوص نقشه فرسایش، علاوه بر توسعه سناریوهای مدیریتی در منطقه، به سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی در اولویت‌بندی و به کارگیری شیوه‌های مدیریتی مناسب در کنترل فرسایش خاک مناطق پرخطر منطقه البرز میانی کمک می‌کند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCE

Arabkhedri, M. & Noor, H. (2021). Experimental Erosion and Sediment Research (At Sanganeh Soil Conservation Research Site) Research, Education and Extension Opportunities. Ministry of Agriculture-Jahad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). 336 p (In Persian).

Arabkhedri, M. & Hakimkhani, SH. (2006). Validity of extrapolation methods in estimating the average annual suspended sedimentation (30 hydrometric stations), Quarterly Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11 (3): 123-131 (In Persian).

Asadi, H. (2022). A Critical Report on Several Decades' Activities in the Universities, Research Institutes and Executive Organizations in the Field of Soil Erosion and Conservation in Iran, Iranian Journal of Soil and Water Research, 53(2): 411-433 (In Persian).

Bagarello, V., Carollo, F., DI STEFANO, C., Ferro, V., Giordano, G., Iovino, M. & Pampalone, V. (2019). Twenty years of scientific activity at Sparacia experimental area. Quaderni di Idronomia Montana 33.

Chitsaz, V., Nazari Samani, A.A., Soltani, S. & Feyznia, S. (2020). Modeling of suspended sediment and determining the factors affecting it in Karun Bozorg and Karkheh watersheds. *Rangeland and Watershed Management*, 73 (2): 293-303 (In Persian).

Du, M., Mu, X., Zhao, G., Gao, P. & Sun, W. (2021). Changes in runoff and sediment load and potential causes in the Malian River basin on the Loess Plateau. Sustainability 13 (2): 130-145.

Faghfouri, Z., Arman, N., Faraji, M. & Khorsandi. Z. (2017). Identifying the effective factors on sediment yield using statistical method, case study: Seyed Abad Basin. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 9(2): 190-204 (In Persian).

FAO & ITPS. (2015). Status of the world's soil resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.

Feiznia, S. (1995). Resistance of rocks to erosion in different climates of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 47(1): 95-116 (In Persian).

Hatefi, M. & Sadeghi, S.H.R. (2022). Perspective Zoning of Iran Provinces based on Water Stress, Flood, Drought and Rainfall Erosivity Indices. *Watershed Engineering and Management journal*, 13(1): 213-221 (In Persian).

Honarbakhsh, A., Niazi, A., Soltani, S. & Tahmasebi, P. (2019). Modeling the relationship between suspended sediments and hydrological and environmental characteristics of a basin (case study: basin of Dez Dam).

Journal of Quantitative Geomorphological Research, 8(1): 105-117 (In Persian).
Jansson, M.B. (1996). Estimating a sediment rating curve of the Reventazon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes. *Journal of Hydrology*, 183(4): 227-241.
Mahdian, M.H. (2014). Study of Lands degradation in Iran. Proceedings of the third national conference of erosion & sediment. Tehran, Iran, 226-231 (In Persian).
Modares, R., Feiznia, S., Nasri, M. & Najafi, A. (2010). Determination of Homogenous Regions Based on Some Effective Factors on Sediment Yield. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 63(2): 249-260 (In Persian).
Mosaedi, A., Ramezanipour, E., Mesdaghi, M. & Tajbakhshian, M. (2021). Assessment the Effective Factors on Production and Transportation of Suspended Sediments using Gamma Test and PCA Techniques, *Water and Soil*, 35(5), pp. 613-625 (In Persian).
Nash, J.E. & Sutcliffe, J.E. (1970). River flow forecasting through conceptual models, part 1, a discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.
Nikkami, D. (2009). Soil conservation strategic plan. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 277 pages (In Persian).
Nikkami, D., Shadfar, S. & Jafari Ardakani, A. (2020). Design and establishment of the maps and database for erosion and sediment yield in 7th order watersheds. Research Project Final Report. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 184 Pages (In Persian).
Nikkami, D. & Shadfar, S. (2021). Soil erosion mapping in sediment gauged watersheds of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 13(2): 479-496 (In Persian).
Nosrati, K., Imeni, S., & Talari, A. (2018). Regional analysis of suspended sediment load using principal components regression method in Sefidrood Drainage Basin. *Journal of Range and Watershed Management*, 63(2) 249-260 (In Persian).
Saghafian, B., Ghermezcheshmeh, B., Samiei, M. & Asheghi. R. (2009). Effective factors on suspended sediment load in southwestern basins of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 1(3): 140-152 (In Persian).
Sahandi, M. R. and Soheili, M. (2005) Geological map of Iran: scale 1:1000000. Geological Survey of Iran, Tehran.
SCWMRI (Soil Conservation and Watershed Management Research Institute). (2007). Final report of Iran watersheds atlas. Forests, Rangelands and Watershed Management Organization. (In Persian).
Sadeghi, S.H.R., Sharifi Moghadam, A. & Mohseni Saravi, M. (2020). New approaches in applied watershed management. Gorgan University of Agriculture and Natural Resources Publications. 267 p (In Persian).
Shabani, M., Feiznia, S., Ahmadi, H. & Ghodousi, J. (2007). Investigation and Determination of Effective Factors on Sediment Production and Yield of Drainage Basins (Case Study: Taleghan basin). *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(3): 759-771 (In Persian).
Shahoei, S. (1989). Assessment the effective factors of soil erosion by water in Kuhin Soil Conservation Station and applying the results for preparing soil erosion map of upper chachment of Mulla-rud. Master of Scince Thesis, Soil Science Department, University of Tehran.
Shi, Z. H.; Huang, X. D.; Ai, L.; Fang, N. F.; & Wu, G. L. (2021). Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds, Geomorphology, 226, 193-201.
Uca, A., Ekhwan T., Othman J., Rosmini M., Amal A. & Ansari S. A. (2018). Daily suspended sediment discharge prediction using multiple linear regression and artificial neural network. *Journal of Physics*, Conf. Series 954(1): 20-30.
World Soil Information (ISRIC). www.isric.org.
Yakupouglu, T., Gundogan, R., Dindaroglu, T., Kusvuran, K., Gokmen, V., Rodrigo-Comino, J., Gyasi-Agyei, Y. & Cerdà, A. (2021). Tillage Impacts on Initial Soil Erosion in Wheat and Sainfoin Fields under Simulated Extreme Rainfall Treatments. *Sustainability*, 13(2),789;1-17.
Zanganeh, M.A. & Naemi Tabar, M. (2021). Relationship between hydrogeomorphic features and suspended sediment load under Kashfarud basins. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, jsaeh 8(1): 111-128 (In Persian).
Zhang, W., Zhou, J., Feng, G., Weindorf, D. C., Hu, G. & Sheng, J. (2015). Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang, China as an example. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2): 97-111.