

## Quantitative Assessment of Soil-water Erosion with the EPM Model (Case Study: Badranloo Watershed basin)

Teimour Jafari <sup>1\*</sup>, Mahnaz Naemie <sup>2</sup>, Ahmad Zakerian <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor of Earth Sciences, University of Damghan, Damghan, Iran

<sup>2</sup> MA Degree in Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

<sup>3</sup> MA Degree in Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran

### Abstract

Soil erosion is one of environmental problems in northern Khorasan province and Badranloo basin. Surveys show that about 461574 tons of soil are eroded from the loess fertile lands of the Badranloo basin annually which has led to a decrease in soil fertility and accumulation of sediment. The sediment resulting from erosion reduces the useful life of dams and water structures in the low stream of basin. The aim of this study was quantitative evaluation of water erosion in the Badranloo basin and the Experimental erosion Potential Method (EPM) has been used in this regard. In this study, within evaluating the water erosion, the specific sediment value for sub-basins and the whole of Badranloo watershed is calculated by ILWIS 3.3 software and specific sediment yield map (GSp) was prepared. ANOVA method was used in SPSS software for analyzing the geological and escalation erosion, along with for statistical analysis of the role of topographic factors in the severity of soil erosion. The results indicate the alarming state of ecological instability in the basin area. So, the annual average water erosion of soil in the basin is about 23.73 ton / ha. Among sub-basins, the sub-basin No. 4 located in the center of the basin with an annual concentration of about 63.89 ton / ha has the highest soil erosion. Groove and mass erosion are common water erosions at the basin level. In addition to lithology conditions and land-use change, among topographic factors, slope and direction of gradient have the greatest effect on the severity of the soil erosion of the basin due to the high correlation.

**Key words:** Water Erosion, Soil, Badranloo Watershed, Topography, EPM Model.

## ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک با مدل EPM (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بدرانلو)

تیمور جعفری<sup>\*</sup>، استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران  
مهناز ناعمی تبار، دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران  
سید احمد ذاکریان، دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۰۷/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۹، صص ۱۵۸-۱۴۱

### چکیده

فرسایش خاک از مشکلات زیست‌محیطی موجود در استان خراسان شمالی و حوضه آبخیز بدرانلوست. بررسی‌ها نشان می‌دهد سالیانه حدود ۴۶۱۵۷۴ تن خاک از زمین‌های حاصلخیز لسی حوضه بدرانلو فرسایش می‌یابد که به کاهش حاصلخیزی خاک و انباشت رسوبات منجر شده و رسوبات حاصل از فرسایش موجب کاهش عمر مفید سدها و سازه‌های آبی بخش پایاب حوضه می‌شود. در این پژوهش که با هدف ارزیابی کمی فرسایش آبی در حوضه بدرانلو انجام شده، از روش تجربی پتانسیل فرسایش (EPM<sup>1</sup>) استفاده شده است. در پژوهش حاضر ضمن ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک، مقدار رسوب ویژه برای زیرحوضه‌ها و کل حوضه آبخیز بدرانلو در نرم‌افزار ILWIS 3.3 محاسبه و نقشه مقدار رسوب ویژه حوضه (GSp) تهیه شد؛ سپس ضمن تحلیل فرسایش زمین‌شناسی و فرسایش تشدیدی در آنالیز آماری و بررسی نقش عوامل توپوگرافی در شدت فرسایش خاک، از روش ANOVA در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. نتایج به دست آمده وضعیت نگران‌کننده ناپایداری بوم‌شناختی را در سطح حوضه گوشزد کرده است؛ به گونه‌ای که میانگین سالیانه فرسایش آبی خاک در حوضه حدود ۲۳/۷۳ تن در هکتار است. در بین زیرحوضه‌ها، زیرحوضه ۴ واقع در مرکز حوضه با سالیانه حدود ۶۳/۸۹ تن در هکتار بیشترین میزان فرسایش خاک را دارد. فرسایش شیب‌اری و توده‌ای، فرسایش آبی متداول در سطح حوضه است. علاوه بر شرایط لیتولوژی و تغییر کاربری اراضی، در بین عوامل توپوگرافی، شیب و جهت شیب با توجه به همبستگی زیاد بیشترین تأثیر را در شدت فرسایش خاک حوضه دارند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش آبی، خاک، حوضه بدرانلو، توپوگرافی، مدل EPM.

<sup>1</sup> Erosion Potential Method

Tei.Jafarie.53@Gmail.Com

\*نویسنده مسؤول:

## مقدمه

فرسایش به فرایندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا و به کمک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شوند؛ به طوری که بسته به نوع عامل انتقال، انواع فرسایش‌های آبی، بادی، یخچالی و فرسایش ناشی از نیروی ثقل وجود دارد (رفاهی، ۱۳۹۴: ۳). امروزه به دلیل رشد تکنولوژی و فشار بیش از حد به منبع طبیعی خاک، فرسایش خاک به عاملی بحران‌ساز در سطح جهان مبدل شده است. کشور ایران به دلیل شرایط جغرافیایی و نحوه مدیریت و بهره‌برداری از خاک، با میزان ۱۵ تن در هکتار رتبه نخست فرسایش خاک را در سطح جهان و بین کشورهای در حال توسعه دارد. براساس پژوهش‌های انجام‌شده، نزدیک به ۱۲۵ میلیون هکتار از ۱۶۵ میلیون هکتار زمین‌های کشور در معرض فرسایش قرار دارند (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۸۳: ۲۲۴). استان خراسان شمالی به دلیل دیم‌کاری وضعیت بسیار نامطلوبی در سطح کشور دارد و رتبه نخست را در این زمینه به خود اختصاص می‌دهد.

فرایندهای فرسایشی در حوضه‌های آبی، نتیجه تأثیر عوامل پیچیده‌ای است که شناسایی آنها نیاز به بررسی‌های دقیق و همه‌جانبه‌ای دارد. اقلیم و توپوگرافی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش به شمار می‌روند. ویژگی‌های توپوگرافی مانند طول، شیب، انحنای و جهت شیب دامنه با تأثیر در الگوی بارش و دما، میکرواقلیم خاصی را به وجود می‌آورند و ضمن تأثیرگذاری بر بسیاری از ویژگی‌های خاک، در میزان فرسایش آبی خاک تأثیر می‌گذارند. شیب، یکی از ویژگی‌هایی است که همبستگی زیادی با

فرسایش و به‌ویژه با نوع رخساره فرسایشی دارد (فاستر<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲: ۲، مکول<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷: ۱۰، چرخبارتی<sup>۳</sup>، ۱۹۹۲: ۲۵، بنتی و کریسمر<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰: ۷، رنگ‌آور، ۱۳۸۴: ۱۲ و دادرسی سبزوار، ۱۳۸۴: ۱۷). شیب دامنه، عامل توپوگرافی، با افزایش فعالیت عوامل مورفوژنیک در بیلان مورفوژنز - پدوژنز به نفع مورفوژنز عمل می‌کند (رجایی، ۱۳۷۳: ۲۱۷). در شرایط آب و هوایی و زمین‌شناسی یکسان، عوامل توپوگرافی آثار متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. با این شرایط می‌توان توپوگرافی را اساس تخریب و فرسایش به حساب آورد (جداری عیوضی و جوکار، ۱۳۸۰: ۷۳)؛ از این رو مسئله اصلی پژوهش این است که نوع کاربری، تغییرات ارتفاع، شیب و آزمون جغرافیایی دامنه چه نقشی در شدت فرسایش دارند و تأثیر آنها چگونه است.

علاوه بر شرایط طبیعی، عامل اصلی دیگر در فرسایش آبی خاک «افزایش جمعیت» و «استفاده بیش از حد از زمین» است. امروزه کمتر منطقه‌ای در سطح زمین دیده می‌شود که در معرض تخریب و فرسایش قرار نگرفته باشد (احمدی، ۱۳۹۰: ۱۹۵)؛ با وجود این انسان یکی از عوامل و فرایندهای ژئومورفیک است. در بین تمام عوامل و فرایندهایی که در پیدایش و تحول اشکال ناهمواری‌های زمین نقش و دخالت تعیین‌کننده‌ای دارند، نباید نقش جوامع انسانی را در آمایش سرزمین و محیط طبیعی نادیده گرفت. امروزه پژوهشگران علوم زمین با بهره‌گیری از ابزارهای GIS و سنجش از دور در قالب مدل‌های تجربی اقدام به

<sup>1</sup> Foster

<sup>2</sup> Mccool

<sup>3</sup> Chakrabarti

<sup>4</sup> Battany & Grismer

اشکال مختلف بر فرسایش در حوضه تأثیر می‌گذارد. حوضه آبخیز بدرانلو از مناطقی است که به دلیل شرایط طبیعی، دیم‌کاری و عملیات خاک‌ورزی غیراصولی طی سال‌های اخیر به شدت متأثر از فرسایش آبی خاک قرار گرفته و آثار فرسایش خاک از قبیل فرسایش گالی<sup>۱</sup>، زمین‌لغزش و سولیفلوکسیون در آن مشهود است.

باگرلو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) با استفاده از مدل‌های تجربی هدررفت خاک را در شیب‌های متوسط برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که غلظت رسوب با توان روان‌آب افزایش می‌یابد.

هادیان و همکاران (۱۳۸۶) در مقایسه دو روش MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب در زیرحوضه لاسم از حوضه آبخیز هراز به این نتیجه رسیده‌اند که روش MPSIAC دقیق‌تر و شدت رسوب‌دهی حوضه با این روش در حد متوسط است. محمدیان (۱۳۸۶) در پژوهشی با عنوان «روش‌های برآورد فرسایش و رسوب براساس مدل‌های رایج تجربی (EPM، MPSIAC و PSIAC)» در حوضه گوهررود رشت به این نتیجه رسیده است که مقادیر حاصل از مدل EPM با مقدار رسوب واقعی حوضه بسیار نزدیک و همسان است. بدین لحاظ این روش برای محاسبه فرسایش در حوضه‌های مشابه گوهررود مناسب‌تر است که ایستگاه‌های رسوب‌سنجی ندارند.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک در حوضه آبخیز بدرانلوست؛ بنابراین انجام پژوهشی در این رابطه ضروری به نظر می‌رسد که ضمن بررسی علل و درک درست‌تر از فرایند فرسایش

برآورد کمی فرسایش و رسوب می‌کنند (هاشمی و خدری، ۱۳۸۶: ۴۵). اشکال فرسایش، مؤلفه‌ها و فرایندهای مؤثر بر آن در یک منطقه، استفاده از مدل‌هایی را الزامی می‌سازد. در این پژوهش برای برآورد فرسایش آبی خاک از مدل EPM با تأکید بر عواملی چون وضعیت توپوگرافی، سنگ‌شناسی، خاک و نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی استفاده شده است.

### پیشینه پژوهش

مطالعات گسترده‌ای در ایران و جهان درباره مدل EPM صورت گرفته است؛ برای نمونه رنگزن و همکاران (۱۳۸۷) دو مدل EPM و MPSIAC را در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند مقایسه کردند. پژوهش نشان می‌دهد نتایج به‌دست‌آمده از دو مدل در بیشتر مناطق انطباق زیادی با هم دارند؛ اما نتایج مدل EPM برای شناسایی مناطق دارای فرسایش زیاد به اندازه مدل MPSIAC مطمئن نیست.

نتایج مطالعات بتنی و کریسمر (۲۰۰۰) نشان داد افزایش درصد شیب بین ۴ تا ۱۶ درصد تأثیر مثبت و معناداری بر میزان هدررفت خاک دارد.

دادرسی سبزواری (۱۳۸۴) اثر تغییرات عمق خاک و شیب را بر میزان تولید رسوب بررسی کرد و دریافت بین میزان تولید سالیانه رسوب با زاویه و طول شیب دامنه رابطه همبستگی مستقیمی وجود و میزان تولید سالیانه رسوب با عمق خاک همبستگی معکوس دارد.

عابدینی (۱۳۸۵) عامل شیب را مسبب افزایش نیروی ثقل و قدرت فرساینده می‌داند که پیرو آن مسائل مورفودینامیک، مورفوزن و تحول و تنوع

<sup>1</sup> Gully Erosion

<sup>2</sup> Bagarello et al

و ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک، به منظور اقدامات کنترلی و پیشگیرانه از روند تخریب پیشنهادهایی را ارائه دهد.

### پرسش‌های پژوهش

پرسش‌های این پژوهش عمدتاً دربارهٔ مقدار رسوب ویژه سالیانه زیرحوضه‌ها و کل حوضه، فرسایش‌پذیرترین زیرحوضه‌ها و راهکارهای حفاظتی هریک و مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش آبی خاک حوضه است. شواهد موجود این فرضیه‌ها را تداعی می‌کند که حوضهٔ بدرانلو و زیرحوضه‌های آن مقدار رسوب ویژهٔ زیادی نسبت به حوضه‌های مجاور دارند و تفاوت در ویژگی‌های سطح حوضه سبب شده است تا بعضی از زیرحوضه‌ها فرسایش‌پذیری زیادی داشته باشند؛ همچنین بعضی از عوامل توپوگرافی با فرسایش آبی خاک همبستگی زیادی دارند و در افزایش آن نقش ایفا می‌کنند.

### روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش برای برآورد میزان رسوب و تأثیر عوامل توپوگرافی در شدت فرسایش خاک حوضهٔ بدرانلو از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ بجنورد، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ بجنورد و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. روش به‌کاررفته در این پژوهش تحلیلی - توصیفی مبتنی بر تکنیک‌های میدانی، ابزار GIS و آنالیز آماری است. در ارزیابی فرسایش آبی خاک، روش پتانسیل فرسایش یا مدل EPM به کار رفته است. این مدل ابتدا به صورت کیفی ارائه شد و روش طبقه‌بندی

کمی فرسایش موسوم به MQCE<sup>۱</sup> بود که در سال ۱۹۵۲ در کشور یوگسلاوی سابق شکل گرفت. پس از نزدیک به ۴۰ سال پژوهش و واسنجی برای نخستین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه، گاوریلوویچ<sup>۲</sup> فرمول محاسبهٔ فرسایش و برآورد رسوب را نیز به آن افزود که EPM نام گرفت (رفاهی، ۱۳۹۴: ۳۰۸). در این مدل که از نوع تجربی، پارامتری و متریک است، تعیین شدت کیفی فرسایش (Z) با سه عامل کاربری زمین، ضریب حساسیت خاک به فرسایش و شیب صورت می‌گیرد و میزان دقیق آن (W) با احتساب عوامل اقلیمی بارش و دما مشخص می‌شود و در نهایت برآورد رسوب (G) با استفاده از ضریب ژئومورفیک (R) انجام می‌گیرد. به منظور ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک ابتدا هریک از نقشه‌های پایهٔ مورد نیاز به محیط نرم‌افزار ILWIS.3.3 وارد شدند و اقدامات زیر روی آنها انجام شد:

پس از رقومی‌کردن نقشهٔ توپوگرافی و درونیابی منحنی‌های تراز، نقشهٔ شیب به درصد تهیه و توان ۰/۵ آن محاسبه شد.

با رسم نقشهٔ ژئومورفولوژی حوضه تا حد رخساره یا واحد کاری و با استفاده از جدول مربوط به ضریب فرسایش در رخساره یا لندفرم‌ها، نقشهٔ ضریب فرسایش ( ) در رخساره یا واحد کاری تهیه شد.

با اعمال رابطهٔ (۱) و استفاده از نقشهٔ ضریب فرسایش ( )، نقشهٔ ضریب استفاده از زمین (Xa) تهیه شد.

<sup>۱</sup> Method of Quantitative Classification of Erosion

<sup>۲</sup> Gavrylovich

رابطه ۵  $t = \text{pow}(\text{Temp}, 0.5)$

رابطه ۶  $T = (\frac{t}{10} + 0.1)^{0.5}$

از حاصل ضرب نقشه ضریب دمای حوضه (نقشه T)، نقشه میانگین بارش سالیانه حوضه (H)، عدد  $\pi$  و با به توان ۱/۵ رساندن نقشه ضریب فرسایش حوضه ( $Z_2$ )، نقشه متوسط سالیانه فرسایش ویژه ( $W_{sp}$ ) برحسب ( $\text{Km}^3/\text{Km}^2$ ) از رابطه (۷) به دست آمد (شکل ۲).

رابطه ۷  $W_{sp} = T.H.Z_2^{1.5}$

سپس با درج رابطه (۸) ضریب رسوبدهی حوضه ( $R_U$ ) محاسبه شد که برابر با ۰/۰۵۹ است.

رابطه ۸  $T = \frac{4(P.D)0.5}{L+10}$

در این رابطه P محیط حوضه برحسب (Km)، اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط و نقطه خروجی حوضه برحسب (Km) و L طول حوضه برحسب (Km) است.

در نهایت از حاصل ضرب نقشه متوسط سالیانه فرسایش ویژه ( $W_{sp}$ ) و ضریب رسوبدهی حوضه ( $R_U$ ) و استفاده از رابطه (۹)، نقشه مقدار رسوب ویژه حوضه ( $G_{sp}$ ) تهیه شد که در آن مقدار رسوب برای هر پیکسل به نمایندگی از هر هکتار محاسبه شده است (شکل ۳).

رابطه ۹  $G_{sp} = W_{sp} \cdot R_U$

با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش، محاسبه مقدار رسوب ویژه برای هر زیرحوضه است، با انقطاع دادن نقشه رستری زیرحوضه‌های منطقه (شکل ۴) با نقشه مقدار رسوب ویژه و با استفاده از توابع تجمع و به‌کارگیری دستورهای Aggregation و

رابطه ۱  $Xa = (I^{0.5})$

از روی نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، باندهای تصاویر ماهواره‌ای و با اطلاعات اکتسابی از بررسی میدانی و با استفاده از جدول مربوط به مقادیر ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y)، نقشه ضریب حساسیت خاک به فرسایش حوضه تهیه و با اعمال رابطه (۲) نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) حاصل شد.

رابطه ۲  $Z = Xa \cdot Y$

برای تهیه نقشه حاصل ضرب ضریب استفاده از زمین ( $Z_1$ )، ابتدا با تهیه همه باندهای سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره لندست و ایجاد ترکیب رنگی کاذب با استفاده از باندهای ۳-۴-۵، انجام عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده و کنترل زمینی نقشه کاربری اراضی (شکل ۱) حاصل و با اختصاص مقادیر ضریب کاربری اراضی به هریک از کاربری‌ها، از حاصل ضرب نقشه کاربری اراضی با نقشه ضریب شدت فرسایش (Z)، نقشه حاصل ضرب ضریب استفاده از زمین ( $Z_1$ ) از رابطه (۳) تهیه شد.

رابطه ۳  $Z_1 = \text{Landuse} \cdot Z$

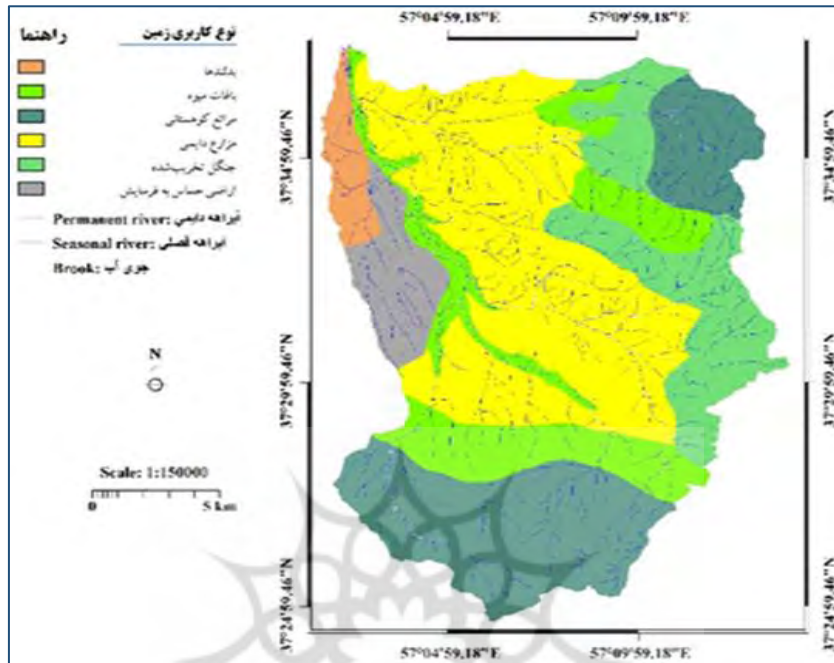
سپس با اعمال رابطه (۴) در نرم‌افزار، نقشه ضریب فرسایش حوضه ( $Z_2$ ) تهیه شد.

رابطه ۴  $Z_2 = Z_1 \cdot Z$

با توجه به رابطه (۵) و با به توان ۰/۵ رساندن نقشه میانگین دمای سالیانه حوضه (Temp)، نقشه رستری ضریب دمای سالیانه (t) تهیه شد؛ سپس با قراردادن نقشه رستری ضریب دمای سالیانه (نقشه t) در رابطه (۶)، نقشه ضریب دمای حوضه (T) و ضریب دما برای هر پیکسل به دست آمد.

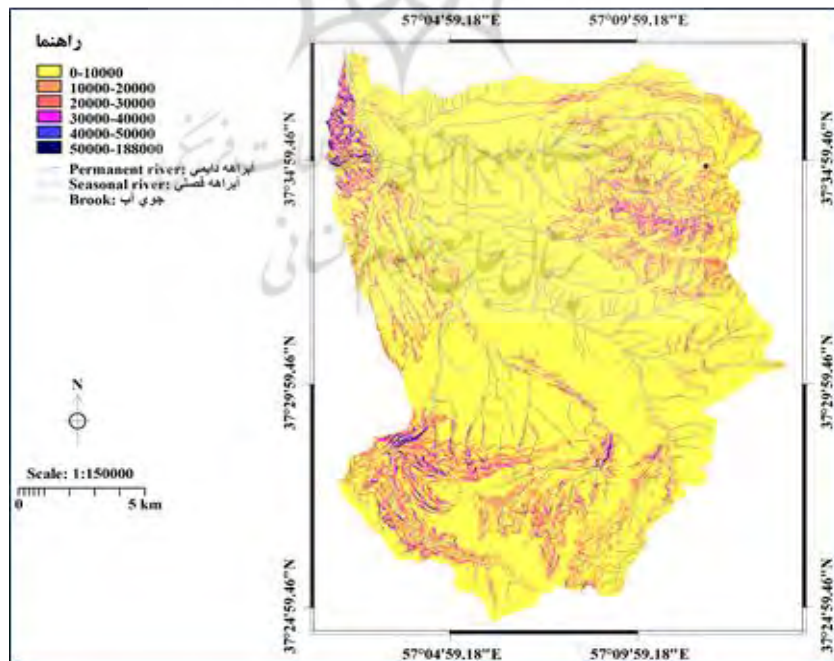
و نقشه میزان شدت رسوب‌دهی ۷ زیرحوضه از بسیار کم تا بسیار شدید تهیه شد (شکل ۵).

Aggregate. Column در جدول حاصل از عمل انقطاع در نرم‌افزار ILWIS. 3.3، مقدار رسوب ویژه برای هر زیرحوضه برحسب  $\text{Tone/Hec/Year}$  حاصل



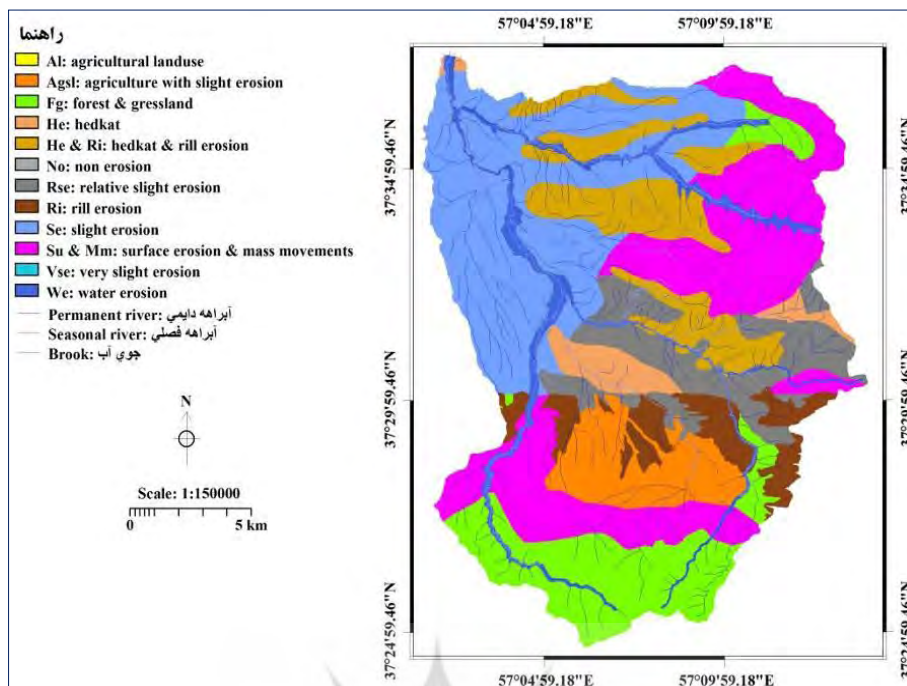
شکل ۱. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز بدرانلو

منبع: تصاویر باندهای ۳، ۴ و ۵ ماهواره لندست و بررسی میدانی نویسندگان



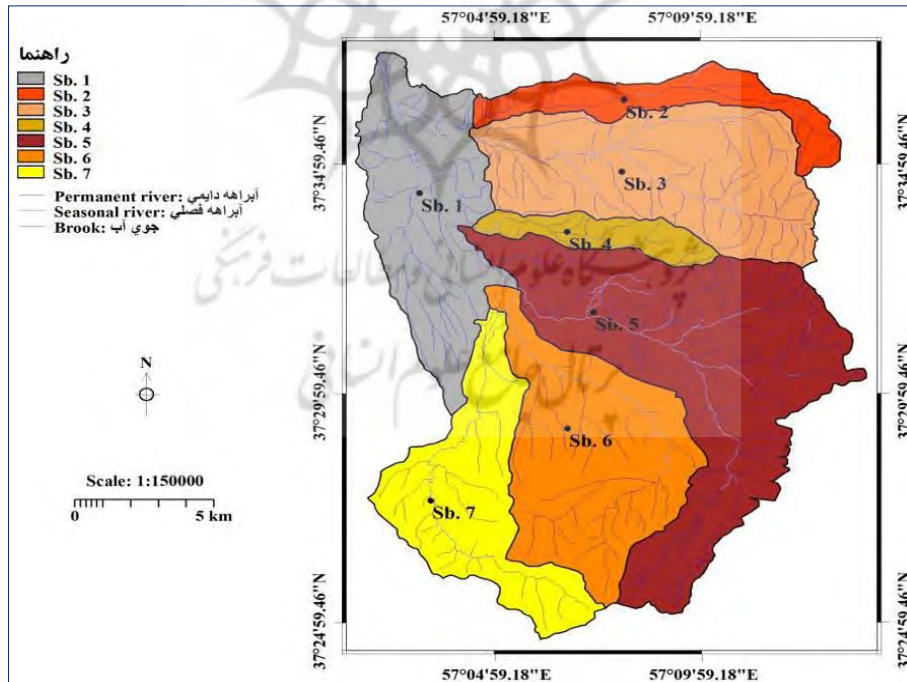
شکل ۲. نقشه متوسط سالیانه فرسایش ویژه ( $W_{sp}$ ) حوضه آبخیز بدرانلو

منبع: نقشه‌های ضریب دما، میانگین بارش سالیانه حوضه، نقشه ضریب فرسایش حوضه و محاسبات نویسندگان



شکل ۳. نقشه رسوب ویژه ( $G_{sp}$ ) حوضه آبخیز بدرانلو

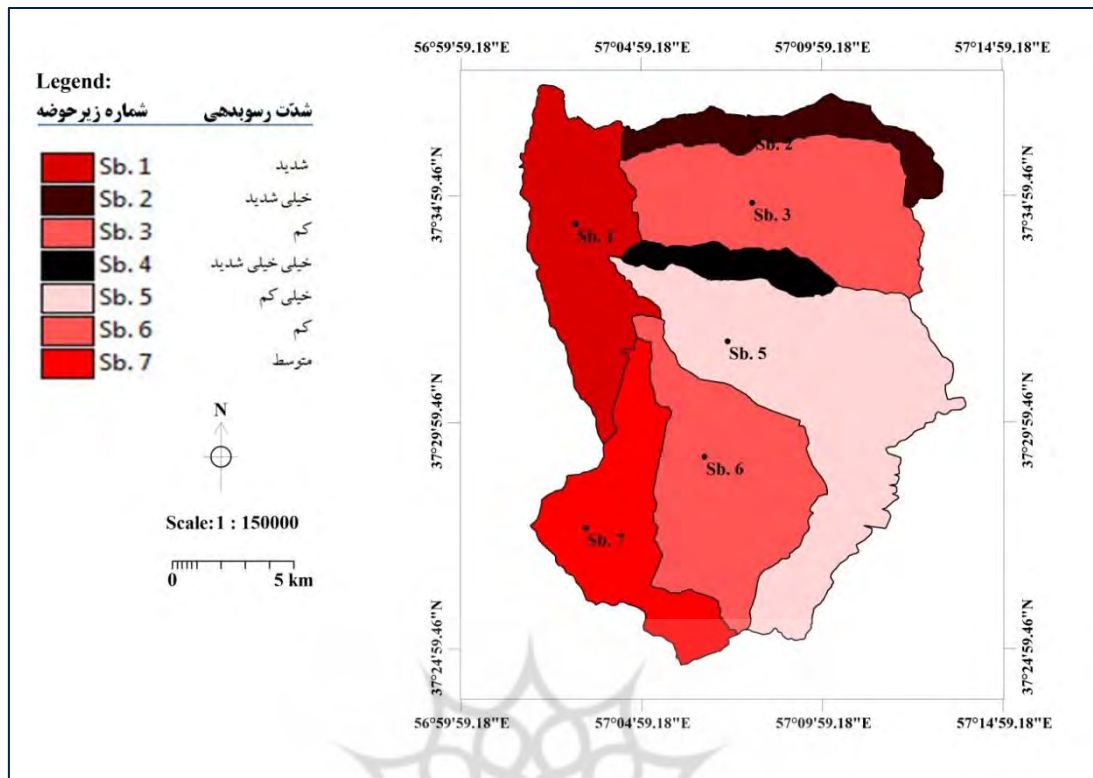
منبع: نقشه‌های متوسط سالیانه فرسایش ویژه، ضریب رسوب‌دهی حوضه و محاسبات نویسندگان



شکل ۴. نقشه زیرحوضه‌های هفتگانه حوضه آبخیز بدرانلو

منبع: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ورقه بدرانلو چاپ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح





شکل ۵. نقشه میزان شدت رسوب‌دهی زیرحوضه‌های هفتگانه حوضه آبخیز بدرانلو

منبع: نقشه‌های زیرحوضه‌ها و مقدار رسوب ویژه حوضه و محاسبات نویسندگان

#### معرفی محدوده پژوهش

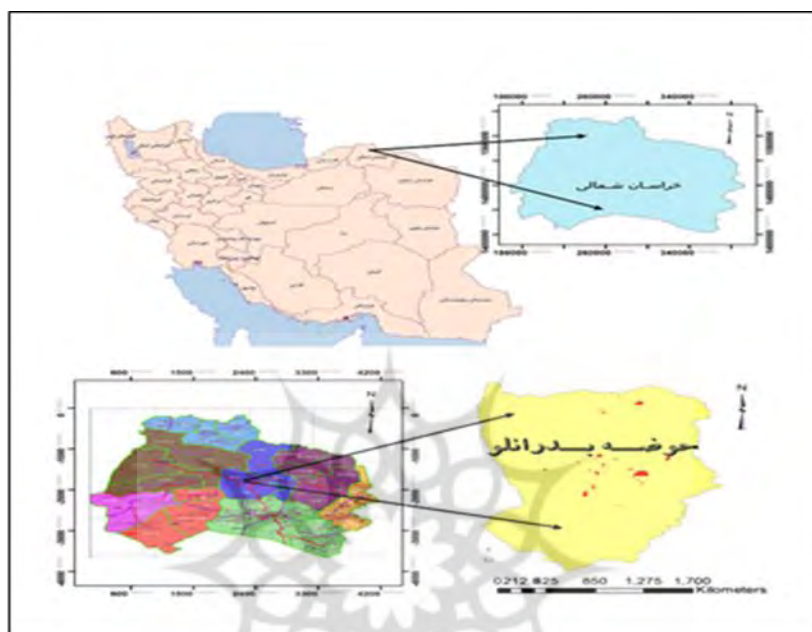
حوضه آبخیز بدرانلو در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی واقع شده است. این حوضه از نظر موقعیت نسبی در بخش میانی استان خراسان شمالی، ۱۰ کیلومتری غرب شهر بجنورد و در بخش مرکزی شهرستان بجنورد قرار دارد. مساحت این حوضه ۳۰۰/۳۷ کیلومتر مربع و محیط آن ۸۷/۶ کیلومتر است و از نظر توپوگرافی در منطقه‌ای کوهستانی و از نظر جایگاه زمین‌شناسی در پهنه رسوبی - ساختاری گپه‌داغ قرار دارد. بیشینه و کمینه ارتفاع در این حوضه به ترتیب ۲۱۷۶ و ۶۸۶ متر است و با جمعیتی بیش از

ضمن تحلیل نقش لیتولوژی در فرسایش خاک با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی نقش عوامل توپوگرافی در فرسایش آبی خاک، با در نظر گرفتن مقدار رسوب ویژه به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های توپوگرافی کمیت‌پذیر نظیر میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع به منزله متغیر مستقل، تجزیه و تحلیل‌های لازم با روش ANOVA در محیط نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. برای بررسی رابطه بین میزان رسوب ویژه با عامل جهت شیب در محیط نرم‌افزاری SPSS، از طریق منوی Transform و گزینه Recode.in.to.different. Variables عمل‌گدبندی انجام و برای بررسی ارتباط بین متغیرها از آزمون ONE.WAY.ANOVA استفاده شد.

۲۹۱۰۰ نفر در قالب ۳۶ روستای دارای سکنه، ساختار اقتصادی-اجتماعی روستایی و کاربری کشاورزی دارد.

جدول ۱. بعضی از ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز بدرانلو

کمترین ارتفاع (m)	بیشترین ارتفاع (m)	متوسط شیب (%)	شیب متوسط آبراهه اصلی (%)	مساحت حوضه (km <sup>2</sup> )	محیط حوضه (km)
۶۸۶	۲۱۷۶	۵۷/۶۳	۴/۲	۳۰۰/۳۷	۸۷/۶



شکل ۶. موقعیت محدوده پژوهش

### یافته‌های پژوهش

حدود ۳۶/۶۳ درصد از سطح حوضه را رخنساره‌های دارای ضریب فرسایش بیش از ۰/۷ نظیر نقاط با فرسایش سطحی و حرکات توده‌ای، هدکت و فرسایش شیبی تشکیل می‌دهد.

بررسی نقشه ضریب فرسایش در واحدهای کاری نشان می‌دهد نقاط بدون فرسایش و دارای فرسایش بسیار ناچیز در حوضه وجود ندارد و بخش عمده سطح آن متأثر از فرسایش آبی شدید است. در این بین

جدول ۲. ضریب فرسایش ( ) در رخنساره‌ها یا واحدهای کاری حوضه آبخیز بدرانلو

سنجه	رخساره یا واحد کاری	فرسایش ناچیز	اراضی کشاورزی با فرسایش ناچیز	جنگل و مرغ	هدکت	هدکت و فرسایش شیبی	منطقه بدون فرسایش	منطقه با فرسایش نسبتاً ناچیز	فرسایش شیبی	منطقه با فرسایش ناچیز	حرکات توده‌ای	منطقه با فرسایش سطحی و ناچیز	منطقه دارای فرسایش بسیار ناچیز	منطقه دارای فرسایش آبی
ضریب فرسایش	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱	۰/۸	۰/۰۱	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۷	۰/۰۵	۰/۳	
مساحت (Hec)	۲۰۵۶	۳۸۲۱	۹۵۱	۳۳۸۱	۰	۲۸۹۲	۱۷۳۳	۶۹۰۷	۶۶۷۰	۰	۱۶۲۵			

سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی شامل شیل مارنی خاکستری تیره سازند سنگانه، مارن و آهک مارنی سبز و آهک اوریتولین‌دار کرم‌رنگ سازند سرچشمه، نهشته‌های لُسی، پادگانه‌ها، مخروط‌افکنه‌های جوان و دشت‌های آبرفتی و کنگلومرای نئوژن است.

بررسی نقشه ضریب حساسیت خاک حوضه به فرسایش نیز حاکی است از مجموع مساحت ۳۰۰/۳۷ هکتاری حوضه حدود ۵۴/۲۴ درصد را خاک‌ها و سنگ‌های حساس به فرسایش و با ضریب حساسیت بیشتر از ۱ تشکیل می‌دهند که از نظر شرایط

جدول ۳. مقادیر ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) در حوضه آبخیز بدرانلو

شماره	شرایط سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی	علامت اختصاری	مساحت (Hec)	ضریب حساسیت
۱	پادگانه‌ها، مخروط‌افکنه‌های جوان و دشت‌های آبرفتی	Q	۷۶۶	۱/۵
۲	پادگانه‌ها، مخروط‌افکنه‌های قدیمی و دشت‌های آبرفتی	Q <sub>t</sub>	۱۷۷۸	۱
۳	کنگلومرای نئوژن	N	۷۶۸۶	۱/۲
۴	آهک اوریتولین‌دار روشن (سازند تیرگان)	K <sub>tr</sub>	۱۱۹۶۶	۰/۹
۵	شیل مارنی خاکستری تیره (سازند سنگانه)	K <sub>sn</sub>	۲۱۰	۲
۶	مارن و آهک مارنی سبز و آهک اوریتولین‌دار کرم‌رنگ	K <sub>sr</sub>	۲۹۶۸	۱/۷
۷	نهشته‌های لُسی	Q <sub>l</sub>	۴۶۶۳	۱/۶

اراضی کشاورزی شخم‌خورده حساس به فرسایش، باغ‌های میوه و درختان مثمر و جنگل‌های مخروطیه، بوته‌زار و مرتع روی خاک فرسایش یافته دارند.

بررسی نقشه کاربری اراضی حوضه نشان می‌دهد ۳۹/۹۷ درصد از اراضی ضریب استفاده بیش از ۰/۵ و سازندهای حساس به فرسایش آبی و دارای هزاردره،

جدول ۴. مقادیر ضریب استفاده از زمین (Xa) در حوضه آبخیز بدرانلو

شماره	شرایط استفاده از زمین	علامت در راهنمای نقشه	مساحت (Hec)	ضریب استفاده از زمین
۱	سازندهای حساس به فرسایش آبی و دارای هزاردره	Badlands	۹۶۰	۱
۲	باغ‌های میوه و درختان مثمر **	Fruit.gardens	۴۸۶۹	۰/۸
۳	مراتع کوهستانی	Mountain.grassland	۷۴۰۳	۰/۵
۴	مزارع دائمی و نباتات علوفه‌ای	Permanent.farms	۱۰۶۲۹	۰/۴
۵	جنگل‌های مخروطیه، بوته‌زار و مرتع روی خاک فرسایش یافته	Ruined.forest	۴۴۴۷	۰/۶
۶	اراضی کشاورزی شخم‌خورده حساس به فرسایش	Sensitive.to.erosion.lands	۱۷۲۹	۰/۹

\*\* بخش عمده‌ای از باغ‌های منطقه را باغ‌های دیم در اراضی شیب‌دار تشکیل می‌دهند و از ضریب زیادی برخوردارند.

در هر هکتار است. در بین زیرحوضه‌ها، زیرحوضه ۴ به دلیل عملیات خاک‌ورزی غیراصولی، شیب زیاد و راه‌اندازی باغ‌های انگور دیم در شیب‌های تند سالیانه با ۶۳/۸۹ تن فرسایش خاک در هر هکتار، بیشترین

براساس ارزیابی صورت‌گرفته با روش EPM، سالیانه در مجموع ۴۶۱۵۷۳/۹۵ تن خاک در اثر فرسایش آبی از سطح حوضه خارج می‌شود. میانگین سالیانه فرسایش خاک زیرحوضه‌ها برابر با ۲۳/۷۳ تن

نوع پوشش - کاربری اراضی و گسترش سازندها و رسوبات نفوذپذیر، کمترین میانگین رسوب ویژه سالیانه در سطح حوضه مربوط به زیرحوضه ۵ با ۵/۵۵ تن خاک در هکتار است.

مقدار رسوب ویژه را دارد که ۳۳ تن در هر هکتار است. علاوه بر زیرحوضه ۴، در زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۷ نیز فرسایش خاک بسیار زیاد است. به دلایلی چون ارتفاع کمتر، شیب ملایم، خاک‌ورزی اصولی،

جدول ۵. مقدار رسوب ویژه برحسب  $\text{Tone/Hec/Year}$  در هریک از زیرحوضه‌های حوضه بدرانلو

مقدار رسوب ویژه ( $\text{Tone/Hec/Year}$ )	مجموع رسوب ویژه برای زیرحوضه‌ها (Tone)	مساحت (Hec)	زیرحوضه‌ها
۱۹/۰۷	۸۳۳۱۸/۳۴	۴۳۶۸/۰۸	زیرحوضه ۱
۳۳/۳۷	۵۸۷۶۱/۱۴	۱۷۶۰/۸۳	زیرحوضه ۲
۱۳	۷۱۳۸۶/۱۴	۵۵۰۳/۲۶	زیرحوضه ۳
۶۳/۸۹	۶۴۱۴۱/۴۴	۱۰۰۳/۸۵	زیرحوضه ۴
۵/۵۵	۴۶۳۴۱/۶۹	۸۳۴۴/۹۲	زیرحوضه ۵
۱۳	۶۷۶۹۰/۵۸	۵۲۱۸/۳۶	زیرحوضه ۶
۱۸/۲۳	۶۹۹۳۴/۶۲	۳۸۳۶/۷۷	زیرحوضه ۷
-	۴۶۱۵۷۳/۹۵	۳۰۰۳۶/۰۷	مجموع
۲۳/۸۳	-	-	میانگین

منبع: انقطاع نقشه مقدار رسوب ویژه حوضه (GSp) با نقشه زیرحوضه‌های حوضه و محاسبات نویسندگان

پوشش گیاهی سبب می‌شود تا ظرفیت ذخیره آب خاک در حوضه کمتر شود. از سوی دیگر وجود مقدار بسیاری سیلت بدون چسبندگی فرسایش‌پذیری خاک‌ها را افزایش می‌دهد. تکامل نیافتگی، فزونی کاتیون K، نسبت زیاد سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیوم در گروه رس‌های مونت موریلونیت، درصد کمتر کربن آلی و وجود هوموس نارس در خاک و محدودیت فعالیت میکروارگانیسم‌ها سبب می‌شود خاک‌های حوضه ساختمان پراکنده داشته باشند. مجموع این ویژگی‌ها سبب می‌شود ذرات خاک ناپایداری نسبی پیدا کنند و در اثر برخورد قطرات باران یا نیروی برشی آبدوی از توده خاک جدا و منتقل یا دچار حرکات توده‌ای شوند (شکل‌های ۷ و ۸).

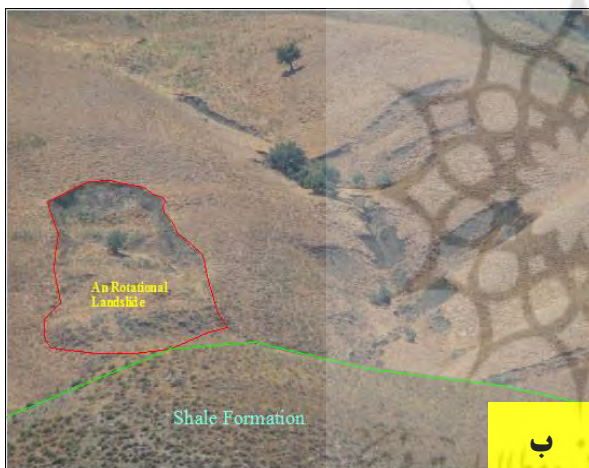
شرایط یکسان اقلیمی و پوشش گیاهی حاکم در حوضه نشان می‌دهد فرسایش آبی خاک‌های سطح حوضه منشأ زمین‌شناسی، توپوگرافی و تشدید دارد. شرایط زمین‌شناسی حوضه به صورت مقادیر ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) در مدل EPM لحاظ شده است. حدود ۵۴/۲۴ درصد از وسعت حوضه متشکل از شیل مارنی، مارن و آهک مارنی، نهشته‌های لُسی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات آواری کنگلومرایی با درصد زیادی از خاک‌های سیلتی و رسی غیرکائولینیتی و با ضریب حساسیت بیش از ۱ است. وجود کلوئیدها و رس‌های آماس‌پذیر و قطر اندک خاکدانه‌ها سرعت نفوذ ریزش‌های جوئی در خاک را کاهش می‌دهد و کمبود مواد آلی در اثر تخریب



ب- آثار و شواهد فرسایش گالی و خندقی خاک در سطح حوضه

شکل ۷. الف- شخم در جهت شیب در دیم‌زارهای حوضه

عکس از نگارنده (بهار- ۱۳۹۳)



ب. حرکات توده‌ای در دامنه‌های با پی سنگ حساس، زودفرسا و نفوذناپذیر شیلی موسوم به سازند سنگانه (Ksn)

شکل ۸. الف- عکس تهیه‌شده با عدسی 10x میکروسکوپ پلاریزان از مقطع نازک سازند شیلی سطح حوضه. در این تصویر دانه‌های سفیدرنگ ذرات سیلیس و لکه‌های قهوه‌ای اکسیدهای آهن‌اند.

مکانیکی، فقر خاک و پوشش گیاهی، اصولاً فرسایش خاک بیشتری حاکم است. با توجه به وقوع بارش‌های همرفتی در ارتفاعات حوضه این نقاط نیز فرسایش بیشتری دارند. بدین منظور با در نظر گرفتن میزان رسوب ویژه و ویژگی‌های توپوگرافی آزمون‌پذیر، تحلیل‌های آماری با روش رگرسیون چندمتغیره در

علاوه بر فرسایش زمین‌شناختی و تشدید، توپوگرافی که مهم‌ترین عامل در مدل EPM محسوب می‌شود، در افزایش فرسایش آبی خاک سطح حوضه نقش برجسته‌ای دارد. با افزایش شیب دامنه روان‌آب سرعت می‌گیرد و بار بیشتری را با خود حمل می‌کند؛ همچنین در دامنه‌های جنوبی به دلیل حاکمیت تخریب

(ضریب ۰/۸۷) بین مقدار رسوب ویژه و میزان شیب دامنه است (جدول ۶ و شکل ۹). Sig. کوچکتر از ۰/۰۵ بدین معناست که با افزایش میزان شیب دامنه‌ها در حوضه، مقدار رسوب ویژه نیز بیشتر می‌شود.

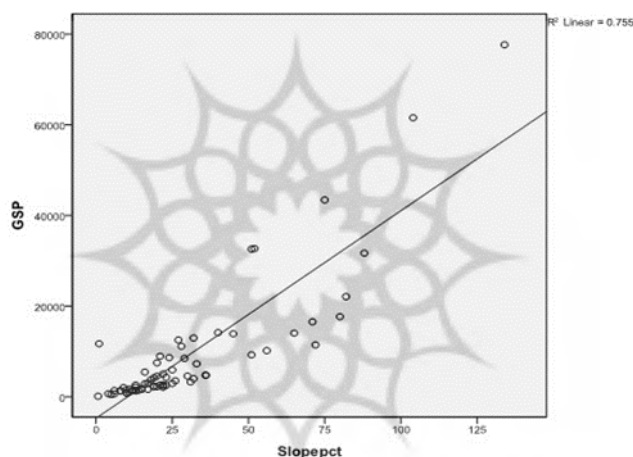
محیط نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. برای بررسی رابطه بین میزان رسوب ویژه ( $G_{sp}$ ) با عامل شیب (Slopepct) و ارتفاع (Elevation) از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد. خروجی‌ها حاکی از معناداری و وجود یک همبستگی مستقیم و نسبتاً کامل

جدول ۶. خروجی آزمون تحلیل واریانس بین متغیرهای مقدار رسوب ویژه و میزان شیب

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	9/662.E9	1	9/662.E9	212/202	000*
Residual	3/142E9	69	4/553.E7		
Total	1/280E10	70			

a..Predictors:.(Constant),.Slopepct

b..Dependent.Variable:..GSP



شکل ۹. نمودار همبستگی متغیرهای مقدار رسوب ویژه و جهت شیب

منظور ایجاد اطمینان از این ویژگی، با استفاده از گزینه Open. pixel. information، نقشه مقدار رسوب ویژه در نرم‌افزار ILWIS، نقشه‌های DEM و سنگ‌شناسی حوضه به محیط آن اضافه و مشخص شد هرچا ارتفاع حوضه بیشتر می‌شود، لیتولوژی از نوع سنگ آهک است. این سازند که در مناطق نیمه‌خشک ارتفاع‌ساز است، به دلیل تکتونیزه‌بودن و انحلال‌پذیری نسبی، قابلیت نفوذ بیشتری دارد و فرسایش آبی خاک را کاهش می‌دهد.

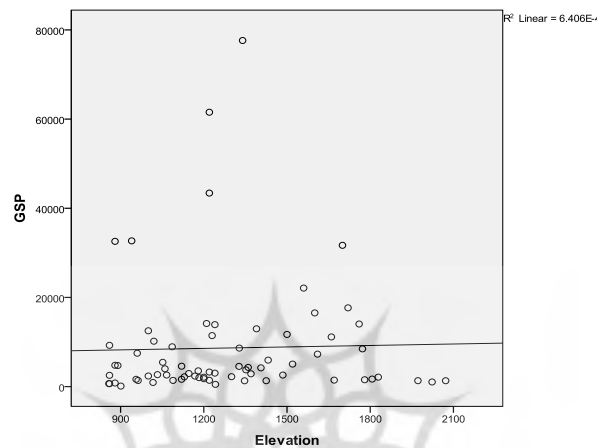
خروجی‌های آزمون ANOVA با توجه به ضریب ۰/۰۲۵ و معناداری ۰/۸۳۴، حاکی از معنادار نبودن همبستگی نداشتن مقدار رسوب ویژه و عامل ارتفاع است (جدول ۷ و شکل ۱۰). اساساً ارتفاع با بارش از همبستگی مستقیمی برخوردارند. بدین معنا که با افزایش ارتفاع بر میزان آن افزوده می‌شود، رژیم آن به رگباری تغییر می‌یابد و نوع آن با توجه به فصل نیز تغییر می‌کند. Sig. بزرگتر از ۰/۰۵ بدین معناست که با بیشتر شدن ارتفاع در سطح حوضه، فرسایش آبی خاک افزایش نمی‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به

جدول ۷. خروجی آزمون تحلیل واریانس بین متغیرهای مقدار رسوب ویژه و ارتفاع

ANOVA <sup>b</sup>					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	8201777/887	1	8201777/887	۰.۴۴	.۸۳۴ <sup>a</sup>
Residual	1/279.E10	69	1/854.E8		
Total	1/280.E10	70			

a..Predictors:.(Constant),.Elevation

b..Dependent.Variable:GSP



شکل ۱۰. نمودار همبستگی نگار متغیرهای مقدار رسوب ویژه و ارتفاع

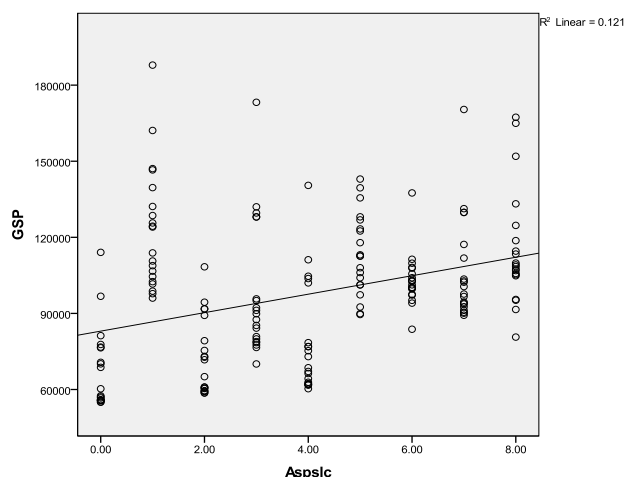
ضریب ۰/۳۴۸ و معناداری ۰/۰۰۰ در آزمون ANOVA نشان از معنادار بودن و وجود همبستگی مستقیم بین مقدار رسوب ویژه و آزیموت دامنه دارد (جدول ۸ و شکل ۱۱). Sig. کوچک‌تر از ۰/۰۵ بدین معناست که در سطح حوضه با افزایش آزیموت جغرافیایی وجه دامنه، فرسایش خاک تغییر می‌یابد. کمترین فرسایش خاک به ترتیب مربوط به مناطق بدون جهت (Unknown) و دامنه‌های شمالی، شمال شرقی و شرقی با آزیموت ۳۳۷/۵ تا ۳۶۰ و ۰ تا ۱۱۲/۵ درجه است. شیب‌های شمال غربی و غربی با آزیموت ۲۴۷/۵ تا ۳۳۷/۵ درجه بیشترین میزان فرسایش آبی خاک را دارند که نشان از تأثیر سیستم‌های بارشی ورودی توأم با باد و برتری عامل آنتروپوژنیک دارد. حال آنکه وضع موجود چنین نیست و طی سال‌های اخیر به دلیل تغییر کاربری اراضی مرتعی و جنگلی به زراعی و شخم غیراصولی، فرسایش خاک در این دامنه‌ها تشدید شده است.

جدول ۸. خروجی آزمون تحلیل واریانس بین متغیرهای مقدار رسوب ویژه و جهت دامنه

ANOVA <sup>b</sup>					
Model	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	1/590.E10	1	1/590E10	24/532	.۰۰۰ <sup>a</sup>
Residual	1/154.E11	178	6/483.E8		
Total	1/313.E11	179			

a..Predictors:.(Constant),.Aspslc

b..Dependent.Variable:GSP



شکل ۱۱. نمودار همبستگی نگار متغیرهای مقدار رسوب ویژه و جهت شیب

### نتیجه گیری

عوامل فرسایشی با تأثیر منفی در سرعت نفوذ آب، ظرفیت کل و ظرفیت نگهداری آب خاک، میزان آبدوی در خاک‌های حوضه را به شدت افزایش داده و خاک‌های سطحی را ناپایدار ساخته است. فرسایش آبی خاک که در سطح حوضه بدرانلو به شکل‌های شپاری، خندقی و توده‌ای وجود دارد، سالیانه حجم بسیار زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری مدل EPM نشان می‌دهد در مجموع سالیانه حدود ۴۶۱۵۷۴ تن خاک در اثر فرسایش آبی از سطح حوضه خارج می‌شود. میانگین سالیانه فرسایش خاک زیرحوضه‌های بدرانلو برابر با ۲۳/۷۳ تن در هر هکتار است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل EPM نشان می‌دهد متأثر از توپوگرافی و لیتولوژی متنوع، میزان رسوب ویژه در حوضه دامنه نوسان زیاد حدود ۵۸ تن خاک در هکتار دارد؛ به گونه‌ای که در زیرحوضه ۴ به دلایلی چون شخم نامناسب، شیب زیاد، تغییر کاربری اراضی نیمه‌جنگلی و مرتعی واقع در دامنه‌های غربی و شمال غربی و احداث باغ‌های انگور دیم در شیب‌های تند، سالیانه

یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده تأثیر زیاد عوامل زمین‌شناسی، انسانی و بعضی شرایط توپوگرافی در فرسایش منطقه است. کنش متقابل عوامل اثرگذار در حوضه منجر به تغییر روند فرسایش زمین‌شناسی از حالت متعارف به حالت «غیرمتعارف» شده و فرسایش به حدی است که با تشکیل و تکامل خاک جبران نمی‌شود. خروجی حاصل از آزمون ANOVA نیز مؤید تأثیر زیاد نحوه استفاده از زمین در فرسایش خاک سطح حوضه نسبت به عواملی چون لیتولوژی و جهت دامنه است. عملیات خاک‌ورزی غیراصولی، بهره‌برداری زیاد، کشت و کار روی سازندهای سیلتی - رسی حساس به فرسایش آبی، احداث تاکستان‌های دیم روی دامنه‌های شیب‌دار و تخریب جنگل‌ها و مراتع منجر به فرسایش تشدید در خاک‌های سطح حوضه شده است؛ به گونه‌ای که حدود ۳۹/۹۷ درصد از سطح حوضه را اراضی با ضریب استفاده بیش از ۰/۵ تشکیل می‌دهد.



## منابع

احمدی، حسن، (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، جلد ۱، چاپ ۷، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۰ ص.

جداری عیوضی، جمشید و جوکار سرهنگی، عیسی، (۱۳۸۰). کارآیی واحدهای ژئومورفولوژی در ارزیابی فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بوجان)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳، شماره ۴۰، ۷۹-۳۱.

دادرسی سبزواری، ابوالقاسم و رنگ‌آور، علی، (۱۳۸۴). بررسی اثر تغییرات عمق خاک و شیب بر میزان تولید رسوب، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۶ ص.

رجایی، عبدالحمید، (۱۳۷۳). ژئومورفولوژی کاربردی در برنامه‌ریزی و عمران ناحیه‌ای، تک‌جلدی، چاپ اول، تهران، نشر قومس، ۳۲۸ ص.

رفاهی، حسین‌قلی، (۱۳۹۴). فرسایش آبی و کنترل آن، تک‌جلدی، چاپ ۷، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۱ ص.

رنگزن، کاظم، زراسوندی، علیرضا و حیدری، ارسلان، (۱۳۸۷). مقایسه دو مدل EPM، MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گنوند خوزستان با استفاده از تکنیک‌های Rs، GIS، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۴۰، شماره ۶۴، ۱۲۳-۱۳۶.

۶۳/۸۹ تن فرسایش خاک در هکتار وجود دارد و زیرحوضه ۵ با ۵/۵۵ تن خاک در هکتار کمترین مقدار رسوب ویژه را دارد. آزمون تحلیل واریانس بین مقدار رسوب ویژه و ویژگی‌های توپوگرافی شامل میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع، دلالت بر وجود همبستگی بین شیب دامنه و جهت آن و نبود همبستگی بین ارتفاع با فرسایش آبی خاک دارد.

نتایج پژوهش نشان‌دهنده رفتار دوگانه عامل زمین‌شناسی با فرسایش آبی خاک است. در ارتفاعات زیاد حوضه با وجود افزایش بارش و رژیم رگباری آن، به دلیل رخنمون سنگ آهک اوربیتولین‌دار موسوم به سازند تیرگان فرسایش خاک اندک است و سیستم آبرفتی پس‌خورند منفی از خود نشان می‌دهد که منجر به بهبودی سیستم آبرفتی می‌شود. برعکس در نقاط شیب‌دار و دامنه‌های غربی و شمال غربی که شیل مارنی، مارن و آهک مارنی، نهشته‌های لُسی و کنگلومرای با سیمان رسی نئوژن رخنمون پیدا می‌کند، فرسایش خاک به بیشترین حد می‌رسد و بقای سیستم آبرفتی را تهدید می‌کند. آثار ویران‌کننده پدیده فرسایش خاک در درازمدت از طریق کاهش محصول محسوس خواهد شد که دستیابی به اهداف اقتصادی را با چالش مواجه خواهد ساخت. در مجموع و با استفاده از نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه به نظر می‌رسد مدل EPM در مطالعات کوتاه‌دوره فرسایش خاک موفقیت‌آمیز باشد و برای حوضه‌های بدون آمار به‌راحتی اجراشدنی است. علت انتخاب این روش برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه سادگی، عملی بودن روش مدنظر و میزان دانش و تجربه در این روش است.

دو روش EPM, MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب در زیرحوضهٔ املا از زیرحوضه‌های رودخانهٔ تالار، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سایت <https://www.civilica.com>

هاشمی، سید علی‌اصغر و عرب خدری، محمود، (۱۳۸۶). ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدهای کوچک، مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دورهٔ ۴۲، شمارهٔ ۴، ۳۴۵-۳۵۵.

وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، سازمان جغرافیایی، نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی بدرانلو و ارکان.

Battany, M. C., Grismer, M. E., (2000).. - **Rainfall runoff and erosion in Napa valley vineyards effect of slope cover and surface roughness.**, Hydrological. process., Vol.14, 1289- 1304.

Bagarello, V., C., Di-Stefano, V., Ferro, P.I.A., Kinnell, V., Pampalone, P., & F., Todisco, K., AJDN, (2011).. **Predicting soil loss on moderate slopes using an empirical model for sediment concentration,** Journal of Hydrology, Vol 400, 267- 273.

Devent, J., & J., Poesen, (2005). **Peredictig Soil erosion and sediment yield at the basin scale, Scale issues and semi-quantitation Model,** Earth Science, Vol 20, 1-31.

Chakrabarti, A. K., (1992).. **Strategy for watershed management using remote sensing techniques.** Pro. National. Symposium. on. Remote. Sensing. for. Sustainable. Development., Luchnow.

Foster, G. R., (1982).. **Modelling the erosion process, Hydrologic Modelling of small**

رنگ‌آور، علی، (۱۳۸۴). **احیای پوشش گیاهی مناسب‌ترین مدیریت کاهش رسوب در حوضهٔ آبخیز سدهای مخزنی کشور، نخستین همایش مدیریت رسوب، اهواز، ۹ ص، سایت <https://www.civilica.com>**

زنگنه اسدی، محمدعلی، (۱۳۸۹). **مدل‌های کمی ارزیابی فرسایش آبی، تک‌جلدی، چاپ اول، سبزوار، انتشارات دانشگاه تربیت معلم سبزوار، ۱۷۶ ص.**

عابدینی، موسی، (۱۳۸۵). **مورفوتکتونیک و مورفودینامیک حوضهٔ آبخیز باسمنج چای با تأکید بر فرسایش خاک و رسوب‌دهی، طرح تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی، سایت <https://www.civilica.com>**

محمدیان شویلی، محمدحسین و سرور، جلیل‌الدین، (۱۳۸۶). **روش‌های برآورد فرسایش و رسوب براساس مدل‌های رایج تجربی Epm, Psiac, MPSIAC در حوضهٔ گوهررود، چهارمین همایش ملی علوم آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز کشور، سایت <https://www.civilica.com>**

مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، (۱۳۸۳). **خاک‌های ایران، تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری، انتشارات سنا، نشریهٔ شمارهٔ ۱۴۱۸، سایت <https://www.civilica.com>**

هادیان امری، محمدعلی، موسوی، سید رمضان، سلیمانی، کریم و بیات، فاطمه، (۱۳۸۶). **مقایسهٔ**

- desertification in southeastern Africa**, Hydrological Sciences Journal, Vol. 52, 1146- 1161.
- Mccool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., and Meyer, L. D., (1987).. **Revised slope steepness factor for the Universalsoil loss equation**, Trance, Vol.4, 1387- 1396.
- watersheds**, American Society of Agricultural Engineers, Vol.2, 297- 382.
- Lajeczak, A., Janson, M., (1993).. **Suspended sediment yield in the Baltic drainage Basin**, Nodic hydrology, Vol.24, 31- 52.
- Martin, R., W., Bosch, A., Vallejos, A., Gisbert, J., Andreu, J. M., Sanchez, Martos, F., (2007).. **Hydrological implications of**

