

# فرسایش و رسوب در

## حوضه آبخیز رود بانه

امید مرادی  
دبیر جغرافیای بانه

### چکیده

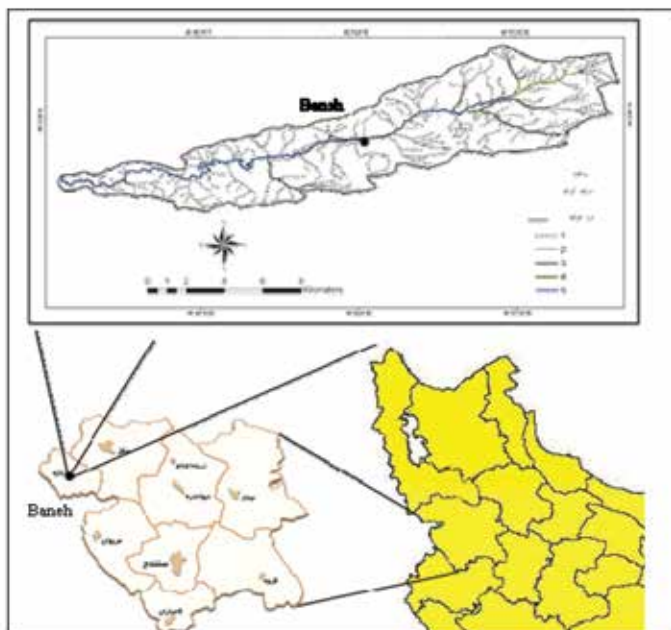
حوضه آبخیز رود بانه در شمال غرب کشور، در جنوب غرب استان کردستان و شمال شرق شهرستان بانه واقع شده است. در این مطالعه، از میان روش‌های متعدد برآورد فرسایش و رسوب، از روش «EPM»<sup>۱</sup> به عنوان تکنیک منتخب استفاده شد و پارامترهای محیطی در قالب این روش قرار داده شدند. براساس روش EPM، حوضه در پنج کلاس فرسایش (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) قرار می‌گیرد. میزان رسوب‌دهی حوضه آبخیز رود بانه ۷۸/۵۳۰/۲ متر مکعب در کیلومتر مربع، معادل ۹۸/۵۷۹/۲ تن در کیلومتر مربع محاسبه شد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش و رسوب، مدل EPM، حوضه آبخیز.

### مقدمه

در قرن حاضر، فرسایش خاک مشکلی جهانی محسوب می‌شود. به‌طوری که سالانه طبق تخمین «فائو»<sup>۲</sup> به‌طور متوسط سه میلیون هکتار از اراضی کشاورزی بر اثر فرسایش از دست‌رشد خارج می‌شود. فرسایش در ایران نیز از این قاعده مستثنا نیست و باعث تبدیل اراضی حاصل‌خیز کشاورزی به بیابان‌های لم‌بزرع، پر شدن مخازن سدها، تخریب پوشش گیاهی و بروز سیلاب‌های خطرناک می‌شود. از طرف دیگر، فرسایش خاک و تجمع مواد رسوبی پشت سدها، حجم مفید مخزن سد را کاهش می‌دهد. این امر در کشور یکی از مشکلات اساسی در راه توسعه پروژه‌های منابع آب و آبخیزداری محسوب شده است.

به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی، و همچنین محاسبه و طراحی دقیق حجم سد در احداث سدهای مخزنی، ضرورت دارد حجم کل میزان تولید رسوب سالانه در یک حوضه آبخیز ارزیابی و برآورد شود. در این



نقشه ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بانه

## مراحل تحقیق

۱. جمع‌آوری اطلاعات کتابخانه‌ای مورد نیاز.
۲. تهیه نقشه شیب حوضه با وارد کردن نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به سامانه اطلاعات جغرافیایی.
۳. وارد کردن نقشه کاربری اراضی موجود حوضه به سامانه.
۴. تهیه نقشه فرسایش فعلی منطقه با پیمایش صحرایی و استفاده از جدول مربوطه در مدل EPM.
۵. تهیه نقشه واحدهای کاری با تلفیق نقشه‌های شیب، خاک‌شناسی- سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و فرسایش فعلی منطقه.
۶. امتیازدهی به هر یک از پارامترها که در مدل ارائه شده است.
۷. محاسبات ریاضی برای تعیین شدت فرسایش هر واحد

$$Z = Y \cdot Xa(\phi + 1)^{\frac{1}{5}}$$

کاری با استفاده از معادله

۸. کلاس‌بندی شدت فرسایش در مدل EPM.
۹. ارائه نقشه کلاس‌های شدت فرسایش و پهنه‌بندی آن در حوضه بانه.

## تشریح مدل EPM

مدل EPM در طی ۲۰ سال تحقیق توسط متخصصان یوگسلاوی سابق به منظور برآورد فرسایش و رسوب و در سال ۱۹۸۸ در «کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه» ارائه شد. این مدل روش پیشرفته طبقه‌بندی کمی فرسایش محسوب می‌شود. با این روش، علاوه بر تعیین شدت فرسایش و میزان حمل رسوب در رودخانه‌ها، می‌توان برآورد اولیه‌ای از میزان رسوب‌گذاری پشت سدهای مخزنی در دست مطالعه انجام داد. با استفاده از این روش نقشه فرسایش خاک را نیز می‌توان تهیه کرد (احمدی، ۱۳۷۸). براساس این مدل، فرایند فرسایش نتیجه روابط متقابل عوامل سنگ‌مادر- خاک و ویژگی‌های توپوگرافی همراه با اقلیم و نوع بهره‌برداری از اراضی است. به طوری که عوامل سنگ‌مادر- خاک و ویژگی‌های توپوگرافی با اقلیم عوامل طبیعی همراه است و عامل بهره‌برداری از اراضی، عامل انسان (غیر طبیعی) است.

در این روش چهار مشخصه بررسی می‌شوند: ضریب فرسایش حوضه آبخیز ( $\phi$ )؛ ضریب کاربری اراضی ( $Xa$ )؛ ضریب حساسیت خاک به فرسایش ( $Y$ )؛ شیب متوسط حوضه به درصد ( $L$ ). با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از حوضه و امتیازدهی به عوامل مورد مطالعه براساس جدول‌های ۱ تا ۳، چهار لایه نقشه مورد نظر به وسیله نرم‌افزار GIS (Ilwis) تهیه و با هم ادغام شدند و ضریب شدت فرسایش با استفاده از فرمول  $Z = Y \cdot Xa \cdot (\phi + 1)^{1/5}$  (که در آن:  $Z$  ضریب شدت فرسایش،  $Y$  ضریب مقاومت سنگ‌مادر- خاک،  $Xa$  ضریب بهره‌برداری از اراضی،  $\phi$  ضریب فرسایش فعلی و  $L$  شیب متوسط به درصد است) به دست آمد.

پس از به‌دست آوردن ضریب شدت فرسایش ( $Z$ ) هر واحد کاری،

رابطه پیش‌بینی فرسایش می‌باید از طریق ایستگاه‌های سنجش رسوب انجام گیرد، ولی به لحاظ محدودیت این ایستگاه‌ها، معمولاً از روش‌های تجربی استفاده می‌شود. هدف ما در این بخش، برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز بانه با استفاده از مدل EPM بوده است.

حوضه مورد مطالعه در شمال غرب کشور، در جنوب غرب استان کردستان و شمال شرق شهرستان بانه واقع شده است. در راستای دستیابی به اهداف مدنظر در مطالعه، از مشاهدات مستقیم و عملیات میدانی و مشاهدات غیرمستقیم (انواع نقشه‌ها) استفاده شد. پایگاه اطلاعاتی مورد نیاز نیز توسط «سیستم اطلاعات جغرافیایی» (GIS) در محیط نرم‌افزاری «Ilwis» تشکیل شد. حوضه بانه در زون سندانج- سیرجان قرار دارد که قدیمی‌ترین تشکیلات آن مربوط به «پرکامبرین» و جوان‌ترین تشکیلات نیز واحدهای رسوبی مربوط به «کواترن» هستند.

طبقه‌بندی اقلیمی آن بر اساس «روش کوپن» گویای آب و هوای مدیترانه‌ای و مرطوب سرد (Csa) است. لذا تحت تأثیر اقلیم موجود در حوضه، تخریب فیزیکی و شیمیایی فعال است و مواد رسوبی سطحی زیادی فراهم می‌آید. قابل ذکر است که جریان‌ات آبراهه‌ای نیز در افزایش فرسایش در این حوضه بسیار تأثیر دارد.

## مدل‌های برآورد فرسایش خاک

مرور منابع در ایران نشان می‌دهد که به استثنای موارد معدودی از پایان‌نامه‌های فوق‌لیسانس و دکترا، تاکنون تحقیقات پایه‌ای و جدی روی فرایند فرسایش خاک به عمل نیامده است. به نظر می‌رسد که کلیه اقداماتی که در زمینه حفاظت خاک صورت گرفته بر اساس توصیه‌هایی برای انجام کشت در جهت عمود بر شیب، احداث کنتر فارو و یا تراس‌بندی در بعضی اراضی شیبدار کوهستانی می‌باشد. استفاده از مدل‌های تجربی در تعیین فرسایش و رسوب، مانند مدل‌های «MPSIAC» و «EPM»، در سطوح تحقیقاتی و همچنین چندین مورد استفاده از «مدل جهانی فرسایش خاک» (USLE) در قالب پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکترا مورد بررسی قرار گرفت.

کمبود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و رسوب‌زایی در بسیاری از حوضه‌های کشور ما را مجبور می‌سازد که در این‌گونه بررسی‌ها از روش‌های تجربی استفاده کنیم. انتخاب روش مورد استفاده، تابع عوامل متعددی است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- وجود یا نبود اطلاعات متنوع؛
  - عملی بودن روش مورد کاربرد؛
  - تنوع فرسایش خاک در حوضه آبخیز؛
  - شرایط اقلیمی؛
  - تجربه کارشناسی استفاده از روش‌های متفاوت در منطقه.
- چنانچه دبی رسوب به دست آمده از طریق مدل EPM، ظرفیت رسوب حوضه در نظر گرفته شود و با مقدار مشاهده‌ای آن مورد مقایسه قرار گیرد، اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود.

جدول ۴. طبقه‌بندی شدت فرسایش

مقادیر متوسط Z	شدت فرسایش	مقادیر شدت فرسایش (Z)	کلاس فرسایش
۱/۲۵	خیلی شدید	$Z > 1$	I
۰/۸۵	شدید	$1 > Z > 0.71$	II
۰/۵۵	متوسط	$0.71 > Z > 0.41$	III
۰/۳۰	کم	$0.41 > Z > 0.12$	IV
۰/۱۰	خیلی کم	$Z < 0.12$	V

و با قرار دادن مقدار آن در جدول ۴ که براساس شدت فرسایش و Z تنظیم شده است، کلاس فرسایش برای هر واحد ارضی تعیین می‌شود. بدین لحاظ پنج طبقه که برای کارهای اجرایی و ارائه نقشه فرسایش مناسب است، در مدل پیش‌بینی شده است.

### فرسایش ویژه

برای به الگو درآوردن ارتباط ضریب فرسایش با مقدار کمی فرسایش (فرسایش ویژه) معادله زیر ارائه می‌شود:

$$1/5$$

$$Wsp = T.H.\pi.Z$$

(که در آن:

**Wsp**: میانگین سالانه فرسایش ویژه حوضه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال  
**T**: ضریب درجه حرارت که از رابطه  $T = (t/10 + 0.1)^{0.5}$  به دست می‌آید و در آن t میانگین درجه حرارت سالانه در حوضه آبخیز به درجه سانتی‌گراد است.  
**H**: ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه به میلی‌متر  
**π**: عدد پی (۳/۱۴)  
**Z**: ضریب شدت فرسایش

### بررسی فرسایش و رسوب با روش EPM در حوضه آبخیز رودخانه

در راستای برآورد میزان کمی دبی رسوب، حوضه بانه به ۴۶ واحد کاری تقسیم شد. در هر واحد کاری ضرایب مؤثر در فرسایش، شامل ضریب حساسیت خاک به فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب فرسایش و درصد شیب متوسط، از طریق جدول‌های ۱ تا ۴ محاسبه شد و اعداد به دست آمده وارد نرم‌افزار ILLWIS شد. به این ترتیب سه لایه کاری ساخته و با هم ترکیب شدند. سپس با استفاده از فرمول  $Z = Y.Xa.(\phi + i)^{0.5}$  ضریب شدت فرسایش هر واحد کاری محاسبه و با استفاده از جدول، شدت فرسایش هر واحد کاری تعیین و با کد روی نقشه مشخص شد. جدول ۵ شدت فرسایش حوضه بانه را نشان می‌دهد. عدد محاسبه شده برای «Wsp» بیان‌کننده مقدار خاکی است

جدول ۱: امتیاز ضریب بهره‌برداری از اراضی (Xa)

امتیاز	شرایط مدل EPM	ردیف
۱	اراضی غیر قابل کشت زرع و بدلندها	۱
۰/۹	اراضی تپه ماهور و اراضی که در جهت شیب شخم خورده‌اند.	۲
۰/۷	باغات میوه و تاکستان‌های بدون پوشش گیاهی مرتعی	۳
۰/۶۳	مزارع کشت شده روی خطوط تراز	۴
۰/۶	جنگل‌های مخروطه و بوته‌زارهای ایجاد شده به جای آن‌ها	۵
۰/۵	مزارع کوهستانی خشک	۶
۰/۴	یونجه‌زارها و مزارع دائمی	۷
۰/۳	مزارع علفی با زهکش خوب	۸
۰/۲	جنگل‌های خوب روی شیب‌های تند	۹
۰/۰۵	جنگل‌های خوب روی شیب‌های ملایم	۱۰

جدول ۲: امتیاز ضریب مقاومت سنگ مادر - خاک نسبت به فرسایش (Y)

امتیاز	شرایط مدل EPM	ردیف
۲	ماسه، گراول، نهشته‌های آبرفتی و نهشته‌های ناشی از لغزش	۱
۱/۶	لس، توف، خام شور خاک‌های استپی	۲
۱/۲	سنگ آهک و مارن هوازده	۳
۱/۱	سرپانتینت، ماسه سنگ قرمز، رسوبات فلیشی	۴
۱	پدزول، پاراپدزول، شیبست خرد شده، میکاشیست، گنیس	۵
۰/۹	سنگ آهک سخت شده و متورق، خاک‌های هوموسی و سیلیکات‌دار	۶
۰/۸	خاک‌های قهوه‌ای جنگلی و کوهستانی	۷
۰/۶	خاک‌های باتلاقی و هیدرومورف سیاه یا خاکستری تیره	۸
۰/۵	چرنوزوم در رسوبات آبرفتی با بافت خوب	۹
۰/۲۵	سنگ‌های آذرین	۱۰

جدول ۳: امتیاز ضریب فرسایش فعلی حوضه (φ)

امتیاز	شرایط مدل EPM	ردیف
۱	منطقه تماماً پوشیده از گالی و فرسایش عمیق	۱
۰/۹	حدود ۸۰٪ منطقه پوشیده از شیار و گالی	۲
۰/۸	حدود ۵۰٪ منطقه پوشیده از شیار و گالی	۳
۰/۷	تمامی منطقه تحت تأثیر فرسایش سطحی است و شیار و گالی دیده می‌شود.	۴
۰/۶	تمامی منطقه تحت تأثیر فرسایش سطحی است، اما فرسایش عمیق دیده نمی‌شود.	۵
۰/۵	۵۰٪ منطقه تحت تأثیر فرسایش سطحی است.	۶
۰/۳	۲۰٪ منطقه تحت تأثیر فرسایش سطحی است.	۷
۰/۲	سطح زمین بدون آثار فرسایش، ریزش‌های سنگ در کانال رودخانه	۸
۰/۱۵	سطح زمین بدون آثار فرسایش، عمدتاً اراضی زراعی	۹
۰/۱	سطح زمین بدون آثار فرسایش، با توده‌های جنگلی یا محصولات چند ساله	۱۰

● کلیه اقداماتی که در زمینه حفاظت خاک صورت گرفته بر اساس توصیه‌هایی برای انجام کشت در جهت عمود بر شیب، احداث کنترور فارو یا ترانس‌بندی در بعضی اراضی شیبدار و کوهستانی است

جدول ۵. فرسایش ویژه حوضه بانه

طبقه‌بندی شدت فرسایش	خیلی شدید I	شدید II	متوسط III	کم IV	خیلی کم V	میانگین Wsp
Wsp (year/ km <sup>۲</sup> /M <sup>۲</sup> )	۲۸۱۴	۲۱ ۹۶	۱۱۲۶ ۱۴	۴۵ ۱	۸۷/۲ ۷	۱۳۳۴/۹

جدول ۶. پارامترهای مربوط به مدل EPM و نتایج حاصل از آن در حوضه بانه

پارامتر	مقدار
I = میزان ضریب درصد متوسط شیب	۱۷/۳
t = متوسط دمای سالانه (C)	۱۳/۷
H = بارندگی متوسط سالانه (mm)	۷۴۱
P = محیط حوضه آبخیز (km)	۷۰
L = طول آبراهه اصلی (km)	۳۰
D = اختلاف ارتفاع حوضه (km)	۰/۵
Z = ضریب شدت فرسایش (از متوسط Z در جدول ۵ استفاده شده است.)	
T = ضریب دما	۱/۴۷
RU = ضریب رسوب‌دهی حوضه	۰/۵۹
GSP = دبی رسوب ویژه (year/ km <sup>۲</sup> /M <sup>۲</sup> )	۷۸۷/۶
Gs = دبی رسوب کل (year/M <sup>۲</sup> )	۷۸۵۳۰/۲
Gs = دبی رسوب به تن (ton /year)	۹۸۵۷۹/۲

که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است. اما همه این مواد به نقطه خروجی نخواهند رسید. مدل EPM بر خلاف مدل PSIAC، میزان محاسبه شده تا این مرحله را فرسایش ویژه تلقی می‌کند و برای رسوب ویژه معادله خاص ارائه می‌کند.

### رسوب ویژه (year/ km<sup>۲</sup>/M<sup>۲</sup>)

رسوب ویژه از طریق فرمول «Gsp = Wsp. RU» محاسبه می‌شود که در آن:

**Gsp**: دبی ویژه رسوب حوضه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال

**Wsp**: فرسایش ویژه

**ru**: ضریب نگهداشت رسوب یا ضریب رسوب‌دهی حوضه (رفاهی، ۱۳۸۲).

$$۱۳۳۴ = Gsp / ۹ \times ۰ / ۵۹ = ۷۸۷ / ۶$$

### ضریب رسوب‌دهی حوضه RU

این ضریب معین می‌کند که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی حوضه خارج می‌شود و مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$RU = \frac{۴(P.D)^{۰/۵}}{L + ۱۰}$$

که در آن:

**P**: محیط حوضه به کیلومتر

**L**: طول آبراهه اصلی به کیلومتر

**D**: اختلاف ارتفاع حوضه آبخیز به کیلومتر که از رابطه  $D = Dav - Do$  محاسبه می‌شود و در آن Dav ارتفاع متوسط حوضه و Do ارتفاع نقطه خروجی حوضه است.

بنابراین ضریب رسوب‌دهی به وضعیت توپوگرافی، شکل و مساحت حوضه آبخیز بستگی دارد (احمدی، ۱۳۷۸).

$$۵۹ / ۰ = RU$$

### محاسبه میزان کل رسوب

مقدار کل رسوب از رابطه «Gs = Gsp.A» به دست می‌آید که در آن:

**Gs**: مقدار کل رسوب بر حسب متر مکعب در سال

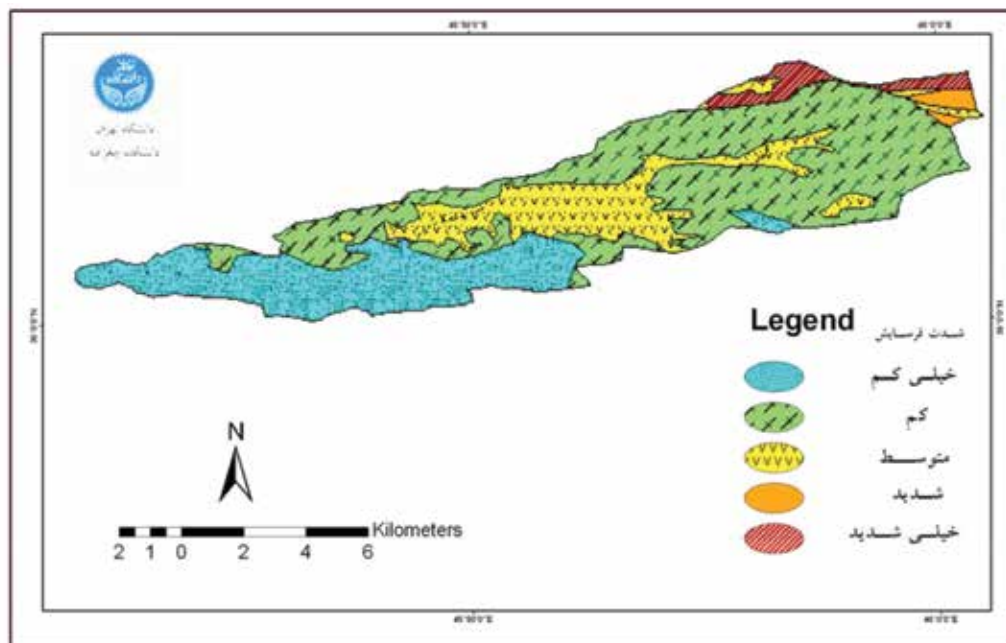
**Gsp**: مقدار رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال

**A**: مساحت حوضه به کیلومتر مربع

متر مکعب در کیلومتر مربع در سال =  $Gs = ۷۵۸۳۰ / ۲$

### نتیجه‌گیری

**گروه یک (I)**: در این گروه فرسایش خیلی زیاد است. خاک‌ها



نقشه ۲. شدت فرسایش و رسوب در حوضه بانه

جزئی خاک است. در این قسمت (حوضه) میزان خاک جابه‌جا شده غیر قابل توجه و در حد مجاز است. قسمت‌هایی از مرکز و خروجی حوضه در این گروه قرار می‌گیرند. این گروه ۲۵/۵۲ درصد ( $Km^2$  ۲۴/۵۷) از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده است.

به‌طور کلی شسته می‌شوند، به نحوی که امکان استقرار گیاه بسیار مشکل است. در بعضی موارد شیب زیاد، حساسیت خاک، تخریب پوشش و عوامل دیگر باعث به وجود آمدن شرایطی شبیه هزار دره‌ها شده‌اند. قسمت‌های زیادی از مرکز حوضه در میان این گروه قرار دارد که باید مورد توجه خاص باشد و برای آن برنامه‌ریزی ویژه‌ای صورت گیرد. این گروه ۳/۶۷ درصد ( $Km^2$  ۵۳/۳) از مساحت کل حوضه بانه را به خود اختصاص داده است.

**گروه دو (II):** در این گروه هم فرسایش و میزان انتقال خاک زیاد است و استفاده از اراضی باید کاملاً کنترل شود. اجرای عملیات حفاظت خاک و مواد اصلاح اراضی معمولاً هزینه زیادی دارد. کنترل فرسایش خاک و اقداماتی برای حفاظت خاک و آب در چارچوب طرح‌های حفاظتی ضروری است. این گروه ۲/۷۷ درصد ( $Km^2$  ۶۶/۲) از مساحت کل حوضه بانه را به خود اختصاص داده است.

**گروه سه (III):** در این گروه فرسایش متوسط است. جدا شدن و جابه‌جایی ذرات خاک به میزانی است که اجرای برنامه‌های حفاظت اولویت دارد و برای استفاده از اراضی محدودیت زیادی وجود دارد. این گروه ۱۷/۴ درصد ( $Km^2$  ۷۵/۱۶) از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده و در قسمت‌های مرکزی و اطراف حوضه پراکنده است.

**گروه چهار (IV):** در این گروه میزان فرسایش کم است و ضرورت دارد که در برخی از عرصه‌ها اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب مورد بررسی قرار گیرد. این گروه در کل حوضه پراکنده است و به ویژه در قسمت‌های مرکزی حوضه یافت می‌شود که ۵۰/۶۴ درصد ( $Km^2$  ۷۵/۴۸) از مساحت کل حوضه و بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است.

**گروه پنج (V):** گروه پنج شامل اراضی بدون فرسایش یا با فرسایش

#### پی‌نوشت‌ها

1. Ecosystem portlofio model (مدل «نمونه عملکرد» اکوسیستم)
2. Food and Agriculture organization (سازمان کشاورزی و غذا)

#### منابع

۱. احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی (ج ۱). انتشارات دانشگاه تهران.
۲. خالدیان، حسین (۱۳۷۴). «بررسی فرسایش و رسوب حوضه سد قشلاق سندانج با استفاده از مدل EPM». پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. چاپ سوم.
۳. رفاهی، حسین قلی (۱۳۷۹). فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران
۴. زنجانی جم، مجید (۱۳۷۵). بررسی مدل EPM در برآورد فرسایش حوضه آبخیز زنجانرود.
۵. مردادی، امید (۱۳۸۶). بررسی هیدرومورفولوژی حوضه آبخیز رود بانه و برآورد فرسایش و رسوب. دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران.
۶. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ بانه، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
۷. نقشه کاربردی اراضی، سازمان تحقیقات آب و خاک تهران.