

# ارزیابی حساسیت نواحی بالادست سد مهاباد به فرسایش با استفاده از

## سنجش از دور و GIS

نوشته: ایرج جباری\* و داوود طالب پور\*

### Assessing the Vulnerability to Soil Erosion of the Mahabad Dam Drainage Basin Using Remote Sensing and GIS

By: I. Jabbari\* & D. Talebpour\*

#### چکیده

حوضه آبریز سد مهاباد، بر اثر تغییر کاربری زمین، در معرض فرسایش شدید قرار گرفته است. در این حوضه، تنها در دو ایستگاه، اندازه گیری بار رسوب صورت می گیرد و بنابراین در حوضه های کوچک تر تشخیص مناطق آسیب پذیر برای اولویت بخشیدن به برنامه های حفاظتی و آمایش سرزمین دشوار می گردد. یکی از روشهای این کار، طبقه بندی این حوضه به نواحی با حساسیتهای مختلف در برابر فرسایش بر اساس شاخصهاست که در این پژوهش صورت گرفته است. این شاخصها عبارتند از: شیب، ارتفاع، فرسایش پذیری سنگها، کاربری اراضی، میزان بارندگی و زمان تمرکز حوضه ها تهیه نقشه های توزیع هریک از این شاخصها و همپوشانی آنها نشان داده است که مناطقی بیشترین وسعت حساس به فرسایش زیاد و خیلی زیاد را دارا هستند که شیب زیاد و سنگها فرسایش پذیری بسیار بالایی داشته باشند. ولی در مناطقی با سنگهای مقاوم، کاربری اراضی عامل تعیین کننده است. از آنجا که در بین همه عوامل، تنها کاربری اراضی است که می تواند توسط انسان، به سرعت و به آسانی تغییر یابد، بخشهای بالا دست حوضه هایی با زمان تمرکز کم، شیب زیاد، فرسایش پذیری بالا و بارندگی زیاد که هنوز پوشش جنگلی و مرتعی دارند، بیشتر از هر جای دیگری به اقدامات پیشگیری کننده نیاز دارند.

**کلید واژه ها:** سد مهاباد، پهنه بندی فرسایش، حفاظت خاک، سامانه اطلاعات جغرافیایی

#### Abstract

The drainage basin of Mahabad Dam has been exposed to severe erosion as a result of land use change. In this basin sediment yield takes place in only two measuring stations; therefore, it is often difficult in smaller basins to locate erodible areas and to plan land use and conservation. To do this, one way is to categorize areas with different erosion susceptibility based on certain parameters used in this study. These parameters are slope, altitude, rock erodibility, land use, precipitation and concentration time. The distribution maps prepared on each of these parameters and their overlaps have shown that areas with more severe slopes and higher rock erodibility are categorized as highly susceptible to erosion. However, in areas with resistant rocks, change of land use has been the determining factor. Land use is the only parameter modified by man, and it is the only one which can be quickly and effectively changed. Hence, it seems that the upstream areas of basins with low concentration time, severe slope, high erodibility, and high precipitation, yet with forest and pasturing coverage, are in greater need of preventative measures.

**Keywords:** Mahabad Dam, Erosion Zoning, Soil Perservation, GIS

#### مقدمه

طولانی پاک کردن زمین و کشاورزی بومی، پوشش گیاهی را در مناطق کوهستانی تغییر داده است. این تغییر کاربری زمین مهم ترین عامل افزایش تولید رسوب در حوضه رود مهاباد بوده است (جباری و طالب پور، زیر چاپ)، به گونه ای که سد مهاباد را با ۱/۸ درصد کاهش حجم سالانه مخزن، در ردیف پنجمین سد پرسیب ایران قرار داده است (حبیبی، ۱۳۸۱).

تخریب محیطی ناشی از فشار انسان و کاربری زمین، به یک مشکل مهم جهانی تبدیل شده است (Erlich, 1988; Wilson, 1992)، ولی به دلیل نرخ بالای رشد جمعیت و تخریب سریع منابع طبیعی، اثرات این تخریب در کشورهای رو به رشد بیش از کشورهای پیشرفته احساس می شود (Feoli et al., 2000).

مهاباد در شمال باختری ایران، متکی بر اقتصاد کشاورزی است که سابقه

آبریز گادار و از جنوب به حوضه آبریز زاب منتهی می شود (شکل ۱). تقریباً تمامی سطح حوضه بالادست سد، یک منطقه کوهستانی است و دشتهای سیلابی کف درهها تنها نواحی مسطح این حوضه را تشکیل می دهند، این حوضه با ارتفاع بیشینه ۲۸۲۵ متر در کوه میدان استر و کمترین ارتفاع ۱۳۴۰ متر در محل احداث سد مخزنی، در حدود ۱۴۸۵ متر اختلاف ارتفاع نشان می دهد.

دو رود کوتر در باختر و بیطاس در خاور، مسیری جنوبی- شمالی دارند که در واقع از تلاقی این دو شاخه در محل سد مهاباد، رود مهاباد به وجود می آید. این رود پس از خروج از دریاچه سد، وارد جلگه مهاباد می گردد و در طول مسیر ۴۰ کیلومتری خود، حدود ۲۱ روستا از دهستان شهر ویران را مشروب می نماید و در نهایت، وارد باتلاقیهای کناره دریاچه ارومیه (شام) می گردد.

پی سنگ منطقه از سنگهای دگرگونی اینفراکامبرین و پرکامبرین، مانند فلیت، گنیس، و سنگهای آتشفشانی اسیدی تشکیل شده است که در جنوب و جنوب باختر حوضه برونزد آنها را می توان مشاهده کرد. در این منطقه، رسوبات دونین به رسوبات کربنفر می پیوندند و سازندهای تریاس به صورت توده های عظیم آهکی با ستبرای ۱۰۰ تا ۷۰۰ متر، به طور پراکنده لایه های پرمین را می پوشانند. علاوه بر این، گرانیت و هاله دگرگونی اطراف آن مهم ترین واحدهای زمین شناختی این حوضه را تشکیل می دهد (شکل ۲).

این حوضه در طول انتقال از کرتاسه به پالئوژن و تا حدودی در نئوژن، بالا آمده و در طول الیگوسن و میوسن دریا، به صورت چشمگیری پیشروی کرده است. واحدهای کرتاسه در این حوضه به طور سری و هم شیب روی هم قرار گرفته اند، ولی یک شکستگی در طول دره شمالی سد، نظم این واحدها را به هم زده است. این گسل، واحدهای آهکی و شستی کرتاسه را پایین برده و با این فروافتادگی، شیب واحدها، روند خاوری- باختری به خود گرفته اند. از سوی دیگر، در انتهای جنوب باختری حوضه، یک روراندگی هم جهت با روراندگی زاگرس، باعث بالا آمدن واحدهای پرکامبرین و اینفراکامبرین بر روی واحدهای جدیدتر شده است (شکل ۲). در حوضه مورد بررسی، شکل غالب ناهمواریها ناشی از دخالت فرایندهای بیرونی، بویژه آبهای روان و فرسایش ناشی از آنهاست. در طول دوره های یخچالی کواترنری، به دلیل پایین بودن ارتفاع مرز برفی در آذربایجان و کردستان و بویژه در ارتفاعات باختری و جنوب حوضه، فعالیت یخسارهای کوهستانی وجود داشته است (محمودی، ۱۳۶۷).

شواهد ترسالی و دوره های مرطوب کواترنری که در سراسر ایران به چشم می خورد، در این حوضه سبب شده است که حجم زیادی از کوهستان فرسایش یافته و توسط آبهای جاری حمل و در جلگه مهاباد نهشته شود.

از این رو، با توجه به اینکه در حوضه آبریز این سد، تنها در دو ایستگاه هیدرومتری، ثبت اطلاعات رسوب انجام می شود، بررسی توان رسوبدهی بخشهای مختلف آن، کمک فراوانی به برنامه ریزان و آمایشگران سرزمین خواهد کرد.

در پهنه بندی توان رسوب زایی یک منطقه، به طور معمول مؤثرترین عوامل در تولید رسوب به صورت کمی یا کیفی برای پیش بینی فرسایش به کار گرفته می شوند. بررسیهای مربوط به ایجاد رابطه میان توان رسوب دهی یا آهنگ فرسایش با عوامل علی آن، خست به وسیله Musgrave (1947) آغاز شد. Musgrave مشخص کرد که عوامل اصلی مؤثر در فرسایش بارش، ویژگیهای جریان رواناب سطحی، ویژگیهای خاک و پوشش گیاهی است. تحقیقات Wischmeier & Smith (1965, 1978) منجر به تنظیم معادله جهانی تلفات خاک شد. این معادله به طور گسترده برای محاسبه کمی تلفات خاک در سراسر جهان به کار گرفته می شود و از آنجا که سامانه اطلاعات جغرافیایی به دلیل بالا بودن قدرت همپوشانی ریاضی و منطقی برای این نوع تحلیلها مناسب است (Aronoff, 1991) ترکیب این دو، رویکردهای مؤثری را برای برآورد کمی حجم فرسایش و توزیع مکانی آن توسط پژوهشگرانی مانند Mitsova et al. (1996), Molnar & Julien (1998), Millward & Mersey (1999), Yitayew et al. (1999), Jain & Koyhari (2000), Fernandez & et al. (2003) به وجود آورده است. با وجود این، برآورد عوامل معادله برای نواحی بزرگ، دارای محدودیتهایی است (رفاهی، ۱۳۷۵) که باعث شد (Mati et al. 2000) نتوانند پیش بینی دقیقی درباره فرسایش حوضه اواسا نیگرو شمالی در کنیا ارائه دهند. این محدودیتهای مدل، علاوه بر محدودیتهای دسترسی به منابع و داده ها باعث می شود بعضی از پژوهشگران همچون (Zurayk et al. 2001) و Saahin & Kurum (2002) بر روی روشهای کیفی تکیه کنند.

در روشهای کیفی، بیشتر بر روی داوری و واکنش محقق تأکید می شود (Saahin & Kurum, 2002). با وجود این، مهم است که این داوری حرفه ای در قالب دیدگاهی سامان مند و دارای چارچوب انجام شود (NRA, 1993). در این تحقیق سعی می شود با استفاده از یک روش کیفی وبا بهره مندی از ابزار GIS، پهنه های رسوب دهی متفاوت حوضه رود مهاباد طبقه بندی شود.

### ویژگیهای منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رود مهاباد در جنوب دریاچه ارومیه، بین ۲۶° تا ۳۶° ۴۶' ۳۶" درجه شمالی و ۴۵° تا ۴۶° ۴۵' ۴۵" طول خاوری واقع شده و مساحت آن تا محل سد مخزنی در حدود ۸۲۹/۲۸ کیلومتر مربع است. این حوضه، از شمال به جلگه مهاباد، از خاور به حوضه آبریز سیمینه رود، از باختر به حوضه

### تشکیل مدل منحنیهای هم بارش

برای رسم خطوط هم بارش، همانند خطوط هم ارتفاع، از طریق درون‌یابی بین ایستگاه‌ها، انجام می‌شود. به این ترتیب که ابتدا نقاط باران‌سنجی بر روی سطح حوضه مکان‌یابی شده و سپس با ملاحظه بارش کمینه و بیشینه نقاط مشاهداتی، کمیته به عنوان اختلاف بین دو منحنی هم بارش انتخاب گردید. با رعایت اختلاف بین مقادیر، نقاط هم‌باران بر روی اضلاع مثلثها مشخص شده و اتصال این نقاط به هم و گسترش آنها در خارج از محدوده مثلثها تا مرز حوضه نقشه، منحنیهای هم بارش را به دست می‌دهد.

پس از اسکن کردن نقشه تهیه شده و رقومی نمودن آن در محیط نرم‌افزار Arcview دو لایه خطوط منحنیهای هم بارش و موقعیت نرم‌افزار R2V (Pacific Southwest Interagency Committee)، با استفاده از ایستگاههای باران‌سنجی همپوشی گردید و نقشه به دست آمده بر مبنای نظر کارشناسی، با فواصل ۵۰ میلی‌متر در ۹ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۳-ج).

### نقشه فرسایش‌پذیری

برای تهیه نقشه فرسایش‌پذیری از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد استفاده شده است. بعد با استفاده از روش PSIAC (کمیته بین‌اداری جنوب باختری آرام (Pacific Southwest Interagency Committee, 1968)) لایه‌های زمین‌شناسی در ۴ طبقه فرسایش‌پذیری کم (آهک، مرمر)، متوسط (گرانیت، گنیس، فیلیت)، زیاد (تناوب شیلها با آهکها) و بسیار زیاد (شیل، توف) طبقه‌بندی شده‌اند. در نهایت نقشه مورد نظر در نرم‌افزار R2V رقومی گردید و در Arcview نقشه نهایی تهیه شد (شکل ۳-د). مشخصات واحدها نیز بر مبنای این نقشه استخراج شد.

### نقشه زمان تمرکز زیر حوضه‌ها

برای تهیه نقشه زمان تمرکز زیر حوضه‌ها، نخست بر روی نقشه توپوگرافی، مرز حوضه هر یک از شاخه‌های فرعی رودخانه مهاباد مشخص شد و سپس با استفاده از معادله Kirpich (علیزاده، ۱۳۶۷ و ولایتی، ۱۳۷۴) زمان تمرکز آنها محاسبه گردید. پس از رقومی کردن این زیر حوضه‌ها، نقشه زمان تمرکز آنها با استفاده از نرم‌افزار Arcview تهیه شد (شکل ۳-ه).

### نقشه کاربری زمین

از آنجاکه پوشش گیاهی طبیعی و خاک منطقه مورد بررسی دستخوش فعالیت‌های انسانی مانند کشت دیم، کشت آبی، دریاچه سد و دیگر فعالیتهای مهندسی مانند ایجاد جاده و غیره شده است و در نتیجه تراکم و گونه‌های گیاهی آن نیز تغییر یافته است، عامل کاربری زمین به عنوان یک عامل مؤثر در تولید رسوب دخالت داده شد. ولی به دلیل کوچک مقیاس بودن نقشه

رسوبات تخریبی ناشی از فرسایش، مجاور یخسار در پای کوهها انباشته شده و زمینهای کم شیب و مساعدی را برای زراعت دیم به وجود آورده است. در عصر حاضر، ویژگیهای اقلیمی حوضه که عمدتاً از پرفشار جنب حاره، بادهای باختری موجهای کوتاه، جبهه قطبی و چرخندها و همچنین جابه‌جاییهای رودبادهای جنب حاره متأثر می‌گردند، با میانگین دمای سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد و دامنه نوسان ۱/۷- (بهمن) تا ۲۵/۵ (مرداد) درجه سانتی‌گراد و میانگین روزهای یخبندان ۸۲ روز و میانگین بارش ۵۴۲/۵۸ میلی‌متر مشخص می‌شوند. این ویژگیها بیشترین ریخت‌زایی را در منطقه به صورت هوازدگی فیزیکی، شستشو و حرکات دامنه‌ای و فعالیت آبهای روان رقم می‌زنند.

### روش‌شناسی

برای تعیین نواحی آسیب‌پذیر شش عامل: کاربری زمین، ارتفاع، فرسایش‌پذیری، شیب، بارش و زمان تمرکز دخالت داده شدند. این عوامل بر اساس نظر کارشناسی سلسله مراتبی ارزش‌گذاری شدند و با ترکیب میزان ارزشهای آنها در نرم‌افزار Arcview نواحی با حساسیتهای مختلف فرسایش تولید گردید.

برای تهیه هر یک از نقشه‌های عامل، نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش و نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی در محیط R2V رقومی شدند و پس از تبدیل مختصات دستگاه رقومی ساز به سامانه UTM (Universal Transver Mercator) ماتریسهای مربوط به منحنی میزان و نقاط ارتفاعی، خانه‌های حاوی اطلاعات، بر حسب ارزشهای ارتفاعی مربوط، کد‌گذاری شدند و دیگر خانه‌های خارج از منطقه مورد مطالعه، با ارزش صفر مشخص شدند.

### تشکیل مدل رقومی ارتفاعی (DEM) (Digital Elevation Model)

#### و تشکیل مدل شیب

در این تحقیق، مدل رقومی ارتفاع با استفاده از روش شبکه نامنظم مثلثی (TIN) در محیط Arcview تهیه و از مدل رقومی ارتفاع برای ایجاد ماتریس زاویه شیب استفاده شده است. برای این منظور، روش مشتق‌گیری که در آن عملیات محلی بر روی هر کدام از پیکسلها صورت می‌گیرد، به کار گرفته شد. در روش مذکور، یک پنجره ۳×۳ انتخاب گردید و زاویه شیب با بهره‌گیری از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\tan \theta = \left[ \left( \frac{\sigma Z}{\sigma X} \right)^2 + \left( \frac{\sigma Z}{\sigma Y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

که در آن  $\sigma Z / \sigma X$ : تغییرات ارتفاع در جهت X و  $\sigma Z / \sigma Y$ : تغییرات ارتفاع در جهت Y است.

نقشه شیبی تهیه شده، بر حسب نیاز در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۳-ب).

دریافت خواهد کرد. بر اساس شدت و ضعف نسبی تأثیر گذاری عوامل بر روی فرسایش، امتیازها بین دو دامنه فوق تغییر خواهد یافت.

امتیاز نسبی عوامل را می توان با تشکیل ماتریس، روشن تر بیان کرد (جدول ۱) و سپس با محاسبه میانگین هندسی ردیفهای این ماتریس و تقسیم آن به مجموع میانگین ردیفها، ارزش نسبی طبقات عوامل را نیز به دست آورد (جدول ۲). در این پژوهش با محاسبه شاخصی تحت عنوان شاخص سازگاری، در واقع یک آزمون آماری صورت گرفته است تا براساس آن امتیاز دهی با کمترین خطا صورت گیرد. از سوی دیگر، برای اطمینان بیشتر آزمون F و آزمون شقی (آزمونهای فوق برای بررسی همگون بودن داده‌ها) برای متجانس بودن امتیازها صورت گرفت. نتایج هر سه روش نشان داد که امتیازهای نسبت داده شده به طور تصادفی پراکنده شده‌اند و واریانس هیچ یک از آنها تفاوت معنی داری با واریانس عوامل دیگر ندارد (جدول ۳).

### شیوه تلفیق نتایج

تمام لایه‌هایی که به گروه‌های مختلف تقسیم شده و هر یک از گروهها نیز امتیاز ویژه‌ای دریافت کرده بودند، در نرم افزار Arcview دو به دو همپوشانی شدند تا نواحی مشترک آنها استخراج شود. این مرحله تا استخراج یک نقشه نهایی تکرار شد و سرانجام نقشه نهایی به دست آمده که دارای طبقات زیادی بود، برای آسان شدن تحلیل، به چهار طبقه تولید رسوب تقسیم شد.

### نتایج

همپوشانی ۶ نقشه عامل، نواحی حساس به فرسایش را با درجات مختلف به صورت شکل ۴ ارائه داد. بررسی محتوای این نقشه نشان می‌دهد که درصد قابل توجهی از حوضه استعداد زیادی را برای از دست دادن تعادل داراست و با تغییرات اندک از خود واکنش نشان خواهد داد (جدول ۴).

بررسی علل توزیع نابرابر نواحی حساس، روشن می‌سازد که عوامل ساختمانی - بویژه در بخشهای جنوبی حوضه - نقش مهمی در تولید رسوب برعهده داشته‌اند. بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد که مناطق جنوبی حوضه یا به عبارت دیگر بخشهای سرچشمه رود، توان فرسایشی زیاد و بسیار زیادی دارد. بررسی دقیق نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) برونزد سازندهای باروت و بایندر و سنگهای شیلی با میان لایه‌های آهکی را در این بخش بازتاب می‌کند. از سوی دیگر، عملکرد گسلها نیز در این ناحیه بیشتر است. این گسلها امکان استقرار آبراهه‌ها و جریانات متمرکز را فراهم آورده و در نتیجه عملکرد فرسایشی آنها را آسان تر کرده‌اند. البته به این عامل باید میزان بارندگی زیاد را نیز افزود (شکل ۳-ج). بررسی شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که مساحت زیادی از جنوبی‌ترین زیرحوضه منطقه مورد مطالعه (جانداران)

کاربرهای کوچک مانند جاده و غیره که نمی‌توانند در محاسبات وارد شوند، از نقشه کاربری زمین کنار گذاشته شدند.

برای تهیه نقشه کاربری زمین، از تصویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده TM) سال ۱۹۹۸ استفاده شده است. به این منظور، پردازش رقومی، برای تصویر نخست، تصحیح هندسی و رادیومتری و رادومتر بر روی این تصویر انجام گرفت و شاخص پوشش گیاهی Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} = \frac{band3 + band4}{band3 - band4}$$

شاخص پوشش گیاهی عملیات جبری بین باندهای خاص برای آشکار نمودن مناطقی با ارزش طیفی مختلف است. در این روش، به طور عمده از باندهای سرخ (R) و فرسرخ نزدیک (NIR) استفاده می‌شود. دامنه شاخص پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه بین ۱- تا ۱ نوسان دارد. ارزشهای بالا در نقشه شاخص پوشش گیاهی نشانگر تراکم پوشش گیاهی عرصه‌های مختلف است.

برای تهیه نقشه کاربری زمین حوضه آبریز رودخانه مهاباد، با توجه به عدم وجود تعداد کلاسه‌های زیاد برای طبقه‌بندی کاربری زمین، از روش طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده گردید. در این روش، پس از تهیه تصویر مرکب از باندهای ۴، ۷ و ۳، با توجه به کیفیت خوب این تصویر در نمایش پوششهای سطحی منطقه و مشخص کردن نوع طبقه‌بندی، در نهایت ۲۰ خوشه از تصویر سال ۱۹۹۸ استخراج شد، بعد از تهیه تصویر گفته شده و تطبیق آن با اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح زمین، خوشه‌ها دوباره با هم ادغام شدند و در نهایت نقشه کاربری زمین با ۷ طبقه به دست آمد (شکل ۳-و).

### وزن دهی به عوامل مؤثر در تولید رسوب

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی توان رسوب‌دهی حوضه، پس از شناسایی مؤثرترین عوامل در توان رسوب‌دهی و تهیه نقشه‌های مربوطه، به هر یک از عوامل و طبقات آنها با روش کارشناسی «سلسله مراتبی» وزن داده شد. در این روش، به هر یک از عوامل، امتیاز کارشناسی داده می‌شود. در این امتیازدهی معیار اصلی مقایسه دو دویی بین عناصر می‌باشد که براساس اهمیت یک عنصر به عنصر دیگر، ارزش ۱ تا ۹ داده می‌شود، به عنوان مثال، اگر تجربیات نشان دهد یک عامل نسبت به دیگری، اهمیت مساوی در فرسایش داشته است، امتیاز آن عامل ۱ خواهد بود. در صورتی که اگر نسبت به عامل دیگر کاملاً برتر بوده و اهمیت بیشتری داشته باشد، امتیاز ۹

خواهد شد، از جمله تحقیق (Jain & Goal 2002) که بر روی حوضه سد Ukai در رود Tapi هند انجام گرفت. در پژوهش یاد شده نیز عوامل بارش، پوشش گیاهی، نوع خاک، توپوگرافی (شیب)، ریخت‌شناسی (تراکم زهکشی، عامل شکل، نسبت کشیدگی و گردواری) استفاده شده است. منابع اطلاعاتی و مقیاس نقشه‌های عامل در تحقیق Jain & Goal نیز بسیار شبیه به منابع این پژوهش بود. با وجود این، در این پژوهش ویژگی‌های ریخت‌سنجی حوضه‌ها در نتیجه‌ای که آنها در فرایند هیدرولوژیک از خود بروز می‌دهند، یعنی زمان تمرکز حوضه‌ها، خلاصه می‌شود. از سوی دیگر، در این پژوهش به دلیل آزمون وزنها با روش آماری، به نظر می‌رسد وزن دهی اعتبار بیشتری داشته باشد. با وجود این، در تحقیق Jain & Goal عامل خاک با شاخص درخشندگی خاک به دست می‌آید که در این پژوهش به جای آن از عامل زمین‌شناسی استفاده شده است. از این رو، این شاخص به دلیل اینکه با عناصر مفصل زمین ارتباط پیدا می‌کند، به تحقیق یاد شده ارزش خاصی می‌بخشد که اگر در این تحقیق نیز از آن استفاده می‌شد، دقت نتایج را تا حد قابل توجهی بالا می‌برد.

از سوی دیگر، از ۹ اندازه‌گیری آبدهی رسوب در رود بیطاس و ۸ اندازه‌گیری آبدهی رسوب برای حوضه رود کوت‌ر رابطه‌ای خطی بین آبدهی و میزان رسوب برقرار شده است (شکل ۸). اگر در این شکل در آبدهی مساوی حجم رسوب تعیین شود (برای مثال در ۱، ۵ و ۱۰ متر مکعب در ثانیه) متوجه می‌شویم که میزان رسوب در حوضه بیطاس تقریباً دو برابر حوضه کوت‌ر است. اگر این نتیجه با نتیجه مساحت‌های زیر پوشش درجات مختلف حساسیت برای حوضه‌های بیطاس و کوت‌ر که از شکل ۴ و بدون احتساب دشتهایی که بیشترین مساحت آنها در پایین دست قرار گرفته است، مقایسه شود (جدول ۵) در خواهیم یافت که حوضه بیطاس با مساحت زیادی که زیر پوشش درجات زیاد و بسیار زیاد آسیب پذیری قرار دارد، به همان صورت که انتظار می‌رود، رسوب زیادی تولید می‌کند و این می‌تواند نشانگر صحت نقشه رسم شده باشد.

### نتیجه‌گیری

تحقیق در باره اقدامات حفاظتی حوضه‌ها، جنبه مهمی از مدیریت حوضه به‌شمار می‌رود. برای زیرحوضه‌ها، معمولاً داده‌های بار رسوب جمع‌آوری نمی‌شود و بنابراین، تعیین نواحی آسیب‌پذیرتر برای اولویتهای برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین، کار بسیار دشواری می‌شود. در این شرایط کمبود اطلاعات و داده برای بررسی شدت رسوب‌زایی نواحی و پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش محدودیتهای مضاعفی را به بار می‌آورد که امکان استفاده و واسنجی مدل‌های موجود یا تهیه مدل‌های جدید را به شدت کاهش می‌دهد. در این گونه موارد، یکی از گزینه‌های مهم، تهیه نقشه‌های پتانسیل

از سنگهای فرسایش پذیر تشکیل شده است. در زیر حوضه‌های کارگ، بنگوین، باگردان و شکرپیک نیز نقش این عامل مهم‌تر نشان می‌دهد. با این وجود، دو حوضه بنگوین و باگردان نسبت به فرسایش پذیری زیاد سنگها و حتی وجود دامنه‌های تند، درجه رسوب‌زایی بسیار زیادی را نشان نمی‌دهند. این موضوع، عمدتاً به اشغال مساحت زیادی از آنها توسط جنگل ارتباط پیدا می‌کند.

برعکس، بعضی حوضه‌ها (مانند، بیطاس، میرسه و قزلجه) هرچند از سنگهای مقاوم تشکیل شده‌اند، باز هم حساسیت بالایی را در برابر رسوب‌زایی نشان می‌دهند. بررسیها آشکار کرده‌اند که این حوضه‌ها در سالهای اخیر، به شدت در معرض تغییر کاربری زمین قرار گرفته‌اند. تخریب جنگل بویژه در حوضه‌های پرشیب، فرسایش زیادی را به همراه آورده است. ولی تغییر کاربری در زیر حوضه‌های پایین دست، بویژه در بخشهای پرشیب آنها، بیشتر صورت گرفته است و این تغییرات بویژه در مواقعی که حوضه‌ها زمان تمرکز کمتری دارند، حساس پذیری دامنه‌ها را گسترش داده‌اند.

### بحث

داده‌های حاصل از تصاویر سنجش از دور و پردازش آن توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی، امکانات زیادی را در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد تا به وسیله آن، کیفیت داده‌ها بهبود یافته و در تهیه داده‌ها دقت و صرفه‌جویی زمانی و مالی به دست آید. با وجود این، نتایج به‌دست آمده از این روش زمانی اعتبار بیشتری پیدا می‌کند که داده‌های بسیار مهم که به دست آوردن آنها نیازمند آزمایشها یا عملیات میدانی است، فراهم گردد. در این صورت، پژوهشگر امکان زیادی خواهد داشت تا داده‌ها را برای تحلیل‌های پیشرفته‌تر و قوی‌تر به صورت کمی تنظیم نماید. اما در مواردی این امکان فراهم نمی‌آید. در این صورت، ممکن است در دو حالت نتایج به دست آمده دارای اعتبار بیشتری شوند: زمانی که تنها به مطالعه مفصل داده‌های بسیار مهم همچون انواع نهشته‌های سطحی تأکید گردد (جباری، ۱۳۷۵)، (زیر چاپ) و یا اینکه از تعداد عوامل بیشتر و تا حد امکان دقیق‌تر استفاده شود.

در پهنه‌بندی کیفی رسوب، معمولاً روش (MAPAI/ICONA 1991)، (MAPAI/ICONA 1983) و (MOPU 1985) به صورت مراحل قابل اجرا در شکل ۶ به کار گرفته می‌شود (Saahin & Kurum, 2002). در این پژوهش تعداد عوامل مؤثر به ۶ عامل افزایش یافته و علاوه بر فرسایش پذیری و حفاظت خاک به عوامل هوازدگی و سرعت جریان نیز توجه شده است (شکل ۷). از این رو، هرچند اغلب پژوهشگران در تحقیقات خود سعی می‌کنند از نقشه‌های عامل با مقیاس بزرگ استفاده کنند، اما استفاده از عوامل بیشتر که اثر آنها به اثبات رسیده باشد، به نتایج مثبتی منجر

می تواند با استفاده از روشهای GIS ارزیابی گردد.

### سیاسگزاری

از همکاری صمیمانه آقای عبدالله نصرتی کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS در پردازش تصاویر ماهواره ای که موجب هموار شدن مسیر انجام این پژوهش گردید، تشکر و قدردانی می گردد.

رسوب دهی با ارزش گذاری کیفی است. استفاده از داده های سنجش از دور و توانهای GIS، محاسبه شاخصهای حوضه آبریز را برای ارزیابی نسبی حوضه ها در برابر فرسایش خاک امکان پذیر می سازد.

مطالعه موردی نشان می دهد که کدام بخشها و نواحی به وسیله کدام عوامل آسیب پذیر شده است و اثر اقدامات حفاظتی و یا تغییر کاربری زمین

جدول ۱- ماتریس عوامل مؤثر در افزایش میزان رسوب

عوامل	کلروی زمین	ارتفاع	فرسایش پنوی	شیب	بارش	زمان لغو
کلروی زمین	۱	۲	۲	۱	۲	۱
ارتفاع	۱	۱	۲	۱	۲	۱
فرسایش	۱	۱	۱	۱	۲	۲
شیب	۳	۲	۱	۱	۲	۱
بارش	۱	۲	۱	۱	۱	۲
زمان لغو	۲	۱	۱	۱	۲	۱

جدول ۲- امتیاز دهی عوامل مؤثر در افزایش تولید رسوب براساس روش سلسه مراتبی

کلروی زمینها	یخترکها و برفلات	مزرع دیم	مواتع خوب	مواتع متوسط	مواتع قفر	رجهای یار	طیجان عمل
۱	۰.۲۴۰	۰.۲۸۳۳	۰.۰۴۳۴	۰.۰۸۰۶	۰.۳۷۶۰	۰.۳۹۳۷	طیجان عمل
۲	۰.۰۴۳	۰.۰۴۷۹	۰.۰۰۷۳	۰.۰۳۳۶	۰.۰۲۹۶	۰.۰۶۶۷	امتیاز نسبی
۳	۲۸۸۸-۲۸۰۳	۲۳۷۵-۲۳۷۵	۲۳۶۳-۲۳۶۳	۳۹۵-۲۳۶۳	۳۵۲۵-۳۷۳۸	۳۳۵۰-۳۵۲۵	طیجان عمل
۴	۰.۳۹۲۷	۰.۲۴۵۳	۰.۳۵۲۴	۰.۰۹۳۷	۰.۰۵۷۶	۰.۰۲۲۳	امتیاز
۵	۰.۰۵۴۳	۰.۰۳۳۹	۰.۰۲۳۳	۰.۰۳۲۹	۰.۰۰۷۹	۰.۰۰۴۳	امتیاز نسبی
۶	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	طیجان عمل		
۷	۰.۰۴۵۳	۰.۳۳۳۹	۰.۲۷۲۳	۰.۰۴۷۰	۰.۲۵۷۰	۰.۰۹۲۳	امتیاز
۸	۰.۰۰۷۳	۰.۰۳۸۳	۰.۰۴۴۰	۰.۰۴۴۰	۰.۰۹۲۳	۰.۰۹۲۳	امتیاز نسبی
۹	۴۴ به بالا	۳۵-۴۴	۲۶-۳۵	۳۶-۳۶	۶-۳۸	۱-۶	طیجان عمل
۱۰	۰.۲۵۷۳۵	۰.۳۴۵۲	۰.۲۰۳۳	۰.۳۳۳۳	۰.۰۷۰۰	۰.۰۴۲۳	امتیاز
۱۱	۰.۳۲۸۸	۰.۰۷۷۵	۰.۰۴۵۶	۰.۰۲۴۹	۰.۰۳۵۷	۰.۰۰۹۴	امتیاز نسبی
۱۲	۶۵ به بالا	۵۵-۶۵	۴۵-۵۵	۴۵-۵۵	۳۵-۴۵	۳۵-۴۵	طیجان عمل
۱۳	۰.۰۰۰۳	۰.۳۲۹۰	۰.۲۲۸۳	۰.۲۲۸۳	۰.۲۲۸۳	۰.۲۵۲۵	امتیاز
۱۴	۰.۰۰۷۵	۰.۰۳۶۳	۰.۰۳۶۳	۰.۰۳۶۳	۰.۰۳۶۳	۰.۰۳۶۳	امتیاز نسبی
۱۵	۳۲۵-۵	۳۲۵-۳۲۵	۳۲۵-۳۲۵	۳۲۵-۳۲۵	۳۲۵-۳۲۵	۳۲۵-۳۲۵	طیجان عمل
۱۶	۰.۰۵۵۰	۰.۳۳۳۷۸	۰.۳۳۳۷۸	۰.۳۳۳۷۸	۰.۳۳۳۷۸	۰.۳۳۳۷۸	امتیاز
۱۷	۰.۰۰۹۹	۰.۰۲۳۴	۰.۰۲۳۴	۰.۰۲۳۴	۰.۰۲۳۴	۰.۰۲۳۴	امتیاز نسبی

جدول ۳- نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک طرفه برای تصادفی بودن ارقام

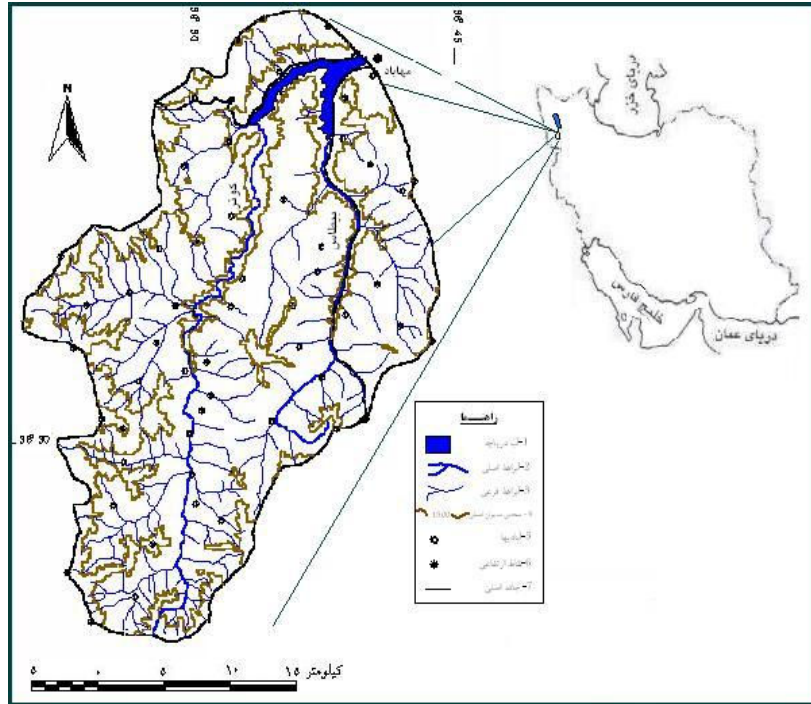
	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	Sig.
بین گروهها	۲/۹۷۹	۵	۰/۱۹۵۳۹	۱/۱۳۰	۰/۳۳۳۹
داخل گروهها	۱۴/۲۲۴	۳۰	۰/۴۷۴		
مجموع	۱۶/۹۰۳	۳۵			

جدول ۴- مشخصات واحدهای کیفی حساسیت به فرسایش و رسوبدهی

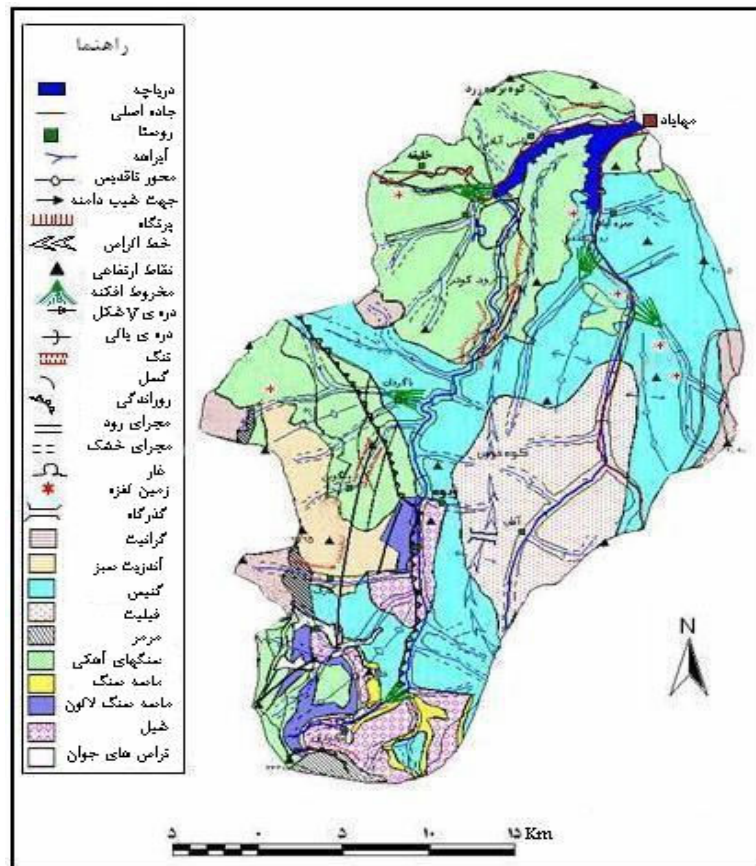
رده	نام واحد	مساحت به km <sup>2</sup>	مساحت به درصد
۱	پتانسیل رسوب دهی کم	۳۷۴/۴۵	۴۵/۱۵
۲	پتانسیل رسوب دهی متوسط	۱۳۹/۸۸	۱۶/۳۸
۳	پتانسیل رسوب دهی زیاد	۲۵۵/۹۴	۳۰/۸۹
۴	پتانسیل رسوب دهی بسیار زیاد	۶۳/۰۵	۷/۶۱
جمع		۸۲۹/۲۸	۱۰۰

جدول ۵- رده بندی مساحت زیر حوضه ها از نظر حساسیت به فرسایش و تولید رسوب- بر حسب درصد

بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	زیر حوضه	رده
۸۳	۳۸/۴	۴	۴۸/۷	یطاس	۱
۷	۳۶/۵	۲۸	۲۸/۲	کوثر	۲

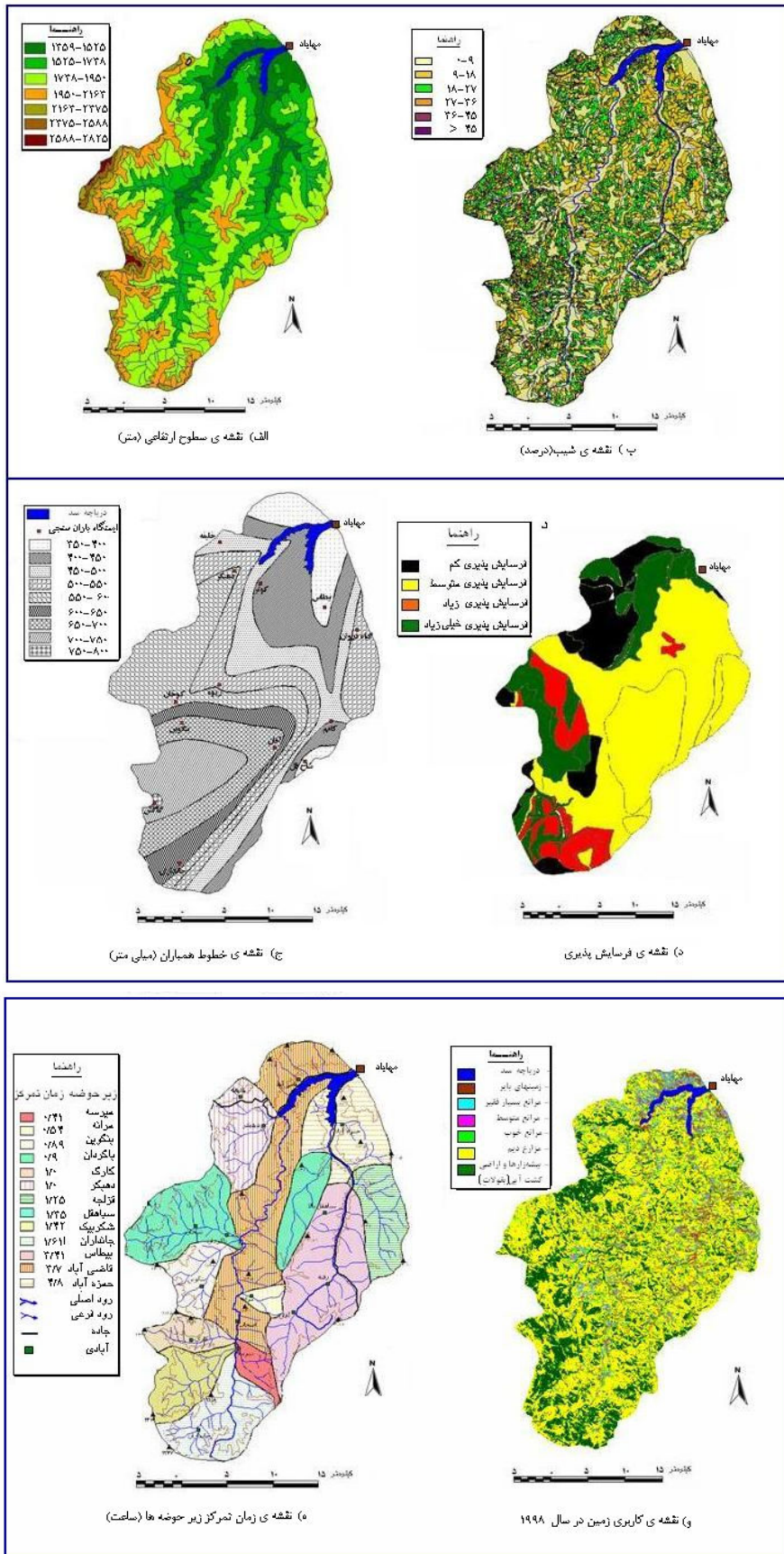


شکل ۱- موقعیت وضعیت ناهمواری و هیدروگرافی حوضه بالادست سد مهاباد

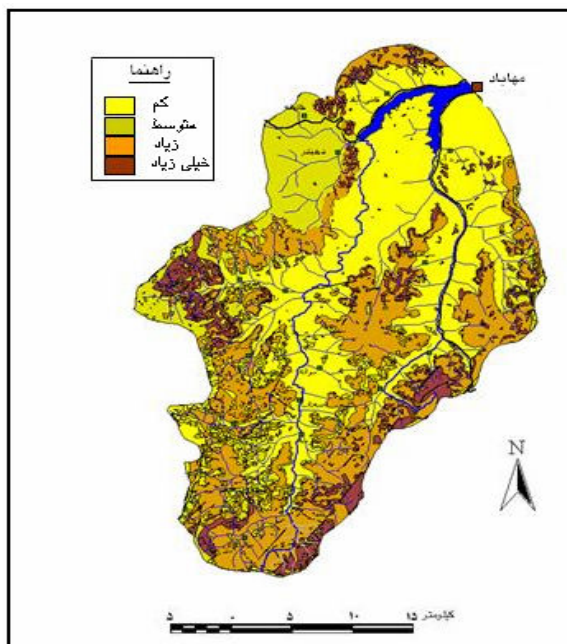


شکل ۲- نقشه زمین شناسی حوضه آبریز رود مهاباد

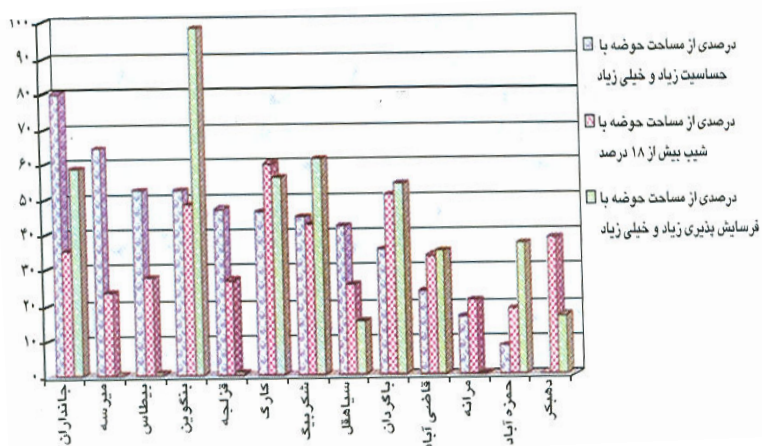




شکل ۳- لایه‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی نواحی حساس به رسوب‌زایی حوضه بالادست سد مهاباد



شکل ۴- نقشه حساسیت نواحی مختلف حوضه آبریز رود مهاباد به تولید رسوب

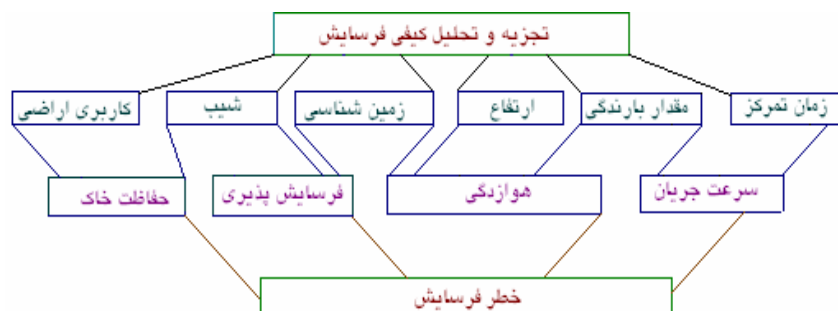


شکل ۵- درصد مساحت زیر حوضه‌های منطقه مورد بررسی که دارای حساسیت بالا و بسیار بالا، شیب بیش از ۱۸٪ و فرسایش پذیری زیاد و بسیار زیاد سنگها هستند

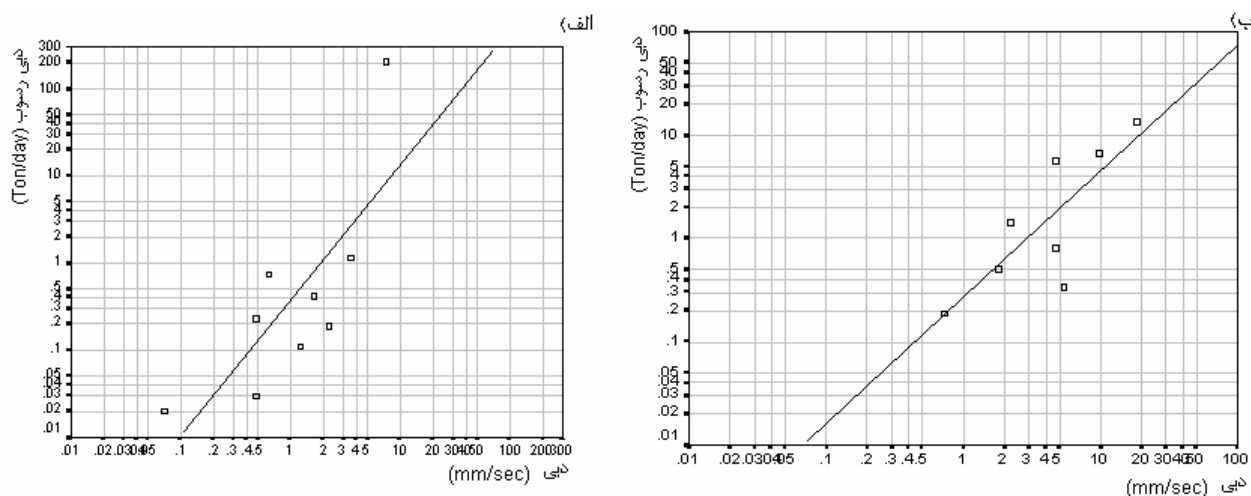


شکل ۶- روش تحقیق پهنه‌بندی کیفی فرسایش از دیدگاه

MAPAI/CONA(1991), MAPAI/CONA(1983) و MOPU(1985)



شکل ۷- روش مورد استفاده در این پژوهش



شکل ۸- رابطه میزان آبدهی حجم رسوب در دو رود بیطاس (الف) و کوتر (ب) که از ۹ و ۸ اندازه گیری در سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ به دست آمده است

## کتابنگاری

جباری، ا.، زیرچاپ الف، تنگناهای استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری مطمئن در پهنه بندی زمین لغزه ها. مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه مشهد.

جباری، ا.، و طالب پور، د.، زیرچاپ کاهش عمر مفید سد مهاباد نمونه ای از عدم تعادلها در محیط

حییبی، م.، ۱۳۸۱- رسوبگذاری در مخازن سدها، مجله آبخیز- صفحه ۸-۹

علیزاده، ا.، ۱۳۶۷- اصول هیدرولوژی کاربردی، آستان قدس بنیاد فرهنگی رضوی، چاپ اول، ص ۲۶۰.

محمودی، ف.ا.، ۱۳۶۷- تحول ناهمواریهای ایران در کواترنر، نشریه پژوهشهای جغرافیایی، انتشارات دانشگاه تهران - شماره ۲۲.

ولایتی، س.ا.، ۱۳۷۴- جغرافیای آبها و مدیریت منابع آب، انتشارات خراسان، چاپ اول، ص ۳۹.

رفاهی، ح.ق.، ۱۳۷۵- فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۱۷۷-۱۷۶.

Aronoff, S., 1991- Geographical Information System: A Management Perspective. *WDL Publications*, Ottawa, 29400, Canada. Ellison, W. D., 1944 - Studies of raindrop erosion, *Agric. Engng* **25**, 131-136, 181-182.

Erlich, R. R., 1988- The Loss of diversity: causes and consequences. In: Wilson E. O. and Peter F. M. (eds), *Biodiversity*. National Academic Press, Washington D. C., pp. 21-27.

- Fernandez, C., Wu. J. Q., McCool, D. K., Stöckle, C.O., 2003- Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE and SEED. *J. Soil Water Conserv.* 58, 633-647.
- Feoli, E., Vuerich, L. G., Zerihun, W., 2000- Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio-economic factors. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91, 313-325.
- Jain, M. K. & Koyhyari, 2000- Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS, *Hydrological Sciences Journal*, 45(5), 771-786.
- Jain, S. K. & Goal, M.K., 2002- Assessing the vulnerability to soil erosion of the Ukai Dam catchments using remote sensing and GIS, *Hydrological Sciences Journal*, 47(1), 31-40.
- MAPA/ICONA1983- Psiajes erosive en el surest español: ensayo de metodologí para el estudio de su cualificiun y cuabtficiün. Proyecto LUCDEME, 66p, España.
- MAPA/ICONA, 1991- Metodología para el diseñode actuaciones agrohidrologias en 1 as cuencas del ambito Mediterraneo. Proyecto LUCDEME, pp.1031, España.
- Mati, B. M., Morgan, R. CP. C., Gichuki, F. N., Quinton, J.N., Bower, T.R. & Liniger, H.P., 2000- Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS: A case study of the upper Ewaso Nágiro north basin of Kenya, *JAG*, 2, 2, pp.78-86.
- Millward, A. A., Mersey, J.E., 1999- Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountaianous tropical watershed. *Catena* 38, 109-129.
- Mitsova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L.R., 1996- Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. J. Geogr. Inform. Syst.* 10, 629-641.
- Molnar, D. K. and Julien, P. Y., 1998- Estimation of upland erosion using GIS, *Elsevier Science Ltd*, 24, 2, pp.183-192.
- MOPU 1985- *Methodologí para la evaluaciün de la erosi ñn hédrica*. Direcciün General del Medio Ambiente, España.
- Musgrave, G.W., 1947- The quantitative evaluation of factors in water erosion-a first approximation. *Journal of Soil and Water Conservation* 0, 133-138.
- NRA, 1993- River landscape assessment: Methods and procedures. *Conservation Technical Handbook*, No. 2, National River Authority, UK.
- Pacific Southwest Inter- Agency Committee, 1968- *Factors affecting sediment yield and measures for the reduction of erosion and sediment yield*, 13pp.
- Şāahin, Ş. & Kurum, E., 2002- Erosion risk analysis by GIS in environmental impact assessments: a case study- Seyhan Köpü Dam construction, *Jurnal of Environmental Management*, 66, 239-247.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D. D. , 1965- Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky mountains. U.S. Department Agriculture Agricultural Research Service Handbook 282, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 47 pp.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. , 1978, predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning.. U.S. Department Agriculture Agricultural Research Service Handbook. 537, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 55 pp.
- Wilson, E. O., 1992- *The Diversity of life* . Belknap Press, Cambridge, MA, USA.
- Yitayew, M., Pokrzy wka, S. J., Renard, K.G., 1999.- Using GIS for facilitating erosion estimation. *Appl. Eng. Agric.* 15, 295-301.
- Zurayk, R., Sayegh, F.A.A., Hamadeh, S. & Chehab, A., 2001- AGIS methodology for soil degradation evaluation, In: Stott D. E., Mohtar G.C.(eds), *Sustaining the global farm.* , pp.1082-1089, Selected paper from the 10<sup>th</sup> International Soil Consevation Organization Meeting, 24-29, 1999- Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laburatory.