

ساخت مدل کمی ژئومورفولوژی با استفاده از روش تحلیل سلسله

مراتبی سیستم‌ها

مطالعه موردی: حوزه آبخیز لتیان

• شبرین محمدخان

استادیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

• حسن احمدی

استاد گروه آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

• محمد جعفری

استاد گروه احیاء دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

• سادات فیض‌نیا

استاد گروه احیاء دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

• علی سلاجقه

استادیار گروه احیاء دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

• حسین آذرنیوند

استادیار گروه احیاء دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: فروردین ماه ۱۳۹۳

Email: mohamadkh@ut.ac.ir

چکیده

از سال‌های ابتدایی قرن بیستم مدل‌های مختلفی برای تخمین میزان فرسایش و رسوب ابداع شده است که استفاده از این مدل‌های تجربی محدود به شرایط خاص اقلیمی و ژئومورفولوژی است که در آن طراحی شده‌اند. در این مقاله به عنوان پایه مطالعات، از روش کیفی ژئومورفولوژی استفاده گردید و با استفاده از روش AHP مدل کیفی ژئومورفولوژی به مدل کمی ژئومورفولوژی تبدیل شد. این مدل با استفاده از شرایط خاص ایران طراحی شده است. اساس این روش بر اشکال گوناگون فرسایشی است که رخساره نامیده می‌شود. سلسله مراتبی مورد استفاده بر اساس روش ژئومورفولوژی با ۶ معیار پوشش گیاهی، خاکشناسی، توپوگرافی، کاربری اراضی، اقلیم، زمین‌شناسی و ۱۶ شاخص درصد پوشش گیاهی، فرم رویشی، بافت خاک، نفوذپذیری خاک، ماده آلی خاک، شیب، جهت، نوع کاربری اراضی، نوع بارش، متوسط بارندگی سالیانه و نوع سنگ مادری ساخته شد. پس از آن آمار رسوب برداشت شده در دوره آماری ۳۰ ساله ۱۳۵۴ الی ۱۳۸۵ از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در خروجی ۴ مورد از زیرحوزه‌های منطقه مورد مطالعه، استخراج شده و در نهایت با متناظر قرار دادن شدت فرسایش محاسباتی و این آمار مشاهداتی، نتیجه گیری شد که شدت فرسایش محاسبه شده از طریق مدل کمی ژئومورفولوژی با رسوب اندازه گیری شده در ایستگاه هیدرومتری با ضریب اعتماد ۹۹ هماهنگی دارند. بدین ترتیب فرمول نهایی ارائه شده مورد پذیرش قرار گرفت.

کلمات کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها، فرسایش خاک، مدل‌سازی، حوزه آبخیز لتیان، ایران

Estimation Method of Soil Erosion Using Integrated Method of Geomorphology-AHP (Case study: Latian catchment, Iran)

By: Sh. Mohammadkhan, Faculty of Geography, University of Tehran (Corresponding Author). H. Ahmadi, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation Faculty of Natural Resources University of Tehran. M. Jafari, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation Faculty of Natural Resources University of Tehran. S. Feiznia, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation Faculty of Natural Resources University of Tehran. A. Salajegheh, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation Faculty of Natural Resources University of Tehran. H. Azarnivand, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation Faculty of Natural Resources University of Tehran.

Various erosion models have been introduced since the beginning of the 20th century. However, application of these empirical models has been limited to specific climatic and geographical conditions. In the previous models, a method was developed to assess soil erosion based on land use information. In this paper, we present another approach that uses environmental data to assess soil erosion. This article presents one of these efforts in applying Analytic Hierarchy Process (AHP) which has shown promising results in estimation of soil erosion. In this regard, total six criteria (vegetation, soil, topography, land use, climatology, geology) and sixteen indicators (percentage coverage vegetation, growing forms, soil texture, infiltration, organic matter, slope, aspect, land use, type of precipitation, average annual rainfall and lithology) were considered. The weight of each thematic layer is determined through the AHP technique. This model is then applied in predicting soil erosion. The results indicate that the presented methodology is practicable for establishing a risk assessment model for soil erosion.

Keywords: AHP, soil erosion, modeling, Latian catchment, Iran

مقدمه

فرسایش پدیده‌ای طبیعی است که از بدو شکل‌گیری زمین همواره با آن همراه بوده است. ولی طی قرون اخیر به دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع، توسعه صنعتی و افزایش دخالت انسان در اکوسیستم‌های طبیعی روندی صعودی داشته است. هرچند از آغاز تا کنون فرسایش، پدیده‌ای مخرب برای جوامع بشری بوده و سبب از بین رفتن تمدن‌های بزرگی شده است ولی تا سال‌ها شناخته شده نبود و تحقیقات کمی درباره آن انجام شده بود تا اینکه اولین بار کشاورزان ایالات متحده همچون جفرسون در ۱۸۱۳ فرسایش خاک را به عنوان مشکلی جدی مطرح کردند. سپس H.H Bennett در سال‌های ۱۹۳۰ بنیان‌گذار مبارزه با مسئله‌ای شد که آن را بزرگترین تهدید برای رفاه و آسایش عمومی نام نهاد. بعد از آن به عنوان اولین گام در سطح دنیا برای محاسبه میزان فرسایش صدها مدل و فرمول ارائه شد. ماسگریو و همکاران در ۱۹۴۷، براونینگ در ۱۹۴۷ ویشمایر در سال‌های ۱۹۶۵، ۱۹۷۸، لوید و الی در ۱۹۵۲، شیرلی در ۱۹۷۸ بر اساس پارامترهای هیدرولیکی و انواع فرسایش‌های خطی و غیر خطی و عمق جریان، چپا در ۱۹۹۸ بر اساس سرعت آب در طبیعت با استفاده از شبیه‌ساز بصری مناظر کوهستانی و گرافیک کامپیوتری، ویلامز در ۱۹۷۵ با ارائه معادله MUSLE، اوست در ۲۰۰۳ با ارائه مدل WAtem، هنکوک در ۲۰۰۵ با ارائه

مدل فرسایشی SIBERIA روش‌های گوناگونی برای برآورد میزان فرسایش ارائه دادند. کمیته مدیریت آب آمریکا (۱۹۶۹) مدل تجربی PSIAC را ارائه نمود. ویشمایر و اسمیت (۱۹۴۷) معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) را ارائه دادند. این مدل از متداول‌ترین مدل‌های تجربی دنیا است که بر اساس داده‌های طولانی مدت میانگین فرسایش سالانه در واحد سطح از طریق احداث کرت‌های استاندارد توسعه یافت. استوکینگ و ایوال (۱۹۷۳) در آفریقا مدلی به نام SLEMSA ابداع کردند. این مدل ضمن تلفیق داده‌های اساسی و ساده با یکدیگر بر بعضی روابط مهم محیطی مثل روابط پوشش گیاهی، ریزش باران و فرسایش‌گری تاکید دارد. گاوریلوویچ (۱۹۸۸) روش پتانسیل فرسایش یا EPM را ارائه داد. در این روش میزان فرسایش، ضریب رسوبدهی حوضه و بار رسوب تعیین می‌شود. در سال ۱۹۸۹ برای پیش‌بینی فرسایش خاک در شرایط مختلف مدل WEPP از سوی سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شد. اساس این مدل بر شناخت عوامل مختلف محیطی موثر بر فرسایش خاک در هر منطقه است. نصیر احمد و همکاران (۲۰۰۰) از طبقه‌بندی فازی در مدل سازی فرسایش خاک در منطقه کالیانکر هند استفاده نموده و با به کارگیری معادله جهانی فرسایش خاک اقدام به کلاس‌بندی شدت فرسایش کرده‌اند. ورستراتن و همکاران (۲۰۰۳) برای بررسی میزان فرسایش در اسپانیا،

نسل سومی را برای برآورد میزان فرسایش خاک پیشنهاد کرده است. در این مدل از معیارهایی همچون اندازه ذرات خاک، چسبندگی، یکپارچگی و سایر فاکتورهای کنترل کننده فرسایش خاک استفاده شده است.

سلن دوپرن و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل زمین-جغرافیایی در شرایط مختلف، فرسایش پذیری خاک ها را تعیین کرد. وی با استفاده از ۳۱۱ نمونه خاک سطحی برداشت شده از منطقه مورد مطالعه و آنالیز های زمین آماری، الگوی فضایی فرسایش پذیری را معین کرد. نتایج آنها نشان داد معادلاتی که در آنها شاخص هایی چون مواد آلی خاک با اندازه ذرات خاک همراه شده بودند، هماهنگی بیشتری با تغییرات کاربری و توپوگرافی حوضه داشته اند. در نهایت توصیه کردند که در معادلات تخمین میزان فرسایش، به صورت پویا از شاخص هایی چون خواص ذاتی خاک به همراه کاربری، توپوگرافی و تاثیرات آنها بر میکرو اقلیم منطقه استفاده گردد.

سادات پور و همکاران (۲۰۱۱) بر پایه روش چند پارامتره پسیاک و یک الگوی فازی به ارزیابی فرسایش خاک پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که ترکیب روش پسیاک و فازی باعث ایجاد روشی قوی تر و موثر تر در تعیین میزان فرسایش خواهد بود.

در ایران توجه به این مسئله سابقه ای ۴۰ ساله دارد. در طی این مدت همواره روشهای وارداتی برای برآورد میزان فرسایش بکار برده شده است. عمده این تحقیقات بر اساس روشها و مدلهای بدست آمده در شرایط کشورهای دیگر بوده و به صورت اقتباسی در ایران انجام شده است. اولین روش بومی ایرانی جهت برآورد کیفی فرسایش و رسوب توسط احمدی (۱۳۶۸) ارائه گردید البته این روش در مدتی بیش از ۲۵ سال با شرایط داخلی ایران سنجیده شده و وفاق کامل داشته است و از نظر کیفی معیار بسیار مناسبی برای بررسی فرسایش و توان آن بوده است، به نظر می رسد برای یافتن یک روش کمی مناسب جهت برآورد فرسایش و رسوب، استفاده از روش فوق و کمی کردن آن بسیار مفید می باشد.

با رویکردهای فوق اهداف و ضروریات کلی تحقیق حاضر در موارد زیر خلاصه می گردد:

- ۱- ابداع روشی جدید برای برآورد میزان فرسایش و رسوب.
- ۲- ارائه معادله برآورد فرسایش و رسوب مبتنی بر روش ژئومورفولوژی بر اساس داده های کمی و عددی و همچنین یافتن وزن و سهم کمی هر عامل.
- ۳- مقایسه روش کمی ژئومورفولوژی با داده های واقعی ایستگاه رسوب سنجی حوزه آبخیز لتیان، روش کیفی به منظور ارائه پیشنهاد های اصلاحی و تکمیلی.

مواد و روش ها

ویژگی های منطقه مورد مطالعه:

حوزه لتیان در شمال شرقی تهران در تا طول شرقی و تا عرض شمالی واقع شده است. این منطقه جزء منطقه کوهستانی البرز مرکزی (دامنه جنوبی آن) است (شکل شماره ۱). این حوزه از هشت

در مناطق با آبکند زیاد مدل به نام نمره دهی فاکتوریل ارائه دادند که به پنج عامل موثر در فرسایش شامل توپوگرافی، میزان خندق ها، پوشش گیاهی، سنگ شناسی و شکل حوزه آبخیز بر اساس جداول ارائه شده نمراتی داده می شود. متریک و گونزالس (۲۰۰۵) در حوزه آبخیز ساکابا در بولیوی جهت برآورد شدت فرسایش یک مدل کیفی بر مبنای منطق فازی در محیط GIS به نام مدل پهنه بندی شدت فرسایش FUERO ارائه کرده اند. یوشیماتو (۲۰۰۶) مدل جدیدی در رابطه با ارزیابی ریسک با استفاده از AHP ارائه داد. او با استفاده از رتبه بندی هر یک از فاکتور های میکرو توپوگرافی حرکت های توده ای و با استفاده از عکس های هوایی توانست نقشه پایداری مناطق را از نظر حرکت های توده ای وزن دهی و رتبه بندی کند.

اوکابا و استرک (۲۰۰۶) با مقایسه داده های بدست آمده از بررسی با استفاده از شاخص های میدانی و هدر رفت خاک اندازه گیری شده از پلات های رواناب $2/5 \times 10$ متر مربعی در حین فصل بارش، بین ویژگی های شاخص های میدانی و مقدار هدر رفت خاک روابط رگرسیونی ایجاد نمودند و این روش را کمی کردند. زیگلر و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل های ریاضی به بررسی پایداری رسوبات پرداختند. استفاده از مدل های ریاضی برای مطالعه پایداری رسوبات (با تاکید بر استفاده از مدل به عنوان ترکیب کننده) تلاشی برای بسط، تصحیح و تصدیق مدل مکانی مفهومی (CSM) برای حمل و نقل رسوبات در یک مکان مورد مطالعه می باشد. وو (۲۰۰۷) مدل جدیدی برای ارزیابی خطر فرسایش خاک بوسیله آب ارائه داد. او از روش هایی همچون GIS، سنجش از دور و AHP در این کار استفاده کرد. آریا پور (۲۰۰۸) مدلی برای مدیریت پایدار اراضی با استفاده از AHP ارائه داد. او از معیارهایی مانند فرسایش خاک، تاج پوشش گیاهی، هرز آب، بیوماس، تعداد گیاهان، تعداد گونه ها، تنوع زیستی، عناصر مغذی، مواد آلی، حیات وحش، گیاهان دارویی، لند اسکپ و وضعیت آب و هوا استفاده کرد.

الوادهی (۲۰۰۸) نقشه تخریب سرزمین در کویت را با استفاده از AHP ارائه داد. او از معیارهایی مانند رسوب سطحی، پتانسیل رانش ماسه، توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خطوط هم شوری، زهکش های طبیعی و شوره زار ها استفاده کرد. او با استفاده از معیار های فوق و روش AHP توانست درجه تخریب را در هر منطقه محاسبه کند.

نی جی آر (۲۰۰۸) مدلی برای فرسایش خاک بر اساس اطلاعات کاربری اراضی و روش AHP ارائه داد. این تکنیک بر اساس اطلاعات محیطی استاندارد شده و ذخیره شده در چند ضلعی های حد اقلی بنا نهاده شده است. دونتی و همکاران (۲۰۰۸) چند مدل توزیعی از نظر مکانی را برای تخمین فرسایش و رسوب در مقیاس منطقه ای در اسپانیا استفاده کردند. مدل های استفاده شده عبارتند از: WATEM-SEDEM که نوعی از مدل USLE است. PESERA و مدل نمره دهی توزیعی از نظر مکانی (SPADS). این مدل ها برای ۶۱ حوزه آبخیز اسپانیا بکار گرفتند و با استفاده از نقشه برداری رسوبات مخازن سد ها این مدل ها را ارزیابی کردند.

سیدورچوک (۲۰۰۹) با استفاده از عوامل قطعی و احتمالی مدل

از قسمت فشم به بالا جزو منطقه حفاظت شده البرز مرکزی است. ترکیب سنگ شناسی عمدتاً شیل - ماسه سنگ - بازالت - توف - مارن و رسوبات آبرفتی است. منطقه بیش از ۵۰۰ میلیمتر در سال باران دارد که بیش از نیمی از آن به شکل برف است.

زیر حوزه شامل لوارک، افجه، کند، امامه، گرمابدر، شمشک، آهار و رودک تشکیل شده است. که در این تحقیق از ۴ زیر حوزه امامه، افجه، کند و گلوکان استفاده شده است. رودخانه اصلی حوزه جاجرود است که از ارتفاعات البرز سرچشمه میگیرد. قسمت شمالی این حوزه



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

خواهد بود.

۲-۲- شرح تحقیق:

۲-۲-۳- بازدیدهای صحرایی: بازدیدهای صحرایی به منظور اصلاح نقشه های تهیه شده و همچنین تهیه نقشه خاکشناسی، نقشه کاربری اراضی و برداشت های صحرایی جهت تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی انجام گردید. در این مرحله نقشه های دیگری اعم از فرم رویشی، با استفاده از نقشه تیپ بندی پوشش گیاهی و بازدید های صحرایی جهت کنترل صحت نقشه تیپ بندی ایجاد گردید.

همانطوریکه گفته شد روش ژئومورفولوژی روشی کیفی در برآورد فرسایش است. از اینرو برای کمی کردن عوامل این روش در درجه اول نیاز به دانستن سهم و وزن هر کدام از عوامل در پدیده فرسایش می باشد. با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی (والینگ ۱۹۸۸، محمدخان ۲۰۰۱، اسمعیلی ۲۰۰۴) از تحلیل سلسله مراتبی سیستم ها (AHP) جهت ساخت مدل نهایی و وزن دهی به عوامل استفاده می گردد. مراحل مختلف تحقیق به شرح زیر می باشد:

- ۲-۲-۴- مطالعات آزمایشگاهی
- ۲-۲-۵- تهیه مدل: توسعه مدل شامل دو مرحله خلق یک مدل اولیه و ارزیابی مدل می باشد.
- ۲-۲-۱-۵- خلق یک مدل: خلق یک مدل شامل سه مرحله به شرح زیر می باشد.

۲-۲-۱- شناسایی و جمع آوری اطلاعات

۲-۲-۲- تهیه نقشه های پایه: این نقشه ها شامل: نقشه سنگ شناسی، نقشه DEM، نقشه های شیب، جهت، ارتفاع، نقشه رخساره های ژئومورفولوژی، نقشه های شدت بارندگی و متوسط بارندگی سالیانه

ترتیب منحنی سنجه رسوب برای هر یک از ایستگاه های فوق تهیه شد که همگی با اطمینان ۹۹ درصد قابل استفاده می باشند. سپس بر اساس آمار دبی روزانه ۳۰ ساله تمامی ایستگاه ها از سال ۱۳۵۴ الی ۱۳۸۵ میزان دبی رسوب روزانه و سپس متوسط سالانه رسوب برای این مناطق محاسبه خواهد شد.

نتایج

۳-۱- ساخت سلسله مراتبی

بر اساس روش ژئومورفولوژی کیفی و معیارهای شش گانه اقلیم، سنگ شناسی، کاربری اراضی، توپوگرافی، خاک و پوشش گیاهی و شاخص های هر کدام سلسله مراتبی مورد استفاده در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

پس از مطالعه نقشه های پایه برخی از شاخص ها به شرح زیر و با دلایلی از ساخت سلسله مراتبی حذف شد.

۱- از حساسیت سنگ ها و مواد مادری، حساسیت سنگ ها حذف گردید زیرا هدف از مقایسه و وزن دهی نوع مواد مادری، حساسیت آنها به فرسایش است و دیگر نیازی به آوردن مجدد آنها نیست.

۲- شدت بهره برداری از اراضی به یک رده پائین تر یعنی به رده زیر شاخص منتقل گردید زیرا برای تقسیم بندی شدت بهره برداری لازم بود ابتدا نوع کاربری تفکیک گردد و بعد شدت بهره برداری در هر یک از کاربری ها تعریف شود.

۳- شوری و قلیائیت: پس از اندازه گیری این فاکتور در منطقه مشخص گردید خاک های منطقه مورد مطالعه به کلی فاقد شوری و قلیائیت هستند. بنابر این این دو عامل در امر فرسایش در این منطقه تاثیر گذار نیستند.

۴- شدت بارش: نقشه های شدت بارش نشان می دهند که شدت بارش ۳۰ دقیقه ای با دوره بازگشت ۲ سال در این منطقه بین ۱۴ تا ۲۱/۷۷ میلیمتر در ساعت می باشد که کل منطقه را در اشل بارش با شدت زیاد قرار میدهد و بدین ترتیب مقایسه ای نیز نمی توان بین قسمت های مختلف انجام داد به همین علت شدت به عنوان پیش شرط و یا منحنی پوش این مدل منظور گردید.

۳-۲- تعیین ارجحیت نسبی معیار ها، شاخص ها و گزینه ها: در این مرحله ماتریس های مقایسه زوجی ابتدا برای گزینه های هر شاخص سپس ماتریس های مقایسه زوجی شاخص ها، در مرحله سوم ماتریس های مقایسه زوجی برای معیار ها و در نهایت ماتریس مقایسه زوجی رخساره ها نسبت به هدف که همان فرسایش است ایجاد شد.

۳-۲-۱- وزن دهی نسبی به گزینه ها: برای این کار نقشه هر کدام از شاخص ها با نقشه رخساره های فرسایشی (شامل فرسایش آبراهه ای، حرکت های توده ای، هزار دره، فرسایش رودخانه ای، فرسایش شیاری و فرسایش سطحی) (شکل شماره ۳) همپوشانی داده شد.

۲-۵-۱- درک سامانه طبیعی با استفاده از اطلاعات موجود: در این مرحله با استفاده از تئوری فرسایش و تحقیقاتی که بر عوامل موثر بر فرسایش انجام شده است معیارهای مورد استفاده تعیین می شود. ۲-۵-۱-۲- حل معادلات و نوشتن راه حل ها: در این مرحله با استفاده از ساخت سلسله مراتبی و ایجاد ماتریس های مقایسه زوجی، شمای کلی معادله شدت فرسایش بدست می آید. ۲-۵-۱-۳- به کارگیری داده های پارامتری: در این مرحله با استفاده از روش وزن دهی ساعتی ماتریس های مقایسه زوجی تکمیل می شود.

۲-۵-۲- ارزیابی مدل: این مرحله شامل دو قسمت تایید مدل و واسنجی مدل می باشد که در مرحله اول با استفاده از تست سازگاری در مدل AHP و همچنین تطبیق با سایر مطالعات و در قسمت دوم تست مدل با اطلاعات ورودی و خروجی شناخته شده به طوری که بتوان شرایط مشاهده شده را با صحت زیادی شبیه سازی کند انجام خواهد شد. هدف از واسنجی تقلیل حداکثر خطای مقادیر مشاهده ای و برآوردی است که نهایتاً کاربرد مدل را در شرایط مشابه و مراحل بعدی آسان تر نموده و دقت عمل را افزایش می دهد. وقتی تفاوت بین داده های مشاهده ای و پیش بینی شده در محدوده قابل قبول باشد واسنجی به اتمام می رسد.

۲-۶- انتخاب معیارها، شاخص ها و گزینه ها و ساخت سلسله مراتبی

الگوی اصلی انتخاب معیارها و شاخص ها در مطالعه حاضر، مدل ژئومورفولوژی کیفی می باشد ولی برای تکمیل و انطباق این معیار ها و شاخص ها با منطقه مورد مطالعه و همچنین روش وزن دهی انتخاب شده (AHP)، مواردی به این مجموعه اضافه یا حذف گردید. برای این کار ملاک های زیر در نظر گرفته شد.

۲-۶-۱- داشتن ارتباط منطقی با پدیده فرسایش

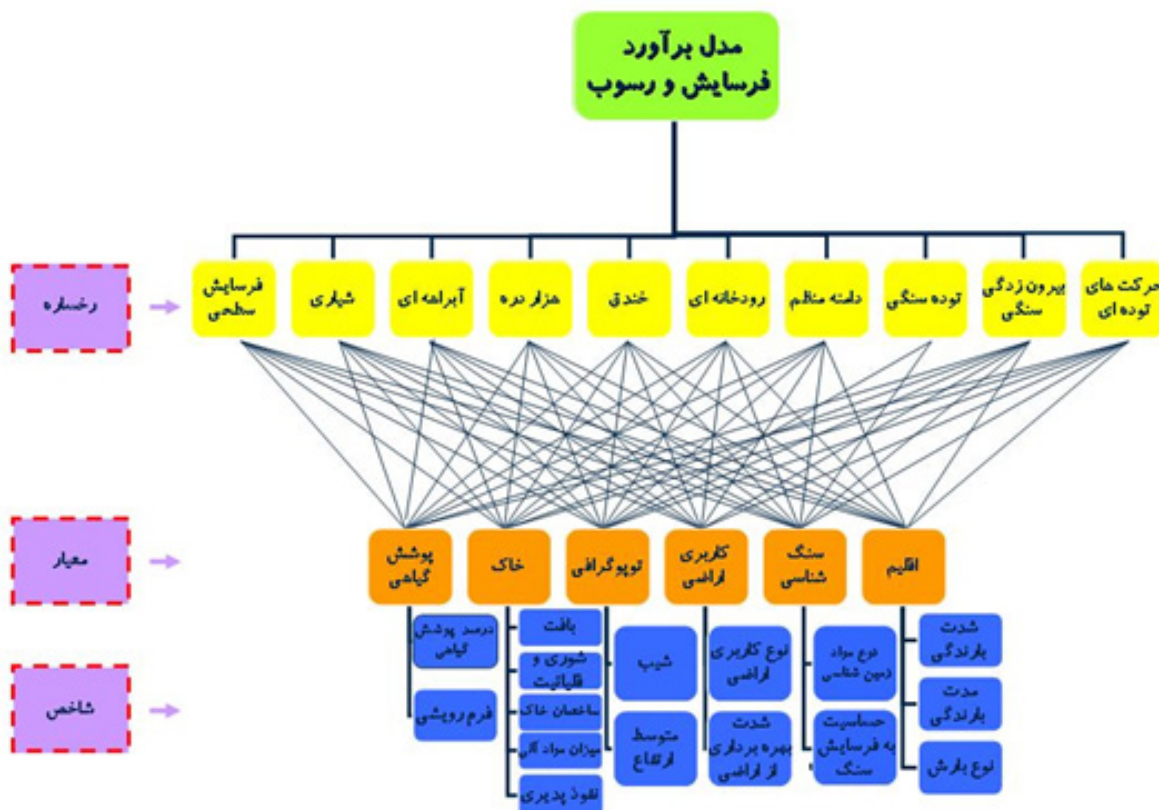
۲-۶-۲- فراگیر بودن

۲-۶-۳- منطبق بودن بر شرایط منطقه مورد مطالعه

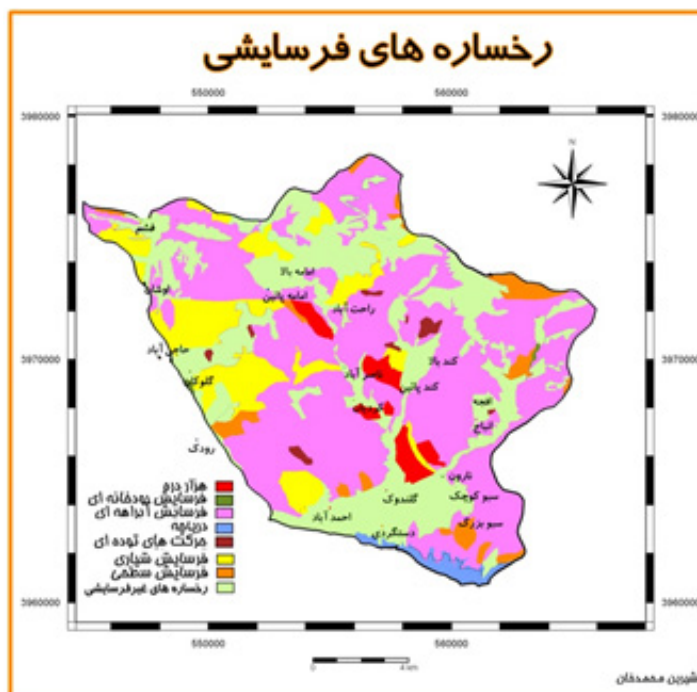
۲-۶-۴- سهولت محاسبه و اندازه گیری: این ملاک اهمیت زیادی در ساخت مدل ها دارد و در صورت عدم وجود این شرط مدل ساخته شده فراگیر نشده و قابل استفاده در سطح وسیع نخواهد بود.

۲-۷- پس از بدست آوردن شدت فرسایش با استفاده از مدل طراحی شده، در هر زیر حوضه با متناظر قرار دادن این اعداد و مقادیر واقعی فرسایش بدست آمده از ایستگاه های فرسایش و رسوب می توان محدوده ای کمی برای میزان فرسایش بدست آورد.

در این مرحله ابتدا آمار رسوب روزانه مشاهداتی از ۵ ایستگاه رسوب سنجی باغ تنگه، کمر خانی، کند سفلی، نجار کلا و نارون تهیه خواهد شد. این آمار ها برای ایستگاه باغ تنگه از سال ۱۳۵۸ الی ۱۳۸۵، برای ایستگاه نجار کلا از سال ۱۳۵۱ الی ۱۳۸۵، برای ایستگاه نارون از سال ۱۳۵۱ الی ۱۳۸۵، برای ایستگاه کند از سال ۱۳۶۲ الی ۱۳۸۵ و برای ایستگاه کمر خانی از سال ۱۳۶۰ الی ۱۳۸۵ می باشند. سپس بین میزان رسوب و دبی روزانه همبستگی هایی بر قرار خواهد شد. بدین



شکل ۲- ساخت سلسله مراتبی



شکل ۳- نقشه رخساره‌های فرسایشی

۳-۲-۲- وزن دهی نسبی به شاخص‌ها: برای وزن دهی به ماتریس مقایسه شاخص‌ها ابتدا مساحت مناطقی که مستعد به فرسایش هستند و فرسایش در آنها اتفاق افتاده است بدست آمد مثلا در مورد مواد آلی مساحت مناطقی که ماده آلی کم یا خیلی کم داشتند (یعنی از نظر عامل میزان مواد آلی مستعد فرسایش هستند.) و در آنها رخساره فرسایشی نیز اتفاق افتاده است محاسبه گردید و سپس نسبت آن به مساحت کل مناطق دارای رخساره های فرسایشی بدست آمد (جدول شماره ۲) (مفهوم سطر فوق به طور خلاصه این است که چند درصد از رخساره های فرسایشی دارای شاخص تعریف شده در مدل می باشند یا شاخص‌های مدل چه سهمی از رخساره های فرسایشی دارند.) سپس با استفاده از این نسبت و فرمول شماره ۱ وزن دهی ها صورت گرفت.

سپس درصد مساحت مناطق مختلفی از هر گزینه که دارای رخساره فرسایشی بودند استخراج گردید و بر اساس این درصد و فرمول استخراج شده (فرمول شماره ۱) از جدول ترجیحات (ساعتی ۱۹۸۰) (جدول شماره ۱) وزن دهی صورت گرفت.

(۱) $P = \Delta A * 0/08 + 1$
در این فرمول اختلاف درصد مساحت مناطق دارای فرسایش در هر گزینه و P ترجیح گزینه‌ها نسبت به یکدیگر است که در ماتریس مقایسه زوجی مورد استفاده قرار می‌گیرد
این ماتریس‌ها کامل شد. شایان ذکر است درصد مساحت نسبت به مساحت کل همان گزینه محاسبه شده است و نه نسبت به کل منطقه.

جدول ۱- جدول مقادیر ترجیحات ساعتی

مقدار عددی	preferred	ترجیح
۹	Extremely preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر یا مطلوب تر
۷	Very strongly preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately preferred	کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوب تر
۱	Equally preferred	ترجیح یا اهمیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸		ترجیحات بین فواصل

۳-۴- محاسبه اوزان ترکیبی معیارها و شاخص‌ها
پس از بدست آوردن اوزان گزینه‌ها، شاخص‌ها و معیارها که به ترتیب با W_1, W_2, W_3 نشان داده شده است (جدول شماره ۴). وزن هر رده در رده بالاتر ضرب گردید تا وزن ترکیبی شاخص‌ها و معیارها بدست آید.

سپس این وزن ترکیبی بدست آمده در محیط GIS برای هر شاخص تبدیل به نقشه ای ارزشی (Value) گردید. این ۱۱ نقشه بدست آمده با هم جمع گردید تا نقشه وزن کلی شاخص‌ها و معیارهای منطقه بدست آید.

۳-۵- ساخت نقشه ارزشی وزن رخساره‌ها (F)
با الصاق ارزش‌های جدول فوق به نقشه رخساره‌های فرسایشی منطقه (شکل شماره ۴) نقشه ارزشی وزن رخساره‌ها حاصل گردید.

۳-۲-۳- وزن دهی نسبی به معیارها: برای وزن دهی و تکمیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر از بیشترین مقدار بدست آمده مساحت مناطقی که مستعد به فرسایش هستند و فرسایش در آنها اتفاق افتاده است به مساحت کل مناطق دارای رخساره فرسایشی در شاخص‌های هر یک از معیارها و جدول ترجیحات استفاده گردید.
۳-۳- تعیین ارجحیت نسبی رخساره‌ها نسبت به هدف (فرسایش)

بر اساس جدول ترجیحات و متوسط میزان خاک از دست رفته در هر یک از رخساره‌ها، ماتریس مقایسه زوجی تشکیل گردید و سپس وزن هر یک از رخساره‌ها نسبت به هدف تعیین گردید. که این وزن نشانگر متوسط خاک فرسایش یافته از هر یک از رخساره‌ها می باشد (جدول شماره ۳).

جدول ۲- مساحت مناطق مستعد فرسایش در شاخص‌های مختلف

شاخص	گزینه های مستعد به فرسایش	مساحت (هکتار)	مساحت مناطق دارای فرسایش (ha)	مساحت مناطقی که مستعد فرسایش هستند و فرسایش در آنها اتفاق افتاده است (ha)	%A ^{۱۲}
درصد تاج پوشش	۳۰-٪	۴۴۱۲/۰۵	۲۸۷۷	۱۰۲۵۷	۷۶
	۶۰-۳۱٪	۷۴۵۹/۲۲	۶۴۷۹		
فرم رویشی	بایر	۱۶۲/۶۲	۱۶۲/۶۲	۸۲۲/۸۳	۶
	علفی	۱۳۰۴/۶۴	۶۵۹/۲۱		
یافت خاک	رسی	۲۰۷۹/۰۲	۱۱۳۰/۵۹	۵۳۴۹/۹۶	۳۹
	لوم رسی	۵۰۶۱/۲۵	۴۲۱۸/۵۳		
	لوم رسی سیلتی	۱۶۲/۹۵	۰/۶۱		
	لوم سیلتی	۴۶/۵۲	۰/۲۲		
تفویذپذیری	آهسته	۱۶۲/۹۵	۰/۶۱	۱۱۳۱/۲۰	۸
	خیلی آهسته	۲۰۷۹/۰۱	۱۱۳۰/۵۹		
ماده آلی	خیلی کم	۲۴۱۹/۶۵	۱۸۳۲/۹۶	۲۵۷۳/۶۱	۱۹
	کم	۷۸۷/۲۹	۷۴۰/۶۴		
درصد شیب	۱۰-۲	۱۷۰۸/۳۲	۱۰۶۲/۲۱	۱۳۵۷۲/۱۹	۱۰۰
	۲۱-۳	۳۳۴۶/۷۳	۲۵۱۱/۲۱		
	۳۱-۴	۲۴۶۹/۰۲	۱۸۳۴/۹۸		
	>۴۰	۱۱۴۱۲/۷۸	۸۱۶۲/۷۹		
جهت	شرقی	۲۸۰۹/۷۹	۲۲۵۷/۱۵	۸۷۷۳/۵۷	۶۴
	جنوب	۹۸۰۹/۵۰	۶۵۱۶/۴۳		
یارزدگی سالیانه	۴۰۰-۶۰	۴۸۱۳/۸۵	۲۷۱۳/۲۸	۹۹۶۱/۹۷	۷۳
	۶۰۰-۸۰	۹۲۷۴/۷۲	۷۱۶۲/۱۳		
	۱۲۰۰-۱۴۰	۱۰۶/۷۱	۸۵/۵۶		
توع یارش	یارتی	۱۵۷۵۴/۳۰	۱۱۹۶۵/۶۵	۱۱۹۶۵/۶۵	۸۸

جدول ۳- جدول وزن دهی رخصاره ها

رخصاره	حرکت های توده ای	هزار دره	فرسایش رودخانه ای	آبراهه ای	شبیاری	سطحی	دامنه منظم	بیرون زدگی سنگی	توده سنگی
F	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲

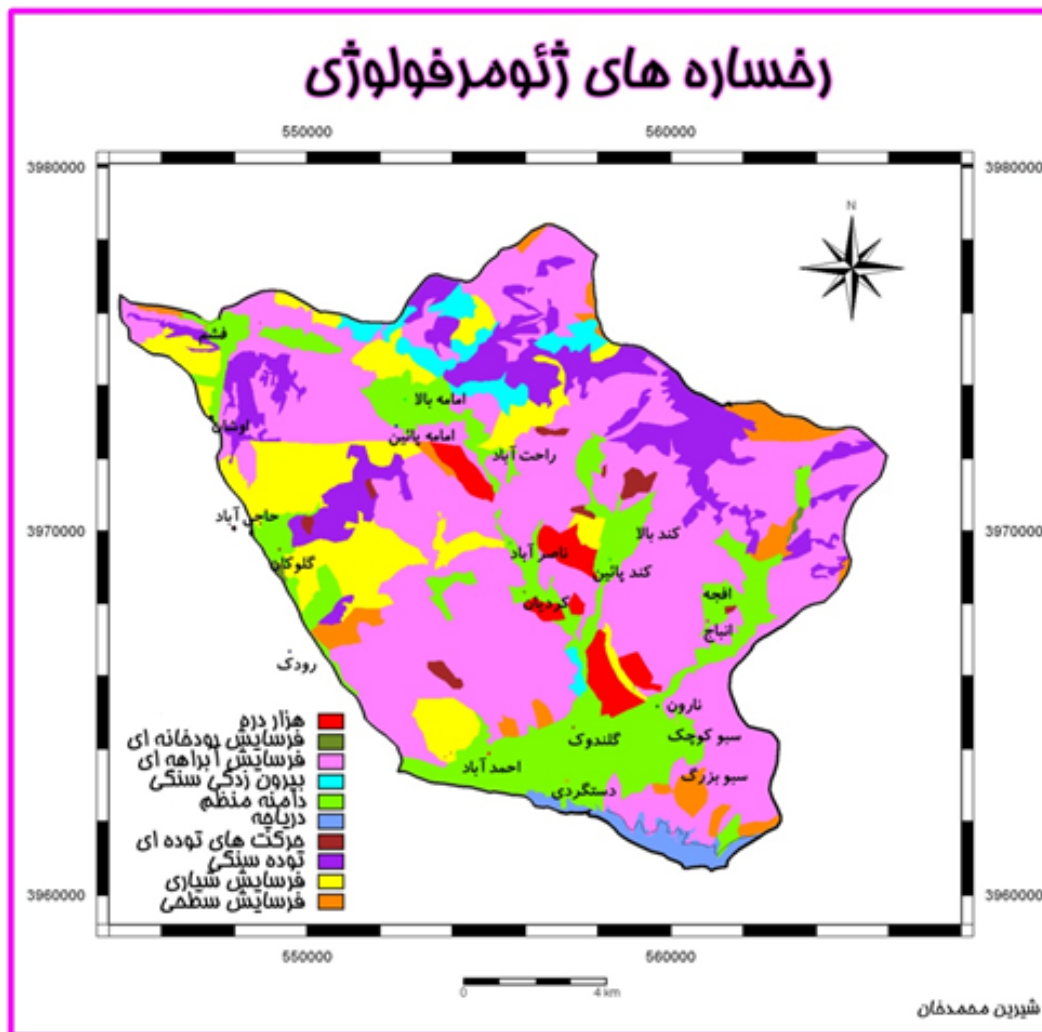
جدول ۴ - جدول اوزان معیارها، شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها

W1	گزینه	W2	شاخص	W3	معیار
۰/۳۲	۰-۳۰	۰/۸۷	درصد پوشش	۰/۱۲	پوشش
۰/۳۰	۳۰-۶۰				
۰/۱۴	۶۰-۷۵				
۰/۲۱	۷۵-۹۰				
۰/۰۴	۹۰-۱۰۰				
۰/۰۹	درختی	۰/۱۳	فرم رویشی		
۰/۷۱	بوته ای				
۰/۲۰	علفی				
۰/۰۳	لوم سیلتی	۰/۵۹	بافت		
۰/۰۳	لوم رسی سیلتی				
۰/۱۲	رس				
۰/۲۸	لومی رسی				
۰/۳۶	لوم رس ماسه ای				
۰/۱۷	لوم ماسه ای				
۰/۲۶	سریع	۰/۱۵	نفوذپذیری	۰/۰۴	خاک
۰/۵۳	متوسط				
۰/۰۵	آهسته				
۰/۱۷	خیلی آهسته				
۰/۰۶	خیلی زیاد	۰/۲۵	ماده آلی		
۰/۱۵	زیاد				
۰/۲۹	متوسط				
۰/۳۵	کم				
۰/۱۶	خیلی کم				
۰/۰۳	۰-۵	۰/۷۹	شیب	۰/۳۳	توپوگرافی
۰/۰۴	۵-۱۰				
۰/۱۶	۱۰-۲۰				
۰/۲۷	۲۰-۳۰				
۰/۲۶	۳۰-۴۰				
۰/۲۳	۴۰>				

W1	گزینه	W2	شاخص	W3	معیار
۰/۲۷	شمالی	۰/۲۱	جهت	۰/۳۳	توپوگرافی
۰/۱۷	جنوبی				
۰/۳۸	شرقی				
۰/۱۸	غربی				
۰/۰۲	باغ	۱	کاربری اراضی	۰/۱۰	کاربری اراضی
۰/۱۵	بایر				
۰/۰۲	توده سنگی				
۰/۰۲	روستا				
۰/۰۲	شهر				
۰/۱۸	کشت نواری				
۰/۱۹	مرتع بسیار ضعیف				
۰/۰۷	مرتع خوب				
۰/۱۹	مرتع ضعیف				
۰/۱۲	مرتع متوسط				
۰/۰۳	مزرعه				
۰/۷۹	باران	۰/۵۹	نوع بارش		
۰/۲۱	برف				
۰/۱۰	۴۰۰-۶۰۰	۰/۴۱	متوسط بارندگی سالیانه	۰/۲۰	اقلیم
۰/۲۸	۶۰۰-۸۰۰				
۰/۱۹	۸۰۰-۱۰۰۰				
۰/۱۱	۱۰۰۰-۱۲۰۰				
۰/۳۲	۱۲۰۰-۱۴۰۰				
۰/۱۵	PIQc,s	۱	سنگ مادری	۰/۲۰	سنگ مادری
۰/۱۳	Ekm				
۰/۱۲	Ql				
۰/۰۹	m				
۰/۰۸	Ekn				
۰/۰۸	Ekt				
۰/۰۶	Q				
۰/۰۶	PEfm,s,c				
۰/۰۶	edbt				

W1	گزیننه	W2	شاخص	W3	معیار
۰/۰۵	Qs	۱	سنگ مادری	۰/۲۰	سنگ مادری
۰/۰۳	Eksh				
۰/۰۲	Tb				
۰/۰۲	PEcf				
۰/۰۲	Qu				
۰/۰۲	Q۱				
۰/۰۱	Qal				

با ضرب $W3*W2*W1$ برای هر شاخص به صورت جداگانه جداول زیر برای استفاده نهایی بدست آمد.



شکل ۴- نقشه رخساره های ژئومورفولوژی

جدول ۵- وزن کلی معیارها و شاخص‌های پوشش گیاهی

فرم رویشی (Vf)			درصد پوشش (Vp)				
علفی	بوته ای	درختی	۱۰۰-۹۰	۹۰-۷۵	۷۵-۶۰	۶۰-۳۰	۳۰-۰
۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۴۱	۰/۰۲۱۹	۰/۰۱۴۴	۰/۰۳۱۷	۰/۰۳

برای بدست آوردن وزن کلی خاک می بایست از مجموع اوزان بافت (St)، نفوذپذیری (Si) و ماده آلی (So) استفاده کرد (معادله شماره ۳).

$$S = S_t + S_i + S_o \quad (3)$$

برای بدست آوردن وزن نهایی پوشش گیاهی در هر قسمت می بایست وزن درصد پوشش (Vp) با وزن فرم رویشی (Vf) همان منطقه جمع شود (معادله شماره ۲).

$$V = V_p + V_f \quad (2)$$

جدول ۶- وزن کلی معیارها و شاخص‌های خاک

ماده آلی (So)					نفوذپذیری (Si)				بافت (St)					
خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی آهسته	آهسته	متوسط	سریع	لوم	لوم رس	لومی	رس	لوم رسی	لوم سیلتی
۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸

جدول ۷- وزن کلی معیارها و شاخص‌های توپوگرافی

جهت Ta				شیب Ts					
غربی	شرقی	جنوبی	شمالی	۴۰>	۴۰-۳۱	۳۰-۲۱	۲۰-۱۱	۱۰-۶	۵-۰
۰/۰۱۲	۰/۰۲۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۹	۰/۰۶۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۴۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹

برای بدست آوردن وزن نهایی اقلیم (C) از مجموع اوزان نوع بارش (Ck) و متوسط بارندگی سالیانه (Cr) استفاده می گردد (معادله شماره ۵).

$$C = C_k + C_r \quad (5)$$

برای محاسبه وزن نهایی معیار توپوگرافی از مجموع وزن شیب (Ts) و جهت (Ta) در هر منطقه استفاده می گردد (معادله شماره ۴).

$$T = T_s + T_a \quad (4)$$

جدول ۸- وزن کلی معیارها و شاخص‌های کاربری اراضی

کاربری اراضی L										
مزرعه	مرتع متوسط	مرتع ضعیف	مرتع خوب	مرتع بسیار ضعیف	کشت نواری	شهر	روستا	توده سنگی	بایر	باغ
۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۱۹	۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۷۴	۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۷۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۴۹	۰/۰۰۲۲

جدول ۹- وزن کلی معیارها و شاخص‌های اقلیم

متوسط بارندگی سالیانه Cr					نوع بارش Ck	
۱۴۰۰-۱۲۰۱	۱۲۰۰-۱۰۰۱	۱۰۰۰-۸۰۱	۸۰۰-۶۰۱	۶۰۰-۴۰۰	باران	برف
۰/۰۲۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵	۰/۰۹۵

جدول ۱۰- وزن کلی معیارها و شاخص‌های زمین‌شناسی

سنگ مادری G															
Qal	Q۱	Qu	PEcf	Tb	Eksh	Qs	edbt	PEfm,s,c	Q	Ekt	Ekn	m	Ql	Ekm	PIQc,s
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶۸	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۳	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۹۵

۳-۶- شدت فرسایش

برای محاسبه شدت فرسایش در هر واحد می‌توان از فرمول شماره ۶ استفاده کرد.

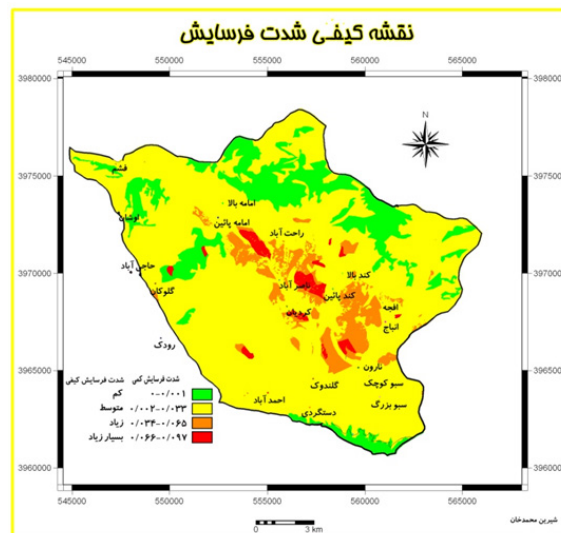
$$GM = [(V + S + T + L + C + G) * F] * A \quad (6)$$

در این فرمول:

V: وزن نهایی معیار پوشش گیاهی است که از فرمول شماره ۲ بدست می‌آید. S: وزن نهایی معیار خاکشناسی است که از فرمول شماره ۳ بدست می‌آید. T: وزن نهایی معیار توپوگرافی است که از فرمول شماره ۴ بدست می‌آید. L: وزن نهایی معیار کاربری اراضی

است که از جدول شماره ۸ بدست می‌آید. C: وزن نهایی معیار اقلیم است که از فرمول شماره ۵ بدست می‌آید. G: وزن نهایی معیار زمین‌شناسی است که از جدول شماره ۱۰ بدست می‌آید. F: وزن یا ارجحیت نسبی رخساره‌های ژئومورفولوژی است که از جدول شماره ۳ بدست می‌آید. A: مساحت هر واحد همگن بر حسب هکتار می‌باشد.

بر اساس جداول و معادله فوق قبل نقشه شدت فرسایش (جدول شماره ۱۱) بدست آمد برای نمایش بهتر این نقشه کلاسه بندی شده و به صورت شکل شماره ۵ ارائه می‌گردد.



شکل ۵- نقشه کیفی (کلاسه‌بندی شده) فرسایش

برای این مناطق محاسبه گردید که در جدول شماره ۱۱ در ذیل آورده شده است. بر اساس مطالعه پاک پرور (۱۹۹۴) دبی بار کف در

بر اساس آمار دبی روزانه ۳۰ ساله تمامی ایستگاه‌ها از سال ۱۳۵۴ الی ۱۳۸۵ میزان دبی رسوب روزانه و سپس متوسط سالانه رسوب

جدول ۱۱- شدت فرسایش و دبی معلق رسوب در زیر حوضه های منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	رودخانه	مساحت (هکتار)	معادله سنجح رسوب	ضریب تشخیص معادله سنجح رسوب	متوسط دبی رسوب معلق (تن در سال)	شدت فرسایش
نچار کلا	کندرود	۳۴۳۲	$Y=23.542X1.5291$	۰/۸۳۸۶	۱۵۷۰۳	۹۳/۳۰
نارون	افجه	۲۹۹۹	$Y=20.177X1.4382$	۰/۷۸۲۹	۳۳۸۴	۶۱/۹۷
باغ تنگه	امامه	۱۷۴۰	$Y=6.5675X1.5645$	۰/۸۴۴۱	۶۴۳	۱۹/۵۶
کند سفلی	کندرود	۲۵۹۵	$Y=15.564X0.3286$	۰/۵۷۳۲	۲۰۰۵	۴۴/۱۷
کمر خانی	امامه	۱۹۷۰	$Y=7.963X1.7278$	۰/۸۴۸۵	۲۱۱۰	۳۶/۱۱

منطقه مورد مطالعه حدود ۳۰ درصد بار معلق می باشد. با احتساب این، مقدار کل رسوب زیر حوضه ها محاسبه گردید. سپس مقادیر رسوب کل ویژه در هر زیر حوضه و سپس شدت فرسایش ویژه در هر زیر حوضه محاسبه گردید. مقادیر رسوب کل ویژه که به تن در

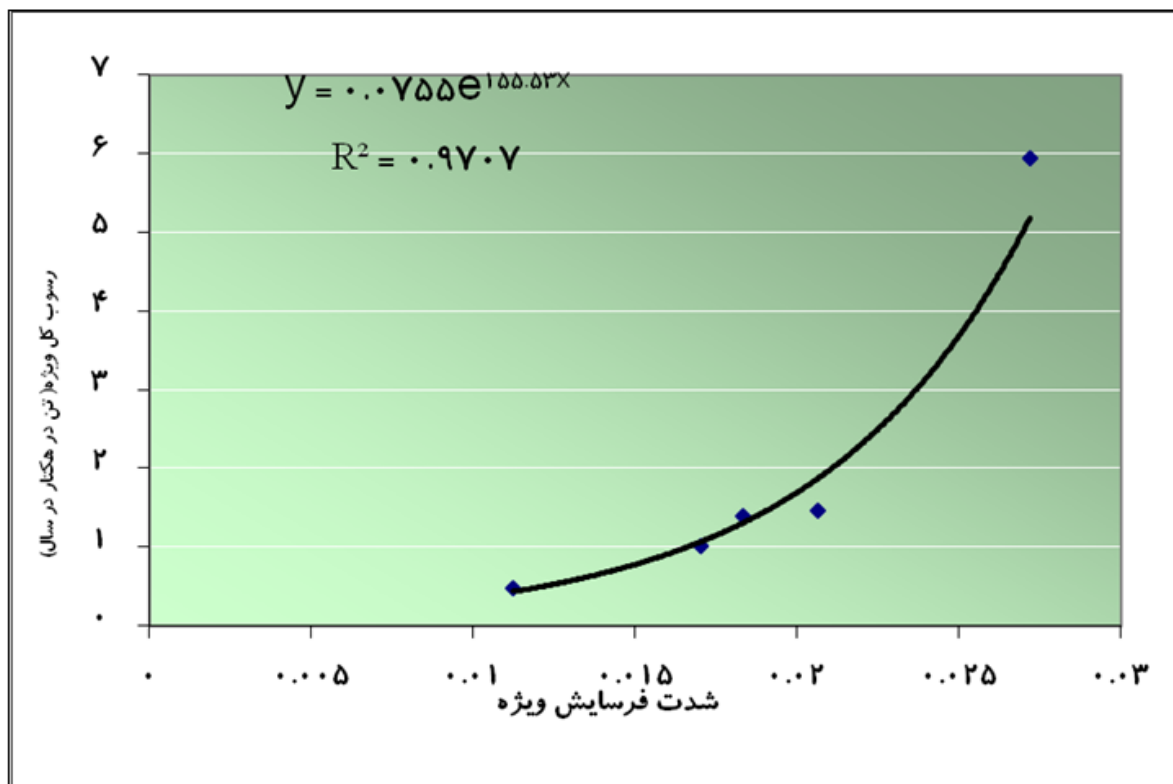
هکتار در سال محاسبه گردیده است با شدت فرسایش ویژه در هر هکتار متناظر قرار داده شده و رگرسیون درجه دومی بین آنها بر قرار گردید. (جدول ۱۲) (شکل ۶)

جدول ۱۲- محاسبه شدت فرسایش و رسوب کل ویژه

ایستگاه	رسوب سالیانه (تن در سال)	بار کف (تن در سال)	رسوب کل (تن در سال)	مساحت (هکتار)	شدت فرسایش کل (بدون بعد)	شدت فرسایش ویژه (در هکتار)	رسوب کل ویژه (تن در هکتار در سال)
نچار کلا	۱۵۷۰۲/۶۶	۴۷۱۰/۸۰	۲۰۴۱۳/۴۶	۳۴۳۱/۶۳	۹۳/۳۰	۰/۰۲۷۲	۵/۹۵
نارون	۳۳۸۳/۹۷	۱۰۱۵/۱۹	۴۳۹۹/۱۶	۲۹۹۸/۶۶	۶۱/۹۷	۰/۰۲۰۷	۱/۴۷
باغ تنگه	۶۴۳/۲۲	۱۹۲/۹۷	۸۳۶/۱۹	۱۷۳۹/۹۸	۱۹/۵۶	۰/۰۱۱۲	۰/۴۸
کند سفلی	۲۰۰۵/۱۴	۶۰۱/۵۴	۲۶۰۶/۶۸	۲۵۹۵/۱۸	۴۴/۱۷	۰/۰۱۷۰	۱
کمر خانی	۲۱۱۰/۲۹	۶۳۳/۰۹	۲۷۴۳/۳۷	۱۹۷۰/۱۱	۳۶/۱۱	۰/۰۱۸۳	۱/۳۹

که میزان R_2 آن $R^2 = 0/9707$ است و با اطمینان ۹۹ درصد قابل قبول می باشد. بدین ترتیب با بدست آوردن شدت فرسایش ویژه هر زیر حوضه و قرار دادن در فرمول و یا استفاده از نمودار و قرار دادن شدت فرسایش ژئومورفولوژی در نمودار می توان میزان کل رسوب را بدست آورد.

در نتیجه خطی با معادله زیر حاصل گردید (معادله شماره ۷).
 $Q_s = 0.0755 * e^{155.5 gm}$ (۷)
 که در این فرمول:
 Q_s : رسوب کل ویژه به تن در هکتار در سال و gm : شدت فرسایش ویژه در هکتار می باشد.



شکل ۶- نمودار رابطه بین شدت فرسایش ویژه و رسوب کل ویژه (تن در هکتار در سال)

محدوده مورد آزمایش ما است و فرمول شماره ۷ استفاده گردید و جدول ۱۳ حاصل گردید.

۷-۳- تعیین محدوده میزان رسوب برای مقادیر مختلف شدت فرسایش ویژه
برای این کار از محدوده GM ویژه ۰ الی ۰/۰۵ که کمی بیشتر از

جدول ۱۳- مقادیر رسوب کل به ازای شدت فرسایش

متوسط رسوب (تن در هکتار در سال)	حداکثر رسوب (تن در هکتار در سال)	حداقل رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	شدت فرسایش ویژه
۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۰۱-۰
۱/۰۳	۱/۶۹	۰/۳۶	۰/۰۲-۰/۰۱
۴/۸۶	۸/۰۲	۱/۶۹	۰/۰۳-۰/۰۲
۲۳/۰۱	۳۸	۸/۰۲	۰/۰۴-۰/۰۳
۱۰۹	۱۷۹/۹۹	۳۸	۰/۰۵-۰/۰۴

۴- بحث و نتیجه گیری:

برای برآورد میزان فرسایش خاک تا کنون در ایران از مدل‌های وارداتی استفاده شده است که در صحت آنها تردیدهایی وجود دارد از سوی دیگر در بسیاری از مواقع شاخص‌ها و معیارهای استفاده شده در آنها برای شرایط کشور ما قابل استفاده نمی‌باشد. شکل گیری مدل کیفی ژئومورفولوژی از ۲۵ سال پیش در دانشکده منابع طبیعی آغاز شده و طی این مدت همواره با به کارگیری آن در مناطق مختلف و مقایسه آن با سایر مدل‌ها و همچنین آمار رسوب ایستگاه‌های رسوب سنجی رو به تکامل نهاده است.

در این تحقیق با استفاده از روش آنالیز سلسله مراتبی سیستم‌ها که روشی جامع و کارآمد می‌باشد و نیز آمار طولانی مدت ایستگاه‌های رسوب سنجی متعددی که در منطقه مورد مطالعه وجود داشت و استفاده از امکانات جدید مانند GIS و سنجش از دور، مدل ژئومورفولوژی تبدیل به مدلی کمی گردید که دارای محاسن زیادی است.

این مدل یکی از آسان‌ترین و در دسترس‌ترین مدل‌هایی است که در مناطقی مشابه منطقه مورد مطالعه نتایج قابل قبولی را در برآورد شدت فرسایش و رسوب ارائه می‌دهد.

این مدل در مناطقی که کمبود آمار وجود دارد نیز می‌تواند برآورد‌های صحیحی از شدت فرسایش ارائه دهد و به خوبی می‌تواند از قابلیت‌ها و ظرفیت‌های GIS در ساده‌تر کردن و سرعت بخشیدن به کار استفاده کند.

جامع بودن عوامل مورد استفاده می‌تواند تا حد زیادی تضمین‌کننده صحت شدت فرسایش بدست آمده باشد. با این حال از عواملی استفاده شده است که به آسانی قابل دسترس و محاسبه می‌باشند و کارشناس منابع طبیعی می‌تواند از عهده محاسبه آن بر آید. همچنین این معیارها و شاخص‌ها به گونه‌ای معتبر و دقیق انتخاب شده‌اند که می‌توانند بهترین تخمین را از شدت فرسایش ارائه دهند. با مقایسه نتایج این تحقیق با سایر مدل‌ها می‌توان به موارد زیر دست یافت:

تاثیر شاخص شیب در مطالعات و منابع مختلفی از جمله مترج و گونزالس (۲۰۰۵)، جانسن و گیرت (۱۹۸۲)، ددکف و ماژرین (۱۹۹۲)، مورگان (۱۹۹۵)، توی و همکاران (۲۰۰۲) و رفاهی (۱۹۹۹) مورد بررسی و تایید قرار گرفته است.

پس از توپوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیم با وزن ۰/۲ در رتبه بعدی قرار می‌گیرد. در رده کم اهمیت‌ترین سازندها در تولید رسوب و فرسایش، سنگ‌هایی همچون کنگلومرای ضخیم لایه تا توده‌ای شکل با دانه‌هایی از منشاء گوناگون، سنگ آهک، ماسه سنگ با سیمان قوی، شیل‌های با ترکیب بازی و متوسط، شیل آهکی و سیلیسی تیره رنگ، توفیت، آذرآواری‌ها دیده می‌شوند. همچنین نهشته‌های آبرفتی قدیمی و جدید که انتظار می‌رفت در رده‌هایی با اهمیت بالا قرار گیرند در رده‌های پائینی قرار می‌گیرند که دلیل آن در دو مورد می‌باشد.

-درشتی زیاد رسوبات آبرفتی سخت نشده که بیشتر در بستر و حاشیه رودخانه‌ها موجود می‌باشد و قرار گرفتن این نهشته‌ها در

شیب‌های پائین و اراضی مسطح

همچنین قرار گرفتن اراضی مسکونی شهری و روستایی در این مناطق که با پوشش کل سطح توسط ساختمان و خیابان عملاً سطحی جهت تخریب باقی نمی‌ماند.

پسیاک در مدل خود بیشترین وزن و اهمیت را به شیل‌های دریایی و گلسنگ‌ها و سیلت سنگ‌های مربوطه، مارن‌های ژیبسی و انیدریتی (پوسته پوسته شده) و سیلت سنگ‌ها و شیل‌های سخت و در نهایت ماسه سنگ داده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود از این بین شیل، مارن و ماسه سنگ‌ها مشترک می‌باشد. توف‌های موجود در این رده عمدتاً بر اثر هوازدگی به صورت پودری و بسیار نرم درآمده‌اند به صورتی که حتی برای فرسایش‌هایی نظیر حرکت‌های توده‌ای بسیار مستعد شده‌اند. یکی از اشکالات عمده تقسیم‌بندی سنگ‌ها در روش پسیاک این است که جنس سنگ‌های یکسان در شرایط مختلف اعم از سن، تکتونیک، شرایط آب و هوایی و ... دارای مقاومت‌های مختلفی نسبت به فرسایش می‌باشند. به عنوان مثال کنگومرا در شرایط گوناگون و در سازندهای مختلف در منطقه مورد مطالعه رفتار گوناگونی از خود بروز داده است و در هر سه رده می‌توان آن را مشاهده کرد. یکی از مزایای استفاده از نوع سازندها به جای جنس سنگ این است که سایر خصوصیات همچون سختی سنگ، میزان هوازدگی، ترک خوردگی و ... را نیز می‌توان در آن مستتر داشت زیرا این شرایط تقریباً در یک سازندها ثابت است.

لیست ارائه توسط EPM مشابهت‌های بالایی با لیست ارائه شده از سوی مدل کمی ژئومورفولوژی دارد. غیر از این که معیار خاک به طور کامل از سنگ تفکیک شده است.

وزن اقلیم نیز در مورد تولید رسوب و فرسایش همانند زمین‌شناسی ۰/۲ می‌باشد. ملکی (۲۰۰۷) از معیار اقلیم در مدل برآورد فرسایش و رسوب خود استفاده کرده است. او این معیار را در رده ششم از اهمیت قرار داده است. در صورتی که در مدل کمی ژئومورفولوژی این معیار به همراه زمین‌شناسی در رده دوم اهمیت واقع شده است. در روش EPM برای محاسبه میانگین سالانه فرسایش ویژه از ضریب دما و همچنین ارتفاع متوسط سالانه بارش استفاده شده است. در مدل ارائه شده ژئومورفولوژی کمی به جای استفاده از دما به صورت مستقیم از نقشه هم‌دمای صفر استفاده شده است به عبارت دیگر به جای استفاده از طبقات کوچکتر دمایی از دو طبقه بیشتر و کمتر از صفر استفاده شده است.

برای معیار پوشش گیاهی وزن ۰/۱۲ بدست آمد. که دارای دو شاخص درصد پوشش گیاهی با تاثیر بیشتر و فرم رویشی با تاثیر کمتر است. کاربری اراضی با وزن ۰/۱ پنجمین معیار از نظر وزن و اهمیت می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان سه رده کلی برای کاربری اراضی ذکر کرد. وزن کم برای باغ، توده سنگی، روستا، شهر و مزرعه، وزن متوسط برای مرتع متوسط و مرتع خوب و وزن زیاد برای اراضی بایر، کشت‌نواری، مرتع بسیار ضعیف و مرتع ضعیف.

بر خلاف انتظار کشت‌نواری در رده اوزان زیاد قرار می‌گیرد که پس از بررسی مشخص گردید دلیل این امر آن است که این نوع کشت به عنوان یک کار درمانی در مناطقی صورت گرفته است که دارای

6. Chiba, n. & k. muraoka and k. fujita 1998 ,1, An Erosion Model Based on Velocity Fields for the Visual Simulation of Mountain Scenery, THE JOURNAL OF VISUALIZATION AND COMPUTER ANIMATION J. Visual. Compute. Animated. (1998) 194-185 9)
7. De Vente, J.C., Poesen, G., Verstraten, G., VanRompae, A. and Govers, G., 2008, Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment yield at regional scale in Spain, Global and Planetary change, V. 60, PP: 415-393.
8. Dedkov, A. P. and V. I. Moszherin, 1992, Erosion and sediment yield in mountain regions of the world, Erosion, debris flow and environment in mountain regions (pro. The Chengdu symposium. Ju, 1992, IAHS, No. 36-209:29.
9. Duiker, S. W., Flanagan, D. C., Lal, R., 2001, Erodibility and infiltration Characteristics of fire major soils of southwest Spain, Catena, Vol. 45, pp: 121-103.
10. Elliot, W. J., Laflen, J. M. and Foster, G. R., 1993, soil erodibility nomographs for the WEPP model, paper No. 932046, Presented at the 1993 Int, summer meeting of ASAE and CSAE, Spokane, Washington.
11. Esmali, A., Ahmadi, H., Feiznia, S., Shariat jafari, M., 2004, Mass movement Zonation with Two Multiple Regression(MR) and AHP, Iranian J. Natural Res. , Vol. 56, No. 4, p323.
12. Gavrilovic, S., 1988, The use of empirical method for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams, Intern. Conf. on River Regime, W. R.white (Ed.) John Wiley, 20-18 May, 1988, paper 32, PP.-411 423.
13. Hancock, G. R. and E. Turley, 2005, Evaluation of proposed waste rock dump designs using the SIBERIA erosion model, Journal of Environmental Geology, Issue Volume 49, Number 5 / March,
14. Huang, C. C., Pang, J., Zhou, Q. & Chen, S. 2004, Holocene pathogenic change and the emergence and decline of rain-fed cereal agriculture on the Chinese Loess Plateau. Quaternary Science Reviews 2535-2525 ,23
15. Johnson, C. W., K. A. Gebhardt, 1982,

فرسایش های شدید بوده‌اند و چون به تازگی این عمل صورت گرفته است هنوز نتیجه لازم بدست نیامده است. در مدل ارائه شده معیار خاکشناسی آخرین معیار از نظر وزن و اهمیت در ایجاد فرسایش در منطقه مورد مطالعه می باشد. این منطقه یکی از حوزه های آبخیز کوهستانی کشور می باشد و به دلیل شیب زیاد و کوهستانی بودن منطقه از خاک تکامل یافته ای بر خوردار نمی باشد. به این دلیل این معیار دارای وزن و اهمیت کمی در فرسایش می باشد. بافت خاک همانطوری که در تحقیقات الیوت و همکاران (۱۹۹۳)، مزپولینوس و همکاران (۱۹۸۸)، میلر و بهارالدین (۱۹۸۷)، برزگر و همکاران (۱۹۹۸)، هوانگ و پنگ (۲۰۰۴)، دویکر و همکاران (۲۰۰۱) نشان داده شده است یکی از مهمترین شاخص های موثر در پایداری یا عدم پایداری خاکدانه ها و در نهایت بروز یا عدم بروز فرسایش در خاک می باشد.

منابع مورد استفاده

1. Al-Awadhi JM, 2008, Mapping land degradation hazard in Kuwait: using Delphi and AHP methods, KUWAIT JOURNAL OF SCIENCE & ENGINEERING Volume: 35 Issue: 1A Pages: 90-71 Published: JUN 2008
2. American Society of Civil Engineers 1969, Sedimentation Engineering chapter VI, Economic Aspects of Sedimentation, Task Committee for Preparation of Manual on Sedimentation, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Hydraulics Division 95 HY,6334 ,1 207-191.
3. Ariapour, A.; Amiri, F.; Torknezhad, A., 2008, A regional model of sustainable utilization in marginal lands by the AHP method: a case study of Kabude Olia in Kermanshah Province, Iran, World conference on agricultural information and IT, IAALD AFITA WCCA 2008, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan, 27 - 24 August, 2008 Pages: 66-61 Published: 2008.
4. Barzegar, A. R., Rengasamy, P. and Oades, J. M., 1998, Strength and erodibility of salt effected soil. Soil and water conservation: Challenge and opportunities, Rotterdam, Netherland, And PP: 262-248.
5. Browning, G.M., C.L. Parish and J. Glass. 1947. A method for determining the use and limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. J. Am. Soc. Agron. 73-65:(1)39.

- Landscape Ecology, -577 :15589.
26. PakParvar, M., 1994, Evaluation of Sediment estimate PSIAC and EPM Distribution erosion on the part of the dam Litan, Msc. thesis University of Tehran. Pp126.
 27. Refahi, H., 1999, soil erosion and Control, University of Tehran pub.pp551.
 28. Saadatpour, Motahareh; Afshar, Abbas; Afshar, Mohammad Hadi, 2011, Environmental monitoring and assessment Volume: 180 Issue: 4-1 Pages: 97-385 DOI: 10.1007/s-010-10661 8-1794 Published: -2011Sep (Epub 2010 Dec 02)
 29. Saaty T.L.(1980), "The analytical Hierarchy process", PK mning, rioritymresource Allocation" PWS publications, USA
 30. Selen Deviren; Saygin, Basaran, Mustafa; Ozcan, Ali Ugur; Dolarslan, Melda; Timur, Ozgur Burhan; Yilman, F Ebru; Erpul, Gunay, 2011, Land degradation assessment by geo-spatially modeling different soil erodibility equations in a semi-arid catchment, Environmental monitoring and assessment Volume: 180 Issue: 4-1 Pages: -201 15 DOI: 10.1007/s-1782-010-10661z Published: -2011Sep (Epub 2010 Dec 02)
 31. Shirley, Edward D, and Leonard J. Lane, 1978, A SEDIMENT YIELD EQUATION FROM AN EROSION MODEL, HYDROLOGY AND WATER RESOURCES IN ARIZONA AND THE SOUTHWEST, VOLUME 8. P. -90 96, Proceedings of the 1978 meetings of the Arizona Section of the American Water Resources Association and the Hydrology Section of the Arizona Academy of Science, held in Flagstaff, Arizona, April 15-14.
 32. Sidorchuk, 2009 A. Sidorchuk, A third generation erosion model: the combination of probabilistic and deterministic components, Geomorphology 2009) (2-1) 110), pp. 2-10.
 33. Stocking, M.A. and Elwell, H. A. 1973, Soil erosion hazard in Rhodesia, Rhodesia Agricultural Journal, V. 70, No. 4, pp.101-93
 34. Toy, T. J., Foster, G. R. and Renard, K. G., 2002, soil erosion process, prediction, measurement and control., John wiley and sons, Inc, New York. 338p.
 - Predicting sediment yield from sagebrush range lands, Proceeding of the workshop on Estimating Erosion and Sediment yield on Rangelands, Tucson, Arizona, U. S. Department of Agriculture ARM- W29, pp: -145156.
 16. Lloyd, C.H. and G.W. Eley. 1952, Graphical solution of probable soil loss formula for the Northeastern Region. J. Soil and Water Conserv.7 191-189:(4).
 17. Maleki, M., 2007, Quantitative modeling of water erosion using the qualitative geomorphology model Dam basin geomorphology Latyan, Phd. Thesis of watershed management, Science and Research Branch, Islamic Azad University
 18. Metternich, G., S. Gonzales, 2005, FUERO: Foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction. Environmental Modeling & software, 20, pp: -715728.
 19. Mispolinos, N. D., Silleos, N. G. and prodromou, K. P., 1988, The influence of exchangeable Mg on certain physical soil properties in a number of Mg-affected soils., Catena, Vol. 15, pp: 136-127.
 20. Mohammadkhan, Sh. 2001, Moddling mass movement hazard case study : Talghan drainage basin, Msc. thesis University of Tehran.
 21. Morgan, R. P. C., 1995, Soil Erosion and conservation. John Willey and sons. New York, 198p.
 22. Musgrave, G.W. 1947. The quantitative evaluation of factors in water erosion – a first approximation. J. Soil and Water Conserv. 170 ,138-133:(3)2.
 23. Ni JR (Ni, Jin-Ren), Li XX (Li, Xiu-Xia), Borthwick AGL (Borthwick, A. G. L.), 2008, Soil erosion assessment based on minimum polygons in the Yellow River basin, China, GEOMORPHOLOGY Volume: 93 , Issue: 4-3, Pages: 252-233 , Published: JAN 2008 15
 24. Okaba, B. O., and Sterk, G., 2006, Quantification of visual soil erosion indicators in Gikuure Catchment in the central highlands of Kenya, Geoderma, V. 14, pp: 47-34.
 25. Oost, Van, K., Govers, G., Desmet, P. 2003, Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage,

East of Rocky Mountains. Agricultural Handbook 282, Agricultural Research service, United States Department of Agriculture.

40. Wu Q (Wu, Qiang), Wang MY (Wang, Mingyu), 2007, A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach, JOURNAL OF HYDROLOGY Volume: 337, Issue: 2-1 , Pages: 21-11, Published: APR 2007 15

41. Yoshimatsu H, Abe S, 2006, A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method, LANDSLIDES , Volume: 3 Issue: 2, Pages: 158-149, Published: MAY 2006

42. Ziegler, C Kirk, (2006), Using Mathematical Models to Assess Sediment Stability, Integrated Environmental Assessment and Management, Volume: 2 Issue: 1 Pages: -44 50, Issn: 3793-1551, Article ID:-1551/10.1897 44]2(2006)3793:UMMTAS]2.0.CO2

35. Verstraeten, G. and L. Poesen, J., de Vente, J. and Koniockx, X., 2003, Sediment yield variable in Spain, A quantitative analysis using reservoir sedimentation rates, Geom., V., 50No. 4, PP: 348-327.

36. Walling, D. E. 1988 Measuring sediment yield from river basin. P. 75-39 in: R. Lal(ed) soil erosion research methods. Soil and water conservation society (Ankeny, Iowa) International society of soil science. The Netherlands

37. Williams, J. R., 1975, Sediment-Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor, Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, ARS-S40-, USDA, Agric. Res. Serv., Washington D. C. pp. -244252.

38. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978, predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agr. Res. Serv. Handbook 537.

39. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1965 Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■