Archive of SID

پژوهشهای دانش زمین، سال اول، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، صفحات ۷۳ – ۸۶

برآورد و پهنه بندی فرسایش خاک در حوضه ماملو (شرق تهران) با استفاده از روش های معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

امیر کرم[*1]،آمنه صفریان[2]،شیلا حجه فروش نیا[3]

۱- استادیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت معلم

۲- کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی

۳- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۲۱

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۲/۱۰

چکیده

فرسایش خاک مسئله ای بسیار مهم در اغلب کشورها، بویژه کشورهای در حال توسعه و با اقلیم های خشک ونیمه خشک است. هدررفت خاک، کاهش سطح اراضی زراعی و تولیدات کشاورزی، پرشدن مخازن سدها ، تخریب جنگل و مرتع و مهاجرت روستاییان از جمله تبعات فرسایش خاک است. در این نوشتار با استفاده از دو روش معادله ی اصلاح شده فرسایش جهانی فرسایش خاک و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ، میزان و شدت فرسایش خاک در حوضه ماملو در شرق تهران، برآورد شده است. برای این منظور با استفاده از نقشه های مختلف و تصاویر ماهواره ای و به کارگیری عوامل موثری چون مدل رقومی ارتفاعی، شیب زمین، بارندگی، پوشش زمین، سنگ شناسی و شاخص نرمال شده تمایز پوشش گیاهی، میزان و شدت فرسایش خاک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی برآورد شده است. نقشه ی نهایی برآورد فرسایش به پنج گروه فرسایشی بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیارکم، بازطبقه بندی شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۳ درصد مساحت حوضه دارای شدت فرسایش زیاد و بسیار زیاد است. متوسط فرسایش خاک در سطح حوضه برابر ۱۰/۷ تن در هکتار، در سال تخمین زده شد. در برخی زیرحوضه ها ی جنوبی و غربی مقدار فرسایش خاک حداکثر به ۸۰ تن می رسد، این زیرحوضه ها شرایط بحرانی و حادی را از نظر فرسایش نشان می دهند و با توجه به احداث و آبگیری سد ماملو باید در اولویت اجرای برنامه های حفاظت خاک و آبخیزداری قرار گیرند. نتایج همچنین نشان داد که روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی همراه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، رویه و ابزار توانمندی برای برآورد، نمایش و پهنه بندی میزان فرسایش خاک است. با این وجود برای این منظور، از مدل های جدید تر و کمی تر نیز می توان بهره گرفت.

واژه های کلیدی: فرسایش خاک، معادله ی اصلاح شده ی جهانی فرسایش خاک، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، حوضه ماملو.

---

*تلفن نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۶۶۵۸۲۷۰ E-mail:karam@tmu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فرسایش خاک پدیده ای است که، از دیر باز به صورت طبیعی وجود داشته، اما نرخ و میزان آن از زمان شروع کشاورزی بوسیله انسان افزایش یافته و سپس در قرون اخیر شدت فزاینده ای یافته است. فرسایش خاک نه تنها سبب هدر رفت خاک های باارزش می شود بلکه با کاهش سطوح و بازدهی اراضی زراعی به کاهش تولیدات کشاورزی می انجامد. از سوی دیگر ضعیف شدن خاک، بهره برداران را به سوی اراضی جدید کم بازده، مراتع و جنگل ها سوق می دهد و به این ترتیب مقدمات تخریب مراتع و جنگل ها و تشدید فرسایش در آن اراضی را فراهم می کند. از طرف دیگر پر شدن مخازن سدها از رسوب و وقوع سیلاب از دیگر تبعات فرسایش خاک است که خسارات جانی و مالی بسیاری به همراه دارد. بنابراین مسئله فرسایش خاک، موضوعی بسیار مهم بویژه در کشورهای در حال توسعه و با اقلیم های بیابانی و نیمه بیابانی است که لزوم توجه، بررسی، ارزیابی و برنامه ریزی مستمر و دقیق کارشناسان و سازمانهای ذیربط در این زمینه را یاد آور می شود. بر اساس برآوردهای اولیه در سال ۱۳۵۰، مقدار فرسایش خاک در سطح کشورایران، سالانه حدود یک میلیارد تن بوده است. در ۱۰ سال بعد، مقدار فرسایش خاک در ایران حدود ۱/۵ میلیارد تن در سال برآورد شده است(امیدوار، ۱۳۸۶). در بررسی دیگری در سال ۱۳۷۳ که بوسیله وزارت جهاد کشاورزی انجام شده، میزان فرسایش خاک تنها در ۷۳ میلیون هکتار اراضی کشور برابر ۱/۵۲۸ میلیارد تن بوده است. با توجه به وسعت کل اراضی زراعی کشور(حدود ۱۲۵ میلیون هکتار) مقدار فرسایش خاک معادل ۳/۱۲۵ میلیارد تن در سال برآورد شده است. بنابراین به نظر می رسد طی ۲۳ سال مقدار فرسایش خاک در سطح کشور به بیش از سه برابر افزایش یافته. همچنین برآورد شده که، از کل مساحت کشورحدود ۴۰ درصد دارای فرسایش کم (کمتر از ۱۰ تن در هکتار)، ۲۵ درصد مساحت کشور دارای فرسایش متوسط (۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار در سال)، ۲۳ درصد مساحت کشور دارای فرسایش زیاد(۲۰ تا ۵۰ تن در هکتار در سال) و ۱۲ درصد نیز دارای فرسایش بسیار زیاد (بیش از ۵۰ تن در هکتار در سال) است (امیدوار، ۱۳۸۶). با توجه به توضیحات فوق اهمیت مسئله ی فرسایش خاک در سطح کشور و لزوم مطالعات در این زمینه مشخص می گردد.

عرصه تحقیق یعنی حوضه ی ماملو، با مساحتی حدود ۱۰۸۰ کیلومتر مربع در شرق تهران قرار دارد. ساختار خاص سازندهای رسوبی مستعد در این حوضه به همراه شرایط اقلیمی و پوشش زمین در آن، به گونه ای است که در برخی از زیر حوضه ها شرایط حاد فرسایشی وجود دارد ودر برخی دیگر پتانسیل فرسایش خاک زیاد است، از سویی دیگر بدلیل برنامه ی احداث سد ماملو در این حوضه، لزوم انجام مطالعات برآورد شدت فرسایش خاک و پهنه بندی آن ضروری به نظر می رسد.

تحقیقات اولیه در زمینه فرسایش خاک در ابتدا بوسیله ولنی، میلر و الیسون و عمدتاً در آمریکا صورت گرفته (رفاهی،۱۳۸۲). سپس ویشمایر معادله جهانی فرسایش خاک[1] (USLE) را در سال ۱۹۴۷ ابداع نمود و با توسعه و اصلاح آن معادله بازنگری و اصلاح شده جهانی فرسایش خاک [2] (RUSLE)ارائه گردید. طی سالهای ۱۹۴۷ میلادی تاکنون، مدل ها و روش های متعددی از جمله مدل پسیاک[3] ، مدل دبلیو ایی پی پی[1]

1-Universal Soil Loss Equation (USLE)
2-Rvised Universal Soil Loss Equation(RUSLE)
3- Pacific Southwest Inter-Agency Committee (PSIAC)

www.SID.ir

Archive of SID

(WEPP) و غیره برای برآورد فرسایش خاک ابداع شده است.

کارهای انجام شده در رابطه با برآورد میزان فرسایش خاک با روش RUSLE متعدد است. به عنوان مثال میل وارد و جانت (۱۹۹۹) پتانسیل فرسایش خاک در حوضه های کوهستانی مناطق مداری را با مدل RUSLE مورد بررسی قرار دادند (میل وارد و جانت، ۱۹۹۹). احمد (۲۰۰۰) با به کار گیری مدل RUSLE و رویکرد عضویت فازی، به مطالعه فرسایش خاک پرداختند (احمد ، ۲۰۰۰). آنگیما (۲۰۰۳) با روش RUSLE فرسایش خاک در مناطق مرتفع مرکزی کنیا را برآورد کردند(آنگیما ، ۲۰۰۳). شی (۲۰۰۴) در حوزه های آبخیز کوچک روش RUSLE را به کار گرفتند و فرسایش خاک در سه ناحیه از چین را مورد بررسی قرار دادند (شی ، ۲۰۰۴) ، مارکر (۲۰۰۶) حساسیت زمین به فرسایش در ایتالیا را با روش RUSLE برآورد کردند (مارکر ، ۲۰۰۶). فو (۲۰۰۶) در آمریکا میزان فرسایش و رسوب زدایی را با روش RUSLE مدل سازی کردند (فو ، ۲۰۰۶) و بالاخره نیا کاتاوا (۲۰۰۷) نیز مقدار فرسایش خاک از روش RUSLE را در اراضی کشاورزی تخمین زدند.

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP) نیز گر چه تکنیک نسبتاً جدیدی نیست، اما کاربرد آن در مطالعات فرسایش خاک نسبتاً جدید می باشد و لذا کارهای زیادی در سطح جهان و بویژه ایران در این حیطه انجام نشده است. وانگ و وو (۲۰۰۶) از روش AHP و یکپارچه سازی آن با دیگر تکنیک ها برای برآورد فرسایش خاک استفاده کردند. همچنین مجدداً وو و مینگی یو (۲۰۰۷) در چین از روش AHP برای تخمین شدت فرسایش استفاده کردند. هدف ازپژوهش حاضر، این است که میزان و شدت فرسایش خاک در حوضه ماملو در شرق تهران ازطریق مدل های RUSLE و AHP برآورد گردد و نقشه پهنه بندی شدت فرسایش نیز تهیه گردد. همچنین زیر حوضه های دارای وضعیت بحرانی یا با پتانسیل بالای فرسایش تعیین و معرفی گردند.

معرفی محدوده مورد مطالعه

حوضه ماملو با مساحتی حدود ۱۰۸۰ کیلومترمربع، در استان تهران و شرق کلانشهر تهران (شکل ۱) و در مختصات ۵۱ درجه و۴۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. رودخانه های دماوند و جاجرود از اصلی ترین رودهای این حوضه هستند. مقدار بارش سالانه حوضه از حدود ۲۵۰ میلیمتر در جنوب تا حدود ۹۰۰ میلیمتر در بخش های شمالی متغیر است. نواحی جنوبی دارای اقلیم نیمه خشک سرد و بخش های شمالی و کوهستانی حوضه آب وهوای نیمه مرطوب سرد و کوهستانی دارند.

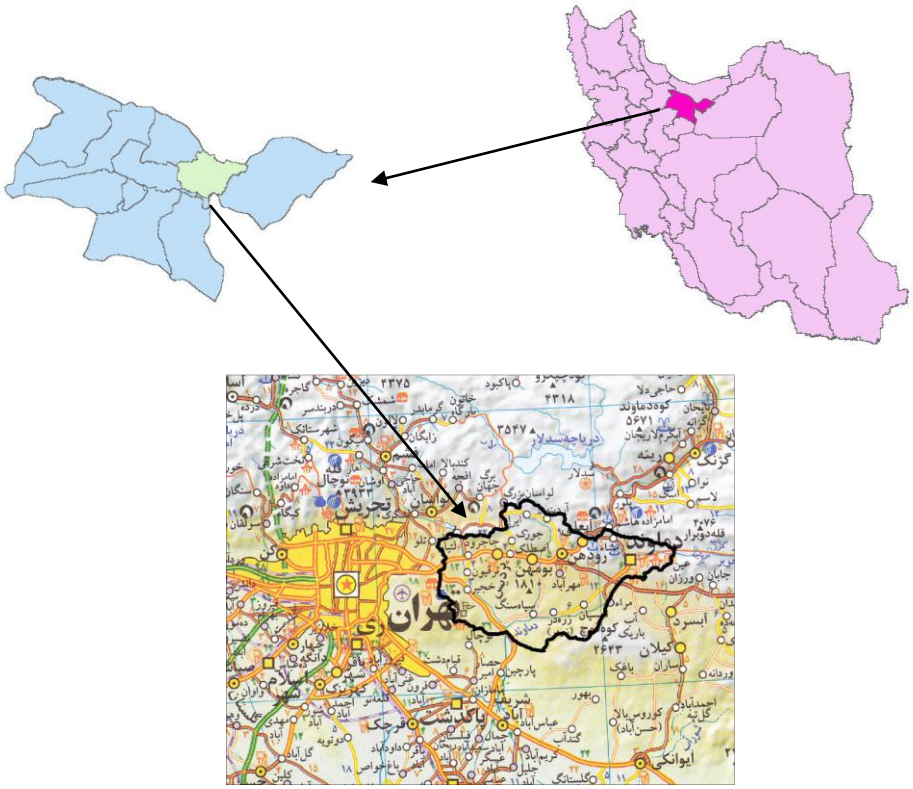
از نظر زمین شناسی بخش اعظم حوضه را سازندهای کرج (توف و سنگهای آذرآواری)، هزاردره (کنگلومرا) و شمشک (شیل و ماسه سنگ) پوشانده اند که حساسیت زیادی به فرسایش دارند. حدود ۸۰ درصد سطح حوضه را مراتع تشکیل می دهند که عمدتا از نوع کم تراکم و نیمه متراکم هستند. شاخص نرمال شده تمایز پوشش گیاهی (NDVI) نشان می دهد که بخش قابل توجهی از حوضه از نظر پوشش گیاهی نسبتا فقیر بوده و لذا پتانسیل فرسایش خاک در آن نسبتا بالاست. این حوضه دارای ۲۳ زیرحوضه می باشد (شکل ۲). با توجه به تفسیر تصاویر ماهواره ای و مشاهدات میدانی، اصلی ترین اشکال

1- Water Erosion Prediction Project (WEPP)
2- Analytic Hierarchical Process

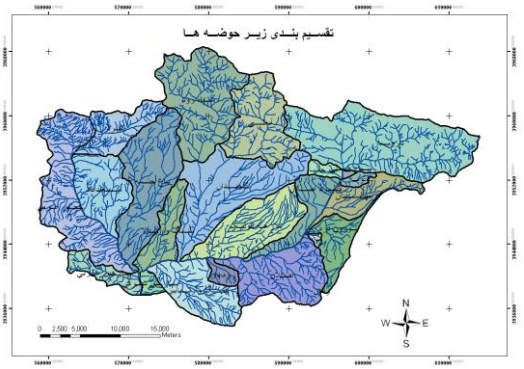
www.SID.ir

Archive of SID

فرسایشی در حوضه شامل فرسایش سطحی، شیاری، هزاردره و فرسایش کنار رودخانه ای هستند که عمدتا در سازندهای کرج، هزاردره، قرمز فوقانی، شمشک و آبرفت ها دیده می شوند.



شکل ۱- موقعیت حوضه ماملودرایران ،استان تهران ونسبت به شهر تهران



شکل ۲- نقشه موقعیت و تقسیم بندی زیرحوضه های ماملو

روش مطالعه

در تحقیق حاضر علاوه برمشاهدات میدانی و بررسی های کتابخانه ای در زمینه ادبیات موضوع و ویژگی های طبیعی حوضه، از نقشه ها و تصاویر زیر نیز استفاده شده است.

۱ -نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ حوضه (سازمان جغرافیایی ارتش).

www.SID.ir

Archive of SID

۲ -نقشه ها ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حوضه (سازمان زمین شناسی کشور).
۳ -نقشه ی واحدهای ارضی و منابع طبیعی استان تهران در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (وزارت جهادکشاورزی).
۴ -تصویر ماهواره ای ETM منطقه (شکل ۳) مربوط به سال ۲۰۰۵ میلادی (سازمان فضایی کشور).
۵ -تصویر ماهوارهای PAN منطقه مربوط به سال ۲۰۰۶ میلادی (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح).

جهت بررسی های اقلیمی از داده های هواشناسی شش ایستگاه آبعلی، پلور، لواسان، لتیان، ماملو و یوسف آباد برای یک دوره ی آماری ۳۰ ساله (۱۳۸۰- ۱۳۵۰) استفاده شد.

همچنانکه پیشتر ذکر شد، برای برآورد و پهنه بندی فرسایش خاک از دو مدل RUSLE و AHP استفاده گردید، لذا فاکتورهای مورد نیاز هر مدل در قالب لایه های نقشه ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] ایجاد گردید. بدین منظور ابتدا داده های هر لایه نقشه ای با فرمت برداری و مختصات UTM در نرم افزار ARCGIS نسخه ۹/۲ رقومی گردید و سپس به فرمت رستر با اندازه پیکسل ۳۰×۳۰ متر تبدیل شد. عملیات بعدی شامل طبقه بندی و یا استخراج نقشه های دیگر از نقشه های اولیه بود. با استفاده از لایه توپوگرافی حوضه، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) حوضه تهیه شد و نقشه ی کاربری/ پوشش زمین نیز پس از ژئورفرنس کردن تصاویر ماهواره ای (شکل ۳) و با استفاده از آنها و روش بصری تهیه گردید. همچنانکه ذکر گردید، در این نوشتار از دو مدل RUSLE و AHP برای برآورد میزان و شدت فرسایش استفاده شده است.

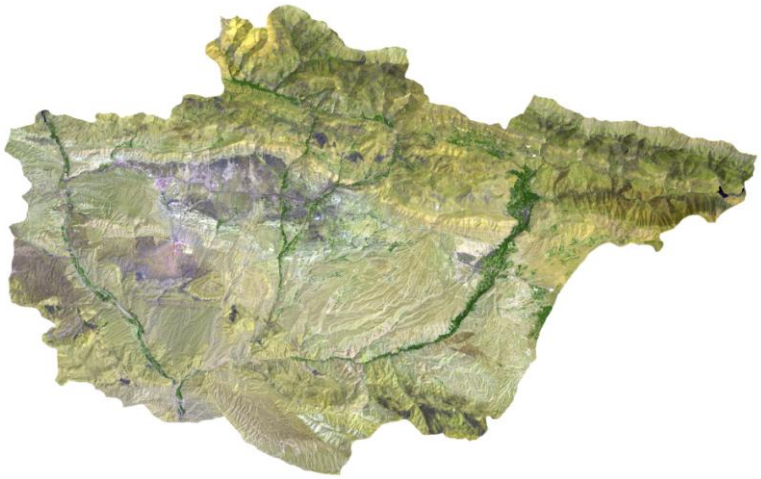
در مدل RUSLE پس از تهیه لایه های نقشه ای مورد نیاز (فرسایندگی باران، فرسایش پذیری خاک، طول شیب، مدیریت پوشش گیاهی) با استفاده از عملیات همپوشانی و جمع جبری، نقشه نهایی میزان فرسایش حاصل گردید. در روش AHP نیز از پنج معیار سنگ شناسی، شیب، بارش سالانه، پوشش زمین و شاخص نرمال شده تمایز پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. پس از باز طبقه بندی و امتیاز دهی به هر کلاس در هر معیار، عملیات محاسبه وزن های معیارها در محیط نرم افزار Expert Choice انجام و سپس وزن های نهایی در نقشه های معیار اعمال و با عملیات همپوشانی و جمع جبری، نقشه نهایی شدت فرسایش حاصل گردید. در هر دو روش نقشه های نهایی به روش شکستگی های طبیعی[2] به پنج کلاس فرسایش بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم، باز طبقه بندی شدند. برای ارزیابی رابطه شدت فرسایش با برخی متغیرها نیز از روش تحلیل جداول متقاطع[3] استفاده شد.

1- Geographic Information System (GIS)

2- Natural Breaks
3- Cross Tables

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- تصویر ماهواره ای لندست حوضه ماملو

الف) روش معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE)

معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک با استفاده از چهار فاکتور و رابطه ی ۱ مقدار فرسایش خاک را به صورت کمی برآورد می کند (امیدوار، ۱۳۸۶).

رابطه (۱) $E = R.K.LS.Vm$

در رابطه فوق E ، میزان فرسایش (تن در هکتار در سال)، R شاخص فرسایندگی باران ، K شاخص فرسایش فرسایش پذیری خاک، LS شاخص طول شیب و Vm شاخص مدیریت پوشش گیاهی است.

شاخص فرسایندگی باران(R) از رابطه ۲ حاصل می گردد (امیدوار، ۱۳۸۶).

رابطه(۲) $R = k_1 .a.b.c .k_2$

در رابطه ۲ نیز:

k_1 ، ضریب ثابت بین ۰/۵ تا ۱/۵ و برای ایران حدود ۰/۹ .

K_2، ضریب مربوط به اقلیم بین ۲۵ تا ۵۰ و برای شرایط ایران حدود ۳۵ .

a ، مجموع بارش سالانه در حوضه(سانتی متر).

b ،بارش ۲۴ ساعته حوضه با دوره بازگشت ۲ ساله (سانتیمتر).

C ، بارش یک ساعته حوضه با دوره ی بازگشت ۲ ساله (سانتی متر) است.

با توجه رابطه ۲ شاخص فرسایندگی باران در حوضه محاسبه و نقشه آن تهیه گردید (شکل ۴).

شاخص فرسایش پذیری خاک(K) با توجه به نوع خاکها و جدول استاندارد، میزان K تعیین شد (رفاهی،۱۳۸۲). با توجه به فقدان نقشه های تفصیلی خاک در محدوده مورد مطالعه، شاخص مورد نظر از طریق نقشه واحدهای ارضی منطقه تهیه گردید (شکل ۵).

شاخص LS یا طول شیب از رابطه ۳ بدست آمد(امیدوار، ۱۳۸۶).

رابطه (۳)

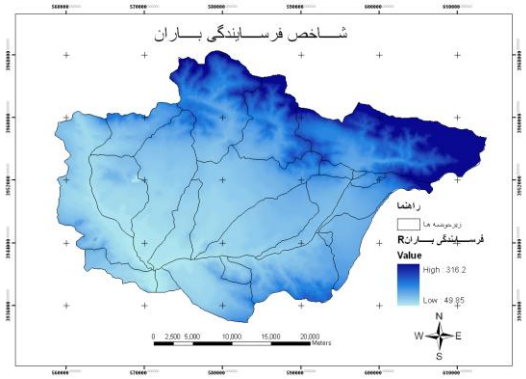
$$LS = \sqrt{\lambda(0.0076 + 0.0053S + 0.00076S^2)}$$

در رابطه فوق λ متوسط طول شیب (متر) وS میزان شیب به درصد است. با توجه به توضیحات فوق، شاخص LS نیز برای حوضه محاسبه و نقشه آن تهیه گردید (شکل ۶). شاخص Vm یا مدیریت پوشش گیاهی از طریق درصد تاج پوششی، نوع پوشش و کاربری زمین تعیین می شود و برای برآورد آن از جداول استاندارد سرویس حفاظت خاک ایالات متحده استفاده شد (

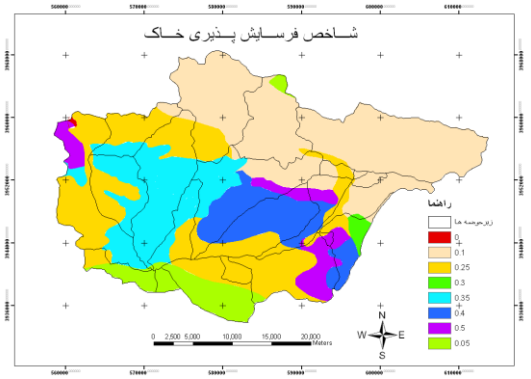
www.SID.ir

Archive of SID

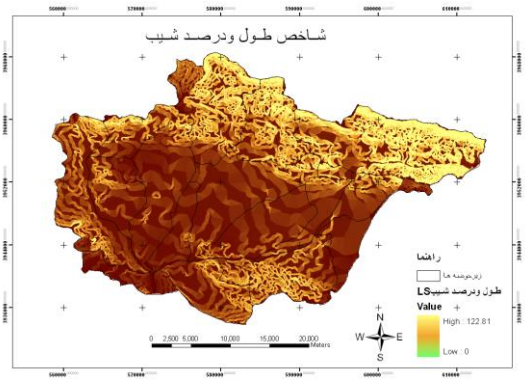
امیدوار، ۱۳۸۶). مقادیر شاخصVm نیز برای حوضه تعیین و شکل ۷ تهیه گردید. پس از تهیه نقشه های چهار شاخص مذکور با توجه به رابطه ۱، با عملیات جمع جبری و همپوشانی در سیستم GIS، مقدارفرسایش خاک در روش RUSLE برآورد شد.



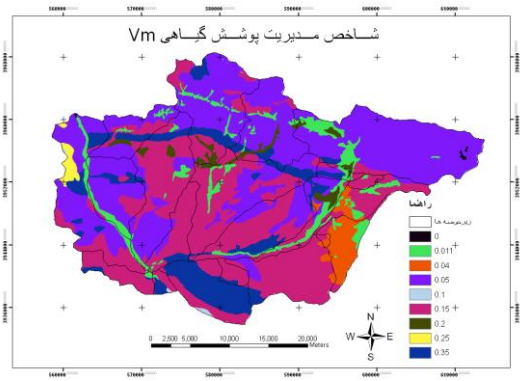
شکل ۴- شاخص فرسایندگی باران



شکل ۵- شاخص فرسایش پذیری خاک



شکل ۶- شاخص طول شیب



شکل ۷- شاخص مدیریت پوشش گیاهی

ب) فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) یکی از روشهای تصمیم گیری و اولویت بندی با معیارهای چندگانه است که توسط ساعتی (۱۹۸۰)ابداع شد. این روش با استفاده از مقایسات زوجی بین معیارها و دیدگاه قضاوتی محقق یا محققان، وزن و اهمیت هر یک از معیارها را برای یک هدف مشخص معین کرده و نهایتاً آلترناتیوها یا گزینه ها را رتبه بندی و اولویت بندی می کند.

این روش شامل سه مرحله ی اصلی به شرح زیر است :

۱ -ساختن سلسله مراتب

اولین گام ترسیم یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در آن هدف، معیارهای مناسب برای دستیابی به هدف و گزینه های موردنظر نشان داده شود. در واقع در این مرحله سطوح مختلف تحلیل به صورت سلسله مراتبی و گرافیکی به تصویر کشیده می شوند. در سطح اول هدف قرار دارد که در پژوهش حاضر تعیین شدت فرسایش

www.SID.ir

Archive of SID

خاک است. در سطح دوم، معیارها یا سنجه هایی که می توان با آنها به هدف مورد نظر دست یافت، مشخص می شوند. در این نوشتار برای رسیدن به هدف مورد نظر از ۵ معیار طبیعی استفاده شده است. در سطح سوم کیفیت فرسایش خاک مشخص شده و لذا سطح زمین از نظر شدت فرسایش به پنج رده یا طبقه (از فرسایش بسیار زیاد تا بسیار کم) تقسیم شده است. بالاخره در سطح چهارم گزینه ها یا آلترناتیوها قرار دارند که در بررسی حاضر شامل کوچکترین واحدهای نقشه ای یعنی پیکسل ها هستند. شکل ۸ نمایش گرافیکی و نمودارسلسله مراتب در روشAHP را نشان می دهد. به عبارت دیگر با اجرای این روش با توجه به هدف و معیارها، یکی از گروههای پنج گانه شدت فرسایش خاک به هریک از پیکسل ها تعلق خواهد گرفت و برونداد روش، نقشه ای است که شدت فرسایش خاک (پیکسل ها) را در پنج طبقه نشان می دهد.

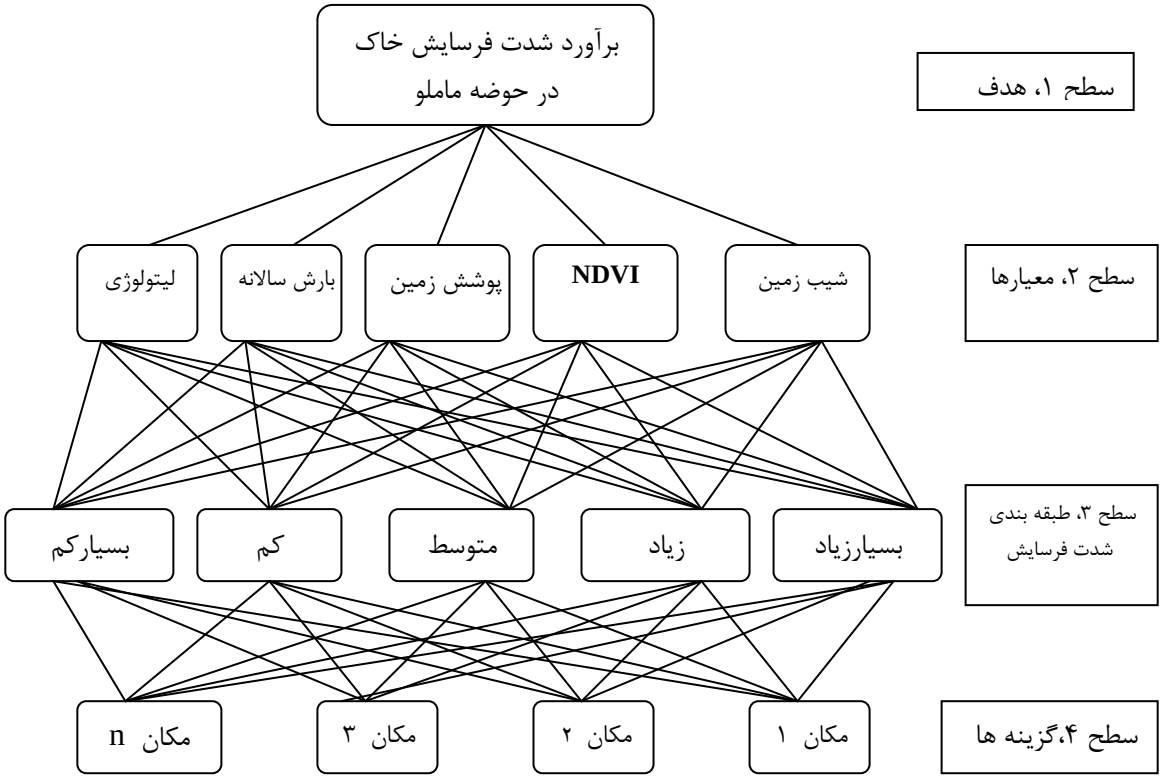
۲ -مقایسه زوجی و وزن دهی

در AHP عناصر هر سطح نسبت به یکدیگر به صورت زوجی (دوبه دویی) مقایسه شده و وزن دهی می شوند. مقایسه و وزن دهی به عناصر در یک ماتریس K×K ثبت می شودکه در آن K تعداد معیارها در هر سطح می باشد (در این بررسی یک ماتریس ۵×۵ برای سطح ۲ مقایسه زوجی به صورت ارزش گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون صورت می گیرد و برای ارزش گذاری نیز معمولا از یک مقیاس فاصله ای از ۱ تا ۹ استفاده می شود. هر چه مقدار ارزش داده شده بیشتر باشد نشان دهنده اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطری نسبت به عنصر ستونی است. به طوریکه ارزش ۹ بیانگر کاملا مرجح یا کاملا مهم تر و ارزش یک بیا نگر با ارجحیت و اهمیت یکسان است (جدول۱). لازم به ذکر است که ماتریس مقایسه زوجی یک ماتریس معکوس است بدین معنی که اگر ارزش مقایسه ای عنصر سطری a نسبت به عنصر ستونی b ، معادل ۵ باشد، ارزش مقایسه ای عنصر سطری b نسبت به عنصر ستونی a برابر ۵÷۱خواهد بود. با توجه به این توضیحات، جدول ۲ ماتریس ارزش گذاری و وزن دهی به معیار های پنج گا نه در پژوهش حاضر را نشان می دهد.

وزن های نسبی هر یک از معیار ها در ستون آخر جدول ۲ درج شده و مجموع آنها برابر یک است. همچنا نکه در جدول ۲ مشهود است، بیشترین اهمیت و وزن به ترتیب مربوط به، پوشش زمین، شاخص تمایز نرمال شده پوشش گیاهی و بارش سالانه است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- ساختار سلسله مراتبی برای برآورد شدت فرسایش خاک در حوضه ماملو

۳- محاسبه نرخ سازگاری[1] (CR)

نرخ سازگاری در روش AHP شاخصی است که سازگاری مقایسه ها را نشان می دهد. این نرخ گویای درجه ی صحت و دقت ارزش گذاری ها در مقایسات زوجی است، چنانچه نرخ مذکور برابر و کمتر از ۰/۱ باشد می توان ارزش گذاری ها و مقایسات را خوب و صحیح دانست، در غیر این صورت ارزش گذاری زوجی باید دوباره انجام گرفته یا اصلاح شود. نرخ سازگاری از طریق محاسبه ی شاخص سازگاری[2] (CI) و رابطه زیر حاصل می شود :

رابطه (۴) $CI= \Sigma\lambda max-n / n-1$

در رابطه ۴، λmax عنصر بردار ویژه و n تعداد معیارهاست. عنصر بردار ویژه نیز از رابطه زیر بدست می آید:

رابطه (۵) وزن معیار/ سطر

ماتریس ارزش گذاری×ستون وزن ها = λmax

λmax باید به تعداد معیارها و برای همه آنها محاسبه شده و سپس از مجموع آنها در رابطه ۴، CI حاصل می گردد. شاخص دیگر مورد نیاز شاخص تصادفی[3] (RI) است که متناسب با تعداد معیار ها از جدول ۳ بدست می آید و نهایتا نرخ سازگاری از رابطه ۶ محاسبه می شود.

رابطه (۶) $CR = CI/ RI$

1- Consistency Rate
2- Consistency Index
3 - Random Index

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نحوه ی ارزش گذاری ارجحیت در ماتریس مقایسه زوجی(قدسی پور ،۱۳۸۱)

مقدار ارزش (امتیاز)	درجه ی اهمیت در مقایسه ی زوجی
۱	با اهمیت و ارجحیت یکسان
۳	کمی مرجح یا کمی مهم تر
۵	ارجحیت زیاد
۷	ارجحیت خیلی زیاد
۹	کاملا مرجح یا کاملا مهم تر

*ارقام مابین امتیاز های فوق، ارزش بینابینی دارند.

جدول ۲- ماتریس ارزش گذاری معیار ها در سطح ۲

معیارها	شیب	لیتولوژی	پوشش زمین	NDVI	بارش سالانه	وزن نهایی
شیب	۱	۳	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۸۳
لیتولوژی	۰/۳۳	۱	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۴۱۳
پوشش زمین	۵	۷	۱	۳	۳	۰/۴۵۷۸
NDVI	۳	۵	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۵۵۹
بارش سالانه	۳	۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۱۶۲۱

با توجه بـه جـدول ۳ مقـدار (RI) معـادل ۱/۴۵ اسـت و CR نیـز از رابطـه بـالا و اسـتفاده از محاسبات نـرم افـزار Expert Choice برابـر ۰/۰۶ می باشد.

جدول ۳- شاخص تصادفی (RI) برای تعداد معیارهای مختلف(قدسی پور ،۱۳۸۱)

تعداد معیار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

در روش ای اچ پی، پس از مشخص شدن وزن هـر معیار یا وزن نهائی، وزن ها در لایه های نقشـه ای معیارها اعمال و ضرب می شود. البتـه قبـل از آن، لایه های نقشه ای معیار ابتدا طبقه بنـدی شـده و به هر طبقه از هر نقشـه، در رابطـه بـا حساسـیت نسـبت بـه فرسـایش امتیـازی از صـفر (کمتـرین حساسیت) تـا ۱۰ (بیشـترین حساسـیت) تعلـق می گیرد و سپس وزن های حاصل از اعمـال روش ای اچ پی در این امتیاز ضرب می شود، در نتیجـه برای هر پیکسل (واحد نقشه ای)در هر لایه نقشـه ای یک ارزش کمی بدست می آید. در نهایت همه لایه های نقشـه امتیـازدار و وزن دار شـده بـا هـم جمع جبری شده و نقشه خروجی نقشـه ای اسـت که امتیاز کل هر پیکسل را در رابطه با حساسـیت نسبت بـه فرسـایش نشـان مـی دهـد، ارقـام بـالا

www.SID.ir

Archive of SID

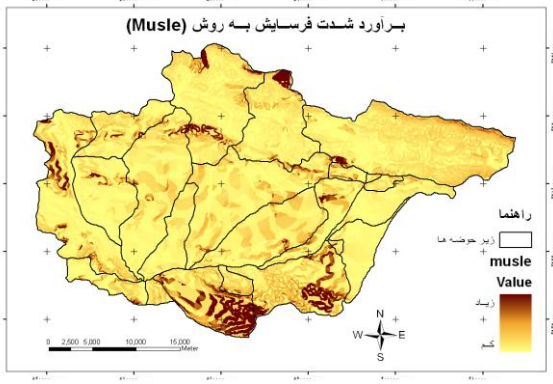
بیشترین شدت فرسایش و ارقام پایین، کمترین شدت به فرسایش را نشان می دهند.

نتایج تحقیق

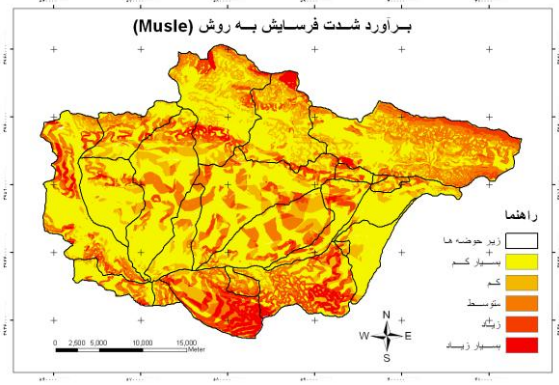
همچنانکه پیشتر ذکر شد. پس از تهیه لایه های نقشه ای موردنیاز با توجه به رابطه ۱ در مدل RUSLE و جمع جبری آنها ، نقشه نهائی حاصل گردید که برآورد میزان فرسایش خاک درسطح حوضه را نشان می دهد (شکل ۹). با روش مذکور مقدار متوسط فرسایش خاک در حوضه معادل ۱۰/۷ تن و حداکثر آن برابر ۸۰ تن در هکتار در سال برآورد گردید. لازم به ذکر است که مطالعات طرح جامع آبخیزداری حوزه دماوند، میانگین فرسایش خاک در زیرحوضه های مختلف شرق و مرکز محدوده مطالعاتی را باروش پسیاک، بین ۳ تا ۶ تن در هکتار در سال محاسبه کرده است (طرح جامع آبخیزداری حوزه دماوند، ۱۳۷۰).

نقشه نهائی برآورد فرسایش خاک سپس به پنج طبقه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم فرسایشی باز طبقه بندی شد (شکل ۱۰ و جدول ۴). بر اساس جدول ۴ ، حدود ۱۳/۵ درصد از مساحت حوضه دارای فرسایش زیاد و بسیار زیاد است که عمدتا در بخش های جنوبی، غربی، شمالی و محدوده نواری شکل در مرکز حوضه قراردارند. همچنین از کل مساحت حوضه ۳۱/۵ درصد دارای فرسایش متوسط تا بسیار زیاد است.

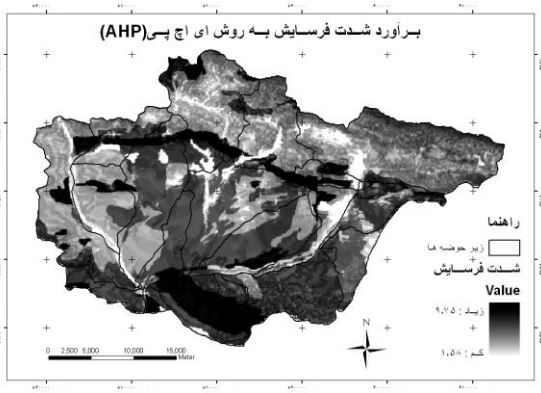
با اجرای روش ای اچ پی با توجه به نقشه های معیار پنجگانه نیز نقشه برآورد شدت فرسایش حاصل آمد که کیفیت شدت فرسایش خاک در سطح حوضه را نشان می دهد(شکل ۱۱). این نقشه سپس از روش شکستگی های طبیعی به پنج طبقه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم فرسایشی باز طبقه بندی شد (شکل ۱۲).



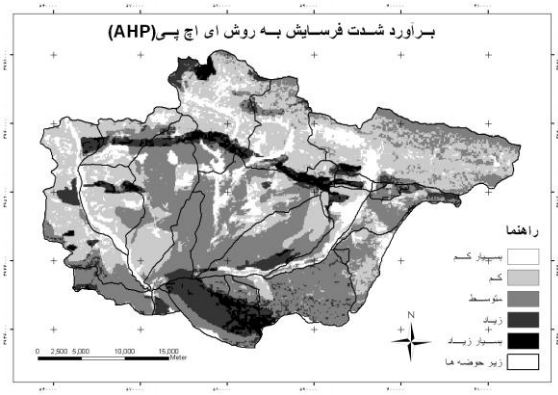
شکل ۹- برآورد میزان فرسایش خاک درسطح حوضه به روش RUSLE



شکل ۱۰- بازطبقه بندی میزان فرسایش خاک درسطح حوضه به روش RUSLE



شکل ۱۱ - برآورد شدت فرسایش خاک درسطح حوضه به روش AHP



شکل ۱۲- بازطبقه بندی برآورد فرسایش خاک درسطح حوضه به روش AHP

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۴- برآورد میزان فرسایش خاک به روش RUSLE در حوضه ماملو

طبقات شدت فرسایش	مقدار فرسایش (تن در هکتار درسال)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
بسیار کم	۵- ۰	۵۴۵۶۴	۵۰/۴۲
کم	۱۰ -۵	۱۹۲۳۳	۱۷/۷۷
متوسط	۲۰-۱۰	۱۹۷۶۸	۱۸/۲۶
زیاد	۵۰-۲۰	۱۰۱۴۴	۹/۳۷
بسیار زیاد	بیشتر از ۵۰	۴۵۱۴	۴/۱۸
مجموع	-	۱۰۸۲۲۳	۱۰۰

بر این اساس حدود ۱۳درصد از مساحت حوضه در روش ای اچ پی دارای فرسایش زیاد و بسیار زیاد است که عمدتا در بخش های جنوبی، شمالی و به صورت نوار باریکی در مرکزحوضه دیده می شوند. همچنین در مجموع حدود ۵۰ درصد از مساحت حوضه شدت فرسایش خاکی از متوسط تا بسیار زیاد دارد. جدول ۵ برآورد میزان فرسایش خاک به روش AHP در حوضه ماملو را نشان می دهد.

جدول۵- برآورد میزان فرسایش خاک به روش AHP در حوضه ماملو

طبقات شدت فرسایش	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
بسیار کم	۱۲۹۸۷	۱۲
کم	۴۰۶۴۲	۳۷/۵
متوسط	۴۰۲۷۰	۳۷/۲
زیاد	۱۰۲۸۹	۹/۵۱
بسیار زیاد	۴۰۲۶	۳/۷۹
مجموع	۱۰۸۲۲۳	۱۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

با توجه به مقدار برآورد شده فرسایش خاک در سطح حوضه یعنی متوسط حدود۱۱تن در هکتار در سال می توان گفت که شدت فرسایش در سطح حوضه ماملو نسبتا زیاد و در برخی نواحی بحرانی است. لذا لزوم توجه به مسئله فرسایش خاک، انجام مطالعات جامع آبخیزداری و اجرای روش های حفاظت خاک و آبخیز داری در سطح حوضه و بویژه در زیرحوضه های دارای شرایط بحرانی بسیار ضروری است.

این مسئله در کنار احداث و آبگیری سد ماملو در جنوب حوضه اهمیتی دو چندان می یابد. مقایسه نقشه های برآورد فرسایش خاک با نقشه زیر حوضه ها نشان می دهد که زیر حوضه های جنوبی (پلنگ واز پائین، پارچین شرقی) و زیرحوضه ی سیاه رود در شمال حوضه فرسایش نسبتا زیادی دارند. همچنین زیر حوضه های گلخندان، سعید آباد، کمراد، خجیر غربی، باغ چشمه و سرحال نیز نسبت به سایر زیر حوضه ها از فرسایش بیشتری برخوردارند و باید در اولویت اجرای برنامه های مطالعاتی، حفا ظتی و آبخیزداری قرار گیرند.

تحلیل جداول متقاطع بین نقشه های نهائی شدت فرسایش خاک و جنس زمین نشان داد که بیشترین مساحت سطوح با فرسایش زیاد و بسیار زیاد به ترتیب در سازند های کرج، خرم دره، قرمز بالائی و آبرفت تهران وجود دارد که در واقع سازند هایی حساس به فرسایش هستند. مشاهدات میدانی و بررسی تصویر ماهواره ای نیز گویای آن است که در نواحی دارای سازندهای مذکور شواهد فرسایش شیاری، هزار دره و سطحی به وضوح قابل مشاهده است. بررسی جدول متقاطع میزان فرسایش (درهر دو روش) با لایه نقشه ای شاخص NDVI نشان داد که تقریبا تمام نواحی دارای فرسایش زیاد و بسیار زیاد، در دو طبقه با شاخص NDVI بسیار کم و کم (یعنی نواحی با پوشش گیاهی بسیار ضعیف) قرار دارد.

مقایسه دو نقشه برآوردی نشان می دهد که در هر دو مدل سطوح برآورد شده مربوط به نواحی با فرسایش زیاد و بسیار زیاد تقریبا معادل هم و برابر ۱۳ درصد مساحت حوضه است. اما مسلما پراکنش آنها به دلیل تفاوت در روش شناسی و تعداد و نوع متغیرها نمی تواند کاملا با هم یکسان باشد. با این وجود وجوه مشترک فضائی در آنها بویژه در بخش های جنوبی و مرکزی حوضه قابل مشاهده است.

مقایسه بصری تصویر ماهواره ای حوضه با نقشه های نهائی در دو روش برآورد میزان فرسایش گویای آن است که به لحاظ پراکنش فضائی، روش ای اچ پی همخوانی و دقت بیشتری در برآورد شدت فرسایش داشته است. زیرا بخش قابل توجهی از نواحی دارای پتانسیل فرسایش زیاد و بسیار زیاد در نقشه ی حاصل از روش ای اچ پی، دقیقا منطبق بر نواحی موجود دارای فرسایش زیاد هستند. برای پیش بینی و برآورد میزان و شدت فرسایش خاک علاوه بر روش های اشاره شده و استفاده شده در این تحقیق می توان از روش های دیگری چون منطق فازی[۱] ، شبکه های عصبی مصنوعی[۲] ، شبکه های فازی – عصبی[۳] و مدل دبلیو ایی ایی پی نیز در مطالعات آتی بهره گرفت.

۱- Fuzzy Logic
۲- Artificial Neural networks
۳- Fuzzy- Neural networks

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

- امیدوار، ک.، ۱۳۸۶. مقدمه ای بر آبخیزداری، انتشارات دانشگاه یزد.چاپ اول، یزد، ۳۵۴ صفحه.

- رفاهی ، ح.ق.، ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تهران، ۳۱۵ صفحه.

- طرح جامع آبخیزداری حوزه دماوند،۱۳۷۰. جلد ۱۸، گزارش تلفیق، وزارت جهاد، سازمان جهاد سازندگی تهران.

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.، ۱۳۵۳ . نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه.

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.، ۲۰۰۶ . تصویر ماهواره ای PAN منطقه.

- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.، ۱۳۸۲ . نقشه های زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه.

- سازمان فضایی کشور.، ۲۰۰۵. تصویر ماهواره ای ETM لندست منطقه.

- سازمان هواشناسی کشور.، ۱۳۸۰ . - داده های هواشناسی سالهای (۱۳۸۰- ۱۳۵۰) ایستگاه های منطقه .

- قدسی پور، ح. ، ۱۳۸۱. مباحثی در تصمیم گیری چندمعیاره: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم، تهران، ۳۲۶ صفحه.

- موسسه تحقیقات آب وخاک کشور.، ۱۳۷۵ . .نقشه ی واحدهای ارضی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استان تهران .

- Ahmed, T., 2000. "Fuzzy class membership approach to soil modeling". Agricultural Systems, v. 63, p.97-110.

- Angima , S., 2003."Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions" .Agriculture, Ecosystems and Environment". v.97, p. 295-308.

- Fu, G ., 2006."Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD and Arc View GIS" .soil and Tillage Research, v.85, p.38-49.

- Marker, M ., 2006."Assessment of land degradation susceptibility by scenario analysis: a case study in Southern Tuscany, Italy".Geomorphology. v.93, p. 120-129.

- Millward , A.A., and Janet. E.M.,1999." Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed", CATENA, v.38, p.109-129.

- Nykatawa , E.Z., 2007. "Soil erosion estimation in conservation tillage systems with poultry litter application using RUSLE model". Soil and Tillage Research, v.94, p.410-419.

- Saaty, T.L., 1980. "The Analytical Hierarchy Process, Planning Priority, Resource Allocation". RWS Publications, USA.

- Shi,Z., 2004. " Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the three Gorge Area of China".CATENA, v.55, p.33-48.

- Wang,M ., and Wu,Q., 2006. "A framework for establishment of risk assessments model for soil erosion by Integrating the AHP approach and modeling techniques". American Geophysical Union, Fall Meeting.

- Wu,Q., and Mingyu.W., 2007."A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach". Hydrology, v.337, p. 11-21.

www.SID.ir