جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۱۰، بهار ۱۳۹۳
صص. ۸۲-۷۳

مقایسهٔ برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در حوضه‌های آبریز با تأکید بر متغیّرهای تأثیرگذار در حوضه (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز رضی)

هدیه شیرزادی* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز
مهدی مزبانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز
حدیث مرادی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

وصول: ۱۳۹۲/۰۸/۰۴ **پذیرش:** ۱۳۹۲/۱۱/۲۸

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی و کارآیی مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد رسوب، حوضهٔ آبریز رضی که با توپوگرافی کمپلکس و تنوّع شرایط اقلیمی، سنگ مادر و پوشش گیاهی به عنوان منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب شده است. بخشی از داده‌های مورد نیاز مدل‌ها از طریق مطالعات آزمایشگاهی، صحرایی و بخش دیگر نتایج (نقشه و گزارش‌های) مطالعهٔ جامع از منطقه که قبلاً به عمل آمده، تأمین شده بود. نقشه‌ها به وسیلهٔ میز رقومی‌ساز و سایر داده‌ها وارد رایانه شده و کلّیّهٔ اصلاحات و تغییرات و تبدیلات لازم، به کمک سیستم اطّلاعات جغرافیا انجام شد. بر اساس روشی که در شرح مدل‌های مذکور آمده است، همهٔ لایه‌های اطّلاعاتی مورد نیاز آنها از داده‌های رقومی‌شدهٔ موجود در رایانه و به کمک سیستم اطّلاعات جغرافیا تهیّه گردید. در این پژوهش، پس از رقومی‌سازی خطوط تراز ۱۰۰ متری، مدل رقومی ارتفاع تهیّه و از آن برای تهیّهٔ نقشهٔ شیب و انجام برخی محاسبات، استفاده شده است. در ادامه با استفاده از توانایی سیستم اطّلاعات جغرافیا و بر اساس ساختار هر مدل، عملیات محاسباتی و پردازشی مورد نیاز جهت تعیین رسوب و تهیّهٔ نقشه‌های مربوطه انجام پذیرفت. نتایج به دست آمده در مورد مدل MPSIAC نشان می‌دهد. این مدل شدّت متوسّط ۹۸٪ رسوب مشاهده‌ای برآورد نموده است. این در حالی است که مدل EPM تنها با ۶۹٪ رسوب مشاهده‌ای حوضه را محاسبه نموده است. بر اساس نتایج مدل‌ها، طبقهٔ ۲ بیشترین فرسایش و طبقهٔ ۳ بیشترین رسوب سطح حوضه را می‌پوشاند.

***واژگان کلیدی:** حوضهٔ رضی، فرسایش، رسوب، مدل، EPM، MPSIAC.*

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۸۶۲۱۶۱۴۷
E-mail: eng.shirzady@yahoo.com

مقدّمه

زمین از بدو پیدایش، در اثر نیروهای درونی و بیرونی دائماً در حال تحوّل و دگرگونی بوده است (رجایی، ۱۳۷۳: ۱۱). یکی از عواملی که موجب تغییر و تحوّل در نقاط مختلف زمین شده پدیدهٔ فرسایش می‌باشد که امروزه در تمام جهان به عنوان خطری برای رفاه بشر و بلکه حیات او شناخته شده است. امروزه تعیین بار رسوبی حوضه‌ها برای استفاده در طرح‌های توسعهٔ عمرانی - اقتصادی یک ضرورت است. معمولاً سیستم رسوب‌دهی یک حوضه بسیار پیچیده و در عین حال دارای تغییرپذیری زمانی و مکانی است و همچنان به منزلهٔ یک چالش بزرگ پیش روی محقّقان در این زمینه باقی مانده است (هسو[1] و همکاران، ۲۰۱۲). اگرچه واژهٔ فرسایش در قرن نوزدهم برای عموم شناخته شده بود، امّا فرسایش خاک بعداً وارد فرهنگ واژگان شد و در قرن بیستم مورد استفادهٔ عمومی قرار گرفت (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۳). از لحاظ ژئومورفولوژی، حصارهای کوهستانی، محیط شکل‌زایی در سرزمین ایران را پرانرژی ساخته و در نتیجه به قدرت فرایندهای فرسایشی در این سرزمین افزوده‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۸۸: ۱۶) در ژئومورفولوژی از فرسایش به عنوان یک فرایند نام برده می‌شود (شایان و زارع، ۱۳۹۰). فرایند فرسایش شامل سه مرحلهٔ برداشت، حمل و رسوب‌گذاری است (میر[2] و همکاران، ۱۹۶۹). به طور کلّی فرسایش فرایندی است که طی آن ذرّات خاک از بستر اصلی خود جابه‌جا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شوند. در صورتی که عامل جداکنندهٔ ذرّات از بستر و انتقال آنها به مکانی دیگر با آب باشد، به آن فرسایش آبی گفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۰). فرسایش، به‌ویژه فرسایش خاک توسّط آب، یکی از مسائل مهم و اصلی تخریب منابع زیست‌محیطی، کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش ظرفیت آبگیری مخزن سدها قلمداد می‌شود. امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح ایران می‌توان یافت که در معرض فرسایش قرار نگرفته باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). فرسایش خاک به طور مستقیم و غیر مستقیم منابع پایهٔ آب‌وخاک را تهدید می‌کند، اثرات مستقیم بر روی اراضی زراعی، توزیع مجدّد، جابه‌جایی خاک و فروپاشی ساختار خاک را به دنبال دارد، تنزّل موادّ آلی و موادّ مغذّی به کاهش عمق خاک قابل کشت و کاهش بهره‌وری خاک منجر می‌شود و همچنین فرسایش، رطوبت خاک در دسترس را پایین آورده و به شرایط مستعدّ خشکی منجر می‌شود (مرگان[3]، ۱۹۹۵) اثرات غیر مستقیم که از عملیات رسوب‌گذاری یا وزش باد به وجود می‌آیند ظرفیت رودخانه‌ها و مسیرهای زهکشی را کاهش و خطر طغیان را افزایش، کانال‌های آبیاری را مسدود می‌کنند و عمر مفید مخازن را کاهش می‌دهند (عسگری، ۱۳۸۶). هر ساله بالغ بر ۲۰ تا ۵۲ میلیارد تن رسوب توسّط رودخانه‌های جهان انتقال می‌یابد و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌شود (مهدوی، ۱۳۸۴: ۳۳). برآورد رسوب رودخانه نیز از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). برآورد صحیح از خطر فرسایش و مشخّص‌کردن مناطق حسّاس به فرسایش در بهبود توصیه‌های مدیریت اراضی و مقابله با فرسایش با روش‌های مختلف نقش مهمّی دارد (علیزاده گرجی، ۱۳۸۵).

پژوهش در مورد فرسایش خاک توسّط دانشمندان آمریکایی در سال ۱۸۵۰ آغاز گردید. دیرمن[4] در سال ۱۹۷۰ در بررسی تقسیمات آب‌وهوایی و اثرات آن در فرسایش کارایی مدل MPSIAC را در این زمینه مورد بررسی قرار داد و بیان داشت که این مدل کارایی لازم جهت برآورد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبریز را دارا است. اوّلین گزارش نسبتاً کامل در مورد فرسایش خاک و لزوم حفاظت آب‌وخاک در ایران در سال ۱۳۲۷ توسّط

1- Hsu
2- Mayer
3- Morgan
4- Dearman

داون و ریبن کارشناسان فائو به زبان انگلیسی تهیّه و منتشر شد. روش MPSIAC اوّلین‌بار در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب آمریکا به کار برده شده و بعضی بر این عقیده هستند که به کارگیری این روش برای مناطق مشابهی در ایران مناسب است (مقصودی و یمانی، ۱۳۸۸). روش EPM برای اوّلین‌بار در کشور یوگسلاوی سابق به کار رفته و در برخی از حوضه‌های ایران نیز مورد استفاده قرار گرفته است (صادقی، ۱۹۹۳؛ رفاهی و نعمتی، ۱۹۹۵؛ تنگستانی، ۲۰۰۶).

کاربرد سیستم اطّلاعات جغرافیایی و دانش سنجش از دور در سال‌های اخیر در زمینهٔ فرسایش و رسوب‌زایی توسعهٔ زیادی یافته است. با استفاده از سنجش از دور می‌توان به ارزیابی داده‌های مورد نیاز برای محاسبهٔ فرسایش پرداخت و سپس داده‌های تولیدشده را در محیط سیستم اطّلاعات جغرافیایی پردازش نمود (مترنیخ و گنزالس[1]، ۲۰۰۵؛ باجا[2] و همکاران، ۱۹۹۹؛ نیسار احمد[3] و همکاران، ۲۰۰۰؛ رابینسون[4]، ۲۰۰۲) پیشرفت‌های اخیر، کاربردهای نوینی از سیستم استنتاج را در مطالعات حوضهٔ آبریز با استفاده از سیستم اطّلاعات جغرافیایی در زمینهٔ فرسایش‌پذیری در دسترس قرار داده است (ژو[5] و همکاران، ۱۹۹۷؛ ژو و باند[6]، ۱۹۹۴، ۱۹۹۸؛ میترا[7] و همکاران، ۱۹۹۸؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۱).

بر این اساس، در پژوهش حاضر از دو روش MPSIAC و EPM به عنوان روش‌های تجربی جهت محاسبهٔ فرسایش و رسوب‌زایی منطقهٔ مورد مطالعه استفاده شده است. در گام بعد، به کمک سیستم مطالعات جغرافیایی، مرزهای تدریجی در نقشه‌های پهنه‌بندی شناسایی شده‌اند.

معرّفی منطقهٔ مورد بررسی

حوضهٔ آبریز رضی واقع در شهرستان رضی که بخشی از مشگین‌شهر می‌باشد و از توابع استان اردبیل محسوب می‌شود (ایزدیار، ۱۳۹۳). حوضهٔ آبریز رضی در ۴۳ کیلومتری غرب استان اردبیل واقع شده است. مساحت این حوضه بر اساس نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ در حدود ۱۸۰/۲۳۲ کیلومترمربع را دربر می‌گیرد شکل ۱، موقعیّت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

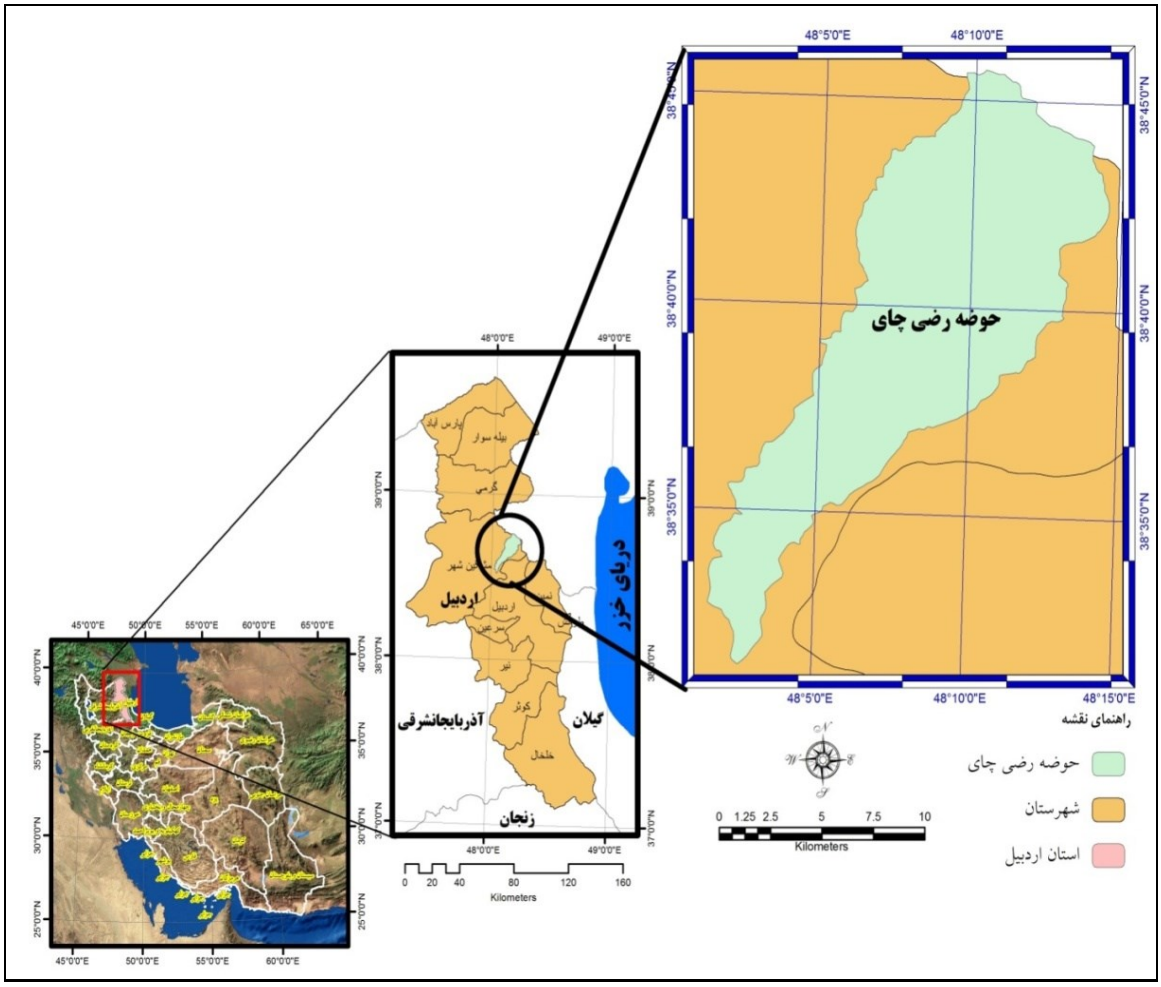
مواد و روش‌ها

روش مورد مطالعه در این پژوهش شامل مقایسهٔ فرسایش و رسوب‌زایی با استفاده از روش‌های تجربی EPM و MPSIAC است. داده‌های مورد نیاز در این مطالعه شامل نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، بازدیدهای صحرایی (سنجش شدّت فرسایش، کنترل زمین‌شناسی سطحی، وضعیّت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب) و داده‌های مطالعات پیشین است (ادارهٔ آب‌وهواشناسی استان اردبیل، ۱۳۹۲-۱۳۷۷). از داده‌های مطالعات پیشین بر روی حوضه شدّت فرسایش و رسوب‌زایی و از نتایج خاک‌شناسی در محاسبهٔ ضریب فرسایش‌پذیری خاک استفاده شده است (ادارهٔ منابع طبیعی استان اردبیل، ۱۳۸۸). تمام محاسبات، تخمین‌ها و تهیّهٔ نقشه‌های مرتبط با فرسایش و رسوب‌زایی با استفاده از دانش سنجش از دور و سیستم

1- Metternich & Gonzalez
2- Baja
3- NisarAhamed
4- Robinson
5- Zhu
6- Band
7- Mitra

اطّلاعات جغرافیایی امکان‌پذیر شده است (رسولی، ۱۳۸۴: ۱۲).

در برآورد فرسایش حوضهٔ رضی به اختصار روش کار دو مدل MPSIAC و EPM و اجـزاء و روش تولیـد ایـن لایه‌ها اطّلاعاتی در هر مدل به کار رفته توصیف خواهند شد.



شکل ۱. موقعیّت منطقهٔ مورد مطالعه در شمال غرب کشور

مدل EPM

این روش، برای اوّلین‌بار با استفاده از اطّلاعات حاصل از اندازه‌گیری رسوب‌زایی زمین‌های مستعدّ فرسایش، در یک دورهٔ ۴۰ ساله در کشور یوگسلاوی سابق ارائه گردیده است. از آنجا که این روش قـادر اسـت بـا اسـتفاده از چهـار مشخّصه (پارامتر)، نتایج مناسب و قابل قبولی از میزان فرسایش را محاسبه نماید، در این پـژوهش مـورد اسـتفاده قرار گرفته است. در این روش، چهار مشخّصه شامل ضریب فرسایش حوضـهٔ آبریـز (J)، ضـریب اسـتفاده از زمـین (Xa)، ضریب حسّاسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسّط حوضه (I) در واحدهای مختلف اراضی یا در شبکه‌های ایجادشده در نقشه‌هایی با فرمت رستر و با پیکسل‌هایی در ابعاد ۲۴×۲۴ متری مورد بررسـی قرارگرفتـه است. شرایط فرسایش حوضهٔ آبریز (J) با توجّه به اینکه فرسایش حوضهٔ آبریز بـه مشخّصـه‌هـای شـیب، پوشـش گیاهی، خاک، سنگ‌های رخنمون‌یافته و کاربری زمین وابسته می‌باشد، مقدار این پارامتر در منطقهٔ مورد مطالعه از ترکیب لایه‌های فوق در نرم‌افزار سیستم اطّلاعات جغرافیایی محاسبه گردیده است (جدول ۱).

جدول ۱. اجزاء مدل EPM و نحوهٔ محاسبه یا تعیین امتیاز

شماره	اجزای مدل	علامت	نحوه تعیین امتیاز محاسبه
۱	شرایط فرسایش حوضه	ψ	مشاهدات صحرایی و تفسیر عکس هوایی
۲	ضریب حسّاسی سنگ و خاک	Y	مشاهدات صحرایی و نقشهٔ سنگ‌شناسی
۳	ضریب استفاده از زمین	Xa	مشاهدات صحرایی و نقشهٔ کاربری اراضی
۴	شیب	I	شیب متوسّط در هر واحد مطالعاتی
۵	ضریب شدّت فرسایش	Z	$Z=Y.Xa\ (\psi+I^{0/5})$
۶	بارندگی	H	بارندگی متوسّط سالیانه (mm)
۷	دما	T	$T=((t/10+0.1)^{0.5}$ =t متوسّط سالیانه دما

مدل MPSIAC

در این روش، ۹ ضریب مختلف بر اساس جدول استاندارد و رابطه‌های تعریف‌شده در مدل محاسبه شده و سپس نتایج به صورت لایه‌های اطّلاعاتی با فرمت رستر وارد محیط سیستم اطّلاعات جغرافیایی گردیده است (جدول ۲).

جدول ۲. عوامل مؤثّر در مدل MPSIAC و نحوهٔ امتیازدهی به آنها (رفاهی، ۱۳۸۸: ۲۳)

ردیف	عوامل مؤثّر در فرسایش و تولید رسوب	شرح پارامترها	نحوه محاسبه امتیاز در روش MPSIAC
۱	زمین‌شناسی	X1: امتیاز حسّاسیّت سنگ به فرسایش (۱۰-۰)	رابطهٔ ۱ $y_1=x_1$
۲	خاک	K: عامل فرسایش‌پذیری خاک در معادلهٔ جهانی	رابطهٔ ۲ $y_2=16.67K$
۳	آب‌وهوا	X3: بارندگی ۶ ساعته با دورهٔ بازگشت دو ساله	رابطهٔ ۳ $y_3=0.2\ x_3$
۴	رواناب	R: ارتفاع رواناب سالانه (mm) و Qp دبی ویژهٔ سالانه $(m^3{}_s.Km^2)$	رابطهٔ ۴ $y_4=0.0006\ R+10$
۵	پستی بلندی	S: درصد شیب	رابطهٔ ۵ $y_5=0.33\ S$
۶	پوشش گیاهی	p_b: درصد اراضی لخت	رابطهٔ ۶ $y_6=0.2\ p_b$
۷	کاربری اراضی	p_c: درصد تاج‌پوشش گیاهی	رابطهٔ ۷ $y_7=20-0.2\ p_c$
۸	وضعیّت فعلی فرسایش	SSF: امتیاز عامل سطحی خاک در مدل BLM	رابطهٔ ۸ $y_8=0.25\ SSF$
۹	فرسایش رودخانه‌ای	SS. F. G: امتیاز فرسایش خندقی در مدل B. L. M	رابطهٔ ۹ $y9=1.67\ SS.F.G$

بررسی نحوهٔ تعیین رسوب حوضه

در مطالعهٔ آبخیزداری حوضهٔ آبریز رضی از سه روش غلظت رسوب، همبستگی و برآورد فرسایش[1] برای تعیین میزان رسوب سالیانه حوضه استفاده و میانگین این سه روش به عنوان رسوب حوضه پذیرفته شده است. از طریق این آمار هیدرومتری و روش‌های مذکور میزان کلّ رسوب (موادّ معلّق) در منطقه برآورد گردید. با در نظر گرفتن ۳۰٪ از موادّ رسوبی معلّق به عنوان بارکف، کلّ بار رسوبی در منطقه به طور متوسّط ۱۳۲۰ تن در سال برای هر کیلومترمربع در حوضه محاسبه شد که رقم نسبتاً بالایی است. بخشی از داده‌های مورد نیاز مدل‌هایی که در مطالعهٔ آبخیزداری حوضه تهیّه نشده بودند از طریق یک دوره عملیات صحرایی، نمونه‌برداری خاک و تجزیهٔ نمونه‌ها و تفسیر عکس‌ها و گزارش‌ها، گردآوری و به مجموعهٔ داده‌ها افزوده شد.

مرحلهٔ رقومی‌نمودن و پیش‌پردازش داده‌ها

در این مرحله، نسبت به رقومی‌سازی و وارد نمودن مجموعهٔ داده‌های گردآوری‌شده به رایانه، بر اساس یکی از

1- USBR

روش‌های مناسب آنها، اقدام شد. آنگاه این داده‌های اوّلیّه از نظر کدها و سایر خطاهای احتمالی در موقع رقومی‌سازی اصلاح و ویرایش شدند. علاوه بر اصلاح خطاها، سیستم پروژکسیون لایه‌های ایجادشده از سیستم طول و عرض جغرافیایی به سیستم پروژکسیون UTM تبدیل شد.

ایجاد توپولوژی و مدیریت داده‌ها

منظور از مدیریت داده‌ها، آماده‌سازی داده‌های اوّلیّه، برقراری توپولوژی بین عوارض، هماهنگ‌سازی مرز آنها با لایهٔ اصلی مرز حوضه و سپس تهیّه لایه‌های اطّلاعاتی مورد نیاز تحقیق از آنها است. با توجّه به اجرای مدل‌های مورد بررسی در سامانهٔ رستری[1]، کلّیّهٔ نقشه‌ها پس از رقومی‌سازی از ساختار وکتوری به ساختار رستری با اندازهٔ سلول ۲۴×۲۴ متر تبدیل شده‌اند. این سلول‌ها، به عنوان مبنا برای انجام محاسبات و پردازش‌ها توسّط سامانه به کار گرفته شدند. برای داده‌هایی که فاقد نقشه بوده و یا حاصل از مطالعهٔ صحرایی و آزمایشگاهی بودند از نقشهٔ اجزای واحد اراضی حوضه به عنوان واحد مطالعهٔ چنین داده‌هایی استفاده شد؛ امّا برای داده‌هایی که خود دارای نقشه بودند، مثل سنگ‌شناسی، دبی‌پیک، حجم دبی سالانه، تاج‌پوشش و لختی از نقشه‌های مربوطه یعنی نقشهٔ سنگ‌شناسی، واحدهای هیدرولوژی و پوشش گیاهی استفاده شد. نکتهٔ دیگر اینکه، در این پژوهش، نسبت به تهیّهٔ مدل رقومی ارتفاع، اقدام شده است که یکی از توانایی‌های سیستم اطّلاعات جغرافیایی است. مدل رقومی ارتفاع، لایهٔ اطّلاعاتی است که هر سلول آن دارای ارزش ارتفاعی آن نقطه می‌باشد. بدین منظور پس از رقومی‌نمودن خطوط هم‌ارتفاع از نقشه با فواصل ارتفاعی یکصدمتر (میز رقومی‌ساز و نرم‌افزار)، درون‌یابی بین خطوط بر اساس شبکه‌ای از سلول‌های ۲۴×۲۴ متر توسّط سامانه انجام شد. همچنین مدل رقومی دما و بارندگی به ترتیب خطوط هم‌دما و هم‌باران تهیّه می‌گردد در این مرحله، مجموعهٔ داده‌های مورد نیاز تحقیق به صورت یک پایگاه داده تهیّه شده و برای استفاده در مرحلهٔ بعدی پژوهش آماده می‌شوند

تجزیه و تحلیل و پردازش نهایی

با استفاده از لایه‌های اطّلاعاتی که طی مراحل قبل تهیّه شده بود و بر اساس ساختار هر یک از مدل‌های مورد بررسی در پژوهش، نسبت به انجام پردازش‌ها و محاسبات لازم اقدام شد که در نتیجهٔ آن لایه‌هایی با اطّلاعات اوّلیّهٔ نتایج مدل‌ها تهیّه شد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳. میانگین امتیاز اجزاء مدل‌های EPM و MPSIAC در کلّ حوضه

مدل	EPM		MPSIAC	
ردیف	اجزاء مدل	میانگین امتیاز	اجزاء مدل	میانگین امتیاز
۱	شرایط فرسایش حوضه	۰/۶۱	سنگ‌شناسی	۴/۴۰
۲	ضریب حسّاسیت سنگ و خاک	۰۰/۷	خاک	۵/۳۴
۳	ضریب استفاده از زمین	۰/۵۵	آب‌وهوا	۳/۴۶
۴	شیب	۰/۲۲	رواناب	۳/۲۲
۵	ضریب شدّت فرسایش	۰/۶۵	پستی و بلندی	۱۳/۱۶
۶	بارندگی	۶۹۸/۷	پوشش سطح زمین	۱۲/۳۴
۷	دما	۰/۶۳	استفاده از زمین	۱۵/۳۸
۸	-	-	وضعیّت فعلی فرسایش در سطح حوضه	۱۶/۶۷
۹	-	-	فرسایش رودخانه	۱۲/۳۲

1- Rester system

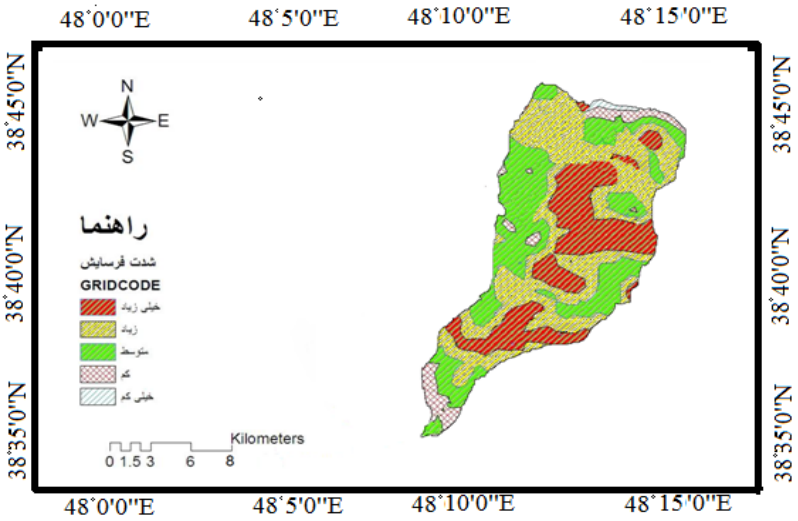
جدول ۴. مساحت طبقات مختلف وضعیّت فرسایش در حوضه

مدل	طبقه	۱	۲	۳	۴	۵
MPSIAC	a	۰	۴۱/۷	۱۵۹/۱	۶۹۳/۳	۵۴/۲
	b	۰				۵/۷۱
EPM	a	۸۴/۱۹	۲۷۱/۱	۱۳۸/۹	۱۰۹/۲۳۴۴/۹	
	b	۸/۸۸	۲۸/۵۸	۱۴/۶۵	۳۶/۳۷	۱۱/۵۱

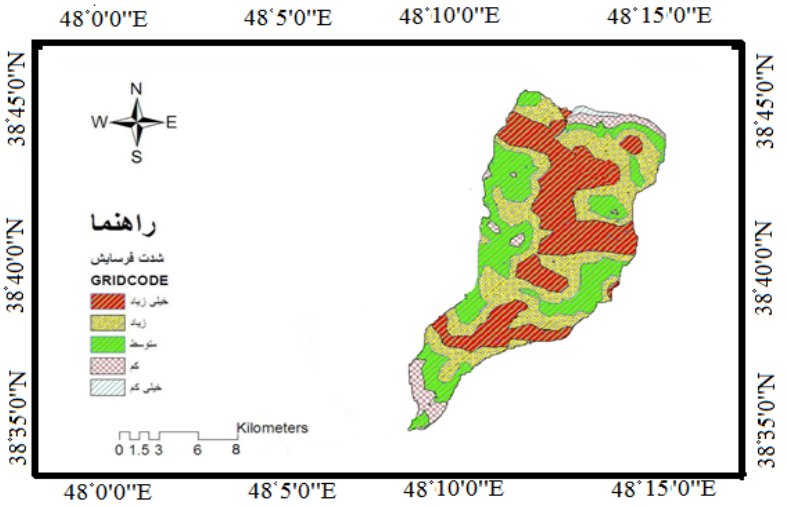
a: سطح km^2 **b**: درصد از کلّ حوزه

نتایج و بحث

این پژوهش با هدف برآورد فرسایش و رسوب‌زایی حوضهٔ آبریز رضی با دو مدل EPM و MPSIAC و مقایسهٔ نتایج با برآورد واقعی انجام شده است. به منظور ارائهٔ نتایج پس از طبقه‌بندی لایه‌های نهایی، استخراج اطّلاعات از آنها صورت گرفت. با تهیّهٔ نقشه‌های مورد نیاز از لایه‌های مرحلهٔ قبلی و گزارش‌گیری از لایه‌های اطّلاعاتی به دست آمده، خروجی‌های مناسب آماده می‌شود (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲. نقشهٔ فرسایش حوضهٔ رضی با مدل MPSIAC



شکل ۳. نقشهٔ فرسایش حوضهٔ رضی با مدل EPM

در مجموع با استفاده از نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه به نظر می‌رسد کـه مـدل EPM بتوانـد در مطالعـات اجمالی فرسایش خاک موفّقیّت‌آمیز می‌باشد و از آنجایی که به آمار خاصّی نیز نیاز ندارد برای حوضه‌های بدون آمار به راحتی قابل اجراست و در مقابل مدل MPSIAC که از پارامترهای مؤثّر بیشـتری نیـز اسـتفاده نمـوده و دقّـت بیشتری نیز دارد، برای مطالعهٔ تفضیلی استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از قابلیّت سیستم اطّلاعات جغرافیایی به خوبی می‌توان میزان همخوانی و توافق بین طبقات وضعیّت فرسایش حاصله از دو مدل را با هم مقایسـه نمـود. نتایج این مقایسه در جدول ۵ درج شده است.

جدول ۵. میزان تداخل بین طبقات وضعیّت فرسایش بر اساس طبقات شدّت تولید رسوب در مدل‌های MPSIAC و EPM (برحسب km^2)

مدل	MPSIAC						
	طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	کل
EPM	۱	۰	۱۶/۱	۱۲/۶	۵۵/۷	۰	۸۴/۴
	۲	۰	۷/۲	۲۱/۱	۲۴۲/۲	۰/۸	۲۷۱/۳
	۳	۰	۱۳/۱	۲۷/۷	۹۱/۵	۶/۴	۱۳۸/۷
	۴	۰	۷/۳	۹۹/۳	۲۲۱/۵	۱۶/۸	۳۴۴/۹
	۵	۰	۱	۵/۳	۸۲/۳	۲۱/۶	۱۰۹/۲
	کل	۰	۳۶/۳	۲۱۴/۹	۶۱۵/۲	۵۴/۲	۹۴۸/۵

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی و همچنین پهنه‌بندی منـاطق حسّـاس بـه فرسـایش در حوضهٔ آبریز رضی به کمک دو روش EPM، MPSIAC انجام شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند؛ که در هر دو روش EPM و MPSIAC، بیشترین میزان فرسایش مربوط به زیرحوضه‌هـای ۲ و کمتـرین مقـدار آن مربـوط بـه زیرحوضهٔ ۴ می‌باشد. میزان برآورد رسوب با استفاده از روش‌های EPM و MPSIAC اختلاف زیادی را با هم نشان می‌دهند. منطقهٔ مورد مطالعه از لحاظ فرسایش‌پذیری در سه ردهٔ فرسایشی متوسّط، زیاد و خیلی‌زیاد قرار می‌گیرد. نتایج هر دو روش نشان می‌دهند که حدود ۶۰٪ از حوضهٔ آبریز رضی در ردهٔ فرسایشی شدید و خیلی‌شـدید قـرار می‌گیرند. در هر دو روش، EPM، MPSIAC بیشترین میزان تولید رسوب مربوط به حوضهٔ ۳ است اختلاف بـین مقادیر محاسبه‌شده میزان رسوب سالانه به روش MPSIAC ناچیز می‌باشد. این در حالی است که این اختلاف در روش EPM زیاد می‌باشد و دقّت روش MPSIAC در برآورد میزان رسوب را نشان می‌دهد. در نهایت میزان رسوب ویژه و سالانهٔ حوضهٔ آبریز رضی در مدل‌های EPM و MPSIAC، با توجّه به محاسبات انجام‌گرفته رسـوب کـل و رسوب ویژهٔ حوضه به ترتیب برابر ۱۹۰۴۶/۶۶ و ۲۰۷/۷۸۸ تن می‌باشد که بیشترین رسوب در واحد ۳ حوضه که تنها ۲۵٪ حوضه را شامل می‌شود قرارگرفته است. در مورد فرسایش حوضه، فرسایش کل و فرسایش ویـژهٔ حوضـه به ترتیب برابر ۴۸۴۹۳۹/۴۵۹ و ۲۶۵۹/۶۸ تن است که بیشترین مقدار فرسایش از حوضهٔ ۲ می‌باشد که ۱۲۴/۴۶ کیلومتر حوضه را دربر گرفته است.

منابع

احمدی، حسن؛ ملکیان، آرش؛ عابدی، رقیه (۱۳۹۱) مناسب‌ترین روش آماری برآورد رسوب معلّق رودخانـهٔ جـاجرود، **پژوهش‌های فرسایش محیطی**، ۲ (۵)، صص. ۸۸-۷۸.

ادارهٔ کلّ آب‌وهواشناسی استان اردبیل (**۱۳۹۲-۱۳۷۷**) **داده‌های بارش و وضعیّت حرارتی حوضه**، صص. ۲۲-۱۲.

ادارهٔ کلّ منابع طبیعی استان اردبیـل (۱۳۸۸) **آنالیز فیزیکی شیمیایی پروفیل خاک حوضهٔ آبریز رضی، گزارش**

خاک‌شناسی حوضه، ص. ۱۸.

ایزدیار، وحدت (۱۳۹۳) **پژوهشی در هیدروژئومورفولوژی حوضهٔ آبریز رضی با تأکید بر فرسایش با استفاده از مدل MPSIAC**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر معصومه رجبی، دانشگاه تبریز.

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۳) فرسایش، فرایندهای فرسایشی و شکل‌های ناشی از آنها، **مجلّهٔ رشد آموزش جغرافیا**، ۶۹، ص. ۴.

رجایی، عبدالحمید (۱۳۷۳) **ژئومورفولوژی کاربردی در برنامه‌ریزی عمران ناحیه‌ای**، نشر قومس، تهران.

رسولی، علی‌اکبر (۱۳۸۴) **تحلیلی بر فن‌آوری سیستم‌های اطّلاعات جغرافیایی**، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

شایان، سیاوش؛ زارع، غلامرضا (۱۳۹۰) تبیین مفهوم فرسایش از دیدگاه ژئومورفولوژی و مقایسهٔ آن با دیدگاه منابع طبیعی، **پژوهش‌های فرسایش محیطی، دانشگاه هرمزگان**، ۱ (۱)، صص. ۹۲-۷۷.

عسگری، شمس‌الله (۱۳۸۶) مدلسازی فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه آبخیز گل‌گل -استان ایلام، **چهارمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران**.

علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۸) **ژئومورفولوژی ایران**، نشر قومس، تهران.

علیزاده گرجی، غلامرضا (۱۳۸۵) **برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در محیط GIS (مطالعهٔ موردی حوضهٔ کلیجانر ستاق)** پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

علیزاده، امین (۱۳۹۰) **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

مقصودی، مهران؛ یمانی، مجتبی (۱۳۸۸) برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیّرهای تأثیرگذار در حوضهٔ آبریز وزنه با استفاده از GIS، **جغرافیا و توسعه**، ۱۶، صص. ۱۳۴-۱۱۹.

مهدوی، محمد (۱۳۸۴) **هیدرولوژی کاربردی**، جلد اوّل انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

Baja, S., Chapman, D. M., Dragovich, D. (1999) Fuzzy Modelling of Environmental Suitability Index for Rural Land Use Systems: An Assessment Using A GIS, **Geoderma**, 6 (13), pp. 593-606.

Dearman, W. H. (1970) Weathering Classification in the Chavacteriz- Ation of Erosion Intel. Assoc, **Engry Geol**, 13, pp. 123-128.

Hsu, S. M, Wen, H., Y., Chen, N. C., Hsu, S. Y., Chi, S. (2012) Using an Intergrated Method to Estimate Watershed Sediment Yieldduring Heavy Rain paiod: A Case Study in Hualin County, Taiwan, **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 12 (6), pp. 1949-1960.

Mayer, L. D, (1969) Mathmation Simulation of Processes of Soil Erosion by Water**, Trans. Am. Soc. agric. Engric**, 12 (6), pp. 754-758.

Metternicht, G., Gonzalez, S. (2005) Fuzzy Erosion: Foundations of a Fuzzy Exploratory Model for Soil Erosion Hazard Prediction, **Environmental Modelling & Software**, 20, pp. 715-728.

Mitra, B., Scott. H. D., Dixon. J. C., McKimmey. J. M. (1998) Applications of Fuzzy Logic to the Prediction of Soil Erosion in a Watershed, **Geoderma**, 86 (3), pp.183-209.

Morgan, R. P. C. (1995) **Soil Erosion and Conservation**, Blackwell Publishing Company, Malden.

Nisar Ahamed, T. R, Gopal Rao, K., Murthy, J. S. R. (2000) GIS-Based Fuzzy Membership Model for Crop-Land Suitability Analysis, **Agricultural Systems**, 63 (2), pp.75-95.

Refahi, H., Nematti, M. (1995) Erodibility Assessment of the Alamoutsubcatchment and its Effect on the Sediment Yield, **Agricultural Sciences**, 26, pp. 48-56.

Robinson, V. B. (2002) A Perspective on Geographic Information Systems and Fuzzy Sets. Proceedings, of North American, **Fuzzy Information Processing Society Proceedings**, 1 (6), pp. 54-65

Sadeghi, H. (1993) Comparison of Some Erosion Potential and Sediment Yield Assessment Models in Ozon-Dareh Sub-Catchment, **Proceedings of the National Conference on Land Use Planning**, Tehran, Iran, p. 66.

Tangestani, H. M. (2001) Integrating Geographic Information Systems in Erosion and Sediment Yield Applications Using the Erosion Potential Method (EPM) Proceedings of the GIS Research UK, **Ninth Annual Conference**, p. 621.

Tangestani, H. M. (2006) Comparison of EPM and PSIAC Models in GIS for Erosion and Sediment Yield Assessment in a Semi-Arid Environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran, **Asian Earth Sciences**, 27, pp. 585-597.

Zhu, A. X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D. (2001) Soil Mapping Using GIS, Expert Knowledge and Fuzzy Logic, **American Journal of Soil Science Society**, 65, pp. 1463-1475.

Zhu, A., Band, L. (1998) Fuzzy Inference of Soil Patterns: Implications for Watershed Modeling, **Canadian Journal of Remote Sensing**, 23, pp.135-149.

Zhu, A., Band, L., Vertessy, R., Dutton, B. (1997) Derivation of Soil Properties Using a Soil Land Inference Model (SOLIM), **Soil Science Society of American**, 61 (2), pp. 523-533.