مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و سوم، پاییز ۱۳۹۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۲۰

صص ۸۲-۶۹

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های قزل اوزن–سفیدرود به‌منظور شناسایی حوضه‌های حساس به فرسایش بر اساس مورفومتری، نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی

منصور پروین*، استادیار ژئومورفولوژی-دانشگاه پیام نور

چکیده

اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز شامل رده‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس وضعیت و شرایط موجود و نیز شدت فرسایش است که درنهایت به عملیات حفاظتی و آبخیزداری در زیرحوضه‌های حساس و مهم‌تر منجر می‌شود. در این پژوهش به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های سفیدرود-قزل اوزن در مقابل حساسیت به فرسایش از پارامترهای مورفومتری شکلی و خطی به‌عنوان عوامل فیزیوگرافی دخیل در فرسایش حوضه‌ها و از عامل فرسایندگی و پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل دینامیک بیرونی و حفاظتی استفاده شد. به‌منظور برآورد پارامترهای مورفومتری از لایه‌ی رقومی ارتفاع SRTM با تفکیک زمینی ۳۰ متر و برای تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش گیاهی از یک فریم تصویر MODIS در زمان حداکثر پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI استفاده گردید. به‌منظور برآورد نرخ فرسایندگی حوضه‌ها به‌صورت فضایی از داده‌های بارشی ماهواره TRMM به همراه شاخص فورنیه استفاده شد. همچنین جهت اولویت‌بندی نیز از روش رتبه‌دهی کارشناسی CP استفاده گردید. نتایج اولویت‌بندی بر اساس پارامترهای مورفومتری نشان داد که زیرحوضه‌ها در دو کلاس با اولویت زیاد که دربرگیرنده‌ی ۴۵/۴۶ و اولویت متوسط با ۵۴/۵۴ درصد از مساحت حوضه قرار دارند. اولویت‌بندی بر مبنای نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی نشان داد که زیرحوضه‌های موردمطالعه از تنوع و اختلاف بیش‌تری از منظر فرسایندگی و پوشش گیاهی نسبت به مورفومتری برخوردار هستند که ۹/۱ درصد اراضی در کلاس استعداد خیلی زیاد، ۶۳/۶۳ زیاد، ۱۸/۱۷ متوسط و ۹/۱ درصد در کلاس حساسیت کم قرار دارند. اولویت‌بندی تلفیقی بر مبنای هر سه عامل نیز نشان داد که ۴۵/۴۵ درصد زیرحوضه‌ها که به ترتیب ارجحیت شامل حوضه‌های گل‌تپه، طالقان، ماه‌نشان، قروه و دیواندره هستند در کلاس حساسیت زیاد قرار دارند که نیاز به اقدامات حفاظتی دارند و ۵۴/۵۵ درصد آن‌ها نیز در کلاس استعداد متوسط قرار دارند.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی، فرسایش آبی، داده‌های رقومی فضایی، حوضه قزل‌اوزن-سفیدرود.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: mansorparvin@pnu.ac.ir

۱- مقدمه

حوضه‌ی آبخیز؛ یک واحد ایده‌آل به‌منظور مدیریت منابع طبیعی و دست‌یابی به توسعه‌ی پایدار است(Khan et al., 2001: 465). شرط اول کنترل عوامل فرسایشی و بهبود وضعیت بحرانی یک حوضه‌ی آبخیز، شناسایی مناطق و زیرحوضه‌های دچار وضعیت بحرانی‌تر و اولویت‌بندی آن‌هاست تا در صورت اجرای عملیات کنترلی، مناطق اولویت‌دار، بیش‌تر مدنظر قرار گیرند و برنامه‌های حفاظتی بر این قبیل مناطق متمرکز شوند(آمانی و نجفی‌نژاد، ۱۳۹۳: ۱). اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز شامل رده‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس وضعیت و شرایط موجود و شدت فرسایش است که درنهایت به عملیات حفاظتی و آبخیزداری در زیرحوضه‌های حساس و مهم‌تر منجر می‌شود(Suresh et al., 2005: 250). ازجمله عوامل عمده و مؤثر بر فرسایش خاک می‌توان به قدرت فرسایندگی باران، رواناب، باد، فرسایش‌پذیری خاک، طول و تندی شیب اراضی، پوشش گیاهی و نوع مدیریت و کاربری اراضی اشاره نمود(نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۵). تجزیه‌وتحلیل مورفومتری حوضه‌ی آبخیز نقش بسیار مهمی در دانستن ویژگی‌های یک حوضه‌ی آبخیز ازنظر ژئوهیدرولوژی، آب‌وهوا، ژئومورفولوژی و غیره دارد(Rai et al., 2017: 218). بررسی‌های مختلفی که در زمینه‌ی مورفومتری آبراهه‌های گرفته نشان‌دهنده‌ی ارتباط حوضه‌ی آبخیز با فرایندهای ژئومورفولوژی می‌باشد(Horton, 1954: 281؛ Hurtrez et al., 1990: 800)؛ بنابراین مطالعه‌ی پارامترهای مورفومتری بیان‌کننده‌ی وضعیت حوضه و میزان مساعد بودن شرایط برای فرسایش‌پذیری و تعیین شدت فرسایش در منطقه است(Javed et al., 2009: 261). در مراحل اولیه‌ی فرسایش آبی، نیروی فرسایندگی ناشی از برخورد قطرات باران با جدا نمودن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی مهم‌ترین تأثیر را در پدیده‌ی فرسایش و بالاترین همبستگی را با آن دارد. فرسایندگی باران، نیروی محرکه یا توان عامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک است(Lal, 1979: 390). قدرت فرسایندگی باران نقش زیادی در فرسایش خاک داشته و می‌تواند نشان‌دهنده‌ی پتانسیل فرسایش در مناطق موردنظر باشد. وجود پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز باعث کاهش سرعت جریان در هنگام سیلابی و جلوگیری از فرسایش خاک می‌شود. اندام‌های بیرونی گیاهان باعث افزایش زبری و کاهش سرعت جریان آب و در نتیجه کاهش انرژی تنش برشی آن می‌شود(مسجدی و فتحی مقدم، ۱۳۸۸: ۲۰۱).

پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری کشور نرخ سالانه‌ی فرسایش خاک در ایران را تا ۳۳ تن در هکتار برآورد کرده است که ۵ تا ۶ برابر حد مجاز است(محمدپور و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۲۰) به دلیل وسعت زیاد اغلب حوضه‌های آبخیز در ایران، امکان اجرای طرح‌های حفاظتی و آبخیزداری در کل حوضه وجود ندارد، به همین دلیل برای افزایش عملکرد طرح‌های آبخیزداری، ابتدا باید مناطق بحرانی ازنظر پتانسیل فرسایش خاک شناسایی و اولویت‌بندی شوند و سپس با اجرای برنامه‌های صحیح مدیریتی به ترتیب اولویت در کاهش و مهار فرسایش خاک مناطق سعی شود(محمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۵۲). حوضه‌ی آبخیز قزل اوزن-سفید رود، بزرگ‌ترین زیرحوضه‌ی دریای خزر است که بعد از حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک ازنظر اراضی قابل آبیاری، بزرگ‌ترین حوضه‌ی کشور است و به خاطر اقلیم‌های متفاوت و منابع غنی آب‌وخاک، از اهمیت خاصی برخوردار است(آهنی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲). به دلیل وجود اراضی وسیع کشاورزی، قرار گرفتن سد منجیل در پایین‌دست رودخانه‌ی قزل‌اوزن و ذینفع بودن ۸ استان کشور از این حوضه، مطالعات فرسایش خاک و شناسایی مناطق حساس به فرسایش آبی از مهم‌ترین برنامه‌ها و اولویت‌ها در جهت فعالیت آبخیزداری در این حوضه به‌منظور پیشگیری از فرسایش و متعاقباً پیامدهای اقتصادی و اجتماعی حاصل از آن است. آلتاف[1] و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظورِ اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه‌ی آبخیز غرب هیمالیا در مقابل خطر فرسایش آبی از لایه‌ی رقومی ارتفاع سنجنده‌ی ASTER[2] به‌منظور استخراج پارامترهای مورفومتری خطی و شکلی استفاده کردند و دریافتند که سه زیرحوضه از میان زیرحوضه‌های مطالعه‌شده بیش‌ترین حساسیت و اولویت را به‌منظور

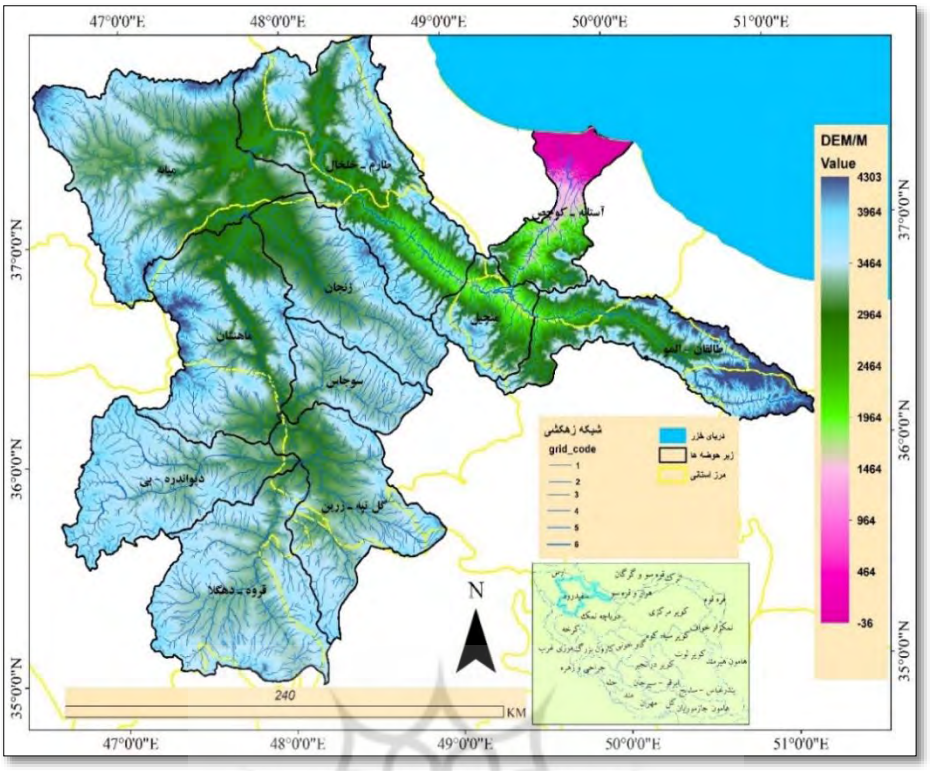
1- Altaf
2- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

اقدامات آبخیزداری قرار دارند. ارنا و ورکو[3] (2018) به‌منظور اولویت‌گذاری حوضه‌های آبریز در اتیوپی برای مقابله با خطر سیلاب از داده‌های هواشناسی و تحلیل مورفومتری حوضه‌های آبریز با استفاده از قواعد ژئومورفولوژی هورتن و شوم استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد مقادیر بالای پارامترهای خطی و مقادیر پایین پارامترهای شکلی برای ۲۶ زیرحوضه‌ی منطقه منجر به بروز سیلاب شده است. اسدی‌نلیوان و همکاران (۱۳۹۴) از پارامترهای مورفومتری شکلی و خطی به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مقابل خطر فرسایش در ۷ کلاس کیفی از حد بحرانی تا خیلی‌کم استفاده کردند. نتایج بازدید میدانی آن‌ها نشان از موثق و قابل‌اعتماد بودن نتایج اولویت‌بندی به روش مورفومتری در محیط GIS است. فلاح و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مقابل خطر فرسایش خاک از پارامترهای مورفومتری خطی و شکلی و نرخ تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در زیرحوضه‌های رودخانه‌ی تالار استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که از بین ۲۱ زیرحوضه‌ی تالار، ۹ زیرحوضه در اولویت خیلی زیاد، ۶ حوضه در اولویت زیاد، ۵ زیر حوضه در اولویت متوسط و ۱ زیرحوضه در اولویت کم قرار دارند. مکرم و همکاران (۱۳۹۶) ارتباط ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبخیز و فرسایش‌پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی را با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی[4](TPI) موردمطالعه قراردادند و دریافتند که افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن‌ها در حوضه‌ی آبخیز نشان‌دهنده‌ی افزایش فرسایش است. مورفومتری حوضه‌های آبریز، یکی از مهم‌ترین عوامل دخیل در فرسایش آبی است، همچنین عامل فرسایندگی به‌عنوان یک عامل دینامیک بیرونی نقش بارش و میزان فرسایندگی در هر حوضه را تبیین می‌کند و پوشش گیاهی به عنوان یک عامل حفاظتی، میزان حفاظت خاک را در برابر فرسایش خاک بیان می‌کند. بررسی پیشینه‌ی پژوهش نشان می‌دهد که در پژوهش‌های صورت‌گرفته به عوامل مورفومتری توأمان با عامل دینامیک بیرونی و پوشش حفاظتی زمین اغلب توجه نشده است. هدف از این پژوهش، اولویت‌بندی حوضه‌های سفیدرود بر اساس پارامترهای مورفومتری، نرخ فرسایندگی و عامل پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های رقومی-فضایی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[5]) است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز قزل‌اوزن-سفیدرود (شکل-۱) با مساحت تقریبی ۵۹۰۰۰ کیلومترمربع از حوضه‌های مهم کشور است که به لحاظ اجتماعی و اقتصادی تأثیرات قابل‌توجهی بر استان‌های کردستان، همدان، زنجان، آذربایجان شرقی، اردبیل، تهران، قزوین و گیلان دارد(زارع‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۴) این حوضه از دو شاخه‌ی اصلی به نام قزل‌اوزن و شاهرود منشعب شده که در محل سد سفیدرود به هم می‌پیوندند و رودخانه‌ی سفیدرود را تشکیل می‌دهند(آهنی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲). ازنظر کاربری اراضی، زمین‌های کشاورزی ۲۳۰۰۰ کیلومترمربع (۳۸٪)، اراضی شهری ۱۸۰ کیلومترمربع (۰٪) مراتع ۳۴۱۹۳ کیلومترمربع (۵۷٪) و اراضی جنگلی ۱۹۰۰ کیلومترمربع (۳٪) از مساحت منطقه را شامل می‌شوند. همچنین ازنظر زمین‌شناسی، منطقه‌ی موردمطالعه شامل سازندهای پرکامبرین تا کواترنر می‌باشد(نصرتی و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۱۳). متوسط بارندگی سالانه‌ی حوضه‌ی آبریز سفیدرود از ۲۰۰ میلی‌متر در اطراف مخزن سد تا حدود ۶۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات متغیر است(محمدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۸۰).

3- Erena & Worku
4-Topographic Position Indicator
5-Geographic Information System



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی آبریز سفیدرود در میان حوضه‌های آبریز کشور

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌های مورداستفاده

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش با توجه به ابعاد حوضه‌ی سفیدرود، دقت و در دسترس بودن شامل داده‌های موجود در جدول ۱ هستند که به‌صورت رایگان به کاربران قابل‌عرضه هستند.

جدول ۱: مشخصات داده‌های مورداستفاده در پژوهش

داده	تفکیک مکانی	کاربرد	محل دریافت
لایه‌ی رقومی ارتفاع SRTM	۳۰ متر	محاسبه‌ی پارامترهای مورفومتری	Earthexplorer.usgs.gov
تصاویر TRMM	۲۵ کیلومتر	محاسبه‌ی نرخ فرسایندگی	http://apdrc.soest.hawaii.edu
تصویر MODIS	۲۵۰ متر	برآورد پوشش گیاهی منطقه	ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov
آمار بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی	***	ارزیابی دقت داده‌های TRMM	http://www.irimo.ir

۳-۲- محاسبه‌ی پارامترهای مورفومتری حوضه‌های آبریز

پارامترهای مورفومتری مورداستفاده (جدول۲) شامل پارامترهای شکل (شکل حوضه، ضریب فشردگی، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی، متوسط شیب حوضه و متوسط ارتفاع حوضه) و پارامترهای خطی (تراکم زهکشی و نسبت انشعاب) با استفاده از افزونه‌ی Arc Hydro در نرم‌افزار Arc GIS برای هر حوضه بر اساس تقسیمات هیدرولوژیکی وزارت نیرو و لایه‌ی DEM محاسبه شدند.

جدول ۲: پارامترهای مورفومتری حوضه‌های آبریز و فرمول محاسبه‌ی آن‌ها(علیزاده، ۱۳۹۱: ۲۳۵۶).

پارامتر مورفومتری	فرمول	اجزا فرمول
عامل شکل حوضه	$SF=\frac{L^2}{A}$	L: طول حوضه A: مساحت حوضه
ضریب فشردگی	$C=\frac{0.28P}{\sqrt{A}}$	p: محیط حوضه A: مساحت حوضه
نسبت دایره‌ای	$R_c = 12.57\frac{A}{P^2}$	A: مساحت حوضه P: محیط حوضه
نسبت کشیدگی	$R_e = \frac{2}{L_m}(\frac{A}{\pi})^{0.5}$	Lm: طول حوضه A: مساحت حوضه
تراکم زهکشی	$\mu = \frac{\sum L_i}{A}$	L: مجموع طول آبراهه‌های حوضه A: مساحت حوضه
نسبت انشعاب	$BR=(\frac{n1}{n2}+\frac{n2}{n3}\dots+\frac{n_i-1}{ni})\frac{p}{i-1}$	i= شماره‌ی رده‌ی رودخانه‌ی اصلی حوضه
متوسط شیب حوضه	Slope(میانگین)	...
متوسط ارتفاع حوضه	DEM(میانگین)	...

۳-۳- محاسبه نرخ فرسایندگی حوضه‌های آبریز

در این پژوهش به‌منظور برآورد نرخ فرسایندگی فضایی حوضه‌ی قزل اوزن-سفیدرود از داده‌های بارش ماهانه‌ی TRMM در تفکیک زمینی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه که از تارنمای http://apdrc.soest.hawaii.edu دریافت گردیدند، استفاده شده است. جهت برآورد نرخ فرسایندگی از شاخص فورنیه‌ی اصلاح‌شده مطابق رابطه‌ی ۱ استفاده شده است که علت آن نیز ارزیابی دقت داده‌های TRMM در برآورد نرخ بارش و متعاقباً فرسایندگی حوضه‌هاست.

رابطه‌ی ۱ $F = \frac{\sum_{I=1}^{12} pi^2}{\sum_{i=1}^{12} P}$

در این رابطه، F شاخص اصلاح‌شده‌ی فورنیه، Pi متوسط بارندگی ماهانه،P متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر است.

در ادامه از رابطه‌هایی که رنارد و فریموند[6](۱۹۹۴) برای برآورد مقدار R یا فرسایندگی با استفاده از مقادیر محاسبه‌شده‌ی شاخص فورنیه‌ی اصلاح‌شده پیشنهاد دادند، جهت برآورد قدرت فرسایندگی بارش استفاده شده است.

رابطه‌ی ۲ $R - Factor = 0.7397F^{1.847}$ $F< 55$ mm

رابطه‌ی ۳ $R - Factor = (95.77 - 6.81 * F + 0.4770 * F)/17.2$ $F \geq 55$ mm

در این روابط R فاکتور فرسایندگی باران برحسب MJ mm ha^{-1} h^{-1} y^{-1} است.

۴-۳-برآورد سطح پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز

برای تهیه‌ی لایه‌ی پوشش گیاهی حوضه‌ی آبریز با توجه به وسعت منطقه از تصاویر سنجنده‌ی MODIS که یک فریم از تصاویر آن پوشش‌دهنده‌ی کل منطقه‌ی مطالعاتی است، به کمک شاخص نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی (NDVI[7]) استفاده شده است. شاخص NDVI عروف‌ترین شاخص پوشش گیاهی است که مقادیر خروجی آن بین ۱ –و ۱ + قرار می‌گیرد. مقدار NDVI برای سطوح سبز بین صفر و ۱ و برای آب، ابرها و برف معمولاً مقداری کم‌تر از صفر و منفی دارد. مقدار بالای این شاخص نشان‌دهنده‌ی افزایش تراکم پوشش گیاهی است که از رابطه‌ی ۴ قابل‌محاسبه است.

6- Renard & Freimund
7-Normalized Difference Vegetation Index

رابطه‌ی ۴ $$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} = NDVI\ MODIS = \frac{MODISB2-MODISB1}{MODISB2+MODISB1}$$

در این رابطه NIR: باند مادون‌قرمز سنجنده‌ی MODIS (۸۴۱-۸۷۴ نانومتر) و RED باند قرمز سنجنده‌ی MODIS (۶۲۰-۶۷۰ نانومتر) هستند.

۳-۵-اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به روش CP

از روش CP (رابطه‌ی ۵) به‌منظور اولویت‌بندی حساسیت زیرحوضه‌ها به فرسایش استفاده شده است. این روش بر مبنای اصول مدل‌سازی کارشناسان است(Todorovski& Džeroski, 2006: 217). در این روش، تمام شماره‌ی رتبه‌ها بر مبنای تعداد حوضه‌های آبریز تعیین شده است. تعداد ۱۱ زیرحوضه در حوضه‌ی سفیدرود وجود دارد که رتبه‌ها از عدد ۱ تا ۱۱ تعیین شده است. برای پارامترهای مورفومتری و پوشش‌گیاهی، میانگین نرخ فرسایندگی حوضه و میانگین مقدار NDVI حوضه محاسبه شده است. در این روش، رتبه‌ی ۱ نشان‌دهنده‌ی بیش‌ترین تأثیر و رتبه‌ی ۱۱ نشان‌دهنده‌ی کمترین تأثیر در فرسایش هستند. اثر کلی تمامی پارامترها بر قابلیت فرسایش هر زیرحوضه با میانگین رتبه‌های تمامی پارامترها برحسب مقدار CP مشخص می‌شود(Altaf et al., 2014: 8398).

رابطه‌ی ۵ $$CP = 1/N \sum_{i=1}^{n} R$$

در این رابطه CP مقدار میانگین رتبه‌ها، R_i رده‌ی حوضه‌ی آبخیز خاص برای یک پارامتر و N تعداد پارامترهاست(Altaf et al., 2014: 8398).

۳-۶-ارزیابی دقت داده‌های TRMM

جهت ارزیابی داده‌های مورداستفاده در این مطالعه از ریشه‌ی میانگین مربع خطاها (RMSE[8]) و ضریب تعیین R^2[9] بین مقادیر بارش سالانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک و محصول بارش TRMM مطابق روابط ۶ و ۷ استفاده گردید.

رابطه‌ی ۶ $$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

رابطه‌ی ۷ $$R^2 = \sqrt{\frac{\sum_1^n (P_i - \overline{O_i})^2}{\sum_1^n (P_i - \overline{O_i})^2}}$$

در این روابط P_i مقدار برآوردشده در نقطه‌ی i، O_i مقدار اندازه‌گیری‌شده در نقطه‌ی i، $\overline{O_i}$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای برای نقطه‌ی i، i: شماره‌ی نقاط و n: تعداد مشاهده است.

۴- بحث و نتایج

۴-۱- اولویت‌بندی بر اساس پارامترهای مورفومتری

پارامترهای شکل رابطه‌ی معکوس با فرسایش خاک دارند و هر حوضه‌ای که کم‌ترین مقدار پارامتر شکل را دارد، از اولویت بیش‌تری برخوردار است. پارامترهای خطی نیز دارای رابطه‌ی مستقیم با فرسایش خاک هستند که برخلاف پارامترهای شکل، ضریب بالای حوضه‌ها از منظر این پارامترها نشان‌دهنده‌ی ارجحیت و اولویت آن‌هاست که از این منظر، رتبه‌ی داده‌شده با نظر Ahmed & Rao(2015) و Ratnam et al(2015) هماهنگ است. افزایش شیب باعث افزایش ضریب جریان آب‌های سطحی شده و همانند هرز آب‌ها باعث شست‌وشوی سطح رخنمون سنگی از رسوبات رویی می‌شود(علمی‌زاده، ۱۳۹۰: ۸۰)؛ بنابراین حوضه‌هایی با متوسط شیب بیش‌تر از حساسیت بیش‌تری در مقابل فرسایش برخوردارند. عامل ارتفاع نیز به مثابه‌ی عامل شیب عمل می‌کند که افزایش آن باعث افزایش فرسایش خاک و وقوع حرکات دامنه‌ای می‌شود. نتایج میانگین رتبه‌ی حوضه‌ها (CP) از منظر مورفومتری نشان می‌دهد که حوضه‌ی طالقان با مقدار ۴/۲۵ بیش‌ترین اولویت و حوضه‌ی آستانه واقع در پایین‌دست سفیدرود با مقدار ۷/۷۵ از کم‌ترین

8-Root Mean Square Error
9-Coefficient of Determination

حساسیت در مقابل فرسایش برخوردار هستند. بر اساس CP، حوضه‌ها اغلب از شرایط تقریباً یکسانی در مقابل فرسایش برخوردار هستند و تمامی آن‌ها در دو کلاس متوسط و زیاد قرار دارند، ۵۴/۵۴ درصد از حوضه‌ها در کلاس متوسط و ۴۵/۴۶ درصد در کلاس حساسیت زیاد به فرسایش خاک قرار دارند که حوضه‌های طالقان، دیواندره و ماه‌نشان به ترتیب از بیش‌ترین اولویت برخوردارند (جدول ۳).

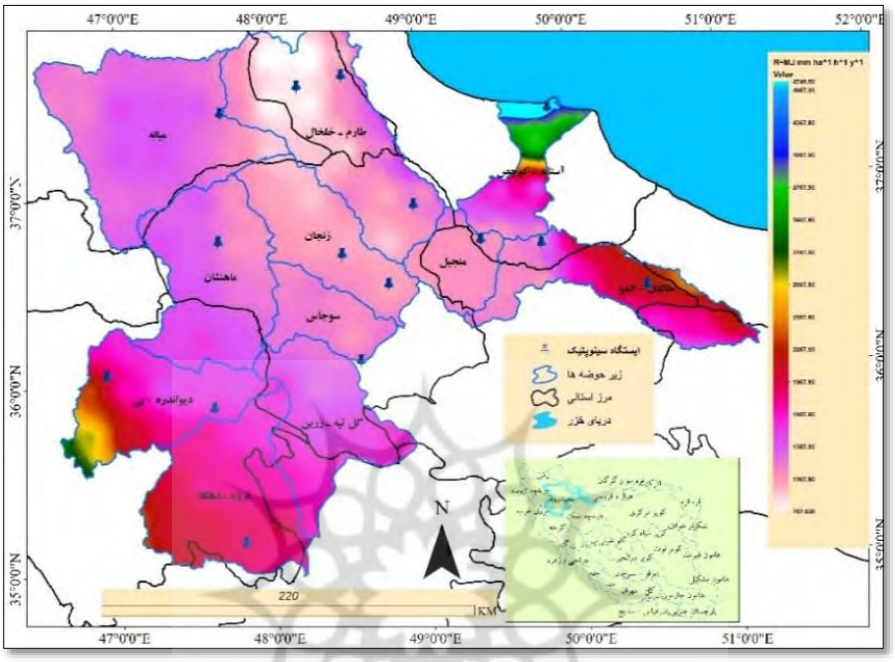
جدول ۳: اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بر اساس نتایج مقادیر پارامترهای مورفومتری

زیرحوضه	نسبت اشعاب	تراکم زهکشی	ضریب فشردگی	ضریب گردی	فاکتور شکل	ضریب کشیدگی	میانگین شیب	میانگین ارتفاع	CP	اولویت‌بندی	رتبه
آستانه	۱/۳	۰/۲۲	۱/۷۸	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۶	۲۲/۱۴	۴۹۰/۳۳	۷/۷۵	متوسط	۱۱
رتبه	۱۰	۱۰	۱۰	۲	۹	۹	۱	۱۱			
طالقان	۲/۸	۰/۳	۲/۰۴	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۳۷	۲۱/۳۳	۱۹۲۸/۲۵	۴/۲۵	زیاد	۱
رتبه	۷	۹	۱۱	۱	۱	۱	۲	۲			
منجیل	۱/۱	۰/۳۱	۱/۲۵	۰/۶۴	۱/۲۴	۱/۲۶	۱۷/۸۶	۱۳۵۲/۰۳	۷/۶۲۵	متوسط	۱۰
رتبه	۱۱	۳	۱	۱۱	۱۱	۱۱	۳	۱۰			
طارم	۳/۶	۰/۳	۱/۵۴	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۴	۱۶/۸۶	۱۶۴۵/۴۸	۵/۶۲۵	زیاد	۵
رتبه	۶	۸	۵	۷	۳	۳	۴	۹			
سجاس	۲/۲	۰/۳۴	۱/۴۶	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۵۸	۶/۲۶	۱۸۷۳/۱	۶/۵	متوسط	۸
رتبه	۹	۱	۳	۹	۸	۸	۱۰	۴			
زنجان	۲/۴	۰/۱۸	۱/۵۵	۰/۴۱	۰/۲	۰/۵۱	۶/۹۲	۱۷۹۴/۷۹	۷/۱۲۵	متوسط	۹
رتبه	۸	۱۱	۶	۶	۶	۶	۶	۸			
میانه	۴/۶	۰/۳	۱/۵۹	۰/۳۹	۰/۴	۰/۷۲	۹/۴۸	۱۸۰۱/۷۳	۶/۲۵	متوسط	۷
رتبه	۴	۷	۷	۵	۱۰	۱۰	۷	۷			
ماه‌نشان	۴/۳	۰/۳	۱/۴۶	۰/۴۷	۰/۱۱	۰/۳۸	۱۱/۳۷	۱۸۶۳/۱۸	۴/۶۲۵	زیاد	۳
رتبه	۵	۶	۲	۱۰	۲	۲	۵	۵			
گل‌تپه	۵/۸	۰/۳۱	۱/۶۲	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۴۷	۵/۸۶	۱۸۰۵/۴۶	۵/۶۲۵	متوسط	۶
رتبه	۲	۴	۹	۳	۵	۵	۱۱	۶			
دیواندره	۶	۰/۳	۱/۶	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۴۴	۸/۴۲	۱۹۵۴/۹۶	۴/۵	زیاد	۲
رتبه	۱	۵	۸	۴	۴	۴	۹	۱			
قروه	۵/۲	۰/۳۱	۱/۴۷	۰/۴۶	۰/۲۵	۰/۵۶	۸/۵	۱۹۰۲/۷۱	۵/۲۵	زیاد	۴
رتبه	۳	۲	۴	۸	۷	۷	۸	۳			

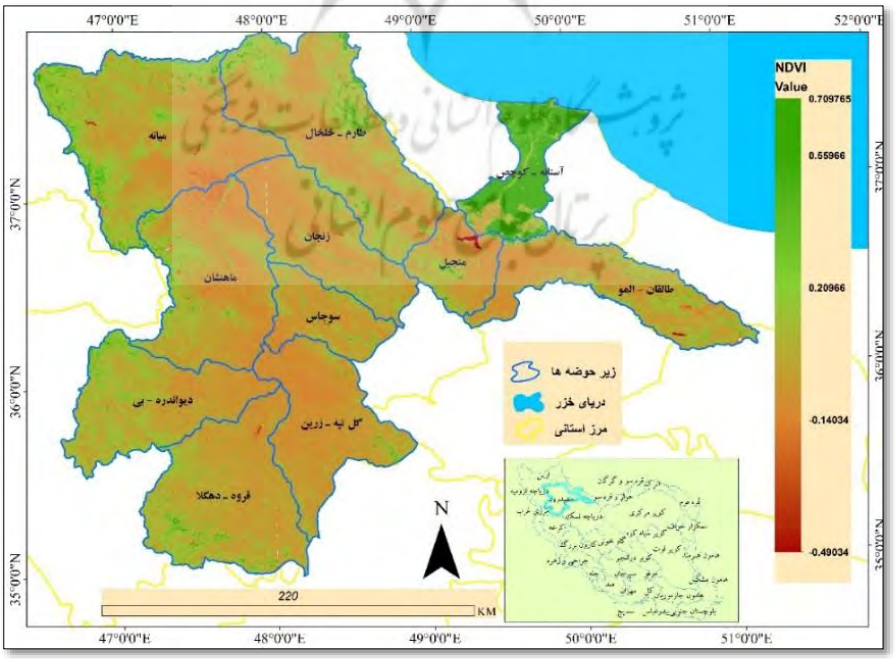
۴-۲- اولویت‌بندی بر اساس نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی

فرسایندگی بیش‌تر به معنای فرسایش بیش‌تر و پوشش گیاهی نیز مانعی در برابر فرسایش خاک است. بر این اساس، مقادیر بیش‌تر نرخ فرسایندگی منجر به حساسیت بیش‌تر حوضه به فرسایش و ارجحیت آن می‌شود؛ درحالی‌که در عامل پوشش گیاهی عکس این قضیه صدق می‌کند. حوضه‌ی آستانه واقع در پایین‌دست سد منجیل که از بارش-های ناحیه‌ی خزر برخوردار است، بیش‌ترین میانگین نرخ فرسایندگی را داراست (شکل-۲)؛ درعین‌حال بیش‌ترین نرخ پوشش گیاهی را نیز دارد (شکل-۳) که این عامل مانع فرسایش خاک می‌شود و تقابل دو عامل را به‌خوبی نشان می‌دهد. ازنظر مقدار CP، حوضه‌ی گل‌تپه، بیش‌ترین حساسیت و حوضه‌ی طارم کم‌ترین حساسیت را در برابر فرسایش خاک دارند. نتایج اولویت‌بندی حوضه‌ها بر اساس نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی کلاس‌های متنوع‌تری را نسبت به

اولویت‌بندی بر اساس مورفومتری نشان می‌دهد که نشان از اختلاف بیش‌تر حوضه‌ها از منظر پوشش گیاهی و نرخ فرسایندگی نسبت به مورفومتری آن‌هاست. بر اساس نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی، ۹/۱ درصد مساحت حوضه‌ی سفیدرود که دربرگیرنده‌ی حوضه‌ی گل‌تپه است، دارای اولویت خیلی زیاد، ۶۳/۶۳ درصد که به ترتیب شامل حوضه‌های طالقان، ماه‌نشان، قروه، دیواندره، زنجان، منجیل و آستانه هستند، در اولویت زیاد، ۱۸/۱۷ درصد که شامل حوضه‌ی سجاس و ماه‌نشان است، در اولویت متوسط و ۹/۱ درصد حوضه که دربرگیرنده‌ی حوضه‌ی طارم است، در اولویت کم قرار دارد (جدول ۴).



شکل ۲: نقشه‌ی فرسایندگی حوضه‌ی آبریز سفیدرود بزرگ بر اساس داده‌های بارش TRMM



شکل ۳: نقشه‌ی پوشش گیاهی حوضه‌ی آبریز قزل اوزن-سفیدرود بزرگ بر اساس شاخص NDVI و تصاویر MODIS

جدول ۴: اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بر اساس نتایج مقادیر پارامترهای فرسایندگی و پوشش گیاهی

زیرحوضه	میانگین R	میانگین NDVI	CP	اولویت‌بندی	رتبه
آستانه	۲۴۸۳/۹۶	۰/۳۹	۶	زیاد	۸
رتبه	۱	۱۱			
طالقان	۱۷۰۵	۰	۵	زیاد	۲
رتبه	۴	۶			
منجیل	۱۱۰۳	-۰/۰۲	۶	زیاد	۷
رتبه	۹	۳			
طارم	۱۰۳۷/۶۵	۰/۰۳	۹/۵	کم	۱۱
رتبه	۱۱	۸			
سجاس	۱۱۶۹/۵۲	-۰/۰۱	۶/۵	متوسط	۹
رتبه	۸	۵			
زنجان	۱۰۴۹/۱۱	-۰/۰۲	۶	زیاد	۶
رتبه	۱۰	۲			
میانه	۱۲۶۲/۲۳	۰/۰۴	۸/۵	متوسط	۱۰
رتبه	۷	۱۰			
ماه‌نشان	۱۳۰۱/۳۵	-۰/۰۱	۵	زیاد	۳
رتبه	۶	۴			
گل‌تپه	۱۴۷۲/۹۳	-/۰۵	۳	خیلی زیاد	۱
رتبه	۵	۱			
دیواندره	۱۸۷۷/۰۲	۰/۰۴	۵/۵	زیاد	۵
رتبه	۲	۹			
قروه	۱۸۴۷/۴۵	۰/۰۲	۵	زیاد	۴
رتبه	۳	۷			

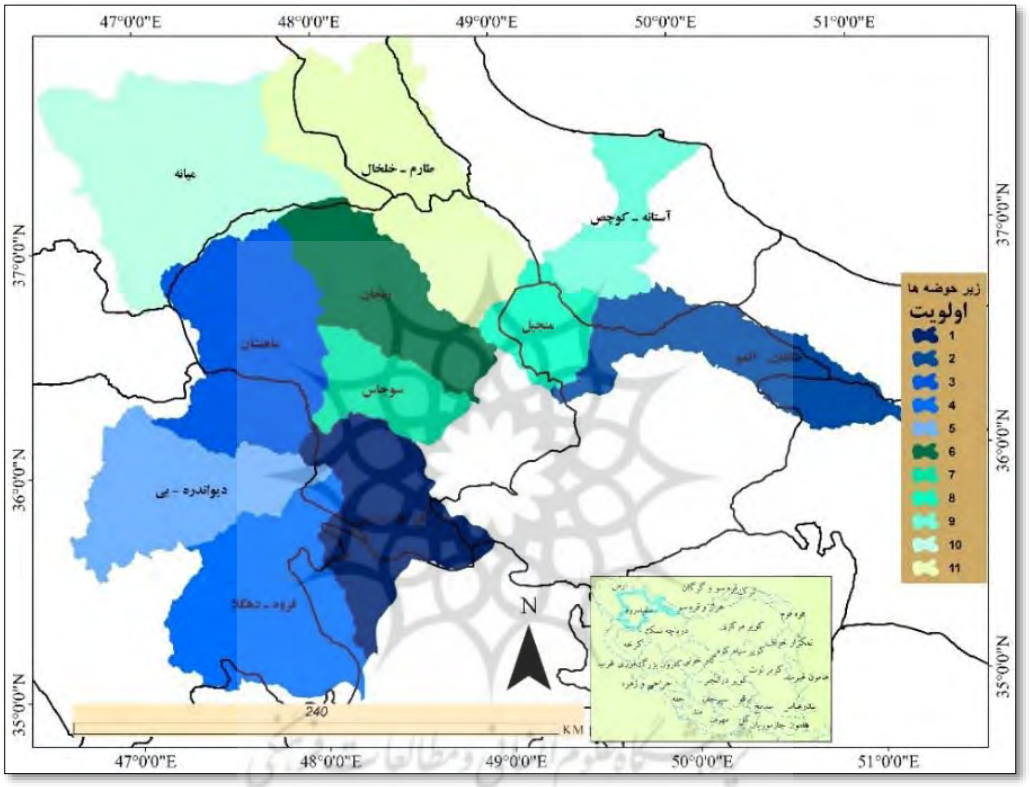
۴-۳- اولویت‌بندی تلفیقی

بر اساس تلفیق میانگین پارامترهای مورفومتری، فرسایندگی و پوشش گیاهی کوچک‌ترین مقدار CP حوضه‌ها ۳/۸۷ و بیش‌ترین مقدار ۸/۲ برای حوضه‌های ماه‌نشان و منجیل بوده است. همچنین مشابه کلاسه‌بندی پارامترهای مورفومتری، نتایج اولویت‌بندی تلفیقی نیز در دو کلاس متوسط و زیاد جای می‌گیرند (جدول ۵). حوضه‌های با اولویت زیاد، ۴۵/۴۵ درصد و حوضه‌های با استعداد متوسط نیز ۵۴/۵۵ درصد، زیرحوضه‌های سفیدرود بزرگ را دربر می‌گیرد. حوضه‌های گل‌تپه، طالقان، ماه‌نشان، قروه و دیواندره به ترتیب با میانگین CP های ۳/۸۷، ۴/۷۵، ۴/۸۷، ۵ و ۵/۱۶ از بیش‌ترین حساسیت و اولویت در مقابل فرسایش آبی برخوردار هستند (شکل-۴).

جدول ۵: نتایج اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بر اساس پارامترهای مورفومتری، فرسایندگی و پوشش گیاهی

زیرحوضه	میانگین مورفومتری	میانگین R	میانگین NDVI	CP	اولویت‌بندی	رتبه
آستانه	۷/۷۵	۱	۱۱	۶/۵۸	متوسط	۹
طالقان	۴/۲۵	۴	۶	۴/۷۵	زیاد	۲
منجیل	۷/۶۲۵	۹	۳	۶/۵۴	متوسط	۸

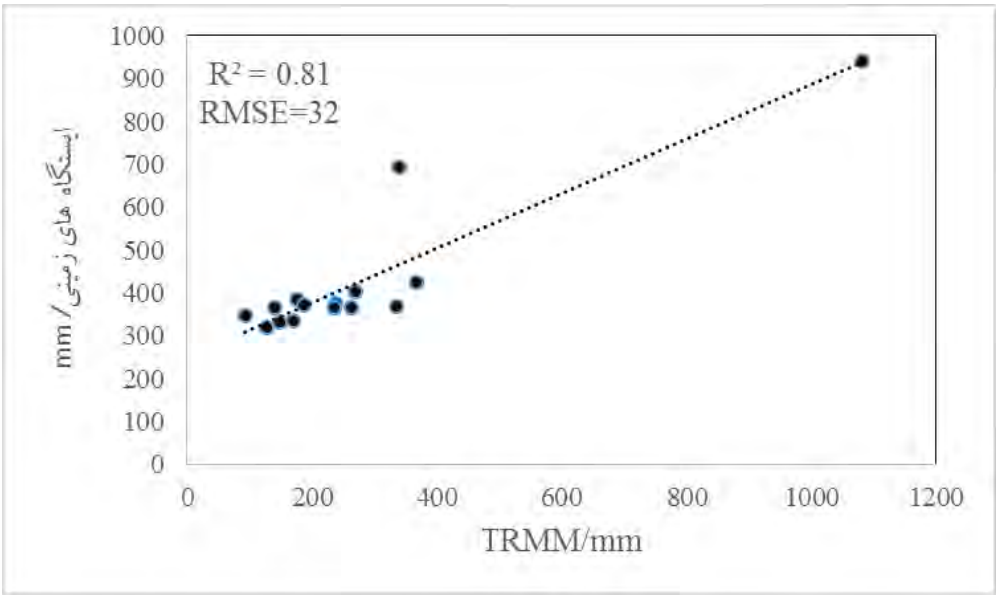
طارم	۵/۶۲۵	۱۱	۸	۸/۲	متوسط	۱۱
سجاس	۶/۵	۸	۵	۶/۵	متوسط	۷
زنجان	۷/۱۲۵	۱۰	۲	۶/۳۷	متوسط	۶
میانه	۶/۲۵	۷	۱۰	۷/۷۵	متوسط	۱۰
ماه‌نشان	۴/۶۲۵	۶	۴	۴/۸۷	زیاد	۳
گل‌تپه	۵/۶۲۵	۵	۱	۳/۸۷	زیاد	۱
دیواندره	۴/۵	۲	۹	۵/۱۶	زیاد	۵
قروه	۵/۲۵	۳	۷	۵	زیاد	۴



شکل ۴: نقشه‌ی اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها با استفاده از تلفیق نرخ فرسایندگی، پوشش گیاهی و مورفومتری

۴-۴- ارزیابی دقت داده‌های TRMM

ارزیابی دقت داده‌های TRMM در موقعیت پیکسل ایستگاه‌های زمینی نشان می‌دهند که ضریب R^2 این داده‌ها برابر با ۰/۸۱ است که از این منظر دقت مطلوبی دارا هستند و ضریب RMSE آن‌ها ۳۲ میلی‌متر است که با توجه میانگین بارش سالانه‌ی حوضه (۲۰۰ میلی‌متر) و با توجه به برداشت متفاوت سنجنده‌ها نسبت به ایستگاه‌های زمینی، خطای نسبتاً پایین و قابل‌چشم‌پوشی است که نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای این داده‌ها در برآورد نرخ بارش در حوضه‌ی سفیدرود دارد (شکل-۵).



شکل ۵: ارزیابی میزان خطای داده‌های بارشی TRMM نسبت به ایستگاه‌های زمینی

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور اولویت‌گذاری زیرحوضه‌های سفیدرود-قزل‌اوزن در برابر فرسایش خاک از پارامترهای مورفومتری به‌عنوان عوامل فیزیوگرافیکی دخیل در فرسایش حوضه‌های آبریز به همراه نرخ فرسایندگی سالانه به‌عنوان عامل دینامیک بیرونی و پوشش گیاهی به‌عنوان عامل حفاظتی زمین استفاده شد. در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بر اساس پارامترهای مورفومتری، تمامی زیرحوضه‌های سفیدرود-قزل‌اوزن در دو کلاس متوسط با درصد فراوانی ۵۴/۵۴ و زیاد با درصد فراوانی ۴۵/۴۶ جای می‌گیرند. اولویت‌بندی حوضه‌ها بر اساس نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی نشان‌دهنده‌ی تنوع بیش‌تر زیرحوضه‌ها از منظر این دو پارامتر است؛ بنابراین از این منظر زیرحوضه‌ها در چهار کلاس خیلی‌زیاد (۹/۱ درصد)، زیاد (۶۳/۶۳ درصد) متوسط (۱۸/۱۷ درصد) و کم (۹/۱ درصد) جای گرفتند که نشان‌دهنده‌ی بیش‌تر بودن اختلاف فرسایندگی و پوشش گیاهی زیرحوضه‌ها نسبت به اختلاف مورفومتری آن‌هاست. ازآنجایی‌که پارامترهای مورفومتری حوضه‌ها عمدتاً از حرکات تکتونیکی تأثیر می‌پذیرند و با توجه به‌قرارگیری بیش‌ترین بخش حوضه‌ی قزل‌اوزن-سفیدرود در واحدهای ژئومورفولوژی شمالی (البرز و تالش) و شمال غربی (آذربایجان و کردستان) پارامترهای مورفومتری از حرکات و ویژگی‌های این ناهمواری‌ها تبعیت کرده و اختلاف زیادی بین آن‌ها مشاهده نمی‌شود. عوامل زیادی را می‌توان در تغییرات فضایی بارش و متعاقباً نرخ فرسایندگی حوضه‌ی قزل اوزن-سفیدرود برشمرد که از مهم‌ترین آن‌ها منشأ توده‌های هوا و ارتفاع ناهمواری‌هاست. از منظر منشأ توده‌های هوا مناطق پایین‌دست حوضه (حوضه‌ی آستانه) که از منشأ بارش‌های خزری بهره‌مند است، دارای نرخ فرسایندگی بالایی است. همچنین مناطق مرتفع در سرآب حوضه (دهگلان، دیواندره و قروه) برخوردار از بارش‌های با منشأ موج بادهای غربی، از بارش بالایی هم برخوردار هستند. دشت‌ها و چاله‌های داخلی حوضه به دلیل ارتفاع کم و مانع بودن رشته‌کوه‌های حاشیه‌ای و ممانعت از ورود توده‌های بارش‌زا به داخل چاله‌ها، بارش کم‌تری نسبت به مناطق سرآب و پایاب حوضه دارند. در عامل پوشش گیاهی نیز مشابه با عامل فرسایندگی، عوامل محلی زیادی در تغییرات پوشش گیاهی دخیل هستند که مهم‌ترین آن نیز عامل بارش است؛ به‌طوری‌که در مناطق با بارش زیاد (حوضه‌ی آستانه، دهگلان، قروه، دیواندره و غیره) که از بارش بیش‌تری برخوردار هستند، پوشش گیاهی انبوه‌تری دارند. درمقابل، چاله‌های داخلی که از بارش کم‌تری برخوردارند، دارای پوشش گیاهی ضعیف‌تری نیز هستند. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس سه پارامتر مورفومتری، فرسایندگی و پوشش‌گیاهی نیز نتایجی همچون اولویت‌بندی بر اساس پارامترهای مورفومتری دارد که

۴۵/۴۵ درصد از مساحت حوضه‌ی قزل اوزن-سفیدرود که به ترتیب اولویت دربرگیرنده‌ی حوضه‌های گل‌تپه، طالقان، ماه‌نشان، قروه و دیواندره است، در اولویت زیاد و حوضه‌های قرارگرفته در کلاس متوسط نیز ۵۴/۵۵ درصد مساحت حوضه را شامل می‌شوند که به ترتیب دربرگیرنده‌ی حوضه‌های زنجان، سجاس، منجیل، آستانه، میانه و طارم هستند. در اولویت‌بندی تلفیقی، حوضه‌ی گل‌تپه مشخصاً بیش‌ترین اولویت و حوضه‌ی طارم کم‌ترین اولویت را جهت اقدامات پیشگیری از فرسایش دارا هستند. حوضه‌ی گل‌تپه از حوضه‌های واقع در سرآب قزل‌اوزن است که داری بیش‌ترین نرخ فرسایندگی و میانگین NDVI منفی است که این دو پارامتر نشان از فزونی نرخ فرسایندگی و ضعف در عامل حفاظتی زمین است. همچنین این حوضه ازلحاظ پارامترهای مورفومتری نیز دارای اولویت ششم در بین حوضه‌های قزل‌اوزن-سفیدرود است که با تلفیق نرخ فرسایندگی و پوشش گیاهی درمجموع بیش‌ترین حساسیت را در مقابل فرسایش داراست. حوضه‌ی طارم به‌عنوان کم‌اولویت‌ترین حوضه، دارای کم‌ترین نرخ فرسایندگی و مقادیر NDVI مثبت است که این عامل نشان از کاهش عامل فرسایندگی و بهبود عامل حفاظتی در این حوضه است. هرچند که این حوضه ازلحاظ مورفومتری جزو حوضه‌های مستعد فرسایش و در رده‌ی پنجم در بین زیرحوضه‌های قزل‌اوزن-سفیدرود قرار دارد.

از منظر داده‌های مورداستفاده، داده‌های TRMM جدیدترین داده‌های مورداستفاده هستند که به‌منظور افزایش سرعت‌عمل در اولویت‌بندی و برآورد پارامتر بارش و متعاقباً فرسایندگی به کار گرفته‌شده‌اند. نتایج ارزیابی دقت این داده‌های نشان داد که ازنظر ضریب R^2 و RMSE این داده‌ها عملکرد مطلوبی در حوضه‌ی سفیدرود دارا هستند و می‌توانند در برآورد نرخ فرسایندگی مورداستفاده قرار گیرند. مطالعه‌ی حاضر نشانگر عملکرد مطلوب داده‌ای رقومی-فضایی برای مطالعات مورفومتری، پوشش گیاهی، فرسایندگی و... حوضه‌های آبریز است که به‌منظور مطالعات تفضیلی حوضه‌های آبریز مفید هستند و برای حوضه‌های فاقد داده می‌توانند در کوتاه‌ترین زمان مورداستفاده قرار گیرند.

۶- منابع

۱- اسدی نلیوان، امید، سقازاده، نرگس، سلحشور دستگردی، مریم، بای، محبوبه (۱۳۹۴). اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و GIS به‌منظور اقدامات آبخیزداری (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز مراوه‌تپه، استان گلستان)، نشریه‌ی اکوهیدرولوژی، سال ۲، شماره‌ی ۱، صص ۱۰۳-۹۰.

۲- آمانی، محمد، نجفی‌نژاد، علی (۱۳۹۳). اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS، حوضه‌ی آبخیز لهندر، استان گلستان، پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۹، صص ۱۵-۱.

۳- آهنی، علی، امامقلی‌زاده، صمد، موسوی ندوشنی، سید سعید، اژدری، خلیل (۱۳۹۴). تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ترکیبی و گشتاور های خطی، پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز، سال ۶، شماره‌ی ۱۲، صص ۲۰-۱۱.

۴- علمی‌زاده، هیوا (۱۳۹۰). تحلیل مورفولوژی و شیب در ارتباط با فرسایش (نمونه‌ی موردی: حوضه- نچی)، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره‌ی ۲۰، شماره‌ی ۸۰، صص ۸۳-۷۹.

۵- فلاح، مقدسه، محمدی، مازیار، کاویان، عطاله (۱۳۹۴). اولویت بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی، نشریه‌ی اکوهیدرولوژی، سال ۲، شماره‌ی ۳، صص ۲۷۴-۲۶۱.

۶- محمدی، صدیقه، سلاجقه، علی، احمدی، حسن، قدوسی، جمال، کیانی‌راد، علی (۱۳۹۶). ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف برآورد بار معلق به روش منحنی سنجه در حوزه‌ی آبخیز سفیدرود، نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری، دوره‌ی ۷۰، شماره‌ی ۴، صص ۹۹۰-۹۷۷.

۷- مسجدی، علی‌رضا، فتحی‌مقدم، منوچهر (۱۳۸۸). بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۳، صص ۲۱۱-۲۰۱.

۸- مکرم، مرضیه، درویشی بلورانی، علی، نگهبان، سعید (۱۳۹۶). ارتباط ویژگی های مورفومتری حوضه‌های آبخیز و فرسایش-پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، دوره‌ی ۲۶، شماره‌ی ۱۰۱، صص ۱۴۲-۱۳۱.

۹- نصرتی، کاظم، ایمنی، سپیده، طالاری، آرش (۱۳۹۷). تحلیل منطقه‌ای بار رسوب معلق با استفاده از روش رگرسیون مؤلفه‌های اصلی در حوضه‌ی آبخیز سفیدرود، نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری، دوره‌ی ۷۱، شماره‌ی ۳، صص ۸۲۷-۸۰۹.

۱۰- نیک‌کامی، داود، رزم‌جو، پیمان، بیات‌موحد، فرزاد (۱۳۸۹). بررسی و معرفی چند شاخص جدید فرسایندگی باران، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۲، صص ۷۲-۶۵.

۱۱- نیک‌کامی، داود، مهدیان، محمدحسین (۱۳۹۳). تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص مناسب فرسایندگی باران کشور، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۴، صص ۳۷۶-۳۶۴.

۱۲- همت‌زاده، یلدا، بارانی، حسین، کبیر، آتنا (۱۳۹۱). نقش مدیریت پوشش گیاهی بر میزان روانآب سطحی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز کچیک، استان گلستان)، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۲، صص ۳۳-۱۹.

13- Ahmed, F., Rao, K. S. (2015). Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric Analysis using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. International Journal of Remote Sensing and GIS, 4(2), 51-65.

14- Altaf, S., Meraj, G., Romshoo, S. A. (2014). Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. Environmental monitoring and assessment, 186(12), 8391-8412.

15- Erena, S. H., Worku, H. (2018). Flood risk analysis: causes and landscape based mitigation strategies in Dire Dawa city, Ethiopia. Geoenvironmental Disasters, 5(1), 16.

16- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological society of America bulletin, 56(3), 275-370.

17- Hurtrez, J. E., Sol, C., Lucazeau, F. (1999). Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills(Central Nepal). Earth Surface Processes and Landforms, 24(9), 799-808.

18- Javed, A., Khanday, M. Y., Ahmed, R. (2009). Prioritization of sub-watersheds based on morphometric and land use analysis using remote sensing and GIS techniques. Journal of the Indian society of Remote Sensing, 37(2), 261.

19- Khan, M. A., Gupta, V. P., Moharana, P. C. (2001). Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India. Journal of Arid Environments, 49(3), 465-475.

20- Lal, R. (1976). Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria: III. Effects of rainfall characteristics. Geoderma, 16(5), 389-401.

21- Rai, P. K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., Mishra, V. N. (2017). A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. Applied Water Science, 7(1), 217-232.

22- Ratnam, K. N., Srivastava, Y. K., Rao, V. V., Amminedu, E., Murthy, K. S. R. (2005). Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis—remote sensing and GIS perspective. Journal of the Indian society of remote sensing, 33(1), 25.

23- Suresh, M., Sudhakar, S., Tiwari, K. N., Chawdary, V. M. (2005). Prioritization of watershed using morphometric parameters and assessment of surface water potential using RS. Journal of the Indian society of Remote Sensing, 32(11).

24- Todorovski, L., Džeroski, S. (2006). Integrating knowledge-driven and data-driven approaches to modeling. Ecological modelling, 194(1-3), 3-13.