

طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز نکارود با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS, VIKOR و SAW

محمد شریفی کیا^{۱*}، سیاوش شایان^۲، مجتبی یمانی^۳ و علی‌رضا عرب‌عامری^۴

۱. دانشیار، گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. استاد، گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه تهران

۴. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۵/۱۴)

چکیده

تجزیه و تحلیل کمی پارامترهای مورفومتریک ابزار بسیار مفیدی در ارزیابی فرایندهای تشکیل‌دهنده فرم زمین، اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز از نظر حساسیت به فرسایش به منظور حفاظت از منابع آب و خاک و مدیریت منابع طبیعی در سطح حوضه آبخیز است. هدف از این پژوهش، اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به کمک ابزار GIS و RS است. به این منظور ابتدا مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از داده‌های فرکانس پایین راداری PALSAR از منطقه تهیه شد، سپس ۱۷ زیرحوضه در محیط ArcGIS 10.2 استخراج شد. پس از پیش‌پردازش و آماده‌سازی مدل رقومی ارتفاعی ۱۴ پارامتر مورفومتریک شامل چهار پارامتر مورفومتریک شکلی (ضریب شکل، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، ضریب فشردگی)، دو پارامتر خطی (نسبت انشعاب، طول جریان)، پنج پارامتر فضایی (تراکم زهکشی، میزان بافت زهکشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب نفوذ) و سه پارامتر توپوگرافیک (نسبت ناهمواری، مقدار عددی ناهمواری، شیب) استخراج شد. به منظور آنالیز کمی پارامترهای مورفومتریک از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS, SAW و VIKOR استفاده شد و در نهایت با استفاده از شاخص‌های درصد تغییرات و شدت تغییرات، مدل‌ها ارزیابی شد. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی پارامترهای مورفومتریک با استفاده از روش AHP نشان داد پارامترهای نسبت انشعاب، شیب و تراکم زهکشی به ترتیب با کسب (۰/۱۳۵، ۰/۱۷۴، ۰/۲۲۷) امتیاز بیشترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری و هدررفت منابع طبیعی داشته‌اند. ارزیابی مدل‌ها نشان داد مدل VIKOR با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر به اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها پرداخته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل برتر، زیرحوضه‌های دو، ۱۵ و ۱۷ به ترتیب با کسب (۰/۹۹۴، ۰/۶۴۵، ۰/۶۲۶) امتیاز در وضعیت بحرانی بسیار زیاد قرار گرفته‌اند و بقیه زیرحوضه‌ها نیز در وضعیت بحرانی زیاد قرار گرفته‌اند و به انجام عملیات آبخیزداری به منظور حفاظت از منابع آب و خاک نیاز دارند.

کلیدواژگان: اولویت‌بندی، پارامترهای مورفومتریک، حساسیت به فرسایش، زیرحوضه، حوضه نکارود.

مقدمه

تأکید عمده ژئومورفولوژی طی چند دهه گذشته روی توسعه روش‌های فیزیوگرافیک کمی به منظور توصیف تکامل و رفتار شبکه‌های زه‌کشی سطحی است [۱]. حوضه زه‌کشی، که به عنوان منشأ فرسایش رودخانه‌ای شناخته می‌شود، یک واحد فضایی هیدرولوژیک، توپوگرافیک و ژئومورفیک به‌منظور مدیریت حوضه آبخیز و یک واحد ایده‌آل برای مدیریت توسعه پایدار منابع طبیعی است [۲]. حوضه زه‌کشی نشان‌دهنده یک ماهیت هیدرولوژیکی کنترل‌پذیر طبیعی است که رواناب‌های سطحی را به یک کانال، جریان و یا رودخانه در یک نقطه خاص هدایت کرده و در نتیجه مبنایی را برای آنالیزهای مورفومتری فراهم می‌کند [۳]. تکنیکی که ابتدا به وسیله هورتن معرفی شد [۴] و بعدها به وسیله استرالر [۵]، اسمیت [۶]، میلر [۷] و اسچوم [۸] گسترش داده شد، یعنی کسانی که بعدها مؤسسه تحقیقات کمی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای را تأسیس کردند [۹]. از آنجا که طرح‌های توسعه منابع طبیعی عمدتاً در حوضه‌های آبخیز اجرایی می‌شود، بنابراین طبقه‌بندی آنها به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب منابع طبیعی برای توسعه پایدار ضروری است [۱۰]. تا کنون از روش‌های مختلفی مانند شاخص تولید رسوب، استراتژی کاربری اراضی، به‌کارگیری فاکتورهای مؤثر در ارزیابی زیست‌محیطی، روش‌های تلفیقی مدل‌سازی هیدرولوژیکی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی پتانسیل فرسایش خاک زیرحوضه‌ها، پارامترهای مورفومتریک و جنبه‌های اجتماعی اقتصادی به‌منظور طبقه‌بندی حوضه‌های آبخیز استفاده شده است [۱۱]. با توجه به اینکه استفاده از اغلب روش‌های یادشده به اطلاعات گسترده و با کیفیت زیاد از حوضه‌های آبخیز نیاز دارد، در نتیجه استفاده از آنها در حوضه‌هایی دشوار است که با کمبود اطلاعات مواجه‌اند. در این پژوهش از روش آنالیز مورفومتریک به دلیل بی‌نیازی به داده‌های گسترده به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شده است. مورفومتری، اندازه‌گیری و آنالیز ریاضی پیکربندی سطح زمین، شکل و ابعاد لندفرم‌هاست [۱۲]. مورفومتری حوضه آبخیز متأثر از پاسخ‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفیک فرایندها مانند جریان‌های سطحی، فرسایش خاک، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها، رسوب رودخانه، تغییر جهت جریان، ویژگی‌های جریانی خطوط زه‌کشی و عملکرد و پایداری سدها و مخازن در صورت وجود در حوضه است [۱۳]. تجزیه و

تحلیل کمی پارامترهای مورفومتریک ابزار بسیار مفیدی در ارزیابی حوضه رودخانه، طبقه‌بندی حوضه آبخیز به‌منظور حفاظت از منابع آب و خاک و مدیریت منابع طبیعی در سطح حوضه آبخیز است و اطلاعات دقیقی را در زمینه فرایندهای تشکیل‌دهنده فرم زمین، خواص فیزیکی خاک و ویژگی‌های فرسایشی ارائه می‌کند [۵]. ابتدا با استفاده از روش‌های دستی معمولی مانند نقشه‌های توپوگرافی و مشاهدات میدانی، پارامترهای مورفومتریک بررسی و استخراج می‌شده است [۱۴]. از اواسط دهه ۱۹۸۰، تکنیک‌های تحلیلی جغرافیایی (GIS) و (RS) به‌منظور کمی‌سازی و محاسبه پارامترهای مورفومتریک استفاده شده است [۱۵]. همراه با آن، افزایش دسترسی به داده‌های رقومی ارتفاعی، فرایند توصیف کمی شبکه‌های زه‌کشی، تهیه نقشه‌های موضوعی مورفومتریک و قابلیت اجرای آنالیز ژئومورفومتریک را در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی افزایش داده است. مقایسه و ارزیابی داده‌های مورفومتریک به‌دست‌آمده از روش‌های دستی، قدیمی و تکنیک‌های مکانی خودکار، نشان داد تکنولوژی مدرن ابزارهای قدرتمند و مقرون‌به‌صرفه برای مدیریت و پردازش داده‌ها و تهیه نقشه‌ها برای کاربردهای مختلف است [۱۶]. در حال حاضر، مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) استانداردترین تکنیک را به‌منظور استخراج اطلاعات مورد نیاز ارائه می‌کنند که فرایندهای ژئومورفولوژیکی را کنترل می‌کند [۱۶]. پژوهشگران زیادی به این نتیجه رسیدند که سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک سنجش از دور (RS) ابزار مؤثر برای اندازه‌گیری و محاسبه دقیق پارامترهای مورفومتریک حوضه زه‌کشی هستند که از مزایای آنها می‌توان به قابلیت مدیریت و پردازش مقادیر زیادی اطلاعات فضایی با دقت زیاد و صرف زمان کم اشاره کرد [۱۶]. در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران به مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ (MCDM) برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده معطوف شده است. در این نوع تصمیم‌گیری‌ها برای بهینه‌سازی مدل، به‌جای استفاده از یک معیار سنجش، از چند معیار استفاده می‌شود و سبب زیاد شدن دقت تصمیم‌گیری‌ها می‌شود [۱۷].

پیشینه تحقیق

تا کنون در زمینه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از پارامترهای مورفومتریک تحقیقات زیادی صورت گرفته است.

1. Multiple Criteria- Decision- Making (MCDM)

اولویت کم قرار گرفته‌اند. اسدی نلیوان و همکارانش [۲۴] زیرحوضه‌ها را با استفاده از آنالیز مورفومتری طبقه‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که زیرحوضه C3 به‌علت داشتن بیشترین فرسایش و خاک ضعیف دچار وضعیت بحرانی است. هدف از این پژوهش آنالیز کمی پارامترهای مورفومتریک حوضه آبخیز با استفاده از روش‌های TOPSIS, SAW و VIKOR به‌منظور اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش برای مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی آب و خاک است. نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در کنار پارامترهای مورفومتریک به‌منظور طبقه‌بندی زیرحوضه‌هاست.

مواد و روش‌ها

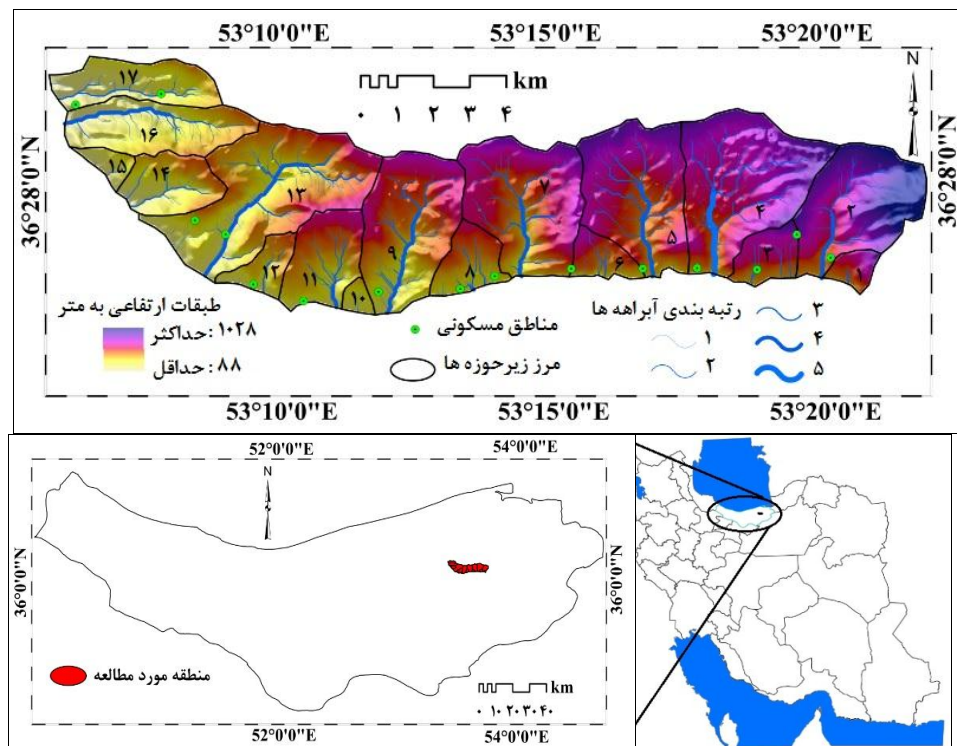
منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز نکارود یکی از حوضه‌های کوهستانی شمال کشور است که با مساحتی حدود ۹۶/۶۸۳ کیلومترمربع، بین مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). کمینه ارتفاع منطقه ۸۷ متر و بیشینه آن ۱۰۲۵ متر است. شکل عمومی حوضه کشیده است و امتداد شرقی-غربی دارد و میانگین ارتفاعی حوضه ۴۳۵/۴۷ متر است. میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است.

روش پژوهش

روش بررسی در این پژوهش توصیفی-تحلیلی است. با توجه به موضوع تحقیق تکنیک گردآوری آمار و اطلاعات مورد نیاز کتابخانه‌ای-اسنادی و میدانی است. به‌منظور اجرای این پژوهش ابتدا حوضه آبخیز نکارود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تعیین حدود شد و در گام بعد این حوضه به ۱۷ واحد هیدرولوژیک تقسیم شد. در این پژوهش از آنجا که واحدهای هیدرولوژیک مبنای بررسی پارامترهای مورفومتریک برای اولویت‌بندی هستند، بنابراین ابتدا با استفاده از شبکه آبراه‌ها و منحنی‌های ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و داده‌های رقومی ارتفاعی به‌دست‌آمده از داده‌های فرکانس پایین راداری PALSAR (با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر) در محیط

در خارج از کشور جاود و همکارانش [۱۸] به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس آنالیز مورفومتریک و کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در حوضه کانرا پرداختند. براساس آنالیز مورفومتریک و کاربری اراضی زیرحوضه‌ها به سه گروه زیاد، متوسط و کم برای اولویت‌بندی مدیریت و حفاظت منابع طبیعی طبقه‌بندی شدند و طبق نتایج دو زیرحوضه اولویت زیادی داشتند. تاکار و دهیمن [۱۹] با استفاده از GIS و RS و با بهره‌گیری از خصوصیات مورفومتری هشت زیرحوضه را در حوضه آبخیز گوجارات هند اولویت‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات مربوط به شکل با رواناب و فرسایش خاک رابطه منفی دارند، در حالی که سایر پارامترها مانند ضریب انشعاب، بافت خاک، تراکم زهکشی و توان آبراهه رابطه مثبتی با این دو گزینه دارند. آهر و همکارانش [۲۰] خصوصیات مورفومتریک و اولویت‌بندی به‌منظور برنامه‌ریزی مدیریتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هند را با استفاده از رویکرد ترکیبی سنجش از دور و GIS کمی‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۵۱/۶۶ درصد از زیرحوضه‌ها در مناطق با حساسیت متوسط تا زیاد قرار گرفته‌اند که بیان‌کننده نیاز این مناطق به برنامه‌ریزی‌های حفاظتی است. اقبال و سجاد [۲۱] حوضه آبخیز دادگانگای هند را با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و پارامترهای کاربری اراضی و با بهره‌گیری از تکنولوژی فضایی اولویت‌بندی کردند و این حوضه آبخیز را به سه گروه زیاد، متوسط و کم از نظر اولویت برای حفاظت و مدیریت منابع طبیعی تقسیم‌بندی کردند. در ایران نیز رحمتی و همکارانش [۲۲] سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان را براساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری اولویت‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که روش نوین اولویت‌بندی ارائه‌شده قادر به تعیین اولویت ترتیبی همه زیرحوضه‌های آبخیز نیست، ولی توانسته زیرحوضه‌های با بیشترین اولویت یعنی زیرحوضه‌های شماره ۳، ۱۶ و ۹ را اولویت‌دارترین زیرحوضه‌ها برای اجرای اقدامات آبخیزداری شناسایی کند. فلاح و همکارانش [۲۳] زیرحوضه‌ها را با استفاده از آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز تالاب استان مازندران اولویت‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که از ۲۱ زیرحوضه بررسی‌شده، نه زیرحوضه در اولویت بسیار زیاد، شش زیرحوضه در اولویت زیاد، پنج زیرحوضه در اولویت متوسط، و یک زیرحوضه در



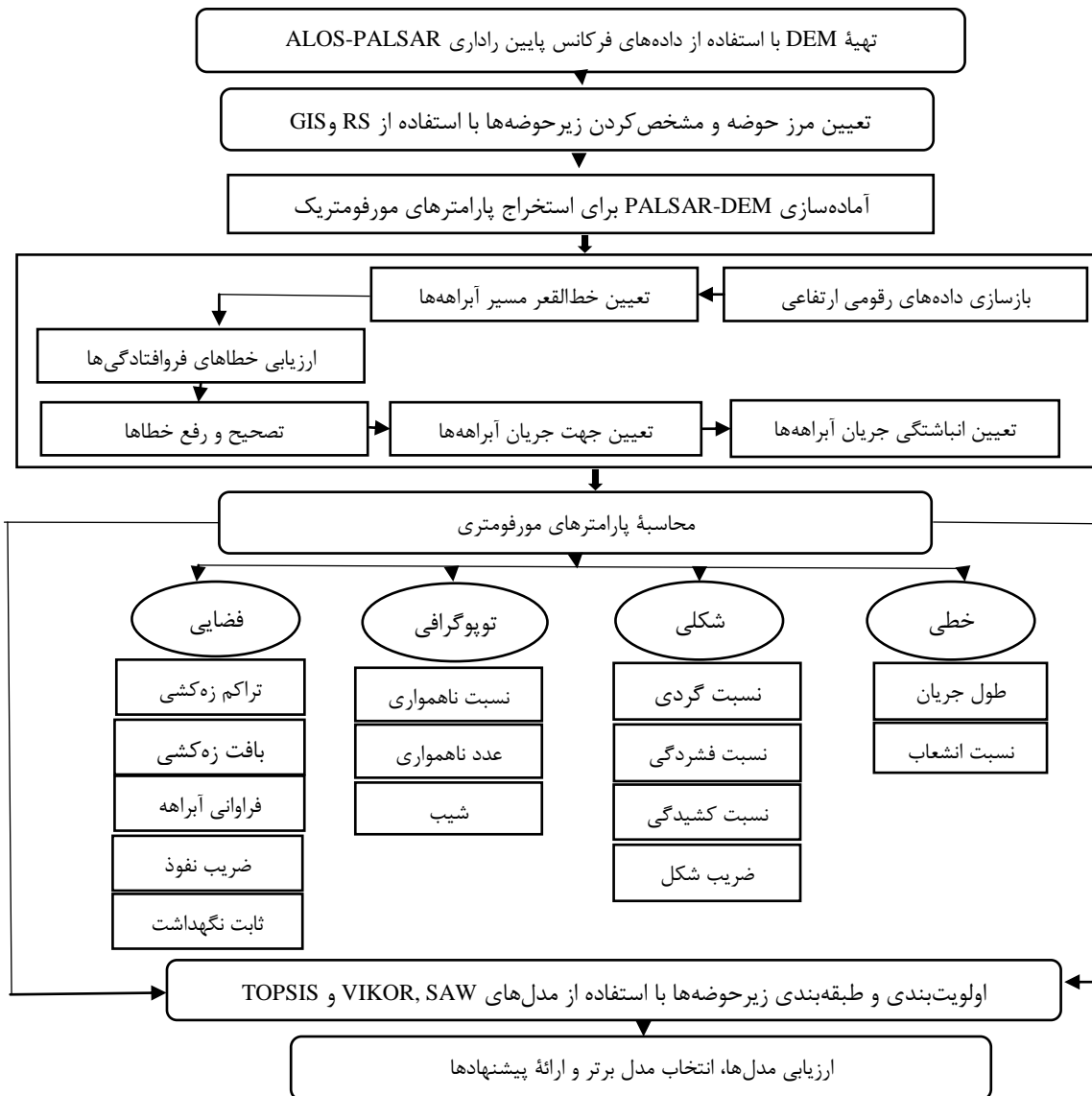
شکل ۱. منطقه مطالعه شده

جدول ۱. پارامترهای مورفومتریک و چگونگی محاسبه آنها

ردیف	پارامتر مورفومتریک	رابطه ریاضی	توصیف	مرجع
۱	ضریب شکل	$F_f = \frac{A}{(L_b)^2}$	که در آن A و L_b به ترتیب مساحت به کیلومتر مربع و طول حوضه آبخیز به کیلومتر است.	[۱]
۲	ضریب کشیدگی	$R_e = \frac{2 \left(\sqrt{\frac{A}{\pi}} \right)}{L}$	که در آن A مساحت حوضه آبخیز به کیلومتر مربع و L طول حوضه بر حسب کیلومتر است.	[۲۵]
۳	ضریب گردی	$R_c = 12/56 \times \left(\frac{A}{P^2} \right)$	که در آن P محیط حوضه به کیلومتر، A مساحت حوضه به کیلومتر مربع و R_c نسبت گردی میسر است.	[۱]
۴	ضریب فشردگی	$C_c = 0/28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$	که در آن P محیط حوضه به کیلومتر، A مساحت حوضه به کیلومتر و C_c ضریب فشردگی گراولپوس است.	[۷]
۵	نسبت انشعاب	$R_b = Nu/Nu+1$	تعداد آبره‌های یک رده (Nu) به تعداد آبره‌های رده بعدی (Nu+1)	[۲۱]
۶	تراکم زه‌کشی	$D_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{A}$	که در آن A و $\sum L$ به ترتیب مجموع طول آبراه‌ها به کیلومتر مساحت حوضه آبخیز به کیلومتر مربع است.	[۲۱]
۷	فراوانی آبراهه	$F_s = \frac{N}{A}$	که در آن N و A به ترتیب تعداد آبراهه‌های موجود و مساحت حوضه آبخیز به کیلومتر مربع است.	[۱]
۸	طول جریان	-	از مجموع طول آبراهه‌ها به کیلومتر در هر زیرحوضه محاسبه می‌شود.	[۱]
۹	میزان بافت زه‌کشی	$R_t = Nu/P$	که در آن N_u و P به ترتیب تعداد آبراهه‌های رده‌های مختلف و محیط حوضه آبخیز به کیلومتر است.	[۲۵]
۱۰	نسبت ناهمواری	$R_h = \Delta H/L_b$	که در آن ΔH و L_b به ترتیب اختلاف ارتفاع به کیلومتر و طول حوضه آبخیز به کیلومتر است.	[۷]
۱۱	عدد ناهمواری	$R_n = \Delta H * D_d$	که در آن ΔH و D_d به ترتیب اختلاف ارتفاع به کیلومتر و تراکم زه‌کشی است.	[۲۵]
۱۲	ثابت نگهداشت آبراهه	$C = \frac{A}{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}$	که در آن A و $\sum L$ به ترتیب مساحت به کیلومتر مربع و مجموع طول آبراهه‌های حوضه آبخیز به کیلومتر است.	[۲۰]
۱۳	شیب	$sm = \frac{\Delta H}{\sqrt{A}} \times 100$	که در آن، ΔH اختلاف ارتفاع حوضه و A مساحت حوضه است.	[۲۵]

پارامترهای مورفومتريک يادشده، به‌کمک نرم‌افزار ArcGIS10.2 و به‌کارگیری الحاقیة ArcHydro و روابط ارائه‌شده در جدول ۱ محاسبه و داده‌های مورد نیاز برای مرحله بعد تهیه شد. پس از محاسبه مقادير پارامترهای مورفومتريک برای هر یک از زیرحوضه‌ها، اقدام به طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های TOPSIS، SAW و VIKOR شد. سپس، روش‌ها با استفاده از شاخص‌های درصد و شدت تغییرات صحت‌سنجی و ارزیابی شدند و در نهایت مدل برتر تعیین و پیشنهادها ارائه شد. مراحل پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

ArcGIS10.2 و به‌کارگیری الحاقیة ArcHydro اقدام به تدقیق مرز واحدهای هیدرولوژیک شد. پس از اصلاح مرز واحدهای هیدرولوژیک، داده‌های رقومی ارتفاعی به‌دست‌آمده از داده‌های فرکانس پایین راداری PALSAR، مبنای استخراج ۱۴ پارامتر مورفومتريک شامل چهار پارامتر مورفومتريک شکلی (ضریب شکل، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، ضریب فشردگی)، دو پارامتر خطی (نسبت انشعاب، طول جریان)، پنج پارامتر فضایی (تراکم زهکشی، میزان بافت زهکشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب نفوذ) و سه پارامتر توپوگرافی (نسبت ناهمواری، عدد ناهمواری، شیب) قرار گرفت.



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

$$RIJ = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^M X_{ij}} \quad (2)$$

گام سوم؛ محاسبه وزن معیارهاست. مزیت مدل ویکور این است که ارزیابی همه معیارها به بررسی کارشناسی نیاز ندارد، بلکه می‌توان از داده‌های خام نیز استفاده کرد. در این پژوهش با استفاده از روش AHP وزن هر یک از معیارها محاسبه شد (روابط ۳ و ۴).

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3)$$

$$w'_j = \frac{\lambda_j w_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j w_j} \quad (4)$$

گام چهارم؛ محاسبه ماتریس نرمالیزه وزین که از طریق ضرب ماتریس نرمال در وزن هر یک از معیارها محاسبه می‌شود (رابطه ۵).

$$V = R_{ij} * W_{n * n} \quad (5)$$

گام پنجم؛ تعیین بهترین مقدار X_j^* و بدترین مقدار X_j^- کلیه توابع معیار ($j=1,2,\dots,n$)؛ اگر λ آمین معیار، معیار سود باشد و بیشترین مقدار آن با توجه به هدف مفیدتر باشد، در این صورت $X_j^+ = \max X_{ij}$ و $X_j^- = \min X_{ij}$ هستند.

گام ششم؛ محاسبه مقادیر S_i (شاخص مطلوبیت) و R_i (شاخص ناراضیتی)، با استفاده از روابط ۶ و ۷.

$$S_i = L_{\lambda,i} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j (X_j^* - X_{ij})}{(X_j^* - X_j^-)} \quad (6)$$

$$R_i = L_{\lambda,i} = \max \left[\sum_{j=1}^n W_j (X_j^* - X_{ij}) / (X_j^* - X_j^-) \right] \quad (7)$$

که در آن: X_j^* : بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون، X_{ij} : عدد گزینه مد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی، X_j^- : کوچک‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون، W_j : وزن آمین معیار است که بیان‌کننده اهمیت نسبی معیارهاست.

گام هفتم؛ محاسبه شاخص ویکور (Q) و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با استفاده از رابطه ۸.

$$Q_i = V \times \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1-V) \times \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (8)$$

که در آن: $V =$ عدد ثابت $0/5$ ، S_i : مجموع مقدار S برای هر گزینه، S^* : کوچک‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، S^- : بزرگ‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، R^- :

روش ویکور^۱ (VIKOR)

روش ویکور به عنوان یک روش کاربردی برای پیاده‌سازی در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش بر رتبه‌بندی و انتخاب از مجموعه‌ای از گزینه‌ها با وجود معیارهای متناقض متمرکز است. راه حل توافقی که اساس آن توسط Zeleny و Yu در سال ۱۹۸۴ تأسیس شده بود، راه حل امکان‌پذیری است که نزدیک به ایده‌آل است و در اینجا توافق به معنای توافق ایجادشده توسط امتیازهای متقابل است. روش ویکور، لیست رتبه‌بندی توافقی و راه حل توافقی را با معرفی شاخص رتبه‌بندی چندمعیاره بر اساس اندازه‌گیری خاص از نزدیکی به راه حل ایده‌آل تعیین می‌کند [۲۶]. سطوح ناراضیتی در ویکور می‌تواند به صورت رابطه ۱ تعریف شود:

$$L_{p,i} = \left\{ \sum_{j=1}^n [W_j (X_j^* - X_{ij}) / (X_j^* - X_j^-)]^p \right\}^{1/p} \quad (1)$$

$1 \leq P \leq \infty$

در این رابطه، $L_{i,j}$ به عنوان بیشترین ابزار گروهی و $L_{\infty,i}$ بیشترین ناراضیتی فردی از طرف مقابل است. روش ویکور برای رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌تواند در مراحل زیر توصیف شود:

گام نخست؛ تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری. یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره را می‌توان به صورت مختصر در قالب یک ماتریس بیان کرد که به آن ماتریس تصمیم می‌گویند. در این ماتریس ستون‌ها بیان‌کننده معیارهای در نظر گرفته‌شده در مسئله مد نظر و سطرها بیان‌کننده گزینه‌هایی هستند که باید مقایسه شوند. به‌طور خاص یک مسئله تصمیم‌گیری با m گزینه (A_1, A_2, \dots, A_m) که با n معیار (C_1, C_2, \dots, C_n) ارزیابی می‌شود، می‌تواند به صورت یک سیستم هندسی با m نقطه در فضای n بعدی در نظر گرفته شود [۲۶]

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

گام دوم؛ محاسبه ماتریس نرمالیزه با استفاده از رابطه ۲: در روش ویکور به خلاف روش تاپسیس از روش خطی برای نرمال‌سازی استفاده می‌شود.

قدم سوم: مشخص کردن راه حل ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲.

$$A^+ = \left\{ \left(\max_{j \in J} V_{ij}, \left(\min_{j \in J'} V_{ij} \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right) \right\} \quad (11)$$

$$= \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_{j \in J} V_{ij}, \left(\max_{j \in J'} V_{ij} \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right) \right\} \quad (12)$$

$$= \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

قدم چهارم: محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از روابط ۱۳ و ۱۴:

$$d_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$d_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

قدم پنجم: محاسبه نزدیکی نسبی گزینه i (A_i) به راه حل ایده‌آل با استفاده از رابطه ۱۵.

$$cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{d_{i+} + d_{i-}}; \quad 0 \leq cl_{i+} \leq 1; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

ملاحظه می‌شود چنانچه $A_i = A^+$ شود، آن‌گاه $d_{i+} = 0$ و $cl_{i+} = 1$ و در صورتی که $A_i = A^-$ شود، آن‌گاه $d_{i-} = 0$ و $cl_{i+} = 0$ خواهد شد. بنابراین، هر قدر گزینه A_i به راه حل ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، ارزش cl_{i+} به واحد نزدیک‌تر خواهد بود.

قدم ششم: رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس ترتیب نزولی cl_{i+} این میزان بین صفر و یک در نوسان است. به این منظور $cl_{i+} = 1$ نشان‌دهنده بیشترین رتبه و $cl_{i+} = 0$ نیز نشان‌دهنده کمترین رتبه است.

روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)

این روش ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این روش امتیاز هر گزینه از طریق تجمیع ارزش‌های آن گزینه در معیارهای مختلف با احتساب وزن هر معیار به دست می‌آید، به طوری که وزن‌های نسبی به طور مستقیم توسط تصمیم‌گیرنده داده می‌شود [۲۸]. نخستین مرحله این روش بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی تعریف وزن معیارهاست [۲۸]. مجموع وزن معیارها باید یک باشد. از این رو، مطابق با معادله ۱۶ هر وزن بر مجموع وزن‌ها تقسیم می‌شود تا وزن نرمال شده به دست آید.

$$W_j' = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (16)$$

بزرگ‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه، R^* : کوچک‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه، R_i : مقدار R برای هر گزینه است.

گام هشتم: انتخاب گزینه مناسب‌تر (A') است که بهترین رتبه را با کمترین Q دارد [۲۶].

روش تاپسیس (TOPSIS)

روش تاپسیس یکی از روش‌های فاصله‌محور است. این روش نخستین بار توسط هوانگ و یون معرفی شد [۲۷]. بنیان و مایه اصلی تاپسیس محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌های تصمیم‌گیری از راه حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی است [۲۷]. راه حل ایده‌آل مثبت^۲ راه حل یا گزینه‌ای است که از نظر معیارهای سود، وضعیت بیشینه و از لحاظ معیارهای هزینه، وضعیت کمینه را دارد و راه حل ایده‌آل منفی^۳ راه حلی است که از نظر معیارهای هزینه، بیشینه و از لحاظ معیارهای سود، کمینه است [۲۷]. در تاپسیس مقادیر قطعی^۴ برای بیان ارجحیت نسبی گزینه‌ها در برآورده کردن معیارهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود [۲۷] و گزینه برتر گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از راه حل ایده‌آل مثبت (PIS) و بیشترین فاصله را از راه حل ایده‌آل منفی (NIS) داشته باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی^۵ بیان می‌شود بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگ‌تری داشته باشد، به عنوان گزینه ارجح شناخته می‌شود [۲۷]. الگوریتم حل به صورت زیر است:

قدم نخست: تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس بی‌مقیاس شده. در روش تاپسیس با روش برداری (رابطه ۹) به بی‌بعدسازی پرداخته می‌شود.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (9)$$

قدم دوم: ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار وزن W (رابطه ۱۰).

$$V = R_{ij} * W_{n*n} \quad (10)$$

که W، ماتریس قطری وزین شاخص‌هاست که تنها عنصر اصلی آن غیر صفر است و V، ماتریس بی‌مقیاس وزنی است.

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
2. Positive Ideal Solution (PIS)
3. Negative Ideal Solution (NIS)
4. Crisp Values
5. Closeness Coefficient

یافته‌ها

آنالیز کمی پارامترهای مورفومتریکی حوضه آبخیز یک فاکتور مهم در درک ارتباط بین فرایندهای هیدرولوژیکی و محیطی است [۳۰]. آنالیز مورفومتریکی حوضه آبخیز توصیف کمی از سیستم زه‌کشی فراهم می‌کند که بعد مهمی از ویژگی‌های حوضه آبخیز است، علاوه بر این اطلاعات بارزشی را در زمینه رفتار هیدرولوژیک، ویژگی و نوع لیتولوژی، حساسیت به فرسایش و مدیریت منابع آب و خاک فراهم می‌کند [۳۱]. نتایج به‌دست‌آمده از استخراج پارامترهای مورفومتریکی شامل چهار پارامتر مورفومتریکی شکلی (ضریب شکل، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، ضریب فشردگی)، دو پارامتر خطی (نسبت انشعاب، طول جریان)، پنج پارامتر فضایی (تراکم زهکشی، میزان بافت زهکشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب نفوذ) و سه پارامتر توپوگرافیک (نسبت ناهمواری، عدد ناهمواری، شیب) در جدول ۲ نشان داده شده است.

پس از محاسبه پارامترهای مورفومتریکی و تشکیل ماتریس تصمیم که به عنوان نخستین مرحله در اجرای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است (جدول ۲)، داده‌ها نرمال‌سازی شد. نرمال‌سازی داده‌ها به معنای همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها در دامنه‌هایی همچون صفر تا یک است. معیارهای استفاده‌شده در این پژوهش واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند (مانند شیب، تراکم زه‌کشی، ضریب شکل و...) که به‌منظور رفع این مشکل باید داده‌ها نرمالیزه شوند. در این پژوهش برای نرمالیزه کردن داده‌ها در مدل تاپسیس از روش برداری (رابطه ۹) و در مدل‌های ویکور و وزن‌دهی تجمعی ساده از روش خطی (روابط ۲، ۱۷ و ۱۸) استفاده شده است. در گام بعد وزن معیارها تعیین شد. در این پژوهش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن هر یک از معیارها محاسبه شد، به این صورت که پس از تعیین معیارها و تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی، از متخصصان خواسته شد که ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی را برای تعیین وزن معیارها تکمیل کنند. به این منظور، پرسشنامه تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی و توسط هشت نفر متخصص آبخیزداری پاسخ داده شد و در نتیجه نظر افراد مختلف در اولویت‌بندی در نظر گرفته شد. ابتدا به‌دلیل ناسازگاری برخی ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی به‌دست‌آمده از نظر

که در آن W_j' وزن نرمال‌شده معیار j ام، n تعداد معیارها و W_j وزن‌های اولیه هستند. مرحله بعدی وزن‌دهی به طبقات مختلف هر معیار است که به‌صورت مستقیم بر اساس نظرات کارشناسان تصمیم‌گیر انجام می‌شود. از آنجا که وزن نهایی هر گزینه از مجموع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به‌دست می‌آید، وزن طبقات مختلف در هر یک از معیارها باید بی‌مقیاس باشد. به‌منظور بی‌مقیاس‌سازی اگر پارامتر مد نظر از جنس سود باشد، با استفاده از رابطه ۱۷ و اگر از جنس هزینه باشد، با استفاده از رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود [۲۸].

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ij}^{\max}} \quad (17)$$

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}^{\min}}{X_{ij}} \quad (18)$$

مرحله نهایی در روش وزن‌دهی تجمعی ساده، تلفیق داده است که امتیاز نهایی هر گزینه مطابق با معادله ۱۹ از حاصل جمع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به نسبت وزن هر معیار به دست می‌آید [۲۸].

$$A_i = \sum W_j' * R_{ij} \quad (19)$$

که در آن A_i وزن نهایی هر گزینه، W_j' وزن نرمال‌شده معیار j ام و R_{ij} وزن استانداردشده طبقه i ام از معیار j ام است.

ارزیابی مدل‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی و مقایسه نتایج روش‌ها با یکدیگر، از دو شیوه درصد تغییرات و شدت تغییرات استفاده شده است. برای محاسبه درصد تغییرات از رابطه ۲۰ استفاده شده است [۲۹]. برای محاسبه شدت تغییرات رتبه نیز از رابطه ۲۱ استفاده شده است [۲۹].

$$\Delta P = \frac{N - N_{\text{const}}}{N} \times 100 \quad (20)$$

$$\Delta I = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\text{rank } i(r_1)}{\text{rank } i(r_2)}}{N} \times 100 \quad (21)$$

که در آن ΔP ، درصد تغییرات در مقایسه دو روش، N_{const} تعداد زیرحوضه‌هایی که در مقایسه دو روش رتبه آنها یکسان بوده است، N ، تعداد کل زیرحوضه‌ها، ΔI : شدت تغییرات دو روش، $\text{rank } i(r_1)$: رتبه زیرحوضه I در روش اول، $\text{rank } i(r_2)$: رتبه زیرحوضه I در روش دوم و N : تعداد زیرحوضه‌هاست.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورفومتریک برای هریک از زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	ضریب فشردگی	ضریب گردی	شکل ضریب	ضریب کشیدگی	تراکم زه‌کشی	فراوانی آبراهه	بافت زه‌کشی	ثابت نگهداشت آبراهه	نسبت انشعاب	طول جریان	نسبت ناهمواری	عدد ناهمواری	ضریب نفوذ	شیب
۱	۱/۱۹	۰/۶۹	۱	۱/۰۷	۵/۹۸	۲۹/۰۹	۷/۱۷	۰/۱۶۷	۵/۲۹	۶/۵۸	۰/۳۶۴	۲/۳۹	۱۷۴	۳۸/۲
۲	۱/۱۷	۰/۷۱	۰/۱۰	۰/۰۴	۵/۸۹	۳۸/۲	۲۷/۱۵	۰/۱۶۹	۱۶/۲۸	۵۲/۴۸	۰/۰۰۸	۳/۹۸	۲۲۵/۲	۲۲/۶
۳	۱/۱۷	۰/۷۱	۱/۱۱	۰/۸۲	۵/۸۳	۳۷/۸۷	۱۳/۸۶	۰/۱۷۱	۳/۶۸	۱۳/۷۱	۰/۲۱۴	۲/۶۲	۲۲۰/۹	۲۹/۳
۴	۱/۲۱	۰/۶۷	۲/۷۴	۰/۸۷	۶	۳۴/۴۶	۲۷/۹۸	۰/۱۶۶	۷/۵۳	۷۴/۲۴	۰/۱۲۰	۳/۲۷	۲۰۷	۱۵/۵
۵	۱/۲۰	۰/۶۸	۲/۲۹	۰/۸۱	۵/۷۳	۳۵/۳۵	۲۶/۱۲	۰/۱۷۴	۹/۱۷	۵۷/۵۸	۰/۱۰۷	۲/۷	۲۰۲/۷	۱۴/۸
۶	۱/۲۷	۰/۶۰	۱/۰۷	۰/۸۹	۵/۷۵	۴۰/۹۸	۱۲/۲۱	۰/۱۷۳	۴/۷۹	۱۰/۵۴	۰/۲۲۲	۲/۱۷	۲۳۶	۲۷/۹
۷	۱/۱۶	۰/۷۲	۲/۵۲	۰/۸۸	۵/۷۸	۳۶/۵۶	۲۸/۲۶	۰/۱۷۲	۵/۵۴	۵۹/۶۴	۰/۱۲۳	۲/۹	۲۱۱/۵	۱۵/۶
۸	۱/۲۲	۰/۶۵	۱/۴۱	۰/۹۵	۵/۶۲	۳۲/۴۹	۱۲/۳۷	۰/۱۷۷	۷/۲۵	۱۵/۵۸	۰/۱۶۲	۱/۷۹	۱۸۲/۷	۱۹/۱
۹	۱/۱۱	۰/۷۸	۲/۱۸	۰/۷۹	۶	۴۰/۲	۳۱/۲	۰/۱۶۶	۸/۵۶	۵۷/۶۲	۰/۱۰۹	۲/۸۸	۲۴۱/۳	۱۵/۵
۱۰	۱/۱۳	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۹۰	۵/۱۳	۳۴/۰۳	۶/۶	۰/۱۹۴	۱/۶۲	۳/۱۷	۰/۱۶۵	۰/۸۳	۱۷۴/۸	۲۰/۶
۱۱	۱/۱۷	۰/۷۰	۱/۶۳	۰/۸۴	۵/۸۰	۴۱/۶۴	۲۱/۵۳	۰/۱۷۲	۵/۶۸	۲۷/۴۷	۰/۱۴۶	۲/۴۶	۲۴۱/۸	۱۹/۵
۱۲	۱/۳۸	۰/۵۱	۱/۰۴	۰/۸۵	۵	۳۵/۱	۹/۷۴	۰/۱۹۹	۴/۵۳	۹/۴۱	۰/۱۸۴	۱/۶۶	۱۷۵/۷	۲۴/۲
۱۳	۱/۴۲	۰/۴۸	۲/۴۵	۰/۷۴	۵/۱۸	۳۶/۸۹	۲۷/۱۲	۰/۱۹۳	۸/۴۴	۷۲/۷۴	۰/۰۸۳	۲/۴۶	۱۹۱/۱	۱۲/۶
۱۴	۱/۱۲	۰/۷۸	۱/۶۳	۰/۹۳	۵/۶۱	۳۸/۰۴	۱۸/۷۵	۰/۱۷۷	۵/۹۵	۲۱/۸۶	۰/۱۳۷	۱/۸۳	۲۱۳/۸	۱۶/۵
۱۵	۱/۳۷	۰/۵۲	۰/۸۸	۱/۰۱	۵/۳۵	۳۲/۰۹	۶/۴۴	۰/۱۸۶	۱۰/۷۵	۵/۱۷	۰/۲۱۴	۱/۲۵	۱۷۱/۷	۲۳/۸
۱۶	۱/۳۶	۰/۵۲	۱/۳۲	۰/۵۸	۵/۰۴	۳۴/۶۷	۱۸/۰۶	۰/۱۹۸	۹/۳۹	۳۲/۶۲	۰/۰۷۲	۱/۷۹	۱۷۵	۱۳/۹
۱۷	۱/۴۳	۰/۴۷	۱/۰۸	۰/۵۵	۵/۳۴	۳۶/۹۸	۱۵/۸۸	۰/۱۹۰	۹/۴۵	۲۵/۴	۰/۰۶۹	۱/۶۲	۱۹۴	۱۴

به شمار می‌رود، رابطه معکوس با نفوذپذیری حوضه آبخیز دارد و مقادیر زیاد نسبت انشعاب بیان‌کننده کم‌بودن نفوذپذیری و در نتیجه افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و هدررفت منابع طبیعی در حوضه است و در مقابل مقادیر کم نسبت انشعاب از مشخصات حوضه‌های آبخیز با اغتشاشات کمتر بدون هیچ اعوجاجی در الگوی شبکه زه‌کشی است [۵]. با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش می‌یابد و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش می‌یابد و شیب‌های زیاد سبب ایجاد اوج‌های بالا در آب‌نمود می‌شوند و در نتیجه شیب رابطه مستقیمی با فرسایش‌پذیری در حوضه آبخیز دارد [۵]. تراکم آبراهه بیان‌کننده مقدار نزدیکی فاصله بین کانال‌ها و همچنین بیان‌کننده طول کل آبراهه‌ها در هر منطقه است. مناطقی که مواد زیرین نفوذپذیر با پوشش جنگلی متراکم دارند، تراکم زه‌کشی کم و در مقابل مناطقی که مواد زیرین غیرقابل نفوذ و تراکم پوشش گیاهی کم و توپوگرافی تپه‌ماهوری و کوهستانی دارند، تراکم زه‌کشی زیاد دارند [۵]. زیرحوضه‌هایی که بیشترین مقدار ضریب شکل را دارند، گردتر و زیرحوضه‌های با کمترین مقدار، کشیده‌تر هستند که با نتایج [۳۲] مطابقت

خبرگان، نیاز به توزیع مجدد و اصلاح پرسشنامه‌ها ایجاد شد تا سازگاری ماتریس‌ها و در نتیجه اعتبار پرسشنامه تأیید شود. سپس، وزن هر یک از معیارها محاسبه شد. میزان ناسازگاری برای ماتریس نهایی ۰/۰۳۲ محاسبه شد که به دلیل کوچک‌تر بودن از ۰/۱ قابل قبول است. نتایج رتبه‌بندی پارامترها نشان داد پارامترهای نسبت انشعاب، شیب و تراکم زه‌کشی به ترتیب با کسب بیشترین امتیازها (۰/۲۲۷، ۰/۱۷۴، ۰/۱۳۵) بیشترین تأثیر را در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش و هدررفت منابع طبیعی داشته‌اند و در مقابل پارامترهای ضریب گردی، نسبت ناهمواری و طول جریان با کسب کمترین امتیازها (۰/۰۰۹، ۰/۰۱۱، ۰/۰۱۴) کمترین تأثیر را در طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها داشته‌اند که این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات رحمتی و همکارانش [۲۲] مطابقت دارد. پارامترهای ضریب شکل، عدد ناهمواری، بافت زه‌کشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب فشردگی و ضریب کشیدگی با کسب امتیازها (۰/۱۰۵، ۰/۰۸۳، ۰/۰۶۶، ۰/۰۵۳، ۰/۰۴۲، ۰/۰۳۳، ۰/۰۲۶، ۰/۰۱۹) در رتبه‌های چهارم تا یازدهم قرار گرفته‌اند. نسبت انشعاب، که یکی از عوامل مؤثر در شکل هیدروگراف حوضه‌های آبخیز

دارد و همچنین ضریب شکل، که شکل حوضه را توصیف می‌کند، تأثیر مستقیمی در زمان تمرکز و سرعت انتقال جریان به خروجی حوضه آبخیز دارد [۱]. زیرحوضه‌های با مقدار ضریب شکل کمتر، حساسیت به فرسایش خاک بیشتری دارند، در نتیجه واکنش به فرسایش شاخص شکل حوضه و ضریب فشردگی نیز مشابه با فاکتور شکل رفتار می‌کنند که با نتایج [۳۲] مطابقت دارد. عدد ناهمواری منعکس‌کننده خصوصیات توپوگرافی و هیدرولوژیکی منطقه است و رابطه مستقیمی با فرسایش‌پذیری دارد [۲۰]. بافت زه‌کشی، که از فاکتورهای مؤثر در فرسایش‌پذیری است، به تعدادی از فاکتورهای طبیعی مانند اقلیم، بارندگی، پوشش گیاهی، نوع سنگ و خاک، ظرفیت نفوذ و مرحله تکاملی خاک بستگی دارد و سنگ‌های سست و ضعیف که به‌وسیله پوشش گیاهی حمایت نمی‌شوند، بافت نرم تولید می‌کنند و در مقابل سنگ‌های توده‌ای و مقاوم سبب ایجاد بافت درشت می‌شوند [۲۰]. بافت زه‌کشی ارتباط نزدیکی با نفوذپذیری و فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه دارد [۲۰] و در نتیجه در فرسایش‌پذیری مؤثر است. شاخص ثابت نگهداشت آبراهه منعکس‌کننده نفوذپذیری و کنترل انتقال جریان به خروجی حوضه آبخیز است [۱۹]. فراوانی آبراهه رابطه معناداری با فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز دارد [۱]. ضریب فشردگی نشان‌دهنده انحراف شکل آبخیز از حوضه دایره‌ای است که مقدار آن هر چه از عدد یک دورتر باشد، حوضه حالت کشیده‌تر خواهد یافت، و هر چه این ضریب به واحد نزدیک‌تر باشد، شکل آبخیز به دایره نزدیک‌تر خواهد بود و این پارامتر تأثیر زیادی در فرسایش‌پذیری حوضه آبخیز دارد [۱۹]. ضریب کشیدگی به نوع اقلیم و شرایط زمین‌شناسی بستگی دارد [۱]. ضریب گردی بیشتر نیز به شکل دایره حوضه آبخیز و پستی و بلندی متوسط تا زیاد و نفوذپذیری سطحی آن اشاره دارد که با نتایج [۳۲] مطابقت دارد. نسبت ناهمواری که ارتباط مستقیمی با شیب آبراهه‌ها و سطح زمین دارد بر فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش حوضه اثر می‌گذارد [۳۲]. طول جریان رابطه مستقیمی با فرسایش‌پذیری حوضه آبخیز دارد و هر چه طول جریان بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری در آن حوضه افزایش می‌یابد [۱۹]. پس از تعیین وزن معیارها، اقدام به محاسبه ماتریس نرمالیزه وزن شد، به این صورت که در مدل ویکور با استفاده از رابطه ۵، در مدل تاپسیس با کمک رابطه ۱۰ و در مدل

وزن‌دهی تجمعی ساده با استفاده از رابطه ۱۹ اقدام به محاسبه ماتریس نرمالیزه وزن برای سه مدل شد. پس از تعیین ماتریس نرمالیزه وزن در مدل وزن‌دهی تجمعی ساده از طریق حاصل جمع سطرهای ماتریس نرمالیزه وزن طبق رابطه ۱۹، وزن نهایی هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد (جدول ۴) و در مدل‌های ویکور و تاپسیس اقدام به محاسبه بیشترین و کمترین ارزش و ایده‌آل مثبت و منفی شد. برای محاسبه این شاخص‌ها، با توجه به هدفی که داریم هر چه عدد یک پارامتر بزرگ‌تر باشد، برای ما سودمندتر است و در واقع بزرگ‌ترین عدد به عنوان ایده‌آل مثبت و بیشترین ارزش قرار می‌گیرد و به‌عکس. در میان پارامترهای مورفومتریک استفاده‌شده در این پژوهش، پارامترهای شکلی شامل ضریب کشیدگی، ضریب گردی، ضریب فشردگی و ضریب شکل رابطه معکوس با فرسایش‌پذیری و هدررفت منابع طبیعی دارند، به‌گونه‌ای که هر چه مقدار پارامترهای شکل بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری کمتر خواهد بود، بنابراین بزرگ‌ترین عدد این پارامترها به عنوان ایده‌آل منفی و کمترین ارزش و کوچک‌ترین عدد به عنوان ایده‌آل مثبت و بیشترین ارزش در نظر گرفته شد. در مقابل، پارامترهای خطی، توپوگرافی و فضایی شامل نسبت انشعاب، تراکم زه‌کشی، طول جریان، فراوانی آبراهه، بافت زه‌کشی، ثابت نگهداشت آبراهه، ضریب نفوذ، عدد ناهمواری، نسبت ناهمواری و شیب رابطه مستقیم با فرسایش‌پذیری دارند. بنابراین، بیشترین مقدار این پارامترها به‌علت تأثیر بیشتر بر فرسایش‌پذیری به عنوان ایده‌آل مثبت و بیشترین ارزش در نظر گرفته شد و کوچک‌ترین عدد این پارامترها به عنوان ایده‌آل منفی و کمترین ارزش در نظر گرفته شد (جدول ۳).

سپس، اقدام به محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی و نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه حل ایده‌آل و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل تاپسیس با استفاده از روابط ۱۳ تا ۱۵ (جدول ۴) و در مدل ویکور اقدام به محاسبه مقادیر شاخص مطلوبیت و شاخص ناسازگاری و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روابط ۶ تا ۸ (جدول ۵) شد. پس از اولویت‌بندی، زیرحوضه‌های آبخیز از نظر فرسایش‌پذیری و هدررفت منابع طبیعی به چهار طبقه وضعیت بحرانی بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم شدند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها نشان داد در هر سه مدل تاپسیس، وزن‌دهی تجمعی ساده و ویکور، زیرحوضه دوم به ترتیب با

ضریب فشردگی و ضریب شکل که رابطه معکوس با فرسایش‌پذیری دارند و مقادیر زیاد پارامترهای مورفومتريک خطی، توپوگرافی و فضایی مانند بافت زه‌کشی، تراکم زه‌کشی، فراوانی آبراهه، ثابت نگهداشت آبراهه، نسبت انشعاب، ضریب نفوذ، طول جریان، شیب، عدد ناهمواری و نسبت ناهمواری، که رابطه مستقیمی با فرسایش دارند، به‌عنوان حساس‌ترین و بحرانی‌ترین زیرحوضه نسبت به فرسایش و هدررفت منابع طبیعی شناخته شده است که با نتایج [۳۲] مطابقت دارد.

کسب (۰/۷۷۷، ۰/۷۶۳، ۰/۹۹۴) امتیاز در رتبه نخست قرار گرفته و به‌عنوان بحرانی‌ترین زیرحوضه در میان زیرحوضه‌های دیگر شناخته شد و در طرح‌های حفاظت خاک و منابع طبیعی بیشتر باید مورد توجه قرار گیرد و در مقابل زیرحوضه دهم به‌ترتیب با کسب (۰/۲۱۶، ۰/۴۲۱، ۰) امتیاز در رتبه نهایی قرار گرفته است و از لحاظ حساسیت به فرسایش در وضعیت مطلوبی قرار دارد. زیرحوضه دوم به‌دلیل داشتن مقادیر کم پارامترهای مورفومتريک شکلی شامل ضریب کشیدگی، ضریب گردی،

جدول ۳. محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی و بیشترین و کمترین ارزش در روش‌های TOPSIS و VIKOR

مدل	زیرحوضه	ضریب فشردگی	ضریب گردی	ضریب شکل	ضریب کشیدگی	تراکم زه‌کشی	فراوانی آبراهه	بافت زه‌کشی	ثابت نگهداشت آبراهه	نسبت انشعاب	طول جریان	نسبت ناهمواری	عدد ناهمواری	ضریب نفوذ	شیب
TOPSIS	A ⁺	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۷	
	A ⁻	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	
VIKOR	X _j ⁺	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	
	X _j ⁻	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	

جدول ۴. اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها با روش‌های SAW و TOPSIS

زیرحوضه	مدل TOPSIS			مدل SAW	
	d _{i+}	d _{i-}	Cl _{i+}	A _i	اولویت‌بندی
۱	۰/۰۷۹	۰/۰۶۱	۰/۴۳۷	۰/۵۹۵	پنجم
۲	۰/۰۳۱	۰/۱۱۰	۰/۷۷۷	۰/۷۶۳	اول
۳	۰/۰۹۰	۰/۰۴۳	۰/۳۲۶	۰/۵۶۹	متوسط
۴	۰/۰۸۲	۰/۰۴۷	۰/۳۶۴	۰/۵۹۷	متوسط
۵	۰/۰۷۳	۰/۰۵۵	۰/۴۳۱	۰/۵۹۵	زیاد
۶	۰/۰۸۴	۰/۰۴۴	۰/۳۴۶	۰/۵۷۵	متوسط
۷	۰/۰۹۱	۰/۰۳۵	۰/۲۷۶	۰/۵۶۲	متوسط
۸	۰/۰۷۷	۰/۰۴۴	۰/۳۶۵	۰/۵۳۱	متوسط
۹	۰/۰۷۴	۰/۰۵۴	۰/۴۲۰	۰/۶۲۶	زیاد
۱۰	۰/۱۱۰	۰/۰۳۰	۰/۲۱۶	۰/۴۲۱	متوسط
۱۱	۰/۰۸۴	۰/۰۳۸	۰/۳۱۱	۰/۵۷۵	متوسط
۱۲	۰/۰۸۹	۰/۰۳۷	۰/۲۹۵	۰/۴۹۸	متوسط
۱۳	۰/۰۸۰	۰/۰۵۰	۰/۳۸۵	۰/۵۶۳	متوسط
۱۴	۰/۰۸۶	۰/۰۳۵	۰/۲۹۲	۰/۵۳۱	متوسط
۱۵	۰/۰۵۵	۰/۰۷۰	۰/۵۵۸	۰/۵۷۱	زیاد
۱۶	۰/۰۷۲	۰/۰۵۷	۰/۴۴۲	۰/۵۳۷	زیاد
۱۷	۰/۰۷۱	۰/۰۵۸	۰/۴۴۹	۰/۵۴۳	زیاد

جدول ۵. اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها با روش VIKOR

زیرحوضه	S_i	R_i	Q_i	اولویت‌بندی	وضعیت بحرانی
۱	۰/۵۰۵	۰/۱۶۹	۰/۴۷۷	نهم	زیاد
۲	۰/۲۲۸	۰/۱۰۶	۰/۹۹۴	اول	بسیار زیاد
۳	۰/۴۹۴	۰/۱۹۴	۰/۳۸۵	چهاردهم	زیاد
۴	۰/۵۴۳	۰/۱۵۴	۰/۵۰۳	هفتم	زیاد
۵	۰/۵۵۶	۰/۱۵۹	۰/۴۷۳	دهم	زیاد
۶	۰/۴۸۱	۰/۱۷۷	۰/۴۶۸	یازدهم	زیاد
۷	۰/۵۸۳	۰/۱۶۵	۰/۴۲۲	سیزدهم	زیاد
۸	۰/۶۳۶	۰/۱۳۹	۰/۴۸۲	هشتم	زیاد
۹	۰/۴۴۲	۰/۱۵۴	۰/۵۹۷	چهارم	زیاد
۱۰	۰/۷۷۰	۰/۲۲۶	۰	هفدهم	زیاد
۱۱	۰/۴۹۵	۰/۱۶۳	۰/۵۱۲	ششم	زیاد
۱۲	۰/۷۰۷	۰/۱۸۱	۰/۲۴۴	شانزدهم	زیاد
۱۳	۰/۶۶۴	۰/۱۷۴	۰/۳۱۳	پانزدهم	زیاد
۱۴	۰/۶۰۰	۰/۱۵۹	۰/۴۳۳	دوازدهم	زیاد
۱۵	۰/۶۱۰	۰/۱۰۵	۰/۶۴۷	دوم	بسیار زیاد
۱۶	۰/۶۸۱	۰/۱۶۵	۰/۵۷۷	پنجم	زیاد
۱۷	۰/۶۳۳	۰/۱۶۴	۰/۶۲۶	سوم	بسیار زیاد

جدول ۶. درصد تغییرات روش‌ها نسبت به یکدیگر

روش	TOPSIS	VIKOR	SAW	جمع تغییرات
TOPSIS	۰	۷۰/۵۸	۸۲/۳۵	۵۰/۹۷
VIKOR	۷۰/۵۸	۰	۸۲/۳۵	۵۰/۹۷
SAW	۸۲/۳۵	۸۲/۳۵	۰	۵۴/۹

جدول ۷. شدت تغییر روش‌ها در مقایسه با یکدیگر

روش	TOPSIS	VIKOR	SAW	جمع تغییرات
TOPSIS	۱	۱/۱۱	۱/۳۳	۳/۴۴
VIKOR	۱/۰۹	۱	۱/۵۱	۳/۶
SAW	۱/۲۱	۱/۲۹	۱	۳/۵

درصد تغییرات ۵۰/۹۷ کارایی و دقت بیشتری نسبت به روش وزن‌دهی تجمعی ساده با درصد تغییرات (۵۴/۹) دارند. همچنین، نتایج ارزیابی شاخص شدت تغییرات نشان داد روش ویکور بیشترین میزان شدت تغییرات (۳/۶) را دارد و روش‌های تاپسیس و وزن‌دهی تجمعی ساده با شدت تغییرات ۳/۵ و ۳/۴۴ در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. با توجه به مقادیر پارامترهای مورفومتریک برای هر یک از زیرحوضه‌ها می‌توان گفت که روش ویکور با دقت بیشتری نسبت به دو روش دیگر پارامترها را ارزیابی کرده است.

نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های جدول‌های ۴ و ۵ بیان می‌کند که مدل ویکور با یک شکاف بیشتر نسبت به روش‌های تاپسیس و وزن‌دهی تجمعی ساده به طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها پرداخته است و دامنه تغییرات بین صفر تا یک را شامل شده است که بیان‌کننده دقت بیشتر این روش نسبت به روش‌های دیگر است. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی روش‌های استفاده‌شده با بهره‌گیری از شاخص‌های درصد تغییرات و شدت تغییرات در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج ارزیابی روش‌ها با شاخص درصد تغییرات بیان می‌کند که روش‌های تاپسیس و ویکور با

بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای مورفومتریک خطی، شکلی، فضایی و توپوگرافی به عنوان پارامترهای ارزیابی ریسک فرسایش شناخته می‌شوند و برای اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری و هدررفت منابع طبیعی در زیرحوضه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش به عنوان یکی از ابعاد مهم برنامه‌ریزی و توسعه منابع طبیعی برای حفاظت از آب و خاک است. در این پژوهش با استفاده از یک رویکرد ترکیبی پارامترهای مورفومتریک و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و با کمک ابزار GIS و RS به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای انجام اقدامات مدیریتی پرداخته شده است. نتایج وزن‌دهی پارامترهای مورفومتریک با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد پارامترهای نسبت انشعاب، شیب و تراکم زه‌کشی بیشترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری و هدررفت منابع طبیعی داشته‌اند و در مقابل پارامترهای ضریب گردی، نسبت ناهمواری و طول جریان کمترین اهمیت را داشته‌اند. پارامترهای ضریب شکل، عدد ناهمواری، بافت زه‌کشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب فشردگی و ضریب کشیدگی در رتبه‌های چهارم تا یازدهم قرار گرفته‌اند. طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های VIKOR و TOPSIS، SAW نشان داد در هر سه مدل زیرحوضه دوم به عنوان بحرانی‌ترین زیرحوضه شناخته شده و در طرح‌های حفاظت آب و خاک باید در اولویت قرار گیرد و در مقابل زیرحوضه دهم در وضعیت مناسبی قرار داشته است. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد مدل VIKOR با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر به اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش پرداخته است و مدل‌های TOPSIS و SAW در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج مدل برتر از ۱۷ زیرحوضه بررسی شده، ۱۴ زیرحوضه در وضعیت بحرانی زیاد و سه زیرحوضه در وضعیت بحرانی بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد استفاده از پارامترهای مورفومتری، روشی کارآمد برای طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور اجرای حفاظت خاک و آب است که با نتایج [۳۳] مطابقت دارد. همچنین، نتایج بیان‌کننده کارایی و قابلیت GIS و RS در اولویت‌بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس پارامترهای مورفومتریک است که با نتایج [۳۴] مطابقت دارد. پیشنهاد می‌شود که عملیات آبخیزداری و حفاظت منابع طبیعی در زیرحوضه‌های

دو، ۱۵ و ۱۷، که دچار وضعیت بحرانی شدید هستند، انجام گیرد و در این زمینه از نظرات و پیشنهادهای افراد متخصص و تجارب افراد بومی استفاده شود.

منابع

- [1]. Horton RE. Drainage basin characteristics. Trans. Am. Geophys. Union. 1932; 13: 350-361.
- [2]. Patel D, Gajjar C, Srivastava P. Prioritization of Malesari Mini-Watersheds through Morphometric Analysis: A Remote Sensing and GIS Perspective. Environmental Earth Sciences. 2013; 69: 2643-2656.
- [3]. Chopra R, Dhiman RD, Sharma PK. Morphometric Analysis of Sub-Watersheds in Gurdaspur District, Punjab Using Remote Sensing and GIS Techniques. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2005; 33: 531-539.
- [4]. Horton RE. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol Soc Am Bull. 1945; 56: 275-370.
- [5]. Strahler A. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: Chow, V., Ed., Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill, New York. 1964; 5: 439-476.
- [6]. Miller V. A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Project NR 389-402, Technical Report 3, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York. 1953.
- [7]. Schumm S. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin. 1956; 67: 597-646.
- [8]. Kouli M, Vallianatos F, Soupios P, Alexakis D. GIS-Based Morphometric Analysis of Two Major Watersheds, Western Crete, Greece. Journal of Environmental Hydrology. 2007; 15: 1-17.
- [9]. Vittala SS, Govindaiah S, Honne GH. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: An integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. Current Sci. 2008; 95: 345-354.
- [10]. Jang T, Vellidis G, Hyman JB, Brooks E, Kurkalova LA, Boll J, Cho J. Model for Prioritizing best management practice implementation: sediment load reduction. Environ. Manage. 2013; 51: 209-224.

- [11]. Iqbal M, Sajjad H, Bhat FA. Morphometric Analysis of Shaliganga Sub Catchment, Kashmir Valley, India Using Geographical Information System. *Int J Eng Trends Technol*. 2013; 4: 10-21.
- [12]. Mohd I, Haroon S, Bhat FA. Morphometric Analysis of Shaliganga Sub Catchment, Kashmir Valley, India Using Geographical Information System, *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2013; 4 (1).
- [13]. Mark D. Relations between Field-Surveyed Channel Network and Map-Based Geomorphometric Measures, Inez Kentucky. *Annals of the Association of American Geographers*. 1983; 73: 358-372.
- [14]. Markose V, Dinesh A, Jayappa K. Quantitative Analysis of Morphometric Parameters of Kali River Basin, Sothern India, Using Bearing Azimuth and Drainage (bAd) Calculator and GIS. *Environmental Earth Sciences*. 2014; 72: 2887-2903.
- [15]. Farhan Y, Anbar A, Enaba O, Al-Shaikh N. Quantitative Analysis of Geomorphometric Parameters of Wadi Kerak, Jordan, Using Remote Sensing and GIS, *Journal of Water Resource and Protection*. 2015; 7: 456-475.
- [16]. Singh P, Thakur J, Singh U. Morphometric Analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Environmental Earth Sciences*. 2013; 68: 1967-1977.
- [17]. Asgharpoor M. Multi Criteria Decision Making, Tehran University press, Tehran. 2010. [Persian]
- [18]. Javed A, Khanday MY, Ahmed R. Prioritization of watersheds based on morphometric and landuse analysis using RS and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing*. 2009; 37. 261-274.
- [19]. Thakkar A, Dhiman S. Morphometric analysis and prioritization of miniwatersheds in a Mohr watershed, Gujarat using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing*. 2007; 35 (4). 313-321.
- [20]. Aher P, Adinarayana J, Gorantiwar SD. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*. 2014; 511. 850-860.
- [21]. Iqbal M, Sajjad H. Watershed Prioritization using Morphometric and Land Use/Land Cover Parameters of Dudhganga Catchment Kashmir Valley India using Spatial Technology, *J Geophys Remote Sens*. 2014; 3:1.
- [22]. Rahmati O, Tahmasebipour N, Pourghasemi HR. Sub-watershed flooding prioritization using morphometric and correlation analysis (Case study: Golestan Watershed). *Ecohydrology*. 2015; 2. 151-161. [Persian]
- [23]. Fallah M, Mohammadi M, Kavian K. Prioritization of Sub-watersheds using Morphometric and LandUse change Analysis. *Ecohydrology*. 2015; 2. 261-274. [Persian]
- [24]. Asadi Nalivan O, Saghzadeh N, Salahshur Dastgerdi M, Bay M. Sub-basin prioritization using morphometric analysis and GIS for Watershed Management Measures (Case study: Maraveh Tappeh watershed, Golestan). *Ecohydrology*. 2015; 1. 90-103. [Persian]
- [25]. Melton MA. Correlations structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology*. 1958; 66. 442-460.
- [26]. El-Santawy MF. A VIKOR Method for Solving Personnel Training Selection Problem. *International Journal of Computing Science*. 2012; 1 (2): 9-12.
- [27]. Hwang CL, Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications, Springer, Berlin Heidelberg. 1981.
- [28]. Sargaonkar A, Rathi B, Baile A. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India. *Environmental Earth Sciences*. 2010; 6: 1-10.
- [29]. Badri SA. models of rural planning. Pamphlets practical lesson in geography and rural planning. 2003 Payame noor university. [Persian]
- [30]. Kaliraj S, Chandrasekar N, Magesh NS. Morphometric analysis of the River Thamirabarani sub-basin in Kanyakumari District, South west coast of Tamil Nadu, India, using remote sensing and GIS. *Environ Earth Sci*, 2014; 73:1-27.
- [31]. Teixeira J, Chamine´ HI, Espinha Marques J, Carvalho JM, Pereira AJ, Carvalho MR, Fonseca PE, Pe´rez-Alberti A, Rocha F. A comprehensive analysis of groundwater resources using GIS and multicriteria tools (Caldas da Cavaca, Central Portugal). *Environmental issues. Environ Earth Sci*, 2015; 73(6): 2699-2715.

- [32]. Ahmed F, Srinivasa Rao K. Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric Analysis using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 2015; 4(2): 51-65.
- [33]. Chandniha SK, Kansal ML. Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis using geospatial technique in Piperiya watershed, India. *Applied Water Science* (Springer). 2014. this article is published with open access at Springerlink.com.
- [34]. GajbhiyeS, Sharma SK, Meshram C. Prioritization of Watershed through Sediment Yield Index Using RS and GIS Approach. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*. 2014; 7: 47-60.