

## اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز تالار استان مازندران

مقدسه فلاح<sup>۱</sup>، مازیار محمدی<sup>۱</sup>، عطااله کاویان<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۹/۲۰)

### چکیده

اولویت‌بندی حوضه آبخیز در مدیریت منابع طبیعی و خصوصاً مدیریت آبخیز بسیار مهم است. در این مطالعه از پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک RS و GIS به منظور شناسایی زیرحوضه‌های حساس به فرسایش استفاده شده است. پارامترهای مورفومتری در نظر گرفته شده شامل اختلاف ارتفاع، پارامترهای خطی (تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، طول جریان روی سطح زمین، فراوانی آبراهه و بافت زهکشی) و پارامترهای شکل (نسبت کشیدگی، ضریب فشردگی، ضریب گردی، شاخص شکل و فاکتور شکل) هستند. با استفاده از تکنیک RS، نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز تالار در پنج کاربری شامل، اراضی مرتع، جنگل، مسکونی، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ تهیه شد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در چهار اولویت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم بر مبنای پارامترهای مورفومتری، پارامترهای کاربری اراضی و در نهایت با ادغام دو پارامتر مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی صورت گرفت. بر مبنای اولویت‌بندی تأثیر دو پارامتر مورفومتری و کاربری اراضی با هم از بین ۲۱ زیرحوضه تالار نه زیرحوضه با ۶۰/۵۶ درصد مساحت در اولویت خیلی زیاد، شش زیرحوضه با ۲۵/۲۲ درصد مساحت در اولویت زیاد، پنج زیرحوضه با ۱۲/۱۹ درصد مساحت در اولویت متوسط و یک زیرحوضه با مساحت ۲/۰۳ درصد در اولویت کم قرار گرفتند. بیشترین مساحت حوضه در اولویت زیاد واقع شده است که نیاز به اقدامات فوری برای کنترل فرسایش و برنامه‌های حفاظتی حوضه آبخیز دارد.

**کلیدواژگان:** حساسیت به فرسایش، حوضه آبخیز تالار، عملیات آبخیزداری.

## مقدمه

بررسی مشخصات اراضی به منظور شناخت و مدیریت فرسایش خاک ضروری است. توپوگرافی، پوشش گیاهی (LC)، مقدار و شدت بارش و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله عوامل مهمی اند که نقش مهمی در فرسایش زمین ایفا می کنند [۳۰]. توسعه و بهبود مناطق بزرگ در یک دوره به علت برخی شرایط زیست‌شناسی و اقتصادی بسیار مشکل است. بنابراین، در یک حوضه آبخیز به منظور اجرای برنامه‌های حفاظتی به اولویت‌بندی مناطق نیاز است [۱۸]. آنالیز مورفومتری ابزار مهمی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها حتی بدون در نظر گرفتن نقشه خاک است [۱۳]. آنالیز مورفومتری حوضه‌های آبخیز نقش مهمی در جمع‌آوری داده ناقص دارد و به آنالیز رفتار هیدرولیکی حوضه آبخیز کمک می‌کند. مطالعات مورفومتری شامل ارزیابی پارامترهای آبراهه به واسطه اندازه‌گیری مشخصات انواع مختلف آبراهه است [۳۲].

تغییر کاربری اراضی یکی از فاکتورهای مهم اثرگذار بر کمیّت و کیفیت آب است که علاوه بر تغییر توازن آب در حوضه‌های آبخیز با افزایش فرسایش خاک به ورود بیشتر رسوبات و مواد مغذی به رودخانه‌ها منجر می‌شود و با توجه به متغیر بودن در مکان‌های مختلف باید در مقیاس محلی بررسی شود [۳۴]. نقشه‌های پوشش زمین بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز به منظور برنامه‌ریزی بهینه از قابلیت‌های منابع آب و خاک را فراهم می‌سازد. امروزه به فناوری سنجش از دور به‌عنوان راهکاری ارزشمند برای پایش، تشخیص، شناسایی و پهنه‌بندی منابع طبیعی، در ارزیابی فرایندهای سطح زمین برای کاهش خطرهای محیطی زمین و به‌ویژه در روند تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، در مناطق مختلف جهان به‌صورت علمی استناد می‌شود [۱۶، ۳۳].

در مدیریت جامع حوضه آبخیز و اجرای برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی اولویت‌بندی مناطق اهمیت بسزایی دارد. چندین مطالعه به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر مبنای آنالیز مورفومتری انجام گرفته است [۳۱، ۳۲].

شارما و همکاران [۳۸] از پارامترهای مورفومتری به منظور اولویت‌بندی پنج زیرحوضه آبخیز حوضه زهکشی رودخانه سارفا شاهدل بخشی از پرادش مادھیا با استفاده از تکنیک GIS استفاده کردند. تاکار و دهیمن [۴۰] با استفاده

از GIS و RS و با استفاده از خصوصیات مورفومتری هشت زیرحوضه را در حوضه آبخیز گوجارات هند اولویت‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که خصوصیات مربوط به شکل رابطه منفی در حالی که سایر پارامترها مانند ضریب انشعاب، بافت خاک، تراکم زهکشی و فراوانی آبراهه رابطه مثبت با رواناب و فرسایش خاک دارند. آویناش و همکاران [۱۲] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، پارامترهای مورفومتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز گورپور هند را از نظر پتانسیل ذخیره آب‌های زیرزمینی اولویت‌بندی کردند. چاندراشکار و همکاران [۱۵] در حوضه آبخیز رودخانه آرکاواتی با استفاده از ۲۴ پارامتر مورفومتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) میزان فرسایش و اوج رواناب سطحی را در دو زیرحوضه مقایسه کردند. ایشان در تحقیق خود ذکر کردند که به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منابع آب و همچنین فهم بهتر تبدیل و تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش خاک و رواناب سطحی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت زیاد ضروری است. جی آمار [۲۹] به منظور تعیین خصوصیات زهکشی رودخانه کشیرا در هند از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر SRTM استفاده کردند. آن‌ها به‌منظور شناسایی زیرحوضه‌های بحرانی و تخصیص برنامه‌های مدیریتی حفاظت آب و خاک با استفاده از پارامترهای مورفومتری ۴۳ زیرحوضه را اولویت‌بندی کردند. تحقیق آن‌ها نشان داد که سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش مهمی در برنامه‌های حفاظت آب و خاک و مدیریت منابع طبیعی ایفا می‌کند. جاود و همکاران [۲۸] به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بر مبنای پارامترهای مورفومتری و کاربری اراضی با استفاده از تکنیک GIS در کانرا بخش گیونا، مادهیاپرادش پرداختند. پارامترهای مختلف مورفومتری، شامل خطی و شکل را برای هر زیرحوضه محاسبه و در نهایت به همراه پارامترهای تغییرات کاربری اراضی اولویت‌بندی کردند. فلاح و همکاران [۶] به منظور شناسایی زیرحوضه‌های مستعد به فرسایش خاک در زیرحوضه آبخیز هراز به ارزیابی و آنالیز پارامترهای مورفومتری با استفاده از نرم‌افزار GIS پرداختند. در نهایت زیرحوضه‌ها را از نظر حساسیت به فرسایش خاک به چهار طبقه خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی کردند. زیرحوضه‌هایی که در اولویت خیلی زیاد قرار گرفته بودند را

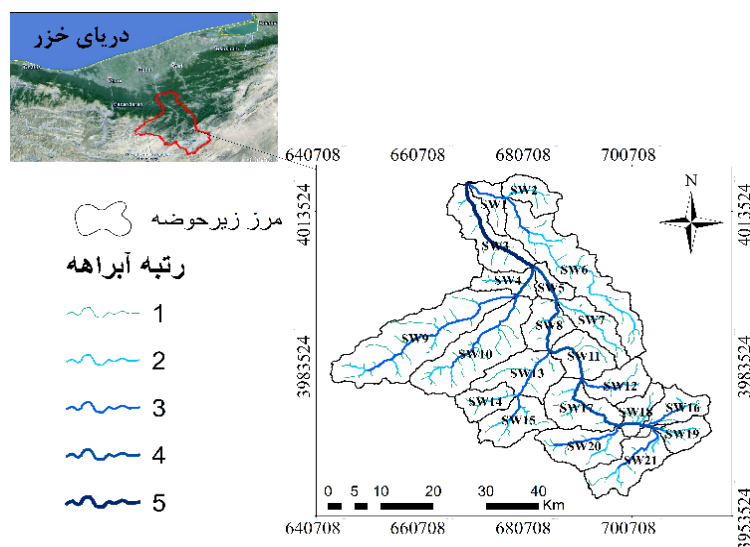
هیرکانی پوشیده شده است که متأسفانه در طول بیش از دو دهه، ۳۰ تا ۴۰ درصد از این اراضی جنگلی باارزش به دلیل کمبود سوخت، قاچاق چوب، چرای دام، توسعه جاده‌ها، بهره‌برداری از معادن و ساخت‌وساز کارخانه‌ها تخریب شده است. همچنین به دلیل رشد جمعیت و توسعه روستایی و سطح پایین امرار معاش ساکنان، بخش وسیعی از جنگل‌ها و مراتع در حوضه آبخیز تالار به زمین‌های کشاورزی و باغ تبدیل شده است.

#### منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز تالار یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی شمال کشور با مساحت ۲۱۰۰۸۸/۷ هکتار در البرز مرکزی و در دو طرف جاده آسفالت تهران- قائم‌شهر واقع شده است (شکل ۱). حوضه آبخیز مطالعه شده حد واسط ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه و ۲۲/۲ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۳/۰۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱/۶ ثانیه عرض شمالی واقع شده است و توسط رودخانه تالار که امتداد اصلی جنوب به شمال است زهکش می‌شود. بلندترین ارتفاع در دورترین نقطه شمال غرب حوضه، با ارتفاع ۳۹۱۰ و کمترین ارتفاع در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۱۵ متر از سطح دریای آزاد قرار گرفته است. شکل عمومی حوضه پهن و دارای امتداد شمالی- جنوبی بوده و میانگین ارتفاع آن ۲۰۰۱/۱۳ است.

به‌عنوان مناطق بحرانی بیان کردند که نیازمند اقدامات فوری برای اجرای برنامه‌های کنترل فرسایش خاک هستند. اسدی نیلوان و همکاران [۱] به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز مراوه‌تپه در استان گلستان با آنالیز مورفومتری و استفاده از GIS پرداختند و زیرحوضه با وضعیت بحرانی نسبت به زیرحوضه‌های دیگر را شناسایی کردند. آمانی و همکاران [۲] زیرحوضه‌های آبخیز لهندر واقع در شرق استان گلستان را با استفاده از آنالیز مورفومتری و نرم‌افزار GIS و RS، و با توجه به مقادیر شاخص رسوب سالانه (SYI) هر یک از زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی کردند.

با توجه به مطالعات انجام‌شده آنالیز پارامترهای مورفومتری و استفاده از تکنیک GIS از ابزارهای مهم برای شناسایی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حساس به فرسایش است. هدف این مطالعه نیز اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز تالار به منظور اجرای عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک است که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک سنجش از دور انجام شده است. در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها علاوه بر به‌کارگیری پارامترهای مورفومتری، تأثیر تغییرات کاربری اراضی منطقه مطالعه شده نیز برای شناسایی مناطق بحرانی از نظر حساسیت به فرسایش خاک در نظر گرفته شده است. در سال‌های اخیر کاهش و تخریب جنگل‌های شمال به یک مسئله بحرانی تبدیل شده است. بخش وسیعی از حوضه آبخیز تالار نیز توسط جنگل‌های



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعه شده (حوضه آبخیز تالار)

## مواد و روش

مرز حوضه و زیرحوضه‌های منطقه مطالعه شده با نرم افزار Arc Hydro 10 از روی DEM با پیکسل سایز ۳۰ متر تعیین شد. به منظور آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴، حوضه آبخیز تالار به ۲۱ زیرحوضه آبخیز تقسیم شد. شبکه زهکشی حوضه نیز با استفاده از Arc Hydro 10 استخراج شد. پارامترهای مساحت، محیط، طول آبراهه، طول حوضه، تعداد آبراهه و ارتفاع هر یک از زیرحوضه‌ها نیز با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10 محاسبه شدند.

به منظور آنالیز پارامترهای مورفومتری، پارامترها به دو دسته پارامترهای خطی و پارامترهای شکلی تقسیم شدند [۲۸].

## پارامترهای شکل

پارامترهای شکل شامل ضریب کشیدگی [۳۷]، ضریب فشردگی [۸]، ضریب گردی [۳۵]، شاخص شکل [۲۴] و فاکتور شکل [۲۳] هستند. پارامترهای شکل رابطه معکوس با فرسایش پذیری خاک دارند بنابراین، هرچه مقدار پارامترهای شکل بیشتر باشد، فرسایش کمتر خواهد بود. پس زیرحوضه‌های با بیشترین مقدار، بیشترین رتبه و زیرحوضه‌های با کمترین مقدار، کمترین رتبه را گرفتند.

## پارامترهای خطی

پارامترهای خطی شامل نسبت انشعاب [۵]، تراکم زهکشی [۲۳]، طول جریان روی سطح زمین [۲۴]، فراوانی آبراهه [۲۳] و بافت زهکشی [۲۴] هستند که با استفاده از روش‌های استاندارد [۱۰] محاسبه شدند. پارامترهای خطی رابطه مستقیم با فرسایش پذیری دارند. بنابراین، بیشترین مقدار این پارامترها، به علت تأثیر بیشتر در فرسایش کمترین رتبه و کمترین مقدار، بیشترین رتبه را می‌گیرد.

در این پژوهش به منظور تعیین کاربری اراضی از تصویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ به شماره گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۵ به تاریخ و همچنین ۹ ژوئن ۱۹۹۱ معادل ۱۹ خرداد ۱۳۷۰ و نیز تصویر سنجنده ETM ماهواره لندست ۸ با همان شماره گذر و ردیف به تاریخ ۱۶ ژوئن ۲۰۱۴ معادل ۲۶ خرداد ۱۳۹۳ استفاده شد. تصاویر از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (<http://www.usgs.gov>) دانلود شد. از آنجاکه این دو تصویر به فاصله یک روز در ماه ژوئن دانلود

شده است، هیچ‌گونه تفاوت فصلی مشاهده نمی‌شود. با توجه به فصل برداشت تصویر و شرایط جوی منطقه، نیاز به هیچ‌گونه تصحیح رادیومتریک نبود. پیش از طبقه‌بندی تصاویر با روش نظارت‌شده، تعیین نقاط آموزشی بسیار اهمیت دارد. انتخاب داده‌های آموزشی مشکل‌ترین و بحرانی‌ترین قسمت در روند طبقه‌بندی نظارت‌شده است [۱۴]. در این مرحله با استفاده از تفسیر چشمی و تصاویر گوگل ارث، به تهیه مناطق آموزشی اقدام شد. سپس با استفاده از الگوریتم بیشترین احتمال تصاویر ماهواره‌ای برای دو دوره ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ به ۵ طبقه جنگل، مرتع، کشاورزی آبی و دیم و در نهایت مناطق مسکونی تقسیم شد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی از روش برآورد ماتریس خطا و ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا نتیجه تحلیل کاپای شاخص KHAT یا K است که شاخصی برای اندازه‌گیری صحت طبقه‌بندی براساس تفاوت بین صحت واقعی در ماتریس خطا و تغییرهای صحت که به وسیله مجموع سطر و ستون نشان داده شده است [۳].

نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ که با استفاده از نرم‌افزار ENVI به فرمت رستری تهیه شد در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcSWAT تغییرات کاربری اراضی برحسب مساحت و درصد برای هر زیرحوضه محاسبه می‌شود.

از روش مقدار CP برای اولویت‌بندی حساسیت زیرحوضه‌ها به فرسایش استفاده شده است. این روش بر مبنای اصول مدل‌سازی کارشناسان است [۴۱]. در این روش تمام شماره رتبه‌ها بر مبنای تعداد حوضه‌های آبخیز تعیین شده است. ۲۱ زیرحوضه آبخیز در منطقه مطالعه شده وجود دارد، بنابراین رتبه‌ها از ۱ تا ۲۱ داده شدند. برای مورفومتری و تغییرات پوشش گیاهی، رتبه ۱ نشان‌دهنده بیشترین تأثیر و رتبه ۲۱ نشان‌دهنده کمترین تأثیر در فرسایش هستند. اثر کلی تمام پارامترها بر قابلیت فرسایش هر زیرحوضه با میانگین رتبه‌های تمام پارامترها برحسب مقدار CP مشخص می‌شود [۱۰].

$$Cp = 1/n \sum_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

که در این رابطه Cp مقدار میانگین رتبه‌ها،  $R_i$  رده حوضه آبخیز خاص برای یک پارامتر و N تعداد پارامترهاست.

## نتایج و بحث

رده‌بندی آبراهه اولین گام در آنالیز مورفومتری حوضه زهکشی است. رده‌بندی آبراهه منطقه مطالعه شده با استفاده از روش استراهلر [۳۹] تهیه شد. بالاترین رده آبراهه در حوضه آبخیز تالار رده ۵ محاسبه شد. بیشترین و کمترین مساحت زیرحوضه به ترتیب مربوط به زیرحوضه SW9 با مساحت ۲۸۵۶۳/۲۸ هکتار و زیرحوضه SW5 با مساحت ۳۴۹۸/۳۱ هکتار است.

## اولویت‌بندی بر مبنای پارامترهای مورفومتری

پارامترهای مورفومتری برای ۲۱ زیرحوضه آبخیز تالار به منظور ارزیابی خطر فرسایش و اولویت‌بندی زیرحوضه محاسبه شدند، نتایج محاسبات در جدول ۱ ارائه شد.

پارامترهای شکل: زیرحوضه‌هایی که بیشترین مقدار فاکتور شکل را دارند، گردتر و زیرحوضه‌های با کمترین مقدار، کشیده‌تر هستند که با نتایج چاندراشکار و همکاران [۱۵] مطابقت دارد. ضریب گردی بیشتر نیز به شکل دایره حوضه آبخیز و پستی و بلندی متوسط تا زیاد و نفوذپذیری سطحی اشاره می‌کند که با نتایج التاف و همکاران [۱۰] مطابقت دارد. ضریب کشیدگی به نوع اقلیم و شرایط زمین‌شناسی بستگی دارد [۱۷]. زیرحوضه‌های با مقدار فاکتور شکل کمتر، حساسیت به فرسایش خاک بیشتری دارند، در شرایط واکنش به فرسایش شاخص شکل حوضه و ضریب فشردگی نیز مشابه با فاکتور شکل رفتار می‌کنند که با نتایج چاندراشکار و همکاران [۱۵]، جاود و همکاران [۲۸] و التاف و همکاران [۱۰] هم‌خوانی دارد. زیرحوضه‌های SW6، SW9، SW10 که کشیده هستند، در اولویت خیلی زیاد و تحت خطر فرسایش شدید هستند که با نتایج چاندراشکار و همکاران [۱۵] مبنی بر اینکه حوضه‌های کشیده‌تر تحت خطر فرسایش بیشتر هستند هم‌خوانی دارد.

## پارامترهای خطی

بافت زهکشی روی ظرفیت نفوذ تأثیر می‌گذارد [۲۴]. تغییرات مقدار تراکم زهکشی و بافت زهکشی در منطقه مطالعه شده کم است که نشان‌دهنده زیادبودن نفوذپذیری خاک و تراکم پوشش گیاهی است [۲۰]. تغییرات مقدار تراکم آبراهه منطقه مطالعه شده نیز کم است، زیرحوضه‌های با مقدار تراکم آبراهه کمتر، دارای پستی و بلندی کمتر و سطوح نفوذپذیرتر هستند، که با نتایج جی

آمار و همکاران [۲۹] و انصاری و همکاران [۱۱] مطابقت دارد. نسبت انشعاب رابطه معکوس با نفوذپذیری حوضه آبخیز دارد [۲۵، ۳۸].

پارامترهای خطی رابطه مستقیم با فرسایش‌پذیری (بیشترین مقدار این پارامترها بیشترین تأثیر در فرسایش) و پارامترهای شکل رابطه معکوس با فرسایش‌پذیری (کمترین مقدار این پارامترها بیشترین تأثیر را در فرسایش) دارند، که با نتایج احمد و سرینواس رائو [۹]، نوکا و همکاران [۳۶]، جاود و همکاران [۲۸] و التاف و همکاران [۱۰] نیز مطابقت دارد.

به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش باید تمام پارامترها با هم در نظر گرفته شوند. به همین منظور برای هر یک از زیرحوضه‌ها مقدار CP که میانگین رتبه‌های داده شده است، محاسبه شد. زیرحوضه‌ها با کمترین مقدار CP، نسبت به فرسایش خاک حساس‌ترند، بنابراین در اولویت خیلی زیاد و زیرحوضه‌های با مقدار CP بیشتر، در اولویت کم قرار می‌گیرند [۱۰]. بر همین مبنای براساس مقدار CP، زیرحوضه‌های آبخیز تالار به چهار گروه، اولویت خیلی زیاد (۸/۴۵ - ۱۰/۱)؛ اولویت زیاد (۱۰/۲ - ۱۱/۸)؛ اولویت متوسط (۱۱/۹ - ۱۳/۵) و اولویت کم (۱۳/۶ - ۱۵/۲) تقسیم شدند. زیرحوضه‌های SW6، SW9، SW10، SW12 و SW17 در اولویت خیلی زیاد با ۴۴ درصد از مساحت کل، زیرحوضه‌های SW2، SW3، SW4، SW7، SW11، SW13، SW14، SW15، SW16، SW18، SW19، SW20 و SW21 در اولویت زیاد با ۴۸/۸۲ درصد از مساحت کل؛ زیرحوضه SW8 در اولویت متوسط با ۳/۴۵ درصد از مساحت کل و زیرحوضه‌های SW1 و SW5 در اولویت کم با ۳/۷۳ درصد از مساحت کل قرار گرفتند (جدول ۱). در شکل ۳ الف نقشه اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز تالار بر مبنای پارامترهای مورفومتری ارائه شده است. در حوضه آبخیز تالار اولویت زیاد با مساحت ۴۸/۸۲ درصد و بعد از آن اولویت خیلی زیاد بیشترین مساحت را به خود اختصاص دادند که بیانگر بحرانی بودن مسئله فرسایش در منطقه است.

با توجه به جدول ۱ زیرحوضه‌های SW6، SW9، SW10، SW12 و SW17 در شرایط بحرانی قرار دارند و زیرحوضه SW9 با بیشترین مقدار نسبت انشعاب و کمترین مقدار فاکتور شکل و ضریب انشعاب و در نهایت کمترین مقدار میانگین کل پارامترهای مورفومتری نسبت

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از پارامترهای مورفومتری به‌منظور شناسایی حوضه‌های حساس به فرسایش روشی مناسب و کاربردی است. هلینگ [۲۱] نیز استفاده از پارامترهای مورفومتری را در حوضه‌های فاقد آمار روشی بسیار مناسب و دقیق بیان کرده است.

به زیرحوضه‌های دیگر در اولویت اول قرار می‌گیرد که با نتایج تاکار و همکاران [۴۰]، گاجیه و همکاران [۱۸] و آمانی و همکاران [۲] در تأثیرگذاری این پارامترها در فرسایش‌پذیری حوضه‌ها هم‌خوانی دارد.

جدول ۱. مقادیر پارامترهای مورفومتری و رتبه‌بندی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

رتبه	اولویت‌بندی	CP	ارتفاع	شاخص شکل	ضریب فشرده‌گی	ضریب گردی	ضریب کشیدگی	فاکتور شکل	تراکم زهکشی	طول جریان سطحی	بافت زهکشی	تراکم آبراهه	نسبت انشعاب	زیرحوضه‌ها
۲۱	کم	۱۵/۱	۲۳۵	۳/۹۶	۷/۰۸	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۲۵	۰/۳۶	۱/۳۷	۰/۰۹	۰/۱	۲	SW1
			۲۱	۱۸	۱۶	۶	۱۸	۴	۱۳	۹	۲۱	۲۰	۲۱	رتبه
۱۷	زیاد	۱۱/۶	۷۶۶	۲/۱۶	۵/۹۷	۰/۳۵	۰/۰۴	۰/۴۶	۰/۳۸	۱/۳۲	۰/۲	۰/۱۶	۷	SW2
			۲۰	۱۵	۵	۱۷	۱۹	۱۷	۱۰	۱۲	۱۴	۶	۳	رتبه
۱۱	زیاد	۱۰/۸	۱۲۵۳	۳/۳۵	۷/۲۱	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۴۰	۱/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۵	۳/۷	SW3
			۱۸	۱۶	۱۷	۵	۴	۶	۵	۱۷	۱۰	۱۱	۱۰	رتبه
۱۶	زیاد	۱۱/۳	۱۴۸۳	۳/۳۶	۷	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۳۸	۱/۳۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۶	SW4
			۱۵	۱۷	۱۵	۷	۱۵	۵	۱۲	۱۰	۱۷	۸	۴	رتبه
۲۰	کم	۱۴/۵	۱۳۳۰	۲/۷۵	۶/۱۳	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۲۸	۱/۷۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۲	SW5
			۱۶	۱۱	۹	۱۳	۲۱	۱۱	۲۰	۲	۲۰	۱۷	۲۰	رتبه
۴	خیلی زیاد	۹/۳۶	۲۸۳۵	۶/۹۱	۹/۱۸	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۴۰	۱/۲۴	۰/۲۳	۰/۱۴	۵	SW6
			۳	۲۱	۲۱	۱	۲	۱	۴	۱۸	۱۱	۱۴	۷	رتبه
۹	زیاد	۱۰/۷	۲۸۸۶	۴/۳۴	۷/۴۱	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۳۸	۱/۳۱	۰/۱۳	۰/۱۱	۶	SW7
			۲	۱۹	۱۹	۳	۷	۳	۹	۱۳	۱۸	۱۹	۶	رتبه
۱۹	متوسط	۱۲/۲	۱۸۷۹	۱/۷۷	۵/۵۶	۰/۴۱	۰/۰۴	۰/۵۶	۰/۳۶	۱/۴۰	۰/۲۱	۰/۱۴	۲/۴۴	SW8
			۱۱	۳	۲	۲۰	۱۴	۱۹	۱۵	۷	۱۲	۱۳	۱۹	رتبه
۱	خیلی زیاد	۸/۴	۳۳۴۷	۵/۳	۷/۲۶	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۱۵	۳/۴۳	۰/۲۵	۰/۱۱	۲۹	SW9
			۱	۲۰	۱۸	۴	۱	۲	۲۱	۱	۶	۱۸	۱	رتبه
۳	خیلی زیاد	۹/۱	۲۷۳۱	۳/۲۷	۶/۶۸	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۴۰	۱/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۳	۴/۴۷	SW10
			۴	۱۵	۱۳	۹	۳	۷	۶	۱۶	۴	۱۶	۸	رتبه
۱۸	زیاد	۱۱/۸	۲۵۵۲	۲/۱۶	۵/۵۳	۰/۴۱	۰/۰۳	۰/۴۶	۰/۳۳	۱/۵۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۴	SW11
			۵	۶	۱	۲۱	۱۰	۱۶	۱۸	۴	۱۹	۲۱	۹	رتبه
۵	خیلی زیاد	۹/۵	۲۲۹۴	۲/۴۶	۶/۰۸	۰/۳۴	۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۳۵	۱/۴۲	۰/۲۷	۰/۱۹	۳	SW12
			۸	۷	۷	۱۵	۱۱	۱۵	۱۶	۶	۳	۳	۱۴	رتبه
۱۳	زیاد	۱۱	۲۴۴۱	۲/۶۹	۶/۵۱	۰/۳۰	۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۳۳	۱/۵۲	۰/۲۱	۰/۱۳	۳	SW13
			۶	۱۰	۱۲	۱۰	۶	۱۲	۱۹	۳	۱۳	۱۵	۱۶	رتبه
۱۴	زیاد	۱۱/۲	۱۹۶۵	۲/۸۴	۶/۰۶	۰/۳۴	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۳۵	۱/۴۴	۰/۱۸	۰/۱۵	۶	SW14
			۱۰	۱۲	۶	۱۶	۱۶	۱۰	۱۷	۵	۱۵	۱۲	۵	رتبه
۱۲	زیاد	۱۰/۸	۲۱۷۰	۱/۳۷	۶/۱۰	۰/۳۴	۰/۰۳	۰/۷۳	۰/۳۶	۱/۳۹	۰/۲۴	۰/۱۶	۳	SW15
			۹	۲	۸	۱۴	۱۲	۲۰	۱۴	۸	۸	۹	۱۵	رتبه
۱۰	زیاد	۱۰/۷	۱۶۲۳	۳/۱۱	۶/۳۱	۰/۳۲	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۴۳	۱/۱۷	۰/۲۷	۰/۲۲	۲/۸۲	SW16
			۱۴	۱۴	۱۱	۱۱	۱۳	۸	۳	۱۹	۵	۲	۱۸	رتبه

ادامهٔ جدول ۱. مقادیر پارامترهای مورفومتری و رتبه‌بندی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

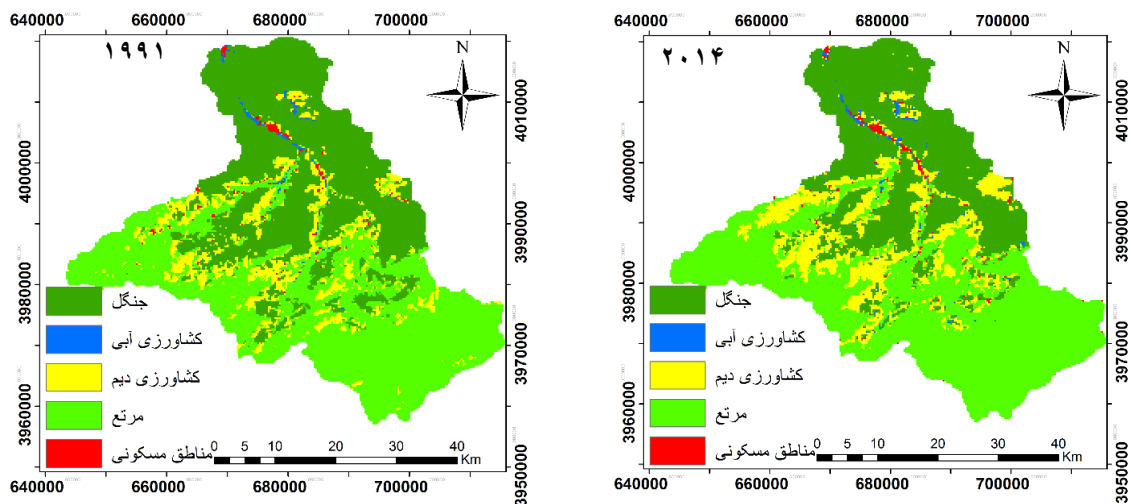
رتبه	اولویت‌بندی	CP	ارتفاع	شکل شاخص	فشرید فردگی	فشرید گردگی	فشرید کشیدگی	فاکتور شکل	تراکم زهکشی	طول جریان سطحی	بافت زهکشی	تراکم آبراهه	نسبت انشعاب	زیرحوضه‌ها
۲	خیلی زیاد	۹/۱	۲۳۲۳	۱/۳۱	۵/۷۵	۰/۳۸	۰/۰۳	۰/۷۷	۰/۳۸	۱/۳۰	۰/۳۲	۰/۱۸	۳/۶۰	SW17
رتبه			۷	۱	۴	۱۸	۹	۲۱	۸	۱۴	۲	۵	۱۱	
۷	زیاد	۱۰/۶	۱۸۱۲	۲/۵۲	۸/۱۹	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۴۰	۰/۵۳	۰/۹۴	۰/۱۷	۰/۱۸	۸	SW18
رتبه			۱۲	۸	۲۰	۲	۱۷	۱۴	۱	۲۱	۱۶	۴	۲	
۱۵	زیاد	۱۱/۲	۱۱۰۴	۲/۶۴	۵/۷۵	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۳۸	۰/۴۷	۱/۰۵	۰/۳۳	۰/۲۸	۲/۸۲	SW19
رتبه			۱۹	۹	۳	۱۹	۲۰	۱۳	۲	۲۰	۱	۱	۱۷	
۸	زیاد	۱۰/۶	۱۸۰۱	۱/۹۷	۶/۲۸	۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۳۸	۱/۳۲	۰/۲۵	۰/۱۵	۳/۳۱	SW20
رتبه			۱۳	۴	۱۰	۱۲	۸	۱۸	۱۱	۱۱	۷	۱۰	۱۳	
۶	زیاد	۱۰/۵	۱۲۷۷	۲/۸۶	۶/۸۶	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۴۰	۱/۲۶	۰/۲۴	۰/۱۶	۳/۴۶	SW21
رتبه			۱۷	۱۳	۱۴	۸	۵	۹	۷	۱۵	۹	۷	۱۲	

نقشه‌های کاربری اراضی ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

نتایج تغییرات کاربری اراضی بین این دو دوره نشان می‌دهد که کاربری جنگل ۱۲۴۷۸/۰۴ هکتار کاهش اما سایر کاربری‌ها مانند کشاورزی آبی، دیم، مرتع و مسکونی به ترتیب ۴۷۶، ۷۲۴۸/۲۵، ۴۴۸۱/۰۵ و ۲۷۳/۹۵ هکتار افزایش داشته‌اند. بیشترین درصد تغییرات نیز مربوط به کاربری جنگل با ۶/۰۳ درصد و پس از آن کشاورزی دیم، مرتع، کشاورزی آبی و مسکونی به ترتیب با ۳/۴۹، ۲/۱۸، ۰/۲۳ و ۰/۱۳ است.

### اولویت‌بندی بر مبنای تغییرات کاربری اراضی

تغییرات کاربری اراضی یک فاکتور مهم در کنترل رفتار هیدرولوژیکی حوضهٔ آبخیز است [۲۲]. در طول دهه‌های اخیر تغییرات LULC مرتبط با رشد جمعیت، توسعهٔ شهرسازی و فعالیت‌های شدید کشاورزی، کاهش مراتع و قطع درختان جنگلی سبب افزایش نگرانی در مدیریت منابع آب و اکوسیستم شده است [۲۷]. در این مطالعه نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ آبخیز تالار برای سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ با پنج کاربری جنگل، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مسکونی و مرتع تهیه شد. شکل ۲



شکل ۲. نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ آبخیز تالار

نفوذپذیر خاک و در نتیجه موجب افزایش میزان رواناب در نتیجه ایجاد سیل و فرسایش می‌شود.

به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز تالار علاوه بر پارامترهای مورفومتری، پارامترهای کاربری اراضی نیز مد نظر قرار گرفتند. برای اولویت‌بندی پارامترهای کاربری اراضی نیز مشابه پارامترهای مورفومتری مقدار CP محاسبه و در نهایت اولویت‌بندی انجام گرفت. براساس مقدار CP زیرحوضه‌ها به چهار اولویت، اولویت خیلی زیاد (۵- ۸/۶)، اولویت زیاد (۷/۸- ۱۲/۳)، متوسط (۴/۱۲- ۱۶) و کم (۱/۱۶- ۱۹/۶) تقسیم شدند. زیرحوضه‌های SW3، SW5، SW7، SW11، SW12، SW13، SW14، SW15 در اولویت خیلی زیاد با ۳۰/۸۴ درصد از مساحت کل؛ زیرحوضه‌های SW5، SW6، SW8، SW9، SW10، SW17 و SW21 در اولویت زیاد با ۵۱/۶۰ درصد از مساحت کل؛ زیرحوضه‌های SW1، SW2، SW16، SW19 و SW20 در اولویت متوسط با ۱۴/۹۰ درصد از مساحت کل و زیرحوضه SW18 در اولویت کم با ۲/۶۵ درصد از مساحت کل قرار گرفتند. در شکل ۳.ب اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر مبنای پارامتر کاربری اراضی ارائه شد. در اولویت‌بندی بر مبنای تغییرات کاربری اراضی، بیشترین مساحت حوضه در اولویت زیاد با ۵۱/۶۰ درصد قرار گرفته است. حدود نصف حوضه در این اولویت قرار دارد که بحرانی بودن فرسایش خاک در منطقه را نشان می‌دهد.

با مقایسه دو شکل ۳.الف و ۳.ب مشاهده می‌کنیم که زیرحوضه SW5 در اولویت‌بندی بر مبنای مورفومتری در اولویت کم در حالی که در اولویت‌بندی بر مبنای تغییرات کاربری اراضی در اولویت خیلی زیاد قرار گرفته است و این به دلیل افزایش مساحت مناطق مسکونی در این زیرحوضه است که نشان‌دهنده تأثیر مهم تغییرات کاربری اراضی در ایجاد حساسیت به فرسایش است و با نتایج التاف و همکاران [۱۰] و جاود و همکاران [۲۸] که در مطالعات خود عوامل کاربری اراضی را از عوامل تأثیرگذار در فرسایش گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد.

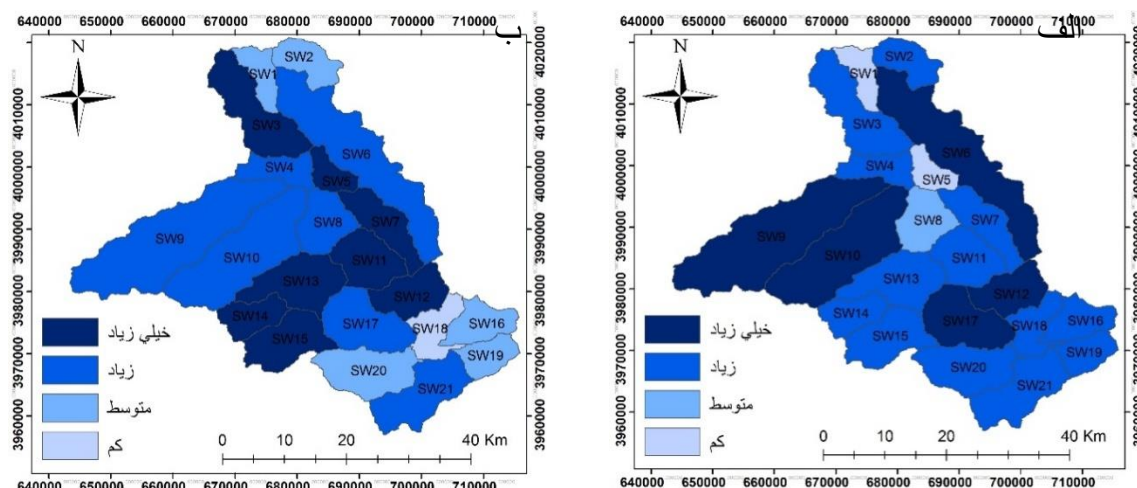
به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش نسبت به تغییرات کاربری اراضی، تغییر در مساحت هر نوع کاربری اراضی در تمام زیرحوضه‌ها به صورت درصد محاسبه شد. جدول ۲ رتبه‌بندی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر مبنای تغییرات کاربری اراضی را نشان می‌دهد. برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌هایی که بیشترین مقدار (مساحت به درصد) در کاربری اراضی جنگل و مرتع را داشته‌اند (یعنی زیرحوضه‌هایی که اراضی جنگل و مرتع آن‌ها بیشترین کاهش را داشته) رتبه ۱ داده شد چون این زیرحوضه‌ها بیشتر تحت خطر فرسایش قرار خواهند داشت و بیشترین رتبه به زیرحوضه‌ای داده شد که کمترین مقدار تغییرات را در مساحت کاربری‌های جنگل و مرتع داشته‌اند [۲۸]. در حالی که زیرحوضه‌هایی که بیشترین مقدار افزایش در اراضی مسکونی و کشاورزی را داشته‌اند رتبه ۱ و به عکس زیرحوضه‌هایی که کمترین مقدار را داشته‌اند، بیشترین رتبه داده شد. گسترش اراضی کشاورزی در اراضی شیب‌دار، کم‌عمق و حاشیه‌ای علت معلول فرسایش خاک در کشور است [۴]. افزایش اراضی مسکونی و کشاورزی و کاهش اراضی جنگلی و مرتعی در منطقه مطالعه شده موجب افزایش حساسیت مناطق به فرسایش می‌شود که با نتایج بررسی محمدی [۷] در حوضه آبخیز تالار مبنی بر اینکه کاهش اراضی جنگلی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی دیم و آبی و مرتع و افزایش دبی رودخانه و همچنین تولید رسوب در بیشتر زیرحوضه‌ها مطابقت دارد. نتایج به دست آمده با مطالعات گتاچو و ملسه [۱۹] و هانگ و لو [۲۶] مطابقت دارد. آن‌ها نیز در تحقیق خود گزارش دادند که تخریب و کاهش اراضی جنگلی و توسعه اراضی کشاورزی سبب افزایش جریان و نیز افزایش تولید رسوب می‌شود. همچنین ژانگ و همکاران [۴۲] در تحقیق خود گزارش کردند که جنگل و تولید رسوب رابطه منفی دارند، اما اراضی کشاورزی دیم و مراتع تولید رسوب شدیدی دارند. گسترش اراضی مسکونی نیز سبب کاهش سطوح



جدول ۲. درصد تغییرات کاربری اراضی و رتبه‌بندی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

اولویت‌بندی	cp	جنگل	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مسکونی	مرتع	زیرحوضه
		۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۴۵	*۰/۵	-	WS1
متوسط	۱۵/۲	۱۶	۱۳	۱۵	۱۷	-	رتبه
		۰/۸۶	۰/۱	۰/۷۶	-	-	WS2
متوسط	۱۳	۱۵	۱۰	۱۴	-	-	رتبه
		۴/۰۱	۱/۰۲	۲/۴۱	۰/۹۵	۰/۳۷	WS3
خیلی زیاد	۷/۴	۱۴	۱	۱۳	۳	۶	رتبه
		۴/۴۷	۰/۷۴	۲/۵۴	۰/۵	۲/۱۷	WS4
زیاد	۱۱/۲	۱۲	۱۶	۱۱	۵	۱۲	رتبه
		۷/۶۱	۰/۳۴	۴/۴۴	۳/۷	۰/۱۹	WS5
خیلی زیاد	۷/۲	۶	۱۴	۸	۱	۷	رتبه
		۴/۰۲	۰/۸۵	۳/۸۷	۰/۱۴	۰/۵۶	WS6
زیاد	۸/۸	۱۳	۲	۹	۱۶	۴	رتبه
		۷/۱۹	۰/۶۱	۶/۹۸	۰/۰۵	۰/۴۵	WS7
خیلی زیاد	۷/۴	۹	۴	۶	۱۳	۵	رتبه
		۵/۰۱	۰/۴۴	۲/۴۵	۰/۶۵	۲/۳۵	WS8
زیاد	۱۱	۱۱	۱۵	۱۲	۴	۱۳	رتبه
		۷/۳۳	۰/۱۴	۶/۲۴	۰/۸۳	۱/۷۸	WS9
زیاد	۱۰/۴	۸	۸	۷	۱۸	۱۱	رتبه
		۱۴/۲۵	۰/۱۱	۹	۰/۰۷	۵/۲۱	WS10
زیاد	۸/۸	۱	۹	۲	۱۵	۱۷	رتبه
		۸/۲	۰/۱۵	۸/۹۸	۰/۰۷	۰/۷	WS11
خیلی زیاد	۷	۵	۱۲	۳	۱۲	۳	رتبه
		۱۳/۲۷	۰/۲۲	۷/۴۴	۱/۳۵	۴/۲۶	WS12
خیلی زیاد	۶/۲	۲	۷	۵	۲	۱۵	رتبه
		۹/۷۱	۰/۰۵	۱۰/۴۸	۰/۱۷	۰/۹۹	WS13
خیلی زیاد	۵	۳	۱۱	۱	۸	۲	رتبه
		۷/۴۴	۰/۴۵	۸/۰۸	۰/۱۳	۱/۲۲	WS14
خیلی زیاد	۵/۴	۷	۶	۴	۹	۱	رتبه
		۸/۷۷	۰/۶۹	۲/۹۹	۰/۴۳	۴/۶۶	WS15
خیلی زیاد	۷/۸	۴	۳	۱۰	۶	۱۶	رتبه
		-	-	۱/۵	۰/۱۲	۱/۳۸	WS16
متوسط	۱۲/۷	-	-	۱۸	۱۰	۱۰	رتبه
		۵/۱۲	۰/۵	۸/۹۳	۰/۳۲	۱۳/۲۳	WS17
زیاد	۱۲/۲	۱۰	۵	۲۰	۷	۱۹	رتبه
		-	-	۱۲/۶۷	-	۱۲/۶۷	WS18
کم	۱۹/۵	-	-	۲۱	-	۱۸	رتبه
		-	-	۲/۷	۰/۰۸	۲/۶۲	WS19
متوسط	۱۴/۷	-	-	۱۹	۱۱	۱۴	رتبه
		-	-	۱/۱	۰/۰۳	۱/۰۷	WS20
متوسط	۱۳/۳	-	-	۱۷	۱۴	۹	رتبه
		-	-	۰/۸۳	-	۰/۸۳	WS21
زیاد	۱۲	-	-	۱۶	-	۸	رتبه

\* مقادیر منفی تغییرات کاربری اراضی



شکل ۳. نقشه اولویت بندی زیرحوضه‌ها (الف) بر مبنای مورفومتری؛ (ب) بر مبنای تغییرات کاربری اراضی

ارائه شده است. زیرحوضه SW12 با کمترین مقدار CP که نشان‌دهنده بیشترین حساسیت به فرسایش است رتبه ۱ به آن داده شد. زیرحوضه SW1 با کمترین مقدار CP در رتبه ۲۱ قرار گرفت. نقشه نهایی اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز تالار برمبنای پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در شکل ۴ ارائه شده است. در شکل ۵ نمودار مساحت برحسب درصد برای چهار اولویت‌بندی (خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم) زیرحوضه‌ها بر مبنای تغییرات کاربری اراضی، مورفومتری، مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی ارائه شد تا مقایسه‌ای در تأثیر پارامترهای مختلف و ادغام آن‌ها صورت گیرد. با توجه به نمودار بیشترین مساحت حوضه در هر سه حالت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، بیش از ۵۰ درصد حوضه در اولویت خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند. در اولویت‌بندی برمبنای پارامتر مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی بیشترین مساحت حوضه در اولویت‌بندی خیلی زیاد با ۶۰/۵۶ درصد قرار گرفته است. بعد از آن بیشترین مساحت به ترتیب در اولویت‌بندی برمبنای مورفومتری (۴۴ درصد) و برمبنای کاربری اراضی (۳۰/۸۴ درصد) مشاهده شد.

زیرحوضه‌هایی که در اولویت خیلی زیاد و زیاد قرار دارند، حساسیت بیشتری به فرسایش دارند. این نشان‌دهنده بحرانی بودن وضعیت فرسایش منطقه است و زیرحوضه‌هایی که در اولویت کم هستند، حساسیت به فرسایش کمتری دارند که با یافته‌های احمد و سرینواس راتو [۹] مطابقت دارد.

### اولویت‌بندی برمبنای پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی

در این مطالعه برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز تالار به منظور شناسایی و ارزیابی زیرحوضه‌های حساس به فرسایش، دو پارامتر مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی با هم ادغام و اولویت‌بندی نهایی انجام شد. بر این اساس رتبه‌های هر دو پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی با هم در هر یک از زیرحوضه برای محاسبه مقدار CP در نظر گرفته شدند. زیرحوضه‌ای که بیشترین مقدار CP را داشت، حساسیت به فرسایش آن کمتر و در نتیجه بیشترین رتبه به آن داده شد و به عکس زیرحوضه‌ای که کمترین مقدار CP را داشت، حساسیت به فرسایش بیشتر، و کمترین رتبه داده شد [۱۰].

بر اساس مقدار CP زیرحوضه‌ها به چهار اولویت، خیلی زیاد (۸/۵ - ۱۰/۱)؛ زیاد (۱۰/۲ - ۱۱/۸)؛ متوسط (۱۱/۹ - ۱۳/۵)؛ کم (۱۳/۶ - ۱۵/۲) تقسیم‌بندی شدند. زیرحوضه‌های SW3، SW6، SW7، SW9، SW10، SW12، SW13، SW14، SW15 در اولویت خیلی زیاد با ۶۰/۵۶ درصد از مساحت کل؛ زیرحوضه‌های SW4، SW8، SW11، SW17، SW20 و SW21 در اولویت زیاد با ۲۵/۲۲ درصد از مساحت کل؛ زیرحوضه‌های SW2، SW5، SW16، SW18، SW20 در اولویت متوسط با ۱۲/۱۹ درصد از مساحت کل و زیرحوضه SW1 در اولویت کم با ۲/۰۳ درصد از مساحت کل قرار گرفتند. در جدول ۳ اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برمبنای پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی

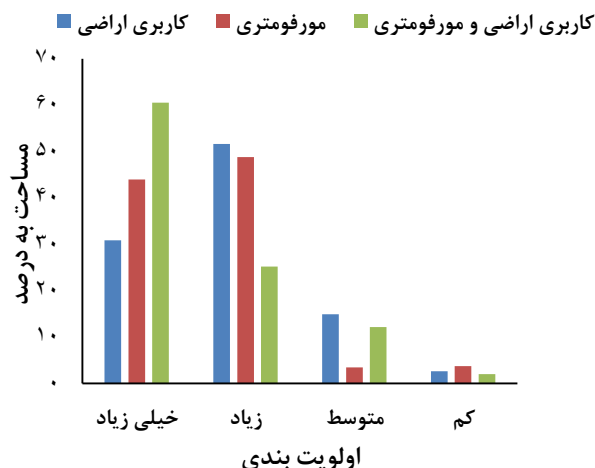
مورفومتری به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای شناسایی زیرحوضه‌های حساس به فرسایش روشی دقیق‌تر و پذیرفتنی‌تر است. درنهایت می‌توان گفت آنالیز پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS روشی ساده و کم‌هزینه و درعین حال دقیق برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به‌منظور کنترل فرسایش در برنامه‌های حفاظتی و آبخیزداری است که با نتایج جاود و همکاران [۲۸] و التاف و همکاران [۱۰] مطابقت دارد.

زیرحوضه SW1 با کمترین مقدار نسبت انشعاب، بافت زهکشی و ارتفاع و همچنین تغییر کمتر از یک درصد در جنگل بیشترین مقدار CP را داشته با رتبه ۲۱، در اولویت کم قرار گرفته است که با نتایج التاف و همکاران [۱۰] هم‌خوانی دارد.

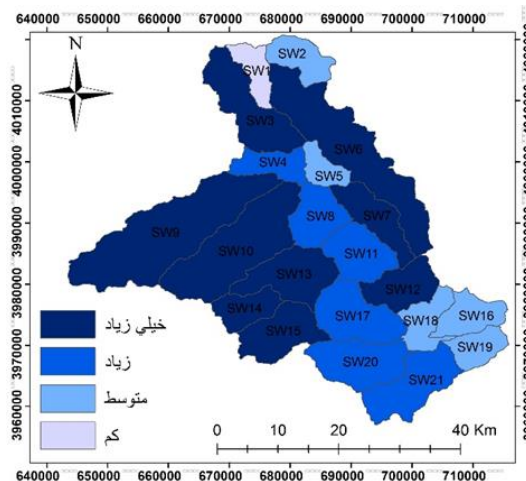
پارامترهای مورفومتری مربوط به خصوصیات فیزیکی حوضه است و در طول زمان تغییراتی در آن مشاهده نمی‌شود، اما پارامترهای کاربری اراضی همواره با تأثیر بشر روی زمین به‌سرعت در حال تغییر است. بنابراین، در نظر گرفتن پارامتر تغییرات کاربری اراضی در کنار پارامترهای

جدول ۳. رتبه‌بندی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر مبنای پارامترهای مورفومتری و کاربری اراضی

زیرحوضه‌ها	نسبت انشعاب	تراکم زهکشی	بافت زهکشی	طول جریان سطحی	تراکم زهکشی	فاکتور شکل	ضریب کشیدگی	ضریب گردی	ضریب فشردگی	شاخص شکل	ارتفاع	مربع	مسکونی	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	جنگل	CP	رتبه	اولویت‌بندی
SW1	۲۱	۲۰	۲۱	۹	۱۳	۴	۱۸	۶	۱۶	۱۸	۲۱	-	۱۷	۱۵	۱۳	۱۶	۱۵/۲	۲۱	کم
SW2	۴	۶	۱۴	۱۲	۱۰	۱۷	۱۹	۱۷	۵	۵	۲۰	-	-	۱۴	۱۰	۱۵	۱۱/۹	۱۷	متوسط
SW3	۱۰	۱۱	۱۰	۱۷	۵	۶	۴	۵	۱۷	۱۶	۱۸	۶	۳	۱۳	۱	۱۴	۹/۸	۸	خیلی زیاد
SW4	۴	۸	۱۷	۱۰	۱۲	۵	۱۵	۷	۱۵	۱۷	۱۵	۱۲	۵	۱۱	۱۶	۱۲	۱۱/۳	۱۵	زیاد
SW5	۲۰	۱۷	۲۰	۲	۲۰	۱۱	۲۱	۱۳	۹	۱۱	۱۶	۷	۱	۸	۱۴	۶	۱۲/۳	۲۰	متوسط
SW6	۷	۱۴	۱۱	۱۸	۴	۱	۲	۱	۲۱	۲۱	۳	۴	۱۶	۹	۲	۱۳	۹/۲	۵	خیلی زیاد
SW7	۶	۱۹	۱۸	۱۳	۹	۳	۷	۳	۱۹	۱۹	۲	۵	۱۳	۶	۴	۹	۹/۷	۷	خیلی زیاد
SW8	۱۹	۱۳	۱۳	۷	۱۵	۱۹	۱۴	۲۰	۲	۳	۱۱	۱۳	۴	۱۲	۱۵	۱۱	۱۱/۹	۱۶	زیاد
SW9	۱	۱۸	۶	۱	۲۱	۲	۱	۴	۱۸	۲۰	۱	۱۱	۱۸	۷	۸	۸	۹/۱	۳	خیلی زیاد
SW10	۸	۱۶	۴	۱۶	۶	۷	۳	۹	۱۳	۱۵	۴	۱۷	۱۵	۲	۹	۱	۹/۱	۲	خیلی زیاد
SW11	۹	۲۱	۱۹	۴	۱۸	۱۶	۱۰	۲۱	۱	۶	۵	۳	۱۲	۳	۱۲	۵	۱۰/۳	۱۱	زیاد
SW12	۱۴	۳	۳	۶	۱۶	۱۵	۱۱	۱۵	۷	۷	۸	۱۵	۲	۵	۷	۲	۸/۵	۱	خیلی زیاد
SW13	۱۶	۱۵	۱۳	۳	۱۹	۱۲	۶	۱۰	۱۲	۱۰	۶	۲	۸	۱	۱۱	۳	۹/۲	۴	خیلی زیاد
SW14	۵	۱۲	۱۵	۵	۱۷	۱۰	۱۶	۱۶	۶	۱۲	۱۰	۱۶	۹	۴	۶	۷	۹/۴	۶	خیلی زیاد
SW15	۱۵	۹	۸	۸	۱۴	۲۰	۱۴	۱۲	۸	۲	۹	۱۶	۶	۱۰	۳	۴	۹/۹	۹	خیلی زیاد
SW16	۱۸	۲	۵	۱۹	۳	۸	۱۳	۱۱	۱۱	۱۴	۱۴	۱۰	۱۰	۱۸	-	-	۱۱/۱	۱۳	متوسط
SW17	۱۱	۵	۲	۱۴	۸	۲۱	۹	۱۸	۴	۱	۷	۱۹	۷	۲۰	۵	۱۰	۱۰/۱	۱۰	زیاد
SW18	۲	۴	۱۶	۲۱	۱	۱۴	۱۴	۲	۲۰	۸	۱۲	۱۸	-	۲۱	-	-	۱۲	۱۹	متوسط
SW19	۱۷	۱	۱	۲۰	۲	۱۳	۲۰	۱۹	۳	۹	۱۹	۱۴	۱۱	۱۹	-	-	۱۲	۱۸	متوسط
SW20	۱۳	۱۰	۷	۱۱	۱۱	۱۸	۸	۱۲	۱۰	۴	۱۳	۹	۱۴	۱۷	-	-	۱۱/۲	۱۴	زیاد
SW21	۱۲	۷	۹	۱۵	۷	۹	۵	۸	۱۴	۱۳	۱۷	۸	-	۱۶	-	-	۱۰/۸	۱۲	زیاد



شکل ۵. نمودار درصد مساحت اولویت بندی زیر حوضه‌ها



شکل ۴. نقشه اولویت بندی بر مبنای مورفومتری و کاربری اراضی

### منابع

[۱]. اسدی نیلوان، امید؛ سقازاده، نرگس؛ سلحشور دستگردی، مریم؛ بای، محبوبه. (۱۳۹۴). «اولویت بندی زیر حوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و GIS به منظور اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مراوه تپه، استان گلستان)». *اکوهیدرولوژی*، شماره ۲ (۱)، صص ۱۰۳-۹۱.

[۲]. آمانی، محمد؛ نجفی نژاد، علی. (۱۳۹۳). «اولویت بندی زیر حوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS، حوزه آبخیز لهندر، استان گلستان». *پژوهش نامه مدیریت حوزه آبخیز*، سال پنجم، ۹، صص ۱-۱۵.

[۳]. رسولی، علی اکبر. *مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای*. انتشارات دانشگاه تبریز، (۱۳۷۸).

[۴]. سلاجقه، علی؛ سیدعلی پور، محمدحسین؛ حسین علیزاده، محسن. *اصول مدیریت و حفاظت خاک* (جلد چاپ اول). انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۹۲).

[۵]. علیزاده، امین. *اصول هیدرولوژی کاربردی*. دانشگاه امام رضا، (۱۳۹۰)، چاپ سی و دوم، صص ۹۱۲.

[۶]. فلاح سورکی، مقدسه؛ کاویان، عطاله؛ امیدوار، ابراهیم. (۱۳۹۴). «اولویت بندی زیر حوضه‌های آبخیز

### نتیجه گیری

در این مطالعه به منظور اولویت بندی حساسیت به فرسایش زیر حوضه‌ها به ارزیابی پارامترهای مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۴ با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS اقدام شد. شناسایی زیر حوضه‌های حساس به فرسایش به منظور اجرای برنامه‌های حفاظتی بسیار مهم است. در این حوضه بیشتر زیر حوضه‌ها در اولویت خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند که این نشان دهنده بحرانی بودن مسئله فرسایش در این حوضه است. زیر حوضه‌هایی که در اولویت خیلی زیاد قرار گرفته‌اند، به اقدامات فوری برنامه‌های حفاظتی در بهبود وضعیت موجود نیاز دارند. بعد از آن‌ها زیر حوضه‌های در اولویت زیاد در گام بعدی اقدامات مدیریتی و حفاظتی قرار می‌گیرند. البته نباید از زیر حوضه‌هایی که در اولویت متوسط قرار گرفته‌اند نیز چشم‌پوشی شود، بلکه بعد از زیر حوضه‌های در اولویت خیلی زیاد و زیاد، باید برنامه‌هایی در جهت حفظ وضعیت موجود و بهبود اراضی تحت خطر فرسایش در نظر گرفته شود. مطالعه حاضر استفاده از تکنیک GIS و RS را به عنوان ابزارهای کمکی بسیار مناسب، دقیق و با صرفه از نظر اقتصادی و زمانی برای ارزیابی و اولویت بندی زیر حوضه‌ها در مباحث مربوط به فرسایش خاک و حفاظت منابع آب و خاک اثبات می‌کند. این روش برای حوضه‌های مواجهه با مشکل کمبود داده، بسیار مناسب است.

- Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka. Aquatic Procedia, INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015), vol 4, pp. 1345 – 1353.
- [16]. Chen, J., Hill, A., and Urbano, L. (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, vol 373, pp. 184–192.
- [17]. Dar, R., Chandra, R., and Romshoo, S. (2013). Morphotectonic and Lithostratigraphic analysis of Intermontane Karewa basin of Kashmir Himalayas, India. *Journal of Mountain Science*, vol 10(1), 1–15.
- [18]. Gajbhiye, S., Mishra, S., and Pandey, A. (2014). Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. *Appl Water Sci*, vol 4, pp. 51–61.
- [19]. Getachew, H., and Melesse, A. (2015). Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. *Environments*, vol 2, pp. 32–42.
- [20]. Harlin, J., and Wijeyawickrema, C. (1985). Irrigation and groundwater depletion in Caddo county, Oklahoma. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, vol 21(1), pp. 15–22.
- [21]. Hlaing, k., Haruyama, S., and Maung, A. (2008). Using GIS-based distributed soil loss modeling and morphometric analysis to prioritize watershed for soil conservation in Bago river basin of Lower Myanmar. *Front. Earth Sci. China*, vol.2 (4), pp. 465–478.
- [22]. Ho`rmann, G., Horn, A., and Fohrer, N. (2005). The evaluation of land-use of land use change on hydrology by ensemble modelling (LUCHEM) III: scenario analysis. *Adv Water Resour*, vol 32, pp. 159–70.
- [23]. Horton, R. (1932). Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, vol 13(1), pp. 350–361.
- [24]. Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, vol 56, pp. 275–370.
- [25]. Howard, A. (1990). Role of hypsometry and planform in basin hydrologic response. *Hydrological Processes*, vol 4(4), pp. 373–385.
- [26]. Huang, T., and Lo, K. (2015). Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. *Environments*, vol 2, pp. 32–42.
- هراز به‌منظور حفاظت آب و خاک بر مبنای پارامترهای مورفومتری». دومین همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی. شهر یورماه، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
- [۷]. محمدی، مازیار. (۱۳۹۴). «ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب رودخانه تالار با استفاده از سنجش از دور و مدل‌سازی هیدرولوژیکی». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ص ۱۱۶.
- [۸]. مهدوی، محمد. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم). انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۸)، چاپ ششم، ص ۴۳۵.
- [9]. Ahmed, F., and Srinivasa Rao, K. (2015). Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric Analysis using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, vol 4(2), pp. 51–65.
- [10]. Altaf, S., Meraj, G., and Romshoo, S. (2014). Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol 186(12), pp. 8391–8412.
- [11]. Ansari, Z., Rao, L., and Yusuf, A. (2012). GIS based Morphometric Analysis of Yamuna Drainage Network in parts of Fatehabad Area of Agra District, Uttar Pradesh. *JOURNAL GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA*, vol 79, pp. 505–514.
- [12]. Avinash, K., Jayappa, K., and Deepika, B. (2011). Prioritization of sub-basins based on geomorphology and morphometric analysis using remote sensing and geographic information system (GIS) techniques. *Geocarto International*, vol 26(7), pp. 569–592.
- [13]. Biswas, S., Sudharakar, S., and Desai, V. (1999). Prloritization of subx~atersheds based on morphometric analysis of drainage basin A Remote Sensing and GIS approach. *Journal ofnandan Society of Remote Sensing*, vol 27(3), pp. 155–166.
- [14]. Canty, M. (2006). *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing: with Algorithms for Envi/Idl*. CRC Press.
- [15]. Chandrashekara, H., Lokeshb, K., Sameenac, M., roopad, J., and rangannae, G. (2015). GIS – Based Morphometric Analysis of Two Reservoir

- [27]. Jacobson, C. R. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: a review. *J. Environ. Manag.*, vol 92, pp. 1438–48.
- [28]. Javed, A., Khanday, M., and Ahmed, R. (2009). Prioritization of subwatersheds based on morphometric and land-use analysis using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol 37, pp.261–274.
- [29]. Jee Omar, P. (2015). Geomatics Techniques Based Significance of Morphometric Analysis in Prioritization of Watershed. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology and Engineering*, vol 4(1), pp. 24–13.
- [30]. Kavian, A., Azmoodeh, A., and Solaimani, K. (2013). Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, doi:10.1007/s12517-013-0853-1.
- [31]. Khan, M., Gupta, V., and Moharana, P. (2001). Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India. *Journal of Arid Environments*, vol 49, pp.465-475.
- [32]. Kumar, R., Kumar, S., Lohani, A., Nema, R., and Singh, R. (2000). Evaluation of geomorphological characteristics of a catchment using GIS. *GIS India*, vol 9(3), pp.13–17.
- [33]. Lillesend, T., and Kiefer, P. (2000). *Remote sensing and image interpretation*. 4th ed., New York: John Wiley and Sons.
- [34]. Lu, X. X., and Higgitt, D. L. (2000). Estimating erosion rates on sloping agricultural land in the Yangtze Three Gorges, China, from caesium-137 measurements. *Catena*, vol 39, pp. 33–51.
- [35]. Miller, V. (1953). A Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Tech. Rep. 3 NR 389-402, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York, NY, USA.
- [36]. Nooka, R., Srivastava, Y., Rao, V., Amminedu, E., and Murthy, K. (2005). Check dam positioning by prioritization of micro watersheds using SYI model and morphometric analysis - Remote Sensing and GIS perspective. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, vol 33(1), pp. 25-38.
- [37]. Schumms, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, vol 67, pp. 597–646.
- [38]. Sharma, S., Tignath, S., and Mishra, S. (2008). Morphometric analysis of drainage basin using GIS approach. *JNKVV Res J*, vol 42(1), pp. 88–92.
- [39]. Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of applied hydrology*, pp.4–11.
- [40]. Thakkar, A., and Dhiman, S. (2007). 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*, vol 35 (4), pp.313–321.
- [41]. Todorovski, L., and Džeroski, S. (2006). Integrating knowledge driven and data-driven approaches to modeling. *Ecological Modelling*, vol 194(1), pp. 3–13.
- [42]. Zhang, X., Zhang, Y., Wen, A., and Feng, M. (2003). Assessment of Soil Losses on Cultivated Land by Using the <sup>137</sup>Cs Technique in the Upper Yangtze River Basin of China. *Soil and Tillage Research*, vol 69(1-3), pp.99-106.