دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مقایسه روش محاسبه خودکار نسبت تحویل رسوب حوزه آبخیز با روش سنتی در سامانه اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز یکه‌چنار – استان گلستان)

چوقی بایرام کمکی[۱]، حسن احمدی[۲]، مریم ممبنی[۳]، سجاد احمدیوسفی[۴] و ناصر مصطفوی[۵]

۱- استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسوول: bkomaki@gmail.com)
۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- دانشجوی دکتری حفاظت آب و خاک، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
و ۵- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲۲

چکیده

تعیین میزان رسوب‌دهی و مرزبندی حوزه‌های آبخیز جزء اولین مراحل کاری در تحقیقات محیطی بخصوص در برآورد فرسایش آبی است. تعیین دقیق مرز در بررسی خصوصیات هیدرولوژی و مرفولوژی حوزه آبخیز مهم است. هدف این تحقیق ارائه یک الگوی خودکار ترسیم دقیق مرز حوزه و محاسبه میزان نسبت تحویل رسوب است. روش سنتی تعیین مرز حوزه و متعاقباً محاسبه نسبت تحویل رسوب به‌صورت دستی انجام می‌گیرد که با استفاده از یک نقشه توپوگرافی، مرز حوزه آبخیز تعیین می‌گردد و طول آبراهه اصلی محاسبه می‌شود. ولی امروزه با پیشرفت روش‌های تحلیل مکانی رقومی در نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات مکانی، تعیین مرز آبخیز به روش رقومی خودکار امکان‌پذیر شده است، برای این منظور، در ابتدا خطاهای مدل ارتفاع رقومی برداشته می‌شود. پس از محاسبه جهت جریان آبراهه و جریان تجمعی آن، می‌توان مرز حوزه‌ها براساس یک نقطه خروجی تعیین نمود. نسبت تحویل رسوب براساس ارتفاع محلی، محیط حوزه و طول مسیر جریان آب تعیین می‌شود. در این تحقیق به‌منظور طراحی مدل حوزه‌بندی از داده مدل رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM استفاده شد که برای بررسی صحت کلی داده و انطباق آن با واقعیت زمینی ، مرز حوزه براساس نقشه گوگل-مپ ترسیم شد؛ یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد محاسبه خودکار مرزبندی حوزه‌های آبخیز و تعیین نسبت تحویل رسوب ازلحاظ آماری اختلاف معناداری با روش سنتی (دستی) ندارد. به‌طوری‌که مرز حوزه‌های آبخیز دقت کلی و ضریب کاپای محاسبه‌شده بین داده‌های واقعی (گوگل-مپ) با داده ASTER به ترتیب ۹۳ درصد و ۰/۹۲ و برای حوزه‌بندی مبتنی بر SRTM به ترتیب ۹۴/۳ درصد و ۰/۹۴ است و میزان همبستگی (r^2) نسبت تحویل رسوب بین داده گوگل-مپ با داده مبتنی بر SRTM ۰/۹۸ و با داده مبتنی بر SRTM ۰/۹۵ است.

واژه‌های کلیدی: مرزبندی، قطعه‌بندی، مدل رقومی ارتفاع، نسبت تحویل رسوب، رود اترک.

مقدمه

ترسیم مرز حوزه آبخیز به‌صورت دستی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی در مناطق مسطح بخصوص در هنگام عدم وجود عوارض برجسته برای تعیین خطوط منحنی تراز کاری مشکل و زمان‌براست. روش خودکار برای مرزبندی حوزه آبخیز با استفاده از نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM[۱]) به‌عنوان یک روش مناسب دارای مزایای زیادی است، علاوه بر اینکه، زمان‌بر نیست، بلکه مستقل از تصمیم‌گیری فردی است (۴). پیشرفت‌های اخیر در نمایش رقومی باعث رونق در توسعه استخراج خودکار اطلاعات هیدرولوژی و توپوگرافی براساس مدل ارتفاعی رقومی به‌عنوان ورودی در سامانه اطلاعات مکانی و مدل‌های هیدرولوژی شده است که این امر باعث کاهش زمان محاسبه نیز شده است. ابزارهای تعبیه‌شده در نرم‌افزارها از قبیل آرک‌هیدرو[۲] و افزونه هیدرولوژی[۳] در نرم‌افزار ArcGIS این امر را تسهیل نموده است. برای مدل ارتفاعی رقومی نیز انواع محصولات از قبیل SRTM-DEM[۴] و مدل ASTER-DEM (به ترتیب تفکیک مکانی ۹۰ و ۳۰ متر) مختلف وجود دارند. حتی استفاده از این ابزار برای افراد با مهارت کم در سامانه اطلاعات مکانی ممکن است (۸). این روش در سامانه‌های اطلاعات مکانی، به روش قطعه‌بندی[۵] تصویر صورت می‌گیرد. قطعه‌بندی تصویر مستلزم تقسیم یا تفکیک آن به قسمت‌های با خصوصیات مشابه است. این امر با استفاده از ارزش‌های پیکسلی، مؤلفه‌های رنگی (در تصاویر رنگی) و بافت بستر یک تصویر مثل مدل ارتفاعی رقومی میسر است. روش‌های مختلفی از قبیل حدآستانه دامنه روشنایی برای ارزش‌های پیکسلی یا مؤلفه‌های رنگی، خوشه‌بندی وجود دارند (۹) که عموماً براساس خصوصیات نقطه‌ای تعریف می‌گردند. البته با استفاده از خصوصیات فضایی هم می‌توان قطعه‌بندی را انجام داد که روش‌هایی از قبیل رویش ناحیه[۶]، روش انشعاب و ادغام[۷] و حوزه‌بندی[۸] برای این منظور ابداع‌شده است. اهمیت به‌کارگیری مفاهیم هیدرولوژی و توپوگرافی در توسعه روش‌های قطعه‌بندی به اثبات رسیده است. در این روش، ارتفاع سطح زمین (مدل رقومی ارتفاع) به‌عنوان یک تصویر (تک‌رنگ) در نظر گرفته می‌شود که در آن پیکسل‌های با دامنه ارزشی بالا متناظر با نقاط مرتفع بوده و پیکسل‌های با دامنه ارزشی کم نیز منطبق بر گودی است. اگر یک قطره آب در نقطه‌ای از این سطح ارتفاعی بیفتد، این قطره به‌طرف ارتفاع پایین‌تر حرکت می‌نماید تا به کمترین ارتفاع محلی برسد. تجمع آب در مجاورت کمترین ارتفاع محلی، حوزه آبخیز[۹] نامیده می‌شود (۲۰،۱۵). همه نقاطی که به حوزه آبخیز مشترک زهکش می‌شوند، قسمتی از یک حوزه آبخیز مشابه است. گودی یا دره نیز منطقه‌ای است که با یک خط‌الرأس (لبه-مرز) احاطه‌شده است. یک خط‌الرأس (لبه) مکان‌های هندسی بیشترین میزان شیب سطح ارتفاعی است. برای محاسبه حوزه‌بندی آبخیز[۹] در یک تصویر رستری روش‌های

1- Digital Elevation Model
2- Arc Hydro
3- Hydrology Tool
4- Shuttle Radar Topography Mission
5- Segmentation
6- Region Growing
7- Split and Merge
8- Watershed
9- Watershed Delineation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

بارش و سیل وجود دارد؛ در روش محاسبه حوزه آبخیز بر مبنای بارش، ابتدا ارزش‌های حداقل (کمینه‌های) محلی در تصویر پیدا می‌گردد. هر کمینه محلی با یک برچسب منحصربه‌فرد(شماره خاص) معلوم می‌گردد. کمینه‌های محلی مجاور هم با یک علامت مجزا ترکیب می‌شوند. سپس، یک قطره آب فرضی در هر پیکسل بدون برچسب منحصربه‌فرد(شماره خاص) قرار داده می‌شود. این قطره آب به‌سوی همسایه با ارزش پیکسلی کمتر حرکت می‌کند تا به پیکسل دارای برچسب برسد و در هر دفعه این برچسب مدنظر قرارگرفته و با تکرار این روند، محاسبات بعدی صورت می‌گیرد. در محاسبه حوزه آبخیز بر مبنای سیل‌گیری، مجراهای یک پیکسل فرضی تنها در کمینه‌های محلی، حفره ایجاد می‌شوند و سطح دامنه به سمت منبع آب بیشتر پائین می‌آید. با ورود آب به سوراخ‌های حفره‌ها، آب پیشروی می‌کند تا حوزه آبخیز[1] را پر نماید. اگر حوزه‌ای به حد لبریز برسد، یک سد فرضی بر خط‌الرأس احاطه‌کننده در ارتفاع برابر با نقطه خط‌الرأس با بیشترین ارتفاع ایجاد می‌گردد (۱۵). ارزش‌های پیوسته توزیعی ارتفاعی (Z) دارای قابلیت نمایش و تحلیل است. سطوح پیوسته اطلاعاتی در مورد تغییرات Z از مکانی به مکان دیگر، جهات این تغییرات و میزان این تغییرات بیان می‌نماید. براساس آن می‌توان میدان دید از یک نقطه یا توزیع عارضه‌ها را تعیین نمود. حتی با تعریف حوزه‌های آبخیز می‌توان برای مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی استفاده کرد. سه معیار ترتیب آبراهه‌ها، تحلیل حوزه آبخیز و تجمع آب به همدیگر مرتبط‌اند (۷). در این راستا می‌توان از انواع داده‌های مدل ارتفاعی رقومی استفاده نمود که هرکدام مزایا و معایب بخصوص در تعیین ویژگی‌های عوارض حوضه خاصی دارند، به‌طوری‌که رحمان و همکاران (۱۷) محدودیت مدل ارتفاعی رقومی SRTM با تفکیک مکانی ۹۰ متر در مقایسه با تصویر گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی موجود بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که تنها میزان شیب در تعیین شبکه رودخانه مهم است. به‌طوری‌که شبکه رودخانه در اراضی مسطح با شیب کم (نسبت ۱:۳۶۰۰ و کمتر) انحراف زیادی مشاهده‌شده است. ولی شبکه رودخانه در اراضی با شیب (نسبت ۱:۲۸۵۰ و بیشتر) به‌درستی تعیین شدند. لاکخارت (۱۱) با به‌کارگیری ماژول Watershed در نرم‌افزار گراس[2] در تهیه مرز حوزه آبخیز براساس داده‌های ارتفاعی رقومی ۷/۵ دقیقه (مستخرج شده از داده‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۴.۰۰۰ و تفکیک مکانی ۳۰ متر) و داده‌های ارتفاعی رقومی یک درجه (مستخرج شده از داده‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰.۰۰۰ و تفکیک مکانی ۹۰ متر) در یک منطقه ناهموار، به این نتیجه رسیده است که براساس این دو این داده می‌توان حوزه را ترسیم نمود؛ اما مرزهای حائل را نشان نمی‌دهد. داده با تفکیک مکانی یک‌درجه‌ای می‌تواند حوزه اصلی را به‌طور دقیق ترسیم نماید. ولی برای تعیین مرز حوزه کوچک مناسب نیست. داده با تفکیک مکانی ۷/۵ دقیقه قادر به ایجاد زیرحوزه‌های زیادتری است. او همچنین اذعان بر این دارد که روش خودکار در اراضی با ناهمواری زیاد می‌تواند به‌خوبی زیرحوزه‌ها را تعیین نماید ولیکن در مناطق نسبتاً هموار، نتایج آن رضایت‌بخش نیست. شناسایی دقیق مرز آبخیز گام اساسی و مهم در ارزیابی مدل هیدرولوژی است، برای تحلیل مکانی مناطق مسطح مثل مناطق دشت‌ها استفاده از داده‌های رقومی لیدار[3] مناسب‌تر از مدل ارتفاعی رقومی با تفکیک مکانی ۳۰ متری است؛ خصوصاً به تعیین دقیق زیرحوزه‌ها نیاز باشد (۱۳). هنگامی‌که تعداد زیرحوزه‌ها افزایش می‌یابد، توزیع مسیل‌ها باید به‌درستی و به‌طور واضح تعیین شود. اگر زیرحوزه‌ها خیلی ساده با تعداد کم مسیل ترسیم شود، احتمال خطا و عدم قطعیت در برآورد خصوصیات هیدرولوژیکی افزایش می‌یابد (۵). چون مرزبندی بین حوزه‌ها مبنای تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی است. پیشرفت‌های اخیر در ابزارهای تحلیل مکانی در محیط GIS، در دسترس بودن داده‌های متنوع سنجش‌ازدوری، تعیین منطقی مرزهای توپوگرافی را امکان‌پذیر ساخته است؛ بنابراین، رویکرد جامع تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و مدل‌سازی می‌تواند مسئله مرزبندی را تکمیل نماید. درواقع، تعیین حدود و مرزبندی حوزه‌های آبخیز در مطالعات هیدرولوژی مسئله‌ای برای تخمین مساحت نقشه پلانیمتری حوزه آبخیز است. گرچه مطالعات اندکی در مورد مرزبندی آبخیزها خصوصاً در مقیاس‌های کوچک انجام‌شده است، به‌عنوان‌مثال، می‌توان گزارش تحقیق جامع بیولوژیکی و کشاورزی آمریکا در زیرحوزه ایلامانگا[4] در شمال آمریکا اشاره نمود (۱۶).

در برخی مدل‌های هیدرولوژی و مدیریت حوزه آبخیز، خصوصیات حوزه آبخیز برای تعیین میزان فرسایش و انتقال رسوب در هر حوزه مهم است. با توجه به سهولت و امکان اندازه‌گیری مقدار رسوب در حوزه‌های آبخیز و از طرف دیگر مشکل بودن جمع‌آوری داده‌های مربوط به اندازه‌گیری فرسایش در آن‌ها در اختیار داشتن مدل مناسب تخمین یا پیش‌بینی SDR[5] می‌تواند ابزار مناسبی برای محاسبه مقدار فرسایش جهت اجرای برنامه‌های مبارزه با فرسایش و مهار آن در حوزه آبخیز باشد. در صورت در دسترس بودن SDR و مقدار رسوب که در اکثر حوزه‌های آبخیز مهم اندازه‌گیری می‌شود می‌توان فرسایش در سطح آبخیز را محاسبه و از این طریق اقدام به تدوین برنامه‌های مبارزه با فرسایش و کنترل رسوب نمود که خود نشان‌دهنده ضرورت و اهمیت در اختیار داشتن میزان نسبت تحویل رسوب در یک حوزه آبخیز است. تاکنون هیچ رابطه یا مدل مشخصی برای برآورد SDR که جنبه جامع و فراگیر داشته باشد ابداع و معرفی نگردیده است. لذا انتخاب مدل مناسب برای هر منطقه مستلزم ارزیابی دقت مدل‌های مختلف از طریق مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری آن‌ها با ضریب رسوب‌دهی واقعی در یک حوزه آبخیز است (۱۸). با توجه به اینکه روش‌های تجربی بسته به منطقه و شرایط آب و هوایی تغییرات زیادی دارند باید برای کل مناطق کالیبره شوند. افسری و قدوسی (۱) به ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوائی مختلف حوضه‌های آبخیز استان مرکزی پرداختند. در این تحقیق اقدام به بررسی ۱۳ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، جهت مقایسه با روش محاسبه آن در مدل EPM جهت ارتقاء دقت مدل در دو حوضه آبخیز خمین

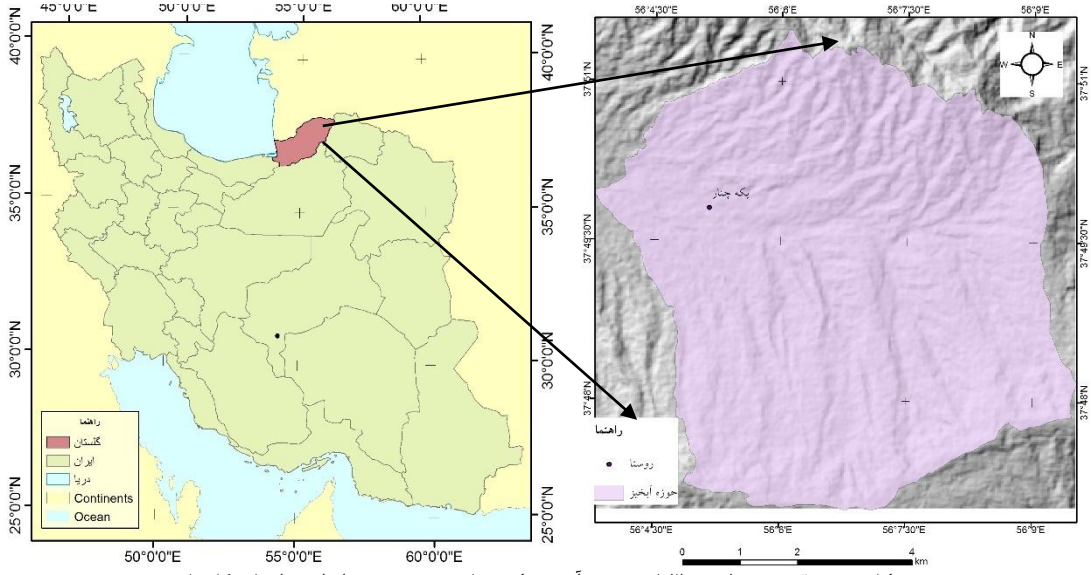
1- Catchment Basin
2- Geographic Resources Analysis Support System
3- Light Detection and Ranging -Lidar
4- Illamanga
5- Sediment Delivery Rate

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

و مزلقان واقع در استان مرکزی شده است، نتایج تحقیق نشان‌دهنده این است که روش مو و منگ (۱۹۷۷) و روش روئل (۱۹۷۷) به ترتیب با داشتن حداقل اختلاف نسبی در حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان، مناسب‌ترین روش‌ها هستند. بر این اساس توصیه می‌شود از روش محاسبه نسبت تحویل رسوب مو و منگ در حوضه‌های آبخیز خشک و از روش دوئل، در حوضه‌های آبخیز نیمه‌خشک ایران در صورت به‌کارگیری مدل EPM استفاده شود. اکثر روش‌های مور استفاده برای محاسبه SDR بر پایه مساحت حوزه است (۱، ۱۰، ۱۲، ۱۸ و ۲۱). با پیشرفت مدل‌های توزیعی روش‌های مبتنی بر شاخص اتصال[1] (۱۹) امکان‌پذیر شده است؛ به‌طوری‌که ماژول r.sdr در نرم‌افزار GRASS GIS براساس شاخص اتصال میزان نسبت تحویل رسوب را بر پایه هر پیکسل برآورد می‌گردد (۶). هدف از این تحقیق برآورد خودکار حوزه‌بندی است. به‌طوری‌که با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS بتوان زیرحوزه‌ها را در یک آبخیز با استفاده از داده رقومی ارتفاعی SRTM-DEM و ASTER-DEM تفکیک نمود و همچنین در ادامه براساس طول آبراهه و تغییرات محلی مدل ارتفاع رقومی، مقدار تحویل رسوب را برای هر حوزه برآورد نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز یکه‌چنار از زیرحوزه‌های رودخانه اترک در شرق شهرستان مراوه‌تپه، استان گلستان واقع شده است. ازلحاظ جغرافیایی محدوده مطالعاتی مابین طول جغرافیایی "۴۵ ' ۳ °۵۶ و "۳۶ '۹ °۵۶ شرقی و مابین عرض جغرافیایی"۲۸ '۵۱ °۳۷ و " ۵۵ '۴۶ °۳۷ شمالی قرار دارد (شکل ۱). بالاترین و پایین‌ترین نقطه ارتفاعی به ترتیب ۱۳۵۱ متر و ۴۲۵ متر بالاتر از سطح دریای آزاد است. این منطقه دارای سازند لسی است و توان رسوب‌زایی زیادی دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی حوزه آبخیز یکه چنار بر روی نقشه ایران و استان گلستان

Figure 1. Geographical location of Yeke-Chenar basin on the map of Iran and Golestan province

نقشه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل مدل رقومی ارتفاعی ASTER-DEM (http://gdex.cr.usgs.gov) و SRTM[2] DEM (earthexplorer.usgs.gov) با اندازه سلولی یک آرک-ثانیه حدود تفکیک مکانی ۳۰ متری است. همچنین، به علت مشکلات بازدید میدانی، برای ارزیابی از تصاویر گول‌ارث استفاده شد به‌عنوان معیار حقایق زمینی انتخاب شد. در ابتدا، در حالت تحلیل رستری، روش‌های تحلیل فضایی شامل پر کردن گودال‌ها، تعیین جهت جریان، یافتن جریان تجمعی و تعیین نقطه خروجی حوزه به‌صورت مدل‌سازی در محیط ArcGIS انجام گرفت.

در این تحقیق برای مرزبندی، از افزونه Hydrology تعبیه‌شده در ArcGIS استفاده‌شده است و خروجی نهایی هر یک این فرایندها به فرمت رستر است؛ بنابراین، با برداری نمودن این‌ها تبدیل به نقشه پلیگونی شد. افزونه Hydrology در سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcGIS شامل موارد زیر است (۲):

پر کردن گودال‌ها: اولین اقدام قبل از تحلیل مدل ارتفاعی، حذف و رفع خطاهای موجود در نقشه رستری مدل ارتفاعی رقومی DEM است. یکی از خطاها در مدل هیدرولوژی آبخیز، وجود چاله یا فرورفتگی و برآمدگی است که باید قبل از اجرای عملیات تحلیل ارتفاعی (مثل تهیه جهت جریان آب) انجام گیرد. منظور از چاله، تک‌سلول یا مجموعه‌ای از سلول‌ها که در آن‌ها امکان تعیین جریان آب در تحلیل مکانی وجود ندارد. به‌عبارت‌دیگر، اگر چاله یا حتی وجود برآمدگی در مدل ارتفاعی رقومی باشد، احتمال دارد مانعی بر جریان آب گردد؛ بنابراین، این نوع خطاها باید رفع گردد.

جهت جریان زهکشی: جهت حرکت جریان مایعات در سرازیری میزان فرسایش، سرعت جریان آب و تأثیر عمل نیروی تخریبی بر ساختارهای موجود در مسیر آن را تعیین

1- Connectivity Index

2- Shuttle Radar Topography Mission

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

می‌کند. وقتی آب در یک سرازیری به‌طرف پایین حرکت می‌نماید، علاوه بر افزایش سرعت و نیرو، سطوح را اشباع نموده و قسمتی از این سطوح را نیز برداشت می‌نماید. لازمه ترسیم حوزه آبخیز به‌عنوان یک خصوصیات منطقه‌ای مهم، اول تعیین جهت جریان زهکشی است: نقشه جهت جریان در آبراهه که در آن ارزش عددی هر پیکسل مسیر حرکت جریان را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر برای تعیین مسیر حرکت آب در یک حوزه باید جهت جریان در هر سلول مشخص گردد. برای این امر، شبکه سلولی از ارزش‌های ارتفاعی یعنی نقشه مدل ارتفاع رقومی موردنیاز است. هر سلول شبکه، با مقایسه ارزش ارتفاعی آن با ارزش ارتفاعی سلول‌های همسایه آن، ارزشیابی می‌شود. روش کدگذاری هشت کلاسی (SFD,D8)[1]، ساده‌ترین روش برای محاسبه جهت جریان نسبت دادن جریان از یک سلول شبکه (گرید) به یکی از هشت همسایه مجاور، در جهات اصلی یا قطری در جهت بیشترین سرازیری (شیب رو به پایین) است. این روش توسط مارک و اوکالاگاهان معرفی شدند. یکی از اشکال موجود در این روش به علت تبدیل جهت جریان (از حالت پیوسته بین صفر تا ۳۶۰ درجه) به یکی از هشت جهت (به حالت گسسته با فواصل ۴۵ درجه) است. این محدودیت باعث ابداع روش‌هایی از قبیل روش جهت تصادفی[2]، چندجریانی[3] و مجرای مسیل[4] شده است (۱۴).

جریان تجمعی[5]: ورودی آن جهت جریان زهکشی و خروجی آن نقشه رستری جریان تجمعی است که در کل میزان تراکم جریان آب را نشان می‌دهد. در این لایه ارزش عددی پیکسل‌ها با حرکت از منشأ آبراهه به سمت خروجی حوزه بیش‌تر خواهد شد. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تراکم جریان آب در نقطه خروجی که می‌تواند نقطه خروجی یا ایستگاه هیدرومتری یا محل احداث یک سازه باشد، خواهد بود. نتایج تابع جریان تجمعی می‌تواند برای ایجاد یک شبکه زهکشی با مشخص کردن یک حد آستانه برای انتخاب سلول‌هایی با تراکم جریان بیشتر می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

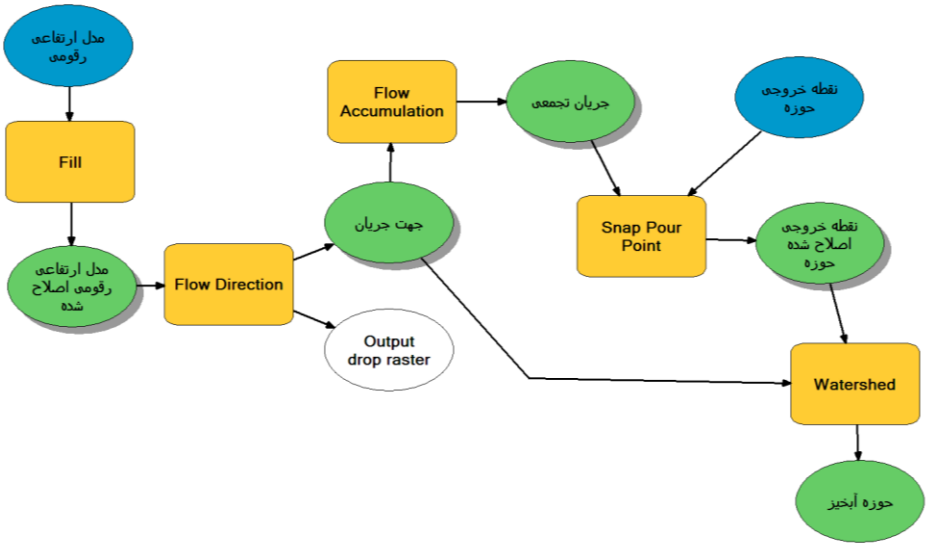
حوزه آبخیز: حوزه آبخیز پهنه‌ای است که تمام رواناب ناشی از بارش وارد بر آن را یک رودخانه یا آبراهه یا دریاچه یا یک منبع آبی دریافت می‌کند. نقطه خروجی جریان، نقطه‌ای که آب به بیرون از یک منطقه جریان می‌یابد (این نقطه می‌تواند بالادست یک شهر، بالادست یک سد و یا ایستگاه هیدرومتری باشد) که برای تعیین مرز حوزه لازم است مشخص شود.

طول مسیر آبراهه: با استفاده از این گزینه می‌توان نقشه طول مسیر جریان استخراج می‌شود. البته با ابزار شرط باید فقط برای مسیر آبراهه طول مسیر اصلی رودخانه اندازه‌گیری شود.

در این تحقیق، در ابتدا نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مطابق شکل ۲ به مدل وارد شده و سپس با ابزار اصلاح مدل رقومی ارتفاع، چاله‌ها و برآمدگی‌ها موجود در نقشه تصحیح شد. بعدازآن، به ترتیب ابزار محاسبه‌گر جریان آبراهه و جریان تجمعی آبراهه استفاده شد. با استفاده از ابزار اتصال نقطه خروجی آب به بالاترین مقدار جریان تجمعی، نقاط خروجی نیز اصلاح می‌گردد و درنهایت با ابزار حوزه آبخیز زیرحوزه‌های مختلف براساس تعداد نقاط خروجی به دست آمد که نتیجه آن در شکل ۲ نمایش داده است. عملیات اجرایی محاسبه‌ای به‌صورت جعبه نارنجی آورده شده است، درروی آن‌ها نیز عملگر محاسبه‌ای قیدشده است. اشکال بیضوی آبی و سبزرنگ به ترتیب لایه ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. مطابق مدل شکل ۲، برای منطقه موردمطالعه حدود ۱۶ زیرحوزه با مساحت کلی ۴۶۶۷ هکتار در حوزه آبخیز یکه‌چنار- مرواه تپه از زیرحوزه رود اترک ایجاد شد. این زیرحوزه‌ها با استفاده داده مدل رقومی ارتفاعی SRTM و ASTER و نقاط خروجی تعیین شد علاوه براین، در محیط نرم‌افزار QGIS با استفاده از افزونه QuickMapServices تصاویر گوگل مپ نمایش داده شد و به‌صورت دستی مرز دقیق حوزه آبخیز به‌صورت پلیگون رقومی شد تا به‌عنوان یک نقشه واقعیت مبنای مقایسه باشد تا میزان دقت کلی و ضریب کاپا مرزهای مدل‌سازی براساس آن برآورد شود وهمچنین، برای هرکدام از زیرحوزه‌ها خطای کاهشی و افزایشی برآورد گردد.

1- Single Flow Direction
2-Random Direction
3- Multiple flow Direction
4- Stream Tube
5- Flow Accumulation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]



شکل ۲- مدل حوزه آبخیز در محیط نرم‌افزار ArcGIS (۲)
Figure 2. Watershed model in ArcGIS and automated models (2)

برآورد نسبت تحویل رسوب

نسبت تحویل رسوب یا ضریب رسوب‌دهی نسبت مواد فرسایش یافته حمل شده به‌کل فرسایش حوزه آبخیز (یا نسبت رسوب به فرسایش) را نشان می‌دهد که با داشتن میزان رسوب زایی یا میزان فرسایش‌پذیری منطقه مقدار فرسایش را در واحد حوزه به دست آورد. انتقال مواد فرسایش و حمل رسوب به ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز (از قبیل شیب حوزه، تعداد و تراکم آبراهه‌ها) و پارامترهای خصوصیات هیدرولوژیک (نظیر ریزش‌های جوی، هرز آب‌ها، یا جریانات سطحی، حداکثر جریان و حجم کل آب) دارد. با در نظر گرفتن این نکته که میزان رسوب انتقال‌یافته در یک حوزه همیشه از میزان فرسایش کمتر است؛ برای تعیین میزان انتقال روش‌های تجربی متعددی وجود دارند (۱،۱۰،۱۲) که در مدل محاسبه تخمین فرسایش EPM از رابطه ۱ استفاده می‌گردد.

$$RU = \frac{\sqrt{P \times D}}{L+10}$$ رابطه (۱)

در رابطه فوق، RU، نسبت تحویل رسوب حوزه آبخیز را نشان می‌دهد. P محیط حوزه آبخیز به کیلومتر، L طول حوزه آبخیز به کیلومتر (طویل‌ترین طول یا طول آبراهه اصلی) و D مقدار اختلاف ارتفاع متوسط حوزه آبخیز و ارتفاع نقطه خروجی در رودخانه اصلی است.

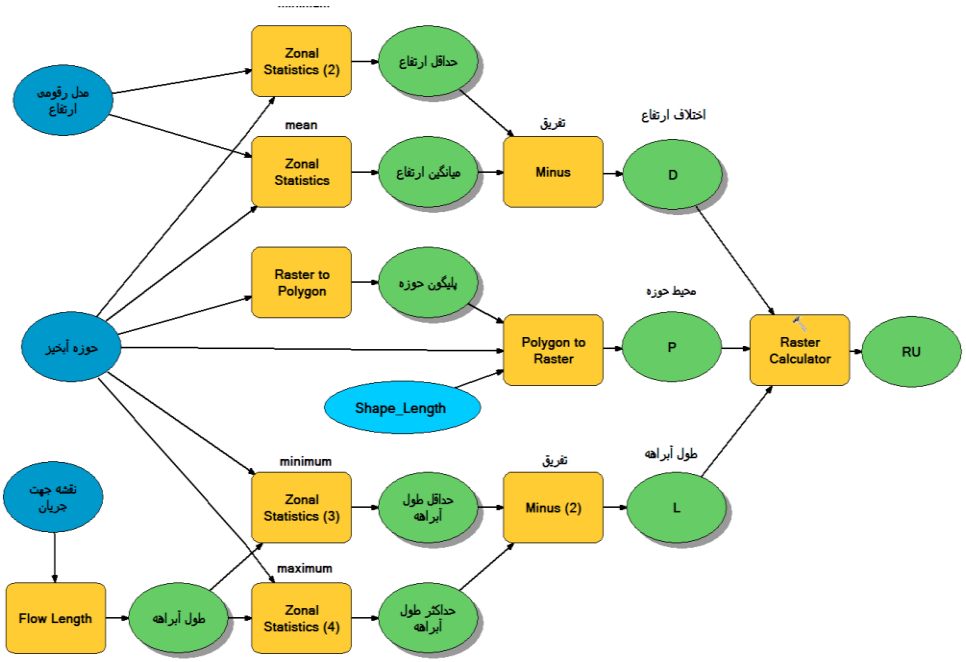
با توجه به اینکه میزان رسوب تولیدی در یک حوزه همیشه از میزان فرسایش کمتر است، لذا رابطه‌ها و روش‌های تجربی متعددی جهت برآورد میزان رسوب حوزه بکار گرفته می‌شود که هرکدام شرایط خاص خود را دارا است، لازم به توضیح است که کلیه فرمول‌های ضریب نسبت تحویل رسوب تجربی بوده، بنابراین، تنها براساس تجربیات و برآوردهای صورت گرفته، از هرکدام از این فرمول‌ها برای روش‌های خاصی استفاده می‌شود. ولی به‌طور مطلق نیست (۱۲).

برای محاسبه مقدار طول جریان در محیط ArcGIS از ابزار Flow Length وجود دارد. برای تحلیل مقدار ارزش‌ها در یک زون در محیط ArcGIS می‌توان از ابزار Zonal Statistics استفاده می‌شود که برای یافتن مقدار میانگین، حداقل و حداکثر هر لایه در یک زون بکار می‌رود. البته برای بررسی صحت نقشه حاصله نیز با رقومی نمودن مرزهای زیرحوزه در تصویر گوگل–ارث به‌طور دقیق مرز به‌صورت دستی ترسیم شد تا به عنوان واقعیت زمینی جهت آزمون صحت استفاده شود. برای محاسبه نسبت تحویل رسوب در محیط GIS می‌توان از ابزارهای محاسبه‌گری مثل برآورد آمار ناحیه‌ای[1] مطابق شکل ۳ استفاده کرد، به‌عنوان‌مثال این ابزار برای برآورد میانگین و حداقل ارتفاع محلی برای هر حوزه بکار برد.

برای محاسبه طول جریان[2] نیز از ابزار محاسبه‌گر مربوط به آن می‌توان استفاده می‌شود. حداکثر و حداقل طول آبراهه را در یک حوزه به دست آورد و اختلاف هرکدام آن‌ها را با ابزار محاسبه‌گر حساب نمود. برای محاسبه محیط حوزه لازم است نقشه رستری حوزه آبخیز، تبدیل به یک لایه برداری گردد و در جدول آن، ستونی ایجاد گردد که مقدار محیط را نشان دهد (شکل ۳، شکل بیضوی آبی روشن).

1- Zonal Statistics
2- Flow Length

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]



شکل ۳- نمودار جریانی مدل محاسبه نسبت تحویل رسوب در محیط ArcGIS (منبع نگارندگان).
Figure 3. Sediment delivery rate model in ArcGIS (source: the authors)

روش ارزیابی صحت مدل

ماتریس خطا شامل اطلاعاتی در مورد چگونگی دقت مدل‌سازی و میزان خطای آن براساس مقایسه یک واقعیت به‌عنوان حقایق زمینی[1] و پیش‌بینی (همان نقشه مدل‌سازی) است. راندمان یا کارایی همچو سامانه‌ای معمولاً با داده‌های این دو نقشه کیفی در یک ماتریس ارزیابی می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در ماتریس خطا داده‌های مدل با داده‌های طبقه‌بندی‌شده مقایسه می‌گردد. در آن قطر اصلی ماتریس یا محل تقاطع دو کلاس مشابه، تعداد پیکسل‌های طبقه‌بندی درست را نشان می‌دهد؛ مجموع آن‌ها به‌کل، صحت کلی را بیان می‌کند. عناصر غیر از قطر اصلی، خطاها را نمایش می‌دهد؛ برای بررسی چگونگی توزیع دقت بین کلاس‌ها لازم است از خطای کاهشی[2] و خطای افزایشی[3] استفاده گردد. خطای کاهشی درواقع نسبت نمونه‌هایی که به‌طور صحیح در کلاس قرار نگرفته‌اند به‌کل نمونه‌های برداشت‌شده است (درواقع، از کلاس صحیح حذف شدند)، به‌عبارت‌دیگر، عناصر ردیفی غیر از قطر اصلی؛ که پیکسل‌های حقایق زمینی در طی مدل‌سازی از بین رفته‌اند که به خطای کاهشی و یا از بین رفته[4] معروف است. دقتی که بر این اساس به دست می‌آید، دقت تهیه‌کننده[5] نامیده می‌شود. زیرا برحسب نظر تهیه‌کننده این نمونه به کلاس اطلاعاتی صحیح نسبت داده می‌شود، ولی مدل رایانه‌ای آن را در کلاس دیگری قرار داده است. جهت ارزیابی چگونگی توزیع خطا، خطای افزایشی یکی دیگر از معیارهاست که درواقع، خطای حاصله از افزوده شدن پیکسل غیرواقع در کلاس مزبور را برآورد می‌کند. دقت کاربر (متمم خطای افزایشی) نسبت تعداد پیکسل‌های مدل‌سازی شده درست یک کلاس بر کل پیکسل‌های همان کلاس در نقشه مدل است (۳). علاوه بر این، آماره کاپا توافق کلی و انطباق دو نقشه اسمی (کیفی) را نشان می‌دهد و اطمینان می‌دهد دقت حاصله به‌طور تصادفی حاصل نشده است.

$$K = \frac{P(A)-P(E)}{1-P(E)}$$ رابطه (۲)

در آن P(A) میزان نسبی مشاهده‌ای بین دو نقشه کیفی را نشان می‌دهند، P(E) نیز احتمال فرضی شانس را نشان می‌دهد.

$$P(A) = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{c} p_{ii}$$ رابطه (۳)

$$P(E) = \frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{c} p_{iT}\, p_{Tj}$$ رابطه (۴)

در رابطه فوق pij سلول موجود در سطر i و ستون j است و pii نیز سلول موجود در سطر و ستون i است. p_{iT} جمع تمامی سلول‌ها در ردیف i و p_{Tj} جمع تمامی سلول‌ها در ستون j است. c تعداد کلاس در نقشه رستری است. n تعداد نمونه‌ها است. ارزش ضریب بیش از ۰/۸۵ باشد، انطباق داده‌ها زیاد است. ضریب همبستگی برای تعیین میزان رابطه خطی بین دو متغیر کمی بکار می‌رود که دامنه آن بین ۱- تا ۱، به ترتیب رابطه منفی و رابطه مثبت است:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2(y-\bar{y})^2}}$$ رابطه (۵)

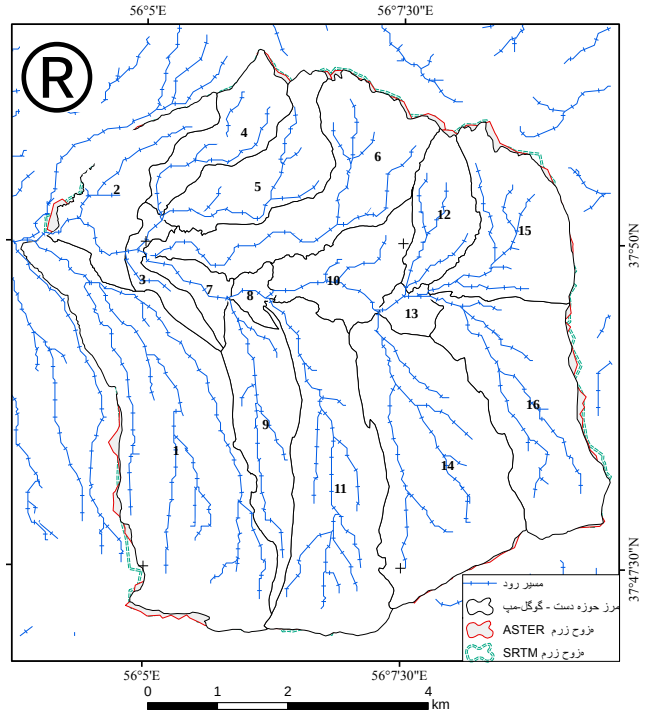
در آن، r میزان همبستگی (پیرسون)، x و y به ترتیب متغیر عددی اول و دوم و $\bar{x}$ و $\bar{y}$ مقادیر میانگین متغیر عددی اول و دوم است.در معادلات خطی اکثراً از r2 جهت نمایش میزان معناداری رابطه خطی استفاده می‌گردد.

1- Ground truth
2- Omission
3- Commission
4- Exclusion
5- Producer's accuracy

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

بحث و نتایج

زیرحوزه‌های حوزه آبخیز یکه‌چنار–اترک با مدل انواع مدل حوزه‌بندی مطابق روش پیشنهادی در شکل ۴ به نمایش گذاشته‌شده است. برای بررسی صحت مرزبندی آن‌ها روش دستی (گوگل–مپ) به‌عنوان نقشه حقیقی فرض شد و براساس آن سایر مدل‌ها سنجیده شد. میزان دقت کلی و ضریب کاپا برای حوزه‌بندی مدل مبتنی بر داده مدل ارتفاعی ASTER-DEMبه ترتیب ۹۳ درصد و ۰/۹۲ و برای حوزه‌بندی مدل مبتنی بر داده SRTM-DEM به ترتیب ۹۴/۳ درصد و ۰/۹۴ به‌دست‌آمده است که در جدول ۱ نیز مقادیر دقت خطای کاهشی و افزایشی را نمایش داده شده است. شایان‌ذکر است که باوجود عدم معناداری اختلاف آماری دقت انواع مدل حوزه‌بندی، مدل حوزه‌بندی مبتنی بر ASTER-DEM علاوه بر کمتر بودن میزان دقت ازلحاظ تفکیک صحت زیرحوزه‌ها دچار اشتباه شده است، زیرحوزه ۴ در بالادست زیرحوزه ۲ برآورد کرده است که این امر به خاطر اشتباه در برآورد مسیر مسیل‌ها صورت گرفته است. به‌طوری‌که بدون تعیین نقطه خروجی برای حوزه فوق، دقت کلی آن خیلی کمتر خواهد بود. مطابق مقادیر خطای کاهشی و افزایشی برای مدل حوزه‌بندی بر مبنای داده رقومی در جدول ۱، بیشترین خطای کاهشی برای حوزه‌بندی مبتنی بر ASTER-DEM حوزه شماره ۳ و ۸ بوده است. همچنین بیشترین خطای کاهشی برای حوزه‌بندی مبتنی بر ASTER-DEM حوزه شماره ۱۳ است. به خاطر این‌که این حوزه‌ها به‌طور کامل مستقل نیستند. نتایج این تحقیق در مقایسه با مطالعات انجام‌گرفته در حوزه‌بندی توسط رحمان و همکاران (۱۷) همخوانی دارد؛ به‌طوری‌که در مناطق با شیب زیاد مدل خودکار به‌راحتی می‌تواند مرز بین حوزه را تهیه نماید. در مناطق با شیب کمتر نیز خطا دیده می‌شود. روش انتخاب‌شده در این پروژه، ارزیابی روش مرزبندی یک حوزه آبخیز بر مبنای مدل رقومی ارتفاعی است. نتیجه به‌دست‌آمده برای صحت مرزبندی آبخیز به کیفیت مدل‌های رقومی ارتفاعی بستگی دارد. احمدی و همکاران (۲) در حوزه آبخیز نکارود مازندران نشان دادند که ASTER DEM مناسب‌ترین روش برای تعیین حدود مرزبندی محدوده آبخیز در مکان‌هایی با شیب‌های تند و ناهموار است. به‌طوری‌که بر طبق مشاهدات گوگل ارث، مشخص کردن محدوده آبخیز مبتنی بر داده‌های ASTER-DEM خطاهای کمتری را در مقایسه با روش سنتی نشان داده است.



شکل ۴– مرز حوزه آبخیز یکه چنار– اترک در محیط نرم‌افزار به‌صورت روش دستی (گوگل–ارث) و مدل خودکار

Figure 4. The boundary of Yekechenar Watershed by manual method (based on Google Earth) and automated modeling

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

جدول ۱- مقادیر خطای کاهشی و افزایشی به درصد برای مدل حوزه‌بندی بر مبنای داده رقومی ارتفاعی ASTER و SRTM
Table 1. The omission and commission errors for watershed delineation modeling based on ASTER-DEM and SRTM-DEM

شماره حوزه	مدل ASTER-DEM		مدل SRTM-DEM	
	خطای افزایشی	خطای کاهشی	خطای افزایشی	خطای کاهشی
۱	۸/۹	۰/۳	۳/۱	۳/۶
۲	۵/۶	۱۹/۵	۲/۰	۵/۱
۳	۲۹/۲	۵۱/۶	۵/۵	۲۳/۶
۴	۴/۴	۱۶/۶	۳/۲	۲/۲
۵	۹/۹	۶/۲	۱/۳	۴/۶
۶	۲/۶	۵/۷	۲/۵	¼
۷	۲۲/۱	۱۰/۹	۱۱/۱	۶/۰
۸	۱۹/۱	۲۳/۹	۱۹/۴	۱/۹
۹	۴/۷	۱۹/۹	۶/۹	۸/۰
۱۰	۶/۹	۵/۷	۱۴/۹	۳/۴
۱۱	۳/۴	۳/۴	½	۶/۹
۱۲	۵/۶	۱۰/۷	۳/۰	۳/۸
۱۳	۷/۰	۲۳/۱	۱۹/۶	۵۹/۲
۱۴	۲/۵	۳/۷	۲/۳	۵/۰
۱۵	۱/۶	۳/۴	۵/۶	۴/۲
۱۶	۳/۴	۲/۵	۵/۰	۵/۵

در این تحقیق نیز اختلاف معناداری بین دو روش مشاهده نشده است؛ با وجود این، مرزبندی بر مبنای داده‌های ASTER-DEM درروش تشخیص رقومی خودکار مسیل احتمال خطا دارد. همچو خطای در تشخیص مسیل‌ها توسط مرزی خودکار با استفاده از داده‌های SRTM-DEM مشاهده نشد. به‌طوری‌که دقت و ضریب کاپا برای این روش بیش از مدل مبتنی بر داده‌های ASTER-DEM است. نتیجه به‌دست‌آمده از این تحقیق مرزبندی حوزه آبخیز را با مقایسه هرکدام ارزیابی کرده و ثابت کرد که داده‌های ارتفاعی رقومی SRTM-DEM داده مناسبی برای مرزبندی است؛ بنابراین، روش خودکار تشخیص مرزبندی با دارا بودن داده رقومی دقیق، علاوه بر این‌که خطای انسانی کاهش می‌دهد، حتی افراد مبتدی در مطالعات آبخیزداری می‌توانند به‌راحتی این روش برای تعیین مرز حوزه آبخیز بکار ببرند.

جدول ۲- ارزش‌های محیط حوزه P، طول مسیر آبراه اصلی L و اختلاف ارتفاع محلی متوسط حوزه از نقطه خروجی D برحسب کیلومتر برای زیرحوزه‌های یکه چنار-رود اترک
Table 2. The values of watershed perimeter P, the flow length of mainstream L and the difference between the mean elevation of watershed and outlet D in kilometers for sub-watersheds of Yekehchenar, the Atrak River

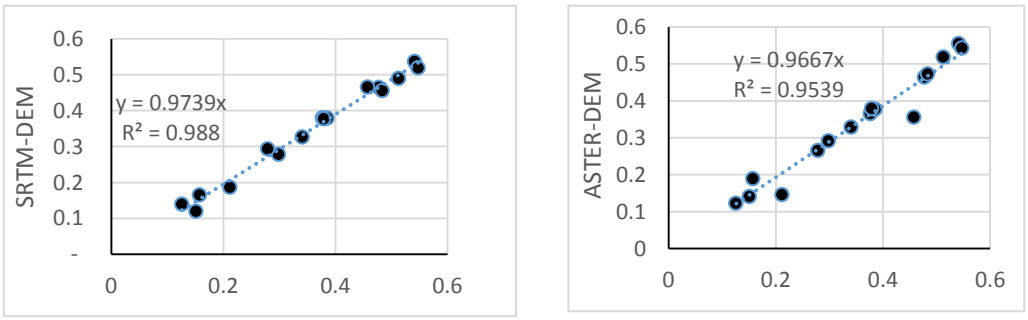
شماره حوزه	مدل حوزه بندی مبتنی برASTER-DEM				مدل حوزه بندی مبتنی برSRTM-DEM				مدل حوزه بندی دستی- گوگل-مپ			
	RU	D	P	L	RU	D	P	L	RU	D	P	L
۱	۰/۵۶	۰/۳۶	۱۶/۷	۷/۵	۰/۵۴	۰/۳۶	۱۵/۷	۷/۵	۰/۴۶	۰/۳۵	۱۱/۹	۷/۸
۲	۰/۲۹	۰/۱۰	۸/۹	۳/۰	۰/۲۸	۰/۱۰	۸/۶	۳/۰	۰/۳۶	۰/۱۰	۱۳/۵	۲/۸
۳	۰/۱۵	۰/۰۳	۴/۷	۰/۸	۰/۱۹	۰/۰۴	۵/۸	۰/۸	۰/۲۵	۰/۰۵	۹/۰	۱/۰
۴	۰/۳۷	۰/۱۹	۶/۴	۲/۲	۰/۳۸	۰/۲۰	۷/۱	۲/۳	۰/۳۸	۰/۱۹	۷/۲	۲/۳
۵	۰/۳۸	۰/۱۹	۸/۴	۳/۴	۰/۳۸	۰/۲۰	۸/۱	۳/۴	۰/۳۹	۰/۲۰	۸/۵	۳/۴
۶	۰/۴۶	۰/۲۶	۱۲/۴	۵/۳	۰/۴۶	۰/۲۶	۱۲/۵	۵/۶	۰/۴۰	۰/۲۶	۹/۴	۵/۶
۷	۰/۱۹	۰/۰۵	۳/۷	۱/۴	۰/۱۷	۰/۰۵	۵/۰	۱/۶	۰/۱۳	۰/۰۵	۳/۰	۱/۴
۸	۰/۱۲	۰/۰۴	۳/۰	۰/۷	۰/۱۴	۰/۰۴	۳/۵	۰/۷۸	۰/۱۸	۰/۰۴	۶/۷	۰/۸
۹	۰/۳۶	۰/۱۷	۷/۷	۳/۰	۰/۴۷	۰/۲۲	۱۰/۵۴	۳/۰	۰/۴۶	۰/۲۱	۱۱/۰	۳/۱
۱۰	۰/۲۷	۰/۰۹	۷/۰	۲/۱	۰/۲۹	۰/۱۰	۸/۳	۲/۱	۰/۱۸	۰/۰۹	۳/۲	۲/۰
۱۱	۰/۵۴	۰/۳۳	۱۳/۴	۵/۴	۰/۵۲	۰/۳۲	۱۲/۳	۵/۳	۰/۵۵	۰/۳۳	۱۳/۴	۵/۴
۱۲	۰/۳۳	۰/۱۷	۵/۸	۲/۰	۰/۳۳	۰/۱	۵/۷	۲/۰	۰/۳۴	۰/۱۸	۶/۰	۲/۱
۱۳	۰/۱۴	۰/۰۵	۲/۷	۰/۷	۰/۱۲	۰/۰۴	۲/۸	۰/۹	۰/۱۸	۰/۰۶	۴/۵	۰/۹
۱۴	۰/۵۲	۰/۲۸	۱۲/۱	۴/۱	۰/۴۹	۰/۲۷	۱۰/۹	۴/۱	۰/۶۰	۰/۲۸	۱۶/۶	۴/۲
۱۵	۰/۳۰	۰/۱۸	۸/۸	۳/۱	۰/۳۸	۰/۱۷	۸/۸	۳/۰	۰/۳۵	۰/۱۷	۷/۷	۳/۱
۱۶	۰/۴۷	۰/۲۶	۱۱/۱	۴/۳	۰/۴۶	۰/۲۶	۱۰/۳	۴/۳	۰/۴۸	۰/۲۷	۱۱/۰	۴/۲

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

همچنین، نتایج محاسبه مدل نسبت تحویل رسوب براساس محیط حوزه P، طول مسیر آبراه اصلی L و اختلاف ارتفاع متوسط D برحسب کیلومتر در جدول ۲ براساس منبع داده رقومی ارتفاعی ASTER-DEM، SRTM-DEM و روش دستی (گوگل–مپ) نمایش داده شده است. براساس آن‌ها میزان نسبت تحویل رسوب محاسبه می‌گردد.

با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع متوسط و طول مسیر آبراهه اصلی تفاوت چندانی در تمامی روش‌های حوزه‌بندی وجود ندارد، اختلاف میزان نسبت تحویل رسوب به علت اختلاف در محیط حوزه‌های آبخیز است که تشخیص لبه و خط‌الرأس در هر یک از حوزه‌های آبخیز توسط مدل انتخابی باعث تفاوت در محیط حوزه می‌گردد. حداقل و حداکثر مقادیر متوسط برای نسبت تحویل رسوب براساس مدل فوق‌الذکر یعنی برای مدل مبتنی بر داده ASTER-DEM به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۵۵، مدل مبتنی بر داده SRTM-DEM به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۵۳ و میزان آن روش دستی در گوگل– مپ به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۶ به‌دست‌آمده است.

میزان نسبت تحویل رسوب نیز در روش داده‌های ارتفاعی رقومی SRTM-DEM بهتر از مدل مبتنی بر داده‌های ASTER-DEM بوده است. همچنین، نتایج حاصله برای نسبت رسوب تحویل نیز با محاسبات مبتنی بر گوگل ارث تفاوت معناداری از لحاظ آماری نشان نمی‌دهد، به‌طوری‌که ضریب تبیین آن ۰/۹۸ است (شکل ۵). این نتایج، این مطلب را می‌رساند که تحقیقات آینده می‌تواند به‌طور مستقیم از داده‌های ASTER و SRTM برای هر سیستم هیدرولوژی، کاربری اراضی و مطالعات ارتفاعی زمین استفاده کند. با وجود این، مقادیر حاصله بیش از شاخص اتصال در تحقیق دی‌روزا و همکاران (۶) در حوزه آبخیز فیوکریک[1]– ایتالیا بوده است که مقادیر حاصله نسبت تحویل رسوب براساس پیکسل ۰/۰۵ تا ۰/۵ بوده است که این مربوط به خصوصیات ژئومولوژیکی حوضه بستگی دارد.



شکل ۵– انطباق میزان نسبت تحویل رسوب مدل خودکار (محور عمودی) با نسبت تحویل رسوب مدل دستی با استفاده از گوگل ارث (محور افقی): خط نقطه‌چین، خط رگرسیون بین آن‌ها را نشان می‌دهد.

Figure 5. The correspondence of sediment delivery rate acquired using the automatic model (vertical axis) with manual model based on Google Earth (horizontal axis): the dotted line shows the regression line between them.

شایان‌ذکر است که نتایج حاصل از این تحقیق در تطبیق با اظهارات افسری و غلامی (۱) و نصری و نجفی (۱۲)، بر لزوم ارزیابی مدل‌های نسبت تحویل رسوب از دیدگاه مختلف در آبخیزهای کشور تأکید می‌گردد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌گردد برای محاسبه دقیق‌تر نسبت تحویل رسوب مدل‌های مکانمند و مدل توزیعی (۶) بکار برده شود.

بدیهی است که از نتایج حاصل از این مدل می‌توان در مدیریت منابع طبیعی با اجرای برنامه‌های ارزیابی اراضی در حوزه‌های آبخیز با در نظر گرفتن شرایط محلی بهره‌برداری کرد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود با توجه به تنوع و اختلاف روش‌های مختلف ترسیم مرز آبخیز در نرم‌افزارهای مختلف ارزیابی شود.

1- Feo Creek

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

منابع

1. Afsari, R. and J. Ghodousi. 2011. The Assessment of various methods of sediment delivery rate (SDR) in different climatic conditions (case study: watersheds of Markazi Province, Iran). Natural Geography, 4(12): 107-18 (In Persian).
2. Ahmadi, H., A. Das, M. Pourtaheri, C.B. Komaki and H. Khairy. 2014. Redefining the watershed line and stream networks via digital resources and topographic map using GIS and remote sensing (case study: the Neka River Watershed). Natural Hazards, 72(2): 711-722.
3. Alavipanah, S. K. and C.B. Komaki. 2007. The study of spectral separability information classes of lut desert using satellite data. Geography Researches, 38(3): 13-28 (In Persian).
4. Bera, A.K., V. Singh, N. Bankar, S. S. Salunkhe and J.R. Sharma. 2013. Watershed delineation in Flat Terrain of Thar Desert Region in North West India – a semi-automated approach using DEM. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 41(1): 187-199.
5. Chang, C.L. 2009. The impact of watershed delineation on hydrology and water quality simulation. Environmental Monitoring and Assessment, 148(1-4): 159-65.
6. De Rosa, P., C. Cencetti and A. Fredduzzi. 2016. A GRASS Tool for the Sediment Delivery Ratio Mapping. PeerJ Preprints 4, https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2227v2.
7. DeMers, Michael N. 2009. GIS for Dummies. Hoboken, NJ: Wiley. 348 pp.
8. Gopinath, G., T.V. Swetha and M.K. Ashitha. 2014. Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with survey of India Toposheet. Arabian Journal of Geosciences, 7(7): 2625-2632.
9. Haralick, R.M. and G.L. Kelly. 1969. Pattern recognition with measurement space and spatial clustering for multiple images. Proceedings of the IEEE, 57(4): 654-65.
10. Khosravi, K., A. Safari. M. Habibnejad Roshan and N. Mahmoudi. 2012. Evaluation of soil erosion and sediment yield estimation various empirical model by observation values (Case Study: Babolroud Watershed, Mazandaran Province). Environmental Erosion Researches, 1(4): 33-53 (In Persian).
11. Lockhart, J.J. 1991. A comparison of manual and automated methods for delimiting watersheds for use with GRASS/GIS software. DTIC Document. USACERL Technical Report N-91/34. 1-31pp. US US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratory.
12. Nasri, M. and A. Najafi. 2015. Determining of mathematical relationships sediment delivery rate and watershed factors. Natural Ecosystems of Iran, 6(2): 1-12 (In Persian).
13. O'Banion, R., I. Alameddine, A. Gronewold and K. Reckhow. 2008. PyLIDEM: A Python-Based Tool to Delineate Coastal Watersheds Using LIDAR Data. AGU Fall Meeting Abstracts 1 (December): San Francisco, CA.
14. O'Callaghan, J.F. and D.M. Mark. 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 28(3): 323-344.
15. Pratt, W.K. 2007. Digital Image Processing PIKS Scientific Inside. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley. 812 pp. Wiley-Interscience. Hoboken, N.J.
16. Pryde, J.K., J. Osorio, M.L. Wolfe, C. Heatwole, B. Benham and A. Cardenas. 2016. Comparison of watershed boundaries derived from SRTM and ASTER digital elevation datasets and from a digitized topographic map. 1-10 pp. An ASABE Meeting Presentation, Minnesota, USA.
17. Rahman, M.M., D.S. Arya and N.K. Goel. 2010. Limitation of 90 m SRTM DEM in drainage network delineation using D8 Method—a case study in Flat Terrain of Bangladesh. Applied Geomatics, 2(2): 49-58.
18. Rostami, N. 2009. Selection of Best Model of SDR estimation in Illam dam. M.Sc. Thesis, Keraj: Tehran University (In Persian).
19. Vigiak, O., L. Borselli, L.T.H. Newham, J. McInnes and A.M. Roberts. 2012. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. Geomorphology, 138(1): 74-88.
20. Wang, Yu-Hsiang. 2010. Tutorial: Image Segmentation. National Taiwan University, Taipei, 1-36.
21. Zhou, W. and W.U. Bingfang. 2008. Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: A case study of Upstream Chaobaihe River Catchment, North China. International Journal of Sediment Research, 23(2): 167-73.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]

Comparison of Automatic Extraction of Sediment Delivery of Watershed and Traditional Method in Geographic Information System (Case Study: Yekechenar Watershed –Golestan Province)

Chooghi Bairam Komaki[1], Hassan Ahmadi[2], Maryam Mombini[3], Sajjad Ahmad Yousefi[4] and Naser Mostafavi[5]

1- Assistant Professor, Department of Arid Regions Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, (Corresponding Author: bkomaki@gmail.com)
2- Assistant Professor, Humanities Faculty, Tarbiat Modares University
3- PhD Student of Desertification Combat, Department of Arid Regions Management Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
4- PhD Student of Water and Soil Protection, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
5- PhD Student of Management and Control of Desert, Department of Natural Resources, Tehran University
Received: April 25, 2017 Accepted**:** June 12, 2017

Abstract

Determining the sediment delivery rate and watershed delineation is among the first stage in environmental research, especially in water erosion estimation. The determining the accurate boundary of watershed is important for the hydrological and morphologic characteristics of watersheds. The study aims to present an automatic extraction model of watershed delineation and calculate sediment delivery rate. The traditional method of determining the watershed delineation, and subsequently, calculating sediment delivery rate is performed manually that using a topographic map, the boundary of the watershed is determined and main flow length is calculated. However, nowadays due to the advancement of digital analytical spatial-based methods in GIS software, automatic delineation of watershed is feasible. For this purpose, the errors of digital elevation model are removed. After calculating the flow direction, and flow accumulation, watershed boundaries can be determined having pourpoints. Then, sediment delivery rate is calculated by local height of watershed, its perimeter, and flow length. In this research, the digital elevation models of ASTER-DEM and SRTM-DEM are utilized to design watershed delineation model and to evaluate the overall accuracy and the correspondence of them, so the border of watershed is delineated using Google map, which is used as a ground truth. The findings of this study show the automatic extraction of watershed boundary and calculation of sediment delivery rate do not have significant differences with traditional mothed. So that, the overall accuracy and Kappa index of the watershed boundary based on ASTER-DEM are 93 percent and 0.92, respectively, and their values for the watershed boundary based on SRTM-DEM are 94.3 percent and 0.94, respectively. The correlation coefficient (r^2) of calculated sediment delivery rate based on SRTM-DEM is 0.98 and its value based on ASTER-DEM is 0.95.

Keywords: Watershed Delineation, Digital Elevation Model, Sediment Delivery Rate, Atrak River

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.15.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.260]