

تعیین ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌ی آبخیز، با استفاده از شبیه‌رقومی ارتفاعی حاصل از سنجنده‌ی ASTER (مطالعه‌ی موردی: دشت کبودراهنگ، استان همدان)

مجید رحیم‌زادگان^{۱*}، محمدحسین مریخ‌پور^۲

چکیده

یکی از منابع اطلاعاتی مورد نیاز در تعیین ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌های آبخیز داده‌های ارتفاعی است. شبیه‌رقومی ارتفاع^۳ (DEM) یکی از محصولات تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی تشعشع سنج پیشرفته‌ی فضا برد تابش گرمایی و بازتابی^۴ (ASTER) است. هدف این تحقیق، تعیین ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌ی آبخیز با استفاده از DEM حاصل از سنجنده‌ی ASTER است. بدین منظور دشت کبودراهنگ به عنوان محدوده‌ی مطالعاتی انتخاب شده که بخشی از حوضه‌ی رود قره‌چای بوده و با وسعت 3448 km^2 در شمال استان همدان قرار دارد. برای ارزیابی خروجیها، از نتایج ارائه شده به وسیله‌ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان که از DEM سنجنده‌ی SRTM^۵، تصاویر هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور و پردازش‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی^۶ (GIS) استخراج شده، استفاده گردید. برای دستیابی به هدف تحقیق، با استفاده از DEM سنجنده‌ی ASTER، ابتدا شبکه‌ی آبراهه‌ها شامل جهت جریان و جهت جریان جمعی تعیین شده، سپس استخراج حوضه‌ی آبخیز و تبه‌بندی رودخانه‌ها صورت گرفته و در نهایت ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌ی آبخیز استخراج گردیدند. نتایج نشان دادند که مساحت حوضه $3410/43$ کیلومتر مربع با $1/09$ درصد خطا، محیط حوضه $406/34$ کیلومتر با $5/82$ درصد خطا و طول حوضه $112/82$ کیلومتر با $8/28$ درصد خطا محاسبه شدند. همچنین، ضریب شکل در روشهای هورتون، گراولیوس، میلر و شیوم به ترتیب $0/267$ ، $1/94$ ، $0/259$ و $0/584$ محاسبه شدند و زمان تمرکز حوضه در روشهای کرپیچ، کربای-هاتاوی، برانسی-ویلیامز، کارتر و ونتورا به ترتیب $13/33$ ، $4/86$ ، $6/91$ و $46/53$ و $148/57$ ساعت حاصل شدند.

واژه‌های کلیدی: حوضه‌ی آبخیز، ویژگیهای گیتاشناسی، کبودراهنگ، شبیه‌رقومی ارتفاع، ASTER

^۱ - استادیار گروه مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران [Email: rahimzadegan@kntu.ac.ir](mailto:rahimzadegan@kntu.ac.ir)

^۲ - دانشجوی دکتری رشته مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

^۳ digital elevation model

^۴ advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer

^۵ shuttle radar topography mission

^۶ geographic information system

مقدمه

تقسیم آب^۲، در هیچ نقطه‌ای به جز نقطه ی خروجی، رودخانه یا آبراهه را قطع نمی‌کند (صفوی، ۱۳۹۰). روشهای متعددی برای استخراج ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌ها وجود دارد، اما انجام این محاسبات با روشها و ابزارهای متداول رایانه‌ای همواره از وقت‌گیرترین و پرهزینه‌ترین بخشهای مطالعات محسوب می‌گردد. پیشرفت در ابزار و روشهای فضایی-زمانی^۳ و GIS، روشهای نوینی را در این زمینه ارائه نموده است (مارتین و همکاران، ۲۰۰۵). از این رو سامانه ی اطلاعات جغرافیایی، با توجه به این که دسترسی به اطلاعات را سریعتر و آسانتر می‌کند، می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای استخراج این اطلاعات، و با دقت مناسب، به کار گرفته شود. ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ تا ۹۰ متر، یکی از پنج ابزار سنجش از دور نصب شده بر روی ماهواره تِرا^۴ است که در سال ۱۹۹۹ به وسیله ی سازمان ملی هوانوردی و فضایی^۵ (NASA) آمریکا در مدار زمین قرار گرفت. این سنجنده از فوریه ۲۰۰۰ به گردآوری داده‌های سطحی از زمین مشغول است (هارولد و ولج، ۱۹۹۹). ASTER یکی از اجزاء سامانه ی دیده‌بانی زمین^۶ می‌باشد که محصول مشترک ۴ سازمان NASA، وزارت اقتصاد ژاپن، سازمان تجارت و صنعت و سازمان تحلیل داده‌های سنجش از دور ژاپن است، و تصاویر رایگان شبیه رقومی ارتفاع حاصل از این سنجنده، بالاترین قدرت تفکیک مکانی را در مقایسه با دیگر تصاویر دارند (USGS^۷، ۲۰۱۲). شبیه رقومی ارتفاع (DEM)، ابزاری مناسب و در دسترس است که به وسیله ی آن می‌توان فراسنجهای پستی و بلندی را با دقت و سرعت بالا استخراج کرده و در کاربردهای مختلف آبتاشناسی از آنها بهره برد (رابرت و همکاران، ۲۰۰۳). تولید و استفاده از نرم افزار رقومی ارتفاع، در شبیه‌سازی

حوضه ی آبخیز^۱ یک واژه آبتاشناسی است که شامل مساحتی از منطقه ی بالا دست نقطه ی خروجی است که آب باران و برف به این نقطه تخلیه می‌گردد (براس، ۱۹۹۰). حوضه ی آبخیز می‌تواند در مقیاس کوچک بر روی شاخه‌های یک رودخانه ی اصلی که به آن زیرحوضه گفته می‌شود تعریف، و یا در مقیاس بزرگ بر اساس نقطه تخلیه ی رود به منابع آبی بزرگ، به عنوان حوضه ی آبخیز اصلی تعریف گردد (چاو، ۱۹۸۸). تعیین مرز حوضه و زیرحوضه‌ها و به دنبال آن استخراج ویژگیهای گیتاشناسی آنها، هسته ی مرکزی بسیاری از فعالیتهای مدیریتی در راستای کاربری اراضی، نوع خاک، زمین‌شناسی، جریان رود، سیلاب و ... می‌باشد (گوپتا، ۱۹۸۹). ویژگیهای گیتاشناسی یک حوضه ی آبخیز به مجموعه‌ای از فراسنجهای اطلاق می‌گردد که مقادیر آنها برای حوضه‌ی مورد نظر نسبتاً ثابت بوده و نمایانگر وضعیت و ویژگیهای کلی حوضه می‌باشد (لینسلی و همکاران، ۱۹۸۹). بسیاری از طرحهای آبتاشناسی در حوضه‌های آبخیز بر مبنای کاربرد این ویژگیها استوار می‌باشد. ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز نه تنها بطور مستقیم بر مشخصات آبتاشناسی حوضه نظیر برآورد سالانه، حجم سیلابها، شدت فرسایش خاک و رسوب تولیدی اثر می‌گذارند، بلکه بطور غیرمستقیم بر آب و هوا، وضعیت بوم شناسی و پوشش گیاهی حوضه نیز اثر دارند (سازمان جنگلها و مراتع آبخیزداری کشور، ۱۳۷۸). برای تعیین مرز حوضه ی آبخیز نسبت به نقطه ی خروج آب از آن، بایستی مرتفعترین نقاط منطقه را به یکدیگر متصل کرده تا به نقطه ی خروجی رسید؛ بدین مفهوم که آب باریده در خط‌الراسها، به سوی نقاط گود حرکت کرده و بخشی از آن که مربوط به حوضه ی مورد نظر است به سمت نقطه ی خروجی حوضه جریان یافته و از آن نقطه خارج می‌گردد و بخش دیگر به داخل حوضه ی مجاور حرکت می‌کند. بطور کلی مرز حوضه ی آبخیز یا اصطلاحاً خط

² water divides

³ spatial-temporal

⁴ Terra

⁵ National Aeronautics and Space Administration

⁶ Earth Observing System

⁷ United States Geological Survey

¹ drainage basin

آشناسی برای تعیین فراسنجهایی از قبیل شیب، جهت جریان و شبکه ی زهکشی به طور گسترده‌ای انجام می‌گیرد (لوودویگ و شنیدیر، ۲۰۰۶). شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی ASTER، رایجترین محصول در این زمینه است که با استفاده از تصاویر برجسته‌بینی^۱ فضایی تولید می‌شود (سفرچیک، ۲۰۱۲). سنجنده ی ASTER دارای قابلیت برجسته-بینی با پوشش طولی است که از نوار مادون قرمز نزدیک^۲ برای این منظور استفاده می‌کند. دید تلسکوپهای واپسگر^۳ این سنجنده ی مزبور، این امکان را فراهم می‌آورد که تصاویر پوشش‌دار استخراج شده، و با به کار بردن روش تصحیح برجسته‌بینی، شبیه رقومی ارتفاع حاصل می‌شود (موکرجی و همکاران، ۲۰۱۳).

پیشینه ی تحقیق

سینر، در سال ۲۰۱۱، با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع به دست آمده از سنجنده ی ASTER در سال ۲۰۰۷، و همچنین بهره وری از GIS، ویژگیهای گیتاشناسی و مساحت زیر حوضه‌های حوضه ی آبخیز توپکو^۴ واقع در کشور ترکیه را، به مساحت ۱۱۹ کیلومتر مربع محاسبه نمود، که در آن مطالعه مساحت کوچکترین زیرحوضه ۴/۷ کیلومتر مربع به دست آمد. الیزابت و همکاران، در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روشهای آماری به بررسی تغییرات ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی ماساچوست بر اثر فعالیتهای انسان و اثر آن بر تغییر جریان تولید شده در حوضه، با گذشت زمان پرداختند. روهیداس و سریناواس، در سال ۲۰۱۵، با بررسی تاثیر شبیه‌های رقومی ارتفاع تهیه شده از دو سنجنده ی ASTER و SRTM در برآورد نسبت هورتون-استراهلر بر اساس آب نگار واحد لحظه‌ای زمین و ریخت شناسی در مورد ۲ حوضه ی آبخیز در هندوستان، به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از شبیه رقومی ارتفاع تهیه شده از سنجنده ی SRTM نسبت به

ASTER مقادیر دقیقتری را ارائه می‌دهند. آنورنو و همکاران، در سال ۲۰۱۲ با مقایسه شبیه‌های رقومی ارتفاع تهیه شده از دو سنجنده ی ASTER و SRTM در بررسی ویژگیهای حوضه ی آبخیز رود دِنسو در غنا به این نتیجه رسیدند که شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی SRTM در برآورد مساحت حوضه دقت بالاتری را دارد، و شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی ASTER در برآورد طول بلندترین آبراهه، که فراسنجی مهم در پیش‌بینی سیلاب است، از دقت بسیار بالایی برخوردار می باشد. دهقان در سال ۱۳۹۲ در تعیین ویژگیهای حوضه ی آبخیز کشف‌رود در استان خراسان رضوی با استفاده از GIS، در محاسبه ی مساحت، محیط، شیب و تراکم زهکشی حوضه به ترتیب به 15650 km^2 ، 920 km ، $4/7\%$ و $0/98 \text{ km}^{-1}$ رسید. خانی‌تملیه در سال ۱۳۹۱ در استخراج ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز دریاچه ی ارومیه با استفاده از GIS به این نتیجه رسید که بهترین زمان تمرکز برای زیرحوضه بر اساس سرعت آب، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا می باشد که برپایه ی ردیف C نفوذپذیری خاک به دست آمده است. شیخ در سال ۱۳۹۱ در استخراج ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز تالار استان مازندران با استفاده از ابزارهای Arc Hydro و Hec-Geo HMS، که از افزونه‌های نرم‌افزار Arc GIS می باشند، به این نتیجه رسید که HEC-Geo HMS از دقت و سرعت بالاتری در تعیین مسیر آبراهه ها، مرز زیرحوضه‌ها و ویژگیهای گیتاشناسی برخوردار است. ژانگ و مونتگری در سال ۱۹۹۴ با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع با ابعاد سلول مختلف ۲، ۴، ۶، ۱۰، ۳۰ و ۹۰ متر به شبیه‌سازی آشناسی در حوضه‌های آبخیز مِتمان و تِنسی^۵ در شمال غربی کالیفرنیا، آمریکا پرداخته و به این نتیجه رسیدند که مناسبترین اندازه ی سلول، که کمترین خطا را دارد، ۱۰ متر است. لین و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از شبیه رقومی

¹ stereoscopic

² near infraRed

³ backward looking telescope

⁴ Topcu

⁵ Mettman and Tennessee

هدف از این مطالعه، تعیین ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی کبود راهنگ استان همدان با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی ASTER و GIS با طرح این سؤال است که اعتبار این نتایج در چه حد بوده، و آیا می‌توان از این نتایج در مطالعات مربوط به این حوضه ی آبخیز استفاده کرد؟ با مقایسه ی نتایج این تحقیق با مقادیر به دست آمده به وسیله ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان، که با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی SRTM، تصاویر هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور و GIS به دست آمده است، در صورت همخوانی مناسب، می‌توان تصویری مناسب از سامانه ی آبی و آبشناسی این حوضه به دست آورد، و بر اساس آن، مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب را در حوضه ی آبخیز مزبور انجام داد.

مواد و روشها

کلیه پیاده‌سازی‌های مربوط به این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.2 و با بهره‌گیری از DEM منطقه (حاصل از سنجنده ی ASTER) انجام شده است. بدین منظور، ابتدا شبکه ی آبراهه‌ها شامل جهت جریان و جهت جریان تجمعی تعیین شده؛ و سپس با استفاده از آن حوضه ی آبخیز استخراج شده و رتبه‌بندی رودخانه‌ها صورت گرفت. در نهایت، ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز شامل مساحت، محیط، طول حوضه، ضریب شکل حوضه، ضریب دو شاخگی، تراکم آبراهه‌ها و زمان تمرکز با کاربرد روشهای مختلف استخراج، و برای ارزیابی نتایج به دست آمده، مقادیر مساحت، محیط، طول حوضه و همچنین آبراهه‌های به دست آمده با نتایج دفتر مطالعاتی آب منطقه‌ای استان همدان مقایسه شد. جزئیات مربوط به پیاده‌سازی این روش در ادامه تشریح خواهد گردید.

ویژگیهای عمومی و جغرافیایی محدوده ی مطالعاتی

دشت کبود راهنگ یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه ی رود قره‌چای است که با وسعت ۳۴۴۸

ارتفاع و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی GIS، در چند حوضه ی کوهستانی در ژاپن تعدادی نیمرخهای طولی و عرضی را استخراج کردند. سفرچیک در سال ۲۰۱۲ دقت عملکرد شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی ASTER را در تخمین پستی و بلندی سه منطقه ی بارسلونا در کشور اسپانیا، استانبول و زونگولداغ^۱ در ترکیه را بررسی کرد و دقت در ۲ منطقه ی شهری بارسلونا و استانبول، که شیب میانگین آنها کم بود (۰/۲ درصد) حدوداً ۴ متر محاسبه نمود، و در منطقه ی زونگولداغ، که شیب میانگین آن زیاد بود (۳۵ درصد) حدوداً ۸ متر به دست آورد و به این نتیجه رسید که تندی شیب در یک منطقه، از مهمترین عوامل در دقت عملکرد شبیه رقومی ارتفاع است. رکنی دیلمی و همکاران در سال ۱۳۸۶ به بررسی دقت شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی ASTER در منطقه ی شهری فسا در استان فارس پرداختند؛ دقت در این پژوهش $\pm 26/4$ متر بود. حسین‌زاده و همکاران در سال ۱۳۸۹ در تحلیل‌های ریخت سنجی رودخانه در حوضه ی آبخیز رباط قره بیل در استان خراسان شمالی، با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع و GIS، به این نتیجه رسیدند که نتایج مربوط به ریخت سنجی آبراهه‌ها در تحلیل‌های رستری برای کل حوضه ی آبخیز، تشابه نسبتاً مناسبی با نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای دارند، اما نتایج به دست آمده از تحلیل‌های برداری با خطاهای بزرگی همراه بود. اشرفی و همکاران در سال ۱۳۹۳ در مقایسه ی روشهای مختلف تهیه ی شبیه رقومی ارتفاع در حوضه ی آبخیز نوفرست شهرستان بیرجند در استان خراسان جنوبی، که برای ۲۴۰ نقطه انتخابی در ۱۰ محدوده انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی SRTM با مقدار $RMSE^2$ ۱۴/۲ متر دقت مناسبتری را نسبت به شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده ی ASTER با مقدار $RMSE$ ۱۵/۸ متر دارد.

¹ Zonguldak

² root mean square error

دهد. بیشترین تراز ارتفاعی منطقه طبق شبیه رقومی ارتفاع تهیه شده، ۲۷۹۸ متر و کمترین آن ۱۴۵۴ متر می‌باشد.

مرحله ی ۲: تعیین شبکه آبراهه‌ها^۲

در این مرحله از روش 8-D در تعیین جهت جریان استفاده شده است. در روش مذکور ابتدا شبیه رقومی ارتفاع به دست آمده در مرحله ی قبل تصحیح شده و چاله‌های احتمالی موجود^۳ در آن حذف می‌گردد (لین و همکاران، ۲۰۰۶). سپس تابع جهت جریان، جهت حرکت آب را برای هر سلول پیدا کرده و به هر کدام یک عدد نسبت داده می‌شود که نشان دهنده ی جهت جریان است. سپس جریان تجمعی برای هر سلول محاسبه شده و تعداد سلولهای بالادست هر سلول، که آب را به آن منتقل می‌کنند، به دست می‌آید. در پایان، در لایه ی جهت جریان تجمعی، شمار سلولهای زهکشی شده به هر کدام مشخص می‌گردد، و می‌توان سلولهایی را که دارای تجمع زیاد جریان بیش از یک حد آستانه می‌باشند به عنوان شبکه ی آبراهه (خط القعر)، و سلولهایی را که فاقد سلول زهکشی شده به آن باشد به عنوان خط الراس در نظر گرفت. در این تحقیق بر پایه ی پژوهش سبیرت و مکگلین در سال ۲۰۰۷، عدد ۵۰۰۰ سلول به عنوان حد آستانه در نظر گرفته شده است.

مرحله ی ۳: استخراج حوضه^۴

در این مرحله یک نقطه ی خروجی^۵ مشخص می‌شود؛ سپس با استفاده از آن و نتیجه ی بخش جهت جریان، حوضه‌ای که در بالادست نقطه ی خروجی قرار

کیلومتر مربع در شمال استان همدان واقع شده است. این دشت از شمال با دشت زنجان، از جنوب با دشت بهار، از شرق با دشتهای رزن و فامنین، و از غرب با محدوده ی مطالعاتی گل‌تپه در ارتباط می‌باشد. وسعت آبخوان اصلی دشت، ۱۱۸۶ کیلومتر مربع است. این محدوده دارای آب و هوای نیمه‌خشک تا خشک و سرد می‌باشد. منشأ عمده ی ریزشهای جوی این منطقه مدیترانه‌ای بوده، و اصلی رطوبت هوا و بارندگی به وسیله ی جبهه‌های غربی تأمین می‌گردند. میانگین بارندگی دشت کبود راهنگ بر اساس آمار درازمدت (۳۶ ساله) ایستگاه پایگاه نوژه ۳۳۲/۷ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت دشت کبود راهنگ همدان، و شکل ۲ موقعیت رودخانه‌های محدوده ی مطالعاتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۲ مشخص است، جهت جریان آبهای سطحی در این حوضه ی آبخیز بطور کلی به سمت شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی می‌باشد که از ارتفاعات شمالی، شمال غربی و غرب منطقه سرچشمه می‌گیرند.

استخراج مشخصات گیتاشناسی حوضه ی کبود راهنگ

برای استخراج مشخصات گیتاشناسی دشت کبود راهنگ، روشی چهار مرحله‌ای پیاده‌سازی گردید که در ادامه در مورد آن بحث خواهد شد.

مرحله ی ۱: استخراج تصویر شبیه رقومی ارتفاع (DEM)

در این مقاله از شبیه رقومی ارتفاع به دست آمده از سنجنده ی ASTER با قدرت تفکیک مکانی افقی و عمودی ۳۰ متر مربوط به سال ۲۰۰۸ استفاده شده است. ابتدا DEM مربوط به محدوده ی مورد نظر از نشانی

http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search_h.jsp تهیه و به سامانه ی تصویر^۱ UTM در منطقه

ی ۳۹ برده شده است. شکل ۳ نمایی از شبیه رقومی ارتفاع این منطقه را با درجات مختلف رنگی نشان می‌-

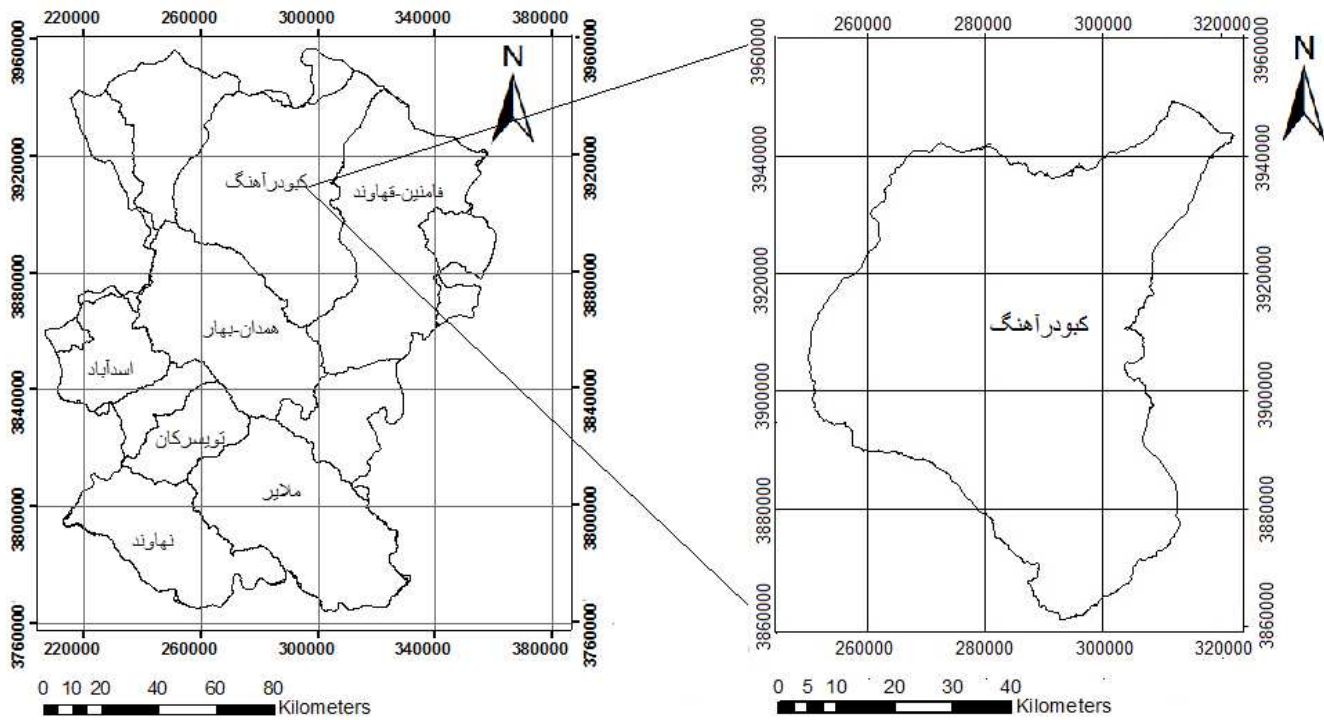
^۲ stream net determination

^۳ available probable hollows

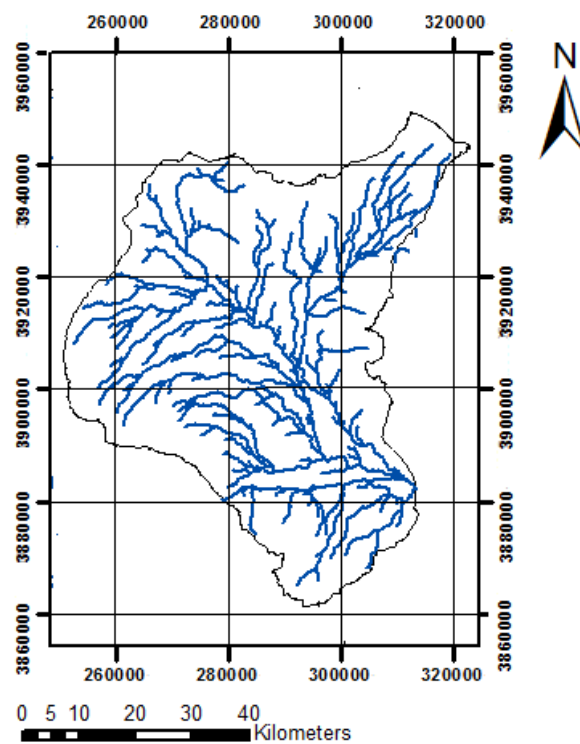
^۴ deriving drainage basin

^۵ outlet point

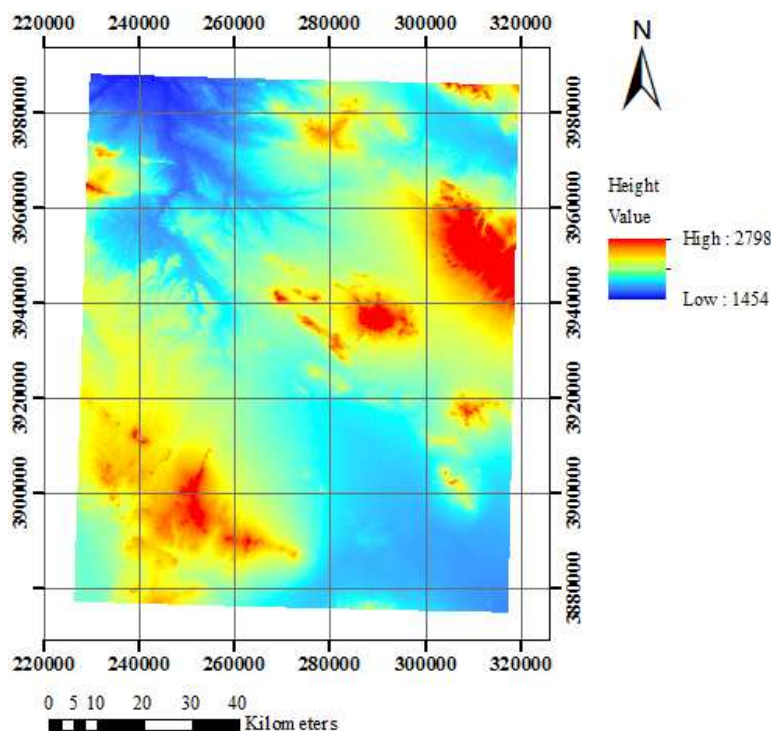
^۱ Universal Transverse Mercator



شکل ۱- موقعیت محدوده ی مورد مطالعه در تقسیم بندی دشتهای استان همدان؛ پایگاه اطلاعات آب منطقهای استان همدان، ۱۳۹۱.



شکل ۲- موقعیت رودخانه‌های محدوده ی مطالعاتی، پایگاه اطلاعات آب منطقهای استان همدان، ۱۳۹۱.



شکل ۳- نمایی از شبیه رقومی ارتفاع منطقه‌ی مورد مطالعه، DEM به‌دست آمده از سنجنده‌ی ASTER.

شکل آبخیز^۲

شکلی که از تصویر یک حوضه‌ی آبخیز بر روی صفحه‌ی افقی فرضی حاصل می‌گردد، شکل آبخیز نامیده می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۹). شکل آبریز به علت تأثیر در ویژگیهای آبشناسی آن، مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بدین ترتیب که شکل آبخیز با تأثیر بر زمان تمرکز، هدایت جریانهای سطحی به وسیله‌ی شاخه‌های فرعی به آبراهه و یا رودخانه اصلی در شکل آب نگار و شدت بده‌ی آن مؤثر است. ضریب شکل آبخیز سالهاست که به عنوان فراسنجی به منظور توصیف خواص آبشناسی حوضه‌ی آبخیز به کار می‌رود (باردوسی و فریدجوف، ۲۰۰۲). به منظور بررسی و ارزیابی این عامل فیزیکی در مطالعات گیتاشناسی یک آبخیز، روشهای زیادی وجود دارند که در ادامه متداولترین آنها ارائه می‌شود.

روش هورتون (۱۹۳۲): در این روش، ضریب شکل به

می‌گیرد مشخص گردیده و زیرحوضه‌ی مربوط به هر قطعه (link) به دست می‌آید.

مرحله‌ی ۴: رتبه‌بندی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها^۱

شبکه‌ی رودخانه‌ها در سطح حوضه‌ی آبخیز، عمل تخلیه‌ی رواناب را بر عهده دارد. هرچه شبکه رودخانه‌های یک حوضه تکامل یافته‌تر باشد، تخلیه‌ی رواناب از آن حوضه بهتر و ساده‌تر انجام می‌شود. سنجش درجه‌ی تکامل حوضه‌ی آبخیز و شبکه‌ی رودخانه‌های آن با معیارهایی نظیر تراکم، رتبه یا رده، و نسبت انشعابات، صورت می‌گیرد. برای اطلاع از نحوه‌ی ارتباط انشعابات مختلف، از رده‌بندی رودخانه بهره‌وری می‌گردد. در این تحقیق از روش استراهلر به منظور رتبه‌بندی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها استفاده شده است (استراهلر، ۱۹۵۷). به منظور رتبه‌بندی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها استفاده شده است.

² drainage shape

¹ stream order determination

$$R_c = \frac{4PA}{P^2} = \frac{12.56A}{P^2} \quad (5)$$

که در آن P محیط حوضه ی آبخیز بر حسب کیلومتر است. بر اساس این رابطه، هر اندازه R_c به عدد یک نزدیک باشد، شکل آبخیز مورد مطالعه به دایره نزدیکتر خواهد بود.

روش شیوم (۱۹۵۶): در این روش شکل آبخیز از طریق نسبت طولی مورد ارزیابی قرار گرفته است:

$$R_c = \frac{D_c}{L} \quad (6)$$

که در آن R_c نسبت طولی، D_c قطر دایره هم‌سطح با حوضه ی آبخیز بر حسب کیلومتر، و L طول آبخیز بر حسب کیلومتر است. در این رابطه هرچه R_c به عدد یک نزدیک شود، شکل آبخیز مورد نظر به دایره نزدیکتر خواهد بود.

ضریب دوشاخگی^۱

پس از تعیین آبراهه‌ها، تعداد آبراهه‌ها در هر یک از ترتیبها مشخص گردیده و برای تعیین وضعیت انشعابات آبراهه‌های یک آبخیز، مقایسه ی دو آبخیز و چگونگی شبکه ی آبراهه‌ها از ضریب دو شاخگی استفاده می‌شود که هورتون (۱۹۳۲) آن را ارائه کرده است. این ضریب عبارت است از نسبت تعداد آبراهه در یک درجه ی مشخص به تعداد آن در درجه ی بزرگتر بعدی که به شرح زیر بیان می‌شود:

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (7)$$

که در آن i درجه ی آبراهه، R_b ضریب دو شاخگی برای هر شاخه نسبت به شاخه ی بعدی، N_i شمار آبراهه در درجه ی i ، و N_{i+1} تعداد آبراهه در درجه ی $i+1$ است. در رابطه ی هورتون، برای محاسبه ضریب دوشاخگی برای کل شاخه‌ها، از رابطه ی زیر استفاده می‌گردد:

$$(8)$$

$$BR = \left(\prod_{i=1}^{i=n} \frac{n_i}{n_{i+1}} \right) \left(\frac{1}{n-1} \right)$$

شرح زیر توصیف شده است: (۱)

$$R = \frac{A}{L^2}$$

که در آن R ضریب شکل حوضه ی آبخیز، A مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع، و L طول آبخیز بر حسب کیلومتر می‌باشد.

روش گراولیوس (۱۹۱۴): گراولیوس شکل آبخیز را با ضریب فشردگی مورد ارزیابی قرار داده است:

$$C_c = \frac{P}{P_c} \quad (2)$$

در این رابطه C_c ضریب فشردگی یا ضریب گراولیوس، P محیط حوضه ی آبخیز بر حسب کیلومتر و P_c محیط دایره‌ای که مساحت آن برابر با مساحت حوضه ی آبخیز است.

با توجه به این‌که فراسنج P_c در رابطه ی فوق، محیط دایره ی هم‌سطح با حوضه ی آبخیز است، می‌توان آن را به شکل زیر هم نوشت.

$$C_c = \frac{P}{2pR} = \frac{P}{2\sqrt{pA}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

که در آن A مساحت حوضه ی آبخیز بر حسب کیلومتر مربع، و R شعاع دایره ی هم‌سطح با حوضه ی آبخیز بر حسب کیلومتر است. با توجه به رابطه ی فوق، مقدار ضریب گراولیوس بستگی به شکل آبخیز دارد؛ بدین صورت که هرچه این ضریب به ۱ نزدیک شود، شکل آبخیز مورد مطالعه به دایره نزدیکتر خواهد بود.

روش میلر (۱۹۵۳): در این روش شکل آبخیز از طریق رابطه ی زیر محاسبه می‌شود:

$$R_c = \frac{A}{A_c} \quad (4)$$

در رابطه ی (۴) R_c نسبت گردی، A مساحت حوضه ی آبخیز بر حسب کیلومتر مربع، و A_c مساحت دایره‌ای است که پیرامون آن برابر با محیط حوضه ی آبخیز است.

از آن جا که فراسنج A_c مساحت دایره ی هم‌محیط با حوضه ی آبخیز است، رابطه ی (۴) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

¹ bifurcation ratio

تراکم آبراهه^۱

نسبت طول کلیه‌ی آبراهه‌ها در یک حوضه‌ی آبخیز به مساحت آن تراکم آبراهه نامیده می‌شود؛ بنابراین، ملاحظه می‌شود که تراکم آبراهه در یک حوضه‌ی آبخیز با مجموع طول کلیه‌ی آبراهه‌های فرعی و اصلی آن نسبت مستقیم، و با مساحت آن نسبت عکس دارد. بر اساس تعریف تراکم آبراهه، می‌توان مقدار آن را در یک حوضه‌ی آبخیز از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$D = \frac{L}{A} \quad (۹)$$

که در آن D تراکم آبراهه بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع (km^{-1})، L مجموع طول آبراهه‌های مربوط به کلیه‌ی ترتیب آبراهه‌ها بر حسب کیلومتر و A مساحت حوضه‌ی آبخیز بر حسب کیلومتر مربع است.

نیمرخ طولی رودخانه‌ها^۲

نیمرخ طولی رودخانه‌ها در واقع نمایش طولی یک رودخانه با ارتفاع است. با رسم نیمرخ طولی آن می‌توان ارتفاع، و به همراه آن شیب رودخانه‌ها را در هر نقطه از مسیر مشخص کرد.

زمان تمرکز^۳

بسیاری از سازه‌های آبی بر اساس بده‌های سیلابی طراحی می‌گردند. در مقدار بده‌ی سیلابی خروجی از حوضه‌های آبخیز، مشخصات حوضه، و نیز مؤلفه‌های هواشناسی، موثرند (صفوی، ۱۳۹۰). از جمله مشخصات حوضه‌های آبخیز موثر در بده‌های سیلابی، زمان تمرکز می‌باشد. زمان تمرکز به عنوان فاصله‌ی زمانی است که یک قطره آب از دورترین فاصله‌ی آبی حوضه به نقطه خروجی حوضه یا نقطه‌ی طراحی برسد (چاو و همکاران، ۱۹۸۸). بر اساس این تعریف، روشهای تجربی مختلفی بر حسب مشخصات حوضه‌های آبخیز به دست آمده‌اند که در جدول ۲ پنج روش ارائه شده‌اند. که مهم‌ترین آنها عامل شیب حوضه است که در هر

پنج روش تاثیرگذار می‌باشد. طول حوضه در چهار روش، و مساحت حوضه در دو روش مورد نیاز است. L طول آبراهه اصلی، S شیب متوسطه آبراهه‌ی اصلی، n ضریب زبری مانینگ^۴، D قطر دایره هم‌سطح حوضه‌ی آبخیز و A مساحت حوضه‌ی آبخیز می‌باشد.

گویتوم (۱۹۸۹) در یکی از حوضه‌های آبخیز آریزونا به بررسی زمان تمرکز پرداخت و نشان داد که رابطه‌ی کرپیچ می‌تواند برای حوضه‌ی مذکور مناسب باشد. پیلگریم (۱۹۸۹) با بررسی ۹۶ حوضه در منطقه‌ی جنوبی استرالیا معادله‌ای را برای زمان تمرکز منطقه توصیه کرد که فقط تابع مساحت حوضه بود. شریدان (۱۹۹۴) روابط‌های موجود را برای برآورد زمانهای تمرکز، تاخیر و اوج در حوضه‌های مسطح مورد بررسی قرار داد. وی در مطالعه‌ای که برای ۹ حوضه در جنوب ایالات متحده‌ی آمریکا انجام شد رابطه‌ی کرپیچ را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که رابطه‌ی مزبور، زمان تمرکز را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. لذا از طریق وایازی چندگانه، روابطی را برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌ها پیشنهاد کرد. مککوتن و همکاران (۱۹۸۴) با ارزیابی هفت رابطه‌ی تجربی جهت برآورد زمان تمرکز برای پنج حوضه به این نتیجه رسیدند که روش اندازه‌گیری زمان تمرکز از طریق محاسبه‌ی سرعت متوسط جریان در آبراهه، که به وسیله‌ی سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شده است، کمترین خطا را دارد.

روشهای تجربی که بر اساس مشخصات حوضه‌ی آبخیز توسعه یافته‌اند می‌توانند به دلیل تقریب در فراسنجه‌ها و ثابت نبودن آنها در بده‌های سیلابی مختلف، و یا تغییر این فراسنجه‌ها با زمان، دارای تفاوت در تخمین زمان تمرکز واقعی حوضه باشند؛ بنابراین در مجموع، روش واحدی جهت تعیین زمان تمرکز وجود نداشته و با توجه به شرایط حوضه‌ی آبخیز، و با فرضیاتی که در هر روش تجربی ارائه شده است، بایستی روش مناسب انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد.

¹ drainage density

² river longitudinal profile

³ time of concentration

⁴ Manning coefficient

تجزیه و تحلیل نتایج

که بر اساس روش شمارش است نشان می‌دهد. همان-طور که در این جدول مشاهده می‌شود، ۶ مرتبه آبراهه با تعداد کلی ۵۷۷۷۱ عدد محاسبه شده است، که ۵۴ درصد از آنها، آبراهه‌های مرتبه ۱ می‌باشند. در بررسی ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز "وادی کراک"^۱ در کشور اردن، به وسیله ی یحیی فرهان و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع و GIS، مساحت، محیط و طول این حوضه ی آبخیز به ترتیب ۱۹۰/۹ کیلومتر مربع، ۹۹/۴۹ کیلومتر و ۳۳/۹۵ کیلومتر محاسبه شد. در این تحقیق ۵ مرتبه آبراهه با تعداد کلی ۷۶۲ عدد به دست آمد که ۸۱ درصد این تعداد آبراهه، آبراهه ی مرتبه ۱ می‌رفتند.

جدول ۳ مساحت، محیط و طول حوضه ی آبخیز

با استفاده از روش ذکر شده در مرحله ی ۲ نقشه ی مورد نظر برای جهت جریان ایجاد گردید که در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل ۸ عدد (رنگ) وجود دارد که هرکدام از آنها معرف جهت‌های مختلف جریان در یک سلول به سلول دیگر می‌باشد. فراوانی اعداد مختلف نشان دهنده ی تراکم بیشتر جهت جریان شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی است که این مورد به وسله ی شکل ۲ نیز تایید می‌گردد.

شکل ۵ لایه ی تبدیل یافته ی بُرداری رودخانه را از حالت رستری نشان می‌دهد. در لایه بُرداری رودخانه-ها، زیرشاخه‌ها، پیوستن آنها به یکدیگر، تشکیل شاخه-های اصلی و روند کلی جریان به خوبی قابل مشاهده است. این شکل نیز همخوانی نسبتاً مناسبی را با شکل ۲ دارد.

شکل ۶ نگاره ی استخراج شده ی حوضه را نشان می‌دهد (مرز حوضه بسته شده است). مساحت حوضه ی استخراج شده ۳۴۱۰/۴۳ کیلومتر مربع بوده و همان-طور که مشخص است، این شکل به جز در قسمت جنوبی و جنوب غربی همخوانی مناسبی با شکل حوضه ارائه شده ی دفتر مطالعاتی آب منطقه‌ای استان همدان دارد. (شکل ۱) این همخوانی در شکل ۱۰، که ۲ خروجی؛ روی یکدیگر قرار داده شده‌اند، بهتر قابل مشاهده است.

شکل ۷ زیرحوضه‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد. هرکدام از رنگها مربوط به یک زیرحوضه می-باشد؛ بر همین اساس تعداد ۵۰۱ زیرحوضه تشخیص داده شده‌اند.

شکل ۸ نیمرخ طولی استخراج شده قسمتی از یک آبراهه را نشان می‌دهد. با توجه به تراکم اطلاعات استخراج شده از DEM ماهواره‌ای، در هر قسمت از حوضه ی آبخیز می‌توان نیمرخ طولی آبراهه‌ها را به دست آورد، در حالی که در داده‌های برداری موجود این امکان وجود ندارد.

جدول ۱ تعداد آبراهه‌ها را از درجات مختلف، در منطقه ی مورد مطالعه با کاربرد روش استراهل (۱۹۵۷)،

¹ Wadi Kerak

جدول ۱- تعداد آبراهه‌ها از درجات مختلف برای منطقه‌ی مورد مطالعه با کاربرد روش استراهلر (۱۹۵۷).

OBJECTID	Value	Count
۱	۱	۳۱۲۱۸
۲	۲	۱۵۱۰۳
۳	۳	۶۴۴۰
۴	۴	۳۳۰۸
۵	۵	۱۴۵۴
۶	۶	۲۴۸

جدول ۲- روشهای تجربی محاسبه زمان تمرکز حوضه‌ی آبخیز.

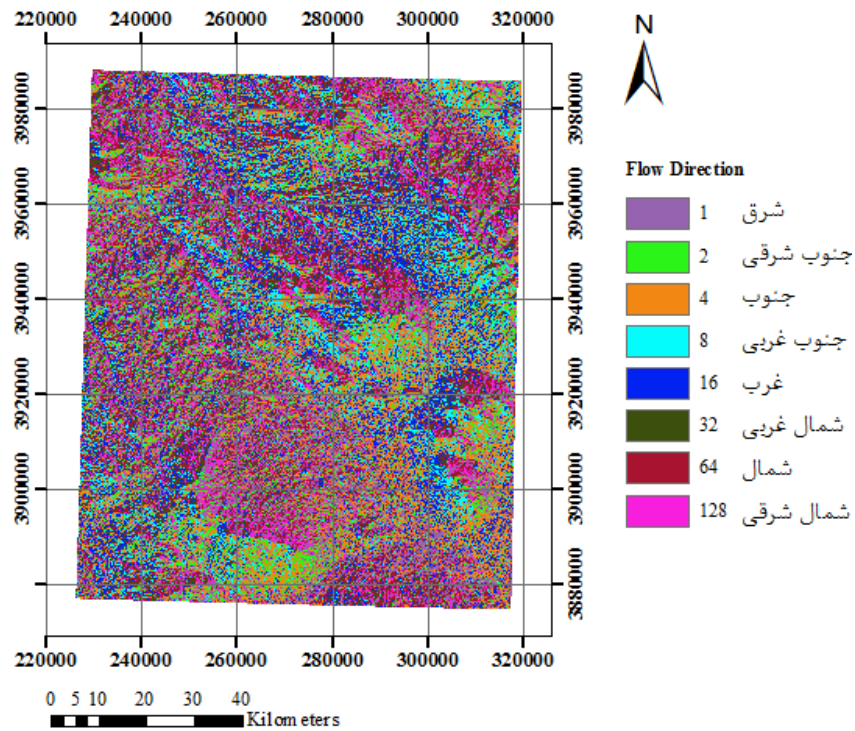
روش کریچ (کریچ، ۱۹۴۰)	$t_c = 0.000325L^{0.77}S^{-0.5}$	L بر حسب متر
روش کربای - هاتاوی (کربای، ۱۹۵۹ و هاتاوی، ۱۹۴۵)	$t_c = 0.0241L^{0.47}n^{0.47}S^{-0.235}$	L بر حسب متر
روش برانسی - ویلیامز (برانسی-ویلیامز، ۱۹۲۲)	$t_c = \frac{L}{1.5D} \sqrt[5]{\frac{A^2}{S}}$	L بر حسب کیلومتر، D بر حسب کیلومتر، A بر حسب کیلومتر مربع و S به صورت درصد (%)
روش کارتر (کارتر، ۱۹۶۱)	$t_c = 1.278L^{0.6}S^{-0.3}$	L بر حسب کیلومتر
روش ونتورا (ماتا لیما و همکاران، ۲۰۰۷)	$t_c = .1272 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$	A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و S شیب متوسط آبراهه اصلی

جدول ۳- مقایسه‌ی مساحت، محیط و طول محاسبه شده‌ی حوضه‌ی آبخیز دشت کبود راهنگ و مقادیر ارائه شده به وسیله‌ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان.

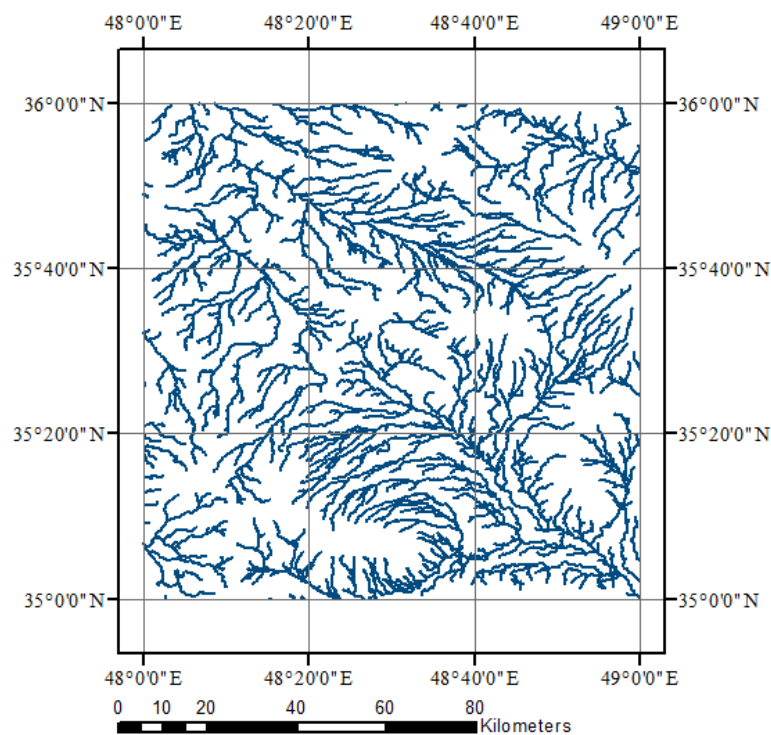
مقدار خطا (%)	مطالعه	مقادیر ارائه شده به وسیله‌ی دفتر مطالعاتی آب منطقه‌ای استان همدان
۱/۰۹	۳۴۱۰/۴۳	مساحت (A-km ²) ۳۴۴۸
۵/۸۲	۴۰۶/۳۴	محیط (P-km) ۳۸۴
۸/۲۸	۱۱۲/۸۲	طول حوضه (L-km) ۱۲۳

هوایی سازمان نقشه برداری کشور، و شبیه رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده‌ی SRTM استخراج شده است نشان می‌دهد. مساحت حوضه ۳۴۱۰/۴۳ کیلومتر

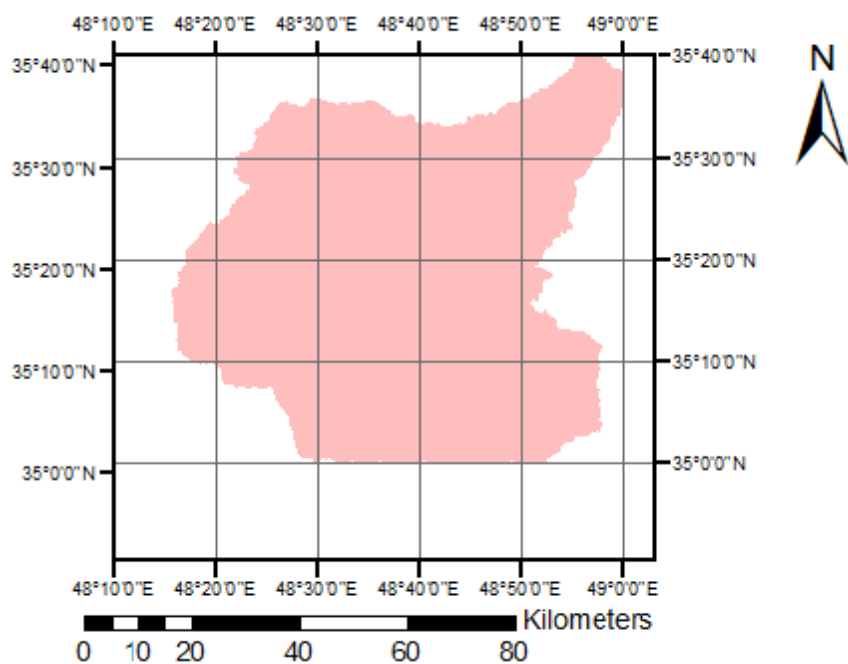
محاسبه شده را با استفاده از DEM به دست آمده از سنجنده‌ی ASTER، و مقادیر ارائه شده به وسیله‌ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان، که از تصاویر



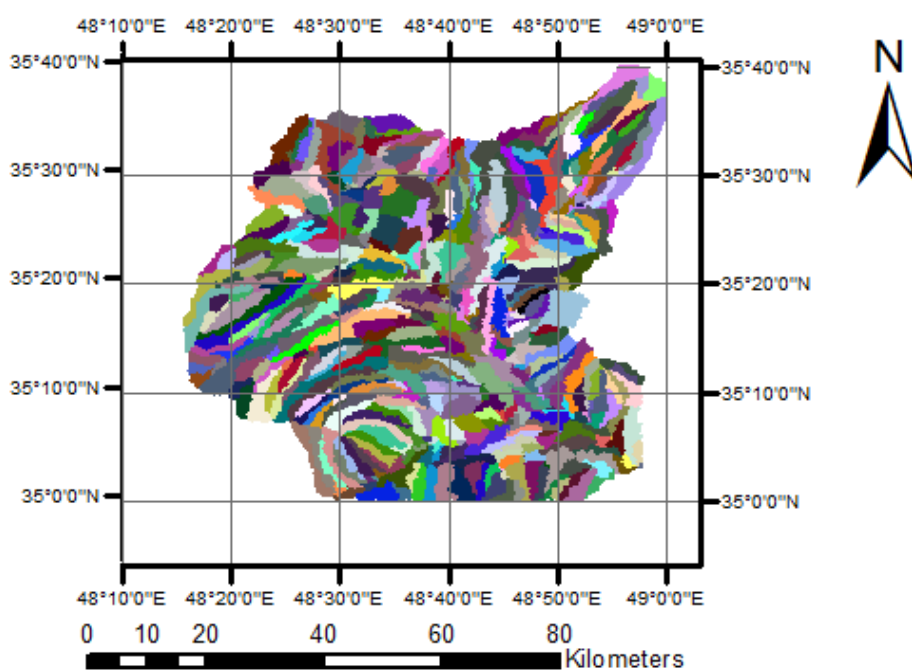
شکل ۴- جهت جریان محاسبه شده برای منطقه ی مورد مطالعه، هر یک از رنگها مربوط به یک عدد، و هر عدد مربوط به جهت خاصی از جریان می باشد.



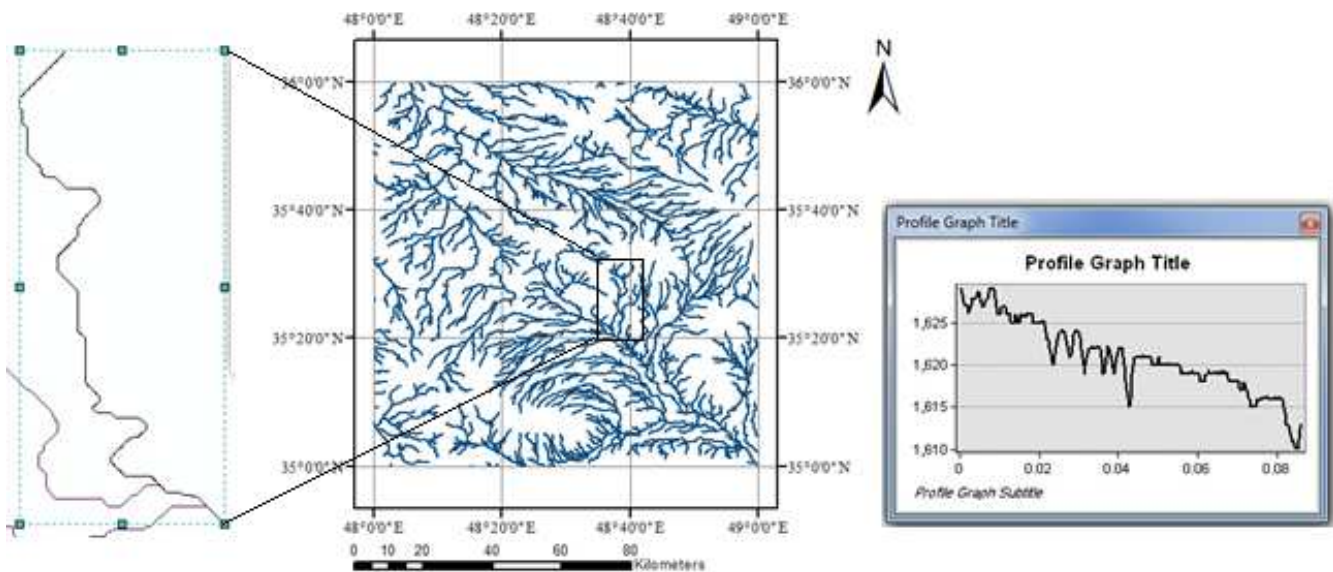
شکل ۵- لایه بُرداری رودخانه ی استخراج شده از لایه ی رستری جهت جریان.



شکل ۶- شکل استخراج شده حوضه ی مورد مطالعه.



شکل ۷- زیرحوضه‌های مربوط به منطقه ی مورد مطالعه.



شکل ۸- نمایی از نیمرخ طولی قسمتی از یک آبراهه در منطقه ی مورد مطالعه.

باریک است، که با توجه به شکل استخراج شده ی حوضه (شکل ۶) ضریب شکل محاسبه شده بر اساس روش شیوم منطقیتر است. در روش گراولپوس نیز ضریب شکل بین ۱ تا ۱/۱، حوضه را دایره‌ای شکل، بین ۱/۱ تا ۱/۲ بیضوی شکل، بین ۱/۲ تا ۱/۳ کمی کشیده و باریک، بین ۱/۳ تا ۱/۶ کشیده و باریک و بزرگتر از ۱/۶ را بسیار کشیده و باریک در نظر می‌گیرند (ایوانوا و همکاران، ۲۰۱۲). شکل حوضه ی آبخیز کبود راهنگ بر اساس مقدار ضریب شکل گراولپوس در جدول ۴ (۱/۹۴) بسیار کشیده و باریک است.

ضریب دوشاخگی برای کل شاخه‌ها در این حوضه ی آبخیز بر اساس رابطه ی هورتون (رابطه ۸) محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، ضریب دوشاخگی برای مرتبه ی رودخانه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ نزدیک به هم محاسبه شده است (حدوداً ۲)، اما این فراسنج برای رودخانه با مرتبه ۶ مقدار بالاتری را دارد (۵/۸۶)، که این اختلاف بالا به علت تعداد آبراهه-های بسیار پایین این مرتبه نسبت به مرتبه ی ۵ است.

مربع با ۱/۰۹ درصد خطا، محیط حوضه ۴۰۶/۳۴ کیلومتر با ۵/۸۲ درصد خطا و طول حوضه ۱۱۲/۸۲ کیلومتر با ۸/۲۸ درصد خطا نسبت به نتایج دفتر مطالعاتی آب منطقه‌ای استان همدان قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که مقدار خطا، و اختلاف بین نتایج در دو روش، ناچیز و قابل قبول است. نتایج به دست آمده در این تحقیق، این فراسنجه‌ها را با دقت مناسبی محاسبه کرده و همخوانی خوبی با داده‌های موجود دارد.

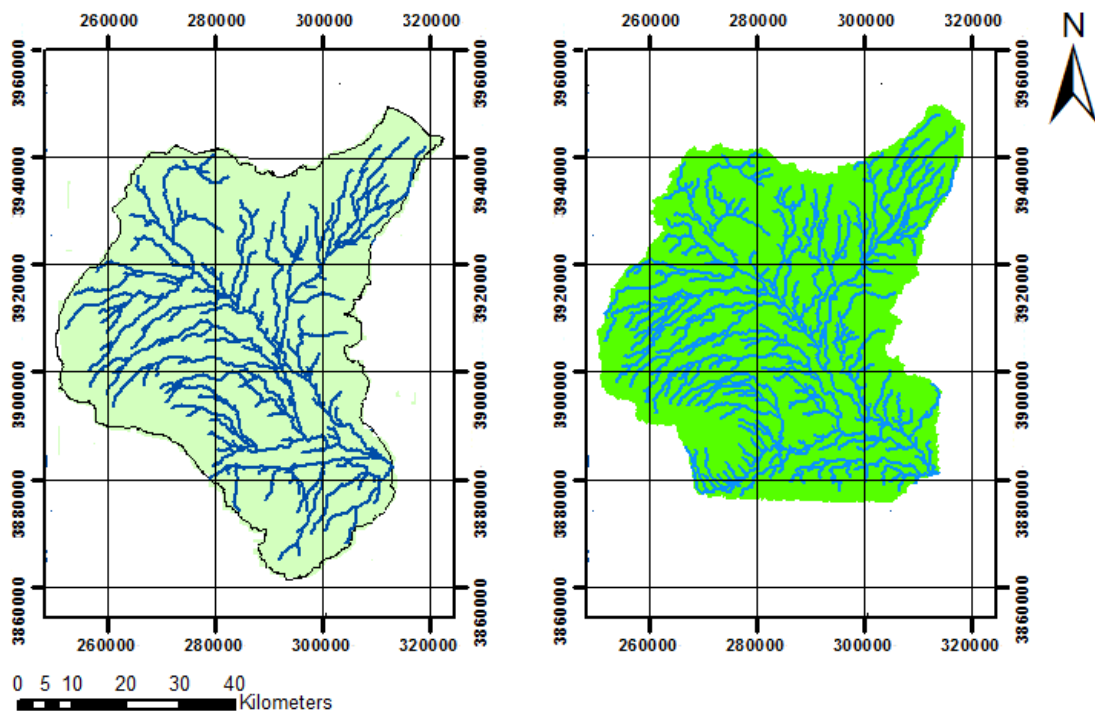
جدول ۴ مقادیر محاسبه شده ی ضریب شکل این حوضه را با کاربرد روشهای مختلف نشان می‌دهد. ضریب شکل در سه روش هورتون، میلر و شیوم به پنج محدوده تقسیم می‌شود. بین ۰/۹ تا ۱ حوضه را دایره‌ای شکل، بین ۰/۸ تا ۰/۹ بیضوی شکل، بین ۰/۷ تا ۰/۸ کمی کشیده و باریک، بین ۰/۵ تا ۰/۷ کشیده و باریک، و کوچکتر از ۰/۵ را بسیار کشیده و باریک در نظر می‌گیرند (ایوانوا و همکاران، ۲۰۱۲). شکل حوضه ی آبخیز کبود راهنگ، بر اساس مقدار ضریب شکل (جدول ۴) طبق روشهای هورتون (۰/۲۶۷) و میلر (۰/۲۵۹) بسیار کشیده، و بر پایه ی روش شیوم (۰/۵۸۴) کشیده و

بوده و بیشتر شاخه‌های جریان در دو روش، روی یکدیگر افتاده و روند کلی آبراهه‌ها شامل جهت جریان، زیرشاخه‌ها و نقطه‌ی خروجی حوضه در هر دو شکل تطابق قابل قبولی را با یکدیگر دارند.

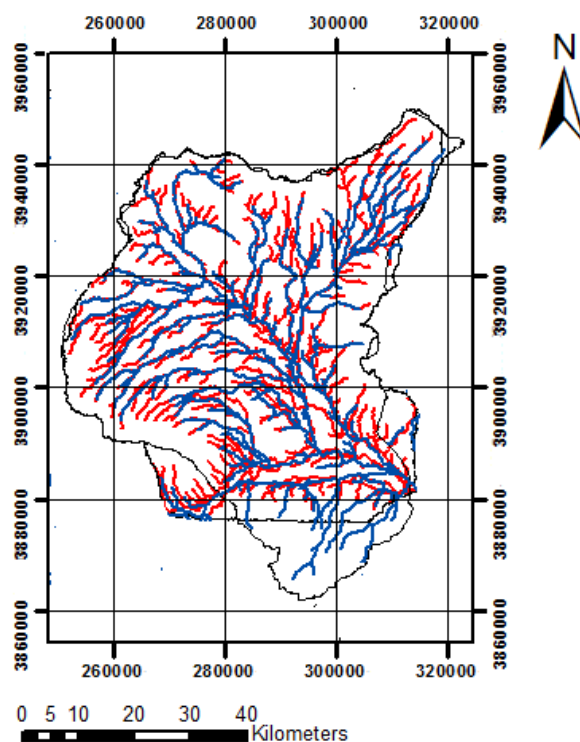
ضریب تراکم آبراهه‌ی حوضه‌ی مورد مطالعه $۰/۵۵ (۱/km)$ محاسبه شد. اگر ضریب تراکم بین ۰ تا $۰/۶ (۱/km)$ باشد حوضه‌ی دشت با شیب بسیار کم، بین $۰/۶$ تا $۰/۷ (۱/km)$ دشت با مقدار شیب کم، بین $۰/۷$ تا $۱/۱ (۱/km)$ تپه ماهور، بین $۱/۱$ تا $۲ (۱/km)$ همراه کوه‌های کم‌ارتفاع و بزرگتر از $۲ (۱/km)$ همراه کوه‌های مرتفع در نظر گرفته می‌شود (ایوانوا و همکاران، ۲۰۱۲). نامبردگان به بررسی ویژگی‌های گیتاشناسی ۲۸ حوضه‌ی آبخیز دریای سیاه در بلغارستان، که مساحت بزرگترین آنها $۲۴۷۶/۷$ کیلومتر مربع و کوچکترین آنها $۲۸/۵$ کیلومتر مربع است پرداختند. کمترین ضریب تراکم $۰/۰۳$ محاسبه شد که

در بررسی ویژگی‌های گیتاشناسی حوضه‌ی آبخیز "وادی کراک" به مساحت $۱۹۰/۹$ کیلومتر مربع در اردن، (فرهان و همکاران، ۲۰۱۵)، تعداد ۵ مرتبه آبراهه محاسبه شد که ضریب دوشاخگی برای مرتبه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب $۵/۶$ ، $۳/۷$ ، ۶ و ۵ به دست آمد.

شکل‌های ۹ و ۱۰ حوضه‌ی استخراجی و آبراهه-های استخراج گردیده در این تحقیق را در مقابل موقعیت رودخانه‌های محدوده مطالعاتی، ارائه شده به وسیله‌ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان، که از تصاویر هوایی سازمان نقشه برداری کشور و شبیه‌رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده‌ی SRTM استخراج گردیده است، به ترتیب به صورت مجزا و روی هم قرا داده شده، نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد شکل حوضه‌ی آبخیز به جز قسمتهایی در جنوب و جنوب غربی منطقه، دیگر قسمتها همخوانی مناسبی دارند؛ در مورد آبراهه‌ها نیز به همین ترتیب



شکل ۹- مقایسه‌ی آبراهه‌های حاصل از روش ارائه شده در این مقاله برای دشت کبود راهنگ، سمت راست، در مقابل موقعیت رودخانه‌های دشت کبود راهنگ؛ ارائه شده‌ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان، سمت چپ.



شکل ۱۰- مقایسه ی آبراهه‌های حاصل از روش ارائه شده در این مقاله برای دشت کبود راهنگ (رنگ قرمز)، در مقابل موقعیت رودخانه‌های دشت کبود راهنگ؛ ارائه شده ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان (رنگ آبی)

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده ضریب شکل، با ۴ روش مختلف.

روش‌ها-مشخصات حوضه	روش هورتون (۱۹۳۲)	روش گراولیبوس (۱۹۱۴)	روش میلر (۱۹۵۳)	روش شیوم (۱۹۵۶)
طول حوضه آبریز (L-km)	۱۱۲/۸۲	-	-	۱۱۲/۸۲
مساحت (A-km ²)	۳۴۱۰/۴۳	۳۴۱۰/۴۳	۳۴۱۰/۴۳	-
قطر دایره هم سطح حوضه آبریز (D-) (km)	-	-	-	۶۵/۹
محیط (P-km)	-	۴۰۶/۳۴	۴۰۶/۳۴	-
مقدار محاسبه شده ضریب شکل	۰/۲۶۷	۱/۹۴	۰/۲۵۹	۰/۵۸۴

جدول ۵- ضریب دو شاخگی با کاربرد روش هورتون (۱۹۳۲)

Kabudarahang Basin		
مرتبه رودخانه	تعداد آبراهه‌ها	ضریب دو شاخگی
۱	۳۱۲۱۸	-
۲	۱۵۱۰۳	۲/۰۶۷
۳	۶۴۴۰	۲/۳۴۳
۴	۳۳۰۸	۱/۹۴
۵	۱۴۵۴	۲/۲۷
۶	۲۴۸	۵/۸۶

روش برای چه شرایطی توسعه یافته است. روش کربای-هاتاوی در مواقعی قابل کاربرد است که جریان در حوضه به صورت سطحی و یا دوبعدی صورت گیرد. روشهای کارتر و کریپیچ با فرض جریان غالب در آبراهه به دست آمده‌اند (صفوی، ۱۳۹۰). روشهای برانسی-ویلیامز و ونتورا برای حوضه‌های کوچک مناسبند (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴). ایشان زمان تمرکز را در ۱۱ حوضه ی آبخیز در استانهای تهران، مازندران و اصفهان با ۱۴ روش تجربی، تعیین کردند. پس از واسنجی بیشترین زمان تمرکز مربوط به حوضه ی آبخیز حنا در استان اصفهان به مساحت ۷۱۲ کیلومتر مربع به مقدار ۸/۲ ساعت محاسبه شد، و کمترین زمان جدول ۶- محاسبه زمان تمرکز حوضه، با کاربرد ۵ روش تجربی؛ واحد مشخصات حوضه ی بسته با کاربرد روش مورد

مساحت آن حوضه ی آبخیز ۱۷۱۵/۶ کیلومتر مربع، و بیشترین مقدار ضریب تراکم ۱/۸ به دست آمد، که مساحت حوضه ی آبخیز مربوطه ۱۸۶ کیلومتر مربع بود. در این تحقیق، با توجه به ضریب تراکم به دست آمده، حوضه با شیب بسیار پایین در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۶، با توجه به مشخصات این حوضه، زمان تمرکز با ۵ روش تعریف گردیده در مرحله ی چهارم محاسبه شده است. همان طور که از خروجیها مشخص است، نتایج بسته به روش مورد استفاده، تفاوت زیادی باهم دارند و این از ویژگیهای روشهای تجربی تخمین زمان تمرکز حوضه می‌باشد. آنچه مهم است آن که هر روش در چه شرایطی باید به کار رود، و اصولا هر

استفاده متفاوت می‌باشد.

روشها-مشخصات حوضه	روش کریپیچ (۱۹۴۰)	روش کربای-هاتاوی (۱۹۴۵ و ۱۹۵۹)	روش برانسی-ویلیامز (۱۹۲۲)	روش کارتر (۱۹۶۱)	روش ونتورا (۲۰۰۷)
طول آبرهه اصلی (L)	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰	۲۰	-
شیب متوسط آبراهه اصلی (S)	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۵	۰/۲۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۵
مساحت (A)	-	-	۳۴۱۰/۴۳	-	۳۴۱۰/۴۳
ضریب زبری مانینگ (n)	-	۰/۲	-	-	-
قطر دایره هم سطح حوضه آبریز (D)	-	-	۶۵/۹	-	-
زمان تمرکز (t _c) بر حسب "ساعت"	۱۳/۳۳	۴/۸۶	۶/۹۱	۴۶/۵۳	۱۴۸/۵۷

ابزارهای پردازش مربوط به این داده‌ها نیز توسعه یافته‌اند. این سامانه‌ها می‌توانند با اطمینان بالا اطلاعات را در پایگاه داده‌های عددی ذخیره کرده، و با سرعت زیاد آنها را بررسی نموده، و در صورت نیاز تغییر دهند؛ بنابراین به عنوان یک ابزار مفید، شناخته می‌شوند.

در این مطالعه با استفاده از شبیه رقومی ارتفاع به دست آمده از سنجنده ی ASTER و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی، با استفاده از روشی چهار مرحله‌ای ویژگیهای فیزیکی حوضه ی آبخیز دشت کبود راهنگ در استان همدان استخراج گردیدند. در این راستا، ابتدا شبکه ی آبراه‌ها شامل جهت جریان و جهت جریان جمعی تعیین شده، سپس استخراج حوضه ی آبخیز و رتبه‌بندی رودخانه‌ها صورت گرفته، و در نهایت ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز استخراج گردیدند. ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی کبود راهنگ استان همدان از قبیل مساحت، محیط، طول حوضه، ضریب شکل حوضه، ضریب دو شاخگی، تراکم آبراه‌ها و زمان تمرکز با کاربرد روشهای مختلف، به منظور به دست آوردن تصویری مناسب از سامانه ی آبی حوضه، استخراج شدند. همچنین، برای ارزیابی نتایج از داده‌های ارائه شده به وسیله ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان، که از DEM سنجنده ی SRTM، در کنار تصاویر هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور، با به کارگیری پردازشهای GIS استخراج شده، استفاده گردید. نتایج عددی مساحت حوضه را $406/34$ کیلومتر مربع، محیط حوضه را $112/82$ کیلومتر، و طول حوضه را $112/82$ کیلومتر برآورد نمودند، که این مقادیر در مقایسه با داده‌های آب منطقه‌ای نشان‌دهنده ی مقدار خطاهای نسبی $1/09$ ، $5/82$ و $8/28$ درصد بودند. این مقادارها نشان دهنده ی دقت مناسب روش انتخاب شده در این مقاله در مقایسه با داده‌های ارزیابی بوده، و کارایی روش مذکور را اثبات می‌نماید. در تحلیلهای دیگر انجام شده در این تحقیق، ضریب شکل در روشهای هورتون، گراولوس، میلر و شیوم به ترتیب $0/267$ ، $1/94$ ، $0/259$ و $0/584$ محاسبه گردیدند. علاوه بر آن، زمان تمرکز حوضه

تمرکز نیز $2/3$ ساعت مربوط به حوضه ی آبخیز باغ‌تنگه در استان تهران به مساحت $16/1$ کیلومتر مربع به دست آمد. با توجه به توضیحات، مقادیر به دست آمده مربوط با کاربرد روشهای کارتر و کریچ مناسبتین مقادیر مربوط به زمان تمرکز برای حوضه ی آبخیز کبود راهنگ همدان می‌باشند.

نتیجه‌گیری

ویژگیهای گیتاشناسی یک حوضه ی آبخیز نقش تعیین‌کننده‌ای بر ویژگیهای آبشناسی و وضعیت آبی آن حوضه دارد. آگاهی از ویژگیهای فیزیکی یک حوضه ی آبخیز به همراه داشتن اطلاعاتی از شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند تصویر نسبتاً دقیقی را از کارکرد کمی و کیفی سامانه ی آبشناسی پویای آن حوضه بدهد. ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌های آبخیز نه تنها به‌طور مستقیم بر وضعیت آبشناسی آنها مانند میزان تولید رواناب سالانه، حجم سیلابها، شدت فرسایش خاک و اندازه ی رسوب تولیدی اثر می‌گذارد، بلکه بطور غیر مستقیم با اثر بر آب و هوا و وضعیت بوم‌شناسی و پوشش گیاهی، به اندازه ی زیاد، وضعیت آبی حوضه ی آبخیز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پاره‌ای از ویژگیهای فیزیکی حوضه، از جمله ارتفاع، جهت‌گیری ناهمواریها،

دامنه‌ها و شیب می‌توانند بسیاری از عناصر آب و هوایی منطقه را (دما، میزان ریزشهای جوی سالانه و تبخیر - تعرق) تشدید و یا تعدیل نموده و در نتیجه موجب پیدایش خرداقليم منطقه‌ای شوند. از این رو لازم است که در مطالعات آبخیزداری یک حوضه، قبل از هرچیز، ویژگیهای گیتاشناسی آن مورد مطالعه قرار گیرد.

از جمله منابع قابل استفاده در تعیین ویژگیهای گیتاشناسی حوضه ی آبخیز شبیه رقومی ارتفاع حاصل از تصاویر ماهواره‌ای است. این تصاویر بطور معمول در شبیه‌های آبشناسی به کار گرفته می‌شوند. نوع رستری این تصاویر به علت ساده بودن در ذخیره، به روزرسانی و کاربردشان، ترجیح داده می‌شود. با توجه به توسعه ی رایانه ها و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نه تنها دقت داده‌های شبیه رقومی ارتفاع بالاتر رفته، بلکه

تصاویر شبیه رقومی ارتفاع (DEM)، به عنوان ابزارهایی دقیق، در دسترس و ارزان در کنار مطالعات صحرایی یک حوضه، به منظور تهیه ی اطلاعات کامل از آن حوضه و مطالعات اولیه، بسیار سودمند می‌باشند. همچنین، داده‌های DEM سنجنده ی ASTER، به دلیل رایگان بودن، و نیز سادگی دسترسی، می‌توانند به عنوان منبع داده‌ای بسیار مناسب در جهت تعیین ویژگیهای گیتاشناسی حوضه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرند.

در روشهای کرپیچ، کربای-هاتاوی، برانسی-ویلیامز، کارتر و ونتورا به ترتیب ۱۳/۳۳، ۴/۸۶، ۶/۹۱، ۴۶/۵۳ و ۱۴۸/۵۷ ساعت به دست آمد. این نتایج بیانگر همخوانی مناسبی بین نتایج حاصل از DEM سنجنده ی ASTER و موقعیت رودخانه‌های محدوده ی مطالعاتی تهیه شده به وسیله ی دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان همدان از تصاویر هوایی سازمان نقشه برداری کشور می‌باشند. با توجه به خروجیهای این تحقیق، استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و

منابع

- اسلامیان، س.س. ۱۳۸۴. تعیین روابط تجربی برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز کوهستانی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- اشرفی، ع. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های مختلف تهیه مدل ارتفاع رقومی حوضه آبخیز نوفرست، شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، ۱۳: ۱۴۰-۱۱۹.
- خانی تملیه، ذ. ۱۳۹۱. استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز و شبکه‌های آبراهه با استفاده از GIS، مطالعه موردی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- دهقان پ. ۱۳۹۲. بررسی اشکال ژئومورفولوژی حوضه‌ی آبریز رودخانه کشف‌رود، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- حسین‌زاده س.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی دقت مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM) و الگوریتم‌های GIS در تحلیل‌های مورفومتری رودخانه‌ای (نمونه مورد مطالعه: حوضه آبریز رباط قره بیل در خراسان شمالی)، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رکنی دیلمی، ب. ۱۳۸۶. ارزیابی دقت تهیه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از تصاویر ASTER، همایش ژئوماتیک، تهران.
- رمزجوئی، ن. ۱۳۹۱. بررسی پاره‌ای از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز (مطالعه موردی: حوضه آبریز وردیج استان تهران).
- سایت اطلاعات آب منطقه‌ای استان همدان (www.hmrw.ir، ۱۳۹۱).
- شیخ، ز. ۱۳۹۱. استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز تالار در استان مازندران)، سومین همایش ملی دانشجویی مرتع، آبخیز و بیابان، کرج.
- صفوی، ح. ۱۳۹۰. هیدرولوژی مهندسی پیشرفته، دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ سوم.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ بیست و هشتم.
- قدرتی، م. آموزش ArcGIS در مهندسی آب (هیدرولوژی و هیدروژئولوژی)، انتشارات سیمای دانش.
- نوجوان، س. ۱۳۹۳. تعیین مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز قزل اوزن استان زنجان، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران.
- وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگلها و مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۷۸. مطالعات توجیهی حوضه آبخیز قزن‌فوجای، گزارش فیزیوگرافی و توپوگرافی.

- parameters of Wadi Kerak, Jordan, Using remote sensing and GIS. *Journal of Water Resource and protection* 7: 456-475.
25. Goitom, T.G., 1989. Evaluation of methods in a small rural watershed. Channel flow and catchment runoff: Centennial of Mannings's Formula and Kuichling's Rational formula B.C. Yen (Ed), University of Virginia, U.S. National Weather Service and University of Virginia.
 26. Gravelius, H. 1914. *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde, Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German)*. Goschen, Berlin.
 27. Gupta, R.S. and 1989. *Hydrology and hydraulic systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
 28. Harold, R., Welch, R. 1999. Algorithm theoretical basis document for ASTER DEMs (Standard Product AST14).
 29. Hathaway, G. A. 1945. Design of drainage facilities. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 110: 697-733.
 30. Horton, R.E., 1932, Drainage Basin Characteristics, *Transactions, American Geophysical Union*, 13.
 31. Ivanova, E., Nedkov, R.D., and Ivanova, I.B., Radeva, K.L. 2012. Morpho-hydrographic analyze of Black Sea Catchment Area in Bulgaria, *Procedia Environmental Sciences* 14: 143 – 153.
 32. Jing, C., Shortridge, A., Lin, S. and Wu, J. 2013. Comparison and validation of SRTM and ASTER GDEM for a subtropical landscape in Southeastern China. *International Journal of Digital Earth*.
 33. Kerby, W. S. 1959. Time of concentration for overland flow. *Civ. Eng.* 26: 60.
 15. Ahmed, S.A., Chandrashekarappa, K.A., Raj, S.K., Nischitha, V., Kavitha, G. 2010. Evaluation of morphometric parameters derived from ASTER and SRTM DEM-A study on Bandihole sub-watershed basin in Karnataka, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38: 227-238.
 16. Anornu, G.K., Kabo-Bah, A., Kortatsi, B.K. 2012. Comparability studies of high and low Resolution digital elevation models for watershed delineation in the tropics: Case of Densu River Basin of Ghana, *International Journal of Cooperative Studies*.1:9-14
 17. Bransby Williams, G. 1922. Flood discharge and the dimensions of spillways in india. *The Engineer (London)*, 134: 321-322.
 18. Bardossy, A., and Fridjof, S. 2002. GIS approach to scale issues of perimeter-based shape indices for drainage basins. *Hydrological Sciences Journal* 47: 931-942.
 19. Bras, R. 1990. *Hydrology*. Addison-Wesley Publication Company, New York.
 20. Carter, R. W. 1961. Magnitude and frequency of floods in suburban areas, Professional Paper 424-B B9-B11, U.S. Geological Survey, Reston, VA.
 21. Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L.W. 1988. *Applied hydrology*, Mc Graw-Hill Book Co., 572 p.
 22. Domenico, P. A., and Schwarzs, F. W. 1990. *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York.
 23. Elizabeth, S.H., Brown, C., McGrigal, K., Compton, B., and Jackson, S. 2013. Estimating hydrologic alteration from basin characteristics in Massachusetts. *Journal of Hydrology* 503: 196-208.
 24. Farhan, Y., Anbar, A., Enaba, O., and Al-Shaikh, N. 2015. Quantitative analysis of geomorphometric

- hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. Rev Esc (In Portuguese). Minas 60: 525-536.
43. McCuen, R. et al. 1984. Estimating urban time of concentration. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 100: 633-638.
 44. Miller, V.C. 1953. A Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area, New York. Columbia University, Virginia and Tennessee, Proj. NR, Technical Report, : 389-402.
 45. Mukherjee, S. et al. 2013. Evaluation of vertical accuracy of open source digital elevation model (DEM). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 21:205-217.
 46. Pareta, K., and Pareta, U. 2011. Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. International Journal of Geomatics and Geosciences 2 :248-269.
 47. Pilgrim, D.H. 1989. Rational methods for estimation of design floods for small to medium sized drainage basins in Australia. IAHS Publ, New direction for surface Water Modeling. Proceedings of the Baltimore Symposium, Australia p. :247-259.
 48. Robert, A.N., and Lawrence, W.M. 2003. Topographic parameterization in continental Hydrology: A Study in Scale. hydrological Processes 17 : 3763.
 49. Rohidas Chavan, S., and Srinivas, V.V. 2015. Effect of DEM source on equivalent Horton–Strahler ratio based GIUH for catchments in two Indian river basins., Journal of Hydrology. 528: 463-489.
 34. Kirpich, Z. P. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds, Civil Eng. 10: 362–368.
 35. Li, P., Shi, C., Li, Z., Muller, J.P., Drummond, J., Li, X., Li, T., Li, Y., and Liu, J. 2013. Evaluation of ASTER GDEM using GPS benchmarks and SRTM in China. International Journal of Remote Sensing 34:1744-1771.
 36. Lin, W.T., Chou, W.C., Lin, C.Y., Haung, P.H., and Tsai, J.S. 2006. Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan's upstream watersheds. Hydrological Process. 20: 289.
 37. Lin, Z., and Oguchi, T. 2006. DEM Analysis on longitudinal and transverse profile of steep mountainous watersheds. Geomorphology. 78.
 38. Linsley, R.K., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L.H. 1989. Hydrology for engineers. 3rd edition. McGraw-Hill Book Company, London.
 39. Ludwig, R., and Schneider, P. 2006. Validation of digital elevation models from SRTM XSAR for applications in hydrologic modeling. ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing 60: 339.
 40. Magesh, N.S., Jitheshlal, K.V., Chandrasekar, N., and Jini, K.V. 2013. Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha River Basin, Kerala, India. Applied Water Science 3:467-477.
 41. Martin, P.H. et al. 2005. Interfacing GIS with water resource models. A state-of-the-art review. Journal of American Water Resources Association.
 42. Mata-Lima, H., Vargas, H., Carvalho, J., Goncalves, M., Caetano, H., Marques, A., and Raminhos, C. 2007. Comportamento hidrológico de bacias

60. Zhang, W.H., Montgomery, D.R. 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation & hydrologic simulations". *Water Resources Research* 30:1019-1028.
50. Schumm, S.A. 1956. The evolution of drainage system and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of Geological Society of America* 67: 214-236.
51. Sefercik, U.G. 2012. Performance estimation of Aster Global DEM depending upon the terrain Inclination, *Indian Society of Remote Sensing*, 40:565-576.
52. Seibert, J., and McGlynn, B.L. 2007. A New triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. *Water Resour. Res.* 43. W04501.
53. Sener, m. 2011. Determination of basin characteristics by using Geographical Information Systems (GIS). *Journal of Environmental Protection and Ecology* 12:1941-1947.
54. Sheridan, j. 1994. Hydrograph time parameters for flatland watersheds. *Trans. ASAE*, 37: 103-113.
55. Shinde, V.M., Deshpande, P.K., and Kumthekar, M.B. 2013. Application of ASTER DEM in watershed management as flood zonation mapping in Koyana River of the Western Ghats. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4:297-301.
56. Strahler, N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union*, 38: 913-920.
57. Tarboton, D. 2003. Terrain analysis using digital elevation models in hydrology. 23rd ESRI International Users Conference, San Diego, California, July 7-11.
58. Thomas, J., Joseph, S., Thrivikramji, K.P., and Arunkumar, K.S. 2014. Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the Western Ghats, India. *Geoscience Frontiers* 5:893-909.
59. USGS, 2012, Global data explorer, <http://gdex.cr.usgs.gov/>.