



تهیه DEM هیدرولوژیک و کاربرد آن در تولید نقشه پیوسته جریان رودخانه (مطالعه موردی حوضه بالادست سد کرخه)

بهزاد حصاری^{۱*}، سجاد کریم زادگان^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه دانشگاه ارومیه، ارومیه
۲. کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه

تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۲۳

چکیده

روش‌های اصلاح مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، برای بهبود کیفیت آن و به‌منظور استفاده در شبیه‌سازی و مدل‌سازی هیدرولوژیک سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله، روش‌های اصلاح DEM و تهیه DEM هیدرولوژیک با استفاده از الحاقیه ArcHydro10.2 بررسی و در ۵۳ زیرحوضه کرخه مورد ارزیابی قرار گرفت و یکی از کاربردهای آن در برآورد "رواناب پیوسته" پیاده شد. اطلاعات آبدی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری به صورت نقطه‌ای قابل دسترس است. برای تعیین مقدار آبدی، به صورت پیوسته و در هر نقطه از مسیر و سرشاخه‌های رودخانه، به تجمعی کردن نقشه رواناب نیاز داریم. مدل جهات هشتگانه ریزش هر نقطه (D8)، یک مدل پایه برای استخراج شبکه رودخانه از روی سلول‌های تجمعی شده DEM است. با این روش، جهت جریان هر سلول به یکی از هشت سلول مجاور در DEM تعیین می‌شود. در نقشه DEM هیدرولوژیک، سلول‌های تجمعی در مسیر رودخانه به صورت پیوسته و افزایشی قرار می‌گیرند. با استفاده از الگوریتم Agree و با آزمون و خطا، مدل رقومی ارتفاعی اصلاح شده و مساحت حاصل از تجمع سلول‌های بالادست هر سلول با مقادیر مساحت وکتوری زیرحوضه‌ها مورد مقایسه قرار گرفت، به طوری که ضریب همبستگی برابر ۰/۹۹۷۵ بدست آمد. بعد از تولید نقشه رواناب، در نهایت نقشه جریان تجمعی هر نقطه از مسیر این رودخانه، در سلول‌های ۲۰۰ متری تهیه و نقشه پیوسته جریان ارائه شد. نتایج حاکی است که خطای دبی حاصل از این روش و مقادیر مشاهداتی در ۵۳ ایستگاه هیدرومتری بین ۰/۲۸٪ تا ۰/۳۱٪ است.

کلید واژه‌ها: هیدرولوژی سلولی، مدل رقومی هیدرولوژیک، نقشه رواناب، رواناب پیوسته، رودخانه کرخه

*نویسنده عهده دار مکاتبات: ارومیه، بلوار دانشگاه، نازلو ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه علوم مهندسی آب، شماره تماس: ۰۹۱۴۳۴۶۵۳۸۳

Email : b.hessari@urmia.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه بحث بیان منطقه‌ای و تهیه نقشه هم‌جریان، توسعه فراوانی داشته است. هدف از تجمعی کردن نقشه رواناب (نقشه هم‌جریان)، تعیین دبی در مسیر آبراهه‌ها و رودخانه اصلی و مابین ایستگاه‌های هیدرومتری و حوضه‌های بدون ایستگاه است. پروژه‌های آبی و به‌ویژه مدیریت و برنامه‌ریزی خشکسالی‌ها نیاز به برآورد آب قابل دسترس به‌صورت موضعی دارند (Maidment, 1996). روش‌های گوناگونی از درون‌یابی و برازش سطح از خطوط کانتور و ساخت DEM وجود دارد. علت جاری‌نشدن طبیعی آب به پایین دست، خطاهایی از قبیل Sink و Peak است که داخل سلول‌های DEM خام وجود دارد، بنابراین در برابر DEM خام، DEM هیدرولوژیک وجود دارد (حصاری، ۱۳۹۲). روش‌های سوزاندن آبراهه^۵ و بهبود DEM^۴ برای اصلاح مدل ارتفاعی رقومی و ساخت مدل رقومی هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. Sink یا گودی محدوده‌ای است که توسط مقادیر ارتفاعی بالا محصور شده است که به Pit معروف است. اگر همه سلول‌های مجاور، بالاتر از سلول موردنظر باشد یا دو سلول به یکدیگر جریان یابند و همچنین اگر تغییر z در چند جهت یکسان باشد، این سلول‌ها، "گودی" نامیده می‌شوند و نمی‌توان به آن‌ها جهت جریان، تخصیص داد. گاهی نواحی صاف قابل توجه در اثر خطاهای نمونه‌ای سیستماتیک، در مراحل ایجاد DEM باعث ایجاد Sink می‌شود (شکل ۱). این گودی‌ها آثار نامطلوبی در جهت جریان ایجاد می‌کنند. تعداد گودی‌ها در مدل رقومی ارتفاعی به‌طور طبیعی در قدرت تفکیک و اندازه سلولی درشت، زیاد است به‌گونه‌ای که

نمونه‌ای از تحلیل‌های مکانی هر منطقه، ساخت مدل ارتفاعی رقومی (DEM) است. اما برای تحلیل‌های دقیق سلولی، به اصلاح و رفع خطاهای ذاتی نیاز است. علاوه بر دقت و مقیاس داده‌های ورودی، روش‌های درون‌یابی نیز باعث ایجاد خطا می‌شود. بنابراین تحلیل‌های سلولی، به ساخت مدل رقومی ارتفاعی هیدرولوژیک و ارزیابی دقت آن نیاز دارد. اخیراً با گذر از هیدرولوژی توده‌ای^۱ و نیز توسعه تکنیک‌ها و ابزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، شاهد شتابی قابل توجه در بحث مدل‌سازی سلولی هیدرولوژیک و شبیه‌سازی سلولی هستیم (Wilson et al., 2001). ArcGIS به‌عنوان قالب کاری برای ذخیره و مدیریت داده‌های مکانی و ابزار مدل‌سازی سلولی استفاده می‌شود (Olivera et al., 1996). مدیریت منابع آب یک مشکل مکانی است، بنابراین بحث هیدرولوژی مکانی^۲ که با استفاده از مفاهیم و اصول ساده تحلیل‌گر فضائی^۳ به شبیه‌سازی و توصیف خصوصیات هیدرولوژیکی یک سطح معین می‌پردازد، به یک بحث و ابزار ثابت نرم‌افزارهای GIS تبدیل شده است. توابع و روش‌های بکار رفته در ArcGIS بر مدل‌سازی سلولی^۴ استوارند که به‌عنوان داده‌های ورودی مدل‌های هیدرولوژیک، جهت ایجاد شبکه رودخانه و ترسیم مرز حوضه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و استخراج خصوصیات فیزیکی و هندسی حوضه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مفهوم، نقطه‌ای آغازین برای تحلیل‌های هیدرولوژیک مانند ترسیم مسیر حرکت آب، انتقال رسوب، آلودگی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی است (Olivera et al., 1996).

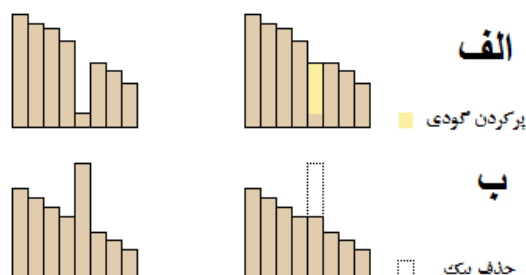
4 Cell-Based Modeling
5 Stream Burning
6 DEM Reconditioning

1 Lumped Hydrology
2 Spatial Hydrology
3 Spatial Analyst

بهزاد حصاری و سجاد کریم زادگان

استخراج خصوصیات هیدرولوژیک یک سطح، قابلیت تعیین جهت جریان هر سلول در شبکه سلول‌هاست (حصاری، ۱۳۹۲).

در DEM با اندازه سلولی ۳۰ متر ۰/۹ تا ۴/۷٪ و در قدرت تفکیک ۳ ثانیه یا ۹۰ متر بیشتر از ۵٪ سلول‌ها گودی خواهد بود (Tarboton, 1991). یکی از کلیدهای



شکل ۱. نمای پروفیل طولی آبراهه قبل و بعد از دستور Fill (الف) خطا گودی ب) خطای بیک (منبع ESRI, 2016)

هستند تا مسیر جریان را تعیین کنند، درحالی‌که با این فرض، مدل‌سازی جریان شبکه زهکشی انجام نخواهد شد. محققان، تلاش‌های زیادی برای اصلاح DEM انجام داده‌اند. متکان و همکاران (۱۳۸۶) برای بررسی روش‌های حذف خطاهای مدل ارتفاع رقومی، سه الگوریتم را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد مناسب‌ترین روش، روش الگوریتمی است که در آن ابتدا عملیات تحمیل آبراهه^۱ و حذف گودال^۲ به شیوه مرسوم در برخی از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی اجرا شود.^۳ مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه تگزاس CRWR نشان داده استخراج آبراهه با استفاده از روش اصلاح شده بسیار بهتر است از شبکه آبراهه‌ای که تنها از DEM خام به دست می‌آید (Akmansoy, 1998). فرایند اصلاح شامل: ۱- تبدیل خط آبراهه رقومی شده به Grid (با تخصیص مقدار ۱ به سلول‌های آبراهه و No Data به بقیه). ۲- اطمینان از اینکه شبکه تهیه شده آبراهه، کاملاً پیوسته است (بدون شکاف و جافتادگی). ۳- اضافه کردن یک مقدار ثابت به DEM (مثلاً ۵۰۰۰۰). ۴- Merge دو شبکه باهم به طوری که شبکه آبراهه در بالای شبکه

مدل جهات هشتگانه ریزش هر نقطه (D8)، یک مدل پایه برای تعیین جهت جریان هر سلول به یکی از هشت سلول مجاور است. جهت خروجی، با توجه به هشت سلول مجاور، به صورت قطری در جهتی با تندترین شیب تعیین می‌شود (Resources.arcgis.com, 2017). گالاک و مارک در سال ۱۹۸۴، این مدل را بنام D8 (جهت جریان هشتگانه) معرفی کرد که بعدها بصورت فراگیر بکار گرفته شد (Olivera, 1996; Tarboton, 1991). روش D8 نقصی نیز دارد، که جهت جریان را تنها در یکی از جهات هشتگانه که با زاویه ۴۵ درجه تفکیک شده‌اند مشخص می‌کند. اخیراً روش‌های جهات جریان چندگانه^۱ برای حل محدودیت‌های مدل D8 ارائه شده است (Tarboton, 1997). روش D8 نسبت به دیگر روش‌ها کاربرد بیشتری دارد و روش‌های دیگر در مراحل تحقیق قرار دارند. در این تحقیق، از روش D8 استفاده شده و برای تعاریف و بحث‌های پایه لازم است به منابع (Tarboton, 1997, 1989, 1991) رجوع شود. ابزار موجود در نرم‌افزارهای GIS، طوری طراحی شده که فرض می‌کند سطوح، دارای اریب ارتفاعی کافی

3 Fill sink

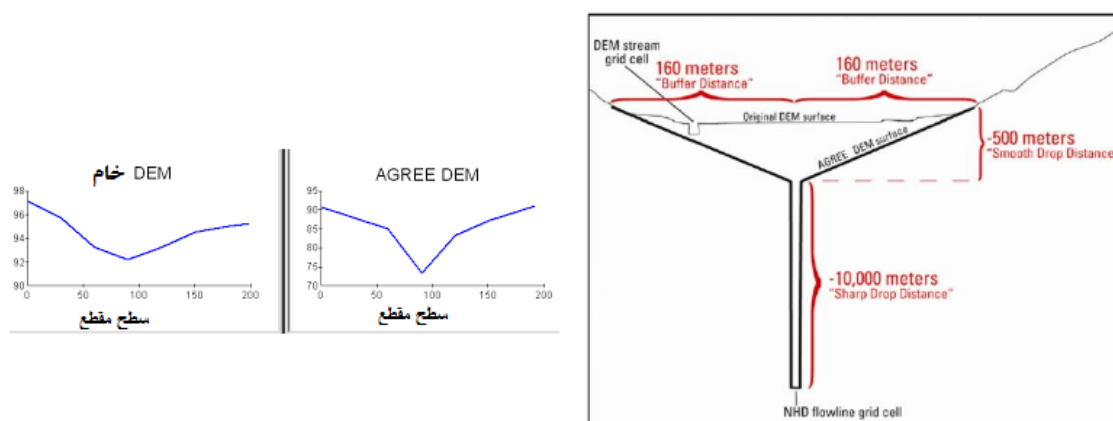
4 TARDEM in Hydrology.usu.edu. (2017).

1 Multiple Flow Direction

2 Drainage Enforcement

ArcHydro 10.2 بر اساس روش Agree سعی دارد بیشتر از اطلاعات آبراهه موجود استفاده کند، مثلاً با در نظر گرفتن افتادگی کند و تند در مقطع عرضی آبراهه با فاصله معین از خط آبراهه، به تصحیح و بهینه‌سازی DEM پردازد. الگوریتم Agree، سیستم تقویت سطحی مدل رقومی ارتفاعی است که سیستم سطح ارتفاع DEM را به صورت پوشش وکتوری تعدیل می‌کند. پوشش وکتوری می‌تواند آبراهه یا خط‌الرأس باشد (Hellweger, 1997)، پارامترهای این روش عبارت‌اند از: ۱- افت یا برآمدگی ارتفاع طبق خطوط وکتوری به مقدار معین (SmoothDist) ۲- دستور Buffer وکتوری ۳- اختصاص ارتفاع به سلول‌های داخلی حریم، بطوریکه امکان اتصال یک مسیر خط مستقیم از خط وکتور به ارتفاعی اصلی در بیرون از حریم وجود داشته باشد. ۴- افت یا برآمدگی ارتفاع طبق خطوط وکتوری به مقدار معین. روش آزمون و خطا برای تعیین اثر مطلوب تصحیح DEM خام (SharpDist) پیشنهاد شده است (شکل ۲). بهترین حالت وقتی به دست می‌آید که مساحت حاصل از جریان تجمعی^۱ با مساحت حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها هم‌خوانی مطلوبی داشته باشد.

ارتفاعی اصلاح‌شده قرار گیرد تا DEM سوخته به دست آید. الگوریتم سوزاندن سلول‌های رودخانه باعث می‌شود آب در رودخانه باقی‌ماند نه اینکه مجبور به جریان‌یابی به سوی پائین‌دست شود. این فرایند مانند حفر ترانشه آبراهه‌های موجود است. ۵- Pit ها با استفاده از دستور Fill Sink پر می‌شود. در این صورت، همه Pit ها که کمتر از پایین‌ترین همسایه مجاور هستند، پر خواهد شد تا به ارتفاع نقاط ریزش خودش برسد. ۶- جهت جریان بر اساس تندترین شیب نزولی و از دستور Flow Direction تعیین می‌شود. ۷- دستور Accumulated Flow؛ تعیین می‌کند چند سلول به یک سلول جریان می‌یابد. با این مشخصه می‌توان مرز حوضه و شبکه آبراهه را به‌طور خودکار ترسیم کرد (Cederstrand and Reen, 1996). سلول‌هایی با مقدار جریان تجمع یافته صفر با ارتفاعات توپوگرافی بالا به‌عنوان ستیغ و مرز حوضه هستند. با ابزار Stream and Watershed Delineation، مرز حوضه یا آبراهه از روی نقشه DEM بر اساس الگوریتم جهت هشت‌گانه بدون رقومی نمودن، امکان‌پذیر است (Olivera, 1977). در الگوریتم بکار رفته در نرم‌افزار ILwis 3.7 و بهبود DEM در



شکل ۲. پارامترهای الگوریتم AGREE (منبع Hellweger, 1997)

1 Flow Accumulation

رابطه (۱) $Load = Flow \times Concentration$

یا

$$L(mass/time) = Q(volume/time) \times C(mass/volume)$$

در نهایت با بکار بردن تابع Flow Acc^۶ به نقشه سلولی، بار غلظت متوسط سالانه در رودخانه میسیون را به طور پیوسته برآورد کرده‌اند. مون دی^۷ (۲۰۰۳) نیز فرآیند مشابه را با استفاده از ArcView انجام داد. استفان و همکاران^۸ (۲۰۰۷) روش SCS و جریان تجمعی وزنی را برای بررسی رواناب و کیفیت غیر نقطه‌ای متناظر با آن مورد استفاده قرار داده‌اند. آنها با استفاده از شاخص پتانسیل رواناب PRI نسبت پتانسیل رواناب غیر نقطه-ای را که از یک محدوده باز^۹ سرچشمه می‌گیرد، مورد بررسی قرار داده‌اند. مروید^{۱۰} (۲۰۱۸) از ابزار ArcHydro برای استخراج مرز حوضه و رودخانه حوضه سان موراکس از روی DEM استفاده کرد و الگوریتم Agree را با مقدار Sharp Drop Parameter = 10 برای تقویت DEM برگزید. وردین و گرینلی^{۱۰} (۲۰۰۳) با استفاده از تجمع جریان وزنی، رابطه (۲) را در سطح کشوری پیاده کردند:

$$Q_m = e^{-10.18} \times A^{1.00269} \times P^{1.86412} \times T^{-1.1579}$$

رابطه (۲)

Q_m : دبی میانگین سالانه (m³/sec). برای تعیین متوسط بارش و درجه حرارت بالای هر سلول از رابطه (۳) استفاده شده است:

$$US_Precip = Accum_Precip / (Trueflow_Acc + 1)$$

رابطه (۳)

اگرچه به خاطر تغییر دستی و مصنوعی DEM، روش های بالا مورد انتقاد است، اما در محیط ArcMap 10.4 سعی بر آن است که DEM هیدرولوژیک اصلاح شده در مراحل اولیه با در نظر گرفتن مسیر آبراهه و نقاط اضافی هدایت‌گر ایجاد شود (حصاری، ۱۳۹۲) و (ESRI-ArcMap 10.4). کالو و همکاران^۱ (۲۰۰۷) اذعان داشته‌اند که روش‌های سوزاندن آبراهه و بهبود DEM باعث افزایش شیب حوضه می‌شوند، بنابراین برای استخراج پارامترهای فیزیوگرافی حوضه، استفاده از DEM خام توصیه شده است.

یکی از موارد کاربرد DEM هیدرولوژیک، تجمعی کردن رواناب در آبراهه است. اگر وزن هر سلول بجای عدد ۱، دبی آن سلول باشد با تجمعی کردن دبی سلول‌ها، دبی در هر شاخه رودخانه به دست می‌آید. مراحل تهیه نقشه رواناب با GIS، در منابع حصاری و همکاران (۸۳) و میدمنت (۲۰۱۶) ارائه شده است. ملانکون و همکاران^۲ (۱۹۹۹)، تخمین‌هایی از بارهای غیرنقطه‌ای منبع آلودگی منتهی به منبع آب را با استفاده از کاربرد جریان تجمعی وزنی در منطقه‌ای به مساحت ۷۰۰۰ کیلومترمربع را در رودخانه میسیون تگزاس در محیط نرم‌افزاری GIS انجام داده‌اند. ایشان بر اساس نقشه کاربری اراضی، متوسط برآوردی غلظت EMC^۳ رسوب و آلوده‌کننده‌ها را برآورد کرده‌اند به طوری که با اعمال نقشه رستری غلظت در نقشه رواناب، نقشه بار غلظت سالانه به شرح (رابطه ۱) حاصل شد:

6 Stephen et al.

7 Potential Runoff Index

8 Landscape

9 Merwade et al.

10 Verdin, K. L., & Greenlee, S. K.

1 Callow et al.

2 Callow et al

3 Estimated Mean Concentration

4 Flow Accumulation

5 Munn D

کرخه، موقعیت استان‌ها، رودخانه‌های اصلی، ایستگاه‌های تحقیقاتی پروژه، چالش آب برای غذا و موقعیت سد کرخه نشان داده شده است. مقدار بارش درازمدت حوضه از حدود ۶۷۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر از سرشاخه‌ها، تا محل سد کرخه تغییر و متوسط بارش و انحراف معیار آن به ترتیب برابر ۴۵۲ و ۵۸ میلی‌متر است. بررسی ۵۴ ساله دبی ورودی در ایستگاه پای پل (محل سد کرخه) در دوره زمانی ۱۳۳۹ تا ۱۳۹۳ نشان می‌دهد حداکثر، متوسط و حداقل دبی با ضریب تغییرات ۰,۴۶ به ترتیب برابر ۳۹۸، ۱۷۰ و ۴۹ مترمکعب بر ثانیه است. ضریب تغییرات بالا، نشانگر نوسان بالای دبی است که این ضریب تغییرات برای مناطق خشک و نیمه خشک عددی منطقی است.

این تحقیق، شامل سه مرحله جداگانه است. ابتدا از مدل رقومی ارتفاعی خام، با استفاده از الگوریتم AGREE، مدل رقومی ارتفاعی هیدرولوژیک حوضه تهیه شد. برای ارزیابی این کار، مقادیر مساحت حاصل از مدل و مساحت زیرحوضه‌ها در ۵۳ ایستگاه هیدرومتری مقایسه شد. در مرحله دوم، نقشه رواناب توزیعی حوضه براساس مقادیر بارش، دبی مشاهده شده و گسترش یک رابطه تجربی رگراسیونی تهیه شد. نتایج رابطه تجربی پس از اعمال به رابطه توزیعی بارش با رواناب مشاهده شده هر زیرحوضه و اسنچی شد. در مرحله آخر با استفاده از نتایج دو نقشه در دو مرحله قبل و با استفاده از مدل D8 و دستورات Flow Direction و Flow Accumulation نقشه جریان تجمعی بدست آمد. برای ارزیابی نتایج این نقشه هم از مقادیر مشاهداتی دبی در ۵۳ ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است.

US_Precip: متوسط بارش سالانه بالادست هر سلول، Accum_Precip: بارش تجمعی شده، Trueflow_Acc: مقدار سلول‌های بالادست حاصل از تابع جریان تجمعی.

شربت‌زاده (۱۳۹۰) با استفاده از ۹ لایه، مدل رسوب پسیاک اصلاح شده در حوضه نازلو را تهیه کرده و با کمک Dem هیدرولوژیک و استفاده از تابع Flow Accumulation نسبت به تهیه نقشه پیوسته رسوب اقدام کرد. مرئید (۲۰۱۸) ابزار ArcHydro را یکی از مدل‌های پایگاه داده زمینی^۱ معرفی کرد و آن را برای ذخیره‌سازی داده‌های زمانی و مکانی هیدرولوژی و ساخت پایگاه داده زمینی در سطح کشوری به کار گرفت.

هدف از این تحقیق، کاربرد روش‌های اصلاح DEM خام حاصل از درون‌یابی، برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی هیدرولوژیک و استفاده از آن در پیاده‌سازی رواناب پیوسته رودخانه در این حوضه است.

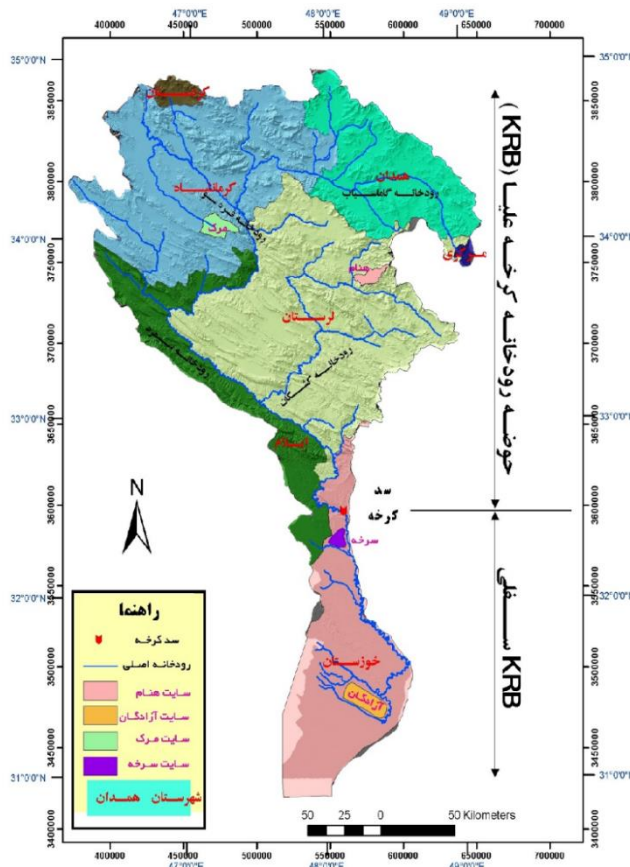
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و نحوه دسترسی به

منطقه

رودخانه کرخه، سومین رودخانه بزرگ ایران است و حوضه آبریز آن به وسعت حدود ۴۳ هزار کیلومترمربع شامل استان‌های همدان، کرمانشاه، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان می‌شود. سرشاخه‌های اصلی تشکیل‌دهنده رودخانه کرخه، رودخانه‌های سیمره، کشکان، قره‌سو، گاماسیاب و چرداول هستند. در شکل (۳)، موقعیت حوضه

بهباد حصارى و سجاد كريم زادگان



شکل ۳. موقعیت حوضه رودخانه کرخه (KRB)

۲-۲- تهیه DEM هیدرولوژیک:

DEM خام این حوضه، از تصاویر دریافتی سنجنده SRTM^۲ با اندازه سلولی ۰/۰۰۸۳ آرک (۹۰ متر) تهیه شد. در بررسی اولیه مشخص شد به خاطر وجود خطا، مسیر آبراهه‌ها و شبکه جریان تجمعی، هم-خوانی خوبی ندارند، لذا اقدام به تهیه DEM هیدرولوژیک از روی DEM خام این حوضه شد. برای رفع خطای DEM، با استفاده از الحاقیه ArcHydro 10.2 و با استفاده از الگوریتم Agree نسبت به پرکردن

گودی‌ها و حذف Peak ها اقدام و در هر بار نقشه جهت جریان و جریان تجمعی تهیه شد. برای این کار با آزمون و خطا، مقادیر مختلف تابع Reconditioning با سه پارامتر Buffe، Smooth Drop/Rise و Sharp Drop/Rise طی چندین بار تکرار اعمال و در هر مرحله با مقادیر مساحت و کتوری ۵۳ زیر حوضه کنترل شد.

۲-۳- تهیه نقشه هم جریان:

در این فرآیند، ابتدا نقشه بارندگی سالانه تهیه و پس از

1 Karkheh River Basin

2 Shuttle Radar Topographic Mission(Srtm.csi.cgiar.org , (2017)

از اولی کسر می‌شود. در روش دوم تجمعی کردن، یک‌بار فقط وزن‌های مثبت در نظر گرفته شده و مقادیر منفی به صفر تغییر داده می‌شود و یک‌بار قدر مطلق مقادیر منفی استفاده شده و مقادیر مثبت به صفر تغییر داده می‌شود و در نهایت نقشه دومی از اولی کسر می‌شود. روش دوم به خاطر دقت عددی بالا، نتایج بهتری دارد که در این تحقیق روش دوم مورد استفاده قرار گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

برنامه‌های بسیار متنوعی در سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی هیدرولوژیک وجود دارد که الگوریتم آن‌ها پیچیده نبوده و قابل بسط هستند. در حالت‌های مختلف آزمون و خطا برای استفاده از تابع Reconditioning بیش از ۲۰ حالت، مورد آزمون قرار گرفت و در هر مورد، فرآیند پر کردن گودی‌ها، فرآیند جهت جریان و سلول‌های بالادست هر سلول انجام شد. بهترین نتیجه در $\text{Sharp Drop}=0$ با خطای ۱۵۲۳ کیلومتر مربع یا ۳/۶ درصد حاصل شد (مساحت واقعی حوضه ۴۲۹۰۸ کیلومتر مربع است). در شکل (۴) DEM خام، DEM هیدرولوژیک، نقشه جهت جریان و نقشه تجمعی جریان کرخه ارائه شده است. با قرار دادن زیرحوضه ایستگاه‌های هیدرومتری به‌عنوان قالب کاری این طرح، ۵۳ زیرحوضه با استفاده از بانک اطلاعات تمام در سطح حوضه شناسایی و مرز هر زیر حوضه از روی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ تهیه و به محیط GIS انتقال یافت (شکل ۵). در شکل (۶) مقایسه مساحت زیرحوضه‌ها با مساحت واقعی وکتوری مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج

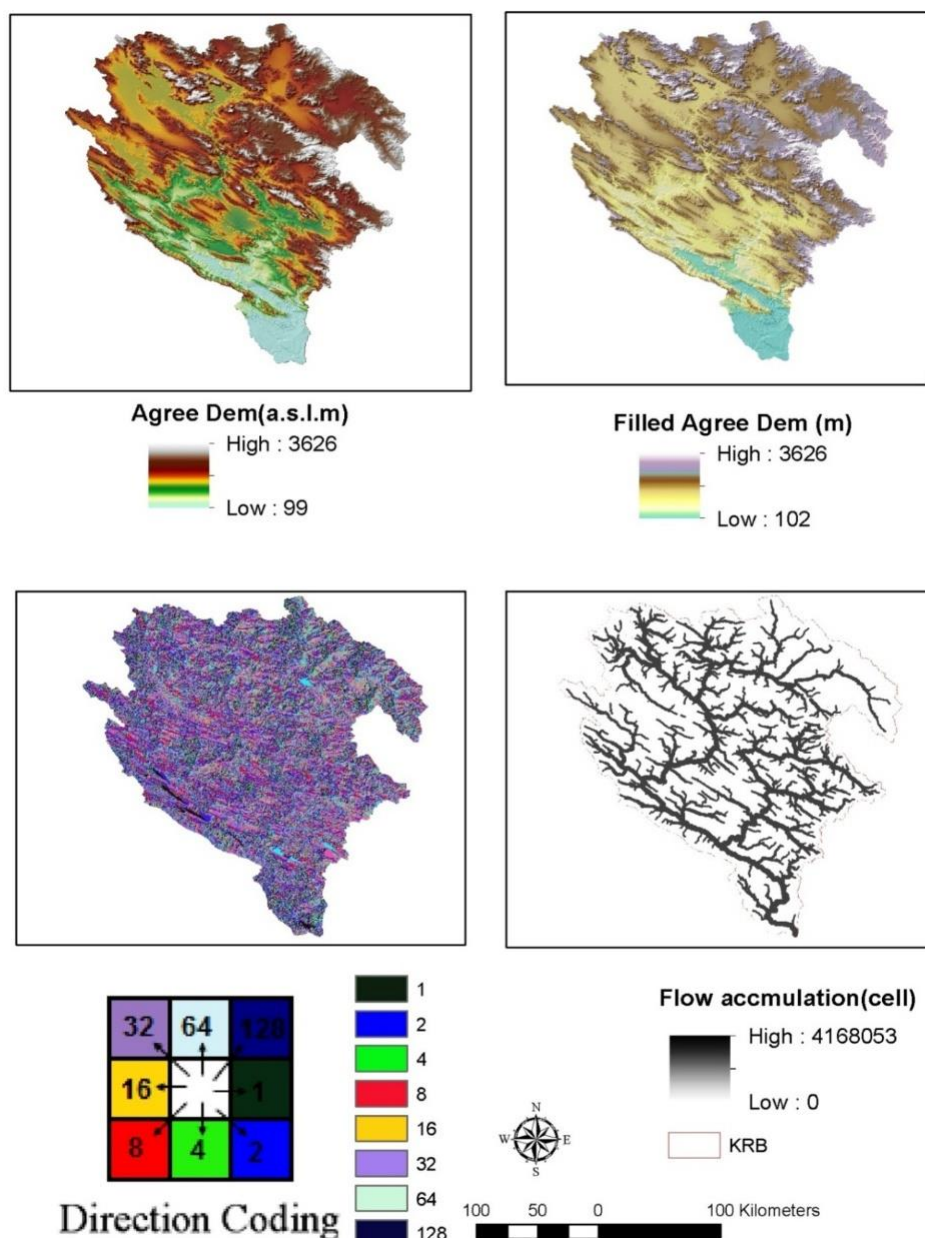
برآورد میانگین بارش هر حوضه، مقدار رواناب درازمدت هر زیرحوضه برحسب میلی‌متر نیز تعیین شد. سپس بین بارش و مقدار رواناب هر زیرحوضه رابطه بارش و رواناب حوضه برآزش داده شد. رابطه به‌دست‌آمده پس از کنترل صحت آن از نظر آماری به نقشه بارش اعمال و نقشه رواناب مورد انتظار به دست آمد. متوسط رواناب مورد انتظار هر زیر حوضه از نقشه مشاهداتی کم و به نقشه رواناب مورد انتظار توزیعی اضافه شد که نقشه اخیر رواناب واقعی نامیده خواهد شد. بدین ترتیب، رواناب هر حوضه با مقدار مشاهده شده واسنجی شد (حصاری و همکاران، ۱۳۸۵؛ حصاری، ۱۳۹۲، Reed, 1997; Reed et al., 1997)

۲-۴- تهیه نقشه پیوسته جریان رودخانه:

نقشه رواناب با استفاده از تابع "جریان تجمعی وزنی"^۱ در الحاقیه ArcHydro 10.2، بصورت تجمیعی تهیه شد. در مناطق خشک و حوضه‌هایی مثل کرخه که برداشت آب در دشت زیاد است، قسمتی از نقشه رواناب منفی خواهد شد که فرآیند تهیه نقشه دبی تجمعی متفاوت خواهد بود. منفی بودن دبی خالص بدین مفهوم است که در این مناطق نه تنها دبی تولید نمی‌شود بلکه این مقدار از آب‌های زیرزمینی یا بالادست تأمین می‌شود. به‌طور کلی دو روش عمده برای تجمیع نقشه‌هایی که سلول‌ها و وزن‌های منفی دارند وجود دارد. در روش اول، به همه مقادیر نقشه رواناب، عددی اضافه خواهد شد به‌گونه‌ای که همه اعداد غیرمنفی شوند. نقشه تجمعی جریان برای هر دو نقشه یکی با وزن‌های تعدیل شده و دیگری با وزن‌هایی با مقدار ثابت تهیه شده و دومی

داده‌های SRTM و ناپیوستگی آبراهه‌های ریز در لایه رودخانه کرخه باشد. هر انحراف از نیمساز نمودار نشان می‌دهد در کدام زیرحوضه، گسستگی آبراهه‌ها زیاد بوده و مدل نتوانسته شبکه آبراهه‌ها را درست استخراج^۲ کند.

نشان می‌دهد که ضریب همبستگی ۰/۹۹۹ و ضریب خط ۰/۹۷ است. این امر نشان می‌دهد که این تفاوت به مقادیر تجمعی جریان نیز منتقل خواهد شد و با یک تخمین کم^۱ در دبی تجمعی نیز مواجه خواهیم شد که علت آن می‌تواند خطای ذاتی نقاط ارتفاعی

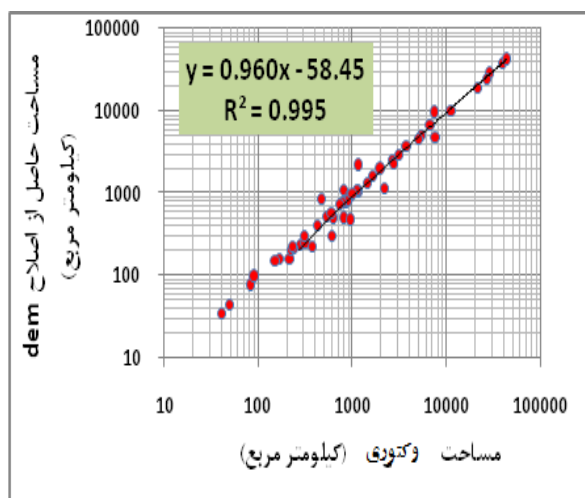


شکل ۴. فرآیند پردازش و اصلاح DEM و ساخت DEM هیدرولوژیک

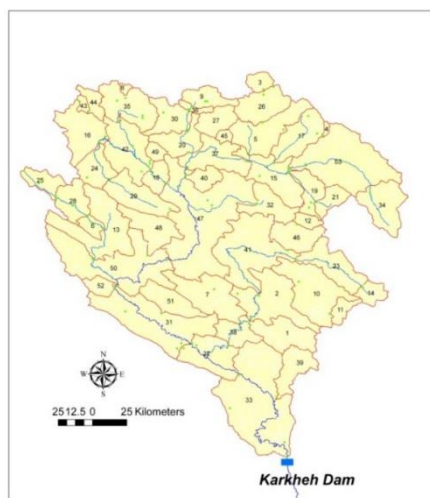
2 Drainage network delineation

1 Under steam

تهیه DEM هیدرولوژیک و کاربرد آن در تولید نقشه پیوسته جریان...



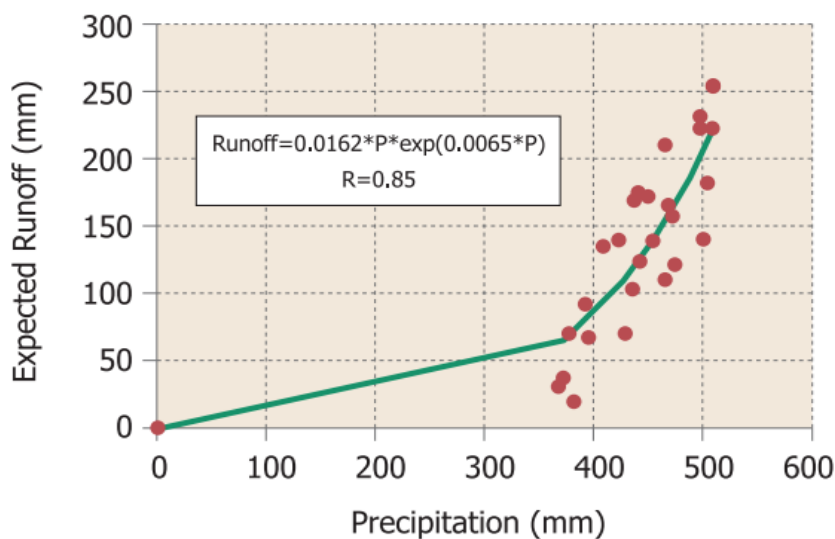
شکل ۶. مقایسه مساحت واقعی با مساحت حاصل از اصلاح DEM



شکل ۵. زیر حوضه های منتخب

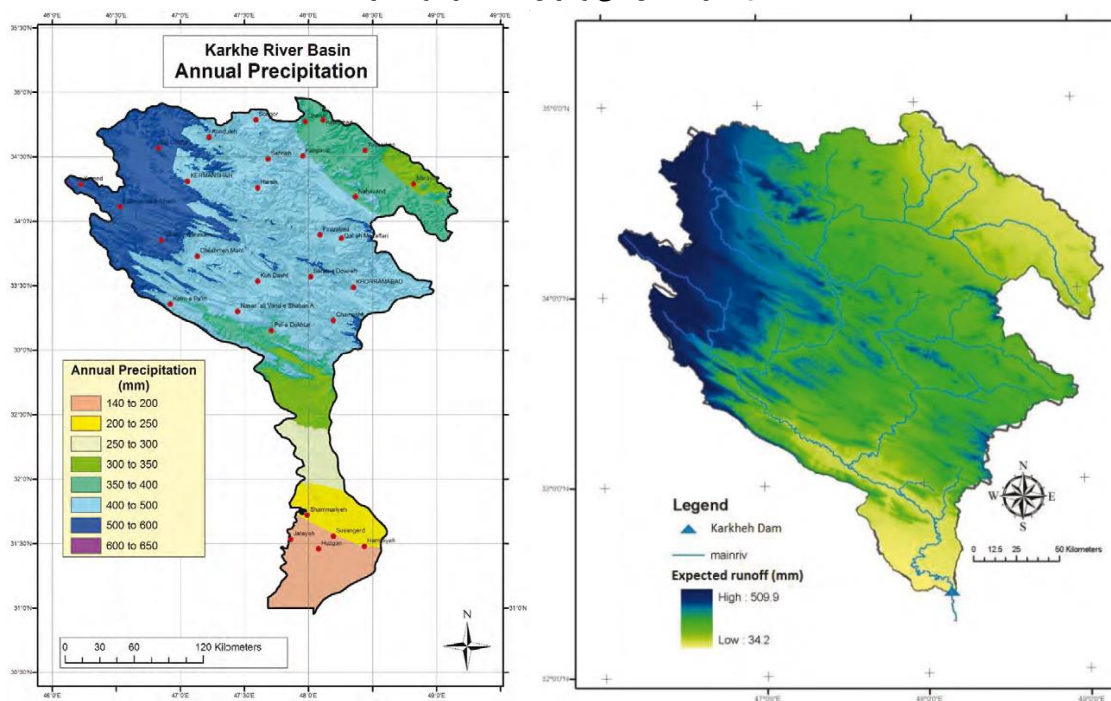
رودخانه کرخه ارائه شده است. با اعمال رابطه حاصل شده بارش-رواناب به نقشه توزیعی بارش، نقشه رواناب مورد انتظار حاصل شد که در شکل (۹) ارائه شده است. متوسط رواناب مورد انتظار هر زیرحوضه از نقشه مشاهداتی کم و به نقشه رواناب مورد انتظار توزیعی اضافه می شود که نقشه اخیر رواناب واقعی نامیده خواهد شد. با این روش، نقشه رواناب واقعی توزیعی که با مقدار رواناب خالص واسنجی شده بدست می آید که در شکل (۱۰) ارائه شده است.

پس از برآورد میانگین بارش هر حوضه، مقدار رواناب درازمدت هر زیرحوضه برحسب میلی متر تعیین شد. از روی این مقادیر نقشه رواناب خالص، مشاهداتی به دست می آید. با رسم میانگین بارندگی و رواناب خالص هر زیر حوضه، رابطه بارش و رواناب حاصل می شود. در شکل (۷)، رابطه بین بارش و رواناب درازمدت ۳۰ ساله این حوضه ارائه شده است. رابطه به دست آمده در سطح ۰.۱٪ معنی دار است. در شکل (۸)، نقشه بارندگی سالانه بلندمدت حوضه



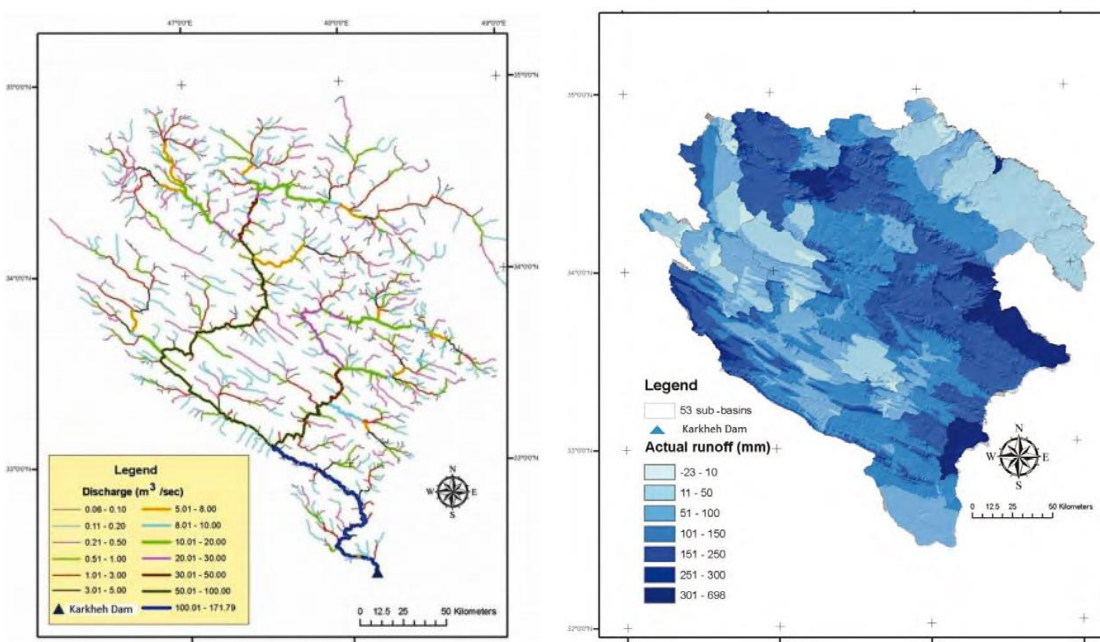
بهباد حصارى و سجاد كريم زادگان

شكل ۷. رابطه بين دبی و بارش سالانه در حوضه كرخه



شكل ۹. نقشه رواناب مورد انتظار حوضه

شكل ۸. نقشه بارندگی سالانه حوضه



شكل ۱۱. نقشه تجمعی و پیوسته دبی جریان سالانه كرخه

شكل ۱۰. نقشه رواناب واقعی حوضه

تعدیل بر حسب مترمکعب بر ثانیه تبدیل شد و بدین ترتیب، نقشه پیوسته جریان حاصل شد که نتایج در

نقشه رواناب واقعی با استفاده از تابع "جریان تجمعی وزنی" به صورت تجمعی تهیه شد و با اعمال ضریب

جریان، بین ۰/۲۸٪ تا ۳/۱٪ بوده است که حاکی از نتایج خوب و همخوانی نتایج است. احتمال وجود خطا در زیرحوضه‌هایی که برداشت نامتعارف دارند و یا از نظر هیدرولوژیک نرمال نیستند و یا در آنها تغییرات زیاد فعالیت های انسانی باشد وجود خواهد داشت. یکی از خطای اصلی به دلیل پیوسته نبودن آبراه‌ها و خطای جزئی از زمین مینا کردن است که در ساختار داده‌های سنجنده STRM وجود دارد. هر خطای مساحت تجمعی به دبی نیز منتقل خواهد شد. توزیع رواناب نیز می‌تواند با استفاده از روش‌های بهتری انجام گیرد و خطاهای جزئی مرتفع شود. دقت این روش نسبت به مدل‌های رگرسیونی رایج به مراتب بالاست. لازم است پس از متراکم شدن شبکه ایستگاه‌ها و تکمیل تر شدن داده- برداری در ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی نقشه هم جریان با قدرت تفکیک‌پذیری بالا تهیه و روش‌های فوق و مدل‌های چندگانه جهت جریان مورد آزمون قرار گیرد. می‌توان نتایج را در هر مرحله بررسی کرد و DEM های با دقت بالا را مورد استفاده قرار داد. DEM اصلاح‌شده و هیدرولوژیک حوضه، آماده استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی سلولی است که قبلاً به چند مورد از موارد کاربرد آن اشاره شده است. آماده‌سازی DEM هیدرولوژیک بسیار وقت‌گیر است و توصیه می‌شود از داده‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ بافاصله خطوط ۲۰ متر و ۱۰ متر برای تولید DEM هیدرولوژیک استفاده و نتایج، مورد مقایسه قرار گیرد. همچنین بجای مدل D8، مدل‌های چندگانه و (D بی‌نهایت) نیز مورد استفاده و مقایسه قرار گیرد. نتایج کلی، حاکی است که از این روش می‌توان با دقت قابل قبولی، برای برآورد آبدهی سطحی رودخانه‌های بدون داده، بهره جست. نقشه تجمعی جریان، توزیع مکانی جریان در حوضه را

شکل (۱۱) ارائه شده است. نقشه پیوسته جریان با به‌کارگیری روش دوم تجمعی کردن، تهیه شده است. در این روش، هر خطای مرحله اول (خطای مساحت تجمعی DEM هیدرولوژیک) به نقشه دبی نیز منتقل می‌شود. مقادیر دبی در ۵۳ ایستگاه با نتایج دبی نقشه تجمعی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد در حوضه کرخه این خطا کمتر از ۰/۲۸٪ تا ۳/۱٪ بوده است. دقت این روش نسبت به مدل‌های رگرسیونی رایج، به مراتب بالاست. مقایسه دبی‌ها نشان می‌دهد در نقشه‌های تجمعی رواناب، برداشت‌ها در مسیر آبراه‌ها به‌طور مناسبی شبیه‌سازی و برآورد می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، نحوه پیاده‌سازی و کاربرد روش‌های اصلاح DEM و تهیه DEM هیدرولوژیک با استفاده از الحاقیه ArcHydro10.2 در ArcGIS 10.4 بررسی شده و یکی از کاربردهای آن در برآورد رواناب پیوسته رودخانه کرخه مورد مطالعه قرار گرفت. اگرچه اطلاعات آبدهی، در محل ایستگاه‌های هیدرومتری و خروجی زیرحوضه‌ها، به‌صورت نقطه‌ای قابل‌دسترس است، پس از تهیه نقشه رواناب و تجمعی کردن، مقادیر آبدهی به‌صورت پیوسته و در هر نقطه از مسیر و سرشاخه‌های رودخانه، حاصل می‌شود. در نقشه‌های مذکور، برداشت‌ها در مسیر آبراه‌ها به‌طور مناسبی شبیه‌سازی می‌شود. نتایج کلی این تحقیق، حاکی از این است که دبی خروجی حوضه کرخه در دوره دراز مدت ۳۰ ساله، برابر ۱۷۰ مترمکعب بر ثانیه است، درحالی‌که در این روش مقدار ۱۷۱/۸ مترمکعب بر ثانیه در خروجی حاصل شده است. در ۵۳ ایستگاه مورد استفاده نیز اختلاف دبی مشاهداتی درازمدت و دبی نقشه تجمعی

for Research in Water Resources, University of Texas at Austin.

Callow, J., Van Niel, K. & Boggs, G., 2007, **How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis.**

Journal of Hydrology, 332(1-2), pp.30-39.

Cedrestrand, J.R. & Reen, A., 1996, **Watershed boundaries and DEM of Oklahoma – AWRE –** [Http://www.awra.org](http://www.awra.org).

ESRI, 2016, **ArcMap 10.4 Help**, ESRI, INC, Available online at: [http://doc.arcgis.com/en/arcgis-](http://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/analyze/create-watersheds.htm)

[online/analyze/create-watersheds.htm](http://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/analyze/create-watersheds.htm), [Accessed 25, April 2016].

Hellweger, F., 1997, **Agree-DEM surface reconditioning system**, Center for Research in Water Resources

Hydrology.usu.edu, 2017, **TARDEM, A suite of programs for the Analysis of Digital Elevation Data.** [online] Available at:

<http://hydrology.usu.edu/tardem/tardem4.0/> [Accessed 17 Jul. 2017].

Maidment, D.R., 1996, **GIS and hydrologic modeling-an assessment of progress**, In Third International Conference on GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico.

Melancon, P.A., Maidment, D.R. & Barrett, M.E., 1999, **A GIS based watershed analysis system for Tillamook Bay**, Oregon (Doctoral dissertation, Center for Research in Water

نشان داده و برآورد خوبی از آبدهی در آبراهه های اصلی و فرعی نشان می دهد. برای دوره های تر و خشک یا هر سال مشخص می بایست روابط بارش رواناب مستقلاً تهیه و مراحل کار تکرار شود.

۵- منابع

حصاری ب., ۱۳۹۲, **بررسی اثرات هیدرولوژیکی بالادستی و پایین دستی توسعه آبیاری تکمیلی مناطق دیم در حوضه کرخه**, پایان نامه دکتری، دانشگاه اهواز، دانشکده مهندسی آب، گروه هیدرولوژی، ۲۲۲ ص.

حصاری ب., ک. خلیلی، ا. قهرمانی، ع. حیدری، ر. غنی پور، ۱۳۸۳, **تعیین بیلان آبی استان آذربایجان غربی با استفاده از تکنیک GIS**, سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی و سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان، ۴ جلد، شماره ۴۰۶/۲۲۲۶.

حصاری ب., ک. خلیلی، ا. قهرمانی، ۱۳۸۵, **تهیه نقشه هم جریان استان آذربایجان غربی با استفاده از GIS**, اولین کنفرانس منابع آب ایران، دانشگاه تهران، تهران.

شربت زاده و., ۱۳۹۰, **برآورد فرسایش و رسوب زایی حوضه آبریز نازلو چای به روش MPSIAC در GIS**, پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۰ ص.

متکان ع. ا. ع. ر. شکیب، د. عاشور لو، ۱۳۸۶, **مقایسه تطبیقی روش های حذف خطاهای مدل ارتفاعی رقومی (DEM) نمونه موردی، حوضه آبریز اکباتان**, مجله علوم محیط زیستی، سال چهارم، شماره سوم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

Akmansoy, S. & McKinney, D.C., 1998, **Aral Sea water rights**, Doctoral dissertation, Center

- water quality in Gorgia**, Proceedings of the 2007 Georgia Water Resources Conference, University of Georgia. Georgia Institute of Technology.
- Srtm.csi.cgiar.org., 2017, **CGIAR-CSI SRTM 90m DEM Digital Elevation Database**, [Online] Available at: http://srtm.csi.cgiar.org/SRTM_FAQ.asp [Accessed 17 Jul. 2017].
- Tarboton, D.G., 1989, **The analysis of river basins and channel networks using digital terrain data**, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Tarboton, D.G., 1997, **A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models**, Water resources research, 33(2), pp.309-319.
- Tarboton, D.G., Bras, R.L. & Rodriguez-Iturbe, I., 1991, **On the extraction of channel networks from digital elevation data**, Hydrological processes, 5(1), pp.81-100.
- Verdin, K.L. & Greenlee, S.K., 2003, July, **Continuous Basin Characterization using EDNA**, In 23rd Annual ESRI International User Conference.
- Wilson, J.P., Mitasova, H. & Wright, D.J., 2000, **Water resource applications of geographic information systems**, Urisa Journal, 12(2), pp.61-79.
- Resources, **University of Texas** at Austin).
- Merwade, V., 2018, **Building ArcHydro using National Hydrography Dataset**, [online] Available at: <http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/tutorial.html>, Accessed 05, April 2016.
- Munn D., 2003, **Non-point Source Pollution: Prediction and Analysis in ArcView 3.0**, Texas A&M University - Department of Civil Engineering. Available online at: <https://ceprofs.civil.tamu.edu/folivera/TxAgGIS/Spring2003/Munn/Munn.htm>, Accessed 05, April 2016.
- Olivera, F. & Maidment, D.R., 1996, **Runoff computation using spatially distributed terrain parameters**. In North American Water and Environment Congress & Destructive Water (pp. 3212-3217). ASCE.
- Reed, S., Maidment, D. & Patoux, J., 1994, **Spatial Water Balance in Texas**, Texas Water Resources Institute. Center for Research in Water Resources University of Texas , Austin.
- Resources.arcgis.com, 2017, **Surface Water** | ArcGIS Resource Center, [Online] Available at: <http://resources.arcgis.com/en/communities/hydro/01vn00000010000000.htm> [Accessed 5 Aug. 2017].
- Stephen, M., Carpenedo, Kramer, E., Lee, J. & Samples, K., 2007, **Using GIS to model the effects of potential wetland mitigation sites on**



سنجش از دور , GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷
Vol.10, No.4, Winter 2019 Iranian Remote Sensing & GIS
85-98

Preparing hydrologic DEM and its application to produce a accumulated flow map (A Case study at Upstream of Karkheh dam)

Hessari B.¹ and Karimzadgan S.²

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

Abstract

Digital elevation model (DEM) reconditioning methods are being used to improve its quality to be used in simulation and cellular hydrological modeling. In this paper, methods of improving DEM and creating "Hydrologic DEM" with using the ArcHydro10.2 extension were studied and also evaluated in 53 subbasins of Karkheh river basin (KRB) and one of its applications in "accumulation runoff map" was implemented. Streamflow information is available at hydrometric stations as points but for determining the amount of river discharge continually at any point along the river and branches, it is needed to accumulate the runoff map. The 8 direction method (D8) is the basic model for river network delineation from DEM accumulated cells. In this algorithm, the flow of each cell pours to one of the eight adjacent cells in the "hydrologic DEM". In hydrologic DEM the accumulated cells in the river line forward to the downstream increase continuously. With "Agree algorithm" and with trial and error the DEM improved and the upstream area of accumulation cells, have been compared with a vector area in each subbasin which correlation coefficient was 0.9975. After preparing runoff map of the basin, accumulation flow (accumulated runoff map) using a weighted cumulative flow function was created with 200m cell size then the continuous flow map was presented. The results indicate that the error between estimated discharge from accumulated flow map with observed discharge in 53 subbasins varies between 0.28 to 3.1 percent.

Keywords: cellular hydrology, hydrological DEM, runoff map, continuous flow map, Karkheh river basin.