

مقدمه

در مطالعات فیزیوگرافی، هیدرولوژی و منابع آب، محاسبه پارامترهای شبکه آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده، به نحوی که بسیاری از محاسبات مربوط به رواناب، رسوب، فرسایش و غیره بر پایه محاسبه پارامترهای شبکه آبراهه‌ای حوضه انجام می‌شود. عامل‌هایی نظیر طول، شیب، تراکم، زمان تمرکز، رتبه بندی، تنها بخشی از پارامترهای اولیه شبکه‌های آبراهه‌ای مورد نیاز این گونه مطالعات بوده و از سوی دیگر، محاسبه و تجزیه و تحلیل صحیح این پارامترها مبتنی بر وجود شبکه آبراهه‌ای پیوسته و منطبق با الگوی جهت جریان آب در حوزه آبخیز می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که شبکه‌های آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز اغلب دارای اشکالاتی نظیر ناپیوستگی و عدم تطابق کامل با الگوی جریان آب (در مقیاس سلول^۴) بوده که این امر، روندیابی مسیر جریان آب‌های سطحی را در مدل‌های رستری با مشکل مواجه می‌سازد (شکل (۱)). همانطور که در شکل نشان داده شده است، شبکه آبراهه‌ای رقومی منطقه از پیوستگی برخوردار نبوده و این امر در مناطق کم شیب بیشتر مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، جهت داده‌های رقومی در این شبکه‌ها یا به عبارت بهتر جهت جریان آب در آن‌ها در بسیاری از موارد ناصحیح بوده و با الگوی جریان آب در حوضه منطبق نمی‌باشد. به منظور اصلاح یا ساخت شبکه‌های آبراهه‌ای به صورت خودکار، تاکنون، تلاش‌های ارزشمندی صورت گرفته که به طور عمده به تولید شبکه‌های آبراهه‌ای مصنوعی حوزه‌های آبخیز با بهره‌گیری از لایه‌های مکانی جهت و تجمع جریان آب^۵ و همچنین تعریف یک حد آستانه^۶ از سوی کاربر در محیط GIS همراه بوده که در عین حالی که به تصحیح جنبه‌هایی از اشکالات فوق‌الذکر می‌پردازد ولی از سوی دیگر موجب ایجاد برخی اشکالات و محدودیت‌های دیگر گردیده که کاربرد این شبکه‌های مصنوعی را با محدودیت مواجه می‌نماید. در این راستا به بررسی اجمالی برخی از نتایج عرضه شده در تحقیقات مرتبط و همچنین روش‌های بکار گرفته شده در مدل‌های هیدرولوژیکی در تولید شبکه‌های آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز پرداخته می‌شود.

جنسون و دومینکو [۱۳]، تراپوتون و همکاران [۱۷] اظهار

۴- سلول به کوچکترین المان یک نقشه رستری گفته می‌شود

5- Flow Direction & Flow Accumulation Maps

6- Threshold

ترمیم شبکه‌های آبراهه‌ای رقومی گسسته با توسعه یک مدل شی گرا در محیط GIS

سید محمود رضا طباطبائی^۱، علیرضا مجیدی^۲ و محمد روغنی^۳
تاریخ دریافت: ۸/۵/۸۷ تاریخ پذیرش: ۱۲/۹/۸۷

چکیده

در طرح‌های مطالعاتی یا تحقیقاتی مرتبط با حوزه‌های آبخیز، داده‌های شبکه آبراهه‌ای، از جمله مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده در محاسبه پارامترهای نظیر پارامترهای فیزیکی حوزه‌های آبخیز، رواناب، رسوب، فرسایش و غیره می‌باشند. این داده‌ها که در مقیاس و قالب‌های مختلف به شکل رقومی تهیه می‌شوند به طور عمده دارای اشکالاتی در ساختار توپولوژی خود بوده که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ناپیوستگی خطوط شبکه آبراهه‌ای و عدم انطباق صحیح الگوی جهت جریان آب در حوزه با جهت رقومی در این شبکه‌ها اشاره نمود. این نقائص، مشکلات عدیده‌ای را در محاسبه پارامترهای حوزه‌های آبخیز ایجاد نموده و این در حالی است که امکانات تعبیه شده در نرم افزارهای کنونی GIS نیز دارای محدودیت‌های اساسی در رفع آن‌ها می‌باشند. در پژوهش حاضر، مدل جدیدی در محیط GIS طراحی و ساخته شده است که علاوه بر رفع مشکلات نرم افزارهای GIS در تولید شبکه‌های آبراهه‌ای مصنوعی (از نظر تعداد، موقعیت شاخه‌ها و تعریف حد آستانه)، قادر است شبکه‌های آبراهه‌ای گسسته رقومی را به شبکه‌های پیوسته تبدیل نموده به نحوی که تعداد و موقعیت آبراهه‌های تولیدی با تعداد و موقعیت شاخه‌ها در شبکه آبراهه‌ای اولیه برابر و جهت جریان آب در آن‌ها منطبق با الگوی جریان آب حوزه آبخیز اصلاح شده است. نتایج آماری گرفته شده از پژوهش، دقت زیاد نتایج مدل را نشان می‌دهد.

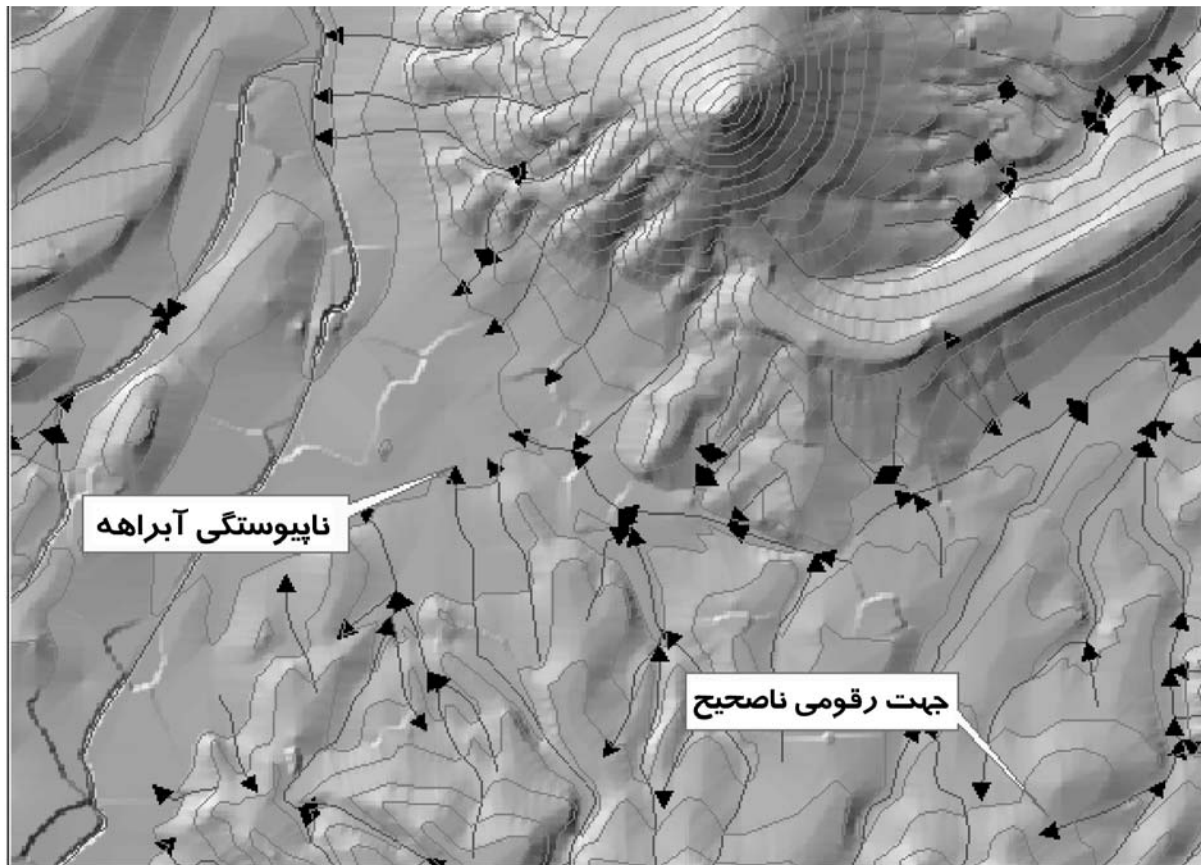
واژه‌های کلیدی: آبراهه، جهت جریان، ناپیوستگی،

DE, Avenue, ArcObjects

۱- نویسنده مسئول و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری tabal345@hotmail.com; tabatabaei@scwmri.ac.ir

۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری majidi_a@scwmri.ac.ir

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری moroghani@gmail.com



شکل ۱- نایبوستگی و جهت رقومی ناصحیح آبراهه ها در شبکه آبراهه ای حوزه های آبخیز مورد مطالعه

می گردد. ساندرس [۱۶] در پژوهشی دیگر، با کاهش ارتفاع سلول های DEM در مسیر شبکه آبراهه ای، لایه جهت جریان آب را در محل شبکه آبراهه ای رقومی حوضه اصلاح نموده به نحوی که جهت جریان آب در سلول های این لایه با مسیر شبکه آبراهه ای رقومی حوضه انطباق می یابد. گای و همکاران [۵] در روشی مشابه با روش ساندرس [۱۶] و تحت عنوان REA^۳ با تحمیل عوارض جاده ای، پل ها بر روی لایه DEM نسبت به اصلاح جهت جریان سطحی^۴ اقدام نمودند. وینشل و همکاران [۱۸] در مدل ArcSWAT^۵، روشی را تعریف نموده اند که با تحمیل لایه مکانی شبکه آبراهه ای رقومی به DEM، ارتفاع سلول ها، در مناطقی به غیر از محل شبکه آبراهه ای افزایش چشمگیری یافته و در نتیجه آن، امکان تولید شبکه های آبراهه ای مصنوعی و ترسیم مرز زیر حوزه های آبخیز با مشخص نمودن یک حد آستانه ای فراهم می گردد. از جمله ویژگی های تحقیقات یاد شده، تاکید آن ها در انطباق دادن لایه الگوی جریان آب با شبکه آبراهه ای رقومی بوده که همانطور که گفته شد با کاهش ارتفاع لایه DEM در مسیر شبکه آبراهه ای رقومی انجام می گردد. این مسئله در مناطق مسطح^۱ که لایه DEM از دقت ارتفاعی کمتری برخوردار می باشد از اهمیت

می دارند که با تعریف یک حد آستانه بر روی لایه تجمع جریان، می توان آن دسته از سلول هایی که دارای تجمع زیاد جریان هستند را به عنوان سلول های شبکه آبراهه ای در نظر گرفت. همچنین در ارتباط با تهیه نقشه های جهت جریان آب، جنسون و دومینکو [۱۳]، گرین لی [۴] از روش معروف به D8 استفاده می نمایند. در این روش برای تهیه نقشه جهت جریان آب، با در نظر گرفتن ارتفاع هر سلول و مقایسه آن با ارتفاع هشت سلول همسایه و با توجه به اینکه جریان آب به دلیل اختلاف ارتفاع آب به یکی از سلول های مجاور یا همسایه حرکت می کند الگوی جهت جریان محاسبه می گردد. در نرم افزارهای GIS از این لایه در استخراج شبکه های آبراهه ای مصنوعی، ترسیم مرز هیدرولوژیکی حوزه های آبخیز و دیگر موارد مشابه استفاده می شود. هل و گر [۶] روشی را بر اساس اصول AML^۱ طراحی و به صورت یک برنامه رایانه ای قابل اجرا در محیط GIS تحت عنوان ArcHydro ارائه نموده، که در آن، به منظور ترسیم اتوماتیک مرز زیر حوضه ها، تولید شبکه آبراهه ای مصنوعی و غیره، ارتفاع سلول های مدل ارتفاعی رقومی زمین^۲ در محل شبکه آبراهه ای رقومی حوضه کاهش یافته و در مراحل بعد با تعیین یک حد آستانه با استفاده از لایه های جهت و تجمع جریان آب، شبکه آبراهه ای مصنوعی جدیدی منطبق با الگوی جریان آب حوضه تولید

3- Road Enforcement Algorithm

4- Overland Flow

5- Soil and Water Assessment Tools

1- Arc/Info Macro Language

2- Digital Elevation Model (DEM)

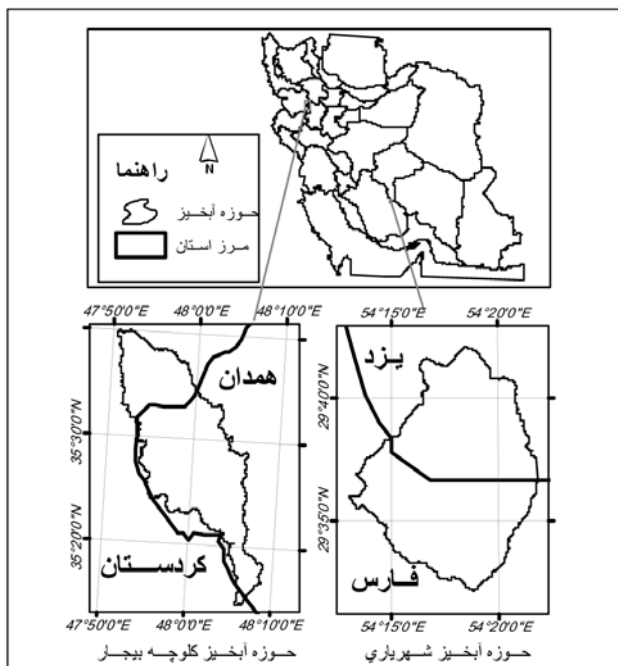
بروز گودال‌های DEM می‌داند. با توجه به آنچه گفته شد، هدف از اجرای این پژوهش، طراحی و پیاده سازی یک الگوریتم جدید در محیط GIS بوده که شبکه‌های آبراهه‌ای ناپیوسته و ناقص را با توجه به ارتفاع و الگوی جریان آب حوزه آبخیز ترمیم، و جهت آن‌ها را متناسب با الگوی جریان آب در حوضه اصلاح نماید. در این راستا، به منظور افزایش کارایی نرم افزار در تولید آبراهه‌های جدید منطبق با آبراهه‌های رقومی (به لحاظ موقعیت و تعداد)، از روش DE که شرح آن گذشت استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوزه‌های آبخیز شهریاری و کلوچه بیجار انجام شده است. حوزه آبخیز شهریاری با مساحت حدود ۱۵/۰۰۰ هکتار در فاصله ۳۸ کیلومتری جنوب شهرستان هرات در استان یزد، در مختصات (۵۴°، ۱۳') تا (۵۴°، ۲۲') طول جغرافیایی شرقی و (۲۹°، ۳۲') تا (۲۹°، ۴۲') عرض جغرافیایی شمالی و حوزه آبخیز کلوچه بیجار با مساحت تقریبی ۰۰۰.۵۰ هکتار در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بیجار در مختصات (۴۸°، ۱۰') تا (۴۷°، ۵۰') طول جغرافیایی شرقی و (۳۵° و ۴۰') تا (۳۵° و ۱۵') عرض شمالی در محدوده مرزهای استان‌های همدان و کردستان واقع شده است (شکل ۲).

شکل ۲- موقعیت حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه



مواد

در این پژوهش، از داده‌های رقومی ارتفاعی (خطوط توپوگرافی و نقاط قله کوه‌ها)، شبکه‌های آبراهه‌ای در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش و برنامه نویسی شی گرا^۱ در محیط GIS

بیشتری برخوردار است. در پژوهشی دیگر، طباطبائی و قدوسی [۱] با طراحی و ساخت یک مدل شی گرا در محیط GIS، با محاسبه ارتفاع سرشاخه‌های آبراهه‌ها و استفاده از نقشه‌های جهت جریان، توانستند شبکه‌های آبراهه‌ای مصنوعی حوزه‌های آبخیز را به صورت خودکار تولید نمایند. مورفی و همکاران [۱۵] در رابطه با تاثیر کیفیت و قدرت تفکیک مکانی DEM در استخراج شبکه‌های آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز، پژوهشی را بر روی مدل‌های تولیدی حاصل از روش‌های مرسوم فتوگرامتری با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و روش Lidar^۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر انجام داده و پس از انجام مقایسات بین شبکه‌های آبراهه‌ای تولید شده از مدل‌های مذکور با شبکه آبراهه‌ای حاصل از برداشت و مشاهدات زمینی نتیجه‌گیری نمودند که شبکه آبراهه‌ای حاصل از روش Lidar دقیق‌تر بوده و انطباق بیشتری را با شبکه آبراهه‌ای واقعی در مقایسه با شبکه آبراهه‌ای منتج از DEM به روش فتوگرامتری نشان می‌دهد. این امر نشان دهنده تاثیر مثبت بکارگیری هرچه بیشتر عوارض ارتفاعی در ساخت DEM و در نتیجه آن افزایش کیفیت و دقت شبکه‌های آبراهه‌ای استخراج شده از آن‌ها دارد. طباطبائی و همکاران [۲] در پژوهشی مشابه، مدلی را در GIS طراحی نموده‌اند که می‌تواند بدون صرف هزینه و با سرعت زیاد، نقاط ارتفاعی جدیدی را در مسیرهای مورد نظر کاربر (مثلاً رودخانه، آبراه و یا هر نوع عارضه خطی) در مناطق مسطح یا دیگر مناطق نقشه توپوگرافی با فواصل دلخواه و در محیط برداری تولید نماید. لایه نقاط ارتفاعی تولید شده به وسیله مدل، سپس می‌تواند به همراه نقشه توپوگرافی در تولید DEM دقیق‌تر مورد استفاده قرار گیرد.

از آنجا که مبنای اصلی محاسبات شبکه‌های آبراهه‌ای در حوزه‌های آبخیز بر مدل DEM استوار می‌باشد لذا توجه به رفع خطاهای آن نظیر خطای گودال^۳ نیز حائز اهمیت بوده و به این منظور الگوریتم‌های متنوعی تاکنون ارائه شده است که در بین آن‌ها الگوریتم DE^۴ که توسط هاجینسون [۸-۱۲] ارائه گردیده بسیار مشهور می‌باشد. این الگوریتم تحت برنامه ANUDEM ارائه گردیده و هم اکنون مبنای کار نرم افزار ArcGIS در درون‌یابی نقشه‌های کنتور و تولید DEM هیدرولوژیکی می‌باشد. گودچیلد و مارک [۳] معتقدند که بوسیله الگوریتم DE سلول‌های چاله DEM، که در مسیر شبکه آبراهه‌ای رقومی وجود داشته و قبلاً^۵ به عنوان چاله‌های طبیعی معرفی نشده‌اند حذف می‌گردند (ارتفاع آن‌ها تصحیح می‌گردد). مارک [۱۴] بزرگ تعریف نمودن اندازه سلول‌ها و گرد نمودن مقادیر ارتفاعی DEM از قالب اعشاری (Float) به قالب عدد صحیح (Integer) را از دیگر علل شایع در

1- Flat

۲- روشی در سنجش از دور که بوسیله آن، ارتفاع نقاط زیادی از سطح زمین به همراه موقعیت آن‌ها برداشت می‌گردد.

3- Pit or Sink

4- Drainage Enforcement

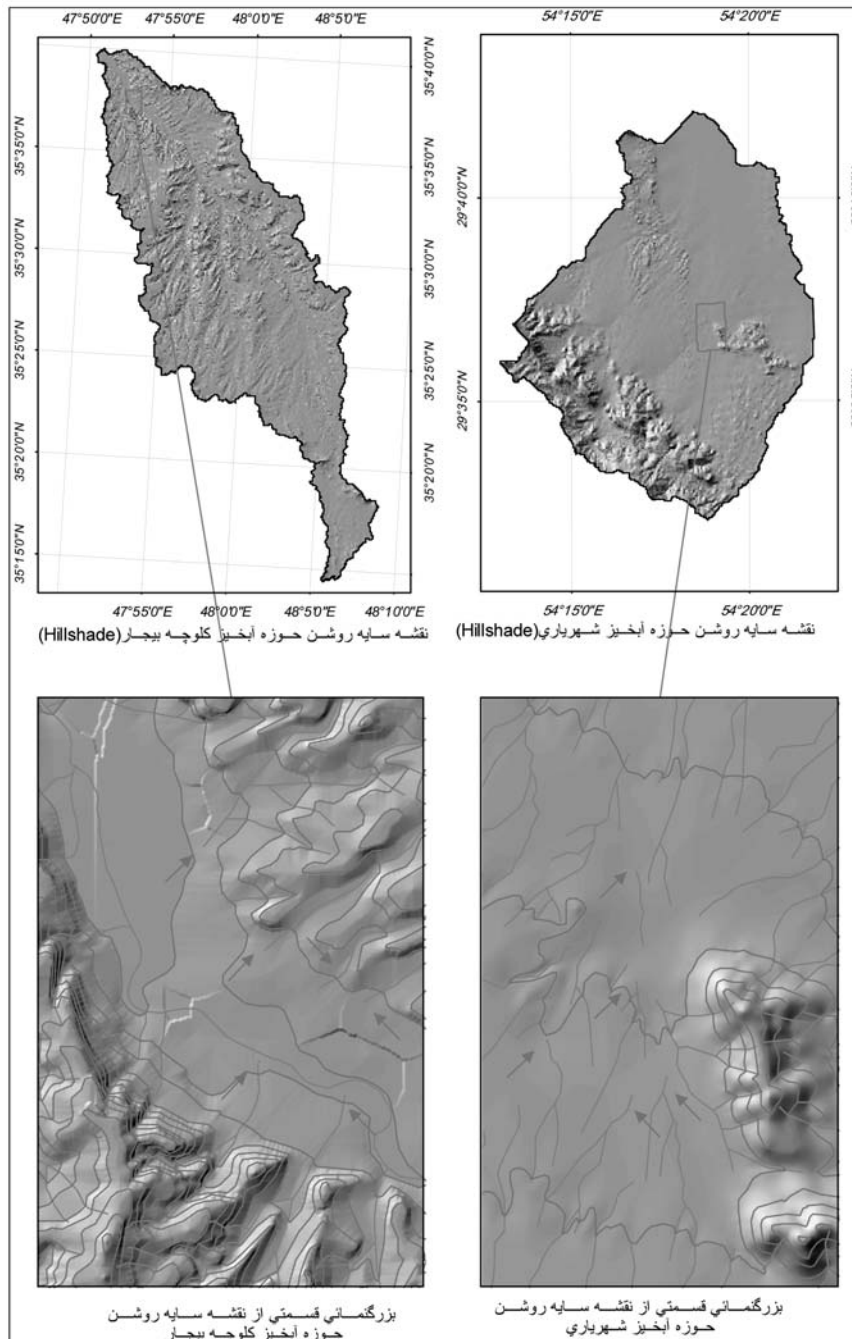
(توابع و کلاس‌های نرم افزارهای ArcGIS، ArcView3.2)^۲ استفاده شده است.

روش پژوهش

مرحله ۱، تهیه مدل ارتفاعی رقومی منطقه:

در این مرحله، به منظور تولید مدل DEM، داده‌های رقومی

ارتفاعی منطقه، مورد عملیات درون‌یابی قرار گرفته که نتایج آن در شکل (۳)، به صورت نقشه‌های سایه روشن^۳ تولید شده از (DEM) نشان داده شده است. به منظور افزایش دقت مکانی مدل DEM، اندازه سلول‌ها براساس وسعت مناطق مورد مطالعه و فواصل خطوط توپوگرافی در حوزه‌های شهریاری و کلوچه بیجار به ترتیب ۵ و ۱۰ متر در نظر گرفته شده‌اند. در قسمت پائین شکل (۳)،



شکل ۳- نقشه‌های سایه روشن حوزه‌های مورد مطالعه همراه با شبکه آبراهه‌ای ناپیوسته آن‌ها

ناپیوستگی شبکه آبراهه‌ای رقومی منطقه به وضوح دیده می‌شود و این امر در مناطق کم شیب بیشتر مشاهده می‌گردد.

- 1- Object Oriented Programming
- 2- Avenue & ArcObjects
- 3- Hillshade

مرحله ۲، نوشتن الگوریتم و کد نویسی مناسب با استفاده برنامه نویسی GIS:

از آنجا که انجام این پژوهش مستلزم اجرای مجموعه‌ای از دستورات و توابع هدفمند با ترتیبی خاص می‌باشد که در برخی از موارد در مجموعه توابع از پیش تعریف شده نرم افزارهای GIS موجود نمی‌باشند لذا در این مرحله، اقدام به کدنویسی مجموعه‌ای از دستورات گردید که هدف کلی آن‌ها فراخوانی توابع از پیش تعریف شده GIS و یا اجرای عملیات جدید و ویژه می‌باشد.

مرحله ۳، تحمیل شبکه آبراهه‌ای حوزه‌ها به مدل DEM:

ترمیم شبکه‌های آبراهه‌ای ناپیوسته در حوزه‌های مورد مطالعه و لحاظ اصلاحات مورد نیاز بر روی آنها، نیازمند تعیین دقیق موقعیت آبراهه‌ها بر روی مدل DEM است. از آنجا که لایه مکانی الگوی جهت جریان آب در حوزه یکی از لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل طراحی شده در این پژوهش می‌باشد و از آنجا که این الگو از مدل DEM مشتق می‌گردد لذا بارزسازی مسیر و موقعیت آبراهه‌ها بر روی مدل DEM از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اهمیت این موضوع در مناطق کم شیب بسیار بیشتر از مناطق پر شیب می‌باشد به دلیل آن که در مناطق کم شیب به دلیل ناکافی بودن عوارض ارتفاعی از یک سو و فاصله گرفتن خطوط تراز از هم از سوی دیگر سبب کاهش دقت مدل DEM شده که متعاقباً تأثیرات منفی خود را در مشتقات این مدل نظیر نقشه‌های الگوی جهت و تجمع جریان داشته که در نتیجه آن ترسیم مرزهای هیدرولوژیکی و شبکه آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز با دقت کافی انجام نمی‌شود. به این منظور مقدار ثابتی (۵۰۰۰ متر) به ارتفاع سلول‌های مدل DEM در مناطقی از حوزه که در مسیر آبراهه‌ها واقع نشده بودند اضافه گردید. مقدار عددی اضافه شده به مدل DEM بر اساس الگوریتم به کار گرفته شده در نرم افزار ArcSWAT در ترسیم شبکه آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز بوده و صرفاً در راستای تأکید موقعیت شبکه آبراهه‌ای در لایه مکانی الگوی جریان حوزه می‌باشد، لذا نبایستی از این مدل در تولید لایه شیب حوضه استفاده شود. هودژنس [۷] اظهار می‌دارد که افزایش ارتفاع سلول‌های غیر آبراهه‌ای در مدل DEM (کاهش یافتن ارتفاع سلول‌های آبراهه‌ای در مقایسه با سلول‌های غیر آبراهه‌ای)، سبب حفر کانال‌های عمیق در DEM شده که در نتیجه آن امکان ردیابی و اصلاح آبراهه‌ها به خصوص در مناطق پست که دقت DEM کاهش می‌یابد فراهم می‌گردد. شکل (۴)، افزایش ارتفاع سلول‌های غیر آبراهه‌ای را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

مرحله ۴، رفع خطاهای گودال^۱ و تولید نقشه‌های الگوی جهت جریان:

در این مرحله، با استفاده از تابع Fill، خطاهای گودال مدل DEM رفع و پس از آن، نقشه‌های الگوی جهت جریان آب در دو حوزه آبخیز از مدل‌های DEM اصلاح شده (Filled DEM)

اقتباس می‌گردد.

مرحله ۵، ترمیم ناپیوستگی شبکه‌های آبراهه‌ای و اصلاح جهت جریان رقومی آن‌ها:

این مرحله شامل بخش‌های ذیل می‌باشد:

۱-۵- قرائت گره‌ها^۲ در شاخه‌های مختلف شبکه آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه: در این مرحله موقعیت کلیه گره‌ها (X/Y) اعم از گره‌های ابتدائی، انتهائی، در طول مسیر و یا گره‌های موجود در محل اتصال عوارض توسط مدل طراحی شده استخراج می‌گردد.

۲-۵- قرائت ارتفاع گره‌ها از مدل DEM: در این مرحله، ارتفاع کلیه گره‌ها (محاسبه شده در مرحله قبل) از لایه مکانی (DEM Filled عاری از خطاهای گودال) استخراج می‌شود.

۳-۵- تعیین سر شاخه‌های شبکه‌های آبراهه‌ای در حوزه‌های مورد مطالعه: شروع عملیات ردیابی آبراهه‌ها با تعیین موقعیت سرشاخه‌ها آغاز می‌گردد. به این منظور، برنامه با مقایسه میان ارتفاعات گره‌های مختلف در هر شاخه، گره‌ای که دارای بالاترین ارتفاع باشد را به عنوان گره شروع محاسبات در ردیابی مسیر آن شاخه محسوب می‌نماید شکل (۵).

۴-۵- ردیابی مسیر آبراهه‌های ناپیوسته و تولید آبراهه‌های پیوسته منطبق با الگوی جهت جریان: پس از تعیین نقاط شروع ردیابی در هر شاخه، با استفاده از لایه الگوی جهت جریان آب در حوزه، مسیر هر آبراه تا خروجی حوزه به صورت سلول به سلول ردیابی شده و این مسیرها سپس به قالب برداری تبدیل که در نتیجه آن جهت و ناپیوستگی شبکه‌های آبراهه‌ای تصحیح می‌گردد شکل (۵). همچنین در برنامه تمهیداتی تعبیه شده است که از تولید مسیرهای تکراری و روی هم قرارگیری عوارض مشابه، جلوگیری گردد.

مرحله ۶، ارزیابی نتایج مدل:

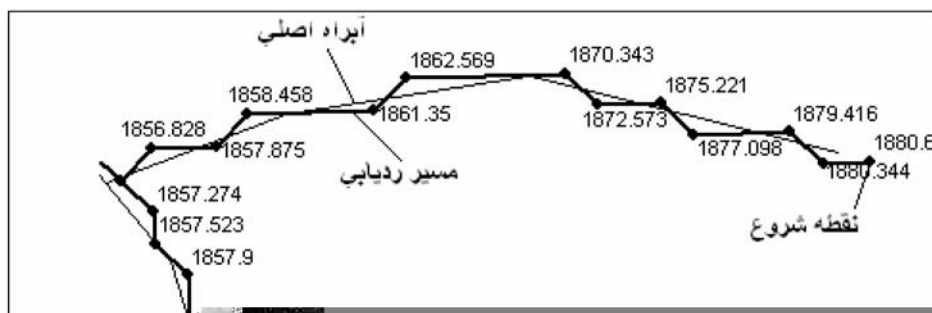
به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل، مقایسه‌هایی بین شبکه آبراهه‌ای اصلی (شبکه آبراهه‌ای رقومی سازمان جغرافیائی ارتش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰) و شبکه آبراهه‌ای حاصل از مدل انجام گردیده است. مقایسات انجام شده بر مبنای موقعیت، تعداد و طول شاخه‌ها در هر رتبه از آبراهه اصلی و شاخه‌های متناظر با آن در شبکه آبراهه‌ای حاصل از مدل می‌باشد. به منظور مقایسه طول آبراهه‌ها از آزمون آماری مقایسه میانگین جفت‌ها به شرح ذیل استفاده شده است:

$$t = \frac{\bar{d} - \bar{sd}}{sd} \quad (1)$$

$$\bar{sd} = \frac{sd}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

در این آزمون، \bar{d} : میانگین اختلافات طول آبراهه‌های اصلی با طول آبراهه‌های حاصل از مدل در یک رتبه خاص و در شاخه‌های نظیر به نظیر، sd : انحراف معیار اختلافات طول آبراهه‌های اصلی با طول آبراهه‌های حاصل از مدل در یک رتبه خاص و در شاخه‌های

شکل ۴ - افزایش ارتفاع سلول‌های DEM در مناطق غیر آبراهه‌ای و بارزتر شدن سلول‌های آبراهه در مدل DEM



شکل ۵ - تعیین نقاط شروع در سرشاخه‌ها و ردیابی مسیر جریان تا خروجی

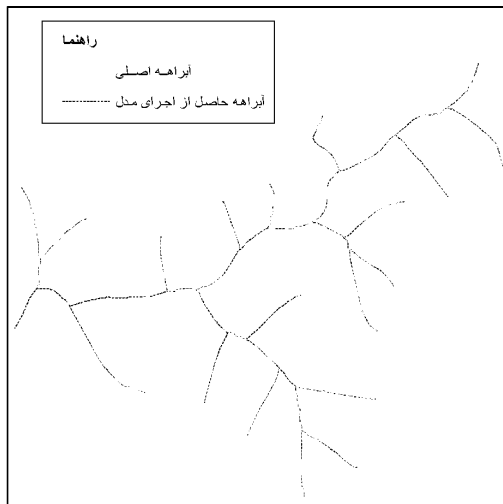
ارتفاعی و به تبع آن کاهش دقت مدل DEM در این مناطق است. از سوی دیگر ناپوستگی شبکه‌های آبراهه‌ای اغلب در این مناطق دیده شده و نکته آخر آنکه بیشترین خطای توابع GIS در تولید شبکه‌های آبراهه‌ای مربوط به این مناطق است.

مقایسه تعداد آبراهه‌ها، با شمارش تعداد آبراهه‌های اصلی و مقایسه آن‌ها با تعداد آبراهه‌های تولیدی در سه زیر حوزه انتخابی با استفاده از توابع GIS انجام می‌شود. همچنین به منظور ارزیابی دقیق‌تر کارکرد مدل، آبراهه‌های حاصل از مدل، رتبه‌بندی شده و سپس تعداد آبراهه‌ها در هر رتبه با تعداد آبراهه‌های هم رتبه در آبراهه‌های اصلی در زیر حوزه‌های انتخابی مقایسه می‌گردند.

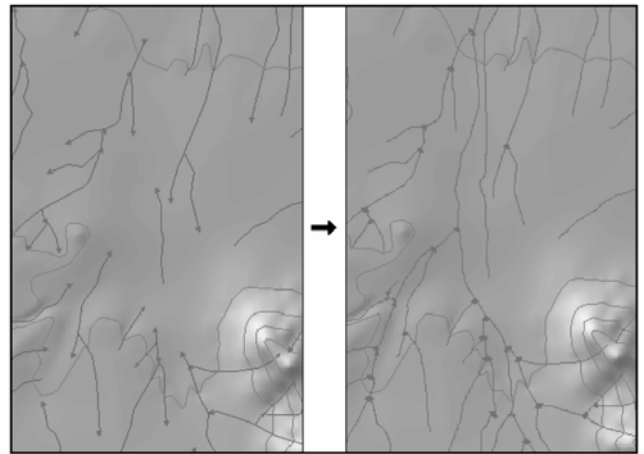
به منظور مقایسه موقعیت آبراهه‌های اصلی نسبت به موقعیت آبراهه‌های متناظر آن در آبراهه‌های منتج از مدل، با روی هم گذاری آن‌ها اقدام به مقایسه بصری آن‌ها خواهد شد.

نظیر به نظیر، و n : تعداد آبراهه‌ها در هر رتبه که در حال مقایسه اند می‌باشد. مقدار t بدست آمده سپس با حد بحرانی که با توجه به درجه آزادی (df) و سطوح معنی‌دار ($\alpha=0/01$ و $\alpha=0/05$) از جدول آماری (جدول t) اقتباس گردیده مقایسه و معنی‌دار بودن یا نبودن اختلاف بین میانگین طول‌ها در هر رتبه (بین دو شبکه آبراهه‌ای اصلی و منتج از مدل) بررسی می‌شود.

به منظور انجام مقایسه‌های آماری، سه زیر حوزه از حوزه آبخیز شهریاری انتخاب و تعداد ۲۳۵ آبراهه از شبکه آبراهه‌ای این زیرحوزه‌ها به عنوان مبنای مقایسات در نظر گرفته شده‌اند. آبراهه‌ها دارای پیوستگی مکانی و تعداداً از مناطق کم شیب حوزه‌ها انتخاب می‌شوند. علت انتخاب آبراهه‌های پیوسته، امکان مقایسه طول آن‌ها با طول آبراهه‌های تولید شده توسط مدل و علت انتخاب مناطق کم شیب همانطور که پیشتر به آن اشاره شد، کافی نبودن عوارض



شکل ۷- موقعیت آبراهه‌های اصلی و منتج از مدل



شکل ۶- قسمتی از شبکه آبراهه‌ای اصلی حوزه آبخیز شهریاری قبل و بعد از اجرای مدل

جدول ۱- نتایج آزمون آماری مقایسه میانگین جفت‌ها (بر روی طول آبراهه‌ها) در زیر حوزه ۱

پارامترهای آماری	آبراهه‌های رتبه ۱	آبراهه‌های رتبه ۲	آبراهه‌های رتبه ۳
\bar{d}	۱/۶۲	-۱/۹۲	-۰/۲۵
sd	۱۱/۹	۱۴/۲	۳/۶۴
\overline{sd}	۰۴/۲	۸/۳	۹۶/۰
t	۰/۷۹	-۰/۵	-۰/۲۶
n	۳۴	۱۴	۱۳
df	۳۳	۱۳	۱۲
حد بحرانی در سطح ۵ درصد	$۱/۹۶ < t < -۱/۹۶$	$۲/۱۶ < t < -۲/۱۶$	$۲/۱۷۹ < t < -۲/۱۷۹$
حد بحرانی در سطح ۱ درصد	$۲/۵۷ < t < -۲/۵۷$	$۳/۰۱۲ < t < -۳/۰۱۲$	$۳/۰۵ < t < -۳/۰۵$
نتیجه آزمون	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست

جدول ۲- نتایج آزمون آماری مقایسه میانگین جفت‌ها (بر روی طول آبراهه‌ها) در زیر حوزه ۲

پارامترهای آماری	آبراهه‌های رتبه ۱	آبراهه‌های رتبه ۲	آبراهه‌های رتبه ۳	آبراهه‌های رتبه ۴
\bar{d}	-۰/۶۳	۱/۸۱	۲/۰۶	۲/۹۵
sd	۵/۳۱	۷/۵۳	۴/۷۶	۵/۳۷
\overline{sd}	۰/۶۸	۱/۴	۱/۰۹	۱/۷
t	-۰/۹۲	۱/۲۹	۱/۸۹	۱/۷۴
n	۶۱	۲۹	۱۹	۱۰
df	۶۰	۲۸	۱۸	۹
حد بحرانی در سطح ۵ درصد	$۱/۹۶ < t < -۱/۹۶$	$۲/۰۴۸ < t < -۲/۰۴۸$	$۲/۱۰۱ < t < -۲/۱۰۱$	$۲/۲۶۲ < t < -۲/۲۶۲$
حد بحرانی در سطح ۱ درصد	$۲/۵۷ < t < -۲/۵۷$	$۲/۷۶۳ < t < -۲/۷۶۳$	$۲/۸۷۸ < t < -۲/۸۷۸$	$۳/۲۵ < t < -۳/۲۵$
نتیجه آزمون	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست

جدول ۲- نتایج آزمون آماری مقایسه میانگین جفت‌ها (بر روی طول آبراهه‌ها) در زیر حوزه ۳

پارامترهای آماری	آبراهه‌های رتبه ۱	آبراهه‌های رتبه ۲	آبراهه‌های رتبه ۳	آبراهه‌های رتبه ۴
\bar{d}	-۱/۷۱	۰/۶۲	۰/۳۱	۱/۳۲
sd	۴/۸۹	۶/۴۷	۵/۸۵	۱۳/۱
\overline{sd}	۰/۹۲	۲/۰۴	۱/۵۱	۹/۲۶
t	-۱/۸۵	۰/۳	۰/۲۱	-۰/۱۴
n	۲۸	۱۰	۱۵	۲
df	۲۷	۹	۱۴	۱
حد بحرانی در سطح ۵ درصد	$1/96 < t < -1/96$	$2/16 < t < -2/16$	$2/179 < t < -2/179$	$12/706 < t < -12/706$
حد بحرانی در سطح ۱ درصد	$2/57 < t < -2/57$	$3/012 < t < -3/012$	$3/05 < t < -3/05$	$93/657 < t < -93/657$
نتیجه آزمون	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست	اختلاف معنی دار نیست

نتایج و بحث

ردیابی شبکه آبراهه‌ای با توجه به لایه الگوی جریان آب در حوزه انجام می‌شود و این لایه خود از مشتقات مدل DEM محسوب می‌گردد، لذا اندازه سلول تعریف شده در این مدل تاثیر مستقیمی در میزان فاصله آبراهه‌های تولیدی از آبراهه‌های اصلی داشته به همین دلیل در تعریف اندازه سلول DEM بایستی دقت کافی به عمل آید.

۴- نتایج بدست آمده در رابطه با تعداد آبراهه‌های حاصل از اجرای مدل در مقایسه با تعداد آبراهه‌های اصلی که با شمارش آن‌ها در محیط GIS انجام گردیده، نشان می‌دهد که تعداد آبراهه‌های تولیدی در هر زیر حوزه با تعداد آبراهه‌های شبکه اصلی دقیقاً برابر است.

۵- از ویژگی‌های اصلی مدل تبیین شده در مقایسه با مدل‌های هیدرولوژیکی موجود در GIS این است که در مدل حاضر، به منظور تولید شبکه آبراهه‌ای یک حوزه آبخیز نیاز به تعریف مقدار حد آستانه (که از معیارهای مهم در مدل‌های موجود می‌باشد) از سوی کاربر نبوده و در نتیجه منشاء خطای حاصل از تعریف و انتخاب حد آستانه که از کاربری به کاربر دیگر ممکن است متفاوت تعریف گردد حذف شده است. لازم به ذکر این نکته مهم است که در مدل‌های هیدرولوژیکی موجود، اساس تولید شبکه‌های آبراهه‌ای وابسته به وجود لایه تجمع جریان آب در حوزه آبخیز و تعریف یک مقدار عددی جهت پارامتر حد آستانه و بکارگیری مقدار این پارامتر بر روی لایه تجمع جریان آب می‌باشد. مقدار حد آستانه که توسط کاربر تعریف می‌گردد در واقع انتخاب آن دسته از سلول‌های لایه رستری تجمع جریان بوده که مقادیر عددی آن‌ها برابر یا بزرگتر از حد آستانه می‌باشد و در نتیجه هرچه مقدار این پارامتر کوچکتر تعریف شود تعداد سلول‌های بیشتری از لایه تجمع جریان به عنوان سلول‌های آبراهه‌ای در نظر گرفته شده و بر عکس هرچه مقدار

۱- نتایج حاصل از اجرای مدل بر روی شبکه‌های آبراهه‌ای رقومی در حوزه‌های آبخیز انتخاب شده نشان می‌دهد که شبکه‌های آبراهه‌ای تولید شده توسط مدل به لحاظ تعداد و موقعیت، با آبراهه‌های اصلی منطبق بوده و خطاهای ناپیوستگی و جهت جریان در آن‌ها اصلاح شده است (شکل ۶).

در سمت چپ شکل (۶)، قسمتی از شبکه آبراهه‌ای رقومی حوزه آبخیز شهریاری نشان داده شده است که ناپیوستگی و ناصحیح بودن جهت جریان آب در برخی از آبراهه‌های آن دیده می‌شود. با اجرای مدل بر روی شبکه آبراهه‌ای اولیه و لحاظ تصحیحات هندسی حاصل از مدل بر روی آن، خطاهای ناپیوستگی و جهت جریان شبکه اصلاح گردیده است. نتایج حاصل از مدل در سمت راست شکل قابل مشاهده می‌باشد.

۲- نتایج بدست آمده از آزمون آماری مقایسه میانگین جفت‌ها که در آن به بررسی طول آبراهه‌های تولید شده در مقایسه با طول آبراهه‌های نظیر به نظیر آن در شبکه آبراهه‌ای اصلی می‌پردازد، حاکی از دقت بسیار بالای محاسبات مدل داشته و همانطور که نتایج آماری نشان می‌دهند (جدول‌های ۱، ۲ و ۳) در هیچیک از موارد (در ۲۳۵ مقایسه) اختلاف معنی داری چه در سطح ۱ یا ۵ درصد بین طول شاخه‌های آبراهه‌ای بدست آمده از مدل با طول آبراهه‌های اصلی دیده نمی‌شود.

۳- نتایج بدست آمده از مقایسه بصری موقعیت آبراهه‌های تولیدی نسبت به آبراهه‌های متناظر در شبکه آبراهه‌ای اصلی، تطابق مکانی آن‌ها را نسبت به هم نمایش می‌دهد (شکل ۷).

همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، آبراهه‌های حاصل از اجرای مدل تطابق مناسبی را با آبراهه‌های اصلی نشان می‌دهند با این حال ذکر این نکته ضروری است که به دلیل آنکه

1- Cell Value

نتیجه‌گیری

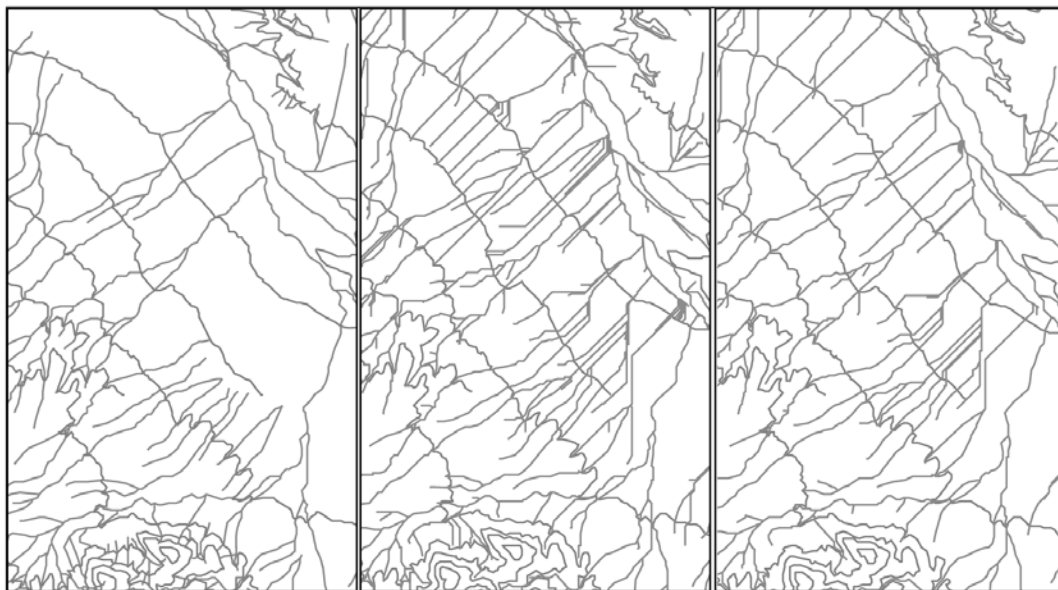
روش‌های معمول در تولید شبکه‌های آبراهه‌ای حوزه‌های آبخیز که بر مبنای تعیین حد آستانه از سوی کاربر مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای محدودیت‌هایی به شرح زیر است:

الف- تعیین دقیق حد آستانه به سادگی امکان پذیر نبوده و از کاربری به کاربر دیگر می‌تواند متغیر تعریف گردد بطوری که به همین دلیل ممکن است تعداد آبراهه‌های محاسبه شده کمتر یا بیشتر از تعداد واقعی آبراهه‌ها در نقشه‌های توپوگرافی و طبیعت باشد.

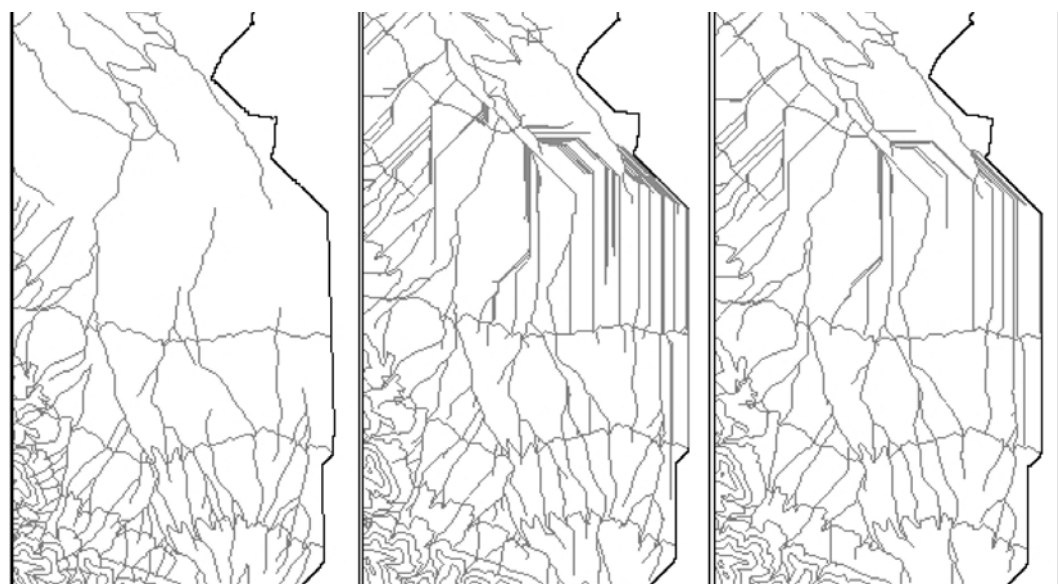
ب- حد آستانه صرفاً بر مبنای لایه تجمع جریان (که خود از مشتقات لایه DEM می‌باشد) استوار بوده و ارتفاع سلول‌ها بطور

آستانه بزرگتر تعریف شود تعداد آبراهه‌های تولید شده کمتر خواهد بود. تولید شبکه‌های آبراهه‌ای بدین روش باعث بروز مشکلاتی نیز می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل (۸) آمده است.

همانطور که در این شکل نشان داده شده، با افزایش مقدار حد آستانه تعداد آبراهه‌های تولیدی کمتر شده و در عین حال موقعیت آن‌ها نسبت به آبراهه‌های اصلی نیز متفاوت است. این وضعیت در مناطق مسطح که تغییرات ارتفاعی سطح زمین بسیار جزئی است نمود بیشتری یافته به نحوی که شبکه‌های آبراهه‌ای تولیدی اغلب غیر واقعی و با شبکه آبراهه‌ای اصلی منطقه مطابقت نمی‌کند. این وضعیت را می‌توان در شکل (۹) مشاهده نمود.



شکل ۸- به ترتیب از چپ به راست، قسمتی از شبکه رقومی آبراهه‌ای اصلی حوزه آبخیز شهریاری و آبراهه‌های تولید شده مصنوعی در محیط GIS با حد آستانه‌ای ۵۰۰ و ۱۰۰۰



شکل ۹- به ترتیب از چپ به راست، قسمتی از شبکه رقومی آبراهه‌ای اصلی حوزه آبخیز شهریاری و آبراهه‌های تولید شده مصنوعی در محیط GIS با حد آستانه‌ای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ در منطقه‌ای با شیب کم

5- Guy, D.D. Kienzle, S.W. Johnson, D.L. and Byrne, J. M. 2003. Improving Overland Flow Routing by Incorporating Ancillary Road Data into Digital Elevation Models. Journal of Spatial Hydrology. Vol.3, No.2 Fall 2003

6- Hellweger, F. 1997. AGREE DEM Surface Reconditioning System. (Available at <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/ferdi/research/agree/agree.html>)

7- Hudgens, B. 1999. Development of Hydrologic Parameters at Points in a Surface Water Network. Term Project. (Available at <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap866/p866.htm>)

8- Hutchinson, M.F. 1988. Calculation of Hydrologically Sound Digital Elevation Models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia.

9- Hutchinson, M.F. 1989. A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits. Journal of Hydrology 106: 211-232.

10- Hutchinson, M. F. and Dowling, T. I. 1991. A Continental Hydrological Assessment of a New Grid-Based Digital Elevation Model of Australia. Hydrological Processes 5: 45-58.

11- Hutchinson, M. F. 1993. Development of a Continent-Wide DEM with Applications to Terrain and Climate Analysis. In Environmental Modeling with GIS, ed. M. F. Goodchild et al., 392-399. New York: Oxford University Press.

12- Hutchinson, M. F. 1996. A locally Adaptive Approach to the Interpolation of Digital Elevation Models. In Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis. (Available at http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD_ROM/sf_papers/hutchinson_michael_dem/local.html)

13- Jenson, S. K. and Domingue, J. O. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital

غیر مستقیم عامل اصلی و تاثیر گذار در تعریف این پارامتر محسوب می شود. در تعریف حد آستانه، کاربری زمین مورد توجه قرار نمی گیرد و با توجه به آنکه کاربری اراضی به ویژه در مناطق کم شیب و مسطح (تحت کشت یا مناطق شهری) از عامل های تاثیر گذار در مورفولوژی و وجود یا عدم وجود آبراهه ها محسوب می شوند از این رو به دلیل عدم لحاظ این موضوع در روش تهیه نقشه تجمع جریان در صورت متنوع بودن نوع استفاده از زمین ممکن است این روش از دقت مورد انتظار برخوردار نباشد.

ج- شبکه های آبراهه ای تولیدی در مناطق مسطح و کم شیب با استفاده از روش تعریف حد آستانه، اغلب غیر واقعی بوده و با طبیعت هم خوانی ندارد.

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش و کاربردی بودن این نتایج در عمل و با عنایت به مشکلات نرم افزارهای GIS در استخراج و یا ترمیم شبکه های آبراهه ای و همچنین توجه به اهمیت داده های رقومی شبکه آبراهه ای در مطالعات یا تحقیقات مرتبط با حوزه های آبخیز، به نظر می رسد که روش ارائه شده در این تحقیق می تواند پاسخگوی نیاز کاربران و متخصصان در عرصه های منابع طبیعی باشد.

تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به خاطر مساعدت و فراهم نمودن امکانات لازم و مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

۱- طباطبائی، م. قدوسی، ج. ۱۳۸۴. روشی جدید برای ترسیم خودکار شبکه آبراهه ها در حوزه های آبخیز (حوزه آبخیز امامه) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علمی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، جلد ۱۸ شماره ۲، ۶۵-۷۲

۲- طباطبائی، م. ۱۳۸۳. استخراج خودکار نقاط ارتفاعی رودخانه ها (با فواصل دلخواه) از نقشه های توپوگرافی به منظور افزایش دقت محاسبه پارامترهای فیزیوگرافی با استفاده از برنامه نویسی شی گرا در محیط GIS. طرح تحقیقاتی خاتمه یافته پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۹۲ ص

3- Goodchild, M.F. and Mark, D.M. 1987. The Fractal Nature of Geographic Phenomena. Annals of Association of American Geographers. 77 (2): 265-278.

4- Greenlee, D.D. 1987. Raster and Vector Processing for Scanned Linework, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 53, No. 10, October 1987, pp. 1383-1387.

Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems, edited by Dr. D. Maidment and Dr. Dean Djokic, pp. 29-51. Redlands, Environmental Systems Research Institute Inc

17- Tarboton, D. G. Bras, R. L. and Rodriguez-Iturbe, I. 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*. 5: 81-100.

18- Winchell, M. Srinivasan, R. Diluzio, M. and Arnold, J. 2008. ArcSWAT 2.0 Interface for SWAT 2005 User's Guide. Blackland Research Center, USDA Agricultural Research Service

Elevation Data for Geographic Information System Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 54, No. 11, November 1988, pp. 1593-1600.

14- Mark, D. M. 1988. Network models in geomorphology. In *modeling geomorphological Systems*, John Wiley & Sons, 73 - 97.

15- Murphy, P. N. C. Ogilvie, J. Meng, F. and Arp, P. 2007. Stream Network Modeling Using Lidar and Photogrammetric Digital Elevation Models: A Comparison and Field Verification, *Processes*. Volume, Pages 1747 -1754

16- Saunders, W. 2000. Preparation of DEMs for use in environmental modeling analysis. In: