

توسعه مدل توزیعی زمان تمرکز حوزه‌های آبخیز با استفاده از GIS و برنامه‌نویسی شی‌گرا

سیدمحمودرضا طباطبائی^۱، مربی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
محمد روغنی، مربی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۰۸/۰۱

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۲/۱۶

چکیده

در محاسبه زمان تمرکز حوضه‌ها، اغلب از معادلات زمان تمرکز به صورت یک پارچه استفاده می‌شود که در نتیجه امکان دسترسی به این پارامتر در مکان‌های مختلف حوضه وجود ندارد. در این تحقیق، با استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی شی‌گرا و در محیط GIS، یک مدل توزیعی طراحی شده، که قادر است زمان تمرکز سلول‌های حوضه را، تا سلول خروجی محاسبه نموده، آن را به صورت یک نقشه رستری تولید نماید. اطلاعات ورودی مدل شامل لایه مدل ارتفاعی رقومی زمین، لایه شدت بارندگی، لایه ضریب مانینگ و لایه شبکه آبراهه‌ای حوضه است. از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی خروجی آن می‌توان لایه‌های شیب، لایه الگوی جهت جریان آب، لایه تجمعی جریان آب و لایه سطوح هم‌تمرکز حوضه را نام برد. در این مدل، سلول‌های حوزه آبخیز به دو دسته کلی شامل سلول‌های آبراهه‌ای و سلول‌های سطح حوضه طبقه‌بندی می‌شوند. از معادلات کریپیچ و موج سینماتیک به ترتیب برای محاسبه زمان تمرکز سلول‌های آبراهه‌ای و سطح حوضه استفاده شده است. همچنین از مدل بارش-رواناب RAFTS به منظور ارزیابی صحت برآورد زمان تمرکز حاصل از مدل TC استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل زمان تمرکز، نشان می‌دهد که زمان محاسبه شده به وسیله مدل TC، انطباق مناسبی با زمان واقعی، که از طریق به‌کارگیری وقایع مشاهده‌ای در مدل هیدرولوژیکی RAFTS انجام شده، داشته است. نظر به این که پاسخ حوضه برای کلیه وقایع مورد استفاده در مدل هیدرولوژیکی مذکور، براساس شدت‌های مختلف بارندگی و زمان تمرکز یک‌سان شکل می‌گیرد، لذا بروز رفتارهای متفاوت در هیدروگراف‌های سیل منطقی به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، برنامه‌نویسی GIS، تجمع جریان، Avenue، C++

مقدمه

یکی از مباحث مهم در مطالعات هیدرولوژی و برآورد سیلاب آبخیزها، محاسبه زمان تمرکز حوضه است. به‌طور معمول، در اکثر مطالعات مربوط به آبخیزها، خصوصاً در مطالعات فیزیوگرافی، از معادلات مرسوم زمان تمرکز، به صورت یک پارچه^۱ استفاده می‌شود. از جمله محدودیت‌های اساسی در روش‌های یک‌پارچه، عدم محاسبه زمان حرکت آب برای کلیه نقاط حوضه است. استفاده از قابلیت‌های روزافزون سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و همچنین امکانات فراوان آن‌ها در تولید و تجزیه و تحلیل نقشه‌های شبکه سلولی، می‌تواند قدم مؤثری در محاسبه زمان تمرکز حوضه‌ها به روش توزیعی^۲ باشد. مزیت اصلی در استفاده از مدل‌های توزیعی نسبت به مدل‌های یک‌پارچه آن است که در مدل‌های توزیعی، کاربر می‌تواند به اطلاعات هر مکانی از حوضه مورد نظر دسترسی داشته باشد و حال آن‌که این امر در مدل‌های یک‌پارچه ممکن نیست. در این زمینه Donker (۱۹۹۲) یک مدل توزیعی را ارائه نمود که بر اساس

^۱ taba1345@hotmail.com

^۲ Lumped

^۳ Distributed

نقشه‌های جهت جریان، تجمع جریان و نقشه مقاومت در برابر جریان، زمان سیر حرکت آب هر سلول تا سلول خروجی محاسبه می‌شود. از جمله محدودیت‌های مدل Donker، عدم ارائه روشی مشخص، برای محاسبه زمان پیمایش آب در سلول‌ها و ناکارآمدی برنامه تدوین شده در حوضه‌های بزرگ است.

هم‌چنین Maidment (۱۹۹۳) تحقیقی را به‌منظور محاسبه هیدروگراف واحد با استفاده از GIS انجام داد. در این تحقیق، با توجه به شیب و نوع کاربری اراضی هر سلول، سرعت حرکت آب و به‌دنبال آن زمان حرکت آب از هر سلول تا سلول خروجی محاسبه شد. در تحقیق مزبور، تفکیکی برای مشخص نمودن سلول‌های آبراه‌های از سلول‌های سطح حوضه به‌عمل نیامده و تمامی سلول‌های حوضه با یک معادله مورد محاسبه قرار گرفتند. معادله زمان تمرکز آبخیزهای کوچک که به‌وسیله Kirpich (۱۹۴۰) ارائه شد، از شیب و طول شیب حوضه برای محاسبه زمان تمرکز استفاده می‌شد. Morgali و Linsley (۱۹۶۵) معادله زمان تمرکز را بر اساس تجزیه و تحلیل موج سینماتیکی برای رواناب سطحی ارائه نمودند. در این معادله از شدت بارندگی، ضریب مانینگ، طول جریان سطحی و شیب استفاده شده است.

الگوریتم جهت جریان آب در یک نقشه شبکه سلولی به‌وسیله Jenson و Domingue (۱۹۸۸) ارائه شد. در این روش برای تعیین جهت جریان آب با در نظر گرفتن ارتفاع هر سلول و مقایسه آن با هشت سلول همسایه و با توجه به این که آب به یکی از سلول‌های مجاور یا همسایه حرکت می‌کند، الگوی جهت حرکت آب تعیین می‌شود. ثقفیان و Juline (۱۹۹۵) با حل تحلیلی معادلات موج سینماتیکی برای شرایط رواناب سطحی و جریان در آبراه‌ها به‌صورت مجزا اقدام به تعیین زمان تعادل حوضه نموده‌اند. در روش آن‌ها، حاصل جمع زمان تعادل رواناب سطحی با زمان متعادل جریان‌ات آبراه‌های، به‌عنوان زمان تعادل حوضه تعریف می‌شود. به‌منظور بررسی معادلات زمان تمرکز جریان سطحی حوضه، Wong (۲۰۰۵)، نه معادله زمان تمرکز جریان سطحی را بر روی سطوح بتنی و چمنی مورد آزمایش قرار داد. نتایج این بررسی نشان داد که معادلات زمان تمرکزی که از پارامتر شدت بارندگی استفاده نمی‌کنند، فقط در محدوده معینی از شدت‌های بارندگی معتبر هستند و برعکس آن، معادلات زمان تمرکزی که این پارامتر را در خود دارند، نتایج بهتری را با داده‌های آزمایشی و تجربی نشان می‌دهند.

در تحقیق دیگر، Ogbonna (۲۰۰۴) معادله زمان تمرکز دیگری را برای جریان سطحی ارائه نمود. در این مطالعه، معادله زمان تمرکز در یک حوضه و بر روی خاک شنی لخت در ماه‌های مرطوب سال و در شدت‌های مختلف بارندگی مورد استفاده گرفت و نتایج به‌دست آمده از این حوضه و حوضه‌های دیگر که به‌لحاظ شیب، شدت بارندگی و طول جریان سطحی با حوضه اولیه متفاوت بودند، بسیار نزدیک به معادله زمان تمرکز ارائه شده به‌وسیله Morgali و Linsley (۱۹۶۵) بود.

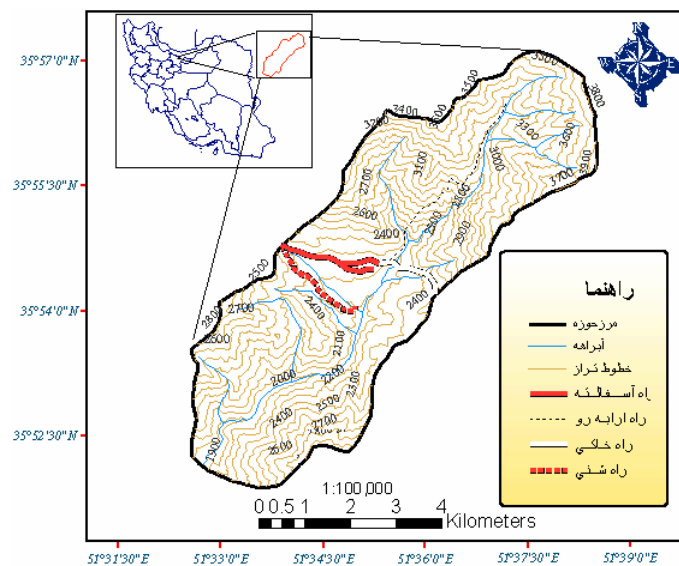
در تحقیق دیگری که به‌وسیله Chibber و همکاران (۲۰۰۴) انجام گرفت، با استفاده از باران‌ساز مصنوعی زمان تمرکز جریان چند نوع بستر با ضرائب زبری متفاوت و با شیب کم محاسبه شد. نتایج این تحقیق در مقایسه با نتایج به‌دست آمده به‌وسیله سایر معادلات تجربی زمان تمرکز نشان داد که مدل‌های تجربی زمان تمرکز را کم‌تر محاسبه می‌کنند. او نتیجه گرفت که رطوبت اولیه خاک عامل تاثیرگذاری در برآورد زمان تمرکز بوده، این پارامتر در معادلات تجربی زمان تمرکز به‌حساب نمی‌آیند. در تحقیقی که به‌وسیله Moglen (۲۰۰۱) به‌عمل آمد، تاثیر اندازه سلول‌های مدل ارتفاعی رقومی زمین^۱ (DEM) بر روی میزان تخمین زمان تمرکز، طول جریان و دبی اوج سیلاب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش یافتن اندازه سلول‌ها در DEM، زمان تمرکز و طول جریان کم‌تر و مقدار دبی اوج سیلاب بیش‌تر محاسبه می‌شوند.

در تحقیق حاضر، با استفاده از قابلیت‌های موجود در نرم‌افزارهای GIS، که بر مبنای برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار ArcView 3.2a پیاده سازی شده، این امکان فراهم شده است که از معادلات موجود در زمینه زمان تمرکز به‌صورت توزیعی استفاده شود.

^۱ DEM=Digital Elevation Model

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: حوضه امامه به‌عنوان منطقه تحقیق انتخاب شد. این حوضه یکی از حوضه‌های معرف کشور واقع در حوضه رودخانه جاجرود و در بخش بالادست سد لتیان با مساحت حدود ۳۷ کیلومتر مربع است که در موقعیت جغرافیایی ۵۱° ۵۱' تا ۳۵° ۵۸' عرض شمالی و ۵۱° ۳۲' ۳۰" تا ۵۱° ۳۸' ۳۰" طول شرقی قرار دارد. ارتفاع این حوضه حداقل بین ۸۰۰ تا حداکثر ۳۸۶۸ متر تغییر می‌کند، به‌طوری که بخش‌های شمالی و جنوبی آن متشکل از ارتفاعات پرشیب و بخش میانی آن منطقه‌ای کم‌شیب با مساحت حدود ۲۰۰ هکتار است. رودخانه امامه با جهت جریان شمال شرقی به جنوب غربی، رودخانه اصلی این آبخیز می‌باشد (شکل ۱). داده‌های ورودی این تحقیق شامل نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰، نقشه کاربری و پوشش اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ وزارت جهادکشاورزی و آمار هم‌زمان بارش-رواناب سازمان تحقیقات منابع آب است. از نرم‌افزار ArcView 3.2a، به‌عنوان محیط توسعه مدل زمان تمرکز و از نرم‌افزارهای ILWIS 3 و ArcGIS 9 به‌عنوان نرم‌افزارهای کمکی استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت آبخیز امامه

روش تحقیق

در مدل حاضر، به‌منظور محاسبه زمان تمرکز سلول‌های حوضه، اساساً از دو معادله کرپیچ^(۱) برای محاسبه زمان تمرکز سلول‌های زهکش حوضه (سلول‌های آبراهه و رودخانه) و از معادله موج سینماتیک^(۲) برای محاسبه زمان تمرکز سلول‌های سطح حوضه استفاده شده است. در استفاده از معادله‌های کرپیچ و موج سینماتیک، از لایه‌های DEM و جهت جریان حوضه به‌منظور دسترسی به ارتفاع، شیب، تعیین طول هر سلول و الگوی جریان آب استفاده شده است. ضریب مانینگ با توجه به نوع کاربری اراضی حوضه تعیین می‌شود. همچنین از جدول Engman (۱۹۸۶) برای تعیین

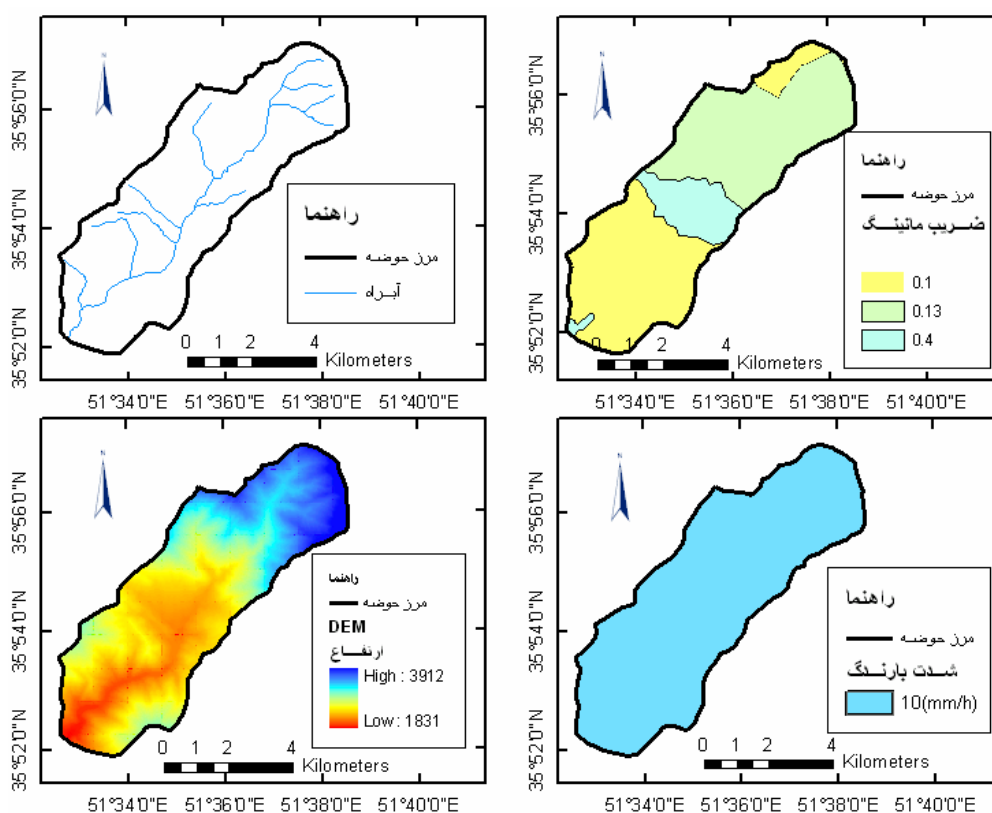
$$t_c = 0.0195L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (1)$$

که در آن، t_c زمان تمرکز (دقیقه)، L طول آبراهه اصلی (متر) و S شیب آبراهه (متر بر متر) می‌باشد.

$$t_c = \frac{0.93[l^{0.6} \cdot n^{0.6}]}{i^{0.4} \cdot s^{0.3}} \quad (2)$$

که در آن، t_c زمان تمرکز (دقیقه)، l طول جریان سطحی (فوت)، n ضریب زبری مانینگ برای جریان سطحی، i شدت بارندگی (اینچ در ساعت) و s شیب متوسط مسیر جریان سطحی (فوت بر فوت) می‌باشد.

ضرائب مانینگ حوضه و به منظور محاسبه پارامتر شدت بارندگی حوضه، از متوسط مقادیر شدت‌های وقایع هم‌زمان بارش رواناب حوضه استفاده شده است. شکل ۲ لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل زمان تمرکز

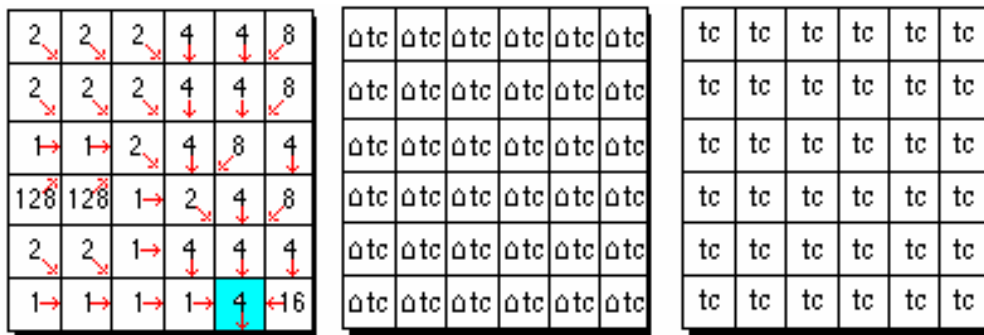
برای محاسبه زمان تمرکز سلول‌های حوضه، ابتدا با استفاده از معادلات کریپچ و موج سینماتیک، حداکثر زمان حرکت آب در سلول‌های آبراهه‌ای و سطح حوضه محاسبه می‌شود. این زمان به نام Δ_{rc} نامیده می‌شود. با توجه به این‌که به هر سلول، از مسیرهای مختلفی ممکن است آب وارد و یا خارج شود، به همین دلیل از بین زمان‌های محاسبه شده در مسیرهای مختلف برای یک سلول خاص، حداکثر آن‌ها به عنوان Δ_{rc} آن سلول در نظر گرفته می‌شود. نحوه انجام محاسبه Δ_{rc} برای هر سلول با استفاده از سلول‌های بالادست آن و به روش کسری^۱ انجام می‌گیرد. پس از محاسبه بیشینه زمان حرکت آب برای هر سلول، مدل قادر است با استفاده از لایه جهت جریان آب، از مجموع این زمان‌ها، زمان تمرکز سلول‌های آبخیز را تا خروجی حوضه محاسبه نماید. شکل ۳ قسمتی از سلول‌های یک آبخیز فرضی، که زمان تمرکز سلول‌های آن محاسبه شده است را نشان می‌دهد.

به منظور صحت‌یابی اولیه مدل زمان تمرکز، از یک مستطیل ساده که در واقع یک ماتریس 4×5 است، استفاده شد. ماتریس طراحی شده، نمونه بسیار کوچکی از یک مثال واقعی بوده، کارهای انجام گرفته بر روی آن، دقیقاً مشابه یک حوضه واقعی است. همچنین به منظور ارزیابی صحت برآورد زمان تمرکز حاصل از مدل توزیعی، از مدل بارش- رواناب RAFTS^۲ استفاده شده است. مدل مزبور این امکان را فراهم می‌سازد تا ضمن به‌کارگیری زمان تمرکز محاسبه شده به وسیله مدل TC و مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حاصل از آن، صحت زمان تمرکز محاسبه‌ای را

^۱ Fractional Method

^۲ این مدل در سال ۱۹۷۶ در استرالیا به وسیله شرکت‌های استرالیایی SMEC و WP ابداع و ارائه شده است. این مدل در چند دهه اخیر به طور پیوسته در حوضه‌های مختلف به‌کار گرفته شد که نتایج قابل قبولی نیز داشته است (Ghafouri, ۱۹۹۶)

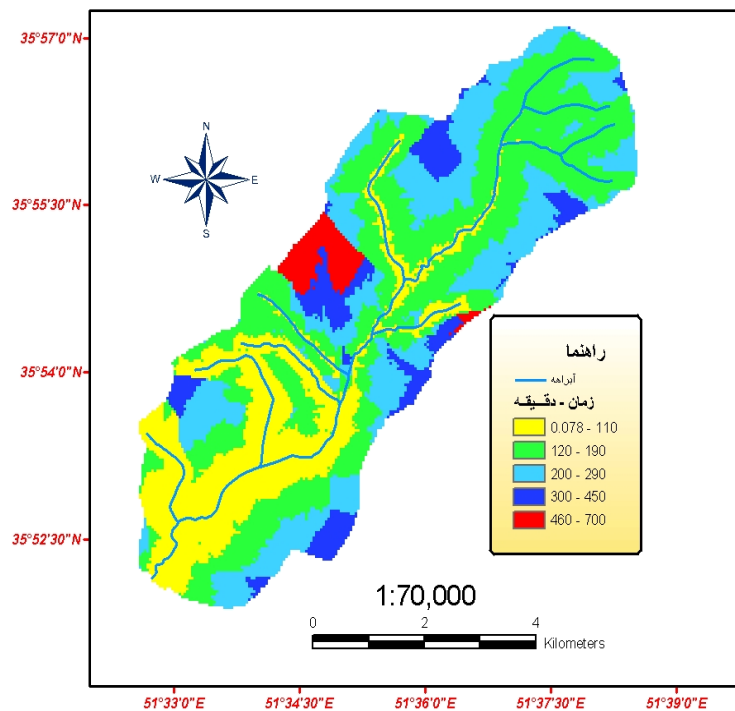
مورد ارزیابی قرار داد. برای بررسی میزان دقت نتایج مدل در مقایسه با نتایج مدل RAFTS از شاخص RE¹ استفاده شد (Mendenhall و همکاران، ۱۹۸۹).



شکل ۳- از چپ به راست به ترتیب نقشه جهت جریان، زمان حداکثر حرکت آب در سلول‌ها، زمان تمرکز سلول‌ها

نتایج و بحث

مدل TC، قادر به محاسبه زمان تمرکز سلول‌های آبخیز بوده، به نحوی که می‌تواند ضمن تفکیک سلول‌های آبراهه‌ای از سلول‌های سطحی حوضه، با به‌کارگیری معادلات کریپیچ و موج سینماتیک اقدام به محاسبه زمان تمرکز آن‌ها نماید. شکل ۴ نقشه زمان تمرکز آبخیز امامه که به‌وسیله مدل زمان تمرکز تولید شده است را نشان می‌دهد.

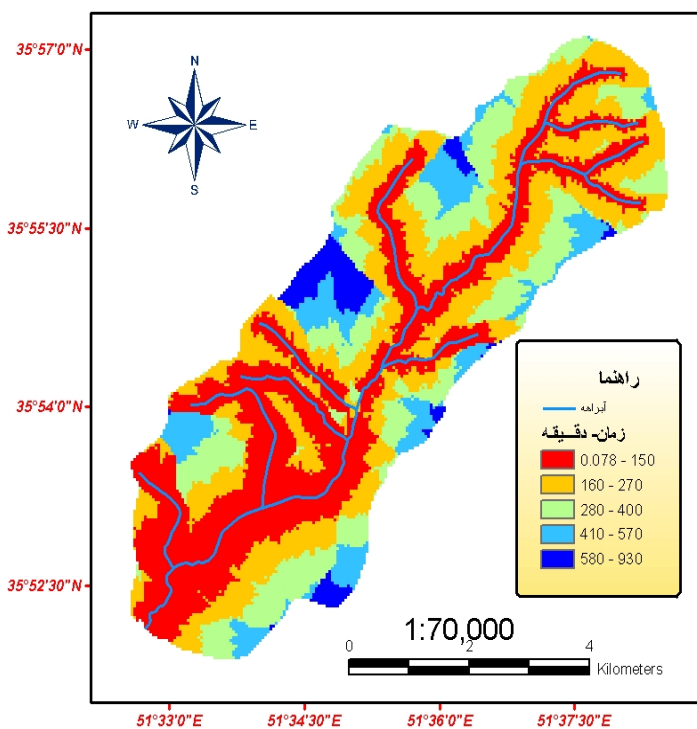


شکل ۴- نقشه زمان تمرکز حوضه امامه

در تهیه این نقشه، شدت بارندگی حوضه ۱۰ میلی‌متر بر ساعت (متوسط مقادیر شدت‌های وقایع هم‌زمان بارش - رواناب حوضه امامه) و ضریب مانینگ در باغات ۰/۴، مراتع متراکم ۰/۱۳ و مراتع نیمه‌متراکم ۰/۱ (متوسط ضرائب

^۱ Relative Error

مانینگ پیشنهادی برای رده‌های کاربری اراضی، استخراج شده از جدول Engman^۱ (۱۹۸۶) فرض شده است. به منظور بررسی حساسیت مدل نسبت به تغییرات ضریب مانینگ، مقادیر حداقل، میانگین، و بیشینه ضریب مانینگ برای هر رده کاربری اراضی از جدول استخراج و سپس به صورت یک لایه اطلاعاتی در مدل مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۵ نقشه زمان تمرکز آبخیز امامه، زمانی که از شدت بارندگی ۱۰ میلی‌متر بر ساعت و ضریب مانینگ در باغات ۰/۴، مراتع متراکم ۰/۳۲ و مراتع نیمه‌متراکم ۰/۲۴ استفاده شده است، نشان می‌دهد.

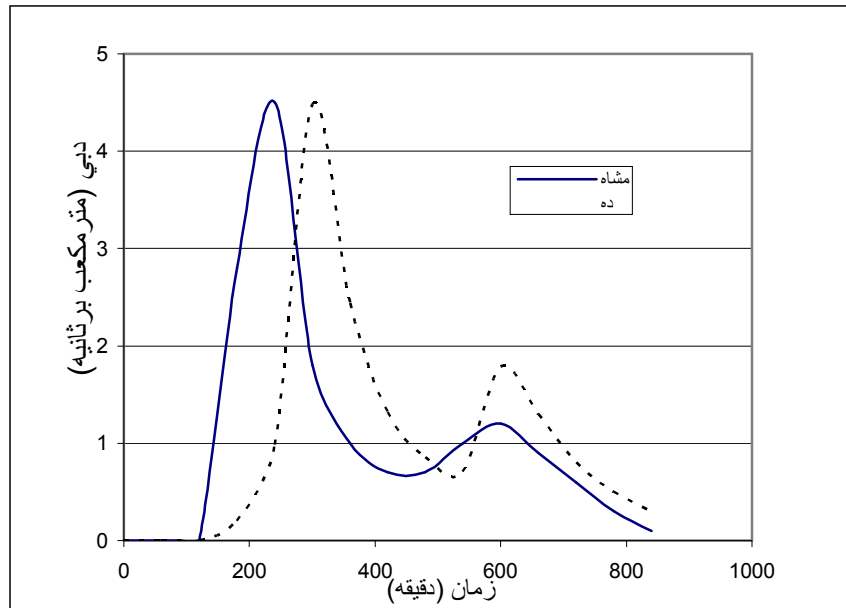


شکل ۵- نقشه زمان تمرکز حوضه امامه

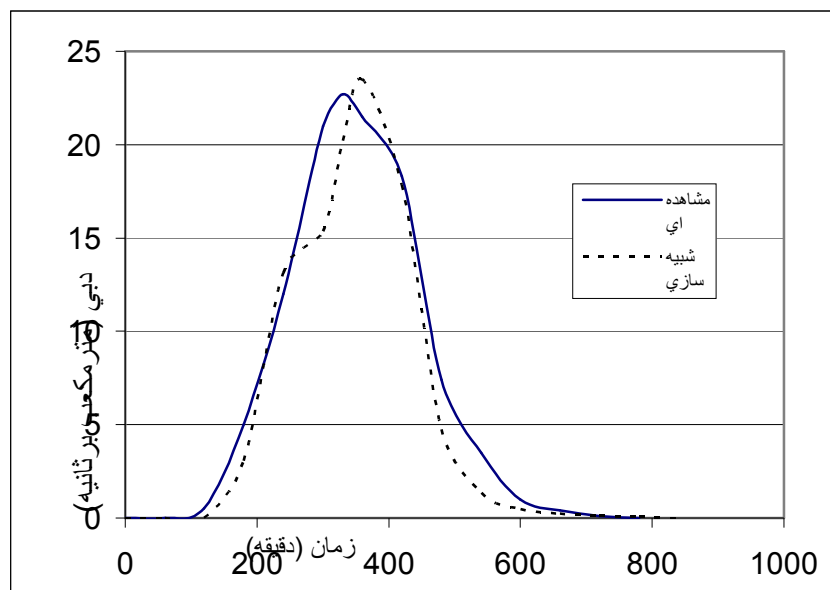
نتایج واسنجی مدل زمان تمرکز با مدل بارش رواناب RAFTS و همچنین استفاده از داده‌های هم‌زمان بارش رواناب، ضمن تأیید عملیات واسنجی، بیان‌گر تأثیرپذیری شکل هیدروگراف سیل از الگوی بارش است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که رگبارهای با شدت بالا، موجب شکل‌گیری سریع‌تر شاخه صعودی هیدروگراف سیل شده است. در رگبارهای با شدت متوسط، مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده از تطابق مناسبی برخوردار هستند. شکل‌های ۶ و ۷ نتایج عملیات واسنجی و ارزیابی مدل را در شدت‌های زیاد و متوسط نشان می‌دهد.

مقایسه آماری نتایج واسنجی و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی RAFTS: به منظور بررسی صحت نتایج مدل TC، از مدل هیدرولوژیکی RAFTS استفاده شده است. در این مرحله با استفاده از زمان تمرکز محاسبه شده در مدل TC و واسنجی و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی، ارقام حاصل از شبیه‌سازی سیلاب و مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن در حوضه امامه مورد آزمون قرار گرفت. نتایج آزمون T استیودنت نشان می‌دهد که چون در سطح ۰/۹۹٪ حد بالا و پائین، اختلاف دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، از ۸/۱ تا ۸/۷۵ است، بنابراین بین دو تیمار اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. جدول ۱ نتایج محاسبات مزبور را نشان می‌دهد. در روشی دیگر می‌توان دقت نتایج واسنجی مدل هیدرولوژیکی و مقادیر دبی اوج سیلاب را از رابطه درصد خطای نسبی (RE) محاسبه نمود.

۱ ضرایب مانینگ در مراتع متراکم ۰/۰۱ تا ۰/۳۲ و مقدار متوسط آن ۰/۱۳، مراتع نیمه‌متراکم ۰/۰۲ تا ۰/۲۴ و مقدار متوسط آن ۰/۱ و در باغات ۰/۴ Engman در جدول



شکل ۶- واسنجی مدل با واقعه ۵۳/۴/۱۷



شکل ۷- ارزیابی مدل با واقعه ۷۳/۸/۱۶

$$RE = |Q_{obs} - Q_{est} / Q_{obs}| * 100 \quad (3)$$

که در آن، RE درصد خطای نسبی، Q_{obs} دبی مشاهداتی (مترمکعب بر ثانیه) و Q_{est} دبی تخمین شده (مترمکعب بر ثانیه) می باشد.

نتایج بررسی های انجام شده نشان می دهد که کمینه و بیشینه میزان خطا به ترتیب $0/4$ و $3/4$ درصد است که در حد قابل قبولی است. مقادیر حاصل بدون بعد بوده، درصد خطای برآورد شده را حول دبی مشاهده شده نشان می دهد. این موضوع با توجه به نمودارهای به دست آمده، بیان گر صحت نتایج واسنجی و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی و مدل محاسبه کننده زمان تمرکز می باشد (شکل های ۶ و ۷).

تحلیل نتایج به دست آمده از واسنجی مدل هیدرولوژیکی بر روی تعدادی از وقایع نشان می دهد که شاخه صعودی هیدروگراف سیلاب مشاهده ای نسبت به شبیه سازی شده دارای حداقل یک ساعت اختلاف است. به نحوی که در دو

واقعه از وقایع موجود، ۵۰ و ۸۱ درصد بارش در ۰/۴ و ۰/۲۵ از شروع زمان بارندگی ریزش یافته است. در صورتی که در سایر وقایع، به لحاظ وجود شدت نسبتاً کم تر بارندگی در شروع وقایع، شاخه صعودی هیدروگراف سیلاب در مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، تقریباً انطباق دارند. این موضوع بیان گر اهمیت تغییرات شدت بارندگی در نحوه پاسخ حوضه به تولید رواناب است. این بدان معنا است که در شدت‌های کم بارندگی، شکل‌گیری شاخه صعودی هیدروگراف سیلاب، با تأخیر بیشتری انجام می‌گیرد. در حالی که بارش‌های با شدت بالا موجب تسریع در بروز رواناب شده، زمان اوج و شاخه صعودی هیدروگراف سیلاب در زمان کم‌تری شکل خواهد گرفت. براین اساس، اختصاص زمان تمرکز ثابت برای حوضه‌ها، به لحاظ تنوع موجود در شدت‌های بارش، غیرمنطقی بوده، ضروری است تا این عامل متناسب با اهداف مطالعات مورد بررسی قرار گیرد. لذا در مطالعات کنترل سیل، به لحاظ ماهیت رگبارهای مولد سیلاب، استفاده از ضرائب کاهنده زمان تمرکز، در حوضه‌هایی با مشخصات نزدیک به منطقه مورد مطالعه (خصوصاً از نظر وسعت و شیب متوسط)، ضروری است. به همین منظور، در مدل توزیعی زمان تمرکز، امکان تعریف ضرائب اصلاحی (برای تصحیح زمان تمرکز) به وسیله کاربر در نظر گرفته شده است که در صورت نیاز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- نتایج آزمون T استیودنت در صحت‌یابی عملیات واسنجی و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی RAFTS

حوضه	نوع داده (دبی)	تعداد داده‌ها	متوسط داده‌ها (m^3s^{-1})	انحراف معیار	سطح اعتماد	نتیجه آزمون
امامه	مشاهده‌ای	۸	۸/۳۷	۷/۲۴	٪۹۹	H0=H1
امامه	شبیه‌سازی	۸	۸/۰۵	۷/۲۳	٪۹۹	H0=H1

نتایج استفاده از ضرائب مختلف مانینگ در مدل نشان داد که مدل حساسیت زیادی نسبت به این پارامتر داشته، با تغییرات کمی در آن، نتایج زمان تمرکز حاصله از مدل، به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌نماید. به همین دلیل می‌بایست این ضریب با دقت و وسواس زیاد برای حوضه مورد نظر تهیه شود. توجه بیشتر به استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی شیء‌گرا چه به صورت عمومی آن‌ها نظیر ++VC و ++C و غیره و چه در قالب زبان‌های برنامه‌نویسی محیط GIS نظیر Avenue، VBA، ArcObjects، و COM نقش بسیار مهمی در طراحی و پیاده‌سازی مدل‌های برداری و رستری در محیط GIS دارند. با به کارگیری این زبان‌ها امکان توسعه و یا طراحی جدیدی از برنامه‌های کاربردی GIS وجود دارد.

منابع مورد استفاده

- Chibber, P. 2004. Overland flow time of concentration on flat terrains. Texas A&M University, Available at the <https://txspace.tamu.edu/handle/1969.1/1293>.
- Donker, N.H.W. 1992. Automatic extraction of catchment hydrological properties. ITC-Journal, 3: 257-265.
- Engman, E.T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers, 112(1):39-53.
- Gafouri, R.A. 1996. Deterministic analysis and simulation of runoff in urban catchment. Ph.D. Thesis, Wollongong University, Wollongong NSW, Australia.
- Jenson, S.K. and J.O. Domingue. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(11):1593-1600.
- Kirpich, Z.P. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering, 10(6):362.
- Maidment, D.R. 1993. Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS. Proceedings of Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management Conference, Int. Assn. Sci. Hydrol. Publ., No. 211, 181-192.
- Mendeenhall, W., J.E. Reinmuth and R. Beaver. 1989. Statistics for management and economics, Fourth Edition, Boston, Massachusetts: Duxbury Press, 700-701.

9. Moglen, G.E. 2001. Resolution effects on hydrologic modeling parameters and peak discharge. *Journal of Hydrologic Engineering*, (6):490-497.
10. Morgali, J.R. and R.K. Linsley. 1965. Computer analysis of overland flow. *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 91(HY3):81-100.
11. Ogbonna, U.S. 2004. Formula for the time of concentration of runoff. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(6):576-579.
12. Wong, T.S.W. 2005. Assessment of time of concentration formulas for overland flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(4):383-387.

Development of a distributed model for catchment time of concentration using GIS and object oriented programming

Seyed Mahmoud Reza Tabatabaei¹, Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Mohammad Roghani, Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 05 May 2010

Accepted: 22 October 2010

Abstract

In calculation of catchments time of concentration, TC, lump equations are often used. Therefore, TC is not accessible for different parts of the catchments. In this research, using object oriented programming in the GIS environment a fully distributed model has been designed and developed. The model is able to calculate the time of concentration for any parts of the catchment to its outlet in a raster map. Model input layers are DEM, rainfall intensity, Manning's roughness coefficient and catchment stream network. The most important outputs of the model are slope, flow direction and flow accumulation layers and isochronal surfaces. In the presented model, catchment cells are divided into two basic classes including channel cells and overland flow cells. Kirpitch and Kinematic wave equations have been used to calculate the time of concentration for the channel and overland flow cells respectively. In addition, rainfall-runoff hydrologic software, RAFTS-XP, has been used to evaluate the accuracy of TC model results. The result of TC model shows that calculated travel time had suitable synchronization to real time, which has been estimated using observed events and the calibration of RAFTS-XP. Considering the point that catchment response for all events which used by RAFTS-XP is based on different rainfall intensities with identical time of concentration, so observing different behaviors in flood hydrographs seems reasonable.

Key words: Avenue, C++, Flow accumulation, Flow direction, GIS programming

¹ taba1345@hotmail.com