

انتخاب بهترین فرمول تجربی برای برآورد زمان تمرکز در حوزه‌های آبخیز شهری (مطالعه موردی: شهر ماهدشت)

- ❖ علی شهبازی: دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی*: استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ آرش ملکیان: استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ علی سلاجقه: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

انتخاب روش‌های صحیح در مدیریت آبخیزهای شهری برای کاهش خطرهای امری انکارناپذیر و ضروری است. لازمه این امر برآورد میزان رواناب با درجه اطمینان بالاست. یکی از عواملی که بدون شک، تأثیر زیادی در دبی اوج و حجم رواناب دارد زمان تمرکز است. هدف از این تحقیق انتخاب بهترین روش از میان فرمول‌های تجربی برآورد زمان تمرکز است. برای تعیین زمان تمرکز واقعی از روش صحرایی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب با استفاده از جسم شناور استفاده شد. به منظور انتخاب بهترین فرمول تجربی از معیارهای آماری- شامل درصد خطای نسبی (RE)، میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین درصد خطای نسبی (RME)، ناساتکلیف (NS)، و ضریب تبیین (R^2)- استفاده شد. سپس، درصد اختلاف مقادیر به دست آمده از فرمول‌های تجربی با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه شد. در این مطالعه، بر اساس نتایج مقایسه درصد خطای نسبی در هر بازه، فرمول‌های تجربی کالیفرنیا، چاو، کارتر، و فدرال به ترتیب با درصد خطای ۲/۷، ۲/۹، ۴/۴، و ۴/۷ برای بازه ۲، رابطه کربای- هاتوی با درصد خطای ۱ برای بازه ۳، رابطه وتورا با درصد خطای ۸/۵ برای بازه ۹، و، در نهایت، رابطه هیدروگراف استدلالی با درصد خطای ۴/۸ برای بازه ۱۰ بهترین برآورد را داشته‌اند. در نتیجه، پیشنهاد می‌شود در مناطقی که خصوصیات نظیر این بازه‌ها دارند، با توجه به اطلاعات موجود، از رابطه‌ای استفاده شود که کمترین درصد خطا را دارد. در نهایت، مشخص شد فقط روش هیدروگراف استدلالی برای کل حوضه کمترین خطا را دارد و جواب مناسبی ارائه داده است.

واژگان کلیدی: آبخیز شهری، زمان پیمایش، زمان تمرکز، فرمول تجربی، هیدروگراف استدلالی

مقدمه

شهرسازی و توسعه شهرها و تبدیل مناطق بایر به اراضی شهری (احداث ساختمان، خیابان، و تأسیسات دیگر) امکان و فرصت نفوذ آب باران به درون زمین را به شدت کاهش می‌دهد و، در نتیجه، رواناب با حجم و سرعت بیشتر به سمت جوی‌ها و آبره‌ها سرازیر می‌شود؛ این شرایط تشدید قدرت فرسایش جریان آب و افزایش بار آلاینده در رواناب را به دنبال دارد [۷]. از این رو، اتخاذ روش‌های صحیح در مدیریت آبخیزهای شهری امری انکارناپذیر و ضروری است. از طرفی، مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای اجرای این امر مهم به برآورد میزان رواناب با درجه اطمینان بالا نیاز دارند. یکی از فاکتورهایی که، بدون شک، تأثیر زیادی در دبی اوج و حجم رواناب دارد زمان تمرکز است.

برآورد زمان تمرکز یکی از پارامترهای کلیدی برای تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی به‌شمار می‌رود [۱۰، ۱۴، ۲۵] و متداول‌ترین پارامتر زمانی مورد استفاده در هیدرولوژی است [۲]. این پارامتر نشان‌دهنده سرعت پاسخ حوزه آبخیز در مقابل بارش رخ داده است [۱۹]، به همین دلیل، از اهمیت بسیار زیادی در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی برخوردار است [۱۰]. زمان تمرکز مهم‌ترین عامل برای انتخاب رگبارهای طرح هر منطقه است، زیرا شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز حوزه آبخیز باشد. اگر زمان باران طرح بزرگ‌تر انتخاب شود - چون با افزایش مدت از شدت بارندگی‌ها کاسته می‌شود - دبی سیلاب کاهش می‌یابد و برعکس اگر مدت باران طرح از زمان تمرکز کوچک‌تر باشد، قبل از آنکه دورترین قطرات خود را به نقطه تمرکز برسانند باران قطع می‌شود و شدت سیل تقلیل می‌یابد. بنابراین، بحرانی‌ترین مدت همان زمان برابر زمان تمرکز است [۲۰]. طی یک

بررسی در حوزه آبخیز اصفهان - سیرجان، از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب عامل زمان تمرکز با وزن ۳۷/۹ درصد، عامل شیب سطح حوزه با ۲۹ درصد، و عامل تراکم زه‌کشی آبراهه‌های درجه یک با وزن ۲۴/۶ دارای بیشترین تأثیر بودند [۱۸]. زمان تمرکز مدت زمانی است که آب از دورترین نقطه حوضه به خروجی برسد [۱۳]. زمان تمرکز از روش‌های متعددی قابل محاسبه است که پاسخ‌های مختلفی نیز دارد، که علت آن نادیده گرفتن وضعیت مسیر جریان آب از نظر زبری بستر، پوشش گیاهی، شعاع هیدرولیکی در نقاط مختلف، بریدگی‌ها و آبشارها و سایر عوامل است. بنابراین، بهتر است، علاوه بر استفاده از رابطه‌های نظری، همواره شرایط محیطی نیز در نظر گرفته شود و اصلاحات لازم انجام گیرد [۱۳]. با توجه به اینکه تعیین زمان تمرکز به شرایط فیزیوگرافی و اقلیمی حوضه بستگی دارد، در نقاط مختلف جهان فرمول‌ها و روابطی را برای برآورد زمان تمرکز طراحی و از آن استفاده کرده‌اند. این در حالی است که کشور ایران دارای اقلیم‌های مختلفی است و نمی‌توان به دلخواه و با در نظر گرفتن بعضی از پارامترها از این فرمول‌ها و روابط استفاده کرد. بیشترین خطا در برآورد زمان تمرکز را می‌توان به فرمول‌هایی نسبت داد که از آن‌ها استفاده می‌شود و، در نهایت، به خطاهای قابل توجهی در طراحی‌ها منجر می‌شود [۵]. بنابراین، نیاز است که این فرمول‌ها و روابط در حوضه‌های مختلف کشور آزمایش شود تا بهترین فرمول انتخاب گردد [۱۷].

در تحقیقی در دو حوضه امامه و کسلیان البرز شمالی، زمان تمرکز واقعی را با تزریق نمک به دست آوردند و نتیجه به دست آمده از رابطه تجربی برانسیبی ویلیامز را بهترین روش برای برآورد زمان تمرکز در منطقه مذکور مشخص کردند [۱۶]. طی مطالعه‌ای زمان تمرکز واقعی با استفاده از هیدروگراف سیلاب

میانگین درصد خطای مطلق (APE)، ریشه مربع خطاها (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، و ضریب همبستگی در دو حوزه آبخیز منشاد و ده بالا نشان داد که از نظر زمان پیمایش جزئی (در بازه‌هایی با طول کم) و همچنین زمان پیمایش مجموع (حاصل جمع زمان پیمایش مجموعه بازه‌های برداشتی) رابطه‌های زمردی و هاکتانیر-سین تقریباً نتایج قابل قبولی ارائه می‌نمایند [۶]. از مقایسه زمان تمرکز به دست آمده بر روی سطوح چمن و بتن با نتایج فرمول‌های ایزارد، مهندسی ارتش امریکا، کربای، رابطه موج سینماتیکی، ولهیسر و لیگیت، ین و چو، چن و وانگ، سازمان امور راه‌های استرالیا، و اداره کل هوانوردی فدرال مشخص شد فرمول‌هایی که شدت بارندگی را در نظر گرفته‌اند برآورد بهتری از زمان تمرکز دارند و از میان آن‌ها فرمول چن و وانگ بهترین برآورد را داشته است [۲۴].

جمعی از پژوهشگران با استفاده از سه روش اطلاعات مربوط به ۹۶ حوزه آبخیز شهر تگزاز را تهیه کردند و سپس با استفاده از اطلاعات به دست آمده و فرمول‌های تجربی (ویلیامز، کریپچ، جانستون-کروس، هاکتانیر-سین، سیمز-هاوکینز) زمان تمرکز را برآورد کردند [۹]. نتایج بیانگر این است که فرمول‌های کریپچ و هاکتانیر-سین برآورد قابل اطمینان‌تری از زمان تمرکز ارائه داده‌اند. طی مطالعه‌ای، با استفاده از فرمول سازمان حفاظت منابع طبیعی، زمان تمرکز مبنا محاسبه و با ۹ فرمول تجربی مقایسه گردید. نتایج حاکی از آن است که فرمول کالیفرنیا با ضریب تصحیح ۱٫۷۱۵، کریپچ با ضریب تصحیح ۱٫۷۲۱، و فرمول آریزونا با ضریب تصحیح ۱٫۱۲۶ به ترتیب بهترین برآورد را از زمان تمرکز داشته‌اند [۲۱].

با توجه به اینکه زمان تمرکز یکی از پارامترهای مهم در برآورد سیلاب است و از طرفی، نظر به اینکه

و هایتوگراف بارندگی ثبت شده تهیه شد و برای انتخاب بهترین رابطه با ۱۴ فرمول (کریپچ، کالیفرنیا، معادله تأخیر (SCS)، اسپي، ونتورا، باوارین، جیاندوتی، کارتر، پاسینی، برانسبی-ویلیامز، جانستون-کراس، پیلگریم-مک‌درمات، لینزلی، و اداره کل هوانوردی فدرال) مقایسه شد و روابط واسنجی شده این معادلات از طریق نرم‌افزار SAS انجام گردید. ارزیابی فرمول‌ها نشان داد که غیر از فرمول واسنجی شده پیلگریم-مک‌درمات بقیه آن‌ها دقت کافی برای برآورد زمان تمرکز حوزه‌های آبخیز با خصوصیات مشابه منطقه مورد مطالعه را ندارند [۸]. طی مطالعه‌ای در حوزه آبخیز میمه، برای انتخاب بهترین فرمول از فرمول‌های تجربی (کریپچ، چاو، برانسبی-ویلیامز، کربای-هات‌وی، کارتر، جیاندوتی، و هیدروگراف استدلالی)، زمان تمرکز واقعی از روش صحرائی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب با استفاده از محلول نمک به دست آمد. به منظور انتخاب بهترین فرمول درصد اختلاف مقادیر به دست آمده از فرمول‌های تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده تعیین گردید و مشخص شد فرمول‌های کریپچ و چاو و هیدروگراف استدلالی جواب‌های نسبتاً خوبی ارائه داده‌اند [۴]. در حوزه آبخیز سرفیروزآباد، به منظور انتخاب بهترین فرمول برآورد زمان تمرکز، زمان تمرکز واقعی از روش صحرائی به دست آمد. سپس، با محاسبه درصد اختلاف نسبی مقادیر به دست آمده از فرمول‌های تجربی (کریپچ، چاو، برانسبی-ویلیامز، کربای-هات‌وی، کارتر، جیاندوتی، و هیدروگراف استدلالی) با مقادیر واقعی مشخص گردید که فرمول‌های کریپچ، چاو، و هیدروگراف استدلالی جواب‌های مناسبی ارائه داده‌اند [۱۱]. نتایج ارزیابی برآورد پنج فرمول تجربی (کریپچ، کالیفرنیا، SCS، ین-چاو، هاکتانیر-سین، و زمردی) با استفاده از شاخص‌های آماری

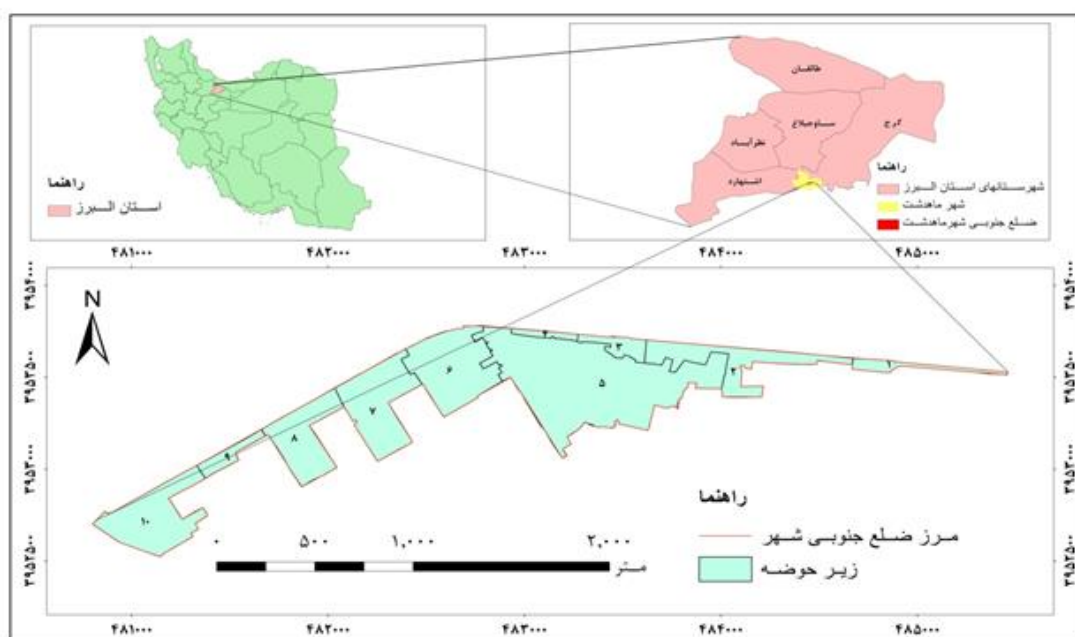
از سطح آب‌های آزاد حدود ۱۲۹۴ متر، میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه ۲۴۳/۸ میلی‌متر، و محدوده خدمات شهری در حدود ۳۵۰۰ هکتار است. ضلع شمالی شهر دارای آبگذر مستطیلی روباز است که رواناب حاصله از سطوح پشت بام، کوچه، و خیابان‌های فرعی متصل به خود را به سمت اراضی پایین دست هدایت می‌کند. از انتهای خیابان نصر به بعد آبگذر و سطوح متصل به آن به صورت خاکی است؛ در اثر رشد گیاهان و تجمع آشغال در آبگذر و حالت باتلاقی شدن جاده کناری آن امکان اندازه‌گیری و پیمایش در زمان بارندگی نیست. منازل و سطوح موجود در ضلع جنوبی شهر، با مساحت ۱۱۱ هکتار، رواناب حاصل از بارندگی را به سمت آبگذر مستطیلی روباز موجود در خیابان اصلی هدایت می‌کنند. آبگذر ضلع جنوبی، با توجه به داشتن شرایط مناسب و نداشتن مشکلات آبگذر شمالی شهر، برای پیمایش و اندازه‌گیری انتخاب شد (شکل ۲).

تا به حال تحقیقات اندکی درباره تعیین بهترین فرمول تجربی برای برآورد زمان تمرکز صورت گرفته و بیشتر در محیط طبیعی بوده نه شهری، هدف از این مطالعه مقایسه و انتخاب بهترین روش برآورد زمان تمرکز برای حوزه آبخیز شهری تحت یک مطالعه موردی در شهر ماهدشت و با توجه به مشخصات منطقه مورد مطالعه و استفاده از فرمول‌های تجربی رایج در برآورد زمان تمرکز است.

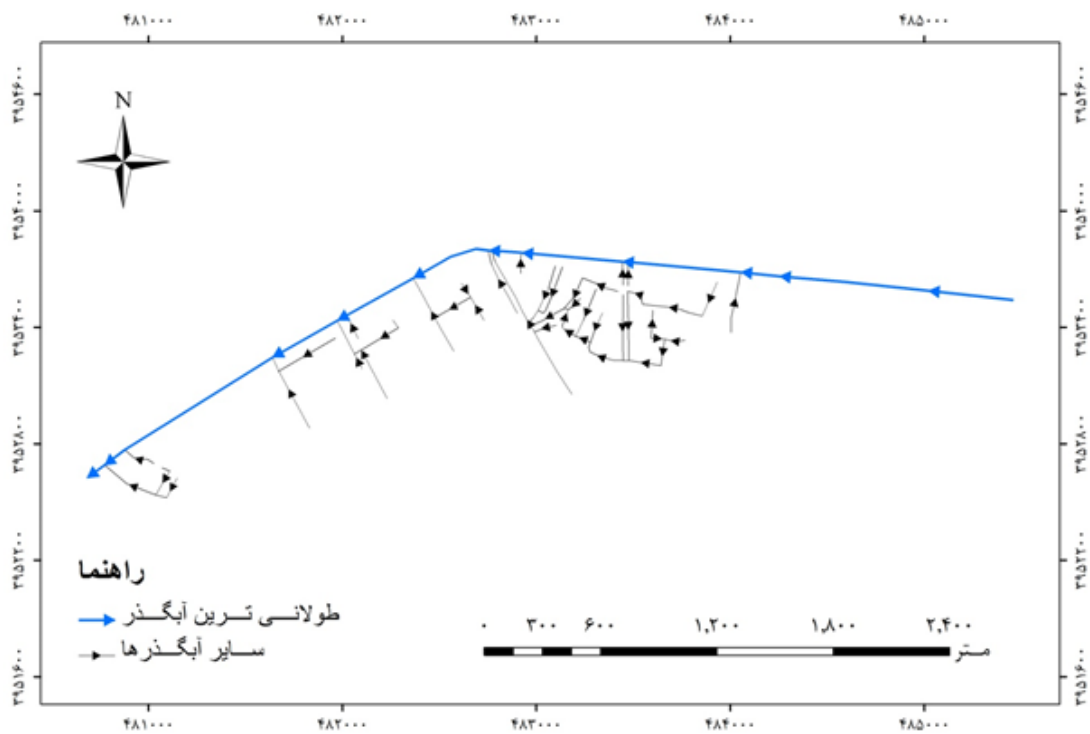
روش‌شناسی تحقیق

منطقه مورد مطالعه

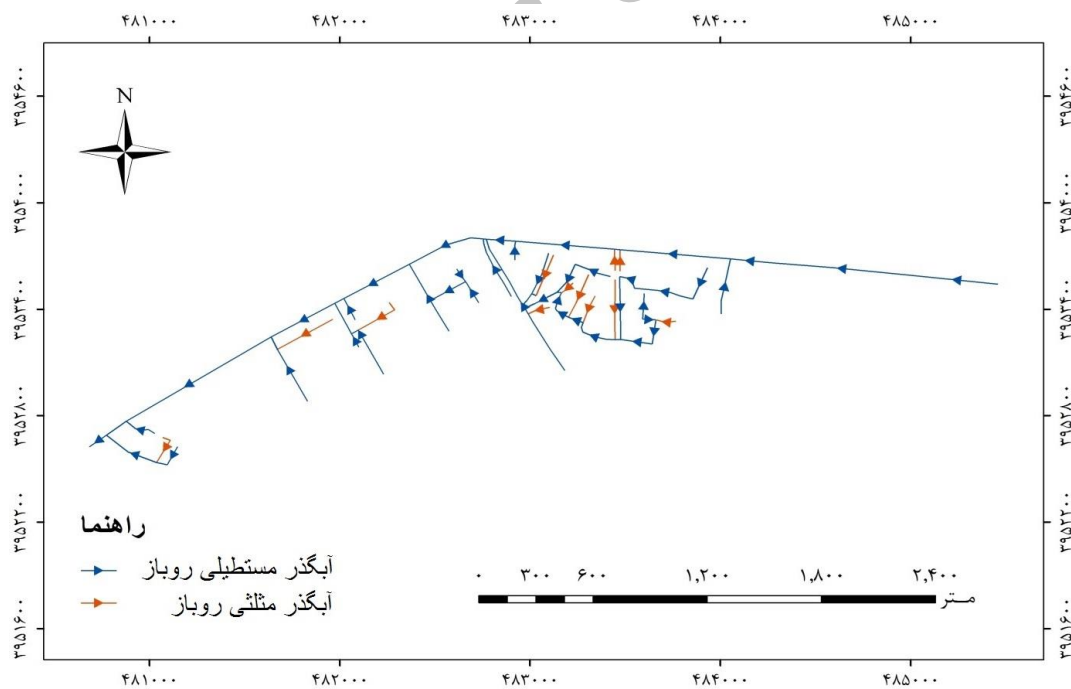
شهر ماهدشت در ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه طول غربی و ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و در جنوب غربی شهرستان کرج واقع است (شکل ۱). شهر ماهدشت از شمال به فرودگاه پیام و مرکز ماهواره سنجش از دور ایران، از جنوب به شهرستان شهریار، از شرق به شهر محمدشهر، و از غرب به شهرستان اشتهارد منتهی می‌شود. ارتفاع متوسط شهر ماهدشت



شکل ۱. مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. طولانی‌ترین آبگذر نمونه برداری شده



شکل ۳. جهت جریان و نوع آبگذرهای موجود در منطقه مود مطالعه

آبگذر مثلثی اند و خیابان‌های فرعی و اصلی دارای آبگذر مستطیلی روباز (شکل ۳). تمامی آبگذرهای

سیستم زه‌کشی سطح شهر به دو شکل مثلثی و مستطیلی روباز است. کوچه‌های فرعی بیشتر دارای

زمان تمرکز به دست آمد. در نهایت، از جمع زمان‌های به دست آمده در ۱۰ بازه زمان تمرکز کل حوضه تعیین گردید. جسم شناور مورد استفاده یک بطری ۲۰۰ میلی‌لیتری بود که یک سوم آن در زمان اندازه‌گیری برای حفظ تعادل از آب پُر شد. آبگذر موجود در سطح شهر به صورت مرکب (در این نوع شبکه‌ها، مجموعه فاضلاب و آب باران با یک سیستم جمع‌آوری می‌شود) است؛ به همین دلیل، استفاده از سایر روش‌ها مانند خط‌کش ROD و دستگاه مولینه به علت برخورد آشغال‌های شناور در آب با وسایل اندازه‌گیری ممکن نیست. با توجه به اینکه آبگذرهای سطح شهر از نوع مرکب است، به منظور کاهش درصد خطای ناشی از برخورد اجسام شناور در آب، ۲۵ دقیقه بعد از شروع بارندگی، که قسمت‌های ابتدایی آبگذر از نظر مقدار ارتفاع آب و مقدار آشغال موجود به تعادل نسبی رسید، اندازه‌گیری آغاز شد. ذکر این نکته لازم است که بازه‌هایی که دارای ورودی آب از خیابان‌های فرعی بودند، به منظور جلوگیری از افزایش ناگهانی سرعت، اندازه‌گیری‌ها ۵۰ متر پایین‌تر از این ورودی‌ها انجام پذیرفت. سپس، به منظور انتخاب بهترین فرمول تجربی، زمان تمرکز مشاهداتی با مقادیر به دست آمده از فرمول‌های تجربی مقایسه شد. برای ارزیابی دقت فرمول‌های تجربی از معیارهای آماری - شامل خطای نسبی (RE)، میانگین خطای نسبی (RME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارایی ناش-ساتکیف (NS)، و ضریب تبیین (R^2) - استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی مبین اختلاف کلی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی است. جهت تعیین درصد خطای مقدار برآورد شده برای هر کدام از بازه‌ها از خطای نسبی و برای تعیین درصد خطای روابط مورد استفاده در برآورد زمان تمرکز کل حوضه از میانگین درصد خطای نسبی استفاده شد. درصد

موجود در سطح شهر از نوع مرکب (در این نوع شبکه‌ها، مجموعه فاضلاب و آب باران با یک سیستم جمع‌آوری می‌شود) است.

روش تحقیق

تعیین مرز حوضه با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۰۰۰، نقشه‌های شهری (شامل خیابان‌ها، بلوارها، پیاده‌روها، فضای سبز، و...)، بازدیدهای میدانی، و نیز با توجه به شیب در نقاط مختلف حوزه انجام شده است.

برای برآورد زمان تمرکز واقعی منطقه مورد مطالعه از روش صحرائی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب با استفاده از جسم شناور استفاده شد. از آنجایی که تحقیق در یک محیط شهری، که پیچیدگی خاص خود را داراست، انجام گرفته، قبل از اجرای عملیات اندازه‌گیری، با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مسئولان شهری، مصاحبه حضوری، پیمایش در سطح کل منطقه در زمان بارش‌های قبلی، و دیدن مسیر حرکت رواناب، بزرگ‌ترین آبگذر و خروجی اصلی تعیین شد. سپس، قسمت‌هایی از آبگذر، که دارای کمترین مشکل بودند، به عنوان بازه‌های اندازه‌گیری انتخاب شدند. به منظور بالابردن دقت اندازه‌گیری، طول آبگذر را (در مجموع ۵ کیلومتر است) ابتدا به ۱۰ بازه مساوی تقسیم شد و سپس ۵۰ متر از این بازه‌ها که از نظر شیب و میزان ورود آب از خیابان‌های فرعی، ابعاد کانال، و نوع کانال شبیه هم بودند برای محاسبه زمان پیمایش در نظر گرفته شدند. سپس، با توجه به طول هر بازه انتخابی، که ۵۰ متر بود، پارامتر سرعت محاسبه شد. در ادامه از ضرب سرعت محاسبه شده در ضریب اصلاحی، که از روش میزان غوطه‌وری جسم شناور ۰/۸۶ درصد تعیین شده بود، سرعت اصلاح شده برای هر بازه تعیین گردید. سپس، با توجه به طول هر بازه،

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RE \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{رابطه (۴)}$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

P_i = مقدار برآورده شده، O_i = مقدار مشاهده شده،

\bar{O} = میانگین مقادیر مشاهده‌ای، N = تعداد داده

به منظور تعیین برخی پارامترهای مورد نیاز برای برآورد زمان تمرکز با استفاده از فرمول‌های تجربی در منطقه مورد مطالعه به تهیه لایه‌های اطلاعاتی از جمله نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه شیب، نقشه توپوگرافی، و شبکه آبراهه (آبگذر موجود در سطح شهر) در محیط GIS اقدام شد. جدول ۱ اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیکی حوضه و زیرحوضه‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد.

در تحقیق حاضر برای برآورد زمان تمرکز از ۱۱

فرمول تجربی استفاده شده است. جدول ۲، ۱۱ فرمول تجربی را نشان می‌دهد.

خطای نسبی در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند برابر با صفر است [۲۲]. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد؛ بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. در صورتی که مقدار NS مثبت باشد، نشان‌دهنده آن است که روند داده‌های برآورد شده بهتر از میانگین داده‌های مشاهداتی است، و در صورتی که منفی باشد، نشان می‌دهد که خروجی فرمول با ماهیت سیستم متناظر نیست [۳، ۲۳]. از بین فرمول‌های مذکور فرمولی که از درصد خطای نسبی، ریشه میانگین مربعات خطا، و میانگین خطای نسبی نزدیک به صفر و همچنین ناساتکلیف نزدیک به یک برخوردار باشد مناسب‌ترین فرمول برای تعیین زمان تمرکز انتخاب شد.

رابطه (۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}$$

$$RE = \frac{|O_i - P_i|}{O_i} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی کل حوضه و زیرحوضه‌ها

شماره بازه	طول بازه (متر)	اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای بازه (متر)	شیب بازه (درصد)	محیط (کیلومتر)	قطر دایره معادل (کیلومتر)	مساحت زیرحوضه مشرف به بازه (کیلومتر مربع)	شیب زیرحوضه مشرف به بازه (درصد)
۱	۹۶۰	۲،۷۳	۰،۲۸	۱،۶۷	۰،۱۷	۰،۰۲۴	۰،۹۸
۲	۱۰۶۸	۴،۹۶	۰،۴۶	۳،۲۲	۰،۳۶	۰،۱۰۲	۲،۴۲
۳	۳۰۹	۰،۸۲	۰،۲۷	۱،۰۱	۰،۱۹	۰،۰۲۷	۱،۵۵
۴	۳۴۱	۳،۴۷	۱،۰۱	۰،۷۶	۰،۱۲	۰،۰۱۱	۱،۹۸
۵	۱۹۵	۱،۰۲	۰،۵۲	۴،۴۳	۰،۷۳	۰،۴۱۳	۲،۸۵
۶	۴۳۲	۱،۸۲	۰،۴۲	۱،۹۹	۰،۴۴	۰،۱۴۹	۴،۲۳
۷	۳۷۴	۰،۸۵	۰،۲۳	۱،۸۵	۰،۴۱	۰،۱۳۴	۱،۵
۸	۴۱۳	۱،۷۱	۰،۴۱	۱،۶۲	۰،۳۶	۰،۱۰۱	۱،۸۴
۹	۴۱۱	۱،۹۴	۰،۴۷	۰،۹۳	۰،۱۷	۰،۰۲۴	۲،۴۳
۱۰	۵۹۰	۳،۱۸	۰،۵۴	۲،۰۱	۰،۴۱	۰،۱۳۲	۳،۵۷

جدول ۲. معرفی روابط تجربی برآورد زمان تمرکز

شماره	فرمول	رابطه	پارامترها
۵	کریچ	$T_c = 0.0195 L^{.77} S^{-.385}$	T_c = زمان تمرکز (دقیقه) L = طول آبراهه اصلی (متر) S = شیب متوسط حوزه (متر / متر)
۶	کالیفرنیا	$T_c = (0.885 \frac{L^2}{H})^{.385}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) L = طول آبراهه اصلی (کیلومتر) H = اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوزه (متر)
۷	کربای - هات وی	$T_c = \left[\frac{0.67nL_c}{\sqrt{S}} \right]^{.467}$	T_c = زمان تمرکز (دقیقه) L_c = طول جریان سطحی (فوت) n = ضریب زبری مانینگ S = شیب متوسط حوزه (فوت / فوت)
۸	چاو	$T_c = 0.00032 L^{.15} H^{-.385}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) L = طول آبراهه اصلی (متر) H = اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوزه (متر)
۹	فدرال	$T_c = \frac{3/64(1/1-C)L^{.83}}{H^{.33}}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) L = طول آبراهه اصلی (کیلومتر) H = اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوزه (متر) C = ضریب رواناب
۱۰	ماکوس (SCS)	$T_{(lag)} = \frac{L^{.78}(S+1)^{.7}}{190.(Y)^{.5}}$ $T_c = 1/67 t_{(lag)}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) $T_{(lag)}$ = زمان تأخیر (ساعت) L = طول آبراهه اصلی (فوت) Y = متوسط شیب حوزه (درصد) S = توان تلفات حوزه (اینچ)
۱۱	برانسی - ویلیامز	$T_c = \frac{0.96 L^{.7}}{H^{.7} A^{.1}}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) A = مساحت حوزه (کیلومتر مربع) L = طول آبراهه اصلی (کیلومتر مربع) H = اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوزه (متر)
۱۲	جیاندوتی	$T_c = \frac{(4\sqrt{A}) + (1/5L)}{0.8\sqrt{H}}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) A = مساحت حوزه (کیلومتر مربع) L = طول آبراهه اصلی (کیلومتر) H = ارتفاع متوسط حوزه (متر)
۱۳	کارتز	$T_c = 2/833 L^{.6} S^{-.13}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) L = طول آبراهه (مایل) S = شیب متوسط آبراهه (فوت / مایل)
۱۴	هیدروگراف استدلالی	$T_c = M \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{.66}$	T_c = زمان تمرکز (دقیقه) L = طول آبراهه (متر یا فوت) S = شیب حوزه (متر / متر یا فوت / فوت) M = مقدار ثابت برابر ۰.۰۵۷ برای سیستم متریک و ۰.۰۲۶ برای سیستم انگلیسی
۱۵	ونتورا	$T_c = 0.1272 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$	T_c = زمان تمرکز (ساعت) A = مساحت حوزه (کیلومتر مربع) S = شیب متوسط آبراهه (متر / متر)

نتایج

زمان تمرکز را در نظر گرفت؛ ۳. در بین متخصصان، طراحان، و کتاب‌های هیدرولوژی عمومی داشته باشند. به همین منظور، ۱۱ رابطه (کریچ، کالیفرنیا، کربای- هاتوی، چاو، فدرال، ماکوس، برانسی- ویلامز، جیاندوتی، کارتر، هیدروگراف استدلالی، و وتورا) انتخاب شد. جدول ۴ نتایج حاصل از برآورد هر کدام از روابط تجربی را نشان می‌دهد.

برای مقایسه داده‌های مشاهده‌ای (زمان تمرکز با استفاده از روش صحرائی) و داده‌های برآوردی (معادلات تجربی برآورد زمان تمرکز) از پنج پارامتر آماری - درصد خطای نسبی (RE)، میانگین درصد خطای نسبی (RME)، ناش ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین (R2) - استفاده شد. جدول های ۵ و ۶ نتایج این مقایسه را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری زمان تمرکز، آبگذر اصلی بر اساس پارامترهایی نظیر شیب، عمق جریان، سرعت، میزان ورود آب از خیابان‌های فرعی، ابعاد کانال، و نوع کانال به بازه‌های همگن تقسیم شد. سپس، زمان تمرکز با استفاده از روش جسم شناور در هر بازه به دست آمد و، در نهایت، از مجموع زمان تمرکز اندازه‌گیری شده در هر یک از بازه‌ها زمان تمرکز نهایی محاسبه شد. جدول ۳ مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن زمان تمرکز روابط تجربی زیادی وجود دارد. در این تحقیق سعی بر آن شده تا از روابطی استفاده شود که: ۱. متغیرهای روابط انتخابی دارای دقت کافی باشند و امکان تعیین این متغیرها فراهم باشد؛ ۲. تنوع پارامترها در فرمول‌ها وجود داشته باشد تا بتوان اثر بیشتر عوامل مؤثر بر

جدول ۳. اندازه‌گیری زمان تمرکز به روش صحرائی در کل حوزه و زیرحوزه‌های شهر ماهدشت

شماره بازه	مساحت زیرحوزه مشرف به بازه (کیلومتر مربع)	طول آبگذر (متر)	شیب بازه (درصد)	طول پیمایش شده (متر)	زمان پیمایش جسم شناور (ثانیه)	زمان پیمایش کل بازه (ثانیه)	سرعت (متر بر ثانیه)	سرعت اصلاح شده (متر بر ثانیه)	زمان تمرکز (دقیقه)
۱	۰٫۰۲۴	۹۶۰	۰٫۲۸	۵۰	۸۴٫۳	۱۶۱۹٫۴	۰٫۵۹	۰٫۵۲	۳۱٫۴
۲	۰٫۱۰۲	۱۰۶۸	۰٫۴۶	۵۰	۷۹٫۷	۱۷۰۳٫۳	۰٫۶۳	۰٫۵۴	۳۳
۳	۰٫۰۲۷	۳۰۹	۰٫۲۷	۵۰	۵۹٫۳	۳۶۶٫۳	۰٫۸۴	۰٫۷۳	۷٫۱
۴	۰٫۰۱۱	۳۴۱	۱٫۰۱	۵۰	۵۷	۳۸۸٫۵	۰٫۸۸	۰٫۷۵	۷٫۵
۵	۰٫۴۱۳	۱۹۵	۰٫۵۲	۵۰	۳۸٫۵	۱۵۰	۱٫۳	۱٫۱۲	۲٫۹
۶	۰٫۱۴۹	۴۳۲	۰٫۴۲	۵۰	۴۱٫۴	۳۵۷٫۵	۱٫۲۱	۱٫۰۴	۶٫۸
۷	۰٫۱۳۴	۳۷۴	۰٫۲۳	۵۰	۴۴٫۳	۳۳۱٫۴	۱٫۱۳	۰٫۹۷	۶٫۳
۸	۰٫۱۰۱	۴۱۳	۰٫۴۱	۵۰	۴۵٫۷	۳۷۷٫۴	۱٫۰۹	۰٫۹۴	۷٫۳
۹	۰٫۰۲۴	۴۱۱	۰٫۴۷	۵۰	۵۲٫۸	۴۳۴٫۴	۰٫۹۵	۰٫۸۱	۸٫۴
۱۰	۰٫۱۳۲	۵۹۰	۰٫۵۴	۵۰	۴۹٫۳	۵۸۱٫۵	۱٫۰۱	۰٫۸۷	۱۱٫۳

جدول ۴. نتایج حاصل از برآورد زمان تمرکز با استفاده از روابط تجربی

فرمول بازه	کریچ (دقیقه)	کالیفرنیا (دقیقه)	هات وی (دقیقه)	چاو (دقیقه)	فدرال (دقیقه)	ماکوس (دقیقه)	برانسبی- ویلیامز (دقیقه)	جیاندوتی (دقیقه)	کارتر (دقیقه)	استدلالی (دقیقه)	ونتورا (دقیقه)
۱	۴٫۹	۳۷٫۱	۵٫۵	۳۵٫۱	۳۷٫۹	۴۰٫۸	۶۵٫۳	۴٫۵	۳۸٫۲	۲۴٫۴	۱۱٫۸
۲	۳٫۵	۳۳٫۳	۶٫۵	۳۱٫۵	۳۴	۴۴٫۵	۵۶٫۹	۶٫۳	۳۱	۱۹٫۴	۱۵٫۶
۳	۱٫۶	۱۵٫۹	۷	۱۵٫۱	۲۲	۱۶٫۵	۲۱	۲٫۵	۱۶٫۸	۹٫۹	۱۰٫۱
۴	۱٫۶	۱۰٫۲	۴٫۹	۹٫۷	۱۴٫۸	۱۷٫۸	۱۹٫۳	۲٫۱	۱۶٫۶	۹٫۸	۵٫۸
۵	۰٫۹	۸٫۶	۱۰٫۷	۸٫۲	۱۴	۱۱٫۴	۸٫۸	۶٫۳	۱۰٫۶	۶	۲۹
۶	۱٫۴	۱۷٫۲	۹٫۳	۱۶٫۴	۲۲٫۳	۲۱٫۶	۲۲٫۶	۴٫۸	۱۵٫۲	۸٫۹	۱۴٫۳
۷	۱٫۹	۱۹٫۶	۱۱٫۷	۱۸٫۶	۲۵٫۵	۱۹٫۲	۲۲٫۴	۴٫۵	۱۹٫۱	۱۱٫۴	۲۲٫۸
۸	۱٫۹	۱۶٫۸	۱۰٫۴	۱۵٫۹	۲۲	۲۰٫۸	۲۲٫۵	۴٫۲	۱۹	۱۱٫۳	۱۷٫۹
۹	۱٫۷	۱۵٫۹	۶٫۲	۱۵٫۱	۲۱	۲۰٫۷	۲۵٫۲	۲٫۷	۱۷٫۵	۱۰٫۲	۷٫۵
۱۰	۱٫۹	۱۹٫۹	۸٫۹	۱۸٫۹	۲۴٫۱	۲۷٫۷	۲۹٫۷	۵٫۲	۱۹٫۳	۱۱٫۵	۱۴٫۷
مجموع	۲۰٫۹	۱۹۴٫۶	۸۱٫۱	۱۸۴٫۵	۲۳۷٫۵	۲۴۰٫۹	۲۹۳٫۷	۴۳	۲۰۳٫۴	۱۲۲٫۹	۱۴۹٫۵

جدول ۵. درصد خطای نسبی (RE) برآورد فرمول‌های تجربی در هر کدام از بازه‌ها

فرمول بازه	کریچ	کالیفرنیا	هات وی	چاو	فدرال	ماکوس (SCS)	برانسبی- ویلیامز	جیاندوتی	کارتر	استدلالی	ونتورا
۱	۸۵٫۱	۲۰٫۸	۸۲	۱۴٫۲	۲۳٫۳	۳۲٫۹	۱۱۲٫۴	۸۵٫۳	۲۴٫۲	۲۰٫۶	۶۱٫۴
۲	۸۹٫۲	۲٫۷	۷۹٫۸	۲٫۹	۴٫۷	۳۷	۷۵٫۲	۸۰٫۵	۴٫۴	۴۰٫۲	۵۱٫۸
۳	۷۶٫۹	۱۲۹٫۸	۱	۱۱۸٫۵	۲۱۷٫۶	۱۳۸	۲۰۳٫۵	۶۴٫۴	۱۴۳٫۱	۴۳٫۱	۴۵٫۲
۴	۷۸٫۷	۳۸٫۵	۳۳	۳۱٫۶	۱۰۰٫۷	۱۴۱٫۴	۱۶۱٫۴	۷۲	۱۲۴٫۹	۳۲٫۲	۲۱٫۵
۵	۶۸٫۹	۲۰۰٫۶	۲۷۴٫۴	۱۸۶٫۵	۳۸۸٫۳	۲۹۸٫۸	۲۰۸٫۲	۱۲۰٫۴	۲۷۲٫۲	۱۰۶٫۳	۹۱۵٫۴
۶	۷۹٫۲	۱۵۴٫۸	۳۷	۱۴۱٫۸	۲۲۹٫۹	۲۱۸٫۴	۲۳۳٫۶	۲۸٫۶	۱۲۵٫۱	۳۱٫۲	۱۱۱٫۶
۷	۷۰٫۲	۲۱۰٫۸	۸۵٫۶	۱۹۵٫۳	۳۰۴٫۵	۲۰۵	۲۵۵٫۱	۲۹٫۱	۲۰۲٫۸	۸۰٫۵	۲۶۱٫۴
۸	۷۳٫۸	۱۳۴٫۲	۴۴٫۹	۱۲۲٫۴	۲۰۶٫۷	۱۹۰٫۴	۲۱۴٫۵	۴۱٫۷	۱۶۵٫۹	۵۸٫۴	۱۴۹٫۶
۹	۷۹٫۶	۹۳٫۲	۲۵	۸۳٫۵	۱۵۵٫۲	۱۵۱٫۹	۲۰۷٫۱	۶۶٫۹	۱۱۲٫۵	۲۴٫۱	۸٫۵
۱۰	۸۲٫۶	۸۱	۱۹٫۲	۷۱٫۶	۱۱۸٫۴	۱۵۱٫۱	۱۶۹٫۹	۵۳٫۱	۷۵٫۵	۴٫۸	۳۳

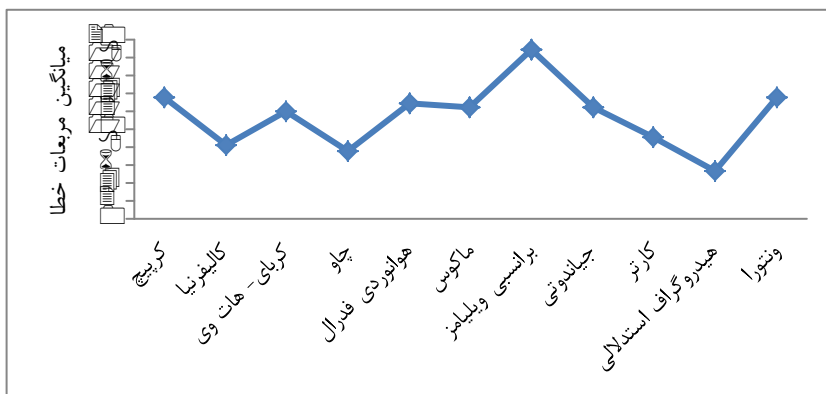
با درصد خطای ۲۱٫۵، در بازه ۵، ۶، ۷، و ۸ هیچ کدام از فرمول‌ها دارای درصد خطای نسبی کمتر از ۲۵ درصد نبودند و کمترین درصد خطا در بازه ۵ مربوط است به رابطه کریچ با درصد خطای ۶٫۸/۹، در بازه ۶ مربوط است به رابطه جیاندوتی با درصد خطای ۲۸٫۶، در بازه ۷ مربوط است به رابطه جیاندوتی با درصد خطای ۲۹٫۱، در بازه ۸ مربوط است به فرمول جیاندوتی با درصد خطای ۴۱٫۷. در بازه ۹ به ترتیب فرمول ونتورا، کربای-هات وی، و هیدروگراف استدلالی با درصد خطای ۸٫۵، ۲۵، و ۲۴٫۱، در نهایت، در بازه ۱۰ به ترتیب هیدروگراف استدلالی و کربای-هات وی با درصد خطای ۴٫۸ و ۱۹٫۲ با توجه به میزان خطای نسبی به ترتیب بهترین برآورد زمان تمرکز را با توجه به مشخصات بازه مربوط انجام داده‌اند.

با استفاده از مشخصات هر کدام از بازه‌ها (جدول ۱) و درصد خطای نسبی به دست آمده برای هر یک از فرمول‌های تجربی در هر بازه (جدول ۵)، می‌توان بیان کرد که هر چقدر درصد خطای نسبی کمتر باشد، نشان‌دهنده آن است که فرمول تجربی مورد نظر، با توجه به مشخصات بازه، توانسته زمان تمرکز را بهتر برآورد کند. به طور قراردادی، فرمولی مناسب‌تر تشخیص داده می‌شود که میانگین خطای نسبی آن کمتر از ۲۵ درصد و ریشه میانگین مربع خطا کمترین مقدار باشد [۱۵].

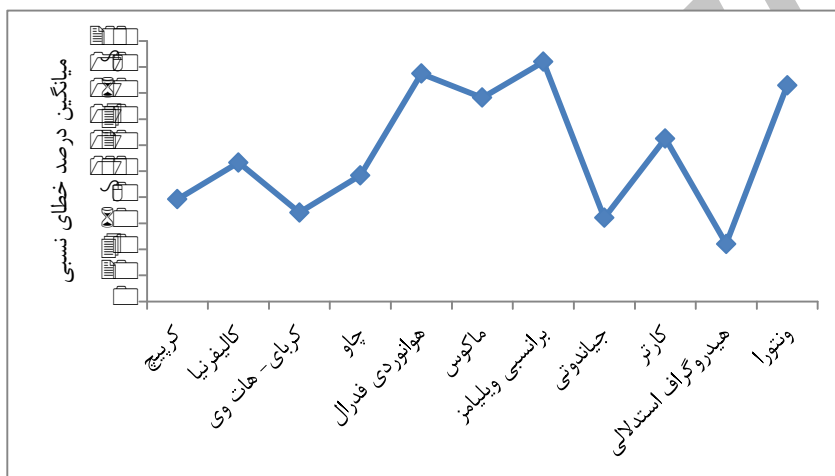
در بازه ۱ به ترتیب فرمول چاو، هیدروگراف استدلالی، کالیفرنیا، فدرال، و کارتر با درصد خطای ۱۴٫۲، ۲۰٫۶، ۲۰٫۸، ۲۳٫۳، و ۲۴٫۲، در بازه ۲ به ترتیب رابطه کالیفرنیا، چاو، کارتر، و فدرال با درصد خطای نسبی ۲٫۷، ۲٫۹، ۴٫۴، و ۴٫۷، در بازه ۳ فرمول کربای-هات وی با درصد خطای ۱، در بازه ۴ فرمول ونتورا

جدول ۶. مقادیر مربوط به میانگین مربعات خطا، میانگین درصد خطای نسبی، ناش ساتکلیف، و ضریب تبیین

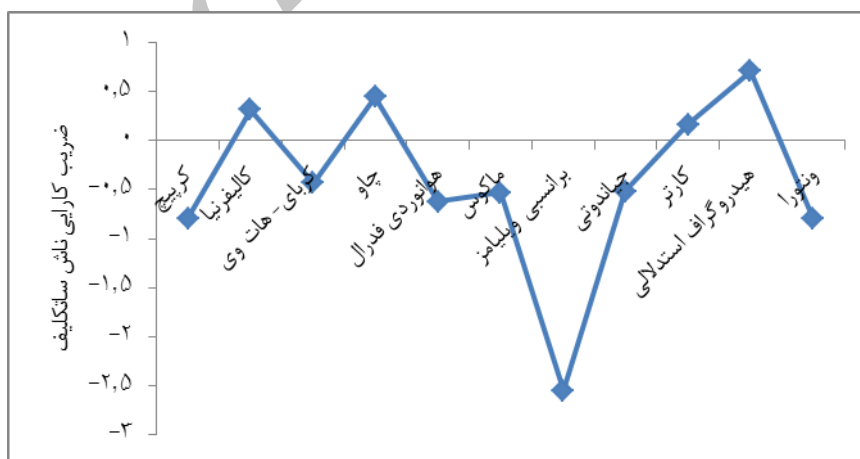
ردیف	رابطه	میانگین مربعات خطا (RMSE)	میانگین درصد خطای نسبی (RME)	ناش ساتکلیف (NS)	ضریب تبیین (R^2)
۱	کریچ	۱۳٫۴	۷۸٫۴	-۰٫۷۹۲	۰٫۹
۲	کالیفرنیا	۸٫۲۴۵	۱۰۶٫۶۴	۰٫۳۱۹	۰٫۹۳۶
۳	کربای-هات وی	۱۱٫۹۵	۶۸٫۱۹	-۰٫۴۳۱	۰٫۲۶۳
۴	چاو	۷٫۴۱۹	۹۶٫۸۳	۰٫۴۴۹	۰٫۹۳۵
۵	هوانوردی فدرال	۱۲٫۷۳	۱۷۴٫۹۳	-۰٫۶۲۴	۰٫۸۹۴
۶	ماکوس	۱۲٫۳	۱۵۶٫۵	-۰٫۵۳	۰٫۹۸۱
۷	برانسبی-ویلیامز	۱۸٫۸۴	۱۸۴٫۰۸	-۲٫۵۵۴	۰٫۹۶۲
۸	جیاندوتی	۱۲٫۲۹	۶۴٫۲	-۰٫۵۱۴	۰٫۱۱۸
۹	کارتر	۹٫۱۲	۱۲۵٫۰۶	۰٫۱۶۷	۰٫۸۹۹
۱۰	هیدروگراف استدلالی	۵٫۳۵	۴۴٫۱۴	۰٫۷۱۳	۰٫۹
۱۱	ونتورا	۱۳٫۳۹	۱۶۵٫۹۴	-۰٫۷۹۶	۰٫۲۱۷



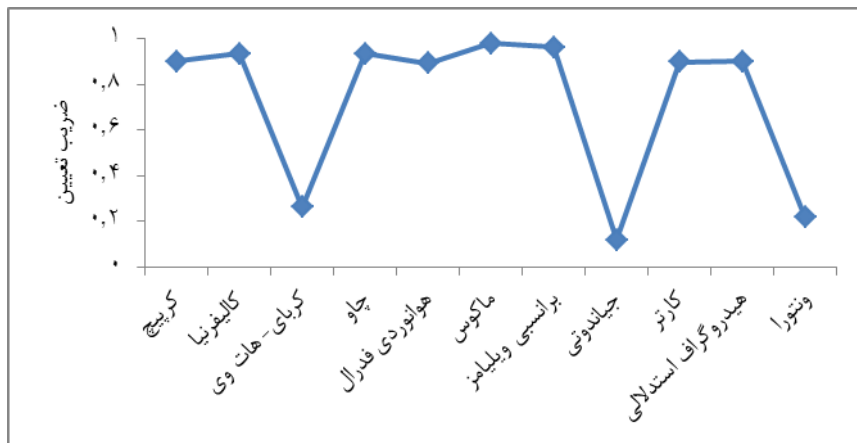
شکل ۴. میانگین مربعات خطا (RMSE) روابط تجربی مورد استفاده در این مطالعه



شکل ۵. میانگین درصد خطای نسبی (RME) روابط تجربی مورد استفاده در این مطالعه



شکل ۶. ضریب ناش ساتکلیف (NS) روابط تجربی مورد استفاده در این مطالعه



شکل ۷. ضریب تعیین (R²) روابط تجربی مورد استفاده در این مطالعه

یک یا چند مقیاس زمانی به عنوان پارامتر ورودی نیاز دارند. از میان پارامترهای زمانی، به زمان تمرکز اغلب بیشتر توجه شده و از آن استفاده کرده اند [۲۵]. اگر زمان تمرکز به اشتباه برآورد شود، نتیجه‌اش برآورد اشتباه دبی اوج خواهد بود [۹]، در نتیجه، برآورد دقیق زمان تمرکز بسیار مهم است. برای محاسبه زمان تمرکز با دقت لازم است پارامترهای تأثیرگذار بر زمان تمرکز به خوبی شناسایی شوند. با توجه به آنکه مناطق شهری، به علت دست‌ساخت بودن، شرایط و پیچیدگی‌های منحصر به خود را داراست، نکات خاص خود را هم طلب می‌کند. همان‌طور که در جدول ۳ در ستون سرعت اصلاح شده مشخص است، مقادیر سرعت بازه ۵ روند افزایشی بیشتری نسبت به سایر بازه‌ها دارد. علت آن این است که مساحت زیرحوضه مشرف به بازه ۵، ۳۷ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده است. در صورتی که مجموع بازه‌های قبل از آن (بازه ۱، ۲، ۳، و ۴) ۱۴٫۷ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. در نتیجه، مقدار روانابی که وارد این آبگذرها می‌شود بسیار کمتر از آبگذر پنج خواهد بود. با استفاده از فرمول مانینگ می‌توان استنباط کرد که با افزایش ارتفاع آب در داخل آبگذر شعاع هیدرولیکی افزایش می‌یابد و از آنجایی که شعاع

به صورت کلی و با استفاده از جدول ۶ و اشکال ۴، ۵، ۶، و ۷ برای کل حوضه (نه برای تک‌تک بازه‌ها) مورد مطالعه می‌توان چنین بیان کرد که فرمول تجربی هیدروگراف استدلالی به ترتیب با میانگین مربعات خطا و میانگین درصد خطای نسبی، ناشساتکلیف، و ضریب تبیین (۵٫۳۶، ۴۴٫۲۹، ۰٫۷۱۲، و ۰٫۹) کمترین اختلاف را با مشاهدات واقعی داشته است. در ضمن، فرمول‌های تجربی جیاندوتی، ونتورا، و کربای-هات وی به علت همبستگی بسیار ضعیف بین داده‌های مشاهداتی و برآوردی و فرمول‌های تجربی کریبیج، کالیفرنیا، چاو، هوانوردی فدرال، ماکوس (SCS)، برانسبی-ویلیامز، و کارتر به علت نامناسب بودن پارامترهای آماری محاسبه‌شده نمی‌توانند برآورد درستی از زمان تمرکز برای کل حوضه داشته باشند. ذکر این نکته لازم است که، با توجه به پارامترهای آماری، فرمول برانسبی-ویلیامز به ترتیب با میانگین مربعات خطا و میانگین درصد خطای نسبی، ناشساتکلیف، و ضریب تبیین (۱۸٫۸۴، ۱۸۴٫۰۸، -۲٫۵۵۴، و ۰٫۹۶) نامناسب‌ترین فرمول تعیین شد.

بحث و نتیجه‌گیری

تقریباً تمامی تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی به

با مشاهدات واقعی داشت، در نتیجه، مناسب‌ترین فرمول تعیین شد، و فرمول برانسی - ویلیامز بیشترین اختلاف را با مشاهدات واقعی داشت، در نتیجه، نامناسب‌ترین فرمول برای برآورد زمان تمرکز در منطقه مور مطالعه تعیین شد که با یافته‌های پژوهشگران دیگر، که در حوزه آبخیز شهری کوآلالمپور انجام گرفته، مطابقت دارد [۱] و در تحقیق مذکور بیان کردند که فرمول برانسی - ویلیامز با ضریب ناش ساتکلیف $80/795$ - بدترین برآورد را داشته است، و فرمول سازمان امور راه‌های استرالیا با ضریب ناش ساتکلیف $0/07$ - بهترین برآورد را داشته است.

با توجه به جدول ۲، مشخص است که در بیشتر روابط از بین شمار زیادی از عوامل تأثیرگذار بر زمان تمرکز فقط به دو یا سه عامل توجه شده است. از طرفی، با توجه به تغییرات صورت گرفته در محیط شهری، عوامل زیادی نظیر نوع آبگذرها (خاکی، بتنی، آهنی، و...)، شکل آن‌ها (دایره‌ای، مستطیلی، مثلثی، ذوزنقه‌ای، و...)، درصد مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر - که هیدرولوژیست‌ها به طور گسترده به آن به عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار توجه کرده‌اند - [۱]، ضریب زبری مناطق، و ارتباط این مناطق با آبگذرهای موجود در سطح شهر نادیده گرفته شده است. در مناطق شهری باید مشخص شود که چه بخشی از رواناب تولید شده وارد آبگذر می‌شود و بر روند جریان تأثیر دارد. مثلاً، در بعضی از مناطق مسکونی و تجاری آب حاصل از بارندگی وارد چاه‌های حفر شده در این مناطق یا زمین‌های بایر اطراف آن‌ها می‌شود و به هیچ وجه وارد سیستم زهکش شهری نمی‌شود. همچنین، در مناطق نفوذپذیر ایجاد شده در مناطق شهری مانند فضای سبز کنار خیابان (که بیشتر آن‌ها شیب دارند و شیب آن‌ها به سمت خیابان است) بعد از مدتی از بارندگی، به علت

هیدرولیکی رابطه مستقیمی با سرعت دارد، در نتیجه، سبب افزایش سرعت خواهد شد. از بازه ۵ به بعد مقدار سرعت روند نزولی دارد؛ همان طور که گفته شد، علت آن را می‌توان به کم شدن مساحت زیرحوضه‌های مشرف به آن‌ها دانست.

فرمول کالیفرنیا، چاو، کارتر، و فدرال در بازه ۲ (طول آبگذر ۱۰۶۸ متر، اختلاف ارتفاع ۴٫۹۶ متر، شیب ۰٫۴۶ درصد، و مساحت ۱۰٫۲۴ هکتار) به ترتیب کمترین درصد خطا (۲٫۷، ۲٫۹، ۴٫۴، و ۴٫۷) را دارند. فرمول کربای - هات وی برای بازه ۳ (طول آبگذر ۳۰۹ متر، اختلاف ارتفاع ۰٫۸۲ متر، شیب ۰٫۲۷ درصد، و مساحت ۲٫۷ هکتار) کمترین درصد خطا (۱) را دارد. فرمول ونتورا برای بازه ۹ (طول آبگذر ۴۱۱ متر، اختلاف ارتفاع ۱٫۹۴ متر، شیب ۰٫۴۷ درصد، و مساحت ۲٫۴ هکتار) کمترین درصد خطا (۸٫۵) را دارد. فرمول هیدروگراف استدلالی برای بازه ۱۰ (طول آبگذر ۵۹۰ متر، اختلاف ارتفاع ۳٫۱۸ متر، شیب ۰٫۵۴ درصد، و مساحت ۱۳٫۲ هکتار) کمترین درصد خطا (۴٫۸) را دارد. پیشنهاد می‌شود مناطقی که خصوصیات مشابه آبگذرهای فوق را دارند، با توجه به اطلاعات موجود در آن مناطق، از روابطی که کمترین میزان خطا را دارند استفاده شود.

همان طور که مشخص است (جدول ۵)، فرمول کریچ، ماکوس، جیاندوتی، و برانسی - ویلیامز با درصد خطاهای بسیار زیاد در برآورد زمان تمرکز برای هیچ کدام از بازه‌ها دقت کافی را نداشتند. پس در مناطقی که خصوصیات همانند این بازه‌ها را دارند پیشنهاد می‌شود از این روابط برای برآورد زمان تمرکز استفاده نشود.

با استفاده از مقادیر مربوط به میانگین مربعات خطا، میانگین درصد خطای نسبی، ناش ساتکلیف، و ضریب تبیین برای کل حوضه چنین نتیجه گرفته شد که فرمول هیدروگراف استدلالی کمترین اختلاف را

بیشتر فرمول‌ها شیب پارامتر مهمی است، در صورتی که ممکن است در مناطق شهری به این صورت نباشد.

همان طور که بیان شد، با توجه به اینکه زمان تمرکز به عوامل مختلفی بستگی دارد و با توجه به اینکه کشور ایران دارای اقلیم‌های مختلفی است، نمی‌توان به دلخواه و با در نظر گرفتن بعضی از پارامترها از این روابط استفاده کرد. همان طور که مشاهده شد، از بین ۱۱ رابطه تجربی فقط یک رابطه دارای دقت خوبی برای حوضه شهری مورد مطالعه بود. این موضوع بیانگر آن است که این روابط، که بیشتر در آبخیزهای بالادست یا در محیط‌های غیرشهری تهیه شده‌اند، جواب‌گوی محیط شهری نیستند. بنابراین، نیاز است در وهله اول عوامل مؤثر بر زمان تمرکز در حوزه آبخیز شهری مشخص شود. سپس، با استفاده از عوامل تعیین‌شده فرمول مناسبی ارائه گردد.

اشباع شدن، قادر به نفوذ تمامی بارندگی، که بر سطوح آن انجام می‌گیرد، نیستند و بخشی از بارندگی وارد سطح خیابان می‌شود، و، در نتیجه، وارد سیستم زهکشی می‌شود. با بیان این مثال‌ها هدف این بود که به صرف اینکه محیطی نفوذپذیر یا نفوذناپذیر باشد نمی‌توان گفت تمام رواناب حاصل از خود را وارد سیستم زهکشی می‌کند یا نه. بنابراین، باید بررسی‌های لازمه صورت گیرد و سپس نتیجه‌گیری شود. در مناطق شهری بعضی از پارامترها، مانند رطوبت پیشین خاک، شیب نسبت به حالت قبل از توسعه دچار تغییرات زیادی می‌شود که در زمان تمرکز تأثیرگذار است. در صورتی که مقدار شیب به علت تسطح کردن مناطق شهری خیلی کم شود تأثیرگذاری آن بر روی زمان تمرکز ناچیز می‌شود [۱۲]. در صورتی که در بسیاری از مطالعات و کتاب‌ها بیان شده است که شیب یکی از مهم‌ترین فاکتورهای برآورد زمان تمرکز است. همان طور که از جدول ۲ مشخص است، در

References

- [1] Abustan, I., Sulaiman, A.H., Abdul Wahid, N. and Baharudin, F. (2008). Determination of Rainfall-Runoff Characteristics in An Urban, (Case study: Sungai Kerayong Catchment, Kuala Lumpur). 11th International Conference on Urban Drainage.
- [2] Alizadeh, A. (2006). Principles of applied hydrology. 20ed Edition, University of Mashhad Press, 807p.
- [3] Arabi, M. and Govindaraju, R.S. and Hantush, M.M. (2007). A probabilistic approach for analysis of uncertainty in the evaluation of watershed management practice. *Journal of Hydrology*, 333, 459-471.
- [4] Azadnia, F., Rostami, N. and Kamali Moghaddam, R. (2009). Comparison of empirical equations for estimating time of concentration of the basin Meimeh Ilam. *Iranian Water Research Journal*, 3(4), 1-8.
- [5] Chin, D.A. (2000). *Water-resources engineering*. Prentice Hall, New Jersey, 750p.
- [6] Dastorani, M.T., Abdullah Wand, A., Talabi, A. and Moghadamnia, A.R. (2014). Evaluate the use of empirical equations for estimating the focus time navigating time streams. *Journal Research and development*, 103(93), 1-8. In press.
- [7] Dongquan, Z., Jining, C., Haozheng, W., Qingyuan, T., Shangbing, C. and Zheng, S. (2009). GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach, (Case study in Macau). *Environ Earth Sci*, 59, 465- 472.
- [8] Eslamian, S. and Mehrabi, A. (2005). Empirical relations for estimating the time of concentration mountainous watersheds. *Journal of Natural Resources and Agricultural Sciences*, 12, 36-45.
- [9] Fang, X., Thompson, D.B., Cleveland, T.G., Pradhan, P. and Malla, R. (2008). Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 202-211.
- [10] Green, J. and Nelson, E. (2002). Calculation tim of Concentration for hydrologic design and analysis using geographic information system vector objects. *Journal of Hydro informatics*, 4, 75-81.
- [11] Jamshidi, S. (2011). Compared to the estimated time of concentration using empirical relations (Case study: Watershed basin Srfyrvz Abad). 2th Geoscience Conference, 9p.
- [12] Li, M.H., and Chibber, P. (2008). Overland flow time of concentration on very flat terrains. *Transportation Research Record 2060*. Transportation Research Board, Washington, DC, 133-140p.
- [13] Mahdavi, M. (2011). *Applied hydrology*. 7ed Edition, Thesis. University of Tehran Press, 439p.
- [14] McCuen, R. (1984). Eestimating urban time of concentration. *Hydraulic Engineering ASCE*, 100, 633-638.
- [15] Mobaraki, J. (2006). Accuracy in the estimation of empirical relationships time to peak concentration Hydrograph (Case study: Tehran Province). MSc. Thesis. University of Tehran, 151p.
- [16] Moghadamnia, A.R. (1997). A comparative study on the time-delay and time to reach peak flood hydrograph based on experimental methods and analysis of two regional climate. MSc. Thesis. University of Tarbiat Modarres, 163p.

- [17] Motamedvaziri, B. (2004). Evaluation of some empirical relations to estimate the time of concentration (Case study: Karaj watershed). MSc. Thesis University of Tehran, 125p.
- [18] Najafi, A. (2009). Factors of flood basin catchment Esfahan- Sirjan the factor analysis. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 4, 101-118.
- [19] Pavlovic, S.B. and Moglen, G.E. (2008). Discretization issues in travel time calculation. *J. Hydrol. Eng.*, 13(2), 71-79.
- [20] Shafai Bajestan, M. (2005). Principles and application of physical models – hydraulic, 1ed Edition, University of Martyr Chamran Press, 292p.
- [21] Sharifi, S. and Hosseini, S.M. (2011) Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(11), 712-719.
- [22] Sepahvand, A., Taei Semirom, M., Myrnya, Kh. and Moradi, H.R. (2011). Evaluate the model sensitivity to the variability of soil moisture. *Journal of Soil and Water*, 25(2), 338-346.
- [23] Sourisseau, S.A., Bassier, S.F. and Perie, T. (2007). Calibration, validation and sensitivity analysis of an ecosystem model applied to artificial streams. *Water Research*, 42, 1167-1181.
- [24] Wong, T.S.W. (2005). Assessment of time of concentration formulas for overland flow. *J. Irrig. Drain Eng.*, 131(4), 383-387.
- [25] Wong, T.S.W. (2009). Evaluation of kinematic wave time of concentration formulas for overland flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 14(7), 739-744.

Archive of SID