



بررسی پارامتر زمان تمرکز در نتیجه ی روش های تخمین تجربی در حوضه های بالادست شهر کرج

صادق فرشیدنیا^۱ و بهادر فاتحی نوبریان^{۲*}

۱- دکترای مهندسی عمران - مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران- مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، واحد ارس، دانشگاه آزاد اسلامی، جلفا، ایران

b.fatehinobarian@iaut.ac.ir

چکیده

زمان تمرکز، مدت زمانی است که آب از دورترین نقطه حوضه آبریز به خروجی و یا نقطه ای از مسیر رودخانه می رسد. متغیر زمان تمرکز از مهمترین پارامترهای هیدرولوژیکی در حوضه های آبخیز می باشد که در برآورد دبی پیک و طراحی سازه های هیدرولیکی کاربرد فراوانی دارد. با توجه به اهمیت این پارامتر در برآورد سیلاب و نقشی که سیلاب ها در تخریب تاسیسات، ابنیه آبی و اماکن مسکونی دارند، مطالعه زمان تمرکز در پروژه های آبیاری و زهکشی، سد سازی و هیدرولوژی شهری، امری جدی محسوب می شود. تعیین زمان تمرکز، بستگی به شرایط فیزیوگرافی و اقلیمی حوضه آبخیز دارد و در نقاط مختلف جهان، فرمول ها و روابطی را برای برآورد زمان تمرکز، طراحی و مورد استفاده قرار داده اند. در پژوهش حاضر کوشش شده است در زیرحوضه های بالادست شهر کرج به بررسی زمان تمرکز با فرمول های مختلف پرداخته شود و کمترین و بیشترین مقدار زمان تمرکز مشخص گردد. در این مطالعه روش کرپیچ به عنوان زمان تمرکز مبنا در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج، زمان تمرکز محاسبه شده کرپیچ با روش ین - چاو ۶٪ و با روش جباندوتی ۱۰٪ خطای نسبی دارد. در روش کرپیچ، زمان تمرکز با طول آبراهه اصلی رابطه ای با $R^2=0,97$ ، با اختلاف ارتفاع زیرحوضه ها، رابطه ای با $R^2=0,48$ و با مساحت، رابطه ای با $R^2=0,93$ دارا می باشد.

کلمات کلیدی: زمان تمرکز، روش کرپیچ، فیزیوگرافی، حوضه ی آبریز، شهرکرج،

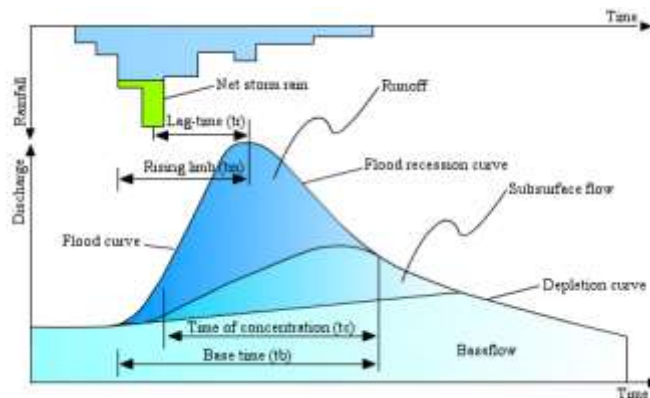
۱- مقدمه

زمان تمرکز، از مهمترین پارامترهای هیدرولوژیکی در حوضه های آبخیز می باشد. که در برآورد دبی پیک و طراحی سازه های هیدرولیکی از قبیل سرریز سدها، پل ها، آب بند ها و سیستم های تخلیه سطحی کاربرد دارد. در منابع مختلف تعاریف متعددی از زمان تمرکز ارائه شده است. مفهوم زمان تمرکز، اولین بار توسط مولوانی در سال ۱۸۵۰ مطرح شد (معمد وزیری، ۱۳۸۳). وی زمان تمرکز را زمان لازم برای رسیدن بارش مازاد، از دورترین نقطه حوضه آبخیز به خروجی معرفی نمود. در تعاریف دیگر، زمان تمرکز، مدت زمانی است که دورترین قطره، نسبت به نقطه تمرکز لازم دارد تا مسیر خود را طی کند و به آن نقطه برسد، منظور از دورترین قطره نسبت به نقطه تمرکز ممکن است فاصله فیزیکی آن دو نباشد بلکه فاصله هیدرولیکی آن دو مد نظر است. این زمان از راه های متفاوتی محاسبه می گردد و نتایج آن ها نیز متفاوت است که علت آن نادیده گرفتن



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

وضعیت مسیر جریان آب از نظر زبری بستر، پوشش گیاهی، شعاع هیدرولیکی در نقاط مختلف، بریدگی و آبشارها و سایر عوامل می باشد. تخمین دقیق دبی اوج یا هیدروگراف سیلاب بسیار به دقت تخمین زمان تمرکز حساس می باشد. در روی هیدروگراف، از شروع رواناب تا زمانی که دبی به ماکزیمم مقدار یا تعادل خود برسد مدتی به طول می انجامد که آن را زمان تمرکز گویند. در هیدروگراف سیلاب، زمان تمرکز، زمان بین مرکز ثقل بارندگی موثر و نقطه عطف بازوی پایین رونده هیدروگراف رواناب مستقیم می باشد. (شکل ۱)



شکل ۱ - هیدروگراف سیلاب (www.basin.ir)

مک کوئن و همکاران (۱۹۸۴)، با ارزیابی هفت فرمول تجربی زمان تمرکز برای پنج حوضه به این نتیجه رسیدند که روش اندازه گیری زمان تمرکز از طریق محاسبه سرعت متوسط آبراهه که توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شد، کمترین خطا را دارد. گوتیوم (۱۹۸۹)، در یکی از حوضه های آبخیز آریزونا به بررسی زمان تمرکز پرداخت و نشان داد که رابطه کرپیچ می تواند رابطه مناسبی برای حوضه آبخیز مذکور باشد. پیلگریم و همکاران (۱۹۸۹)، با بررسی ۹۶ حوضه در منطقه جنوبی استرالیا معادله ای برای زمان تمرکز منطقه توصیه کردند که فقط تابع مساحت حوضه بود. شریدان (۱۹۹۴)، فرمول های موجود برای برآورد زمان های تمرکز، تاخیر و اوج را در حوضه های مسطح مورد بررسی قرار داد، وی در مطالعه اش که برای ۹ حوضه در جنوب ایالات متحده آمریکا انجام شد فرمول کرپیچ را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که این فرمول زمان تمرکز را کمتر از مقدار واقعی برآورد می کند. لذا از طریق رگرسیون چندگانه روابطی را برای برآورد زمان تمرکز حوضه ها پیشنهاد کرد. مقدم نیا (۱۳۷۶)، در دو حوضه امامه و کسلیان البرز شمالی، زمان تمرکز را با تزریق نمک بدست آورد و نتیجه گرفت رابطه تجربی برانسی - ویلیامز^۱ بهترین روش برای برآورد زمان تمرکز در منطقه مذکور است. معتمد وزیری (۱۳۸۳)، در بررسی کارایی روش کرپیچ در برآورد زمان تمرکز سیلاب حوضه آبخیز کرج، با روش صحرایی مبتنی بر اندازه گیری زمان پیمایش آب به کمک محلول نمک، به این نتیجه رسید که روش کرپیچ در شیب های کمتر از ۳٪ جواب مناسبی ارائه نمی دهد، اما در شیب های بین ۳٪ تا ۷٪ نتایج خوبی ارائه می کند و در شیب های بیش از ۷٪ (مناطق کوهستانی و پرشیب) معادله کرپیچ از درصد خطای بسیار بالایی برخوردار است. آزادنیا و همکاران (۱۳۸۶)، طی تحقیقی روابط تجربی مختلف محاسبه زمان تمرکز را با استفاده از روش ردیابی با تزریق ثابت محلول نمک در حوضه آبخیز میمه استان ایلام بررسی کردند که نتایج این تحقیق، روش های کرپیچ، چاو^۲ و هیدروگراف استدلالی را مناسب ارزیابی کرد. آبوستن و همکاران (۲۰۰۸) رابطه بارش و رواناب و نیز

^۱Bransby-Williams Method

^۲Yen-chow



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

برآورد زمان تمرکز را در حوضه آبخیزی در مالزی مورد ارزیابی قرار دادند، در این بررسی زمان تمرکز بر اساس هیدروگراف های اندازه گیری شده در خروجی حوضه آبخیز برآورد شده و سپس نتایج حاصل از چهار روش تجربی (کرپیچ، کالیفرنیا، ین - چاو، Natural Resources Conservation Service) با آن مقایسه گردید. نتایج نشان دادند که روش ین - چاو نسبت به سه روش دیگر نتایج بهتری را ارائه نموده است. دستورانی و همکاران (۲۰۱۱)، شش رابطه تجربی برآورد زمان تمرکز را در دو حوضه آبخیز استان یزد برآورد نموده و با مقادیر مشاهداتی مقایسه کردند که نتایج حاکی از آن بود که روابط هاکتاینز - سزن، کالیفرنیا و زمردی دارای دقت برآورد بهتری می باشند. شریفی و حسینی (۲۰۱۱)، به بررسی نه رابطه برآورد زمان تمرکز پرداختند و نتیجه گیری نمودند که رابطه کالیفرنیا دقیق ترین برآورد را دارد. ناگی و همکاران (۲۰۱۶) از ۱۴ معادله تجربی برای تخمین زمان تمرکز در حوضه آبخیز مجارستان استفاده کردند، نتایج نشان داد که معادله تجربی wisnovszky مناسب ترین رابطه می باشد.

تقوایی سلیمی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی زمان تمرکز در حوضه های بزرگ پرداختند، نتایج نشان داد که روش برانسی - ویلیامز^۳ روش مناسبی است.

فروتن (۲۰۱۶) به بررسی معادلات تجربی محاسبه زمان تمرکز در حوضه آبخیز سولقان در استان قم در ایران پرداخت. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار زمان تمرکز با استفاده از رابطه پیلگریم - مک درمات^۴ و کمترین مقدار زمان تمرکز توسط رابطه ونتورا^۵ محاسبه شده است.

با توجه به تعیین زمان تمرکز بستگی به شرایط فیزیوگرافی^۶ و اقلیمی حوضه آبخیز دارد در نقاط مختلف جهان، فرمول ها و روابطی را برای برآورد زمان تمرکز طراحی و مورد استفاده قرار داده اند. این در حالی است که کشور ایران دارای اقلیم های متفاوتی بوده و نمی توان به دلخواه و با در نظر گرفتن بعضی از پارامترها، از این فرمول ها استفاده کرد.

شجاعی و همکاران (۱۳۹۵) به مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز حوضه آبخیز ایرو پرداختند. جهت برآورد زمان تمرکز در این حوزه از پنج روش تجربی کرپیچ، چاو، جبادونتی، ویلیامز و کالیفرنیا استفاده شد. که با در نظر گرفتن پارامترهای مختلفی از قبیل طول آبراهه اصلی، مساحت حوزه و شیب آبراهه برای کلیه واحدهای حوزه، زمان تمرکز مناسب کرپیچ خواهد بود.

هدف از این تحقیق بررسی زمان تمرکز با استفاده از فرمول های مختلف و مقایسه روش های گوناگون در زیرحوضه های بالادست شهر کرج می باشد که در مواقعی که با کمبود داده های فیزیوگرافی مواجه باشیم، بتوانیم با روش های ساده، زمان تمرکز را محاسبه کنیم.

۲- مواد و روش ها

حوضه آبخیز بالادست کرج با مساحتی حدود ۱۰۵۰۰ هکتار، در استان البرز در کشور ایران و بین طول های جغرافیایی 53', 50° تا 4', 51° و عرض های جغرافیایی 45', 35° تا 56', 35° واقع شده است. از نظر طبقه بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه خشک و سرد ارزیابی می شود. این زیرحوضه بین رقوم ارتفاعی ۱۵۴۰ تا ۲۴۴۵ متر از سطح دریا قرار دارد (شرکت مهندسی مشاور دز اب، ۱۳۹۱). میزان متوسط سالانه بارندگی ۲۰۰ mm می باشد. در این تحقیق ابتدا مرز منطقه مورد مطالعه

^۳Pilgrim McDermott

^۴Ventura relationship

^۵Physiography

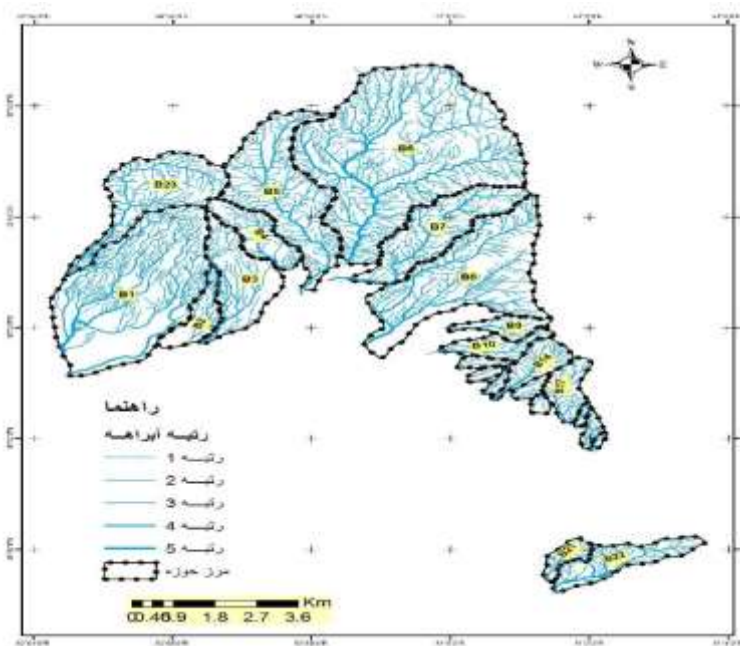


دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

و زیرحوضه ها با استفاده از تفسیر عکس های هوایی و نرم افزار Geographic Information System (GIS) حاصل گردید. با استفاده از خصوصیات فیزیکی حوضه و تعدادی از معادلات و روابط تجربی، زمان تمرکز محاسبه شد. این حوضه به ۲۳ زیرحوضه تقسیم شده است (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲ - نقشه ی موقعیت هوایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳ - موقعیت زیرحوضه های بالادست شهر کرج

۲-۱- روش های تجربی برآورد زمان تمرکز



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۱ - روش کرپیچ^۱: کرپیچ در سال ۱۹۴۰ بر اساس اطلاعات جمع آوری شده توسط Ramser، رابطه زمان تمرکز را ارائه داد. معادله کرپیچ در سیستم SI به صورت زیر بیان می شود:

$$T_c = 0.949 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (1)$$

که در آن T_c زمان تمرکز به ساعت، L طول آبراهه اصلی به کیلومتر، H اختلاف ارتفاع حوضه به متر می باشد.

۲ - روش سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (روش زمان تاخیر - روش (Soil Conservation Service (SCS) (علیزاده، ۱۳۸۹):

این روش برای زمان تاخیر حوضه به وسیله Mockus توسعه پیدا کرده است. این روش در حوضه های بزرگ کاربرد دارد. زمان تاخیر بر حسب تعریف، فاصله زمانی بین مرکز بارش (نقطه زمانی وسط بارندگی) تا زمان اوج هیدروگراف است.

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \rightarrow T_c = 1.67T_{lag} \quad (2)$$

که در آن T_{lag} زمان تاخیر به ساعت، L طول رودخانه اصلی به فوت، y متوسط شیب حوضه به درصد، S نمایه نگهداشت رطوبت توسط خاک در داخل حوضه به اینچ است.

$$S (in) = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

که در آن CN نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است. با توجه به تقسیم بندی هیدرولوژیکی خاک منطقه، مناسبترین شماره منحنی به صورت یکپارچه برای کلیه زیر حوضه ها که دارای شرایط یکسان می باشند، عدد ۶۹ برآورد می شود که برای پیشینه سازی برآورد دبی حداکثر سیلابی، شرایط رطوبتی حالت مرطوب برای خاک در نظر گرفته می شود که معادل ۸۶ می باشد. این عدد با نتیجه بررسی های بنایی ساعی (۱۳۸۳) در حوضه طالقان نیز تطابق دارد.

۳ - رابطه تجربی هاکتایز - سزن^۲:

این رابطه را می توان در رده ساده ترین روابط موجود برای زمان تمرکز در نظر گرفت زیرا تنها طول مسیر جریان را در نظر می گیرد. این رابطه در آناتولی ترکیه ارائه شده است:

$$T_l = 0.401 L_m^{0.841} \rightarrow T_c = \frac{T_l}{0.6} \quad (4)$$

که در آن T_l به ساعت، L_m طول آبراهه اصلی به مایل و T_c زمان تمرکز به ساعت می باشد.

۴ - رابطه تجربی ین - چاو:

این رابطه در مطالعات تحلیل فراوانی سیل جهت تعیین هیدروگراف مثلثی در سال ۱۹۸۳ ارائه شده است و بر اساس شکل ساده شده اولیه موج سینماتیک است. این رابطه جهت محاسبه زمان تمرکز در حوضه های آبخیز با مساحت کمتر از ۲۵ کیلومتر مربع ارائه شده است.

$$T_c = 0.00032 L^{1.15} H^{-0.385} \quad (5)$$

که در آن H اختلاف ارتفاع بر حسب متر، L طول آبراهه به متر و T_c زمان تمرکز به ساعت هستند.

^۱kirpich

^۲Haktayz-Sezen



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۵- روش برانسیبی - ویلیامز :

این رابطه به صورت زیر ارائه می گردد :

$$T_c = \frac{0.96L^{1.2}}{H^{0.2}A^{0.1}} \quad (۶)$$

که در آن زمان تمرکز به ساعت ، A مساحت حوضه به کیلومتر مربع ، L طول مسیر آبراهه اصلی به کیلومتر ، H اختلاف ارتفاع دوطرف آبراهه اصلی به متر هستند . برای حوضه های کوچک مناسب است .

۶- روش جیباندوتی^۹ :

این روش به صورت رابطه زیر ارائه می گردد :

$$T_c = \frac{(4\sqrt{A}) + (1.5L)}{0.8H^{0.5}} \quad (۷)$$

که در آن زمان تمرکز به ساعت ، A مساحت حوضه به کیلومتر مربع ، L طول آبراهه به کیلومتر ، H ارتفاع متوسط به متر می باشد .

۷- روش هیدروگراف استدلالی :

این روش به صورت رابطه زیر ارائه می گردد :

$$T_c = 0.057\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.66} \quad (۸)$$

که در آن زمان تمرکز به دقیقه ، L طول آبراهه به متر ، S شیب حوضه به متر بر متر می باشد .

۸- روش شواب :

این روش به صورت رابطه زیر ارائه می گردد :

$$T_c = \frac{L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{4470\sqrt{S}} \quad (۹)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۱۰)$$

که در آن S در سیستم متریک و L به متر می باشد.

۳- بحث و نتایج

با توجه به پردازش اطلاعات در محیط GIS، پارامترهای فیزیوگرافی که شامل مساحت ، طول آبراهه اصلی، شیب رودخانه و ارتفاع میانگین، حداکثر و حداقل زیر حوضه ها تعیین گردید که در جدول ۱ نمایش داده شده است. و زمان تمرکز با استفاده از روش های مختلف تجربی محاسبه شد که در جدول ۲ ارائه شده است .

جدول مشخصات فیزیکی زیرحوضه ها شماره (۱)

^۹Jebandoti



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

| تفاوت ارتفاع | ارتفاع حداقل | ارتفاع حداکثر | میانگین ارتفاع | شیب متوسط حوضه (درصد) | شیب رودخانه (درصد) | طول آبراهه اصلی (کیلومتر) | مساحت (کیلومتر مربع) | زیرحوضه |
|--------------|--------------|---------------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|---------|
| ۶۲۱ | ۱۲۷۹ | ۱۹۰۰ | ۱۴۴۲ | ۱۲٫۷ | ۸٫۳ | ۶٫۷ | ۱۲٫۷ | B۱ |
| ۲۰۴ | ۱۳۳۶ | ۱۵۴۰ | ۱۴۰۷ | ۹٫۸ | ۵٫۲ | ۱٫۹ | ۱٫۴۸ | B۲ |
| ۵۲۰ | ۱۳۶۱ | ۱۸۸۱ | ۱۵۱۷ | ۱۵٫۹ | ۸٫۴ | ۴٫۷ | ۳٫۸ | B۳ |
| ۴۳۸ | ۱۵۱۶ | ۱۹۵۴ | ۱۶۹۳ | ۲۹٫۷ | ۱۲٫۸ | ۳٫۲ | ۲٫۰۸ | B۴ |
| ۶۵۷ | ۱۴۷۲ | ۲۱۲۹ | ۱۷۴۵ | ۳۰٫۹ | ۷٫۹ | ۷٫۹ | ۷٫۲۶ | B۵ |
| ۹۲۱ | ۱۵۱۹ | ۲۴۴۰ | ۱۹۶۹ | ۳۴٫۹ | ۱۰٫۴ | ۸٫۲ | ۱۹٫۷ | B۶ |
| ۹۲۵ | ۱۵۲۰ | ۲۴۴۵ | ۱۸۷۶ | ۴۰ | ۱۱٫۳ | ۵٫۳ | ۴٫۶۴ | B۷ |
| ۹۹۷ | ۱۴۳۶ | ۲۴۳۳ | ۱۷۸۵ | ۳۳٫۹ | ۱۳٫۴ | ۷٫۳ | ۹٫۲۹ | B۸ |
| ۶۵۹ | ۱۵۶۶ | ۲۲۲۵ | ۱۹۰۲ | ۴۹٫۸ | ۲۵٫۹ | ۲٫۴ | ۰٫۹۷ | B۹ |
| ۷۱۰ | ۱۵۱۰ | ۲۲۲۰ | ۱۸۰۶ | ۴۴٫۸ | ۲۴٫۶ | ۲٫۷ | ۱٫۲۲ | B۱۰ |
| ۴۵۸ | ۱۴۹۹ | ۱۹۵۷ | ۱۶۵۶ | ۴۴ | ۳۲٫۹ | ۱٫۲ | ۰٫۳۵ | B۱۱ |
| ۳۷۹ | ۱۴۸۹ | ۱۸۶۸ | ۱۶۳۳ | ۴۴٫۸ | ۳۲٫۳ | ۰٫۹ | ۰٫۲۶ | B۱۲ |
| ۴۵۹ | ۱۵۱۱ | ۱۹۷۰ | ۱۶۵۶ | ۳۹٫۳ | ۲۹٫۶ | ۱٫۱ | ۰٫۲۶ | B۱۳ |
| ۶۸۲ | ۱۵۳۱ | ۲۲۱۳ | ۱۸۹۹ | ۵۶٫۷ | ۲۴٫۸ | ۲٫۷ | ۱٫۴۲ | B۱۴ |
| ۳۹۲ | ۱۵۶۶ | ۱۹۵۸ | ۱۶۹۴ | ۳۹٫۵ | ۲۹٫۵ | ۱ | ۰٫۳۷ | B۱۵ |
| ۲۴۸ | ۱۵۱۴ | ۱۷۶۲ | ۱۶۰۱ | ۴۰٫۸ | ۳۹٫۴ | ۰٫۵ | ۰٫۲۳ | B۱۶ |
| ۶۷۱ | ۱۴۹۱ | ۲۱۶۲ | ۱۸۰۰ | ۵۳٫۵ | ۲۶ | ۲٫۵ | ۱٫۳۸ | B۱۷ |
| ۳۰۵ | ۱۴۷۵ | ۱۷۸۰ | ۱۶۰۴ | ۴۶٫۷ | ۳۰٫۸ | ۰٫۸ | ۰٫۱۶ | B۱۸ |
| ۳۵۵ | ۱۳۷۵ | ۱۷۳۰ | ۱۵۱۹ | ۴۲٫۱ | ۲۴٫۷ | ۱٫۴ | ۰٫۳۸ | B۱۹ |
| ۲۰۷ | ۱۳۷۰ | ۱۵۷۷ | ۱۴۶۲ | ۴۴٫۱ | ۳۳٫۶ | ۰٫۶ | ۰٫۰۹ | B۲۰ |
| ۲۷۰ | ۱۳۶۳ | ۱۶۳۳ | ۱۴۸۱ | ۳۰٫۶ | ۱۴٫۷ | ۱٫۶ | ۰٫۷۱ | B۲۱ |
| ۷۱۹ | ۱۳۴۲ | ۲۰۶۱ | ۱۵۶۴ | ۳۵٫۶ | ۱۵٫۱ | ۴٫۱ | ۲٫۳۵ | B۲۲ |
| ۵۴۷ | ۱۴۰۶ | ۱۹۵۳ | ۱۷۰۹ | ۲۸٫۷ | ۷ | ۷ | ۴٫۸۸ | B۲۳ |

جدول زمان تمرکز زیرحوضه ها (دقیقه) شماره (۲)

| شواب | هیدروگراف استدلالی | جبانوتی | برانسی - ویلیامز | ین - چاو | هاکتایز - سزن | SCS | کریچ | زیر حوضه |
|------|--------------------|---------|------------------|----------|---------------|-------|------|----------|
| ۸۳٫۲ | ۹٫۵ | ۴۸٫۰ | ۱۲۱٫۰ | ۴۰٫۵ | ۱۳۳٫۱ | ۱۰۷٫۱ | ۴۳٫۱ | B۱ |
| ۳۸٫۴ | ۴٫۸ | ۱۵٫۴ | ۴۱٫۳ | ۱۴٫۶ | ۴۶٫۱ | ۴۹٫۴ | ۱۵٫۴ | B۲ |
| ۶۲٫۳ | ۷٫۵ | ۲۸٫۶ | ۹۲٫۴ | ۲۸٫۹ | ۹۸٫۸ | ۸۰٫۲ | ۳۰٫۶ | B۳ |
| ۳۷٫۱ | ۵٫۱ | ۱۹٫۳ | ۶۴٫۰ | ۱۹٫۸ | ۷۱٫۵ | ۴۷٫۸ | ۲۱٫۰ | B۴ |
| ۹۷٫۳ | ۱۰٫۸ | ۴۰٫۶ | ۱۵۴٫۲ | ۴۸٫۰ | ۱۵۲٫۹ | ۱۲۵٫۳ | ۵۱٫۰ | B۵ |
| ۸۷٫۴ | ۱۰٫۱ | ۵۰٫۸ | ۱۳۶٫۴ | ۴۳٫۹ | ۱۵۷٫۷ | ۱۱۲٫۵ | ۴۶٫۷ | B۶ |
| ۵۹٫۱ | ۷٫۴ | ۲۸٫۷ | ۹۳٫۳ | ۲۶٫۶ | ۱۰۹٫۳ | ۷۶٫۱ | ۲۸٫۲ | B۷ |
| ۷۰٫۲ | ۸٫۶ | ۴۱٫۱ | ۱۲۵٫۹ | ۳۷٫۳ | ۱۴۳٫۰ | ۹۰٫۳ | ۳۹٫۶ | B۸ |
| ۲۰٫۷ | ۳٫۳ | ۱۳٫۰ | ۴۵٫۱ | ۱۲٫۲ | ۵۶٫۱ | ۲۶٫۷ | ۱۲٫۹ | B۹ |
| ۲۳٫۴ | ۳٫۶ | ۱۴٫۹ | ۵۰٫۰ | ۱۳٫۵ | ۶۲٫۰ | ۳۰٫۱ | ۱۴٫۳ | B۱۰ |
| ۱۰٫۶ | ۱٫۹ | ۷٫۷ | ۲۳٫۴ | ۶٫۳ | ۳۱٫۳ | ۱۳٫۶ | ۶٫۶ | B۱۱ |
| ۸٫۵ | ۱٫۶ | ۶٫۳ | ۱۷٫۷ | ۴٫۹ | ۲۴٫۶ | ۱۰٫۹ | ۵٫۱ | B۱۲ |
| ۱۰٫۴ | ۱٫۹ | ۶٫۸ | ۲۱٫۷ | ۵٫۷ | ۲۹٫۱ | ۱۳٫۴ | ۶٫۰ | B۱۳ |
| ۲۳٫۳ | ۳٫۶ | ۱۵٫۲ | ۴۹٫۷ | ۱۳٫۸ | ۶۲٫۰ | ۳۰٫۰ | ۱۴٫۵ | B۱۴ |
| ۹٫۶ | ۱٫۸ | ۷٫۲ | ۱۹٫۳ | ۵٫۴ | ۲۶٫۹ | ۱۲٫۴ | ۵٫۷ | B۱۵ |
| ۴٫۸ | ۱٫۰ | ۵٫۰ | ۹٫۶ | ۲٫۹ | ۱۵٫۰ | ۶٫۲ | ۳٫۱ | B۱۶ |
| ۲۱٫۴ | ۳٫۴ | ۱۴٫۹ | ۴۵٫۶ | ۱۲٫۷ | ۵۸٫۱ | ۲۷٫۵ | ۱۳٫۴ | B۱۷ |
| ۷٫۹ | ۱٫۵ | ۵٫۲ | ۱۶٫۹ | ۴٫۶ | ۲۲٫۳ | ۱۰٫۲ | ۴٫۹ | B۱۸ |
| ۱۳٫۸ | ۲٫۴ | ۸٫۸ | ۲۹٫۴ | ۸٫۳ | ۳۵٫۷ | ۱۷٫۷ | ۸٫۸ | B۱۹ |
| ۶٫۰ | ۱٫۲ | ۴٫۱ | ۱۳٫۷ | ۳٫۹ | ۱۷٫۵ | ۷٫۷ | ۴٫۱ | B۲۰ |
| ۱۹٫۹ | ۳٫۱ | ۱۱٫۲ | ۳۴٫۲ | ۱۰٫۸ | ۳۹٫۹ | ۲۵٫۶ | ۱۱٫۴ | B۲۱ |
| ۴۱٫۷ | ۵٫۶ | ۲۳٫۳ | ۷۷٫۱ | ۲۱٫۸ | ۸۸٫۱ | ۵۳٫۶ | ۲۳٫۱ | B۲۲ |
| ۹۳٫۹ | ۱۰٫۳ | ۳۵٫۱ | ۱۴۳٫۹ | ۴۴٫۸ | ۱۳۸٫۱ | ۱۲۰٫۸ | ۴۷٫۶ | B۲۳ |



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

با توجه به اینکه در محدوده مطالعاتی برای برآورد حجم سیلاب ها از رابطه کریپچ استفاده شده است با استفاده از روابط زیر خطاها را نسبت به سایر روابط بدست می آوریم.

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (EQ_{use} - EQ_{EXP})^2 \right)^{0.5} \quad (11)$$

$$RE = \frac{|EQ_{use} - EQ_{EXP}|}{EQ_{EXP}} \times 100 \quad (12)$$

که در آن (RMSE) Root Mean Square Error ریشه میانگین مربع خطا، N تعداد زیرحوضه ها، EQ_{use} معادله مورد استفاده (کریپچ)، EQ_{EXP} معادله مورد استفاده تجربی و RE درصد خطای نسبی می باشد. برای مقایسه داده های مبنای کریپچ و داده های سایر روابط تجربی از دو پارامتر آماری RMSE و RE استفاده می شود. نتایج بدست آمده در جداول ۳ و ۴ به صورت خلاصه آمده است.

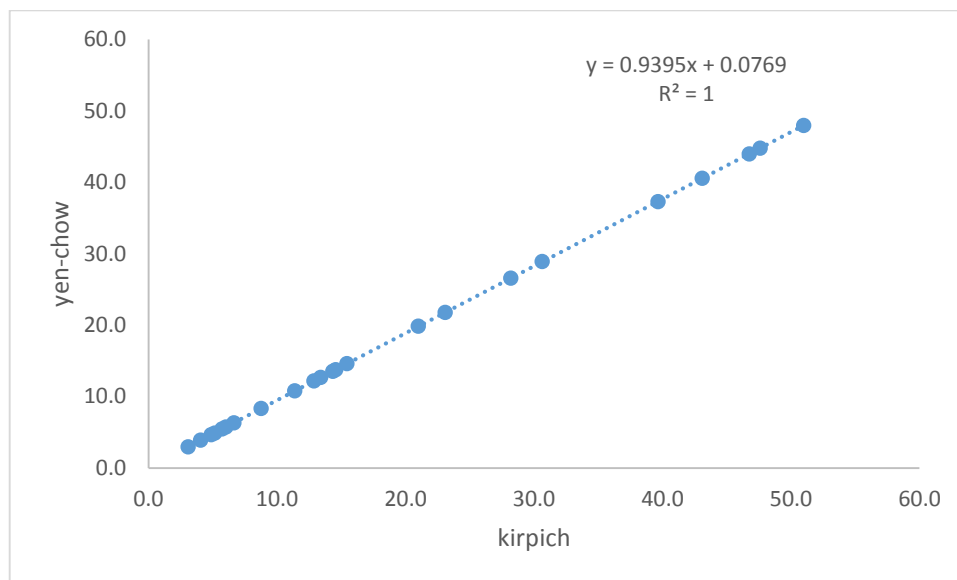
جدول درصد خطای نسبی و ریشه میانگین مربع خطا بین مقادیر کریپچ و مقادیر برآوردی از دیگر روابط تجربی شماره (۳)

| ردیف | روابط تجربی برآورد زمان تمرکز | RE | RMSE |
|------|-------------------------------|------|------|
| ۱ | SCS | %۶۰ | ۳۶,۶ |
| ۲ | هاکتایز - سزن | %۷۰ | ۵۹,۴ |
| ۳ | ین - چاو | %۶ | ۱,۵ |
| ۴ | برانسی - ویلیامز | %۶۹ | ۵۱,۸ |
| ۵ | جباندوتی | %۱۰ | ۳,۸ |
| ۶ | هیدروگراف استدلالی | %۲۸۰ | ۱۹,۵ |
| ۷ | شواب | %۴۰ | ۲۲,۹ |

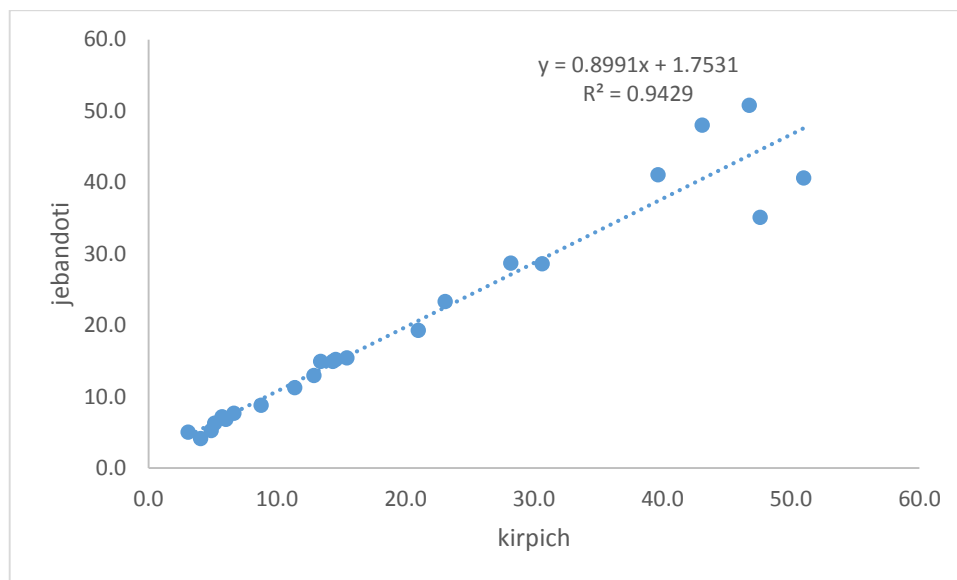
با توجه به نتایج، می توان بیان کرد که روابط تجربی ین - چاو و جباندوتی روابطی هستند که RE و $RMSE$ آن ها پایین بوده و اختلاف کمی با داده های کریپچ دارند. در شکل ۴ و ۵ رابطه خطی بین زمان تمرکز کریپچ و ین چاو، کریپچ و جباندوتی نشان داده شده است.



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل شماره (۴): تغییرات خطی بین رابطه ی زمان تمرکز کرپیچ و ین چاو



شکل شماره (۵): تغییرات خطی بین رابطه ی زمان تمرکز کرپیچ و جباندوتی

با توجه به تغییرات نمودار های ۴ و ۵ می توان جدول ۴ را بصورت زیر تنظیم نمود .

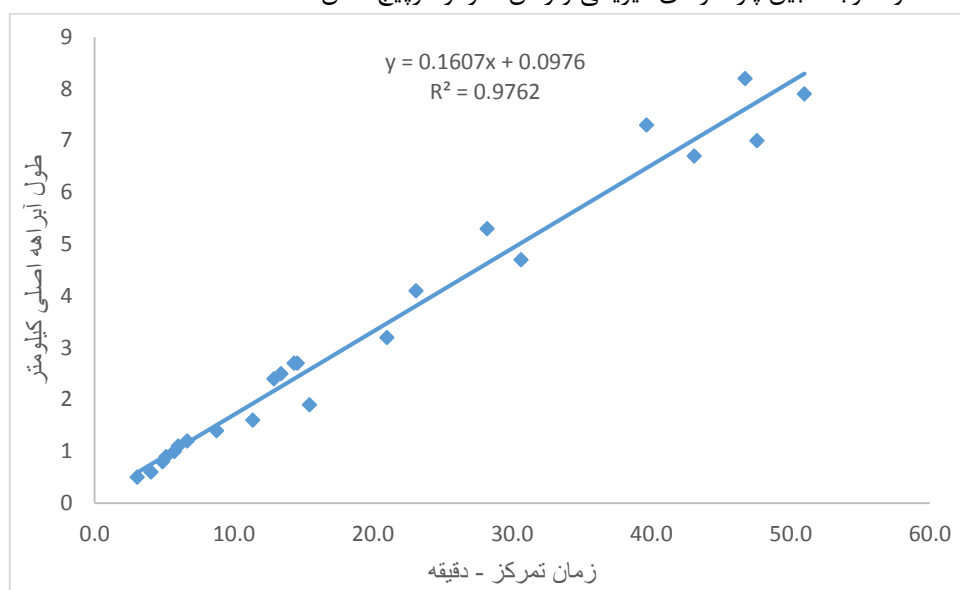
جدول رابطه بین زمان تمرکز کرپیچ و ین چاو ، کرپیچ و جباندوتی شماره (۴)



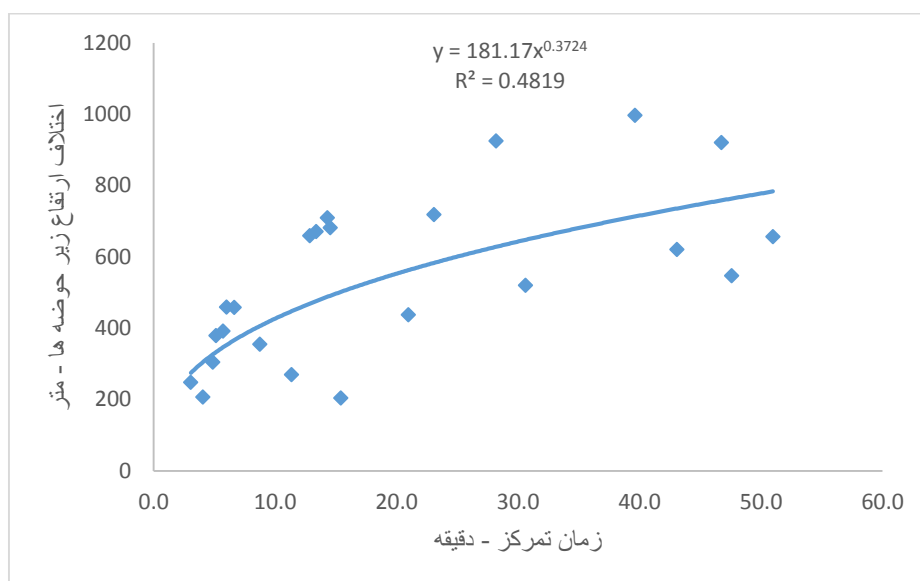
دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

| | | |
|--------------|--|------------------------|
| $R^2 = 1$ | $T_{c-yenchaw} = 0.94T_{c-ker\ peach} + 0.08$ | رابطه کرپیچ و ین چاو |
| $R^2 = 0.94$ | $T_{c-jebandoti} = 0.9T_{c-ker\ peach} + 1.75$ | رابطه کرپیچ و جباندوتی |

در شکل های ۶، ۷ و ۸ رابطه بین پارامترهای فیزیکی و زمان تمرکز کرپیچ نشان داده شده است .



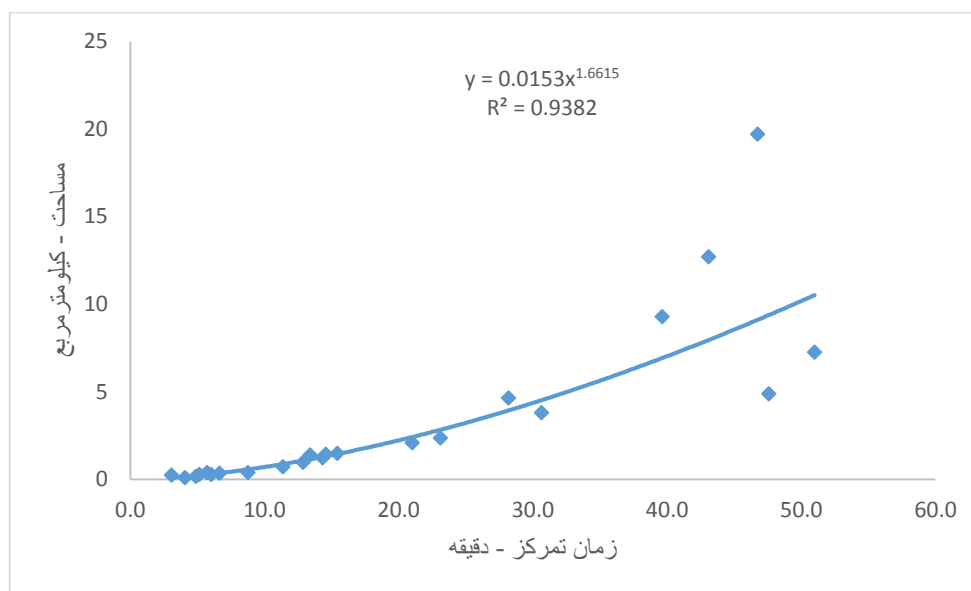
شکل شماره (۶): روند تغییرات خطی بین زمان تمرکز کرپیچ نسبت به طول آبراهه اصلی در زیرحوضه ها



شکل شماره (۷): روند تغییرات توانی بین زمان تمرکز کرپیچ و پارامتر اختلاف ارتفاع در زیرحوضه ها



دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل شماره (۸): روند تغییرات توانی بین زمان تمرکز کریپیج و پارامتر مساحت در زیرحوضه ها

۴- نتیجه گیری

برای بدست آوردن زمان تمرکز روابط تجربی زیادی وجود دارد، در این تحقیق سعی بر آن شده تا از روابطی استفاده شود که پارامترهای مورد نیاز آنها وجود داشته یا به سهولت قابل اندازه گیری باشند. سپس زمان تمرکز مطابق با روش های بیان شده در هر زیرحوضه بدست آمد. بر اساس نتایج، زمان تمرکز محاسبه شده با روش های پچاو و جباندوتی کمترین اختلاف را با روش کریپیج دارند.

محاسبه زمان تمرکز با استفاده از روش کریپیج برای حوضه های کوچک مورد استفاده قرار می گیرد و همچنین تعداد پارامترهای کمی برای مطالعه در نظر گرفته شده است.

مساحت از پارامترهای موثر در تغییرات زمان تمرکز است و می توان گفت که نسبت به پارامترهای دیگر تاثیر مضاعف روی زمان تمرکز دارد.

کاربری اراضی در تغییرات زمان تمرکز نقش قابل توجهی دارد بنابراین پارامتر شماره منحنی که بر اساس کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک تهیه شده از پارامترهای موثر در زمان تمرکز حوضه است که در روش SCS به کار برده شد، دلیلی بر این مدعا است که تغییرات کاربری اراضی تاثیر بسیاری بر زمان تمرکز دارد.



منابع

۱. آزادنی، فرزاد، رستمی، نورالدین، راند، کمالی مقدم، مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز در حوضه آبخیز میمه استان ایلام، مجله پژوهش آب ایران، شماره چهارم، صص ۱-۳، ۱۳۸۸
۲. علیزاده، امین، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۸۹
۳. معتمد وزیری، بهارک، بررسی برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز در حوضه آبخیز کرج، پایان نامه کارشناسی ارشد، آبخیزداری دانشگاه تهران، ۱۳۸۳
۴. شجاعی، سعید، اضغری، علی، علیپور، حمید، هامشی نسب، سیده نگار، مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز حوضه آبخیز ایور، سومین کنفرانس بین المللی پژوهشی در مهندسی، علوم و تکنولوژی - باتومی (گرجستان)، ۱۳۹۵
۵. مقدم نیا، ع.، بررسی مقایسه ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب بر اساس روش های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب و هوایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶
۶. شرکت مهندسی مشاور دز آب، مطالعات حوضه های آبریز بالادست شهر کرج، گزارش زمین شناسی و پوشش سطحی حوضه ها، ۱۳۹۱
۷. فروتن، الهام، بررسی معادلات تجربی محاسبه زمان تمرکز در حوضه آبخیز سولقان قم، دومین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی، صص ۶۱۹-۶۲۳، ۱۳۹۸
۸. Abustan, I., Sulaiman, A. H., Wahid, N. A., and Baharudin, F. (۲۰۰۸). *Determination of rainfall-runoff characteristics in an urban area: Sungai Kerayong Catchment, Kuala Lumpur*. In ۱۱th International conference on urban drainage, Edinburgh, Scotland, UK (pp. ۱-۱۰).
۹. Soil Conservation Service. (۱۹۸۶). *Urban hydrology for small watersheds. Technical Release No.*, ۲-۵.
۱۰. Zomorodi, K. (۲۰۰۵). *Revising the NRCS sheet flow travel time equation for flatlands*. In AWRA ۲۰۰۵ Annual Water Resources Conference, Seattle, WA.
۱۱. Goitom, T.G. (۱۹۸۹). Evaluation of t_c methods in a small rural watershed channel flow and catchment runoff: centennial of manning's formula and kuichlings rational formula B.C.YEN(Ed), university of Virginia, U.S.A. National Weather Service and University of Virginia.
۱۲. Pilgrim, D. H. (۱۹۸۹). *Regional methods for estimation of design floods for small to medium sized drainage basins in Australia*. Proc. IAHS Third Scientific Assembly, Baltimore, Thj-volume.
۱۳. Sheridan, J. M. (۱۹۹۴). Hydrograph time parameters for flatland watersheds. Transactions of the ASAE, ۳۷(۱), ۱۰۳-۱۱۳.
۱۴. McCuen, R. H., Wong, S. L., and Rawls, W. J. (۱۹۸۴). *Estimating urban time of concentration*. Journal of hydraulic Engineering, ۱۱۰(۷), ۸۸۷-۹۰۴.
۱۵. Dastourani, H., Jahannama, M. R., and Eslami-Majd, A. (۲۰۱۱). *A physical insight into electrospray process in cone-jet mode: Role of operating parameters*. International Journal of Heat and Fluid Flow, ۷۰, ۳۱۵-۳۳۵. (In Persian)
۱۶. Sharifi, S., & Hosseini, S. M. (۲۰۱۱). *Methodology for identifying the best equations for estimating the time of concentration of watersheds in a particular region*. Journal of irrigation and drainage engineering, ۱۳۷(۱۱), ۷۱۲-۷۱۹.
۱۷. www.basin.ir
۱۸. Nagy, E. D., Torma, P., & Bene, K. (۲۰۱۶). *Comparing methods for computing the time of concentration in a medium-sized Hungarian catchment*. Slovak Journal of Civil Engineering, ۲۴(۴), ۸-۱۴.
۱۸. Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., and Holisaz, A. (۲۰۱۷). *Estimating time of concentration in large watersheds*. Paddy and Water Environment, ۱۵(۱), ۱۲۳-۱۳۲.