

## تعیین روابط تجربی برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز کوهستانی

سید سعید اسلامیان<sup>۱</sup> و احمد مهربانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشجویس، سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۲/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۴/۲/۲۱

### چکیده

زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای انتخاب رگبارهای طرح هر منطقه می‌باشد. محققین فرمول‌های زیادی را برای برآورد زمان تمرکز پیشنهاد کرده‌اند که اکثر آنها براساس اطلاعات محدود حوضه‌های آبخیز خاص مناطق تحت مطالعه به‌دست آمده‌اند و کاربرد آنها برای مناطق دیگر که شرایط اقلیمی، توپوگرافی و مرفولوژیک متفاوت دارند، با شک و تردید توأم است. با توجه به اهمیت زمان تمرکز در برآورد سیلاب و شکل هیدروگراف سیلاب و نقشی که سیلاب‌ها در تخریب تأسیسات و ابنیه آبی، اماکن مسکونی دارند، مطالعه زمان تمرکز در پروژه‌های آبیاری و زهکشی، سدسازی و هیدرولوژی شهری امری جدی محسوب می‌شود. زمان تمرکز ۱۱ حوضه آبخیز کوهستانی در استان‌های تهران، مازندران و اصفهان با مساحت‌های ۱۶/۱ تا ۷۱۲ کیلومتر مربع و شیب آبراهه اصلی ۰/۷۷ تا ۱۳/۸ درصد، که مجهز به دستگاه‌های ثبت لحظه‌ای بارش سطح آب رودخانه بودند، مطالعه شد. زمان تمرکز هر حوضه آبخیز با استفاده از هیدروگراف (آب‌نمود) سیلاب و هیتوگراف (بارش نمود) بارندگی ثبت شده به‌دست آمد و با ۱۴ معادله تجربی برآورد زمان تمرکز مقایسه و روابط واسنجی شده این معادلات از طریق نرم افزار SAS تعیین گردید. ارزیابی این روابط نشان داد که غیر از رابطه واسنجی شده پیلگریم-مک درمات بقیه آنها دقت کافی را برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز با خصوصیات مورد مطالعه این تحقیق ندارند. بنابراین، برای رسیدن به دقت مورد نظر، از هشت متغیر مؤثر بر زمان تمرکز برای تشکیل روابط نهایی (حالت کلی روابط زمان تمرکز) استفاده شد و از ترکیب آنها ۲۴۸ رابطه جدید و با حذف کلیه داده‌های مربوط به حوضه‌ای که دارای کمترین شیب بود، ۲۴۸ رابطه دیگر به‌دست آمد. از مجموع روابط تشکیل شده، هشت رابطه که دارای دقت مناسب بودند، به‌دست آمد که یکی از آنها که یک متغیره بود، رابطه واسنجی شده پیلگریم-مک درمات بود. در نهایت، این روابط به‌عنوان روابط مناسب برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های آبخیز کوهستانی معرفی شدند.

**واژه‌های کلیدی:** زمان تمرکز، حوضه آبخیز، هیدروگراف (آب‌نمود)، هیتوگراف (بارش نمود)

### مقدمه

حوضه را طی کند و به ایستگاه اندازه‌گیری دبی برسد (ضیائی، ۱۳۷۰). این عامل پایه انتخاب باران طرح از منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی هر منطقه بوده و در نتیجه از عوامل مؤثر بر رواناب حداکثر می‌باشد (تامی،

زمان تمرکز<sup>۱</sup> یک حوضه آبخیز، عبارت است از مدت زمانی که لازم است تا یک قطره باران طویل‌ترین مسیر

1- Time of concentration

اکثریت قریب به اتفاق طرح‌های مطالعاتی برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز کوهستانی از روابط تجربی نظیر کریپچ<sup>۲</sup>، برانسی- ویلیامز<sup>۳</sup> و روش SCS با ضرایب خاص خود استفاده می‌شود و بررسی علمی مناسبی در نحوه کاربرد این معادلات و سایر معادلات تجربی وجود ندارد. با توجه به این موضوع، تحقیق حاضر با هدف واسنجی معادلات تجربی و تعیین روابط مناسب برای برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های کوهستانی تدوین شده است.

کاربرد معادلات تجربی تعیین زمان تمرکز نتیجه سازش ریاضی داده‌هایی است که در یک دوره محدود و برخی مناطق با آب و هوای معین جمع‌آوری شده است که ممکن است برای مناطق دیگر بسیار متفاوت باشد. شکل عمومی فرمول‌های تجربی برآورد زمان تمرکز به صورت زیر می‌باشد (سینگ، ۱۹۸۸):

$$T_c = kL^a n^b S^{-c} I^{-d} \quad (1)$$

در سال ۱۹۴۰ کریپچ اطلاعات جمع‌آوری شده توسط رامسر<sup>۴</sup> را که شامل هفت حوضه کشاورزی دارای مساحت‌های ۰/۴ تا ۸۱ هکتار بود مورد تحلیل قرار داد و رابطه‌ای برای برآورد زمان تمرکز ارائه داد (هاتکیس و همکاران، ۱۹۹۵). در سال ۱۹۴۲، توسط اداره راه‌های آمریکا رابطه‌ای تحت عنوان رابطه کالیفرنیا<sup>۵</sup> برای حوضه‌های کوچک کوهستانی ارائه شد که اساس آن همان روش کریپچ بود (شاو، ۱۹۸۳). جانستون و کراس<sup>۶</sup> در سال ۱۹۴۹ براساس تجزیه و تحلیل خصوصیات ۱۹ حوضه آبخیز در رودخانه اسکاتی<sup>۷</sup> آمریکا با مساحت‌های ۶۴ تا ۴۶۰ کیلومتر مربع معادله‌ای برای تخمین زمان تمرکز ارائه دادند (سینگ، ۱۹۸۸). اسپي و همکاران<sup>۸</sup> (به نقل از هاتکیس و همکاران، ۱۹۹۵) در سال ۱۹۶۶ با در دست داشتن اطلاعات ۱۱ حوضه روستایی و با استفاده از

۱۹۹۶). بسیاری از مدل‌های رایانه‌ای و هیدرولوژی مثل مدل SCS آمریکا و مدل‌های هیدروگراف واحد احتیاج به برآورد زمان تمرکز به عنوان یک نهاده<sup>۱</sup> دارند (مک-کویین و همکاران، ۱۹۸۴).

با شناخت اهمیت زمان تمرکز در طراحی و ارزیابی‌های هیدرولوژی، محققین روش‌های زیادی را برای تخمین زمان تمرکز ارائه نموده‌اند که به سه دسته تقسیم می‌شوند: روش صحرائی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب، روش استفاده از هیدروگراف سیلاب و هیتوگراف بارندگی و روش‌های تجربی در روش صحرائی مسیر رودخانه را به طول‌های همگن که از نظر شرایط هیدرولیکی یکسان هستند تقسیم کرده و زمان پیمایش هر کدام از آن‌ها را محاسبه و از مجموع آن‌ها زمان تمرکز را به دست می‌آورند. در این روش زمان پیمایش مربوط به بخش کوهپایه به حساب نمی‌آید و در رودخانه‌های دارای جریان‌های زیرزمینی زمان تمرکز را کمتر از حد واقعی تخمین می‌زند. همچنین در این روش امکان دسترسی به مناطق صعب‌العبور حوضه‌ها وجود ندارد (نجمایی، ۱۳۶۹). در روش هیدروگراف سیلاب برای تخمین زمان تمرکز نیاز به منحنی‌های هم‌زمان بارش و رواناب لحظه‌ای می‌باشد. اگر مدت بارندگی مساوی یا بیشتر از مدت رسیدن به اوج سیلاب هم‌زمان آن باشد، زمان تمرکز برابر مدت رسیدن به اوج سیلاب و در غیر این صورت زمان تمرکز فاصله زمانی از انتهای بارش تا نقطه عطف شاخه نزولی هیدروگراف سیلاب در نظر گرفته می‌شود (مهدوی، ۱۳۷۱). روش‌های تجربی نیز هر کدام برای مناطق با آب و هوای خاص به دست آمده‌اند و دقت لازم را برای کاربری در مناطق دیگر ندارند و باید ضرایب آن‌ها برای منطقه مورد مطالعه تصحیح شود. اکثر این روش‌ها براساس اطلاعات محدود مناطقی خاص بوده و در همان مناطق واسنجی شده‌اند. لذا، کاربرد آنها در مناطق دیگر با تردید توأم بوده و برای مناطق جدید مجدداً باید واسنجی شوند. در حال حاضر، در کشور ما در

2- Kirpich  
3- Bransbi-Williams  
4-Ramsar  
5- California  
6- Johnstone and cross  
7- Scotti  
8- Espey et al.

1- Input

برای برآورد زمان تمرکز این گونه حوضه‌ها پیشنهاد کرد (۱۵). در سال ۱۹۹۵ مک‌کوئن و همکاران با ارزیابی هفت فرمول تجربی زمان تمرکز برای پنج حوضه با مساحت‌های کمتر از ۵/۱۸ کیلومتر مربع در آمریکا به این نتیجه رسیدند که روش اندازه‌گیری زمان تمرکز از طریق محاسبه سرعت متوسط آبراهه که توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شد، کمترین خطا را دارد (۱۱).

### مواد و روش‌ها

**الف- تعیین زمان تمرکز حوضه‌ها:** همان‌گونه که گفته شد سه روش برای اندازه‌گیری زمان تمرکز وجود دارد که عبارتند از: روش صحرائی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب، روش استفاده از هیدروگراف سیلاب و هیتوگراف بارندگی و روش‌های تجربی. با توجه به تخمین‌های نامناسب روش صحرائی در حوضه‌های کوهستانی و نیز عدم اطمینان به نتایج حاصله از روش‌های تجربی، از روش هیدروگراف سیلاب استفاده می‌گردد. در این روش با انتخاب حوضه‌های مجهز به دستگاه‌های ثبت لحظه‌ای بارش و رواناب، هیدروگراف‌های سیلاب و هیتوگراف‌های بارش همزمان طی سال‌های دارای آمار انتخاب می‌شود.

فرضیات روش هیدروگراف عبارتند از: ۱- توزیع مکانی و زمانی بارش یکنواخت باشد و ۲- باران‌سنج در مرکز ثقل حوضه قرار داشته باشد. با قبول این دو فرض و با انتخاب حوضه‌های مجهز به دستگاه‌های لیمنوگراف (اشل ثبات سطح آب) و باران‌سنج ثبات، می‌توان زمان تمرکز حوضه‌های انتخابی را پیش‌بینی کرد. لذا با توجه به شرایط ذکر شده، ۱۱ حوضه کوهستانی شامل ۹ حوضه در استان تهران، یک حوضه در استان مازندران و یک حوضه در استان اصفهان انتخاب شد (جدول ۱). پس از انتخاب این حوضه‌ها کلیه رگبارهای این حوضه‌ها که توانایی ایجاد سیل داشتند و هیدروگراف سیل آنها در ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت شده بود استخراج گردیده و از بین آنها رگبارهایی انتخاب گردید که سیلاب آنها

تکنیک رگرسیون خطی چندگانه رابطه‌ای برحسب شیب و طول آبراهه اصلی برای برآورد زمان تمرکز توصیه کردند. در سال ۱۹۷۰ رابطه‌ای تحت عنوان رابطه فدرال<sup>۱</sup> توسط ارتش مهندسی آمریکا برای فرودگاه‌ها و حوضه‌های شهری دارای جریان سطحی پیشنهاد شد (چاو، ۱۹۸۸). در سال ۱۹۷۳ سازمان حفاظت خاک آمریکا یک رابطه برای تخمین زمان تمرکز ارائه داد که برای حوضه‌های با مساحت تا ۸۰۹ هکتار قابل استفاده است (علیزاده، ۱۳۷۴).

در سال ۱۹۸۷ پاپاداکیس<sup>۲</sup> و نیزار (۱۲) با بررسی ۳۷۵ حوضه آبخیز در ایالت متحده آمریکا، که ۸۴ حوضه آن طبیعی و ۲۹۱ حوضه آن مدل آزمایشگاهی بود و اندازه‌گیری طول، شیب مسیر جریان اصلی رودخانه‌ای، ضریب زبری مانینگ، متوسط سطح حوضه و شدت بارندگی مؤثر یک تجزیه و تحلیل رگرسیونی روی اطلاعات موجود انجام داد و از مدل نمایی زیر برای به‌دست آوردن زمان تمرکز حوضه‌های مورد مطالعه استفاده کردند:

$$T_c = 26.5L^{0.5}n^{0.53}S_c^{0.31}I^{-0.38} \quad (2)$$

پیلگریم (۱۳) در سال ۱۹۸۹ با بررسی ۹۶ حوضه در منطقه جنوبی استرالیا معادله‌ای برای زمان تمرکز منطقه توصیه کردند که فقط تابع مساحت حوضه بود. در سال ۱۹۹۴ شریدان فرمول‌های موجود برای برآورد زمان‌های تأخیر، تمرکز و اوج را در حوضه‌های مسطح مورد بررسی قرار داد. وی در مطالعه‌اش که برای ۹ حوضه در جنوب ایالات متحده آمریکا که دارای مساحت‌های ۲/۶ تا ۳۳۴/۳ کیلومتر مربع و شیب آبراهه اصلی کمتر از یک درصد بودند انجام داد، سه فرمول کریپیچ، دوج و جانستون-کراس را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که این فرمول‌ها زمان تمرکز را برای حوضه‌های مسطح به ترتیب در محدوده‌ای از ۳۰۰ تا ۶۰۰ درصد، ۴۱۰ تا ۱۲۰۰ درصد و ۱۸۰ تا ۵۰۰ درصد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. لذا از طریق رگرسیون چندگانه روابطی را

دارای یک نقطه اوج باشد. در هر حوضه، زمان تمرکز کلیه رگبارهای انتخابی از روش تجزیه هیدروگراف تعیین و زمان تمرکز هر حوضه با میانگین گیری از زمان های تمرکز رگبارهای آن حوضه به دست آمد.

ب- انتخاب معادله های تجربی: برای انتخاب فرمول تجربی سه نکته زیر مورد توجه قرار گرفت:

۱- متغیرهای روابط انتخابی دارای دقت کافی باشند و امکان تعیین این متغیرها برای اکثر حوضه ها فراهم باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه های آبخیز مورد تحقیق.

مشخصات حوضه ها	امامه	باغ تنگه	کسیلیان	کن	رندان	کشار	کیگا	رودک	مهران	حنا	جوستان
موقعیت جغرافیایی (استان)	تهران	تهران	مازندران	تهران	تهران	تهران	تهران	تهران	تهران	اصفهان	تهران
مساحت (کیلومتر مربع)	۳۷/۲۰	۱۶/۱۰	۶۶/۷۵	۱۹۹/۶	۶۰/۳۰	۳۵/۲۲	۲۴/۲	۴۲۶/۰	۱۰۰/۷	۷۱۲/۰۰	۶۵/۱۷
محیط (کیلومتر)	۲۹/۰۵	۱۷/۰۰	۴۲/۵۰	۸۰/۰۰	۴۰/۶۰	۲۲/۶۰	۲۵/۳	۱۰۰/۰	۶۴/۵	۱۴۷/۰۰	۴۵/۶
ارتفاع حداکثر حوضه (متر)	۳۹۱۲	۳۹۱۲	۲۶۵۰	۳۸۷۶	۳۷۵۸	۳۲۸۰	۳۸۷۶	۴۳۷۵	۴۴۰۰	۳۳۳۱	۳۷۰۰
ارتفاع حداقل حوضه (متر)	۱۸۰۰	۲۲۲۰	۱۱۰۰	۱۴۳۰	۱۸۷۰	۱۵۲۰	۱۸۷۰	۱۶۹۰	۲۰۰۰	۲۵۶۷	۱۹۶۰
طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۱۳/۵۰	۷/۳۰	۱۶/۵۰	۱۹/۷	۱۱/۹۵	۱۲/۰۵	۹/۵۰	۲۵/۰۰	۲۱/۶۰	۴۶/۰۰	۱۸/۰۰
طول آبراهه تا مرکز ثقل (کیلومتر)	۶/۵۰	۳/۱۰	۶/۵۰	۱۰/۵	۴/۵	۶/۱	۱۰/۸	۱۸/۰۰	۱۱/۹۰	۱۰/۵۰	۷/۱۷
شیب آبراهه اصلی (درصد)	۱۳/۸۰	۸/۴۶	۱۳/۳۰	۴/۹۰	۶/۳۰	۷/۴۰	۱۰/۸	۲/۴۰	۵/۴۰	۰/۷۷	۷/۱۷

جدول ۲- معادله های تجربی برآورد زمان تمرکز.

نام فرمول	شکل فرمول	خصوصیات حوضه های مورد مطالعه	مرجع
کریچ	$T_c = 3.98L^{0.77}S_c^{-0.385}$	حوضه های کشاورزی (۰/۴ تا ۸۱ هکتار)	۹
کالیفرنیا	$T_c = 0.949 \left( L^3 / H_{\max} - H_{\min} \right)^{0.385}$	حوضه های کوچک کوهستانی	۹
روش SCS	$T_c = 0.57 \times \frac{L^{0.8} (1000 / CN - 9)^{0.7}}{S_c^{0.5}}$	حوضه های کشاورزی با مساحت تا ۸۰۹ هکتار	۴
اسپی	$T_c = 0.081 \left( L / \sqrt{S_c} \right)^{0.36}$	حوضه های آبخیز روستایی واقع در حومه شهرها	۹
ونتورا	$T_c = 0.1272 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{S_c}}$	حوضه های آبخیز کوچک	۱۱
باوارین	$T_c = \frac{0.876 L^{1.6}}{(H_{\max} - H_{\min})^{0.6}}$	حوضه های آبخیز کوچک	۶

۲- تنوع پارامترها در فرمول ها وجود داشته باشد تا بتوان اثر تمامی عوامل مؤثر بر زمان تمرکز را در نظر گرفت.

۳- در بین متخصصین، طراحان و کتب هیدرولوژی عمومیت داشته باشند.

بدین ترتیب ۱۴ معادله تجربی انتخاب شد که در جدول ۲ همراه با پارامترها و ضرایبشان نشان داده شده اند.

۵	حوضه‌های بزرگ کوهستانی	$T_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{H_{mean}}}$	جیادوتی
۱۱	حوضه‌های با مساحت بزرگ‌تر از ۲۰/۵ کیلومتر مربع	$T_c = 0.09777L^{0.6}S_c^{-0.3}$	کارتر
۳	حوضه‌های با مساحت ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلومتر مربع	$T_c = 6.48 \frac{(A.L)^{0.333}}{\sqrt{S_c}}$	پاسینی
۲	حوضه‌های با مساحت کمتر از ۱۲/۳ کیلومتر مربع	$T_c = 0.272 \frac{L \cdot A^{0.40}}{D \cdot S_c^{0.2}}$	برانسبی- ویلیامز
۱۶	حوضه‌های با مساحت ۶۵-۴۲۰۰ کیلومتر مربع	$T_c = 0.087 \left(\frac{L}{S_c}\right)^{0.5}$	جانستون - کراس
۱۳	حوضه‌های جنوبی استرالیا	$T_c = 0.76A^{0.38}$	پیلگریم
۴	حوضه‌های کوچک زهکشی	$T_c = C_{tl} \times 1.156 \left(\frac{LLca}{\sqrt{S_c}}\right)^{0.38}$	لینزلی
۹	زهکشی فرودگاه‌ها	$T_c = \frac{22.25(1.1 - C)L^{0.5}}{S_c^{0.333}}$	فدرال

عامل مؤثر بر زمان تمرکز انتخاب شد: ۱- مساحت حوضه (A)، ۲- طول آبراهه اصلی (L)، ۳- طول آبراهه اصلی تا نزدیک‌ترین نقطه به مرکز ثقل حوضه (Lca)، ۴- شیب متوسط آبراهه اصلی (Sc)، ۵- اختلاف ارتفاع حداکثر و حداقل حوضه (H)، ۶- شیب متوسط حوضه (Sw)، ۷- قطر دایره معادل حوضه (D)، ۸- ضریب رواناب حوضه (C) و ۹- شدت بارش مازاد (I). از این متغیرها، هفت متغیر اول مربوط به خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه، متغیر هشتم مربوط به پوشش گیاهی حوضه و متغیر نهم مربوط به بارندگی در سطح حوضه می‌باشد.

برای گزینش بهترین متغیرها برای تعیین روابط نمایی، با استفاده از رابطه رگرسیون بین زمان‌های تمرکز تعیین شده از هیدروگراف‌های سیل و هر یک از متغیرهای فوق، وجود یا عدم وجود همبستگی بین این متغیرها و زمان تمرکز تعیین شد. سپس متغیرهای با ضریب همبستگی نسبتاً خوب (حداقل ۶۰ درصد) انتخاب شد. روابط نمایی که ترکیبی از متغیرهای انتخابی می‌باشند تعیین شده و آنگاه با استفاده از برنامه RSQUARE در نرم‌افزار SAS روابط تعیین شده با توجه به ضریب تبیین هر کدام به صورت نزولی مرتب شدند. از تمامی روابط

ج- واسنجی معادله‌های تجربی: ۱۴ معادله تجربی (جدول ۲) در ۱۰ رابطه خلاصه و با استفاده از برنامه REG موجود در نرم‌افزار SAS واسنجی شدند که این روابط عبارتند از: ۱- رابطه واسنجی شده معادله کریچ، جانستون- کراس، کارتر و اسپبی، ۲- رابطه واسنجی شده کالیفرنیا و باوارین، ۳- رابطه واسنجی شده ونتورا، ۴- رابطه واسنجی شده SCS، ۵- رابطه واسنجی شده پاسینی، ۶- رابطه واسنجی شده برانسبی- ویلیامز، ۷- رابطه واسنجی شده پیلگریم- مک درمات، ۸- رابطه واسنجی شده لینزلی و همکاران، ۹- رابطه واسنجی شده فدرال ۱۰- رابطه واسنجی شده جیادوتی.

د- تحلیل خطا: برای ارزیابی دقت روابط به دست آمده چهار عامل مد نظر قرار می‌گیرند که عبارتند از: ضریب تبیین اصلاح شده، سطح معنی‌دار بودن رابطه، سطح معنی‌دار بودن ضرایب به دست آمده و ضریب تغییرات.

ه- تعیین روابط مناسب برای برآورد زمان تمرکز: با انتخاب متغیرهای مؤثر در برآورد زمان تمرکز (متغیرهایی که احتمال دارد بیشترین تأثیر را بر زمان تمرکز داشته باشند و از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرمول‌های تجربی انتخاب شده هستند). در یک مدل نمایی، روابط مناسب برای برآورد آن تعیین گردید. با بررسی به عمل آمده، ۹

حاصله، روابطی مناسب خواهند بود که اولاً ضریب تبیین اصلاح شده آنها بیش از ۸۵ درصد باشد، ثانیاً در سطحی بیش از ۹۵ درصد معنی دار شوند. ثالثاً تمامی ضرایب رابطه در سطحی بیش از ۸۵ درصد معنی دار شوند. همچنین، برای کاهش اثر شیب، یکبار این روابط با اطلاعات ۱۱ حوضه و بار دیگر با اطلاعات ۱۰ حوضه (حوضه حنا در اصفهان با مساحت ۷۱۲ کیلومترمربع که کمترین شیب را دارد حذف می شود) ساخته شدند.

## نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از رگرهای ثابت شده در هر حوضه مقادیر زمان تمرکز، ضریب رواناب، شدت بارش مازاد و شماره منحنی هر رگبار از طریق هیدروگراف های بارش - رواناب و روابط بارش - رواناب تعیین و متوسط مقادیر محاسبه شده از رگبارهای هر حوضه به عنوان زمان تمرکز، ضریب رواناب و شماره منحنی آن حوضه منظور شد که در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر متوسط مشخصات رگبارهای ثابت شده حوضه امامه و نحوه محاسبات در جدول پیوست ۲ نشان داده شده است.

با مشخص شدن زمان تمرکز تمامی حوضه ها و پارامترهای فیزیکی آنها ادامه محاسبات با استفاده از برنامه SAS انجام شد. بطور کلی ۱۰ رابطه تعیین شد که بهترین آنها رابطه (۷) یا رابطه واسنجی شده فرمول پیلگریم - مک درمات بود (جدول ۴). در این بررسی، رابطه واسنجی شده فرمول های کالیفرنیا و باوارین (رابطه ۲) و رابطه واسنجی شده فرمول لینزلی و همکاران (رابطه ۸) دارای ضریب تبیین اصلاح شده کم (کمتر از ۰/۸) بوده و دقت لازم را برای محاسبه زمان تمرکز ندارند. سایر روابط نیز هر چند دارای ضریب تبیین اصلاح شده مناسبی

می باشند اما حداقل یکی از ضرایب آنها در سطحی پایین تر از ۸۰ درصد معنی دار می شوند. همبستگی هر کدام از ۹ متغیر انتخابی به طور منفرد با زمان تمرکز بررسی شد و مشاهده شد که به غیر از شدت بارش مازاد سایر متغیرها همبستگی خوبی با زمان تمرکز دارند و به عنوان متغیرهای بهینه انتخاب شدند و از ترکیب این ۸ متغیر مؤثر بر زمان تمرکز ۲۴۸ رابطه نمایی به دست آمد. با حذف داده های مربوط به حوضه حنا که دارای کمترین شیب آبراهه اصلی بود (برای کم کردن اثر شیب) ۲۴۸ رابطه نمایی دیگر ساخته شد. از بین ۲۴۸ رابطه نمایی که با اطلاعات ۱۱ حوضه به دست آمد و با در نظر گرفتن فرضیاتی که برای یک رابطه مناسب شرح داده شد ۶ رابطه به عنوان روابط مناسب به دست آمدند که یکی از آنها همان رابطه واسنجی شده فرمول پیلگریم - مک درمات بود. بقیه روابط شامل سه رابطه سه متغیره، دو رابطه دو متغیره یکی برحسب قطر دایره معادل و شیب حوضه و دیگری برحسب قطر دایره معادل و شیب متوسط حوضه بود. از بین ۲۴۸ رابطه توانی که با اطلاعات ۱۰ حوضه به دست آمد دو رابطه مناسب تشخیص داده شد که اولی یک رابطه یک متغیره برحسب قطر دایره معادل و دومی یک رابطه دو متغیره برحسب مساحت حوضه و شیب آبراهه اصلی بود. در تمامی این ۸ رابطه ضریب تبیین اصلاح شده بیشتر از ۸۵ درصد بود و در سطحی بالاتر از ۹۵ درصد معنی دار شدند. همچنین تمامی ضرایب این روابط در سطحی بیش از ۸۵ درصد معنی دار شدند. لذا، از این روابط می توان به عنوان روابط مناسب جهت برآورد زمان تمرکز در حوضه های کوهستانی استفاده کرد. شکل این روابط به همراه ارزیابی دقت آنها در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۳- زمان تمرکز، ضریب رواناب و شماره منحنی حوضه‌های آبخیز مورد تحقیق.

نام حوضه											خصوصیات
جوزستان	حنا	مهران	رودک	کیگا	کشار	رندان	کن	کسیلیان	باغ‌تنگه	امامه	
۵	۴	۴	۵	۳	۳	۴	۵	۶	۵	۸	تعداد رگبار
۲۱۹	۴۹۱	۲۲۴	۳۴۲	۱۴۰	۱۵۰	۲۲۵	۳۳۱	۲۴۸	۱۳۸	۲۳۶	زمان تمرکز (دقیقه)
۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۰۷۵	۰/۰۷۷	ضریب رواناب
۸۸/۷	۷۷/۲	۸۶/۴	۸۳/۵	۸۶/۲	۸۵/۴	۸۷/۵	۸۸/۳	۸۷	۸۵	۸۶	شماره منحنی

جدول ۴- روابط واسنجی شده فرمول‌های تجربی زمان تمرکز و ارزیابی آن‌ها.

شماره رابطه	فرمول	ضریب تبیین اصلاح شده	سطح معنی دار بودن رابطه	درصد ضریب تغییرات
۱	$T_c = 31.93L^{0.7}S_c^{-0.015}$	۰/۷۹۶	۹۹/۹۹	۲/۲۸
۲	$T_c = 194.46\left[\frac{L^3}{H}\right]^{0.212}$	۰/۷۷۲۸	۹۹/۹۹	۳/۴۶
۳	$T_c = 59.65A^{0.39}S_c^{0.12}$	۰/۸۸۱۸	۹۹/۹۹	۲/۵
۴	$T_c = 38.86L^{0.01}\left(\frac{1000}{CN}-9\right)^{0.25}S_c^{-0.06}$	۰/۸۰۰۴	۹۹/۹۹	۲/۲۴۵
۵	$T_c = 45.182(AL)^{0.27}S_c^{0.11}$	۰/۸۸۴۵	۹۹/۹۹	۲/۴۶۸
۶	$T_c = 45.18L^{-0.23}A^{0.216}D^{3.26}S_c^{0.36}$	۰/۹۲۲۴۵	۹۹/۹۹	۲/۰۲
۷	$T_c = 58.04A^{0.32}$	۰/۸۷۶۳	۹۹/۹۹	۲/۵۵
۸	$T_c = 47.06\left(\frac{LL_{ca}}{\sqrt{S_c}}\right)^{0.26}$	۰/۷۳۶	۹۹/۹۹	۳/۷۳
۹	$T_c = 7.49(4.81 - C)L^{0.59}S_c^{-0.18}$	۰/۸۶۱۰	بیشتر از ۹۹	۲۰/۳۷
۱۰	$T_c = \frac{(147.81A^{0.42} + 190.72L^{0.48})}{H_{mean}^{0.25}}$	۰/۸۶۹۸	بیشتر از ۹۹	۱۵/۴۴

جدول ۵- شکل و ارزیابی دقت روابط نمایی تعیین زمان تمرکز.

نام رابطه	شکل رابطه	ضریب تبیین اصلاح شده	سطح معنی دار بودن	درصد ضریب تغییرات
رابطه اول یک متغیره	$T_c = 58.04A^{0.32}$	۰/۸۷۶۳	۹۹/۹۹	۲/۵۵
رابطه دوم یک متغیره	$T_c = 50.42D^{0.67}$	۰/۸۶۰۹	۹۹/۹۹	۲/۷۱
رابطه اول دو متغیره	$T_c = 72.24D^{0.6}S_c^{0.61}$	۰/۸۹۰۳	۹۹/۹۹	۲/۰۰
رابطه دوم دو متغیره	$T_c = 80.64A^{0.43}S_c^{0.61}$	۰/۸۸۹۴	۹۹/۹۹	۲/۰۰
رابطه سوم دو متغیره	$T_c = 49.9D^{0.6}S_w^{-0.15}$	۰/۸۸۶۴	۹۹/۹۹	۲/۴۵
رابطه اول سه متغیره	$T_c = 109.95A^{1.69}D^{-2.52}S_c^{0.6}$	۰/۹۲۳۳	۹۹/۹۹	۲/۰۱
رابطه دوم سه متغیره	$T_c = 46405A^{0.44}H^{-0.26}S_c^{0.47}$	۰/۹۱۱۴	۹۹/۹۹	۲/۱۶
رابطه سوم سه متغیره	$T_c = 74995D^{0.88}H^{-0.35}S_c^{0.48}$	۰/۹۰۱۶	۹۹/۹۹	۲/۲۸

## نتیجه گیری

$L_{ca}$  = طول آبراهه اصلی از نقطه خروجی تا نزدیک ترین نقطه به مرکز ثقل، کیلومتر  
 $S_c$  = شیب آبراهه اصلی، متر بر متر  
 $S_w$  = شیب آبراهه اصلی، متر بر متر  
 $C_{tl}$  = ضریب ثابت حوضه که برای حوضه های کوهستانی برابر ۱/۲، برای حوضه های تپه ماهوری برابر ۰/۷۲ و برای حوضه های هموار برابر ۰/۳۵ می باشد.  
 $CN$  = شماره منحنی حوضه  
 $I$  = شدت بارش مازاد، میلی متر بر ساعت  
 $C$  = ضریب رواناب حوضه  
 $H_{mean}$  = ارتفاع متوسط حوضه، متر  
 $H_{min}$  و  $H_{max}$  = حداکثر ارتفاع حوضه و حداقل ارتفاع حوضه، متر

$D$  = قطر دایره معادل حوضه، کیلومتر

$K$  = ضریب ثابت تبدیل واحدها

$a, b, c$  و  $d$  = نماها

پیوست ۲: مشخصات رگبارهای ثبت شده حوضه امامه  
 ضریب رواناب = ارتفاع بارش (میلی متر) / ارتفاع رواناب (میلی متر)  
 شدت بارش مازاد (میلی متر بر ساعت) = مدت بارش (ساعت) / ارتفاع بارش (میلی متر)  
 نگه داشت سطحی (میلی متر) =  $۲۵/۴$  - (شماره منحنی / ۲۵۴۰).

با واسنجی ۱۴ رابطه تجربی زمان تمرکز در ۱۱ حوضه کوهستانی مشخص شد که غیر از رابطه واسنجی شده پیلگریم- مک درمات هیچکدام از ۱۳ فرمول تجربی دیگر حتی با تصحیح ضرایب هم قادر به برآورد مناسب زمان تمرکز نمی باشند. لذا، با ترکیب ۸ متغیر، ۴۹۶ رابطه‌ی نمایی به دست آمد که ۲۴۸ رابطه با اطلاعات ۱۱ حوضه و ۲۴۸ رابطه دیگر با اطلاعات ۱۰ حوضه تعیین شد. در نهایت ۸ رابطه‌ی نمایی که شامل دو رابطه‌ی یک متغیره، سه رابطه‌ی دو متغیره و سه رابطه‌ی سه متغیره به عنوان روابط مناسب برای برآورد زمان تمرکز در حوضه های کوهستانی معرفی شد.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای مهندس تات، مدیر مطالعات آب های سطحی، آقای بیات تکنسین سازمان آب استان تهران، آقای مهندس جعفریان کارشناس تماب و سرکار خانم مهندس منیره بیابانکی که در این مطالعه همکاری داشتند تشکر و قدردانی می شود.

پیوست ۱: فهرست علائم انگلیسی

$T_c$  = زمان تمرکز برحسب دقیقه

$A$  = مساحت حوضه، کیلومتر مربع

$L$  = طول آبراهه اصلی، کیلومتر

جدول ۶- مشخصات رگبارهای ثبت شده حوزه امامه.

تاریخ وقوع	مدت بارش	ارتفاع بارش	ارتفاع رواناب	ضریب رواناب	شدت بارش مازاد	نگهداشت سطحی	شماره منحنی	زمان تمرکز
	mm	mm	mm		mm/hr	mm	منحنی	min
۵۳/۱/۱۵	۸:۳۰	۵۹/۵	۴/۸۵	۰/۰۸	۰/۵۷	۵/۹	۶۲/۹	۲۷۰
۵۳/۶/۴	۴:۰۰	۱۰/۴	۰/۵	۰/۰۵	۰/۱۲۵	۱/۲۲	۸۹	۲۱۰
۵۳/۴/۲۸	۱:۴۵	۱۳/۰۵	۰/۸۵	۰/۰۷	۰/۴۸۶	۱/۴	۸۷/۷	۲۴۰
۵۴/۹/۳	۵:۰۰	۱۳/۷	۱/۹۷	۰/۱۴	۰/۳۹۴	۱/۰۵	۹۰/۵	۲۷۰
۶۲/۲/۸	۱:۱۵	۵/۴۵	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۱/۴۴	۸۷/۳	۱۸۰
۶۸/۱۲/۲۳	۲:۳۰	۱۶/۹	۰/۵	۰/۰۳	۰/۲	۲/۲۳	۸۱/۷۷	۲۵۵
۷۴/۳/۹	۱:۰۰	۶/۲۷۵	۰/۳	۰/۰۵	۰/۳	۱/۹۷	۸۳/۵	۲۱۰
۷۶/۱/۱۶	۶:۳۰	۲۰/۱	۱/۳۵	۰/۰۷	۰/۲	۲/۱۴	۸۲/۳۷	۲۵۵
میانگین				۰/۰۷۷		۱/۶۵۵	۸۵/۹۸	۲۳۶/۲۵



## منابع

۱. ضیائی، ح. ۱۳۷۰. کاربرد قوانین آماری در هیدرولوژی مهندسی، چاپ اول، انتشارات بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، ۳۳۴ ص.
۲. طاهریان، ن. و فرضی، ن. ۱۳۶۹. فیزیوگرافی حوضه آبریز، شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب.
۳. عباسی، ع. ۱۳۷۱. تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب برای حوضه‌های آبخیز کوچک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۴. علیزاده، ا. ۱۳۷۴. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ چهارم، ۶۳۴ ص.
۵. محسنیان، ع. ۱۳۵۰. عمران اراضی، جلد اول، اصول محاسبات زهکشی، انتشارات وزارت آب و برق.
۶. مقدم نیا، ع. ۱۳۷۶. بررسی مقایسه زمان تمرکز، زمان تأخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب براساس روش‌های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب وهوایی امامه و کسلیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۶۳ ص.
۷. مهدوی، م. ۱۳۷۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۹ ص.
۸. نجمایی، م. ۱۳۶۹. هیدرولوژی مهندسی، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۶۰۸ ص.
9. Chow, V.T. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Company, New York, 572p.
10. Hotchkiss, R.H.H., and McCuen, B.E. 1995. Peak discharge for small agricultural watersheds. J. of Hydraulic, 121(1): 36-4.
11. McCuen, R., Wong, S.L., and Rawls, W.J. 1984. Estimating urban time of concentration. J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 100(7): 877-904.
12. Papadakis, C.N., and Nizar, K.M. 1987. Time of concentration in small watersheds. In: Feldman, A.D. (ed.) Engineering Hydrology, ASCE, New York, Pp: 633-638.
13. Pilgrim, D.H. 1989. Rational methods for estimation of design floods for small to medium sized drainage basins in Australia, IAHS Publ., New Direction for Surface Water Modeling, Proceedings of the Baltimore Symposium, Australia, Pp: 247-259.
14. Shaw, E.M. 1983. Hydrology in practice. Van Nostrand, Australia, 569p.
15. Sheridan J. 1994. Hydrograph time parameters for flatland watersheds. Trans. ASAE, 37(1): 103-113.
16. Singh, V.P. 1988. Hydrologic systems. Water Resources, U.S.A., 556p.
17. Tommy, S.W.W. 1996. Time of concentration and peak discharge formulas for plains in series. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 122(4): 256.

## **Identifying empirical equations for time of concentration in mountainous watersheds**

**S.S. Eslamian<sup>1</sup> and A. Mehrabi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof. Dept. Irrigation Engineering, Collage of Agriculture and <sup>2</sup>Former M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Isfahan Technology Univ., Isfahan.

---

---

### **Abstract**

Time of concentration is the most important factor in choosing design rainfall of watersheds. There are several equations presented by different researchers to estimate time of concentration which are usually limited to a particular study area and it is not reliable to use them in other areas with different climatic, topographic and morphologic conditions. Due to the importance of time of concentration in estimating flood and the role of floods in damaging water structures, residential areas, etc. It is an important task to estimate it in irrigation and sewerage systems, dam construction and urban hydrology projects. In this study, 11 mountainous watersheds in Tehran, Mazandaran and Isfahan with 16.1 to 712 Km<sup>2</sup> area and main channel slope of 0.77 to 13.8% provinces, equipped with rainfall and runoff estimated using flood hydrograph and rainfall hyetograph and compared with 14 empirical equations and the calibrated equations were derived using SAS software. The study showed that all of these equations don't have sufficient accuracy for the selected watersheds except for Pilgrim-McDermott equation. Thus, to get the required accuracy, eight effective variables on time of concentration were applied for final equation and 248 new equations were derived combining these factors and omitting variables of the watershed with minimum slope. From all this, eight equations which consist of two equations with one variable, three with two variables and three with three variables with sufficient accuracy were derived among which was the Pilgrim-McDermott equation. At least, the equations were selected to be the best time of concentration equations for mountainous watersheds.

**Keywords:** Time of concentration; Watershed; Hydrograph; Hyetograph