Archive of SID

مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
سال دوازدهم ـ شماره پنجم ـ آذر- دی ۱۳۸٤
www.magiran.com/jasnr

تعیین روابط تجربی برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز کوهستانی

سید سعید اسلامیان[۱] و احمد مهرابی[۲]

[۱]دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]دانشجویس، سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی
دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۲/۸/٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۸٤/۲/۲۱

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 مرفولژیک 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، مطالعهٔ زمان تمرکز در پروژه‌های آبیاری و زهکشی، سدسازی و هیدرولوژی شهری امری جدی محسوب می‌شود. زمان تمرکز ۱۱ حوضهٔ آبخیز کوهستانی در استان‌های تهران، مازندران و اصفهان با مساحت‌های ۱٦/۱ تا ۷۱۲ کیلومتر مربع و شیب آبراههٔ اصلی ۰/۷۷ تا ۱۳/۸ درصد، که مجهز به دستگاه‌های ثبت لحظه‌ای بارش سطح آب رودخانه بودند، مطالعه شد. زمان تمرکز هر حوضهٔ آبخیز با استفاده از هیدرگراف (آبنمود) سیلاب و هیتوگراف (بارش نمود) بارندگی ثبت شده به‌دست آمد و با ۱٤ معادلهٔ تجربی برآورد زمان تمرکز مقایسه و روابط واسنجی شدهٔ این معادلات از طریق نرم افزار SAS تعیین گردید. ارزیابی این روابط نشان داد که غیر از رابطهٔ واسنجی شدهٔ پیلگریم- مک درمات بقیهٔ آنها دقت کافی را برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز با خصوصیات مورد مطالعهٔ 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 ۲٤۸ رابطهٔ جدید و با حذف کلیهٔ داده‌های مربوط به حوضه‌ای که دارای کمترین شیب بود، ۲٤۸ رابطهٔ 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، رابطهٔ واسنجی شدهٔ پیلگریم‌ـ مک درمات بود. در نهایت، این روابط به‌عنوان روابط مناسب برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های آبخیز کوهستانی معرفی شدند.

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

مقدمه

زمان تمرکز[۱] یک حوضه آبخیز، عبارت است از مدت زمانی که لازم است تا یک قطرهٔ باران طویل‌ترین مسیر حوضه را طی کند و به ایستگاه اندازه‌گیری دبی برسد (ضیائی، ۱۳۷۰). این عامل پایهٔ انتخاب باران طرح از منحنی‌های شدت ـ مدت ـ فراوانی هر منطقه بوده و در نتیجه از عوامل مؤثر بر رواناب حداکثر می‌باشد (تامی،

1- Time of concentration

www.SID.ir

Archive of SID

۱۹۹۶). بسیاری از مدل‌های رایانه‌ای و هیدرولوژی مثل مدل SCS آمریکا و مدل‌های هیدروگراف واحد احتیاج به برآورد زمان تمرکز به‌عنوان یک نهاده[1] دارند (مک-کویین و همکاران، ۱۹۸٤).

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 صحرایی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب، روش استفاده از هیدروگراف سیلاب و هیتوگراف بارندگی و روش‌های تجربی در روش صحرایی 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 به‌دست 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، ۱۳٦۹). 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 این‌صورت زمان تمرکز فاصلهٔ زمانی از انتهای بارش تا نقطهٔ عطف شاخهٔ نزولی هیدروگراف سیلاب در نظر گرفته می‌شود (مهدوی، ۱۳۷۱). روش‌های تجربی نیز هر کدام برای مناطق با آب و هوای خاص به‌دست آمده‌اند و دقت لازم را برای کاربری در مناطق دیگر ندارند و باید ضرایب آن‌ها برای منطقهٔ 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 اکثریت قریب به اتفاق طرح‌های مطالعاتی برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز کوهستانی از روابط تجربی نظیر کرپیچ[2]، برانسبی- ویلیامز[3] و روش SCS با ضرایب خاص خود استفاده می‌شود و بررسی علمی مناسبی در نحوهٔ 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 نتیجهٔ سازش ریاضی داده‌هایی است که در یک دورهٔ 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 به‌صورت زیر می‌باشد (سینگ، ۱۹۸۸):

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

در سال ۱۹٤۰ کرپیچ اطلاعات جمع‌آوری شده توسط رامسر[4] را که شامل هفت حوضهٔ کشاورزی دارای مساحت‌های ۰/٤ تا ۸۱ هکتار بود مورد تحلیل قرار داد و رابطه‌ای برای برآورد زمان تمرکز ارائه داد (هاتکیس و همکاران، ۱۹۹۵). در سال ۱۹٤۲، توسط ادارهٔ راه‌های آمریکا رابطه‌ای تحت عنوان رابطهٔ کالیفرنیا[5] برای حوضه‌های کوچک کوهستانی ارائه شد که اساس آن همان روش کرپیچ بود (شاو، ۱۹۸۳). جانستون وکراس[6] در سال ۱۹٤۹ براساس تجزیه و تحلیل خصوصیات ۱۹ حوضهٔ آبخیز در رودخانهٔ اسکاتی[7] آمریکا با مساحت‌های ٦٤ تا٤٦۰ کیلومترمربع معادله‌ای برای تخمین زمان تمرکز ارائه دادند (سینگ، ۱۹۸۸). اسپی و همکاران[8] (به نقل از هاتکیس و همکاران، ۱۹۹۵) در سال ۱۹٦٦ با در دست داشتن اطلاعات ۱۱ حوضهٔ روستایی و با استفاده از

1- Input

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

www.SID.ir

Archive of SID

تکنیک رگرسیون خطی چندگانه رابطه‌ای برحسب شیب و طول آبراههٔ اصلی برای برآورد زمان تمرکز توصیه کردند. در سال ۱۹۷۰ رابطه‌ای تحت عنوان رابطهٔ فدرال[1] 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، ۱۳۷٤).

در سال ۱۹۸۷ پاپاداکیس[2] و نیزار (۱۲) با بررسی ۳۷۵ حوضهٔ آبخیز در ایالت متحدهٔ آمریکا، که ۸٤ حوضهٔ آن طبیعی و ۲۹۱ حوضهٔ 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 داند و از مدل نمایی زیر برای به‌دست آوردن زمان تمرکز حوضه‌های مورد مطالعه استفاده کردند:

$$T_c = 26.5L^{0.5}n^{0.53}S_c 0^{0.31}I^{-0.38} \qquad (۲)$$

پیلگریم (۱۳) در سال ۱۹۸۹ با بررسی ۹٦ حوضه در منطقه جنوبی استرالیا معادله‌ای برای زمان تمرکز منطقه توصیه کردند که فقط تابع مساحت حوضه بود. در سال ۱۹۹٤ 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 ایالات‌متحدهٔ آمریکا که دارای مساحت‌های ۲/٦ تا ۳۳٤/۳ کیلومترمربع و شیب آبراههٔ اصلی کمتر از یک درصد بودند انجام داد، سه فرمول کرپیچ، دوج و جانستون- کراس را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسیدکه این فرمول‌ها زمان تمرکز را برای حوضه‌های مسطح به‌ترتیب در محدوده‌ای از ۳۰۰ تا ٦۰۰ درصد، ٤۱۰ تا ۱۲۰۰ درصد و ۱۸۰ تا ۵۰۰ درصد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. لذا از طریق رگرسیون چندگانه روابطی را 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 کیلومترمربع در آمریکا به این نتیجه رسیدند که روش اندازه‌گیری زمان تمرکز از طریق محاسبهٔ 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 صحرایی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب، روش استفاده از هیدروگراف سیلاب و هیتوگراف بارندگی و روش‌های تجربی. با توجه به تخمین‌های نامناسب روش صحرایی 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، ۱۱حوضهٔ 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 کلیهٔ 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

1- Federal
2- Flatlan watersheds

www.SID.ir

Archive of SID

دارای یک نقطهٔ اوج باشد. در هر حوضه، زمان تمرکز کلیهٔ رگبارهای انتخابی از روش تجزیهٔ هیدروگراف تعیین و زمان تمرکز هر حوضه با میانگین‌گیری از زمان‌های تمرکز رگبارهای آن حوضه به‌دست آمد.

ب- انتخاب معادله‌های 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 حوضه‌ها فراهم باشد.

۲- تنوع پارامترها در فرمول‌ها 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.

بدین‌ترتیب ۱٤ معادلهٔ تجربی انتخاب شد که در جدول ۲ همراه با پارامترها و ضرایبشان نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز مورد تحقیق.

مشخصات حوضه‌ها	امامه	باغ‌تنگه	کسیلیان	کن	رندان	کشار	کیگا	رودک	مهران	حنا	جوستان
موقعیت جغرافیایی (استان)	تهران	تهران	مازندران	تهران	تهران	تهران	تهران	تهران	تهران	اصفهان	تهران
مساحت (کیلومترمربع)	۳۷/۲۰	۱٦/۱۰	٦٦/۷۵	۱۹۹/٦	٦۰/۳۰	۳۵/۲۲	۲٤/۲	٤۲٦/۰	۱۰۰/۷	۷۱۲/۰۰	٦۵/۱۷
محیط (کیلومتر)	۲۹/۰۵	۱۷/۰۰	٤۲/۵۰	۸۰/۰۰	٤۰/٦۰	۲۲/٦۰	۲۵/۳	۱۰۰/	٦٤/۵	۱٤۷/۰۰	٤۵/٦
ارتفاع حداکثرحوضه (متر)	۳۹۱۲	۳۹۱۲	۲٦۵۰	۳۸۷٦	۳۷۵۸	۳۲۸۰	۳۸۷٦	٤۳۷۵	٤٤۰۰	۳۳۳۱	۳۷۰۰
ارتفاع حداقل‌حوضه (متر)	۱۸۰۰	۲۲۲۰	۱۱۰۰	۱٤۳۰	۱۸۷۰	۱۵۲۰	۱۸۷۰	۱٦۹۰	۲۰۰۰	۲۵٦۷	۱۹٦۰
طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۱۳/۵۰	۷/۳۰	۱٦/۵۰	۱۹/۷	۱۱/۹۵	۱۲/۰۵	۹/۵۰	۲۵/۰۰	۲۱/٦۰	٤٦/۰۰	۱۸/۰۰
طول آبراهه تا مرکز ثقل (کیلومتر)	٦/۵۰	۳/۱۰	٦/۵۰	۱۰/۵	٤/۵	٦/۱	۱۰/۸	۱۸/۰۰	۱۱/۹۰	۱۰/۵۰	۷/۱۷
شیب آبراههٔ اصلی (درصد)	۱۳/۸۰	۸/٤٦	۱۳/۳۰	٤/۹۰	٦/۳۰	۷/٤۰	۱۰/۸	۲/٤۰	۵/٤۰	۰/۷۷	۷/۱۷

جدول ۲- معادله‌های تجربی برآورد زمان تمرکز.

نام فرمول	شکل فرمول	خصوصیات حوضه‌های مورد مطالعه	مرجع
کرپیچ	$T_c = 3.98 L^{0.77} S_c^{-0.385}$	حوضه های کشاورزی (۰/٤ تا ۸۱ هکتار)	۹
کالیفرنیا	$T_c = 0.949 \left(L^3 / H_{\max} - H_{\min} \right)^{0.385}$	حوضه‌های کوچک کوهستانی	۹
روش SCS	$T_c = 0.57 \times \frac{L^{0.8} (1000 / CN - 9)^{0.7}}{S_c^{0.5}}$	حوضه‌های کشاورزی با مساحت تا ۸۰۹ هکتار	٤
اسپی	$T_c = 0.081 \left(L / \sqrt{S_c} \right)^{0.36}$	حوضه‌های آبخیز روستایی واقع در حومه شهرها	۹
ونتورا	$T_c = 0.1272 \sqrt{A} / \sqrt{S_c}$	حوضه‌های آبخیز کوچک	۱۱
باوارین	$T_c = \frac{0.876 L^{1.6}}{(H_{\max} - H_{\min})^{0.6}}$	حوضه‌های آبخیز کوچک	٦

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۲-

جیادوتی	$T_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{H_{mean}}}$	حوضه‌های بزرگ کوهستانی	۵
کارتر	$T_c = 0.09777 L^{0.6} S_c^{-0.3}$	حوضه‌های با مساحت بزرگ‌تر از ۲۰/۵ کیلومتر مربع	۱۱
پاسینی	$T_c = 6.48 \frac{(A.L)^{0.333}}{\sqrt{S_c}}$	حوضه‌های با مساحت ۲۰۰۰ تا ٤۰۰۰ کیلومتر مربع	۳
برانسبی- ویلیامز	$T_c = 0.272 \frac{L . A^{0.40}}{D . S_c^{0.2}}$	حوضه‌های با مساحت کمتر از ۱۲/۳ کیلومتر مربع	۲
جانستون - کراس	$T_c = 0.087 (\frac{L}{S_c})^{0.5}$	حوضه‌های با مساحت ٦۵-٤۲۰۰ کیلومتر مربع	۱٦
پیلگریم	$T_c = 0.76 A^{0.38}$	حوضه‌های جنوبی استرالیا	۱۳
لینزلی	$T_c = C_{tl} \times 1.156 (\frac{LLca}{\sqrt{S_c}})0.38$	حوضه‌های کوچک زهکشی	٤
فدرال	$T_c = \frac{22.25(1.1 - C)L^{0.5}}{S_c^{0.333}}$	زهکشی فرودگاه‌ها	۹

ج- واسنجی معادله‌های تجربی: ۱٤ معادلهٔ تجربی (جدول ۲) در ۱۰ رابطه خلاصه و با استفاده از برنامهٔ REG موجود در نرم‌افزار SAS واسنجی شدند که این روابط عبارتند از: ۱- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ معادله کرپیچ، جانستون- کراس، کارتر و اسپی، ۲- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ کالیفرنیا وباواراین، ۳- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ ونتورا، ٤- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ scs، ۵- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ پاسینی، ٦- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ برانسبی- ویلیامز، ۷- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ پیلگریم- مک درمات، ۸- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ لینزلی و همکاران، ۹- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ فدرال ۱۰- رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ جیادوتی.

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

هـ- 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 به‌عمل آمده، ۹ عامل مؤثر بر زمان تمرکز انتخاب شد: ۱- مساحت حوضه (A)، ۲- طول آبراههٔ اصلی (L)، ۳- طول آبراههٔ اصلی تا نزدیک‌ترین نقطه به مرکز ثقل حوضه (L_{ca})، ٤- شیب متوسط آبراههٔ اصلی (S_c)، ۵- اختلاف ارتفاع حداکثر و حداقل حوضه (H)، ٦- شیب متوسط حوضه (S_w)، ۷- قطر دایرهٔ 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 رابطهٔ 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 ٦۰ درصد) انتخاب شد. روابط نمایی‌که ترکیبی از متغیرهای انتخابی می‌باشند تعیین شده و آنگاه با استفاده از برنامهٔ RSQUARE در نرم‌افزار SAS روابط تعیین شده با توجه به ضریب تبیین هر کدام به‌صورت نزولی مرتب شدند. از تمامی روابط

www.SID.ir

Archive of SID

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

نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از رگبارهای ثبت شده در هر حوضه مقادیر زمان تمرکز، ضریب رواناب، شدت بارش مازاد و شمارهٔ منحنی هر رگبار از طریق هیدروگراف‌های بارش- رواناب و روابط بارش ـ رواناب تعیین و متوسط مقادیر محاسبه شده از رگبارهای هر حوضه به‌عنوان زمان تمرکز، ضریب رواناب و شماره منحنی آن حوضه منظور شد که در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر متوسط مشخصات رگبارهای ثبت شدهٔ حوضهٔ امامه و نحوهٔ محاسبات در جدول پیوست ۲ نشان داده شده است.

با مشخص شدن زمان تمرکز تمامی حوضه‌ها و پارامترهای فیزیکی آنها ادامه محاسبات با استفاده از برنامه SAS انجام شد. بطورکلی ۱۰ رابطه تعیین شد که بهترین آنها رابطهٔ (۷) یا رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ فرمول پیلگریم- مک‌درمات بود (جدول ٤). در این بررسی، رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ فرمول‌های کالیفرنیا و باوارین (رابطهٔ ۲) و رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ فرمول لینزلی و همکاران (رابطهٔ ۸) دارای ضریب تبیین اصلاح شدهٔ کم (کمتر از ۰/۸) بوده و دقت لازم را برای محاسبهٔ زمان تمرکز ندارند. سایر روابط نیز هر چند دارای ضریب تبیین اصلاح شدهٔ مناسبی می‌باشند اما حداقل یکی از ضرایب آنها در سطحی پایین‌تر از ۸۰ درصد معنی‌دار می‌شوند. همبستگی هر کدام از ۹ متغیر انتخابی به‌طور 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 به‌عنوان متغیرهای بهینه انتخاب شدند و از ترکیب این ۸ متغیر مؤثر بر زمان تمرکز ۲٤۸ رابطهٔ نمایی به‌دست آمد. با حذف داده‌های مربوط به حوضهٔ حنا که دارای کمترین شیب آبراههٔ اصلی بود (برای کم کردن اثر شیب) ۲٤۸ رابطهٔ نمایی دیگر ساخته شد. از بین ۲٤۸ رابطهٔ نمایی که با اطلاعات ۱۱ حوضه به‌دست آمد و با در نظر گرفتن فرضیاتی که برای یک رابطهٔ مناسب شرح داده شد ٦ رابطه به‌عنوان روابط مناسب به‌دست آمدند که بکی از آنها همان رابطهٔ واسنجی‌شدهٔ فرمول پیلگریم ـ مک‌درمات بود. بقیهٔ روابط شامل سه رابطهٔ سه متغیره، دو رابطهٔ دو متغیره یکی برحسب قطر دایرهٔ معادل و شیب حوضه ودیگری برحسب قطر دایرهٔ معادل و شیب متوسط حوضه بود. از بین ۲٤۸ رابطهٔ توانی که با اطلاعات ۱۰ حوضه به‌دست آمد دو رابطه مناسب تشخیص داده شد که اولی یک رابطهٔ یک متغیره برحسب قطر دایرهٔ معادل و دومی یک رابطهٔ دو متغیره برحسب مساحت حوضه و شیب آبراههٔ اصلی بود. در تمامی این ۸ رابطه ضریب تبیین اصلاح شده بیشتر از ۸۵ درصد بود و در سطحی بالاتر از ۹۵ درصد معنی‌دار شدند. همچنین تمامی ضرایب این روابط در سطحی بیش از ۸۵ درصد معنی‌دار شدند. لذا، از این روابط می‌توان به‌عنوان روابط مناسب جهت برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های کوهستانی استفاده کرد. شکل این روابط به همراه ارزیابی دقت آنها در جدول (۵) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳- زمان تمرکز، ضریب رواناب و شمارهٔ منحنی حوضه‌های آبخیز مورد تحقیق.

نام حوضه / خصوصیات	امامه	باغ‌تنگه	کسیلیان	کن	رندان	کشار	کیگا	رودک	مهران	حنا	جوستان
تعداد رگبار	۸	۵	٦	۵	٤	۳	۳	۵	٤	٤	۵
زمان تمرکز(دقیقه)	۲۳٦	۱۳۸	۲٤۸	۳۳۱	۲۲۵	۱۵۰	۱٤۰	۳٤۲	۲۲٤	٤۹۱	۲۱۹
ضریب رواناب	۰/۰۷۷	/۰۷۵	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰٦	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۱٤	۰/۰۵	۰/۱٦
شمارهٔ منحنی	۸٦	۸۵	۸۷	۸۸/۳	۸۷/۵	۸۵/٤	۸٦/۲	۸۳/۵	۸٦/٤	۷۷/۲	۸۸/۷

جدول ٤- روابط واسنجی‌شدهٔ فرمول‌های تجربی زمان تمرکز و ارزیابی آن‌ها.

شمارهٔ رابطه	فرمول	ضریب تبیین اصلاح‌شده	سطح معنی‌دار بودن‌رابطه	درصد ضریب‌تغییرات
۱	$T_c = 31.93 L^{0.7} S_c^{-0.015}$	۰/۷۹٦	۹۹/۹۹	۲/۲۸
۲	$T_c = 194.46 \left[\frac{L^3}{H}\right]^{0.212}$	۰/۷۷۲۸	۹۹/۹۹	۳/٤٦
۳	$T_c = 59.65 A^{0.39} S_c^{0.12}$	۰/۸۸۱۸	۹۹/۹۹	۲/۵
٤	$T_c = 38.86 L^{0.01} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.25} S_c^{-0.06}$	۰/۸۰۰٤	۹۹/۹۹	۲/۲٤۵
۵	$T_c = 45.182 (AL)^{0.27} S_c^{0.11}$	۰/۸۸٤۵	۹۹/۹۹	۲/٤٦۸
٦	$T_c = 45.18 L^{-0.23} A^{0.216} D^{3.26} S_c^{0.36}$	۰/۹۲۲٤۵	۹۹/۹۹	۲/۰۲
۷	$T_c = 58.04 A^{0.32}$	۰/۸۷٦۳	۹۹/۹۹	۲/۵۵
۸	$T_c = 47.06 \left(\frac{LL_{ca}}{\sqrt{S_c}}\right)^{0.26}$	۰/۷۳٦	۹۹/۹۹	۳/۷۳
۹	$T_c = 7.49 (4.81 - C) L^{0.59} S_c^{-0.18}$	۰/۸٦۱۰	بیشتر از ۹۹	۲۰/۳۷
۱۰	$T_c = \frac{(147.81 A^{0.42} + 190.72 L^{0.48})}{H_{mean}^{0.25}}$	۰/۸٦۹۸	بیشتر از ۹۹	۱۵/٤٤

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

نام رابطه	شکل رابطه	ضریب تبیین اصلاح شده	سطح معنی‌داربودن	درصدضریب‌تغییرات
رابطهٔ اول یک متغیره	$T_c = 58.04 A^{0.32}$	۰/۸۷٦۳	۹۹/۹۹	۲/۵۵
رابطهٔ دوم یک متغیره	$T_c = 50.42 D^{0.67}$	۰/۸٦۰۹	۹۹/۹۹	۲/۷۱
رابطهٔ اول دو متغیره	$T_c = 72.24 D^{0.6} S_c^{0.61}$	۰/۸۹۰۳	۹۹/۹۹	۲/۰۰
رابطهٔ دوم دو متغیره	$T_c = 80.64 A^{0.43} S_c^{0.61}$	۰/۸۸۹٤	۹۹/۹۹	۲/۰۰
رابطهٔ سوم دو متغیره	$T_c = 49.9 D^{0.6} S_w^{-0.15}$	۰/۸۸٦٤	۹۹/۹۹	۲/٤۵
رابطهٔ اول سه متغیره	$T_c = 109.95 A^{1.69} D^{-2.52} S_c^{0.6}$	۰/۹۲۳۳	۹۹/۹۹	۲/۰۱
رابطهٔ دوم سه متغیره	$T_c = 46405 A^{0.44} H^{-0.26} S_c^{0.47}$	۰/۹۱۱٤	۹۹/۹۹	۲/۱٦
رابطهٔ سوم سه متغیره	$T_c = 749.95 D^{0.88} H^{-0.35} S_c^{0.48}$	۰/۹۰۱٦	۹۹/۹۹	۲/۲۸

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

با واسنجی ۱٤ رابطهٔ تجربی زمان تمرکز در ۱۱ حوضه کوهستانی مشخص شد که غیر از رابطهٔ واسنجی شدهٔ پیلگریم- مک درمات هیچکدام از ۱۳ فرمول تجربی دیگر حتی با تصحیح ضرایب هم قادر به برآورد مناسب زمان تمرکز نمی‌باشند. لذا، با ترکیب ۸ متغیر، ٤۹٦ رابطهٔ نمایی به‌دست آمد که ۲٤۸ رابطه با اطلاعات ۱۱ حوضه و ۲٤۸ رابطهٔ دیگر با اطلاعات ۱۰ حوضه تعیین شد. در نهایت ۸ رابطهٔ نمایی که شامل دو رابطهٔ یک متغیره، سه رابطهٔ دو متغیره و سه رابطهٔ سه متغیره به‌عنوان روابط مناسب برای برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های کوهستانی معرفی شد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای مهندس تات، مدیر مطالعات آب‌های 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 می‌شود.

پیوست۱: فهرست علائم انگلیسی

T_c = زمان تمرکز برحسب دقیقه

A = مساحت حوضه، کیلومترمربع

L = طول آبراههٔ اصلی، کیلومتر

L_{ca}= طول آبراههٔ اصلی از نقطهٔ خروجی تا نزدیک‌ترین نقطه به مرکز ثقل، کیلومتر

S_c= شیب آبراههٔ اصلی، متر بر متر

S_w= شیب آبراههٔ اصلی، متر بر متر

C_{tl}= ضریب ثابت حوضه که برای حوضه‌های کوهستانی برابر ۱/۲، برای حوضه‌های تپه ماهوری برابر ۰/۷۲ و برای حوضه‌های هموار برابر ۰/۳۵ می‌باشد.

CN= شماره منحنی حوضه

I= شدت بارش مازاد، میلی‌متر بر ساعت

C= ضریب رواناب حوضه

H_{mean}= ارتفاع متوسط حوضه، متر

H_{max} و H_{min}= 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

پیوست۲: مشخصات رگبارهای ثبت شده حوضهٔ امامه

ضریب رواناب = ارتفاع بارش (میلی‌متر) / ارتفاع رواناب (میلی‌متر)

شدت بارش مازاد (میلی‌متر بر ساعت)= مدت بارش (ساعت) / ارتفاع بارش (میلی‌متر)

نگه داشت سطحی (میلی‌متر)= ۲۵/٤- (شمارهٔ منحنی/۲۵٤۰).

جدول ٦- مشخصات رگبارهای ثبت شده حوزه امامه.

تاریخ وقوع	مدت‌بارش	ارتفاع بارش mm	ارتفاع‌رواناب mm	ضریب رواناب	شدت بارش‌مازاد mm/hr	نگهداشت‌سطحی mm	شماره منحنی	زمان تمرکز min
۵۳/۱/۱۵	۸:۳۰	۵۹/۵	٤/۸۵	۰/۰۸	۰/۵۷	۵/۹	٦۲/۹	۲۷۰
۵۳/٦/٤	٤:۰۰	۱۰/٤	۰/۵	۰/۰۵	۰/۱۲۵	۱/۲۲	۸۹	۲۱۰
۵۳/٤/۲۸	۱:٤۵	۱۳/۰۵	۰/۸۵	۰/۰۷	۰/٤۸٦	۱/٤	۸۷/۷	۲٤۰
۵٤/۹/۳	۵:۰۰	۱۳/۷	۱/۹۷	۰/۱٤	۰/۳۹٤	۱/۰۵	۹۰/۵	۲۷۰
٦۲/۲/۸	۱:۱۵	۵/٤۵	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۱/٤٤	۸۷/۳	۱۸۰
٦۸/۱۲/۲۳	۲:۳۰	۱٦/۹	۰/۵	۰/۰۳	۰/۲	۲/۲۳	۸۱/۷۷	۲۵۵
۷٤/۳/۹	۱:۰۰	٦/۲۷۵	۰/۳	۰/۰۵	۰/۳	۱/۹۷	۸۳/۵	۲۱۰
۷٦/۱/۱٦	٦:۳۰	۲۰/۱	۱/۳۵	۰/۰۷	۰/۲	۲/۱٤	۸۲/۳۷	۲۵۵
میانگین				۰/۰۷۷		۱/٦۵۵	۸۵/۹۸	۲۳٦/۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱.ضیائی، ح.۱۳۷۰. کاربرد قوانین آماری در هیدرولوژی مهندسی، چاپ اول، انتشارات بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، ۳۳٤ ص.

۲.طاهریان، ن. و فرضی، ن. ۱۳٦۹. فیزیوگرافی حوضه آبریز، شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب.

۳.عباسی، ع. ۱۳۷۱. تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب برای حوضه‌های آبخیز کوچک، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

٤.علیزاده، ا. ۱۳۷٤. *اصول هیدرولوژی کاربردی*، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ چهارم، ٦۳٤ ص.

۵.محسنیان، ع.۱۳۵۰. عمران اراضی، جلد اول، اصول محاسبات زهکشی، انتشارات وزارت آب و برق.

٦.مقدم نیا، ع. ۱۳۷٦. بررسی مقایسهٔ زمان تمرکز، زمان تأخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب براساس روش های تجربی و تجزیهٔ هیدروگراف در دومنطقهٔ آب وهوایی امامه و کسیلیان، پایان‌نامهٔکارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱٦۳ص.

۷.مهدوی، م.۱۳۷۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ٤۳۹ ص.

۸. نجمایی، م. ۱۳٦۹. *هیدرولوژی مهندسی*، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ٦۰۸ 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, NewYork, 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 plaines in series. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 122(4): 256.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 12(5), Nov - Dec 2005
www.magiran.com/jasnr

Identifying emprical equations for time of concentration in mountainous watersheds

S.S. Eslamian[1] and A. Mehrabi[2]
[1]Associate Prof. Dept. Irrigation Engineering, Collage of Agriculture and [2]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^2 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 where 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

www.SID.ir