دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی برخی روابط تجربی برآورد زمان تمرکز و شناسایی مهم‌ترین عوامل فیزیوگرافی مؤثر بر آن در حوزه سد قشلاق

گلاله غفاری[۱] و زانا طالبی[۲]

۱- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج،
(نویسنده مسوول: ghaffari58@yahoo.com)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۳

چکیده

برآورد زمان تمرکز، یکی از مهم‌ترین مباحث در مطالعات فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز است و برآورد نسبتاً صحیح آن تأثیر زیادی در محاسبه‌ی دیگر پارامترهای هیدرولوژی، خصوصاً دبی اوج سیلاب دارد. با وجود ارائه فرمول‌های تجربی متعدد و کاربرد گسترده آنها در ایران، تا کنون در حوزه سد قشلاق در مورد بهترین رابطه و مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی حوزه و میزان تأثیرگذاری آنها بر کاهش یا افزایش زمان تمرکز مطالعه‌ای انجام نشده است. لذا در این تحقیق علاوه بر بررسی شانزده رابطه تجربی برآورد زمان تمرکز که در کشور ما نیز از کاربرد گسترده‌ای برخوردارند، اقدام به ارائه روشی برای تجزیه ضرایب مسیر پارامترهای مهم فیزیوگرافی حوزه با زمان تمرکز شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از مقادیر واقعی زمان تمرکز حاصل از ردیابی محلول نمک، دقت روابط تجربی توسط دو شاخص آماری MRE و RMSE ارزیابی و بهترین روابط تجربی برآورد زمان تمرکز انتخاب شد. سپس با استفاده از روش تجزیه مسیر (Path Analysis) تأثیر مستقیم و غیرمستقیم ده مورد از مهم‌ترین پارامترهای حوزه‌ای بر زمان تمرکز مشخص شد. نتایج نشان داد که در حوزه سد قشلاق سنندج از بین روابط بررسی شده فرمول‌های کالیفرنیا و برانسلی ویلیامز به ترتیب بهترین معادله‌های برآورد زمان تمرکز می‌باشند (میانگین درصد خطای نسبی به‌ترتیب ٤١/١ و ٤٣/٥ درصد). هم‌چنین فرمول‌های چاو و جانستون-کروس نیز نتایج متوسط و نسبتاً مناسبی را ارائه نموده‌ند (میانگین درصد خطای نسبی کمتر از ۵۷٪). نتایج تجزیه مسیر نیز نشان داد که پارامتر طول متوسط آبراهه دارای بالاترین اثر مثبتی (۱/۱۰) و مساحت حوزه دارای بیش‌ترین اثرات منفی (۰/۲۰۷-) بر زمان تمرکز است.

واژه‌های کلیدی: زمان تمرکز، فیزیوگرافی، حوزه آبخیر، روابط تجربی

مقدمه

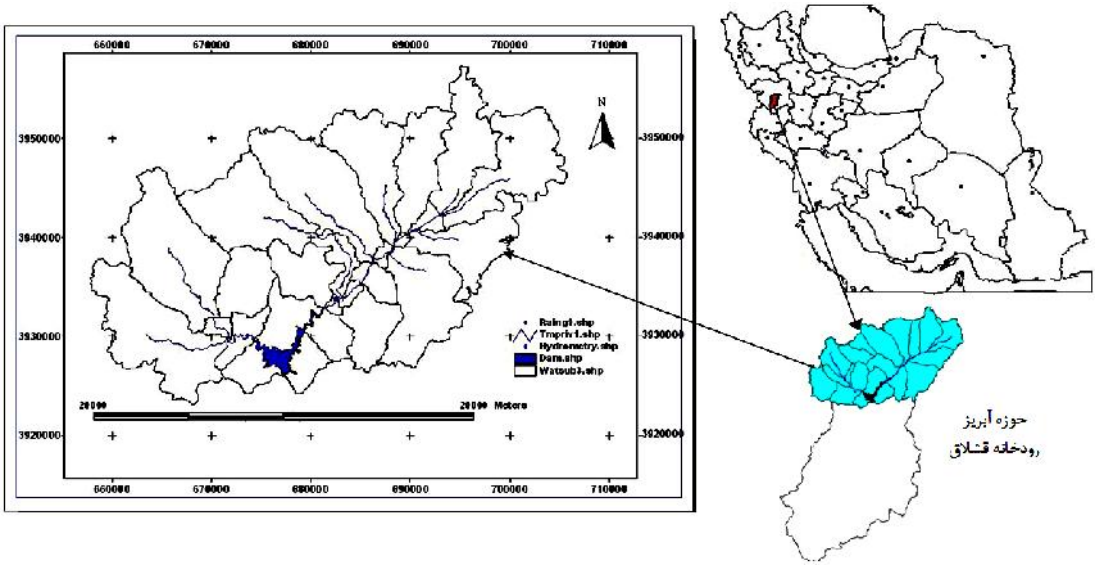
زمان تمرکز مدت زمان لازم برای رسیدن آب باران از تمامی بخش‌های حوزه آبخیز به محل خروجی است. جهت برآورد مستقیم پارامترهای زمانی به داده‌های بارندگی و جریان رواناب نیاز است، با این وجود اکثر حوزه‌ها فاقد این اطلاعات هستند. زمانی که آمار و اطلاعات هیدرومتری برای تجزیه و تحلیل‌های دقیق کافی نباشد، فرمول‌ها و روش‌های تجربی به کار گرفته می‌شوند (۱). محققین فرمول‌های زیادی را برای زمان تمرکز پیشنهاد کرده‌اند که اکثر آنها بر اساس اطلاعات محدود حوزه‌های آبخیز خاص به دست آمده است و کاربرد آنها برای شرایط اقلیمی دیگر با شک و تردید توام است. با توجه به این که کشور ایران دارای اقلیم‌های متفاوت بوده و نمی‌توان به دلخواه و با در نظر گرفتن بعضی از پارامترها از روابط تجربی استفاده کرد، بنابراین لازم است که این روابط و فرمول‌ها در حوزه‌های مختلف کشور ایران مورد مطالعه و آزمایش قرار گیرند تا بهترین روش انتخاب شود. چاد و همکاران (۲)، در نواحی شهری دقت پنج فرمول تجربی زمان تمرکز شامل موج جنبشی، ایزارد، کرپیچ، SCS و FAA را ارزیابی نمودند و نتایج تحقیقات بیانگر دقت قابل قبول فرمول‌های FAA و SCS بود. بر اساس این تحقیق رابطه کرپیچ زمان تمرکز را کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کند. روسل و همکاران (۹)، در تگزاس جهت تعیین مهم‌ترین خصوصیات حوزه‌ای که بر روی زمان تمرکز تأثیر دارند بیان نمودند که مناسب‌ترین فرمول تجربی در حوزه مورد مطالعه فرمول کربای-کرپیچ است و مهم‌ترین پارامتر حوزه‌ای تأثیرگذار، طول متوسط و شیب متوسط آبراهه است. فانگ و همکاران (۳)، در ۹۶ حوزه تگزاس، با استفاده از پنج فرمول ویلیام، کرپیچ، جانستون کروس، هاکتاینر سزر و سیماس هاوکین، اقدام به تخمین زمان تمرکز نمودند و بدین منظور سه روش: الف) حوزه آبخیزی که به طور اتوماتیک از DEM و با استفاده از نرم‌افزار GISای استخراج شده، ب) روش دستی حوزه‌بندی منطقه و ج) روش دستی بدون انجام تقسیمات حوزه‌ای مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین سه روش اختلافات قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد ولی دقت روش اتوماتیک بیش‌تر است، هم‌چنین دو روش کرپیچ و هاکتاینر سزر برآورد بهتری را ارائه داده‌اند. شریفی و حسینی (۱۰)، در تحقیقی تحت عنوان تعیین بهترین معادلات تخمین زمان تمرکز، ۷۲ حوزه آبخیز را در استان خراسان جنوبی ایران مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادله کالیفرنیا (با ضریب اصلاحی ۱/۷۱)، معادله کرپیچ (با ضریب اصلاحی ۱/۷۲) و معادله آریزونا (با ضریب اصلاحی ۱/۱۲) بهترین کاربرد را برای حوزه‌های آبخیز انتخابی داشته‌اند. هم‌چنین اکثر روش‌های تجربی زمان تمرکز را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. معتمد وزیری (۷)، با استفاده از روش صحرایی (تزریق محلول نمک)، زمان پیمایش آب را در بازه‌های مختلف حوزه شهرستانک کرج به دست آورد و این

نتایج را با ۱۶ فرمول تجربی برآورد زمان تمرکز مقایسه و نتیجه گرفت که فرمول‌های ونتورا، جیاندوتی، پاسینی، کارتر، SCS کربای، کوردری و اسپی دارای جواب قابل قبولی می‌باشند و در مناطق پر شیب فرمول چاو، کرپیچ، باسو و کالیفرنیا نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند. کوثری و همکاران (۵)، با آنالیز حساسیت چهار رابطه برآورد زمان تمرکز (کرپیچ، برانسلی ویلیامز، کالیفرنیا، SCS) به این نتیجه رسیدند که تغییرات جزئی میزان شیب به ویژه شیب‌های کم تأثیر زیادی بر افزایش زمان تمرکز دارد و با افزایش میزان شیب آبراهه تأثیر پارامترهایی مانند طول آبراهه اصلی یا شماره منحنی بر روی زمان تمرکز افزایش می‌یابد. به طور کلی مطالعات نشان می‌دهد که در حوزه آبخیز سد قشلاق علی‌رغم نبود اطلاعات هیدرومتری مناسب جهت تعیین زمان تمرکز تاکنون تحقیقی در رابطه با بهترین روش تجربی برآورد زمان تمرکز صورت نگرفته است. هم‌چنین با وجود ارائه فرمول‌های تجربی متعدد و کاربرد گسترده آنها در هیدرولوژی و فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز در رابطه با مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی حوزه و میزان تأثیرگذاری آنها بر کاهش یا افزایش زمان تمرکز در حوزه، مطالعه‌ای صورت نگرفته است، بنابراین هدف از این تحقیق ابتدا بررسی برخی از روش‌های تجربی تعیین زمان تمرکز، دقت‌سنجی روابط و انتخاب بهترین رابطه تجربی برآورد زمان تمرکز در حوزه مورد مطالعه و سپس تجزیه مسیر پارامترهای فیزیوگرافی مهم حوزه در رابطه با زمان تمرکز واقعی حوزه جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر زمان تمرکز و تعیین تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم این پارامترها است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

محل اجرای این تحقیق حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان و حوزه مرزی سیروان می‌باشد که در شمال غربی ایران و در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شهر سنندج واقع شده است. این حوزه بین مختصات جغرافیایی و ´۴۶ °۴۶ تا و ´۲۰ °۴۷ شرقی و و ´۲۴ °۳۵ تا و ´۴۳ °۳۵ شمالی واقع شده است. مساحت حوزه آبخیز سد قشلاق منتهی به خروجی سد، ۱۰۶۲/۱۲ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل ۱ موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه نسبت به کل کشور و حوزه قشلاق را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه نسبت به کل کشور و حوزه قشلاق.

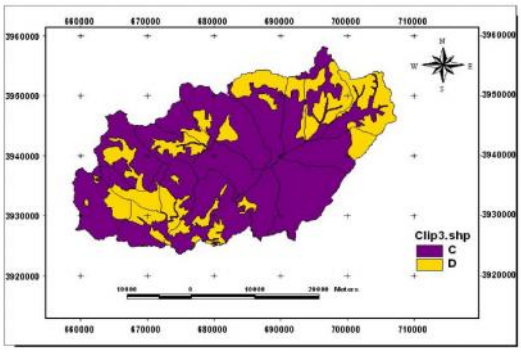
Figure 1. Location of the study area than in the whole country and Gheshlagh watershed.

روش تحقیق

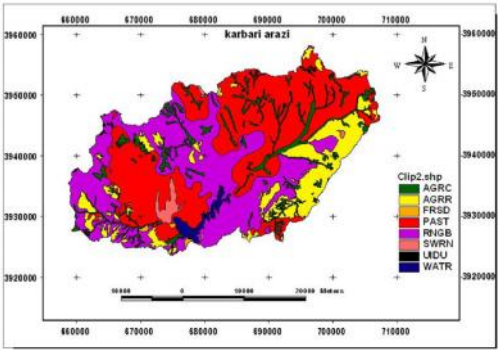
در انجام این پژوهش با توجه به موضوع و ماهیت تحقیق، ابتدا با بررسی کتابخانه‌ای، گزارش‌های تفصیلی، جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات و نقشه‌های مربوط به حوزه و در نهایت، بازدید از کل حوزه مورد مطالعه و انجام مطالعات میدانی اقدام به تکمیل و اصلاح اطلاعات و اشراف بر عرصه تحقیق شد و سپس با پردازش اطلاعات رقومی در محیط ArcGIS و استفاده از مدل SWAT جهت تقسیم حوزه به زیرحوزه‌های مختلف و استخراج ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها، نقشه‌ها و اطلاعات پایه تحقیق تهیه شد. در این تحقیق ۱۶ رابطه تجربی زمان تمرکز مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت (جدول ۱) و با توجه به نیاز به داده‌های فیزیوگرافی، شماره منحنی، ضریب زبری، شدت بارندگی و غیره نقشه‌های مختلف تهیه و بسته به نوع رابطه تجربی مورد استفاده قرار گرفت که در ادامه نحوه تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز توضیح داده می‌شود.

در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاع جهت محاسبات مربوط به ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها مانند مساحت، محیط، طول، عرض و عمق کانال اصلی جریان آب و شبکه آبراهه‌ای حوزه و استفاده شد. جهت تهیه نقشه DEM حوزه،

از رقومی نمودن نقشه‌های توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح با قدرت تفکیک ۳۰ متر در محیط GIS استفاده شد. بارش، رگبارهای ده دقیقه‌ای و شدت بارش‌های مورد نیاز جهت برآورد برخی از تجربی زمان تمرکز در این تحقیق با استفاده از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی تهیه شده است. لازم به ذکر است که دو ایستگاه هیدرومتری نیز در حوزه قرار دارد که به دلیل مرزی بودن حوزه دسترسی به هیدروگراف‌های سیل حوزه امکان‌پذیر نبود. با توجه به مورد نیاز بودن شماره منحنی (CN) جهت برآورد زمان تمرکز در برخی از روابط تجربی، لازم بود که اطلاعات خاک و پوشش گیاهی حوزه نیز مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور با استفاده از گزارش‌های خاکشناسی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تشریح پروفیل‌های شاهد و نتایج آزمایش‌های خاکشناسی حوزه قشلاق گروه هیدرولوژیکی خاک طبق روش SCS تهیه شد (۶)، (شکل ۲). برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از نقشه کاربری اراضی رقومی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به عنوان مبنا استفاده و سپس با استفاده از نقشه پوشش گیاهی تهیه شده توسط سازمان‌های مختلف و بازدیدهای صحرایی نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. به طور کلی کاربری های اراضی در منطقه تحقیق به هشت گروه شامل مراتع نیمه-متراکم، مراتع فقیر، مراتع متراکم، جنگل دست کاشت، کشاورزی دیم، زراعت آبی و باغات، رودخانه‌ها و دریاچه سد و اراضی بدون پوشش، مناطق مسکونی و تاسیسات تقسیم شدند. در شکل ۳ نقشه کاربری اراضی منطقه تحقیق نمایش داده شده است.



شکل ۲- نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوزه.
Figure 2. Map of the hydrological groups of basin.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه سد قشلاق.
Figure 3. Land use maps of Gheshlagh dam basin.

با توجه به ثبت خصوصیات رودخانه و دشت‌های سیلابی در بازدیدهای صحرایی، با استفاده از روش کاون (۸)، در هر زیرحوزه به دلیل متفاوت بودن ضریب زبری بستر و کناره‌ها سه ضریب زبری متفاوت برای بستر رودخانه، ساحل راست و چپ تعیین شد که در برخی از فرمول‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفت.

استخراج خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها

در این تحقیق جهت تقسیم حوزه به زیرحوزه‌های مختلف و استخراج ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها از مدل SWAT استفاده شد که یک ابزار قدرتمند برای تکمیل و تحلیل داده‌ها زمینی و حوزه‌ها است. در این مدل با معرفی DEM حوزه به محیط، امکان تهیه نقشه شیب و جهت حوزه و استخراج آبراهه‌های اصلی و فرعی، تقسیم‌بندی مربوط به مرز حوزه هر آبراهه و نهایتاً استخراج ویژگی‌های موفومتری مربوط به شبکه زهکشی و حوزه فراهم می‌شود. این اطلاعات در نهایت به عنوان اطلاعات پایه جهت محاسبه روابط تجربی زمان تمرکز مورد استفاده قرار گرفت. در تحقیق حاضر با توجه به دقت مدل رقومی ارتفاع حوزه، کل منطقه به ۲۰ زیرحوزه تقسیم شد (شکل ۱).

انتخاب و بررسی روابط تجربی زمان تمرکز

با توجه به جمع‌آوری روابط تجربی از منابع مختلف، روابطی که با توجه به در دسترس بودن پارامترهای مورد نیاز امکان استفاده از آنها در حوزه مورد نظر فراهم بود انتخاب و در نهایت ۱۶ رابطه زیر از میان روابط تجربی مختلف، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. که در جدول ۱ روابط تجربی انتخاب شده زمان تمرکز ارائه شده است.

جدول ۱- روابط تجربی انتخاب شده برای زمان تمرکز

Table1. Selected experimental relations for time of concentration

شماره	نام	فرمول
۱	کربای	$t_c = 0.83\left(\frac{nL}{S^{\frac{1}{2}}}\right)^{0.47}$
۲	کرپیچ	$t_c = 0.0013\, L_c^{0.77} S_c^{-0.385}$
۳	جانستون و کروس	$t_c = 5\sqrt{\frac{L}{S}}$
۴	اسپی	$t_c = 1.24\,(L.S^{0.5})^{0.36}$
۵	SCS	$t_c = 0.00526\frac{L^{0.8}}{S^{0.5}}\left(\frac{1000}{CN}-9\right)^{0.7}$
۶	ونتورا	$t_c = 0.1272\frac{\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$
۷	جیاندوتی	$t_c = \frac{(4\sqrt{A})+(1.5L)}{0.8\sqrt{H}}$
۸	باسو	$t_c = 0.067(\frac{L^{1.155}}{H^{0.385}})$
۹	کارتر	$t_c = 2.83\, L^{0.6} S_a^{-0.3}$
۱۰	هیدروگراف استدلالی	$t_c = M(\frac{L}{\sqrt{S}})^{0.66}$
۱۱	چاو	$t_c = \frac{0.00032L^{1.15}}{H^{0.385}}$
۱۲	پاسینی	$t_c = \alpha\frac{(A.L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{I}})$
۱۳	کوردری	$t_c = 56\left[\frac{(L.L_{ca})^{0.8}.n}{S^{0.5}}\right]^{0.8}$
۱۴	باوارین	$t_c = \frac{L}{V_w}$
۱۵	کالیفرنیا	$t_c = 0.885(\frac{L^3}{H})^{0.385}$
۱۶	برانسلی ویلیامز	$t_c = \frac{L}{1.5D}(\frac{M^2}{S})^{0.2}$

در این معادلات tc: زمان تمرکز، L: طول حوزه، n: ضریب زبری، SC و S: شیب متوسط حوزه، A: مساحت حوزه، I: شدت بارش مؤثر، H: اختلاف ارتفاع در طول آبراهه، CN: شماره منحنی، Lc: طول نسبت به مرکز ثقل حوزه، D: قطر دایره معادل، M: مقدار ثابت، Vw: سرعت موج، So: شیب آبراهه می‌باشد.

برآورد زمان تمرکز واقعی

در این تحقیق جهت برآورد زمان تمرکز واقعی از روش صحرایی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب توسط محلول نمک، استفاده شد. در این روش در ابتدا در هر یک از زیرحوزه‌ها، طول رودخانه (از سرچشمه تا خروجی زیرحوزه) به چندین بازه همگن که دارای شرایط هیدرولیکی یکسان (شیب، سرعت و ...) بودند تقسیم و پس از مشخص شدن ابتدا و انتهای هر بازه، در سمت بالا دست هر بازه بسته به حجم آب مقداری نمک معمولی به صورت محلول با غلظت ۷۵ گرم در لیتر تهیه و در پایین دست غلظت نمک محلول در آب به وسیله دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (ECمتر) و زمان پیمایش بین دو نقطه نیز توسط کورنومتر اندازه‌گیری شد.

مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی زمان تمرکز

برای مقایسه داده‌های مشاهده ای (زمان تمرکز با استفاده از روش صحرایی) و داده‌های برآوردی (معادلات تجربی برآورد زمان تمرکز) از سه پارامتر آماری RE (درصد خطای نسبی)، MRE (میانگین خطای نسبی) و RMSE (ریشه مربعات میانگین خطا) استفاده شد و در نهایت بهترین روش تجربی برآورد زمان تمرکز در حوزه تعیین شد. در زیر روابط عنوان شده آورده شده است:

$$RE = \frac{x_i - y_i}{y_i} \times 100$$ رابطه (۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}{n}}$$ رابطه (۲)

$$\mathrm{MRE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|y_i - x_i|}{n}$$ رابطه (۳)

X_i: مقادیر مشاهده‌ای و Y_i: مقادیر برآوردی می‌باشد.

تجزیه مسیر (Path Analysis)

در مرحله دیگری از این تحقیق جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی حوزه و میزان تأثیرگذاری آنها بر کاهش یا افزایش زمان تمرکز اقدام به تجزیه مسیر این پارامترها با استفاده از نرم‌افزار Path Analysis در رابطه با زمان تمرکز حوزه شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA اقدام به تجزیه همبستگی ساده به روش پیرسون شد. لازم به ذکر است که وجود همبستگی بین دو متغیر لزوماً به معنی وجود رابطه علت و معلول بین آن دو متغیر نیست. بنابراین، لازم است که روابط بین علت و معلول طی تحلیلی تحت عنوان تجزیه مسیر مورد بررسی قرار می گیرد. تجزیه مسیر در واقع نوعی تجزیه رگرسیون چندگانه است که در آن متغییرها استاندارد شده‌اند. ضرائب تجزیه رگرسیون استاندارد شده را ضرایب مسیر می‌نامند(۴).

نتایج و بحث

نتایج تعیین پارامترهای مورد استفاده در روابط تجربی

نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیوگرافی و سایر پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد تجربی زمان تمرکز در ۲۰ زیرحوزه سد قشلاق در جدول ۲ ارائه شده است. از ده پارامترها تعیین شده، هشت مورد مربوط به ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها و شبکه زهکشی است و دو مورد دیگر (شماره منحنی و ضریب زبری مانینگ) مربوط به خصوصیات کلی حوزه است.

نتایج برآورد زمان تمرکز با استفاده از روابط تجربی

پس از تعیین روابطی که با توجه به در دسترس بودن پارامترهای مورد نیاز امکان استفاده از آنها در حوزه مورد نظر فراهم است، مقدار زمان تمرکز برای هر زیرحوزه تعیین شد. در جدول ۳ نتایج برآورد زمان تمرکز با استفاده از شانزده رابطه انتخاب شده در ۲۰ زیرحوزه سد قشلاق ارائه شده است. هم‌چنین پس از اندازه‌گیری زمان تمرکز در هر بازه مجموع زمان تمرکز بازه‌ها در زیرحوزه‌ها بر حسب ساعت تعیین شد. لازم به ذکر است که در هر بازه اندازه‌گیری سه بار انجام شد تا از صحت نتایج اطمینان به عمل آید.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد روابط تجربی زمان تمرکز

Table 2. The values of the parameters needed to estimate the empirical relationships of concentration time

	طول آبراهه اصلی (متر)	شیب آبراهه (متربرمتر)	اختلاف ارتفاع (متر)	CN شماره منحنی	طول حوزه (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	قطر دایره معادل کیلومتر	ارتفاع متوسط (متر)	ضریب‌زبری مانینگ	فاصله از مرکز ثقل (کیلومتر)
حوزه۱	۶۵۵۶/۳۸	۰/۹۳	۶۱	۷۰	۱۹۳۳۳/۳	۶۱/۱۳	۸۸۲	۶۱/۱۵	۰/۰۲۵	۴/۱۴
حوزه۲	۱۱۰۹۳/۰۴	۱/۲۶	۱۴۰	۷۸	۲۵۹۷۰/۱	۸۴/۷۴	۱۰/۳۹	۱۴۰	۰/۰۲۶	۱/۵۴
حوزه۳	۴۲۲۳/۰۴	۲/۳۶	۱۰۰	۷۵	۶۰۲۵/۴	۶/۶۱	۲۰۹	۱۰۰	۰/۰۲۹	۳/۳۲
حوزه۴	۷۷۳۴/۷۱	۲/۵۹	۲۰۰	۷۷	۱۳۴۰/۳	۶۲/۹۱	۸/۹۵	۲۰۰	۰/۰۲۶	۰/۱
حوزه۵	۴۹۶۱/۴۱	۲/۰۲	۱۰۰	۸۰	۱۸۱۳۸/۹	۵۰/۷۵	۸/۰۴	۱۰۰	۰/۰۲۶	۳/۳۱
حوزه۶	۱۵۷/۲۸	۰/۱	۲۰	۷۵	۳۲۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۱۹	۳۰	۰/۰۲۹	۶/۲۷
حوزه۷	۱۲۲۳۳/۳	۱/۴۷	۱۸۰	۷۷	۲۲۷۰۷	۷۲/۲۱	۹/۵۹	۱۸۰	۰/۳	۲/۲
حوزه۸	۴۲/۴۳	۰/۱	۳۵	۷۵	۵۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۳۰	۰/۳	۰/۲
حوزه۹	۰۹۲۳۰۳	۰/۱	۳۰	۷۶	۶۵/۳۵	۱/۹۵	۱/۵۸	۳۵	۰/۳	۰/۲۵
حوزه۱۰	۹۰۹۸/۵۵	۲/۲	۲۰۰	۷۶	۷۸	۷۶/۳۹	۹/۸۶	۲۰۰	۰/۳۱	۰/۲۵
حوزه۱۱	۱۳۱۷۶/۲۱	۰/۷۶	۱۰۰	۷۸	۹۸/۵۵	۹۸/۲۲	۱۱/۱۹	۱۰۰	۰/۳۱	۰/۲۵
حوزه۱۲	۳۴۲۴/۶۳	۰/۱	۳۰	۷۵	۷۵/۶	۳/۷۳	۲/۱۸	۳۲	۰/۳	۰/۲۵
حوزه۱۳	۱۸۳۸۴/۴۶	۱/۶۳	۳۰۰	۸۰	۸۹/۳۲	۹۹/۳۵	۱۱/۲۵	۳۰۰	۰/۳۲	۰/۳
حوزه۱۴	۶۵۱۰/۹۸	۱/۵۴	۱۰۰	۷۷	۷۰/۴	۴۹/۵۶	۷/۹۵	۱۰۰	۰/۳۴	۰/۲۵
حوزه۱۵	۱۶۰۷۷/۴۶	۱/۸۷	۳۰۰	۷۸	۸۵/۷۵	۱۵۰/۸۸	۱۳/۸۶	۳۰۰	۰/۳۷	۰/۳
حوزه۱۶	۱۶۵۸۰/۵	۰/۱	۳۰	۷۶	۷۸/۵	۸۱/۹۴	۱۰/۲۲	۳۵	۰/۳۷	۰/۲۵
حوزه۱۷	۱۲۶۸۸	۱/۵۸	۲۰۰	۷۵	۷۵/۴۵	۱۰۴/۱۶	۱۱/۵۲	۲۰۰	۰/۳۸	۰/۲۵
حوزه۱۸	۵۲۳۴/۴۱	۰/۱	۳۰	۷۷	۸۵/۵	۱۵/۷۳	۴/۴۸	۴۰	۰/۳۹	۰/۲
حوزه۱۹	۲۴۶۲/۵	۰/۱	۳۰	۷۶	۶۵/۴۵	۳/۳۳	۲/۰۶	۳۵	۰/۳۶	۰/۲۵
حوزه۲۰	۸۵۰۴/۰۱	۱/۱۵	۹۷	۷۵	۷۵/۳	۳۷/۲۶	۶/۸۹	۹۷/۳۷	۰/۳۶	۰/۲۵

جدول ۳- نتایج برآورد زمان تمرکز با استفاده از روابط تجربی انتخاب شده (زمان بر حسب ساعت)

Table 3. The Results of estimate the concentration time using the selected empirical equations (times are GMT)

	کرپیچ	کربای	جانستون	اسپی	ونتورا	SCS	باسو	کارتر	چاو	استدلالی	پاسینی	کوردوری	باوارین	کالیفرنیا	برانسلی ویلیامز	جیاندوتی
حوضه۱	۰/۱۲	۲/۹۳	۱/۹۸	۱/۱۴	۱/۰۳	۸/۵۲	۳/۶۲	۴/۰۸	۱/۶۱	۰/۳۲	۱/۵	۱۱/۱	۰/۸۸	۱/۷۲	۲/۶	۶/۵۷
حوضه۲	۰/۱۵	۳/۵	۲/۲۱	۱/۳۱	۱/۰۴	۸/۸۹	۵/۹۵	۵/۱۱	۲/۱۴	۰/۴۱	۱/۷	۷/۶	۲/۱۲	۲/۲۹	۴/۰۱	۵/۶۵
حوضه۳	۰/۵۸	۱/۹۲	۱	۰/۸۲	۱/۰۲	۳/۲۸	۱/۵۲	۲/۳۷	۰/۸۱	۰/۱۸	۰/۳۹	۵/۷	۰/۵۶	۰/۸۶	۱/۷۴	۲/۰۸
حوضه۴	۰/۸۹	۲/۴۹	۱/۲۹	۱/۰۱	۰/۶۳	۴/۷۹	۲/۹۷	۳/۳۲	۱/۲۳	۰/۲۶	۰/۹۶	۰/۸	۰/۹۶	۱/۳۲	۲/۵	۳/۸۳
حوضه۵	۰/۷	۲/۱۵	۱/۱۷	۰/۹	۰/۶۴	۳/۴۷	۱/۹۵	۲/۷۴	۰/۹۷	۰/۲۱	۰/۸۷	۶/۱	۰/۴۵	۱/۰۳	۱/۷۲	۴/۴۹
حوضه۶	۰/۱۶	۰/۸۶	۰/۹۴	۰/۴۵	۵/۹	۱/۱۵	۰/۰۱	۰/۸۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۱	۳/۷	۰	۰/۰۳	۱/۷۲	۴/۴۹
حوضه۷	۱/۵۷	۳/۵۳	۲/۱۵	۱/۳۲	۰/۸۹	۹/۱۷	۶/۲۹	۵/۱۷	۲/۱۸	۰/۴۲	۱/۵۵	۶۷/۴	۱/۵۳	۲/۳۳	۴/۲۶	۴/۸۸
حوضه۸	۰/۰۶	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۲۸	۷/۴۲	۰/۴	۰	۰/۳۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۱/۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۴
حوضه۹	۱/۲۲	۳/۰۳	۳/۵۸	۱/۱۷	۶/۵۹	۹/۵۲	۰/۸۹	۴/۲۶	۰/۶۴	۰/۳۴	۱/۰۴	۱۶/۹	۹/۳۲	۰/۶۴	۲/۰۲	۱/۹۱
حوضه۱۰	۱/۰۷	۲/۸	۱/۵۲	۱/۱	۰/۷۵	۶/۱	۳/۸۲	۳/۸۴	۱/۴۹	۰/۳	۱/۱۷	۱۲/۱	۰/۹۸	۱/۵۹	۲/۹۸	۴/۳
حوضه۱۱	۲/۱۵	۴/۲۷	۳/۱۱	۱/۵۳	۱/۴۵	۱/۱۵	۸/۸۵	۶/۶	۲/۹۷	۰/۵۴	۲/۴۴	۲۳/۵	۲/۴۲	۳/۱۸	۵/۲	۷/۴۳
حوضه۱۲	۱/۶۶	۳/۶۵	۴/۳۷	۱/۳۵	۸/۵۲	۱/۴۷	۱/۷۴	۵/۴	۱	۰/۴۴	۱/۴۷	۲۱/۷	۰/۶	۱/۰۷	۲/۸۱	۲/۸۴
حوضه۱۳	۲/۰۷	۴/۱۸	۲/۵۱	۱/۵	۰/۹۹	۱/۰۱	۹/۷۱	۶/۴	۲/۸۵	۰/۵۳	۱/۸۷	۲۴/۷	۲/۸۱	۳/۰۶	۶/۳۲	۴/۸۷
حوضه۱۴	۰/۹۵	۲/۶	۱/۵۴	۱/۰۴	۲/۴۵	۵/۴۲	۲/۹۷	۲/۵	۱/۳۲	۰/۲۷	۱/۰۹	۱۲/۲	۰/۷	۱/۴۱	۲/۳۹	۴/۷۴
حوضه۱۵	۱/۷۷	۳/۸	۲/۱۹	۱/۲۹	۱/۱۴	۹/۸۳	۷/۸۹	۵/۶۷	۲/۴۵	۰/۴۶	۱/۹۲	۲۴/۱	۲/۰۵	۲/۶۲	۵/۰۸	۵/۲۹
حوضه۱۶	۵/۶	۷/۶۷	۹/۶۱	۲/۳۹	۱/۰۴	۴۶/۲	۲/۰۸	۱/۹۱	۶/۱۵	۱/۲۴	۶/۸۴	۷/۳	۴/۹۴	۶/۶	۹/۹۹	۱/۹۱
حوضه۱۷	۱/۵۸	۳/۵۴	۲/۱۲	۱/۳۲	۱/۰۳	۹/۶۷	۶/۳۹	۵/۱۸	۲/۱۸	۰/۴۲	۱/۷۱	۲۰/۱	۱/۶۷	۲/۳۳	۴/۲	۵/۲۹
حوضه۱۸	۲/۲	۴/۴۶	۵/۴	۱/۵۸	۶/۶۲	۱/۸۴	۳/۳۶	۶/۹۶	۱/۶۳	۰/۵۸	۲/۷۱	۲/۵	۱/۱۸	۱/۷۴	۲/۷۲	۴/۶۹
حوضه۱۹	۱/۲۹	۳/۱۳	۳/۷	۱/۲	۱/۴۲	۱۰/۱	۱/۰۴	۴/۴۳	۰/۶۹	۰/۳۵	۱/۲۷	۲۰/۴	۰/۱۷	۰/۷۳	۲/۰۴	۲/۳۲
حوضه۲۰	۱/۳۱	۳/۱۶	۲/۰۳	۱/۲۱	۳/۸۷	۲/۰۸	۴/۵۳	۴/۴۸	۱/۸۱	۰/۳۶	۱/۲۵	۷/۳	۱/۷۳	۱/۹۴	۲/۴	۴/۷۱

در نهایت درصد خطای نسبی (RE) داده‌های مشاهده‌ای (زمان تمرکز با استفاده از روش صحرایی) و داده‌های برآوردی (معادلات تجربی برآورد زمان تمرکز) در ۲۰ زیرحوزه برای ۱۶ روش تجربی محاسبه شد در جدول ۴ نیز تغییرات مقدار MRE (میانگین خطای نسبی) و RMSE (ریشه مربعات میانگین خطا) برای هر روش ارائه شده است که در واقع متوسط دقت و خطای روابط تجربی در زیرحوزه‌های سد قشلاق است. نتایج نشان داد که در حوزه سد قشلاق سنندج از بین روابط بررسی شده فرمول‌های کالیفرنیا و برانسلی ویلیامز به ترتیب بهترین و قابل قبول‌ترین روابط تجربی برآورد زمان تمرکز می‌باشند (میانگین درصد خطای نسبی به‌ترتیب ۴۱/۱ و ۴۳/۵ درصد و ریشه مجموع مربعات خطای به‌ترتیب ۱ و ۱/۸۳) و هم‌چنین فرمول‌های چاو و جانستون- کروس نیز نتایج متوسط و نسبتاً مناسبی را (میانگین درصد خطای نسبی کمتر از ۵۷٪ و ریشه مجموع مربعات خطای کمتر از ۲) ارائه نموده‌ند. نتایج بررسی درصد خطای نسبی (RE) زیرحوزه‌های سد قشلاق نیز نشان داد که در هر پنج رابطه مناسب فوق بیش‌ترین درصد خطای نسبی (۱۰۰ درصد خطا) مربوط به زیرحوزه‌های شماره ۶ و ۸ است که دارای کمترین اختلاف ارتفاع (زیر ۳۰ متر) و طول آبراهه اصلی (به‌ترتیب ۱۵۷ و ۴۲ متر) می‌باشند. لازم به ذکر است که سایر زیرحوزه‌ها خطاهای متفاوتی را در روابط مختلف ارائه دادند.

جدول ۴- میانگین خطای نسبی (MRE) و ریشه مربعات میانگین خطا (RMSE) برای روابط تجربی مورد بررسی

Table 4. Average relative error (MRE) and root mean square error (RMSE) for investigated experimental equation

رابطه تجربی	کرپیچ	کالفرنیا	چاو	باسو	استدلالی	کارتر	اسپی	جانستون و کروس
MRE	۲۴۲/۲	۴۱/۱	۵۳/۴	۵۱/۶۰	۲۳۷	۵۴/۳۹	۹۳/۰۱	۵۶/۳۰
RMSE	۱/۴۹	۱/۰	۱/۰۱	۴/۴۰	۲/۱۱	۳/۴۰	۱/۴۶	۱/۹۸
رابطه تجربی	باوارین	کربای هاتاوی	SCS	برانسلی ویلیامز	پاسینی	ونتورا	جیاندوتی	کوردوری
MRE	۱۱۲/۹۶	۱۰۸/۳۱	۶۲/۷۵	۴۳/۴۵	۸۰/۹۳	۱۴۷/۴۹	۹۹.۵۳	۹۰/۶۵
RMSE	۲/۵۲	۱/۶۰	۱۱/۷۵	۱/۸۳	۱/۴۳	۲/۱۷	۲/۲۵	۱۹/۹۶

نتایج تجزیه همبستگی و ضرایب مسیر

نتایج تجزیه همبستگی پیرسون بین ده پارامتر فیزیوگرافی و زمان تمرکز واقعی حوزه نشان داد که زمان تمرکز دارای بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌داری به ترتیب با عامل طول آبراهه اصلی، مساحت زیرحوزه، اختلاف ارتفاع آبراهه اصلی و شیب حوزه دارد (همبستگی بالای ۶۰٪). از سوی دیگر عواملی مانند طول دامنه تا آبراهه اصلی و فاصله تا مرکز ثقل دارای تأثیر منفی و نسبتاً کوچکی بر زمان تمرکز می‌باشند. در جدول ۵ ماتریکس تجزیه همبستگی پیرسون پارامترهای فیزیوگرافی و زمان تمرکز واقعی حوزه ارائه شده است. هم‌چنان که قبلاً نیز به آن اشاره شد وجود همبستگی بین دو متغیر لزوماً به معنی وجود رابطه علت و معلول بین آن دو متغیر نیست؛ بنابراین، لازم است که روابط بین علت و معلول تجزیه مسیر شود. در جدول ۶ نتایج بررسی ضرایب مسیر مرحله‌ای برای بررسی میزان همبستگی و تعیین اثرات مستقیم و اثرات غیرمستقیم پارامترهای مختلف بر زمان تمرکز ارائه شده است. در واقع این ضرایب نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان اثر مستقیم بر

روی زمان تمرکز (روی قطر) مربوط به پارامتر طول آبراهه اصلی (۱/۱۰۴) بوده و این پارامتر بیش‌ترین تأثیر مثبت را بر میزان زمان تمرکز دارد که با توجه به همبستگی بسیار بالای این پارامتر با زمان تمرکز (r=۰/۹۶) در جدول ۵ بسیار قابل پیش بینی و منطقی می‌باشد. در بین سایر پارامترها، بیش‌ترین اثر مستقیم مربوط به پارامتر مساحت زیرحوزه (۰/۲۷۵-) می‌باشد، که البته این اثر منفی بوده و نشان می‌دهد که این پارامتر اثرات منفی بر روی میزان زمان تمرکز دارد. پارامتر شیب متوسط آبراهه و قطر دایره معادل نیز دارای اثرات مثبت مستقیم قابل توجهی هست، هر چند که این اثرات با میزان اثر طول آبراهه قابل مقایسه نیست. با بررسی اثرات غیرمستقیم (پارامترهایی که از طریق سایر پارامترها بر روی زمان تمرکز اثر می‌گذارند)، مشاهده می‌شود که بیش‌ترین میزان اثرات غیرمستقیم مربوط به اثر طول آبراهه اصلی از طریق سایر پارامترها می‌باشد. هم‌چنان که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، میزان اثر غیرمستقیم پارامتر طول متوسط آبراهه از طریق پارامترهای مساحت متوسط حوزه، شیب متوسط حوزه و اختلاف ارتفاع رودخانه بسیار بالا و مثبت بوده و هم‌چنین دارای اثرات منفی غیرمستقیمی نیز بر پارامترهای طول دامنه تا آبراهه، فاصله از مرکز ثقل و قطر دایره معادل می‌باشد. با توجه به اطلاعات به دست آمده می‌توان مشاهده کرد که سایر پارامترهای مورد مطالعه (غیر از طول آبراهه اصلی) دارای اثرات غیرمستقیم بسیار ناچیزی بوده و حتی اثرات مستقیم زیادی هم ندارند؛ بنابراین در مقایسه با جدول تجزیه همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم این که بسیاری از عوامل در جدول ۴ دارای همبستگی بالا و معنی‌داری با زمان تمرکز و با همدیگر هستند ولی در تجزیه مسیر مشخص شد که بیش‌ترین اثر مثبت مستقیم مربوط به طول آبراهه اصلی و سپس شیب رودخانه اصلی بوده و بیش‌ترین اثر منفی مستقیم مربوط به عامل مساحت زیرحوزه‌ها است، در حالی که در جدول هبستگی عامل مساحت زیرحوزه دارای همبستگی مثبت بالایی با زمان تمرکز بوده است (r=۰/۸۷)، لذا در اینجا اهمیت استفاده از تجزیه مسیر به خوبی مشخص می‌شود.

جدول ۵- ماتریکس تجزیه همبستگی پیرسون بین ده پارامتر فیزیوگرافی و زمان تمرکز واقعی حوزه

Table 5. Pearson matrix of correlation analysis between the ten of physiographic parameters and real concentration time of basin

مساحت متوسط حوضه (متر مربع)	طول متوسط حوضه (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	طول دامنه تا ابراهه اصلی (متر)	فاصله از مرکز ثقل (متر)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	طول رودخانه اصلی (متر)	شیب رودخانه اصلی (متر برمتر)	قطر دایره معادل (متر)	اختلاف ارتفاع رودخانه (متر)	زمان تمرکز (ساعت)
۱										
۰/۱۵	۱									
۰/۶۴	-۰/۲۶	۱								
-۰/۲۹	۰/۳۷	-۰/۵۵	۱							
-۰/۲۴	۰/۵۰	-۰/۴۲	۰/۶۲	۱						
۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۱					
۰/۹۰	۰/۰۷	۰/۷۱	-۰/۳۵	-۰/۳۴	۰/۵۲	۱				
۰/۵۰	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۶۹	۰/۳۶	۱			
-۰/۴۱	-۰/۴۸	۰/۰۶	-۰/۳۳	-۰/۳۵	-۰/۷۷	-۰/۲۰	-۰/۵۴	۱		
۰/۸۰	۰/۱۰	۰/۵۲	-۰/۱۴	-۰/۱۸	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۷۹	-۰/۵۳	۱	
۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۶۸	-۰/۲۹	-۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۹۶	۰/۴۶	-۰/۳۲	۰/۷۵	۱

جدول ۶- ضرایب مسیر مرحله‌ای برای تعیین اثرات مستقیم (روی قطر) و اثرات غیرمستقیم پارامترها بر زمان تمرکز

Table 6. The coefficients of stage path to determine the direct effects (on the diagonal) and indirect effects of parameters on the time of concentration

	مساحت متوسط حوضه (متر مربع)	طول متوسط حوضه (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	طول دامنه تا ابراهه اصلی (متر)	فاصله از مرکز ثقل (متر)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	طول رودخانه اصلی (متر)	شیب رودخانه اصلی (متر برمتر)	قطر دایره معادل (متر)	اختلاف ارتفاع رودخانه (متر)
مساحت متوسط حوضه (m^2)	-۰/۲۵۷	-۰/۰۰۳	۰/۰۴۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۷	۰/۹۹۴	۰/۰۷۸	۰/۰۷۷	-۰/۰۶۷
طول متوسط حوضه(متر)	-۰/۰۳۹	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱۸	-۰/۰۱۷	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۷۷	۰/۰۳۴	۰/۰۹۱	-۰/۰۰۹
شیب متوسط حوضه (درصد)	-۰/۱۶۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۸	۰/۰۲۴	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۳	۰/۷۸۴	۰/۰۲۸	-۰/۰۱۲	-۰/۰۴۴
طول دامنه تا آبراهه اصلی (متر)	۰/۰۷۴	-۰/۰۰۸	-۰/۰۳۸	-۰/۰۴۵	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۱	-۰/۳۸۷	-۰/۰۲۳	۰/۰۶۲	۰/۰۱۱
فاصله از مرکز ثقل (متر)	۰/۰۶۱	-۰/۰۱۰	-۰/۰۲۹	-۰/۰۲۸	۰/۰۲۳	-۰/۰۰۱	-۰/۳۷۶	-۰/۰۰۶	۰/۰۶۶	۰/۰۱۵
ارتفاع متوسط حوضه (متر)	-۰/۱۸۲	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۹	۰/۵۷۴	۰/۱۰۸	۰/۱۴۶	۰/۰۶۵
طول رودخانه اصلی (متر)	-۰/۲۳۷	-۰/۰۰۲	۰/۰۴۸	۰/۰۱۵	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۵	۱/۱۰۴	۰/۰۵۶	۰/۰۳۷	-۰/۰۶۰
شیب رودخانه اصلی (متر برمتر)	-۰/۱۲۹	-۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۶	۰/۳۹۷	۰/۱۹۷	۰/۰۱۰۲	-۰/۶۷۰
قطر دایره معادل (متر)	۰/۱۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۶	-۰/۲۲۱	-۰/۰۸۷	۰/۱۵۰	-۰/۰۴۴
اختلاف ارتفاع رودخانه(متر)	-۰/۲۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۷	۰/۷۸۴	۰/۱۲۴	۰/۱۰۰	-۰/۰۸۴

با توجه به نتایج به دست آمده به طور کلی موارد زیر قابل دریافت است: اکثر روابط تجربی با وجود داشتن دو پارامتر مشترک مؤثر طول آبراهه و شیب آبراهه اصلی دارای تفاوت‌های اساسی در برآورد زمان تمرکز بودند که می‌تواند ناشی از این واقیعت باشد که هر کدام از روش‌ها برای منطقه خاصی کالیبره شده‌اند. هم‌چنین نتایج بررسی خطای نسبی (RE) داده‌های مشاهده‌ای (زمان تمرکز به دست آمده با استفاده از روش صحرایی) و داده‌های برآوردی (معادلات تجربی برآورد زمان تمرکز) در ۲۰ زیرحوزه برای ۱۶ روش تجربی نشان داد که در زیرحوزه‌های خیلی مسطح و دارای کم‌ترین طول آبراهه میزان خطای نسبی بیش‌تر است هر چند که روند ثابت و قابل توجهی برای تمامی روابط مشاهده نگردید. اکثر روش‌های برآورد زمان تمرکز در حوزه و زیرحوزه‌های سد قشلاق مقدار زمان تمرکز کم‌تری را از مقدار واقعی برآورد می‌کنند که می‌تواند ابتدا ناشی از کالیبره نبودن این روابط برای حوزه سد قشلاق باشد و سپس می‌تواند ناشی

از قدرت تفکیک و دقت مدل رقومی ارتفاع به کار رفته (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) باشد که مناطق کم‌ارتفاع را مسطح‌تر نمایش می‌دهد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این عامل کاربرد این فرمول‌ها را در مناطق مسطح و با استفاده از مدل‌های رقومی دارای دقت پایین مشکل ساز می‌نماید. همچنان که فانگ و همکاران(۳) نیز به این نتیجه رسیده‌اند. به طور کلی روابط کالیفرنیا و برانسلی ویلیامز در این حوزه بهترین نتیجه را ارائه داده است که با نتایج شریفی و حسینی (۱۰) و کوثری و همکاران (۵) که بیان نمودند که این رابطه در تمامی زیرحوزه‌های مورد مطالعه دارای نتایج مطلوبی بوده است مطابقت دارد.

یکی از معادلاتی که به طور گسترده در مطالعات هیدرولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد معادله کرپیچ می‌باشد. این معادله بدون توجه به شرایط منطقه، از نقطه‌نظرهای مختلف از جمله کوهستانی یا دشتی بودن آن به کار می‌رود. این در حالی است که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در مناطق کوهستانی و پر شیب و مساحت‌های بالای ۰/۴۵ کیلومتر، معادله کرپیچ از درصد خطای بسیار بالایی برخوردار بوده و کاربرد آن به بروز خطاهای فاحشی در میزان برآوردی زمان تمرکز و سیلاب منجر می‌شود که این نتایج با نتایج چاد و همکاران (۲) مطابقت دارد.

یکی از روش‌هایی که به طور گسترده در مطالعات هیدرولوژیکی جهت بررسی رابطه علت و معلولی و میزان تأثیرگذاری فاکتورهای مختلف حوزه‌ای به کار می‌رود استفاده از ضرایب همبستگی و روابط رگرسیونی ساده است در حالی که با توجه به نتایج این تحقیق مشخص شد که ضرایب همبستگی به تنهایی و همیشه بیان‌کننده روابط بین عوامل نبوده و لازم است که از روش‌های آماری مطمئن‌تری مانند تجزیه مسیر و تجزیه عاملی (Analysis Factor) جهت بررسی رابطه علت و معلولی و نوع تأثیرگذاری استفاده کرد. هم‌چنان که در این تحقیق نشان داده شد که در حالی که در جدول همبستگی عامل مساحت زیرحوزه دارای همبستگی مثبت بالایی با زمان تمرکز بوده است (r=۰/۸۷) اما در واقع با توجه به ضریب مسیر مشخص شد که بیش‌ترین اثر منفی مستقیم مربوط به عامل مساحت زیرحوزه‌ها است که نشان‌دهنده اهمیت استفاده از روش تجزیه رگرسیونی چندگانه است. نتایج تجزیه مسیر مشخص شد که بیش‌ترین اثر مثبت مستقیم مربوط به طول آبراهه اصلی (با ضریب مسیر ۱/۱۰۴) و سپس شیب متوسط رودخانه (با ضریب مسیر ۰/۱۹) بوده و بیش‌ترین اثر منفی مستقیم مربوط به عامل مساحت زیرحوزه‌ها (با ضریب مسیر ۰/۲۵۷-) است لذا توصیه می‌شود در هنگام استفاده از این گونه روابط اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه و مساحت حوزه زهکشی دقت بیش‌تری اعمال گردد. این نتایج با نتایج روسل و همکاران (۹) و کوثری و همکاران (۵) تا حدودی هم‌خوانی دارد هر چند که روش بررسی تأثیرگذاری پارامترها متفاوت بوده است.

به طور کلی با توجه به مباحث عنوان شده می‌توان عنوان نمود که روش دقیقی برای تحلیل‌های هیدرولوژیکی وجود ندارد، روش‌های مختلفی که به طور عام مورد استفاده قرار می‌گیرند، ممکن است برای یک منطقه معین با موقعیت ویژه اختلاف معنی‌داری در برداشته باشد، از این رو پیشنهاد می‌شود ابتدا در منطقه مورد نظر تناسب روابط تجربی سنجیده و سپس با میانگین‌گیری از روابطی دارای کمترین خطا، به برآورد نسبتاً مناسبی از زمان تمرکز دست یافت. هم‌چنین تأثیر DEMهای دارای قدرت تفکیک مختلف بر روابط تجربی زمان می‌تواند در ادامه این تحقیق مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

1. Azadnia, F., N. Rostami and R. Kamalimoghadam. 2009. Comprehension Some of the Empirical Equation of Time of the Concentration in Mimane Watershed of Ilam. Iran Water Research, Third year, 4: 21-34 (In Persian).
2. Chad, M. and J. Sansalone. 2003. Kinematic Wave Model of Urban Pavement Rainfall- Runoff Subject to Traffic Loadings. Environmental Engineering, 7: 187-195.
3. Fang, X., D.B. Thompson, T.G. Cleveland, P. Pradhan and R. Malla. 2008. Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods. Irrigation and Drainage Engineering, 134: 202-211.
4. Farshadfar, A. 2001. Basics and Advanced Techniques of Statistical. Taghe Bostan press,780 pp (In Persian).
5. Kosari, M., M. Naiini, M. Tazeh and M. Frozeh. 2010. Sensitivity Analysis Focuses on the Four Relationships Between the Watersheds. Fall of Dry Land, 1: 12 -24 (In Persian).
6. Mohaji Ashja, M.H. 1984. Land Evaluation. Soil and Water Research Institute. Department of Agricultural Research and Education. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. 102 pp (In Persian).
7. Motamedvaziri, B. 1997. Investigation the Some of the Empirical Equation of Time of the Concentration in Shahrestanak Watershed. M.Sc. Thesis, Tehran, Natural Resources University, Tehran, Iran. 132 pp (In Persian).
8. Najmayy, M.A. 1990. Hydrologic Engineering. Volume II, Second Edition, University of Science and Technology press, Tehran, Iran, 374 pp (In Persian).
9. Roussel, M., D. Thompson, X. Fang, G. Cleveland and C.A. Garcia. 2005. Time-Parameter Estimation for Applicable Texas Watersheds. Department of Transportation and the Federal Highway administration, Texas, USA, 135 pp.
10. Sharifi, S. and S.M. Hosseini. 2011. Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region. Irrigation and Drainage Engineering, 137: 712-719.

Evaluation some of the Empirical Relations to Estimate the Concentration Time and Identify the Most Important Physiographic Factors Affecting in Gheshlagh Dam Basin

Gholaleh Ghaffari[1] and Zana Talebi[2]

1- Assistant Professor Department of Watershed management, Natural Resources Faculty, Islamic Azad University of Sanandaj, (Corresponding author: ghaffari58@yahoo.com)
2- Graduated M.Sc., Islamic Azad University of Ghazvin
Received: January 20, 2015 Accepted: June 13, 2015

Abstract

Estimated time of concentration is one of the most important topics in the study of watershed physiographic and hydrology and relatively accurate estimates of that effects on other hydrologic parameters, including peak flood discharge. Despite numerous empirical formulas and widespread application in Iran, up to now a study hasn't been done about the best relationship and important physiographic parameters and the effectiveness of theirs increasing or decreasing of concentration time, in Gheshlagh Dam basin. So in this study, in addition to study the sixteen relationship of concentration time that have extensive application in our country, a method was presented for the path coefficient analysis of important physiographic parameters of concentration time. In this regard, first Using real-time concentration of trace amounts of dissolved salts, the accuracy of concentration time was assessed by RMSE and MRE statistics methods and the best empirical equations was selected. Then using the Path Analysis method, direct and indirect impact of ten important parameters of basin on concentration time was determined. The results showed that in Gheshlagh Dam basin between investigated relationships, California and Bransly Williams formulas are the best equations for estimate time of concentration (mean error relative to 41.1 and 43.5 percent). Also Chaw and Janson kroos have mean and acceptable result (mean error relative fewer than 57%). The path analysis results also showed that the stream length parameter have the most positive effect (1.10) the area of basin have the most negative effect (-0.257) on time of concentration.

Keywords: Empirical equations, Physiographic, Time of concentration, Watershed basin