

## آنالیز حساسیت چهار رابطه برآورد زمان تمرکز در حوزه‌های آبخیز

نویسندگان:

۱- محمد رضا کوثری، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد

[mohammad\\_kousari@yahoo.com](mailto:mohammad_kousari@yahoo.com)

۲- محمد علی صارمی نایینی، کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه یزد

۳- مهدی تازه، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه تهران

۴- محمد رحیم فروزه، دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دریافت: ۸۹/۳/۲۵

پذیرش: ۸۹/۸/۲۰

### چکیده

برآورد زمان تمرکز، یکی از مهمترین مباحث در مطالعات فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز است و برآورد نسبتاً صحیح آن تأثیر زیادی در محاسبه دیگر پارامترهای هیدرولوژی، خصوصاً دبی اوج سیلاب دارد. با وجود ارائه فرمول‌های تجربی متعدّد و کاربرد گسترده آن‌ها در هیدرولوژی و فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز، تا به حال دامنه حساسیت پارامترهای فیزیکی موجود در آن‌ها مشخص نشده و تأثیر دقت اندازه‌گیری آن‌ها بر کاهش یا افزایش زمان تمرکز مشخص نشده است. لذا در این تحقیق علاوه بر ارائه یک روش جدید برای آنالیز حساسیت پارامترهای موجود در روابط تجربی، که ضمن سادگی از کارایی خوبی برخوردار است، چهار رابطه برآورد زمان تمرکز (کریپچ، برانسلی ویلیامز، کالیفرنیا و SCS) که در کشور ما نیز از کاربرد گسترده‌ای برخوردارند، آنالیز حساسیت شدند. نتایج تحقیق حاکی از آن است 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. تأثیر پارامتر ضریب گردی حوزه بر روی زمان تمرکز از درجه اهمیت کمتری برخوردار است. لذا توصیه می‌گردد در هنگام استفاده از این گونه روابط در خصوص اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر شیب و طول آبراهه و شماره منحنی (به خصوص شیب آبراهه) دقت بیشتری اعمال گردد.

**واژگان کلیدی:** آنالیز حساسیت، حوزه آبخیز، زمان تمرکز، شیب، طول آبراهه.

### مقدمه

آبخیز ارائه شده‌اند که هر یک مطابق با شرایط خاص و بر حسب بزرگی یا کوچکی حوزه مورد مطالعه و در نهایت بر اساس سرعت متوسط پیمایش آب در حوزه، طبق نظر کارشناس، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهمترین و پرکاربردترین روابط برآورد زمان تمرکز، می‌توان به روابط کریپچ، برانسلی-ویلیامز، کالیفرنیا (۱۹۴۲ م.) و SCS، اشاره نمود که علی‌رغم استفاده گسترده در هیدرولوژی و فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز، تا به حال، دامنه حساسیت پارامترهای فیزیکی موجود در آن‌ها مشخص نشده و تأثیر دقت اندازه‌گیری آن‌ها بر کاهش یا افزایش زمان تمرکز مشخص نشده است. آنالیز حساسیت روشی است که به

زمان تمرکز عبارت است از مدت زمانی که لازم است تا رواناب از دورترین قسمت حوزه به خروجی آن برسد (مهدوی، ۱۳۸۴ ه.ش.). زمان تمرکز در طراحی سرریزها، برآورد حجم سیلاب، تهیه هیدروگراف سیل، و بسیاری از دیگر تحلیل‌های هیدرولوژیکی مورد نیاز می‌باشد. زمان تمرکز به خصوصیات فیزیوگرافی حوزه از قبیل شیب و طول آبراهه، پوشش گیاهی، شکل و ناهمواری‌های سطحی حوزه و بالاخره شدت بارندگی و توزیع زمانی و مکانی آن بستگی دارد (معمدووزیری، ۱۳۸۶ ه.ش.). فرمول‌ها و روابط زیادی برای برآورد زمان تمرکز حوزه‌های

از مهمترین و پرکاربردترین روش‌های آنالیز حساسیت در منابع طبیعی می‌توان به چهار روش FAST<sup>6</sup>، RSM<sup>7</sup>، MII<sup>8</sup> و روش‌های Sobol اشاره نمود. روش FAST بر اساس سهم هر متغیر ورودی بر واریانس کلی تمام متغیرها عمل می‌کند و به همین خاطر هم برای ساختارهای خطی و هم غیرخطی کاربرد دارد (ساتلی و همکاران، ۱۹۹۲م).

هدف روش‌های RSM ساده‌تر نمودن آنالیز حساسیت مدل‌های بزرگ و پیچیده همراه با صرفه‌جویی در زمان است. این روش هم برای ساختارهای خطی و هم ساختارهای غیرخطی کاربرد دارد. تکنیک مونت کارلو در این نوع آنالیز حساسیت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. روش MII بر اساس آنالیز حساسیت شرطی<sup>9</sup> (شرایط خاص) و بیشتر برای مدل‌های با خروجی‌های دوبخشی<sup>10</sup> (گسسته) کاربرد دارد. البته این مدل برای خروجی‌های پیوسته نیز کاربرد دارد. این روش، اطلاعاتی را درباره تغییرات خروجی مدل به ازای تغییرات یک ورودی خاص ارائه می‌دهد. آنالیز حساسیت در این روش نیازمند تکرار آزمون مونت کارلو به دفعات زیاد است که استفاده از آن را با مشکل روبرو می‌سازد (مرز و همکاران، ۱۹۹۲م).

روش‌های Sobol جزء روش‌های کلی بر مبنای واریانس و همچنین شاخص‌های کلی حساسیت<sup>11</sup> است که این شاخص بیانگر تمامی روابط درونی متغیرهای مدل است. مثلاً اگر ۳ متغیر a، b و c وجود داشته باشد، TSI یا شاخص کل حساسیت متغیر a برابر است با  $S(a) + S(ab) + S(abc)$  که بیانگر شاخص حساسیت a،  $S(ab)$  نماینده رابطه درونی a و b و  $S(abc)$  نماینده روابط درونی بین a، b و c است. این روش نیازمند محاسبات پیچیده و زیاد است. گفتنی است هر چهار روش فوق‌الذکر مبنای آماری دارند.

در این مطالعه علاوه بر شناخت بهتر تاثیر پارامترهای موجود در معادلات بر روی زمان تمرکز روشی ساده و

وسيلة آن آثار تغییرات ضرایب موجود در مدل‌ها را بر نتایج حاصل از آن‌ها می‌توان بررسی نمود. نتایج این بررسی را می‌توان در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار داد، به گونه‌ای که موجب دقت نتایج و صرفه‌جویی در وقت و هزینه گردد (آورد و همکاران، ۱۳۸۶ ه.ش).

همچنین استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تاثیر پارامترها بر خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطمئناً با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل، بهتر می‌توان ارتباط پارامترها را با یکدیگر درک نمود و حساسیت مدل را در نقاط مختلف مشخص کرد و بدین ترتیب کاربرد مناسب‌تری از مدل به منظور کارایی هر چه بیشتر آن ارائه نمود.

روش‌های متنوع و گوناگونی برای آنالیز حساسیت ارائه شده است که موجب طبقه‌بندی این روش‌ها از جهات مختلف شده است. طبقه‌بندی از نظر روش‌های آماری، ریاضی و گرافیکی یکی از تقسیم‌بندی‌های کلی به حساب می‌آید (فری و همکاران، ۲۰۰۲ م.). همچنین می‌توان آن‌ها را به انواع آزمایشی<sup>1</sup>، محلی<sup>2</sup> و کلی<sup>3</sup> تقسیم بندی نمود. نوع آزمایشی برای تحلیل سریع تعیین حساس‌ترین عامل ورودی بکار می‌رود و روشی ساده به حساب می‌آید. این نوع آنالیز حساسیت در تعیین نقاط حساس (آستانه‌ها)، روابط درونی<sup>4</sup> متغیرها و تعیین عدم یکنواختی‌ها<sup>5</sup> چندان قوی نیست (آسکو و همکاران، ۲۰۰۵ م.). روش محلی یک بازه کوتاه اطراف نقطه متغیر ورودی مورد نظر و اثر تغییرات آن بر روی خروجی مدل را بررسی می‌کند. انتخاب بازه کوتاه می‌تواند احتمال شرایط یکنواختی و خطی بودن عکس‌العمل مدل را بالا ببرد و یا باعث کاهش خطای غیرخطی بودن شود. روش‌های آنالیز حساسیت کلی باید دارای دو شرط اساسی باشند: اول اینکه برآورد آنالیز حساسیت برای هر متغیر ناشی از تعیین شکل و تابع احتمالاتی آن متغیر باشد و دوم در صورت تغییر متغیر ورودی مورد نظر، سایر متغیرها نیز تغییر کنند (ساتلی و همکاران، ۱۹۹۲م).

6- Fourier Amplitude Sensitivity Test  
7- Response Surface Method  
8- Mutual Information Index  
9- analysis conditional  
10- dichotomous outputs  
11- "Total Sensitivity Indices" (TSI)

1- Screening  
2- local  
3- global  
4- interaction  
5- nonlinearity

حساسیت برخی متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب حوزه کاروان با معرفی مدل HEC-HMS نیز شماره منحنی را به عنوان عامل مهم و تاثیرگذار بر روی دبی اوج معرفی نموده است. همچنین ارزیابی مدل HEC-HMS در تعیین زمان پیش هشدار سیل در حوزه گلابدره-دریند توسط بنی حبیب و همکاران (۱۳۸۶ ه.ش.) نشان داد که تغییرات کاربری اراضی در اثر اقدامات آبخیزداری منجر به افزایش زمان پیش هشدار سیل شده است.

از آنجا که تا به حال روابط برآورد زمان تمرکز، مورد عمل آنالیز حساسیت قرار نگرفته‌اند، لذا در این مقاله تلاش شده است تا اهمیت پارامترهای مؤثر بر زمان تمرکز در چهار رابطه کریچ، برانسل-ویلیامز، کالیفرنیا و SCS، مشخص گردد.

### مواد و روش‌ها

#### ۱- معرفی روابط و مورد بررسی

##### ۱-۱ رابطه کریچ

این رابطه برای محاسبه زمان تمرکز در حوزه های کوچک ارائه شده است و همان گونه که در رابطه ۱ نشان داده شده برای محاسبه زمان تمرکز ( $T_c$ ) بر حسب دقیقه از خصوصیات فیزیکی طول ( $L$  بر حسب متر) و شیب آبراهه ( $S$  بر حسب متر بر متر) استفاده شده است.

$$T_c = .0195L^{.77} S^{.385} \quad (1)$$

##### ۱-۲ رابطه کالیفرنیا

این رابطه نیز به فراوانی برای برآورد زمان تمرکز حوزه ها خصوصا در حوزه های بزرگ استفاده می شود (مهدوی، ۱۳۸۴ ه.ش.) و به صورت زیر است:

$$T_c = \left( .885 \frac{L^3}{H} \right)^{.385} \quad (2)$$

که در آن  $L$  طول بزرگترین آبراهه حوزه به کیلومتر،  $H$  اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه آبراهه به متر است.

کارآمد به منظور آنالیز حساسیت روابط تجربی ارائه شده در رشته‌های مختلف به ویژه منابع طبیعی و کشاورزی ارائه می‌گردد و امکان استفاده مناسبتر آن‌ها را برای کارشناس فراهم می‌آورد. روش ارائه شده تقریبا به نوعی در طبقه‌بندی روش‌های ریاضی-گرافیکی قرار می‌گیرد که بر اساس تغییرات پیوسته در متغیرهای ورودی، تغییرات پیوسته در خروجی مدل به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود و عملکرد قابل قبولی خصوصا برای روابط ساده تجربی ارائه می‌دهد. به هر حال طبقه‌بندی‌های متنوع از جنبه‌های گوناگون در مورد روش‌های آنالیز حساسیت ارائه شده است که هر روشی از جنبه‌های مختلف ممکن است در طبقه‌بندی خاصی قرار گیرد.

در مورد تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه آنالیز حساسیت مدل‌های مورد استفاده در بخش منابع طبیعی باید گفت که هر چند تحقیقات صورت پذیرفته به منظور تعیین حساسیت مدل‌ها منسجم و پیوسته نبوده است، ولی به صورت پراکنده تحقیقاتی در این زمینه صورت پذیرفته که در اینجا اشاره‌ای به آن‌ها می‌شود. معتمد وزیری (۱۳۸۶ ه.ش.) در ارزیابی فرمول کریچ با استفاده از روش محلول نمک به محاسبه زمان تمرکز در بازه های مورد مطالعه پرداخت. تحقیقات نامبرده نشان می‌دهد که روش کریچ در شیب های کمتر از ۳٪ پاسخ مناسبی ارائه نمی‌دهد، ولی در شیب های بین ۳ تا ۷ درصد برآورد ناشی از آن مناسب بوده و در شیب های بیش از ۷٪ خطای برآورد بسیار فاحش می‌باشد. همچنین آورند همکاران (۱۳۸۵ ه.ش.) به بررسی و آنالیز حساسیت مدل HEC-1 پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عامل شماره منحنی و نگه‌داشت اولیه به عنوان حساس‌ترین پارامترهای مدل محسوب می‌شود. همچنین نتایج تحقیق ایشان نشان داد که این مدل نسبت به تغییرات زمان تمرکز و زمان تأخیر حساسیت چندانی را از خود نشان نمی‌دهد. خسروشاهی (۱۳۸۰ ه.ش.) به بررسی اثر شماره منحنی و شیب حوزه بر سیل‌خیزی پرداخت و شماره منحنی را به عنوان عامل حساس و تأثیرگذار بر روی دبی خروجی حوزه معرفی نمود. تاثیر شیب آبراهه در این تحقیق در درجات بعدی قرار دارد. شیران (۱۳۸۶ ه.ش.) در مطالعه ای با عنوان "نقشه روندیابی سیل در تحلیل

## ۱-۳ رابطه برانسلی - ویلیامز

از این رابطه برای محاسبه زمان تمرکز در حوزه های بزرگ استفاده می شود. ولی درحوزه های کوچک نیز کاربرد دارد. رابطه برانسلی به صورت زیر است (ضیائی، ۱۳۸۰ ه.ش.):

$$S = \frac{L}{1.5D} \times \left(\frac{A}{S}\right)^2 \quad (2)$$

که در آن A مساحت حوزه به کیلومتر مربع، L طول آبراهه اصلی به کیلومتر، S شیب آبراهه اصلی بر حسب

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{درصد و } D \text{ ضریب گردی که از رابطه زیر به دست می آید:} \quad (3)$$

## ۱-۴ رابطه SCS

این رابطه نیز بیشتر برای حوزه های کوچک استفاده می شود، ولی برای حوزه های متوسط نیز کاربرد دارد. در این روش ابتدا زمان تأخیر از رابطه زیر محاسبه می گردد (علیزاده، ۱۳۸۶ ه.ش. و مهدوی، ۱۳۸۴ ه.ش.):

$$Tlag = \frac{I^8 (s+1)^7}{1900y^5} \quad (4)$$

که در آن Tlag زمان تأخیر به ساعت، l طول آبراهه اصلی به فوت، S نگهداشت آب در حوزه که s از

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (5)$$

بر حسب اینج به دست می آید. CN، شماره منحنی متوسط حوزه آبخیز است. Y شیب آبراهه اصلی به درصد. در نهایت با توجه به زمان تأخیر حاصل، زمان تمرکز به صورت رابطه ۶ و بر حسب ساعت به دست می آید.

$$Tc = 1.67(Tlag)$$

(۶)

## ۲- تعیین مقادیر ورودی پارامترها

آنالیز حساسیت در واقع بر روی داده های مصنوعی (غیرحقیقی) صورت می پذیرد و در آن مقادیر مربوط به هر پارامتر شامل بازه ای از آن پارامتر است که بین حد پایین و بالای دامنه تغییرات آن پارامتر قرار گرفته است. البته باید توجه داشت که انتخاب دامنه تغییرات با اصل و ذات رابطه همخوانی داشته باشد. برای مثال در مورد رابطه کرپیچ که برای حوزه های کوچک مورد استفاده قرار می گیرد در نظر گرفتن طول آبراهه در بازه ۱ تا ۵۰ کیلومتر منطقی به نظر نمی رسد. زیرا چنین طول آبراهه ای را نیز می توان در حوزه های بزرگ انتظار داشت. همچنین در تعیین عامل CN در رابطه برآورد زمان تمرکز SCS، انتخاب مقادیر کمتر از ۴۰، چندان مناسب به نظر نمی رسد و انتخاب چنین مقادیری موجب افزایش خطای محاسباتی خواهد بود. در مورد متغیرهای ورودی به هم وابسته ای مانند شماره منحنی و تلفات حوزه در روش SCS و یا مساحت و ضریب گردی حوزه، نیز بایستی در تعیین دامنه تغییرات مقادیر ورودی به این نکته توجه داشت که در صورت تعیین دامنه یکی از این پارامترها، دامنه تغییرات پارامتر دیگر مطابق با آن پارامتر تعیین گردد. این موضوع در مورد پارامترهای به هم وابسته روش های SCS و برانسلی ویلیامز در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱، حد پایین و بالا همراه با میانگین پارامترهای ورودی مربوط به هر رابطه را نشان می دهد.

جدول ۱. تعیین مقادیر دامنه تغییرات پارامترها

نام روش	نام پارامتر	حد بالا	حد پایین	میانگین
کرپیچ	S (متر بر متر)	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۱۳
	L (کیلومتر)	۹	۰/۵	۴/۵
کالیفرنیا	H (متر)	۳۵۰۰	۱۰۰	۱۸۰۰
	L (کیلومتر)	۲	۹۰	۴۶
برانسلی - ویلیامز	S (متر بر متر)	۰/۲۱	۰/۰۱	۱۱
	L (کیلومتر)	۱۰۰	۱۰	۵۰
	A (کیلومتر مربع)	۲۰۰	۵	۱۰۲/۵
	D (کیلومتر)	۱۰/۸۲	۲/۵۲	۱۱/۴۲
SCS	CN	۹۲	۵۰	۷۱
	L (کیلومتر)	۱۵	۱	۸
	S (اینج)	۱۰	۰/۸۶	۴/۵۸
	Y (درصد)	۲۹	۱	۱۵

## ۳- نحوه آنالیز حساسیت

با توجه به جداول فوق و حدّ پایین و بالا و میانگین هر پارامتر در هر رابطه، زمان تمرکز بدین گونه محاسبه می‌شود که یک پارامتر بین حدّ پایین و بالای خود تغییر می‌کند، در صورتی که پارامتر دیگر (یا پارامترهای دیگر) در میانگین خود ثابت باقی می‌مانند و با هر تغییر زمان تمرکز محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب می‌توان اثرات تغییر یک پارامتر بر روی خروجی (زمان تمرکز) را به دست آورد. جداول شماره ۲ و ۳ نحوه محاسبات فوق را برای روش کریپیچ نشان می‌دهد. همان طور که در جدول شماره ۲

در ستون اول مشاهده می‌شود، پارامتر شیب در میانگین خود ثابت باقی مانده است، در حالی که طول آبراهه در ستون دوم تغییر می‌کند. در ستون چهارم نیز اثر این تغییرات بر زمان تمرکز ثبت می‌شود. از طرف دیگر در جدول شماره ۳، پارامتر طول آبراهه اصلی در میانگین خود ثابت است و پارامتر شیب تغییر می‌کند. بدین ترتیب می‌توان اثر تغییرات شیب بر روی زمان تمرکز (ستون ۳) را به دست آورد. برای سایر روابط نیز به همین ترتیب عمل شده است.

جدول ۲. تعیین اثر پارامتر طول آبراهه بر زمان تمرکز

شیب	طول آبراهه	طول آبراهه استاندارد شده	زمان تمرکز	قدر مطلق فاصله غیر تجمعی در محور Xها (۵)	فاصله غیر تجمعی در محور Yها (۶)	/ ستون ششم / ستون پنجم
۰/۱۳	۰	-۱/۵۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۰/۱۳	۰/۵	-۱/۴۲	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۰۹	۴۸/۰۳
۰/۱۳	۱	-۱/۲۴	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۶	۳۳/۸۷
۰/۱۳	۱/۵	-۱/۰۶	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۰۵	۳۰/۰۱
۰/۱۳	۲	-۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۲۷/۷۵
۰/۱۳	۲/۵	-۰/۷۱	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۰۵	۲۶/۱۸
۰/۱۳	۳	-۰/۵۳	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۵/۰۰
۰/۱۳	۳/۵	-۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۴/۰۵
۰/۱۳	۴	-۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۳/۲۷
۰/۱۳	۴/۵	۰/۰۰	۰/۴۶	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۲/۶۱
۰/۱۳	۵	۰/۱۷	۰/۵۰	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۲/۰۴
۰/۱۳	۵/۵	۰/۳۵	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۱/۵۴
۰/۱۳	۶	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۱/۰۹
۰/۱۳	۵/۶	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۰/۶۹
۰/۱۳	۷	۰/۸۸	۰/۶۵	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۰/۳۳
۰/۱۳	۷/۵	۱/۰۶	۰/۶۹	۰/۱۷	۰/۰۴	۲۰/۰۰
۰/۱۳	۸	۱/۲۴	۰/۷۲	۰/۱۷	۰/۰۳	۱۹/۶۹
۰/۱۳	۸/۵	۱/۴۲	۰/۷۶	۰/۱۷	۰/۰۳	۱۹/۴۱
۰/۱۳	۹	۱/۵۹	۰/۷۹	۰/۱۷	۰/۰۳	۱۹/۱۵

جدول ۳. تعیین اثر پارامتر شیب متوسط آبراهه بر زمان تمرکز

طول آبراهه	شیب	طول آبراهه		قدرمطلق فاصله غیر تجمعی در محور Xها(۵)	قدرمطلق فاصله غیر تجمعی در محور Yها(۶)	ستون ششم / ستون پنجم
		استاندارد شده	زمان تمرکز			
۴/۵	۰/۰۱	-۱/۶۳	۱/۲۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۵	۰/۰۲	-۱/۴۹	۰/۹۵	۰/۱۳	۰/۲۹	۲۱۴/۴۶
۴/۵	۰/۰۳	-۱/۳۵	۰/۸۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۱۰۱۳۴
۴/۵	۰/۰۴	-۱/۲۲	۰/۷۳	۰/۱۳	۰/۰۹	۶۲/۸۹
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
۴/۵	۰/۲۲	۱/۲۲	۰/۳۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۵/۰۳
۴/۵	۰/۲۳	۱/۳۵	۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۰۱	۴/۷۳
۴/۵	۰/۲۴	۱/۴۹	۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۰۱	۴/۴۵
۴/۵	۰/۲۵	۱/۶۳	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۰۱	۴/۲۰

#### ۴- استاندارد نمودن پارامترها

واحد هر یک از پارامترهای مورد نیاز برای برآورد زمان تمرکز با یکدیگر متفاوت هستند. مثلاً شیب آبراهه بدون بعد، طول آبراهه به کیلومتر یا متر، مساحت حوزه کیلومتر مربع و شماره منحنی نیز بدون بعد است. همچنین تفاوت در اندازه و مقدار پارامترها، نمایش همزمان تغییرات زمان تمرکز در برابر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی یک محور مختصات را مشکل می‌سازد. بدین منظور پارامترها (بین دو حد پایین و بالا) را باید استاندارد نمود. راه‌های نسبتاً زیادی برای استاندارد کردن داده‌ها وجود دارد. از آنجا که تغییرات به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شوند برای نمایش هر چه بهتر تغییرات از رابطه زیر (تابع Zscore) برای استاندارد نمودن داده‌ها استفاده شده است.

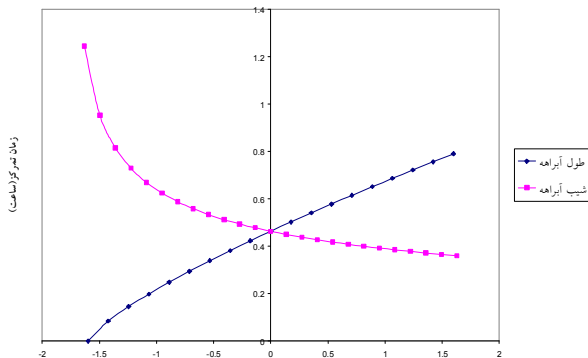
$$n = \frac{(X_i - \bar{X})}{Std} \quad (7)$$

در این رابطه  $X_i$ ، متغیر نام پارامتر ورودی،  $\bar{X}$  و Std، به ترتیب میانگین و انحراف معیار ورودی مورد نظر می‌باشند. ستون ۳ جداول شماره ۵ و ۶، پارامترهای استاندارد شده به ترتیب برای متغیر طول آبراهه و شیب را در رابطه کریپچ نشان می‌دهد.

#### ۵- نمایش تغییرات

نمایش همزمان تغییرات زمان تمرکز در برابر تغییرات هر پارامتر مربوط به هر رابطه در شکل‌های ۱ تا ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود محور Yها مربوط به تغییرات زمان تمرکز و محور Xها مقادیر مربوط به پارامترهای استاندارد شده هستند. این اشکال برای مقایسه کلی اثر تغییرات زمان تمرکز در برابر تغییرات پارامترهای ورودی مناسب است. به طوری که هر منحنی یا هر قسمت از هر منحنی که شیب بیشتری داشته باشد، تاثیر بیشتری بر خروجی دارد. برای مقایسه بهتر اولویت تاثیر هر پارامتر بر خروجی رابطه، باید تغییرات شیب هر یک از این منحنی‌ها (مربوط به هر رابطه)، در قسمت‌های مشابه با یکدیگر مقایسه گردند. یعنی به ازای دامنه مشخصی از محور Xها، تغییرات محور Yها (برای هر منحنی) محاسبه گردد. دقیقاً مانند حالتی که شیب یک آبراهه در بازه‌های مختلف آن مورد ارزیابی قرار گیرد. منحنی که در یک بازه مشخص شیب بیشتری داشته باشد، تاثیر آن بر زمان تمرکز بیشتر است. این تأثیر می‌تواند در جهت افزایش یا کاهش زمان تمرکز باشد. مثلاً شیب منحنی تغییرات زمان تمرکز در برابر متغیر شیب آبراهه به صورت نزولی (منفی) است. پس برای مقایسه شیب‌های جزئی، باید از قدر مطلق شیب‌های جزئی استفاده گردد تا بتوان اولویت تأثیر بر

مراتب افزایش یابد. ولی با افزایش شیب، حساسیت زمان تمرکز نسبت به پارامتر شیب کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر تغییرات زیاد پارامتر شیب در شیب‌های زیاد، تأثیر کمتری بر روی زمان تمرکز دارد. پارامتر طول آبراهه در هنگامی که شیب کم باشد، نسبت به شیب آبراهه، اهمیت کمتری در تأثیر بر زمان تمرکز دارد. ولی با افزایش طول آبراهه، رفته رفته بر اهمیت این پارامتر افزوده می‌شود و اثر بیشتری بر زمان تمرکز می‌گذارد. همچنین اثر تغییرات طول آبراهه بر زمان تمرکز رفتاری تقریباً خطی دارد. این در حالی است که شیب کاملاً به صورت نمایی ظاهر می‌گردد. البته با افزایش شیب، عکس‌العمل شیب به صورت خطی در می‌آید. اثر اختلاف ارتفاع نیز در رابطه کالیفرنیا مانند شیب است به طوری که در اختلاف ارتفاع‌های کم، زمان تمرکز حساسیت بیشتری دارد. در رابطه SCS، با افزایش شماره منحنی (CN)، اهمیت این پارامتر نسبت به شیب آبراهه بیشتر می‌شود و تقریباً با طول آبراهه و تلفات حوزه (S)، تأثیر یکسانی بر زمان تمرکز دارند. در رابطه برانسلی پارامتر طول آبراهه اهمیت بیشتری نسبت به دیگر پارامترها دارد. ولی باید در نظر داشت که مقادیر ورودی این رابطه برای حوزه‌های بزرگ در نظر گرفته شده اند و این عکس‌العمل طبیعی است. در این رابطه شیب آبراهه اصلی و سپس مساحت و ضریب گردی در درجات بعدی قرار دارند. همچنین پارامترهای وابسته به هم مثل شماره منحنی (CN) و تلفات حوزه (S) در رابطه SCS و ضریب گردی حوزه و مساحت در رابطه برانسلی-ویلیامز از لحاظ اهمیت بر خروجی مانند یکدیگر عمل می‌کنند.



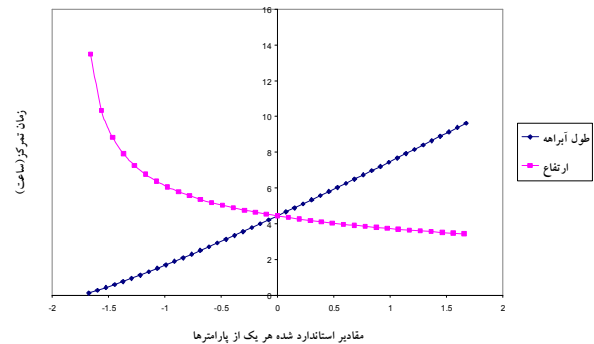
شکل ۲. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه کرپیچ

زمان تمرکز چه به صورت کاهشی و چه به صورت افزایشی در بازه مورد نظر مورد ارزیابی قرار گیرد. نحوه محاسبه این شیب‌های جزئی در جداول شماره ۲ و ۳، در ستون‌های ۵، ۶ و ۷ برای رابطه کرپیچ آمده است. از تقسیم ستون ۶ بر ستون ۵، شیب‌های جزئی (ستون ۷) بدست می‌آید. شکل‌های ۱ تا ۴ نیز اهمیت و تأثیر پارامترهای ورودی بر زمان تمرکز را برای هر رابطه به طور جداگانه نشان می‌دهند. در این نمودارها محور ها مربوط به پارامترهای استاندارد شده ورودی هر مدل و محور Yها، مربوط به شیب تغییرات هر یک از منحنی‌های اشکال ۱ تا ۴ هستند.

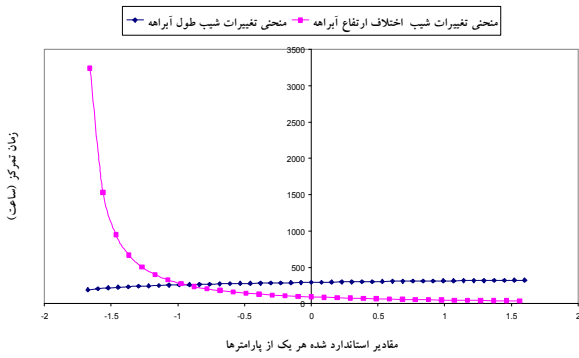
همان‌طور که مشاهده می‌شود بازه‌های محور Xها برای دو حالت شیب و پارامتر طول آبراهه (ستون ۵) یکسان نیست و این می‌تواند موجب خطا در خروجی (تعیین شیب‌های جزئی) شود. البته دقت برآورد شیب‌های جزئی در این‌جا که برای حصول یک درک کلی از رفتار پارامترها بر زمان تمرکز می‌باشد، کافی است. ولی با افزایش مقدار اعداد بین دو حد پارامترهای ورودی، تا حد زیادی می‌توان از خطای ایجاد شده کاست.

### نتایج

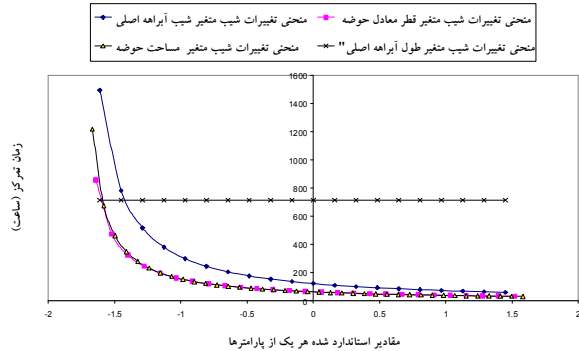
دو پارامتر شیب و طول آبراهه اصلی تقریباً در همه روابط وجود دارند و در هر چهار رابطه نیز رفتار یکسانی را از خود نشان می‌دهند. البته در رابطه کالیفرنیا به جای شیب از اختلاف ارتفاع حوزه استفاده شده است. در تمام روابط، زمان تمرکز به شیب‌های کم (یا اختلاف ارتفاع کم) در رابطه کالیفرنیا حساس است. به عبارت دیگر تغییرات اندک در شیب‌های کم، باعث می‌گردد که زمان تمرکز به



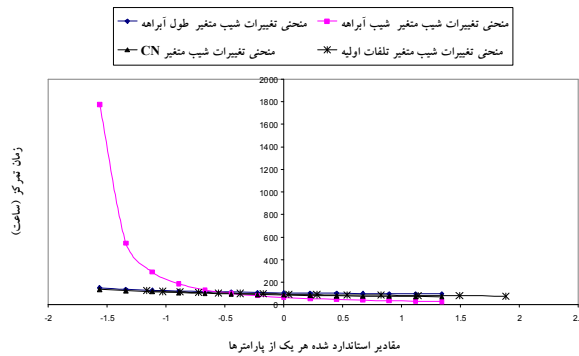
شکل ۱. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه کالیفرنیا



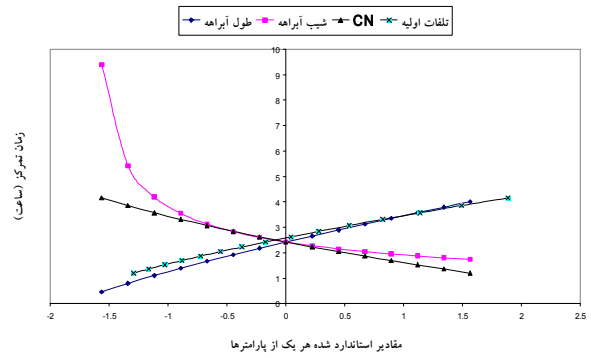
شکل ۶. نمودار تغییرات شیب متغیرهای رابطه کالیفرنیا



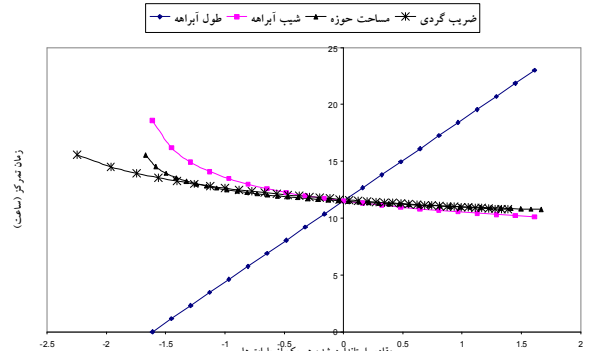
شکل ۷. نمودار تغییرات شیب متغیرهای رابطه برانسلی-ویلیامز



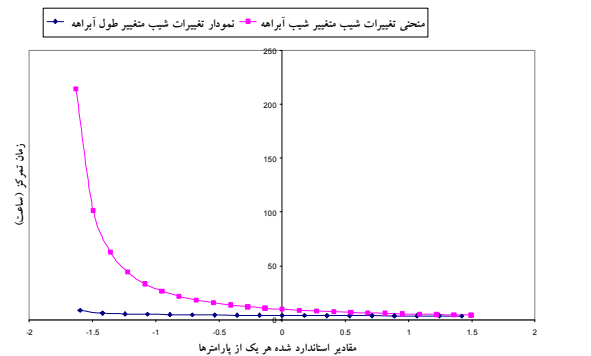
شکل ۸. نمودار تغییرات شیب متغیرهای رابطه SCS



شکل ۳. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه SCS



شکل ۴. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه برانسلی-ویلیامز



شکل ۵. نمودار تغییرات شیب متغیرهای رابطه کریچ

## بحث و نتیجه‌گیری

دو پارامتر شیب و طول آبراهه از عوامل تأثیرگذار بر زمان تمرکز هستند، به طوری که در اکثر روابط برآورد زمان تمرکز از آنها استفاده می‌شود. هر چند که با افزایش مقدار پارامتر شیب اثر آن بر زمان تمرکز کمتر شده، تقریباً پارامترهای دیگر اهمیت بیشتری می‌یابند. بنابراین پارامتر شیب در حوزه‌های بزرگ یا کشیده از اهمیت زیادی برخوردار است. اثر شیب کم بر افزایش زمان تمرکز بسیار مؤثر است، ولی با افزایش شیب که این امر عمدتاً در حوزه‌های کوهستانی و زیرحوزه‌های بالادست اتفاق می‌افتد، اثر پارامتر شیب بر زمان تمرکز کاهش یافته و طول آبراهه از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. این امر نشان

دهنده اهمیت برآورد صحیح شیب آبراهه در حوزه‌های کم شیب، بزرگ و کشیده است. این در حالی است که راه‌های نسبتاً گوناگونی برای برآورد شیب آبراهه اصلی ارائه شده است که بعضاً مقدار شیب حاصل از روش‌های مختلف شیب با یکدیگر تفاوت دارند و گاهی این تفاوت‌ها زیاد و قابل توجه است. حساسیت زیاد در شیب‌های کم با مطالعات معتمدوزیری (۱۳۸۶ ه.ش.) همخوانی دارد.

با توجه به شکل شماره ۸ با افزایش مقدار شماره منحنی، اهمیت این پارامتر بیشتر می‌گردد که نشان دهنده اهمیت این پارامتر بر زمان تمرکز است. با توجه به شکل ۴، مشاهده می‌شود که پارامتر شماره منحنی دارای یک رابطه خطی معکوس با زمان تمرکز است. در اثر پایین



مؤثر به کار گرفت. درک رفتار این روابط تا حدود زیادی می‌تواند در موفقیت پروژه‌های آبخیزداری نظیر کنترل سیل خیزی حوزه‌ها مؤثر باشد.

در کل باید گفت که روش‌های آنالیز حساسیت دقیق مدل‌ها حتی مدل‌های ساده تجربی نیازمند حجم زیاد محاسبات است. در این مقاله برای بیان بهتر نحوه کار، اجرای محاسبات آنالیز حساسیت توسط نرم‌افزار Excel صورت گرفت. برای راحتی و صرفه‌جویی در وقت و همچنین استفاده از مدل آنالیز حساسیت مورد نظر برای شرایط خاص، استفاده از برنامه‌نویسی با کامپیوتر پیشنهاد می‌گردد.

### منابع

آورند، رحیم، حسین ترابی پوده و اردلان فرزایی، (۱۳۸۵ ه. ش.). آنالیز حساسیت مدل HEC-1 به پارامترهای ورودی، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

بنی حبیب، محمد ابراهیم، آذر عربی و محمود رضا بهبهانی، (۱۳۸۶ ه. ش.). ارزیابی مدل HEC-HMS در تعیین زمان پیش‌هشدار حوزه گلابدره- در بند، چهارمین همایش ملی آبخیزداری ایران، دانشگاه تهران.

خسرو شاهی، محمد، (۱۳۸۰ ه. ش.). تعیین نقش زیرحوزه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی حوزه (مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.

شیران، مهناز، (۱۳۸۶ ه. ش.). نقشه روندیابی سیل در تحلیل حساسیت برخی متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب حوزه کاروان با معرفی مدل HEC-HMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

ضیائی، حجت‌ا...، (۱۳۸۰ ه. ش.). اصول مهندسی آبخیزداری، نشر آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع).

علیزاده، امین، (۱۳۸۶ ه. ش.). اصول هیدرولوژی کاربردی، نشر آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع).

معمدووزیری، بهارک، (۱۳۸۶ ه. ش.). بررسی کارایی روش کریپچ در برآورد زمان تمرکز سیلاب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرج). چهارمین همایش ملی آبخیزداری ایران، دانشگاه تهران.

مهدوی، محمد، (۱۳۸۴ ه. ش.). هیدرولوژی کاربردی، جلد ۱، انتشارات دانشگاه تهران،

مهدوی، محمد، (۱۳۸۴ ه. ش.). هیدرولوژی کاربردی، جلد ۲، انتشارات دانشگاه تهران.

بودن مقدار شماره منحنی، این عامل تأثیر فزاینده بر زمان تمرکز دارد و برعکس با افزایش مقدار شماره منحنی، با کاهش زمان تمرکز همراه می‌گردد. همه این عوامل نشان‌دهنده اثر تغییرات شماره منحنی بر زمان تمرکز است. از آنجا که پارامتر شماره منحنی تا حدود زیادی قابل کنترل است، می‌تواند به عنوان یک پارامتر مؤثر در زمینه افزایش زمان تمرکز و کاهش سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر کاهش شیب هم می‌تواند اثر مهمی بر روی افزایش زمان تمرکز داشته باشد و تأثیر هم‌زمان دو عامل شیب و شماره منحنی تأثیر فزاینده‌ای بر زمان تمرکز خواهد داشت. بنابراین اثر هم‌زمان این دو پارامتر بر روی توزیع زمانی هیدروگراف و مقدار دبی اوج مؤثر است.

علت آنکه پارامترهای وابسته به هم مثل شماره منحنی (CN) و تلفات حوزه (S) در رابطه SCS و ضریب گردی حوزه و مساحت در رابطه برانسلی- ویلیامز از لحاظ اهمیت بر خروجی مانند یکدیگر عمل می‌کنند این است که این پارامترها در هر رابطه به یکدیگر وابسته‌اند. مثلاً افزایش شماره منحنی با کاهش ذخیره بارش همراه است. چنانچه ثابت ماندن یکی و تغییر دادن پارامتر دیگر خارج از منطق رابطه‌های مذکور هستند. به همین دلیل تأثیر این پارامترها بر خروجی یکسان است.

همان‌طور که از نتایج پیداست روش آنالیز حساسیت ارائه شده در این مقاله اولویت پارامترها را به صورت گرافیکی نمایش می‌دهد. البته با اجرای عملیات درون‌یابی نیز می‌توان محل دقیق تغییر تقدم و اولویت ورودی‌ها را محاسبه نمود. این روش شرایط عدم یکنواختی (غیرخطی بودن) را نیز در نظر می‌گیرد همچنین این روش مبنای آماری نداشته، بر اساس سطوح معنی‌داری تغییرات تصمیم‌گیری نمی‌کند، بلکه مبنای ریاضی داشته و تغییرات پیوسته در خروجی مدل را دنبال می‌کند. روش ارائه شده، قابلیت استفاده در آنالیز حساسیت شرطی (شرایط خاص) را نیز داراست و در یک حوزه آبخیز واقعی نیز می‌توان مهمترین پارامتر یا پارامترهای مؤثر بر افزایش یا کاهش زمان تمرکز مشخص نمود و اقدامات آبخیزداری را در جهت مؤثرتری هدایت نمود. به عبارت دیگر تلاش‌ها و هزینه‌ها را در کنترل یا تعدیل پارامترهای

- Merz, J.F., M.J. Small & P.S. Fischbeck (1992). Measuring decision sensitivity: A combined Monte Carlo-logistic regression approach, *Medical Decision Making*, 12(3):189-196.
- Saltelli A., K. Chan, and M. Scott, Eds. (2000). *Sensitivity Analysis, Probability and Statistics Series*. John Wiley & Sons: New York, NY.
- Xing Fang David B. Thompson, Theodore G. Cleveland, & Pratistha Pradhan (2007). Variations of Time of Concentration Estimates Using NRCS Velocity Method. *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 133(4): 314-322.
- Ascough II, J.C., T.R. Green, L. Ma, & L.R. Ahjua (2005). Key Criteria and Selection of Sensitivity Analysis Methods Applied to Natural Resource Models, USDA-ARS, Great Plains Systems Research Unit, Fort Collins, CO 80526.
- Critchfield, G.C. & K.E. Willard (1986). Probabilistic analysis of decision trees using Monte Carlo simulation, *Medical Decision Making*, 6(1):85-92.
- © 2003 LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd. Time of Concentration Calculator. Available in: <http://www.lmnoeng.com/Hydrology/TimeConc.htm>.
- Frey, H.C. & R. Patil (2002). Identification and review of sensitivity analysis methods, *Risk. Analysis*, 22(3):553-577.

## Sensitivity analysis of some equation for estimation of time of concentration in watersheds

### Researchers & writers:

- 1- M. R. Kousari, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, I. R. Iran  
[mohammad\\_kousari@yahoo.com](mailto:mohammad_kousari@yahoo.com)
- 2- M. A. Saremi Naeini, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, I. R. Iran
- 3- M. Tazeh, Department of Natural Resources Management, University of Tehran, I. R. Iran
- 4- M. R. Frozeh, Faculty of Natural Resources Management, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources Management, I. R. Iran

Received: 15 Jun 2010

Accepted: 11 Nov 2010

### Abstract

Estimation of time of concentration have important and considerable role in physiographic and hydrologic studies of watersheds. Especially it affects on estimation of peak discharge in hydrological studies of watersheds. However there are many various equations for computation of time of concentration, they have not been analyzed by sensitivity analysis. So, in this study, beside of introduction of new straightforward method for sensitivity analysis of simple equations, four common applicable time of concentration in Iran, e.g. kirpich, California, Bransly Williams and SCS, have been surveyed by sensitivity analysis. Results show that the very low changes in the slope amounts, especially in low slope reaches, have considerable effect on time of concentration. While, with increasing in the slope of stream, the effect of stream length or CN (curve number) parameters is increased on the output. In the other hand, the effect of circularity coefficient on time of concentration is not so considerable. Generally the results show that the measuring or estimation of stream slope and length and also curve number need to more attention and correction rather than area or circular coefficient of watersheds.

Keywords: sensitivity analysis, stream length, stream slope, time of concentration, watershed.