



مقدمه

در میان مدل‌های متنوع موجود در بخش‌های مختلف علوم و مهندسی آب، مدل‌های مربوط به بخش آشناختی از تنوع و کثرت بیشتری برخوردار بوده و با نگاهی دقیق‌تر می‌توان دریافت که سایر کارها و مدل‌ها، از جمله مدل‌های فرسایش و رسوب و طراحی سازه، پهنه‌بندی خطر و آمایش سرزمین و... به نحوی از مدل‌های این بخش تاثیر پذیرفته‌اند. جالب‌تر آنکه بسیاری از مدل‌های ساده گذشته در قالب زیر بخش‌ها، اکنون به عنوان زیربنای مدل‌های گسترده و کامل امروزی هستند. شاید یکی از متداول‌ترین این مدل‌های ساده، ولی پرکاربرد، روش شماره منحنی (CN) باشد که برای برآورد ارتفاع رواناب و تهیه آبنمود سیلاب و محاسبه عامل‌های اساسی مورد نیاز مانند دبی اوج، زمان تا اوج، زمان تاخیر، زمان پایه سیلاب، شیب شاخه صعودی و نزولی آبنمود سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. سادگی کاربرد و در دسترس بودن ورودی‌های مدل و ارائه خروجی‌های متعدد فوق‌الذکر، می‌تواند دلیل این امر باشد. همچنین دبی جریانی که با استفاده از روش شماره منحنی استخراج می‌شود به عنوان یک عامل ورودی در برخی از مدل‌های دقیق هیدرولیکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد گسترده روش CN اهمیت توجه به بررسی صحت و دقت این مدل را افزایش می‌دهد.

مدل شماره منحنی نیز مانند هر مدل دیگری، نیاز به ورودی برای رسیدن به خروجی‌های مورد نظر دارد. میزان بارش، مساحت حوزه، زمان تمرکز، شماره منحنی، از جمله مهم‌ترین عامل‌های ورودی مورد نیاز این مدل به حساب می‌آیند. اما سوال اصلی اینجاست که کدام یک از این عامل‌ها، اهمیت بیشتری بر خروجی مدل دارند و یا اینکه اولویت تاثیر عامل‌ها در شرایط مختلف بر خروجی مدل چگونه است. تجزیه و تحلیل حساسیت هر مدل نشان‌دهنده اهمیت و اولویت عامل‌ها و در واقع واکنش مدل نسبت به شرایط مصنوعی (ساختگی) مختلف است. همچنین تجزیه و تحلیل حساسیت هر مدل در شرایط خاص و مقایسه آن با شرایط واقعی، راهی مطمئن برای تعیین کارایی مدل و پی بردن به شرایط حساس (شرایطی که مدل در آن نامطمئن عمل می‌نماید) و یا حتی واسنجی مدل با شرایط واقعی می‌باشد. اهمیت تجزیه و تحلیل حساسیت در کارهای پژوهشی و اختصاص نیروهای انسانی، منابع مالی و زمان به عامل‌های مهم و اثرگذار بر خروجی مدل، بیشتر جلوه می‌نماید.

تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نسبی اهمیت عوامل موثر بر دبی اوج در روش شماره منحنی

حسین ملکی نژاد^۱ و محمدرضا کوثری^۲

تاریخ دریافت: ۸۷/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

چکیده

روش شماره منحنی یکی از پرکاربردترین روش‌های برآورد رواناب و دبی اوج در حوزه‌های آبخیز است. می‌توان گفت که ارتفاع رواناب و در نتیجه دبی اوج مهمترین خروجی این مدل به شمار می‌روند. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل حساسیت مدل SCS و تعیین واکنش آن نسبت به تغییر در ورودی‌های مدل، اهمیت نسبی پنج عامل شماره منحنی، زمان تمرکز، مساحت حوزه، بارش در دوره بازگشت‌های معین و در نهایت ضریب α بر دبی اوج مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل حساسیت این مدل با نوشتن برنامه رایانه‌ای در محیط نرم افزار MATLAB انجام شد. نتایج نشان داد که شماره منحنی نسبت به سایر عوامل بیش‌ترین تاثیر را بر خروجی مدل یعنی دبی اوج در دوره بازگشت‌های متفاوت دارد. هر چند که مقدار بارش نیز تاثیر زیادی بر دبی اوج دارد و شدت این تاثیر با افزایش شماره منحنی بیشتر می‌شود. همچنین حساسیت مدل در خروجی‌ها با افزایش دوره بازگشت، بیشتر می‌شود. علاوه بر تجزیه و تحلیل حساسیت مدل SCS به صورت کلی، برنامه مذکور قابلیت اولویت‌بندی اهمیت این ورودی‌ها برای شرایط یک حوزه آبخیز خاص را نیز دارد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل حساسیت، دبی اوج، دوره بازگشت، روش شماره منحنی و SCS.

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

۲- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد

می‌گیرد که بر اساس تغییرات پیوسته در متغیرهای ورودی، تغییرات پیوسته در خروجی مدل به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود و عملکرد قابل قبولی به ویژه برای روابط ساده تجربی ارائه می‌دهد. به هر حال طبقه‌بندی‌های متنوع از جنبه‌های گوناگون در مورد روش‌های تجزیه و تحلیل حساسیت ارائه شده است که هر روشی از جنبه‌های مختلف ممکن است در طبقه‌بندی خاصی قرار گیرد.

تاکنون علی‌رغم اهمیت و کاربرد مدل SCS، توجه جدی به تجزیه و تحلیل حساسیت این مدل نشده است. خسروشاهی [۲] در تعیین نقش زیرحوزه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی در حوزه دماوند با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS به بررسی اثر CN و شیب حوزه بر سیل خیزی پرداخت و CN را عامل حساس و تاثیر گذار بر خروجی دبی معرفی نمود. آورند و همکاران [۱] به بررسی و تجزیه و تحلیل حساسیت مدل HEC-1 پرداخته‌اند و در درجه اول عامل شماره منحنی و سپس نگهداشت اولیه را به عنوان حساس‌ترین عامل پیشنهاد کرده‌اند، در حالی که مدل به زمان تمرکز، زمان ذخیره و زمان تاخیر حساس نبوده است. شیران [۳] نیز با بررسی و تجزیه و تحلیل حساسیت مدل HEC-HMS، شماره منحنی را به عنوان عامل مهم و تاثیر گذار بر روی دبی اوج معرفی نموده است. براس و موتاناری نیز عامل نفوذ را به عنوان یک عامل مهم در کاهش دبی اوج معرفی نموده‌اند [۶]. حسن محمد و همکاران [۹] نیز در ارزیابی مدل AGNPS، عامل CN را به عنوان حساس‌ترین عامل در برآورد رواناب و دبی اوج توسط این مدل، معرفی نموده‌اند. در این پژوهش سعی بر آن است تا با تجزیه و تحلیل حساسیت این مدل، اولویت عامل‌های موثر بر خروجی مدل (در اینجا دبی اوج) نسبت به شرایط مختلف مشخص گردد. برنامه رایانه‌ای ارائه شده در پژوهش، قابلیت استفاده برای شرایط مختلف را دارا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- تعیین روندنما و نمودار جریان‌ی مدل SCS

برای تجزیه و تحلیل حساسیت مدل SCS، روندنمای برآورد دبی اوج با توجه به دوره بازگشت‌های [۴] معین مطابق با نمودار جریان‌ی مدل SCS (نمودار (۱)) در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته شد.

شماره منحنی، مساحت حوزه، زمان تمرکز و بارش در دوره بازگشت‌های معین (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ سال) به عنوان ورودی‌های این مدل در نظر گرفته شدند. همچنین با توجه به اینکه در روش‌هایی مثل آبنمود واحد مصنوعی انتخاب زمان اولیه آبنمود (D) بر دبی‌های برآورد شده تاثیر می‌گذارد، بنابراین جهت تعیین اثر ضریب α ، $(D=\alpha.Tc)$ ، در تعیین زمان بارش موثر حوزه، این عامل نیز به همراه ۴ عامل فوق به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد.

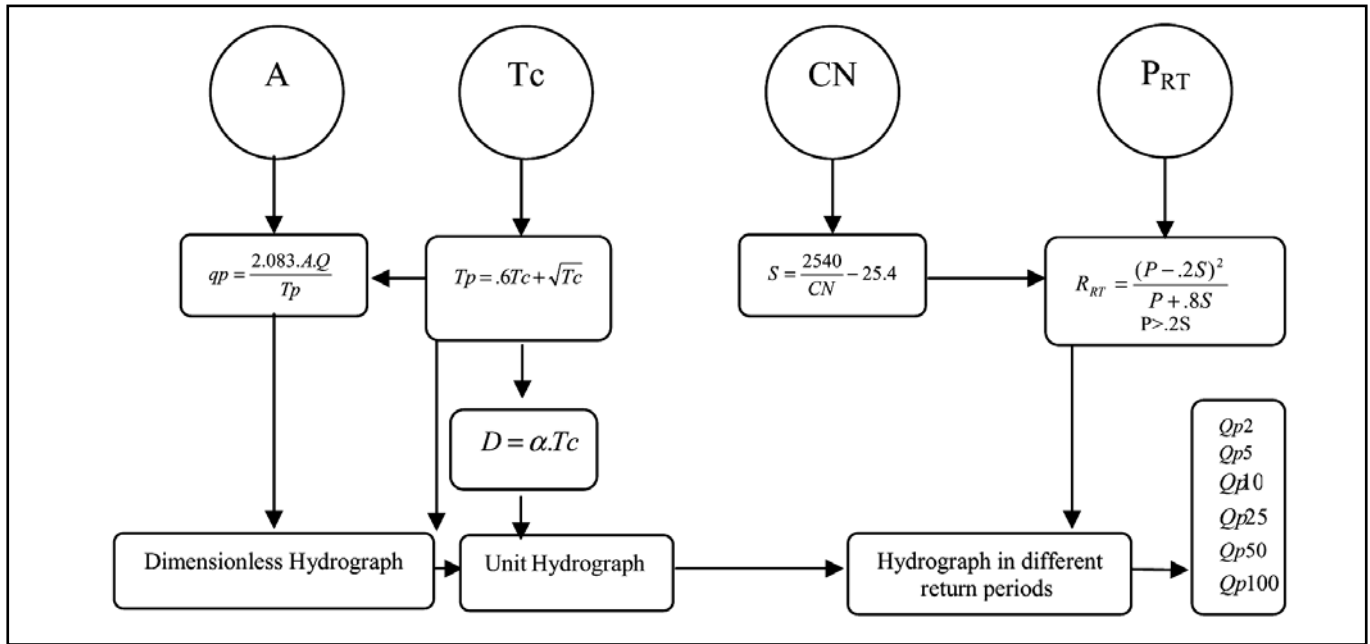
روش‌های متنوع و گوناگونی برای تجزیه و تحلیل حساسیت ارائه شده است که موجب طبقه‌بندی این روش‌ها از جهات مختلف شده است. طبقه‌بندی از نظر روش‌های آماری، ریاضی و گرافیکی یکی از تقسیم‌بندی‌های کلی به حساب می‌آید [۸]. از مهمترین و پرکاربردترین روش‌های تجزیه و تحلیل حساسیت در منابع طبیعی می‌توان ۴ روش FAST^۱، RSM^۲، MII^۳ و روش‌های Sobol اشاره نمود [۵].

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 [۱۱]. هدف روش‌های RSM ساده‌تر نمودن تجزیه و تحلیل حساسیت مدل‌های بزرگ و پیچیده همراه با صرفه‌جویی در زمان است. این روش هم برای ساختارهای خطی و هم ساختارهای غیرخطی کاربرد دارد. فن مونت کارلو در این نوع تجزیه و تحلیل حساسیت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۵]. روش MII بر اساس تجزیه و تحلیل حساسیت شرطی^۴ (شرایط خاص) و بیشتر برای مدل‌هایی با خروجی‌های دوبخشی^۵ (گسسته) کاربرد دارد [۷]. 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. تجزیه و تحلیل حساسیت به این روش نیازمند تکرار آزمون مونت کارلو به دفعات زیاد است که استفاده از آن را با مشکل روبرو می‌سازد [۱۰].

روش‌های Sobol جزء روش‌های کلی بر مبنای واریانس و همچنین نمایه‌های کلی حساسیت^۶ است که این نمایه بیانگر تمامی روابط درونی متغیرهای مدل است. برای مثال اگر ۳ متغیر a و b و c وجود داشته باشد، TSI یا نمایه کل حساسیت متغیر a برابر است با $S(a) + S(ab) + S(abc)$ بیانگر نمایه حساسیت a و $S(ab)$ نمایند رابطه درونی (اینتراکشن) بین a و b و $S(abc)$ نمایند رابطه درونی بین a، b و c است. این روش نیازمند محاسبات پیچیده و زیاد است. گفتنی است هر چهار روش فوق‌الذکر مبنای آماری دارند [۵].

در این مقاله علاوه بر شناخت بهتر تاثیر عامل‌های موجود در روش برآورد آبنمود SCS، روشی ساده و کارآمد به منظور تجزیه و تحلیل حساسیت روابط تجربی ارائه شده در رشته‌های مختلف به ویژه منابع طبیعی و کشاورزی ارائه می‌گردد و امکان استفاده مناسب تر آن‌ها را برای کارشناس فراهم می‌آورد. روش ارائه شده تقریباً به نوعی در طبقه‌بندی روش‌های ریاضی-نمایشی قرار

- 1- Fourier Amplitude Sensitivity Test
- 2- Response Surface Method
- 3- Mutual Information Index
- 4- Analysis conditional
- 5- Dichotomous outputs
- 6- Total Sensitivity Indices (TSI)



نمودار ۱- روند تعیین دبی اوج در دوره بازگشت معین با استفاده از روش SCS

وقوع بارش ۲۴ ساعته در دوره بازگشت ۲ سال برابر با ۱۰۰ میلیمتر، با احتمال کمی همراه است. جدول (۱)، دامنه تغییرات، میانگین و گام حرکت مربوط به هر عامل ورودی را در چهار ترکیب مورد نظر نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود همگنی داده ها بیشتر مربوط به مساحت و زمان تمرکز حوزه است. همچنین جدول (۲) نیز دامنه تغییرات مقدار بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت معین همراه با میانگین و گام تغییرات را نشان می دهد. دلیل وجود گام تغییرات در ادامه بررسی می شود.

۳- اجرای برنامه

در این مرحله با توجه به شرایط تعیین شده مطابق با جدول های (۱) و (۲) و بر اساس نمودار جریان شکل (۱)، یک عامل ورودی در قالب یک حلقه در محدوده دامنه تعریف شده با توجه به گام

۲- تعیین مقادیر ورودی ها

مقادیر ورودی ها در تجزیه و تحلیل حساسیت، طبق شرایط مصنوعی (غیر حقیقی) تعیین می گردد. به عبارت بهتر تجزیه و تحلیل حساسیت تاثیر دامنه تغییرات هر ورودی را بر خروجی مدل مورد بررسی قرار می دهد. بدین منظور دامنه تغییرات هر ورودی تعیین گردید. از آن جا که مدل SCS محدوده وسیعی از داده های فوق را پشتیبانی می کند، برای دریافت نتیجه قابل قبول و منطقی از مدل، چهار حالت (ترکیب) برای عامل های ورودی در نظر گرفته شد. به طوری که دامنه تغییرات عامل ها و میانگین این دامنه تغییرات با هم هماهنگ باشند و یکدیگر را نقض نکنند. عامل بارش در دوره بازگشت های مختلف نیز بایستی در حد معقول و منطقی باشد. به عنوان مثال در بسیاری از مناطق ایران

جدول ۱- جدول تعیین دامنه تغییرات و گام تکرار عامل های ورودی مدل (مساحت، زمان تمرکز، شماره منحنی، ضریب α)

ترکیب	مساحت (کیلومتر مربع)	میانگین و گام تکرار	زمان تمرکز (ساعت)	میانگین و گام تکرار	شماره منحنی (CN)	میانگین و گام تکرار	ضریب α	میانگین و گام تکرار
ترکیب ۱	۱-۱۰	۵/۵	۰/۲۵-۱	۰/۶۲۵	۶۰-۹۰	۷۵	.۱۳۳-.۱۵	۰/۱۴۱۵
		۰/۱		۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۱
ترکیب ۲	۱۰-۳۰	۲۰	۱-۳	۲	۶۰-۹۰	۷۵	.۱۳۳-.۱۵	۰/۱۴۱۵
		۰/۱		۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۱
ترکیب ۳	۳۰-۶۰	۴۵	۳-۶	۴/۵	۶۰-۹۰	۷۵	.۱۳۳-.۱۵	۰/۱۴۱۵
		۰/۱		۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۱
ترکیب ۴	۶۰-۱۰۰	۸۰	۶-۱۰	۸	۶۰-۹۰	۷۵	.۱۳۳-.۱۵	۰/۱۴۱۵
		۰/۱		۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۱

جدول ۲- جدول تعیین دامنه تغییرات و گام تکرار عامل بارش

گام تکرار	میانگین	بارش (سانتی متر)	دوره بازگشت
۰/۰۰۱	۰/۳۵	۰/۲-۰/۵	۲
۰/۱	۰/۷۵	۰/۵-۱	۵
۰/۱	۱/۵	۱-۲	۱۰
۰/۱	۳	۲-۴	۲۵
۰/۱	۴/۵	۳-۶	۵۰
۰/۱	۷/۵	۵-۱۰	۱۰۰

در این رابطه x_i ، متغیر نام عامل ورودی، \bar{x} و Std، به ترتیب میانگین و انحراف معیار ورودی مورد نظر می باشند.

۵- نمایش و کنترل تغییرات

بعد از اتمام مراحل فوق، دبی های اوج بدست آمده از تغییرات هر عامل نسبت به ورودی های استاندارد شده آن عامل، بر روی یک نمودار به نمایش در می آیند، به طوری که محور yها مربوط به دبی ها با دوره بازگشت معین و محور xها مربوط به داده های استاندارد شده هستند. در نمودارهای ۲، ۳، ۴ و ۵ برای چهار ترکیب مورد نظر، تغییرات دبی اوج نسبت به عامل های ورودی (در حالت بدون بعد شده) آورده شده است.

هر یک از دسته نمودارهای مشاهده شده در این شکل ها، مربوط به یک دوره بازگشت می باشند. چنانچه، بالاترین دسته، مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰ سال است. به علت اعمال شرط $P < 0.2s$ (نمودار (۱)) در دوره بازگشت های کمتر که مقدار بارش کمتر از ۰/۲ تلفات اولیه است، دبی خروجی برابر با صفر می گردد. صفر شدن دبی باعث می شود که در دوره بازگشت های پایین، دسته منحنی وجود نداشته باشد.

نمودارهای (۲)، (۳)، (۴) و (۵) برای نشان دادن اهمیت و اولویت عامل های اولیه کافی نیستند و فقط یک مقایسه کلی در مورد اهمیت تاثیر این عامل ها نشان می دهند، به نحوی که هر منحنی که شیب بیشتری داشته باشد، تاثیر بیشتری بر خروجی مدل (دبی اوج) دارد. این در صورتی است که تاثیر تغییر عامل ها مانند زمان تمرکز دارای شیب منفی است و یا اثر تغییرات زمان تمرکز و یا عامل شماره منحنی به صورت خطی نیستند و در هر مرحله شیبی متفاوت دارند و تمایز شیب های نزدیک به هم نیز در این نمودارها تا حدودی مشکل است. برای رفع این مشکل، باید هر یک از این منحنی ها به قطعات مختلفی تقسیم کرد و شیب های جزئی آن ها را با یکدیگر مقایسه نمود. درست مانند هنگامی که شیب یک آبراهه، در بازه های مختلف آن مقایسه شود. نمودار (۶)، نحوه تعیین شیب ها را به صورت شماتیک نشان می دهد. اگر فرض شود که خط راست و منحنی که در این شکل مشاهده می شود نماینده تغییرات خروجی یک مدل در مقابل تغییرات دو

تغییرات آن، تغییر می کند، در حالی که سایر عامل ها در میانگین خود ثابت نگه داشته می شوند. در هر مرحله اجرا، ۶ دبی اوج با توجه به دوره بازگشت های معین به عنوان خروجی در یک ماتریس ذخیره خواهند شد. یک مثال عددی برای درک فرآیند فوق الذکر ارائه می گردد. برای مثال اثر تغییرات شماره منحنی بر دبی در دوره بازگشت های معین مورد نظر است. در این حالت در مرحله اول، شماره منحنی برابر با ۶۰ (حد پایین) در قالب یک حلقه وارد روندنما برآورد دبی اوج (مطابق با نمودار ۱) می شود، در صورتی سایر عامل ها در مقدار میانگین خود ثابت نگه داشته می شوند. در انتهای حلقه، ۶ دبی در دوره بازگشت های تعریف شده به دست خواهند آمد که در یک ماتریس ذخیره می شوند. در شروع مجدد حلقه، به اندازه گام تغییرات شماره منحنی (که در اینجا برابر با ۰/۱ است) به شماره منحنی قبلی اضافه می شود و شماره منحنی برابر با ۶۰/۱ مجدداً وارد حلقه می شود. در صورتی که در مقادیر سایر عامل ها تغییری صورت نمی پذیرد. به همین ترتیب حلقه آنقدر ادامه می یابد تا به حد بالای دامنه تغییرات CN یعنی ۹۰ برسد. برای سایر عامل ها نیز به همین صورت انجام می شود.

۴- استاندارد کردن داده های ورودی

مشکلی که اکثر اوقات در تجزیه و تحلیل حساسیت وجود دارد عدم یکسان بودن واحد یا بعد عاملهای ورودی است. برای مثال در این پژوهش واحد مساحت کیلومتر مربع، زمان تمرکز به ساعت، بارش به سانتی متر، و دو عامل ضریب α و CN بدون بعد می باشند. این مشکل هنگام نمایش تغییرات این عامل ها بر روی یک نمودار، نمایان خواهد شد. چرا که بایستی اثر تغییرات عامل های ورودی بر تغییرات دبی، بر روی یک محور نمایش داده شوند. همچنین برای تعیین و مقایسه تغییرات شیب عامل های مورد مطالعه نیز ایجاد اشکال می کند. بدین منظور همه داده های ورودی با استفاده از رابطه (۱) یعنی تابع Zscore به صورت استاندارد درآمدند.

(۱)

$$n = \frac{[X_i - \bar{X}]}{\text{Std}}$$

بازگشت‌های مربوط به ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به صورت کامل می‌باشد.

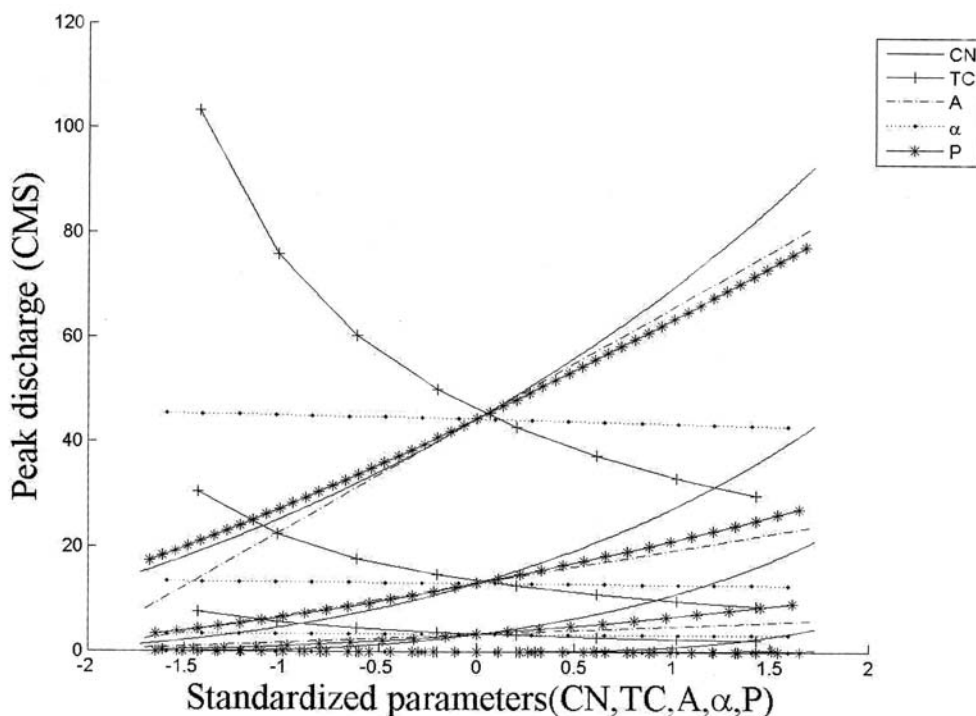
کلاً، در هر مرحله اجرای برنامه تجزیه و تحلیل حساسیت، برای هر ترکیب، ۷ نمودار تولید می‌شود. نمودار اول نماینده تغییرات دبی در برابر ورودی‌های استاندارد شده در تمام دوره بازگشت‌ها است و نمودارهای بعدی نشان‌دهنده تغییرات شیب دبی در رابطه با ورودی‌های استاندارد شده و اولویت‌ها ورودی بر دبی خروجی است. از آنجا که در ۶ نمودار اخیر، شیب هر یک از منحنی‌ها در هر دسته منحنی مربوط به دوره بازگشت معین مورد مورد بررسی قرار می‌گیرد، هر عامل که اهمیت بیشتری بر خروجی مدل داشته باشد، دارای شیب بیشتر و در نتیجه بالاتر از بقیه ظاهر می‌گردد.

نتایج

با نگاهی به نمودارهای (۲) تا (۵) می‌توان تا حد زیادی به تاثیر تغییرات عامل‌های مورد بررسی بر خروجی مدل (دبی اوج) پی برد. مثلاً از نمودار (۲) می‌توان پی برد که عامل زمان تمرکز به ویژه در مواقعی که مقدار آن کم است، به شدت بر دبی اوج تاثیرگذار است و اثر آن در دوره بازگشت‌های بالا بیشتر می‌شود. این موضوع را می‌توان از شیب زیاد منحنی‌های مربوط به زمان

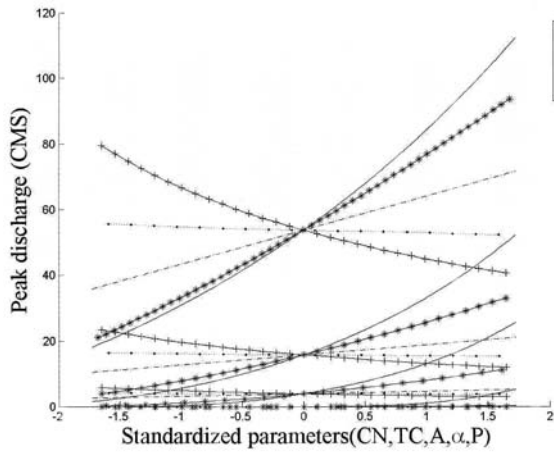
عامل تاثیرگذار بر مدل مورد نظر باشد، مطابق با این شکل، شیب خط راست در ابتدای محور Xها بیشتر است، در صورتی که در انتهای محور Xها شیب منحنی از شیب خط راست بیشتر می‌شود و اهمیت عامل مربوط به این منحنی از لحاظ اهمیت بر خروجی مدل برتری می‌یابد. حال اگر شیب‌های جزئی به دست آمده در هر بازه را در محور مختصات دیگری در برابر همین بازه‌های محور Xها به نمایش درآید، به صورت بصری می‌توان اهمیت عوامل مورد نظر بر خروجی مدل را مشاهده نمود. آنچه در نمودارهای شماره (۷) تا (۹) و (۱۰) تا (۱۲) مشاهده می‌شود، از همین طریق به دست آمده‌اند.

در این حالت، اهمیت عامل‌های ورودی به اضافه ضریب تصحیح α در هر یک از دسته نمودارها که مربوط به یک دوره بازگشت مشخص می‌باشد، در یک شکل مجزا به نمایش در می‌آید. شکل‌های (۷) تا (۹) و (۱۰) تا (۱۲) به ترتیب نشان‌دهنده بزرگی شیب تغییرات دبی در رابطه با عامل‌های استاندارد شده ورودی در حالت ترکیب ۱ و ۴ است. هر شکل نماینده این تغییرات در یک دوره بازگشت معین است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دوره بازگشت ۲ سال شیب کلیه عامل‌ها برابر با صفر است. در دوره بازگشت‌های ۵ سال و ۱۰ سال نیز منحنی‌ها به صورت ناکامل ظاهر می‌گردند و نمودارها با دوره

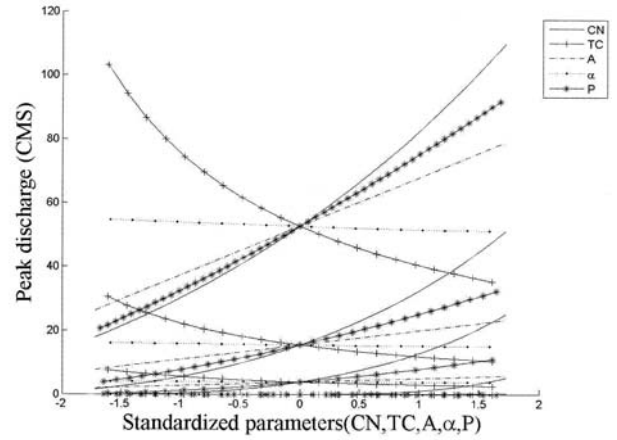


نمودار ۲- تغییرات دبی در برابر تغییرات عامل‌های ورودی در حالت ترکیب ۱

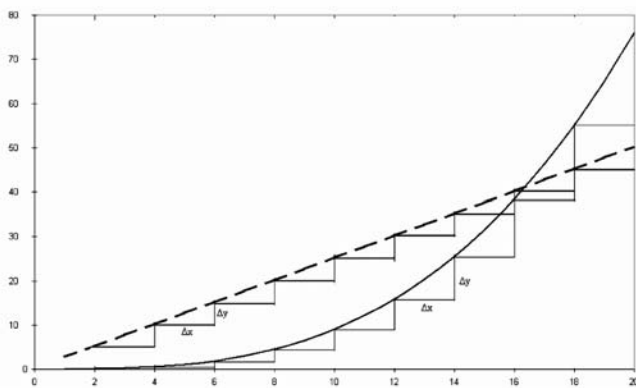
۱- در رابطه با بررسی شیب‌های جزئی، عامل‌هایی که رابطه معکوس بر خروجی مدل دارند، قدر مطلق شیب‌های جزئی آن‌ها با سایر شیب‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد.



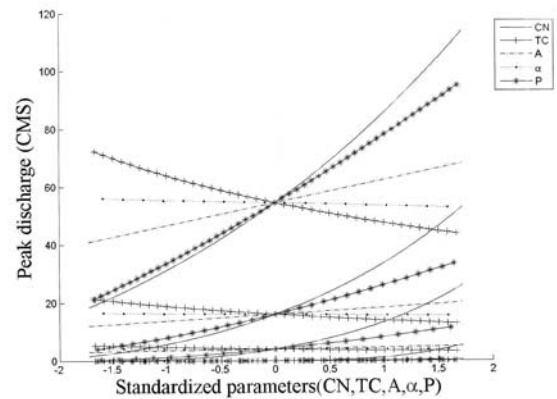
نمودار ۲ - تغییرات دبی در برابر تغییرات عامل های ورودی در حالت ترکیب ۳



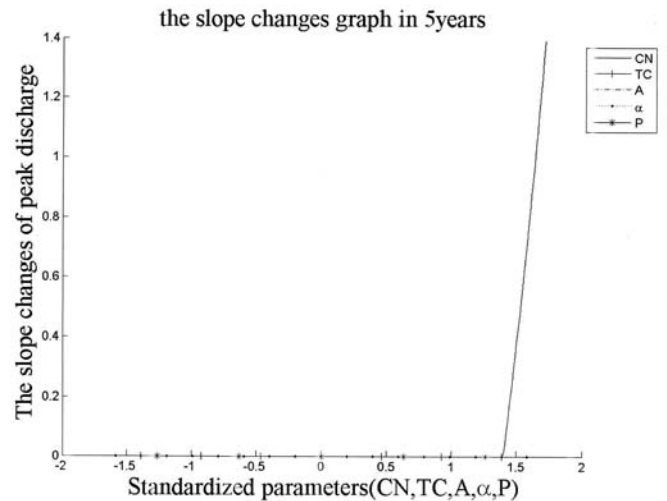
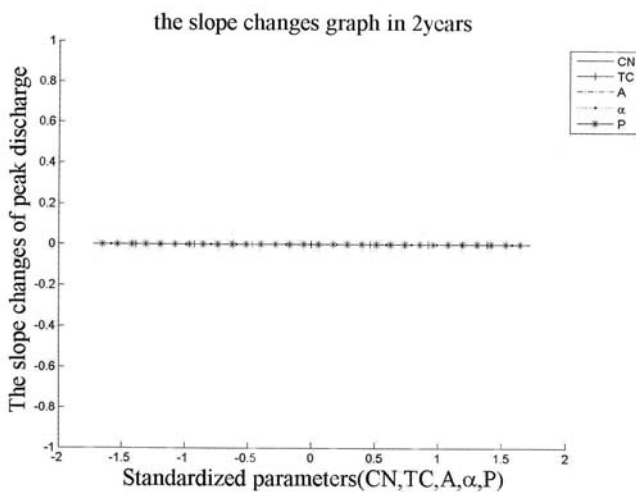
نمودار ۳ - تغییرات دبی در برابر تغییرات عامل های ورودی در حالت ترکیب ۲



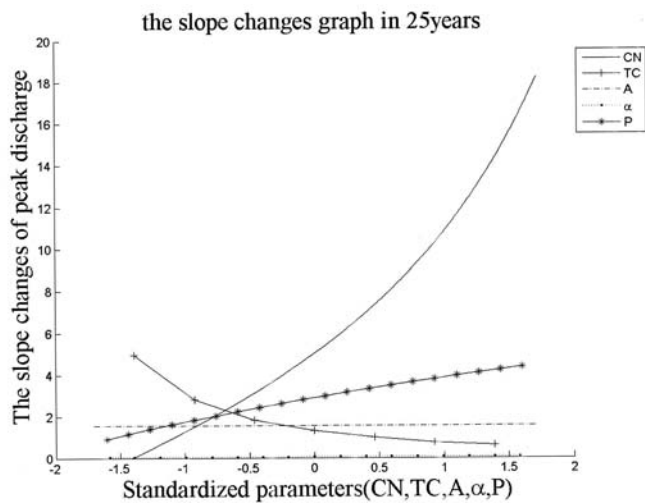
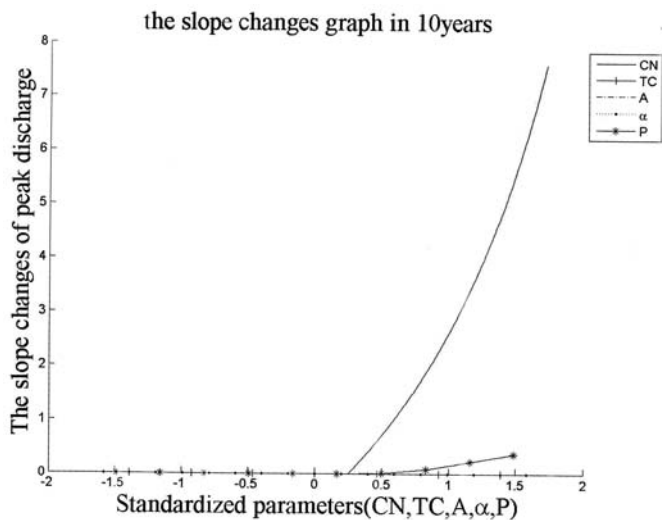
نمودار ۶ - شکل شماتیک نحوه تعیین شیب منحنی ها در قسمت های مختلف هر منحنی



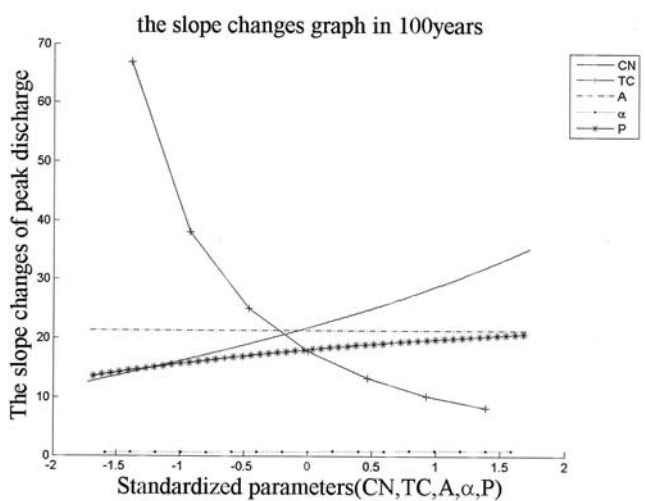
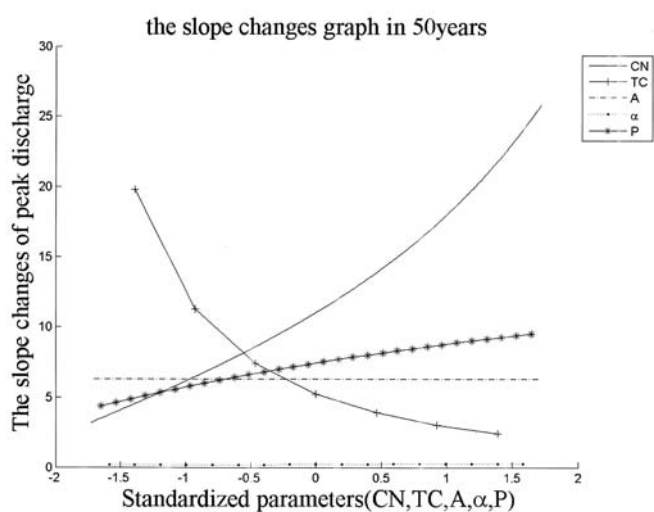
نمودار ۴ - تغییرات دبی در برابر تغییرات عامل های ورودی در حالت ترکیب ۴



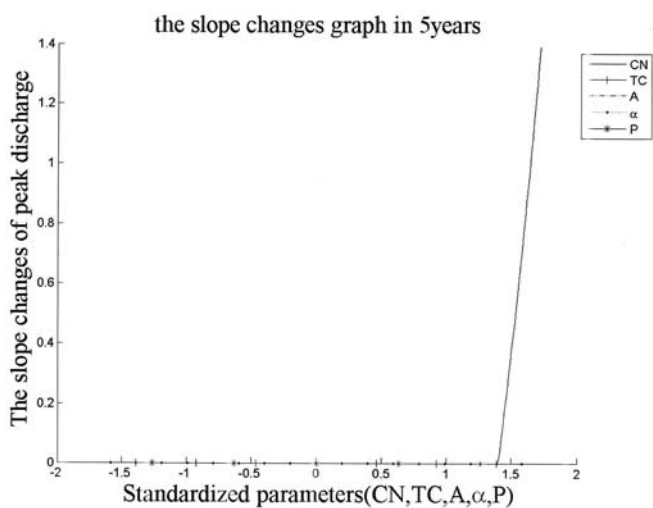
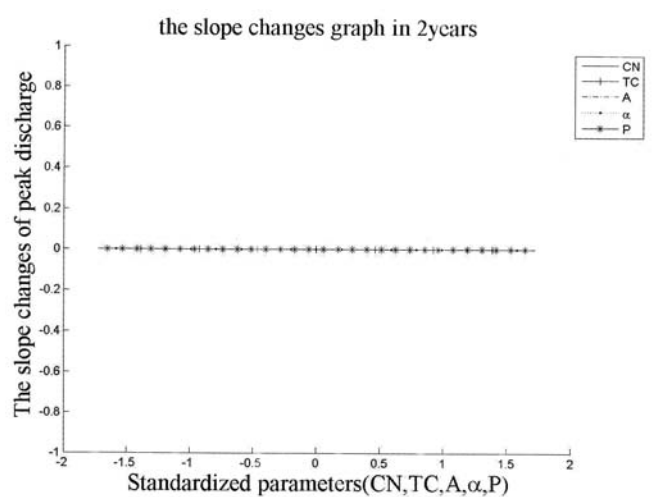
نمودار ۷ - تغییرات شیب دبی و اولویت عامل های مورد بررسی در دوره بازگشت ۲ سال و ۵ سال در حالت ترکیب ۱



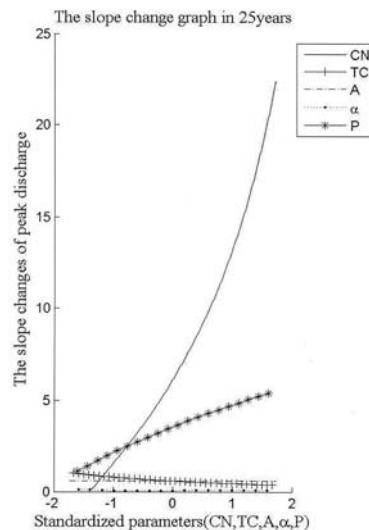
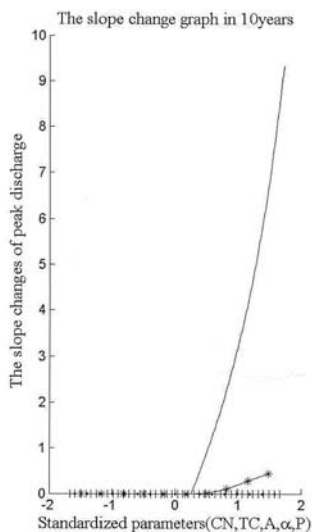
نمودار ۸- تغییرات شیب دبی و اولویت عامل های مورد بررسی در دوره بازگشت ۱۰ سال و ۲۵ سال در حالت ترکیب ۱



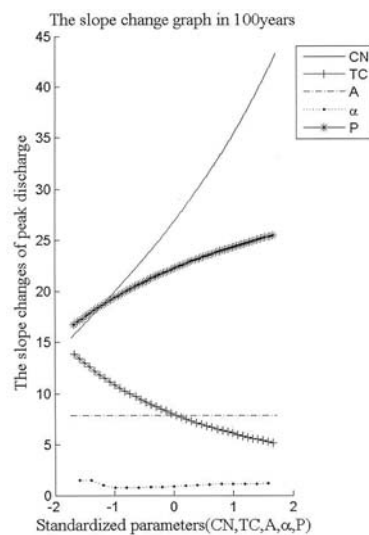
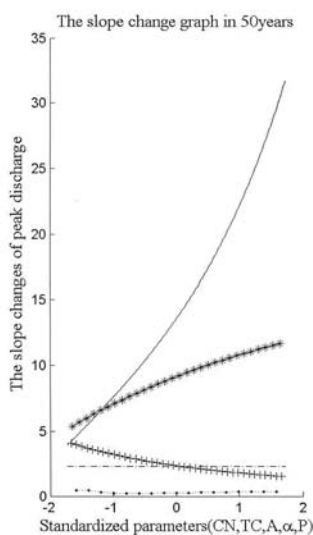
نمودار ۹- تغییرات شیب دبی و اولویت عامل های مورد بررسی در دوره بازگشت ۵۰ سال و ۱۰۰ سال در حالت ترکیب ۱



نمودار ۱۰- تغییرات شیب دبی و اولویت عامل های مورد بررسی در دوره بازگشت ۲ سال و ۵ سال در حالت ترکیب ۴



نمودار ۱۱ - تغییرات شیب دبی و اولویت عامل‌های مورد بررسی در دوره بازگشت ۱۰ سال و ۲۵ سال در حالت ترکیب ۴



نمودار ۱۲ - تغییرات شیب دبی و اولویت عامل‌های مورد بررسی در دوره بازگشت ۵۰ سال و ۱۰۰ سال در حالت ترکیب ۴

بررسی هر یک از این ترکیب‌ها در دوره بازگشت‌های متفاوت و تحلیل شیب تغییرات منحنی‌های مربوط به هر عامل، نتایج دقیق‌تری را به ما می‌دهد. برای مثال نمودار ۹ نشان‌دهنده تغییرات شیب هر یک از عامل‌ها در دوره بازگشت ۱۰۰ سال در حالت ترکیب ۱ (یعنی حوزه‌های کوچک با زمان تمرکز کم) است. محور γ ‌ها را در این نمودار، شیب تغییرات دبی بر حسب ورودی مشخص (عامل‌های ورودی) تشکیل می‌دهد و بنابراین شیب هر عاملی که بیشتر باشد، در منطقه بالاتری نسبت به بقیه قرار می‌گیرد و نقاط برخورد خطوط (منحنی‌ها) با یکدیگر، نشان‌دهنده نقطه‌ای است که اولویت تاثیر عامل‌ها بر خروجی (دبی اوج) تغییر می‌یابد. از نمودار (۹) می‌توان دریافت که حساسیت مدل به عامل زمان تمرکز، به ویژه در زمان تمرکزهای کوتاه بسیار زیاد است، بعد از زمان تمرکز، عامل مساحت حوزه (در یک بازه کوتاه) که بعد از آن منحنی مربوط به مساحت حوزه، توسط منحنی مربوط به شماره منحنی قطع شده و اولویت با عامل شماره منحنی می‌شود. پس می‌تواند نشان‌دهنده این امر باشد که با

تمرکز (به ویژه در ناحیه ۲ محور مختصات) دریافت نمود. به عبارتی حساسیت مدل با کوتاه شدن زمان تمرکز افزایش می‌یابد. جالب آنکه با افزایش دوره بازگشت، شیب منحنی‌ها مربوط به یک عامل مشخص افزایش می‌یابد. همچنین فاصله بین دسته‌ها (که هر کدام مربوط به یک دوره بازگشت معین است) با افزایش زمان تمرکز افزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش دوره بازگشت، حساسیت مدل نسبت به این عامل افزایش می‌یابد. از نمودارهای (۲) تا (۵) می‌توان دریافت که دبی اوج با دو عامل زمان تمرکز و ضریب α رابطه معکوس داشته و با عامل‌های شماره منحنی، بارش و مساحت حوزه رابطه مستقیم دارد. نمودار (۲) مربوط به حوزه‌های کوچک است (ترکیب ۱)، در حالی که با افزایش مساحت یا زمان تمرکز، یعنی ترکیب‌های ۲ تا ۴ (نمودارهای ۳ تا ۵)، اهمیت تاثیر زمان تمرکز حتی در حدود پایین تعریف شده برای این ترکیب‌ها، کاهش یافته و نقش سایر عامل‌ها به ویژه شماره منحنی در حساسیت مدل افزایش می‌یابد.

افزایش مقدار عامل شماره منحنی، اهمیت و تاثیر این پارامتر در حوزه‌های کوچک (ترکیب ۱) افزایش می‌یابد. این در حالی است که ضریب α کم‌ترین اثر را بر دبی اوج، خروجی مدل دارد.

نمودارهای (۷) و (۱۰) مربوط به شیب تغییرات دبی بر حسب عامل‌های مورد بررسی در دوره بازگشت ۲ سال است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، یک خط راست با مقدار γ (مقدار دبی) برابر با صفر بیشتر وجود ندارد. علت عدم تفاوت در تاثیر بر خروجی‌ها در دوره بازگشت ۲ سال، به خاطر اعمال شرط $P > 0.2S$ در روند نمای مدل (نمودار شماره ۱) می‌باشد. این شرط به دلیل بالا بودن میانگین شماره منحنی در برابر میانگین بارش در دوره بازگشت ۲ سال و حتی دوره بازگشت‌های بالاتر ۵ و ۱۰ سال است که موجب صفر شدن مقدار رواناب و در نتیجه صفر شدن خروجی مدل می‌شود که تغییرات مقادیر برابر با صفر، نیز صفر خواهد شد. حال اگر نمودار شماره ۱۲ را که مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰ سال از ترکیب ۴ (حوزه‌های بزرگ با زمان تمرکز طولانی) مورد بررسی قرار گیرد، مشاهده می‌شود که تاثیر عامل بارش در ابتدا (از سمت چپ محور مختصات) نسبت به عامل زمان تمرکز بر خروجی مدل بیشتر است، اما در فاصله کوتاهی، این منحنی توسط منحنی CN قطع شده و حساسیت مدل نسبت به عامل شماره منحنی بیش از بقیه است. این در حالی است که عامل ضریب α اهمیت کمتری بر حساسیت مدل نسبت به سایر عامل‌ها دارد.

باید گفت که شرایط فوق‌الذکر که در قالب ۴ ترکیب ارائه شد، شرایطی کلی محسوب می‌گردند و ممکن است برای حالت یک حوزه با شرایط خاص نتایج تا حدودی متفاوت گردد. چنانچه در بررسی دیگری، نتایج نشان داد که با افزایش شماره منحنی، تاثیر و اولویت بارش بر دبی خروجی نسبت به شماره منحنی افزایش می‌یابد.

بحث

نتایج برنامه ارائه شده برای تجزیه و تحلیل حساسیت مدل SCS نشان می‌دهد که ترکیب عوامل مختلف بر دبی اوج، نقش زیادی بر مقدار این عامل دارد. چنانچه در حوزه‌ها، کم بودن زمان تمرکز نشانه‌ای از مساحت کم، پتانسیل کم برای تلف کردن رواناب، پرشیب بودن، و یا گرد بودن و کوتاه بودن طول آبراهه اصلی است که هر عامل یا ترکیبی از آن‌ها باعث افزایش مقدار دبی در خروجی حوزه می‌شود. به عبارتی سرعت تخلیه حجم مشخصی از رواناب بیشتر است و از طرفی دیگر حجم ذخیره منشوری و گوه‌ای سیلاب در چنین حوزه‌هایی ناچیز است. این موضوع را می‌توان از نمودار (۲)، در قسمتی که زمان تمرکز شیب بیشتری (زمان تمرکز کم) دارد دریافت نمود. چنانچه مشاهده می‌شود با افزایش زمان تمرکز، اهمیت این عامل کاهش می‌یابد. افزایش زمان تمرکز می‌تواند ناشی از کاهش شیب آبراهه، افزایش تلفات بارش، مساحت بیشتر، کشیدگی بیشتر حوزه و افزایش طول آبراهه اصلی باشد. افزایش زمان تمرکز با افزایش حجم ذخیره منشوری و گوه‌ای سیلاب همراه است

و این عامل باعث کاهش بیشتر دبی در خروجی می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش مقدار بارش، منجر به افزایش دبی در خروجی می‌گردد و این یک امر بدیهی است، ولی تاثیر آن با افزایش در دوره بازگشت بیشتر می‌گردد. وقوع سیل‌های بزرگ با دوره بازگشت بیشتر در اثر بارش‌های با دوره بازگشت بالا مورد فوق را تایید می‌نماید. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر مساحت حوزه، دارای یک شیب ثابت است. این امر نشان‌دهنده افزایش خطی دبی در نتیجه افزایش مساحت حوزه است. یک اصل کلی در تمام معادلات تجربی برآورد دبی اوج وجود دارد که با افزایش مساحت دبی افزایش می‌یابد با این تفاوت که رابطه دبی با مساحت در آن‌ها خطی نیست. البته همان‌طور که در نمودار جریان (۱) مشاهده می‌شود، رابطه‌ای که عامل مساحت حوزه در آن قرار دارد به صورت خطی است و این عامل موجب می‌گردد که تاثیر مساحت بر دبی اوج به صورت خطی ظاهر شود ولی عامل شماره منحنی تاثیر زیادی بر روی دبی خروجی داشته است. به طوری که با افزایش مقدار شماره منحنی دبی خروجی در دوره بازگشت‌های متعدد به صورت نمای افزایش یافته است. شاید به طور کلی بتوان گفت که حساس‌ترین عامل، عامل شماره منحنی بوده است، به ویژه که در حوزه‌های بزرگتر (ترکیب ۲ به بعد) اثر شماره منحنی بیشتر می‌شود. در واقع با افزایش مقدار شماره منحنی، توان تلفات حوزه افزایش می‌یابد و مقدار بیشتری از بارش به رواناب تبدیل خواهد شد. افزایش در مقدار رواناب از دو عامل اصلی عامل شماره منحنی و مقدار بارش نشأت می‌گیرد. با زیاد شدن شماره منحنی، نسبت بیشتری از بارش به رواناب تبدیل خواهد شد و در نتیجه دبی سیل به مراتب بیشتر خواهد شد. باید در نظر داشت که طبق فرمول برآورد زمان تمرکز به روش SCS، افزایش مقدار شماره منحنی باعث کاهش زمان تمرکز می‌شود. کاهش زمان تمرکز نیز به نوبه خود بر روی افزایش دبی در خروجی موثر است. پس اثر دیگر افزایش شماره منحنی، کاهش زمان تاخیر و تمرکز حوزه‌ها است. از طرف دیگر کاهش شماره منحنی نیز به همان شدت در کاهش دبی اوج موثر است. چنانچه در دوره بازگشت‌های پایین با در نظر گرفتن مقدار ثابت CN در میانگین آن برابر با ۷۵، و کمتر بودن بارش از ۰/۲ تلفات اولیه، مقدار رواناب برابر با صفر شده است. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت و نقش شماره منحنی بر دبی اوج حوزه‌ها و زیر حوزه‌ها است. البته با افزایش مقدار شماره منحنی، اهمیت و تاثیر ورودی بارش بر دبی خروجی از خود شماره منحنی بیشتر می‌شود که نشان‌دهنده ارتباط درونی این دو عامل بر یکدیگر است. این مورد در هنگام اجرای همین برنامه با مقدار بیشتر CN، نتیجه‌گیری گردید. چنانچه تاثیر عامل شماره منحنی، با وقوع سیلاب‌های مخرب با دبی اوج بالا در مناطق خشک که در اثر بارش‌های همرفتی با شدت بالا بر روی خاک‌های لخت به وقوع می‌پیوندند همخوانی دارد.

افزایش تعداد و مقدار سیلاب‌ها و روند صعودی آن‌ها در دهه‌های اخیر که در پی تغییر کاربری حوزه‌ها و تخریب آن‌ها

حساسیت مدل HEC-1 به پارامترهای ورودی، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه.

۲- خسروشاهی، م. ثقفیان، ب. ۱۳۸۰. تعیین نقش زیرحوضه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی حوضه (مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند). پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.

۳- شیران، م. ۱۳۸۶. نقشه روندیابی سیل در تحلیل حساسیت برخی متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب حوضه کارون با معرفی مدل HEC-HMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

۴- مهدوی، م. ۱۳۸۰. هیدرولوژی کاربردی، جلد ۲، انتشارات دانشگاه تهران.

5. Ascough II, J.C., Green T.R., Ma, L. and Ahjua. L.R. 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.

6. Brath, A. and Montanari, A. 2003. Sensitivity of the peak flows to the spatial variability of the soil infiltration capacity for different climatic scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 247-254.

7. Critchfield, G.C. and Willard. K.E. 1986. Probabilistic analysis of decision trees using Monte Carlo simulation, *Medical Decision Making*, 6(1):85-92.

8. Frey, H.C. and Patil, R. 2002. Identification and review of sensitivity analysis methods, *Risk Analysis*, 22(3):553-577.

9. Mohammed, H., Yohannes, F. and Zeleke, G. 2004. Validation of agricultural non-point source (AGNPS) pollution model in Kori watershed, South Wollo, Ethiopia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6, 97-109.

10. Merz, J.F., Small, M.J. and Fischbeck, P.S. 1992. Measuring decision sensitivity: A combined Monte Carlo-logistic regression approach, *Medical Decision Making*, 12(3):189-196.

11. Xie, Y., James, R., Jimmy, R. and Williams, J.R. 2003. The ALMANAC model's sensitivity to input variables. *Agricultural Systems*. (78) 1- 16.

صورت گرفته است می‌تواند دلیلی بر گفته‌های فوق مبنی بر اثر مهم CN بر افزایش دبی باشد. چنانچه می‌دانیم در اثر تغییرات آب و هوایی و تخریب‌های انسانی در دهه‌های اخیر، پوشش گیاهی و خاک، دارای تغییر و دگرگونی شدیدی شده‌اند که همه منجر به افزایش مقدار CN متوسط حوزه‌ها گردیده‌اند. تغییرات کم در شماره منحنی، منجر به وقوع تغییرات زیاد بر رواناب و دبی خروجی می‌گردد. اهمیت تاثیر شماره منحنی در اکثر مقالات به عنوان عامل حساس مورد اشاره قرار گرفته است. چنانچه با نتایج خسروشاهی [۲]، شیران [۳]، آورند [۱] و حسن محمد [۹] در مورد اهمیت شماره منحنی به عنوان حساس‌ترین عامل همخوانی دارد. در نهایت تغییرات بر ضریب α تاثیر چندانی بر خروجی ندارد و تاثیر آن از همه کمتر است.

نتیجه‌گیری

عامل شماره منحنی و مقدار بارش، در برآورد دبی اوج حوزه‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند. این امر نشان‌دهنده اهمیت تخصیص وقت، دقت و نیروی انسانی ماهر در برآورد این عامل‌ها در مطالعات آشناسختی آبخیزها چه در سطح اجرایی و چه در سطح پژوهشی است. در صورت برآورد بیش از حد شماره منحنی، منجر به برآورد دبی بیشتری می‌شود که این امر باعث افزایش هزینه‌ها به ویژه در طراحی‌ها و اقدام‌های آبخیزداری در دوره بازگشت‌های بالا می‌شود. از طرف دیگر برآورد کمتر از مقدار واقعی نیز منجر به برآورد کمتر دبی در خروجی می‌شود که پیامدهای آن کارا نبودن پروژه‌ها و خسارات جانی و مالی است. در مورد عامل بارش نیز به همین ترتیب بایستی عمل شود. همچنین اهمیت و حساسیت برآورد صحیح زمان تمرکز در حوزه‌های کوچک و یا گرد نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد.

بایستی توجه کرد که حساسیت مدل SCS با افزایش در دوره بازگشت افزایش می‌یابد و این نیز نشان‌دهنده اهمیت دقت در برآورد عامل‌ها و همچنین بررسی مدل و کنترل آن و در صورت لزوم واسنجی مدل برای دوره بازگشت‌های بالا است. همچنین با در نظر گرفتن اثر شماره منحنی بر سیلاب و دبی خروجی، برنامه‌ریزی‌های کلان‌فعالیت‌های آبخیزداری در جهت کاهش مقدار CN حوزه‌های کشور و یا جلوگیری از افزایش آن، برای جلوگیری و یا تخفیف خسارت‌های سیل می‌تواند مورد توجه جدی قرار گیرد.

از آنجا که این برنامه مخصوص تجزیه و تحلیل حساسیت مدل SCS تهیه شده است، قابلیت تعیین اولویت عامل‌ها بر دبی خروجی حوزه با توجه به دوره بازگشت‌های مورد نظر، برای شرایط خاص را نیز دارد که می‌توان قبل از هر مطالعه‌ای، اهمیت کلی عامل‌های ورودی را برای آن منطقه تعیین و سپس اقدام به برآورد عامل‌ها نمود.

منابع

۱- آورند، ر. ترابی‌پوده، ح. و فرزایی، ا. ۱۳۸۵. آنالیز