

بررسی مهمترین عوامل موثر در دبی حداکثر سیلاب از طریق آنالیز حساسیت روابط تجربی

نویسندگان:

۱- محمدتقی دستورانی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

mdastorani@yazduni.ac.ir

۲- مهدی حیات‌زاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد

دریافت: ۸۹/۴/۱

پذیرش: ۸۹/۸/۲۰

چکیده

از جمله مباحث مهم و حیاتی در مطالعات هیدرولوژی، مبحث سیل و سیل‌خیزی حوزه و به تبع آن ضرورت بررسی دبی حداکثر لحظه‌ای رژیم رودخانه است. محاسبات سازه‌ای و اقدامات زیر بنایی در حوزه، ارتباط تنگاتنگی با مقدار واقعی یا برآورد دقیق دبی حداکثر لحظه‌ای سیل دارد. از آنجا که اکثر حوزه‌ها، در کشور فاقد آمار یا دارای آمار کوتاه مدت و ناقص است بنابراین جهت برآورد دبی لحظه‌ای، در اغلب مواقع ناگزیر به استفاده از روابط تجربی مبتنی بر مساحت حوزه هستیم. این روابط در مناطق دیگر جهان تنظیم شده و جهت اخذ نتایج مناسب باید اقدام به تجزیه و تحلیل و بررسی حساسیت آنها کرد. بدین منظور آنالیز حساسیت پارامترهای به کار رفته در روابط تجربی برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با هدف تعیین نقش هر یک از پارامترها در خروجی مدل امری ضروری است. در این تحقیق نیز با ارائه یک روش جدید که ضمن سادگی، از کارایی مناسبی برخوردار است؛ ده رابطه تجربی کریگر، دیکن، فولر، فانینگ، انگلیز، کوتان، مایر، روش سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS)، هورتون و روش جرمن که برخی جزء روش‌های شناخته شده و کاربردی هستند آنالیز حساسیت شده‌اند. نتایج حاصله نشان‌دهنده حساسیت بالای تمامی روابط نسبت به مساحت‌های کم است به طوری که تغییرات کم در سطوح پایین تأثیر زیادی در مقدار خروجی مدل یعنی دبی اوج سیل دارد. همچنین در اکثر روابط در مساحت‌های بالا تأثیر تغییرات این پارامتر بر مقادیر دبی سیل نسبت به تغییرات ضریب منطقه‌ای کمتر است به طوری که افزایش کمیت مساحت حوزه باعث کاهش اثر آن بر دبی اوج سیل می‌شود. برخی از روابط مانند روش فولر نسبت به تغییرات دوره بازگشت در دوره بازگشت‌های پائین بسیار حساس هستند. به طور کلی باید اضافه کرد که مهمترین عامل و کم اهمیت‌ترین عامل (از نظر تأثیر روی دبی سیلاب) در روش‌های مختلف و نیز دامنه‌های مختلف مورد نظر متفاوت می‌باشند.

واژگان کلیدی: آنالیز حساسیت، حوزه آبخیز، دبی اوج سیل، روابط تجربی، ضریب منطقه‌ای

مقدمه

سیل در طی این دوره بیش از همه بلایای طبیعی از قبیل زلزله، سرمایه و امکانات مالی انسان‌ها را به نابودی کشانده است. سیل در ایران به دلیل اقلیم و توپوگرافی خاص، بویژه رژیم بارندگی با پراکنش زمانی و مکانی نامناسب، از مهمترین عامل تهدید کننده انسان و سرمایه و امکانات بشری است که ضایعات جانی و مالی زیادی را در طی سال‌های گذشته باعث شده است، به طوری که باعث تخریب پل‌ها و جاده‌های ارتباطی، اماکن مسکونی، قطع

سیل از حوادث طبیعی است که هر ساله باعث خسارات زیادی در دنیا می‌شود به طوری که مشکلات عدیده‌ای را بر سر راه توسعه اقتصادی و شکوفایی کشورها ایجاد نموده، خسارات مالی و جانی زیادی را در بسیاری از کشورها به وجود آورده است. با توجه به آمار موجود در طی دوره بیست ساله آخر قرن بیستم سیل خسارت‌بارترین حادثه طبیعی در جهان به شمار می‌رود.

(مهدوی ۱۳۸۴ ه.ش). در زمینه روابط تجربی برآورد دبی، فعالیت‌های تحقیقی زیادی صورت گرفته است. تاسکر و همکاران (۱۹۸۲ م.) براساس خصوصیات حوزه از جمله مساحت، بارندگی متوسط سالانه، ارتفاع، حوزه و شاخص خاک، دبی‌های حداکثر با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵ سال را برای منطقه آریزونا برآورد کردند. کمپبل و ساید (۱۹۸۴ م.)، برای برآورد مدل‌های دبی حداکثر در منطقه اورگان، عوامل مختلف فیزیکی و اقلیمی منطقه را بررسی کردند. عوامل مساحت حوزه، ارتفاع متوسط و بارندگی متوسط سالیانه به عنوان عوامل مستقلاً در مدل‌ها وارد گردیدند. عرب خدری (۱۳۶۸ ه.ش) مدل‌هایی برای برآورد سیلاب‌های حداکثر حوزه‌های فاقد آمار با بررسی نطقه‌ای سیلاب‌های حوزه‌های آبخیز البرز شمالی، ارائه نمود. در این مطالعه ۴۲ ایستگاه هیدرومتری بررسی و لوگ پیرسون نوع سوم به عنوان بهترین توزیع منطقه‌ای ارائه شد. در نهایت عوامل مساحت، بارش متوسط سالیانه، قطر حوزه و عامل شکل در مدل‌ها لحاظ شدند. سلاجقه (۱۳۷۳ ه.ش) به بررسی سیلاب‌های ۳۸ حوزه آبخیز کوچک در مناطق مختلف ایران که مساحتی کمتر از ۱۰۰۰۰ هکتار داشتند پرداخت و ضرایب و محدوده مساحتی بسیاری از روابط تجربی را در دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال تعیین نمود. نظری (۱۳۸۶ ه.ش) روش تجربی فولر را برای حوزه آبخیز مند واقع در استان فارس واسنجی نمود. نتیجه نهایی این تحقیق، تلفیق دو بخش از مطالعات و دستیابی به نوعی طبقه بندی حوزه‌های آبخیز از نقطه نظر پتانسیل ایجاد سیلاب و تهیه نقشه‌های مربوط بوده است.

فرآیند آنالیز حساسیت مدل‌های تجربی که اطلاعات مفیدی در باره خصوصیات عوامل به کار رفته و میزان وابستگی خروجی مدل به این عوامل ارائه می‌نماید، مرحله مهمی در کالیبراسیون و بهینه‌سازی مدل‌ها برای شرایط مختلف به شمار می‌رود. در زمینه بحث آنالیز حساسیت، ملکی‌نژاد و کوثری (۱۳۸۷ ه.ش)، روش شماره منحنی (SCS) را آنالیز حساسیت نموده، به بررسی نسبی اهمیت عوامل مؤثر بر دبی اوج در این روش پرداختند. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل حساست مدل و تعیین واکنش آن نسبت به تغییر در ورودی‌های مدل، اهمیت

خطوط انتقال نیرو و مخابرات، خسارات به اراضی کشاورزی، تأسیسات صنعتی و نیز مهاجرت انسان شده است (آوردند و همکاران ۱۳۸۵ ه.ش). با توجه به خسارات و مشکلات عمده‌ای که به وسیله سیل ایجاد می‌شود، پرداختن به این پدیده و عوامل تأثیرگذار و به وجود آورنده آن بسیار حائز اهمیت است. توجه به این نکته هم مهم است که شکل‌گیری سیلاب پیچیده بوده، عوامل فیزیکی و اقلیمی زیادی مانند مساحت، بارندگی و شیب در شکل‌گیری آن مؤثر هستند که در محاسبه و برآورد سیل برخی از این عوامل در روش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی محاسبه سیل در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و تجزیه و تحلیل این آمارها انجام می‌شود. اما در صورت نبودن این ایستگاه‌ها و یا باوجود آمار ناقص و کوتاه مدت، از روش‌های غیر مستقیم برای برآورد سیلاب استفاده می‌شود. در ایران هم به دلیل وجود این مسأله، استفاده از روش‌های غیر مستقیم برآورد دبی‌های سیلابی حائز اهمیت است. یکی از این روش‌ها استفاده از روابط تجربی است. این روابط بر پایه یک یا چند عامل از عوامل مؤثر بر شکل‌گیری سیلاب است که در صورت نبودن یا کمبود آمار برای تخمین دبی حداکثر سیل به کار می‌روند. استفاده از این روابط به دلیل سهولت استفاده، تخمین سریع و به کارگیری عوامل محدود، توجه پذیر و مهم می‌باشد به طور کلی مطالعه و شناخت عوامل مؤثر در بروز یا تشدید خسارات سیل و اعمال اقدامات فنی و مدیریتی احتمال بروز آن را کاهش می‌دهد و یا از میزان خسارات وارده می‌کاهد (آوردند و همکاران ۱۳۸۵ ه.ش).

ساده‌ترین این روابط مبنی بر مساحت حوزه است و به طور کلی این روابط بر اساس خصوصیات و ویژگی‌های حوزه آبخیز و جریان ارائه گردیده‌اند. مشکلی که این روابط دارد این است که اصولاً برای منطقه خاصی با خصوصیات اقلیمی فیزیکی خاص ارائه گردیده است، بنابراین استفاده از این معادلات در مناطق دیگر با مشکل روبرو خواهد بود و نیاز به واسنجی و تغییر و تعدیل ضرایب منطقه‌ای دارد که این مسأله نیازمند بررسی و به کاربردن این فرمول‌ها در مناطق جدید و امکان‌سنجی استفاده از آنها و در نهایت تغییر و واسنجی آنها است

کوچک دریافتند که تحلیل حساسیت این مدل اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با میزان و نوع وابستگی هیدروگراف خروجی به پارامترها و داده‌های مدل ارائه داده، کاربرد آن را دقیق‌تر می‌نماید.

روابط تجربی فراوانی در نقاط مختلف جهان ارائه شده‌اند که تعدادی از مهمترین آنها در ادامه آمده است. برای آنکه بتوان این روابط را در شرایط خاص ایران به کار برد لازم است این فرمول‌ها در حوزه‌های آبخیز مختلف کشور مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. به طور کلی در این تحقیق سعی شده است تا با آنالیز حساسیت این روش‌ها نسبت به روابط بین پارامترهای به کار رفته در آنها، واکنش این مدل‌ها را نسبت به تغییرات پارامترهای آنها شناسایی کرده، تأثیر آنها را بر خروجی مشخص نمود. مطمئناً با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل، بهتر می‌توان روابط پارامترها را با یکدیگر درک کرد، پارامترها و نقاط حساس را مشخص نمود و نتیجه‌گیری صحیح‌تری را از نتایج تحقیق ارائه داد. 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 (اسلامی ۱۳۸۳ ه.ش.).

مواد و روش‌ها

همانگونه که قبلاً اشاره شد در این تحقیق ده رابطه تجربی مرسوم مورد ارزیابی و آنالیز حساسیت قرار گرفته‌اند که در زیر پس از معرفی روابط، روش کار نیز تشریح می‌گردد.

معرفی روابط و پارامترهای مربوطه

رابطه کریگر (Creager)

$$Q = 46CA^{(0.894A - 0.048)} \quad (1)$$

که در آن:

Q: دبی اوج سیلاب به فوت مکعب بر ثانیه

A: مساحت حوزه به مایل مربع

C: ضریب کریگر است که مقدار حداکثر این ضریب برابر ۲۰۰ است که تمامی سیلاب‌های مشاهده شده دنیا را پوشش می‌دهد، بیشترین مقدار آن در اکثر نقاط ایالات متحده و جهان، برابر ۱۰۰ است. در کشور ما گاهی این

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. نتایج نشان داد که شماره منحنی نسبت به سایر عوامل بیشترین تأثیر را بر خروجی مدل یعنی دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف دارد. هر چند که مقدار بارش نیز تأثیر زیادی بر دبی اوج دارد و شدت این تأثیر با افزایش شماره منحنی بیشتر می‌شود. همچنین حساسیت مدل در خروجی‌ها با افزایش دوره بازگشت، بیشتر می‌شود. مهدوی و همکاران (۱۳۸۳ ه.ش.) در تحقیقی تحت عنوان بررسی حساسیت تعدادی از روشهای تجربی هیدرولوژیکی در برآورد دبی اوج نسبت به سطح حوزه در برخی از حوزه‌های آبخیز ایران، ده مدل کلی تجربی را نسبت به مساحت، تحلیل حساسیت نمودند. در تحقیق مذکور روابط استفاده شده جهت دبی اوج سیلابی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله واسنجی شد. لازم به ذکر است که تعدادی از این روابط از جمله روابط دیکن، کریگر، مایر، فانینگ و انگلیز روابطی هستند که در تحقیق حاضر نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هال و همکاران (۲۰۰۹ م.) سعی کردند دو مدل هیدرولوژیکی شامل یک مدل ساده شبیه‌سازی جریان رد انحناء لوله‌ها و دیگری معادله مربوط به امواج در آب‌های کم عمق را با روش‌های مختلف تحلیل حساسیت نمایند. بهره‌مند و دی اسمت (۲۰۰۸ م.) در استفاده از مدل هیدرولوژیکی WetSpa در حوزه‌ای در اسلوواکی اقدام به تحلیل حساسیت پارامترهای آن نمودند و دریافتند که برخی از پارامترها در نتایج مدل از حساسیت به مراتب بیشتری برخوردارند. چای و همکاران (۲۰۰۵ م.) اقدام به تحلیل حساسیت دو مدل هیدرولوژیکی (SEAD و GURUH) نمودند و به این نتیجه رسیدند که این کار کالیبراسیون مدل را به مراتب ساده‌تر و دقیقتر نموده و کاربرد آن را در حوزه‌های دیگر بیشتر نموده است. فوجلیا و همکاران (۲۰۰۹ م.) دریافتند که تحلیل حساسیت مدل بارش-رواناب TOPKAPI و ارزیابی پارامترهای آن باعث افزایش چشمگیر کارایی مدل و نیز سادگی و دقت کالیبراسیون آن (در سوئیس) می‌گردد. کاستینگر و همکاران (۲۰۰۹ م.) در استفاده از یک مدل مربوط به شبیه‌سازی تندسیل‌ها در یک حوزه

Q_p: دبی لحظه‌ای سیلاب به متر مکعب بر ثانیه

رابطه کوتان (Coutange)

$$Q_p = 150A^{0.5} \quad (7)$$

این رابطه برای حوزه‌هایی با وسعت ۴۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر مربع در فرانسه ارائه شده است.
Q_p: دبی لحظه‌ای سیلاب به متر مکعب بر ثانیه
A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع

رابطه مایر (Mayer)

$$Q_p = 175A^{0.5} \quad (8)$$

این رابطه برای حوزه‌هایی با وسعت بالاتر از ۱۰ کیلومتر مربع در آمریکا ارائه شده است.
Q_p: دبی لحظه‌ای سیلاب به متر مکعب بر ثانیه
A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع

رابطه هورتون (Horton)

$$Q_p = 71.2 (T)^{0.25} \cdot (A)^{0.5} \quad (9)$$

این رابطه از جمله روابط تجربی است که مانند رابطه فولر دوره بازگشت را نیز لحاظ می‌کند.
A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع
T: دوره بازگشت
Q_p: دبی حداکثر سیل به m³/s

رابطه سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS):

$$Q_{2.33} = 0.0147CA^{0.7} \quad (10)$$

A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع
C: ضریب منطقه‌ای بین ۱ تا ۱۰۰ متغیر است.
در این رابطه نیز دوره بازگشت لحاظ شده است به طوری که دبی حداکثر لحظه‌ای سیل با دوره بازگشت ۲/۳۳ سال محاسبه می‌شود.

رابطه جرمن (German)

$$Q_p = 24.12 A^{0.516} \quad (11)$$

این رابطه برای حوزه‌های از ۳۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع در آلمان ارائه شده است.
A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع

ضریب ۱۰۵ نیز به دست آمده است. این رابطه کاربرد فراوانی در تعیین دبی حداکثر سیلاب در حوزه‌های بزرگ و فاقد آمار دارد.

رابطه دیکن (Diken)

$$Q = C \cdot A^{0.75} \quad (2)$$

C: ضریب حوزه که از ۰/۴ تا ۲/۸ برای مناطق مختلف متغیر است.

Q: دبی اوج سیل به متر مکعب بر ثانیه

A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع

رابطه فولر (Fuller)

$$Q_{max} = C \cdot A^{0.8} (1 + \beta \text{Log } T) \quad (3)$$

$$Q_p = q_{max} (1 + 2.66A^{-0.3}) Q_{max} \quad (4)$$

Q_p و Q_{max} به ترتیب دبی اوج ۲۴ ساعته و دبی اوج لحظه‌ای مربوط به آن بر حسب متر مکعب بر ثانیه در دوره بازگشت T سال است. مقدار C ضریبی است که بستگی به شرایط اقلیمی و جغرافیایی و خصوصیات حوزه داشته، در حوزه‌های مختلف، مقدار این ضریب بین ۰/۰۶۲ و ۲/۷۷ بدست آمده است.

A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع

β: ضریب طغیان منطقه‌ای بوده و برای حوزه‌های معمولی تقریباً برابر ۰/۸ در نظر گرفته شده و در حوزه‌های بزرگ با بارندگی نامنظم می‌تواند مقادیری در حدود ۲ یا حتی بیشتر از آن هم داشته باشد.

رابطه فانیگ (Fanning)

$$Q_p = \alpha A^{0.8} \quad (5)$$

این رابطه برای حوزه‌هایی در آمریکا ارائه شده است.
α: ضریب منطقه‌ای بین ۰/۸ تا ۴/۵ متغیر بوده و به طور متوسط ۲/۴۶ در نظر گرفته شده است.

A: مساحت حوزه به کیلومتر مربع

Q_p: دبی حداکثر لحظه‌ای به متر مکعب بر ثانیه

رابطه انگلیز (Ingilis)

$$Q_p = 124 A / (A + 10.24)^{0.5} \quad (6)$$

A: مساحت به کیلومتر مربع

Qp: دبی حداکثر سیل به متر مکعب بر ثانیه (کمبل و همکاران ۱۹۸۴).

جدول ۱ مقادیر مربوط به حدود بالا و پایین پارامترها را در روابط تجربی استفاده شده در تحقیق، نشان می‌دهد.

فرایند آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت به منظور تجزیه و تحلیل یک رابطه یا در حقیقت یک مدل خاص است. با تجزیه و تحلیل روابط یا مدل‌ها می‌توان تأثیر هر یک از پارامترها یا متغیرها را در خروجی مدل ارزیابی کرد. با آنالیز حساسیت می‌توان به رابطه یا روابط بین پارامترها و فاکتورهایی پی‌برد که در خروجی مدل تأثیرگذار هستند. تأثیر هر یک از پارامترها در یک مدل شامل تأثیر آنها به صورت منفرد و همچنین تأثیر جمعی آنها در خروجی است. در حالت دوم میزان حساسیت مدل به تغییرات پارامترها، بسته به کنش و واکنش آنها نسبت به هم متفاوت است. همانطور که ذکر شد، این روش تأثیر تغییرات هر یک از پارامترها به تنهایی و در ارتباط با هم، در تغییرات خروجی مدل مشخص می‌کند و پارامترهایی که حساس‌ترند و نیاز به توجه بیشتری دارند، نمایان می‌سازد. در این روش فرض بر این است که برآوردها، در روش‌های تجربی مذکور صحیح باشد و تنها حساسیت فاکتورها در قالب کلی مدل سنجیده می‌شود.

تعیین مقادیر ورودی پارامترها

آنالیز حساسیت بر روی داده‌های غیرحقیقی صورت می‌پذیرد. مقادیر مربوط به هر پارامتر شامل بازه‌ای از آن پارامتر (حد پایین و بالا و محدوده بین این دو حد) می‌شود. فقط نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که مقادیر ورودی با اصل و ذات، رابطه همخوانی داشته باشند. مثلاً رابطه تجربی مایر برای مساحت‌های بالاتر از ۱۰ کیلومتر مربع طراحی شده، بنابراین دامنه این پارامتر الزاماً باید از این حد بیشتر باشد. در مورد پارامترهای ورودی به هم وابسته مانند ضریب طغیانی و دبی حداکثر ۲۴ ساعته در روش فولر، باید در تعیین دامنه مقادیر ورودی به این نکته توجه کرد که در صورت تعیین دامنه یکی از این پارامترهای وابسته، دامنه ورودی پارامتر دیگر مطابق با ورودی مقادیر قبلی تعیین گردد.

جدول ۱. تعیین مقادیر ورودی پارامترها برای روابط

رابطه	حد بالا	حد پایین	میانگین	پارامترها
کریگر	۱۹۹	۱	۱۰۰	ضریب منطقه ای
	۳۹۷۰	۱۰	۱۹۹۰	مساحت
دیکن	۲/۸	۰/۴	۱/۶	ضریب منطقه ای
	۳۹۷۰	۱۰	۱۹۹۰	مساحت
فولر	۲/۷۶۴	۰/۰۲۶	۱/۴	ضریب منطقه ای
	۴۰۰۶	۱۰	۲۰۰۸	مساحت
مایر	۰/۹۹	۰/۲۵	۰/۶۲	ضریب طغیانی
	۵۲۰	۲	۲۶۱	دوره بازگشت
فانینگ	۳۰۱۷	۲۰	۱۵۱۸/۵	دبی حداکثر روزانه
	۲۵۰	۱۰۰	۱۷۵	ضریب منطقه ای
انگلیز	۴۰۱۰	۱۰	۲۰۱۰	مساحت
	۴/۵	۰/۸	۲/۶۵	ضریب منطقه ای
کوتان	۴۰۰۶	۱۰	۲۰۰۸	مساحت
	۱۸۰	۶۸	۱۲۴	ضریب منطقه ای
هورتون	۴۰۱۴	۱۰	۲۰۱۲	مساحت
	۵۰۶	۲	۲۵۴	دوره بازگشت
USGS	۴۰۱۴	۱۰	۲۰۱۲	مساحت
	۱۰۱	۱	۵۱	ضریب منطقه ای
German	۴۰۱۰	۱۰	۲۰۱۰	مساحت
	۴۱/۲	۷/۲	۲۴/۲	ضریب منطقه ای
	۱۰۲۹۰	۳۰	۵۱۶۰	مساحت

محاسبات آنالیز حساسیت

با توجه به جدول ۱ و حد پایین و بالا و میانگین هر پارامتر در هر رابطه، دبی لحظه‌ای بدین گونه محاسبه می‌شود که یک پارامتر بین حد پایین و بالای خود تغییر می‌کند؛ در صورتی که پارامتر دیگر (یا پارامترهای دیگر) در میانگین خود ثابت باقی می‌مانند و با هر تغییر، دبی لحظه‌ای محاسبه می‌شود. بدین ترتیب می‌توان اثرات

در این رابطه X_i متغیر آم پارامتر ورودی، \bar{X} و S_{td} ، به ترتیب میانگین و انحراف معیار ورودی مورد نظر می‌باشند. برای استاندارد کردن پارامترها، قدر مطلق فاصله غیرتجمعی در محور Y ها یعنی همان مقادیر دبی لحظه‌ای $(|Q2 - Q1|)$ برآورد می‌گردد، و مقادیر قدر مطلق فاصله غیرتجمعی در محور X ها یعنی پارامترهای استاندارد شده محاسبه می‌گردد. در نهایت با تقسیم مقادیر قدر مطلق فاصله غیرتجمعی در محور Y ها یعنی همان مقادیر دبی لحظه‌ای $(|Q2 - Q1|)$ ، بر مقادیر قدر مطلق فاصله غیرتجمعی در محور X ها، مقادیر تغییرات شیب در محور Y ها حاصل می‌گردد. برای سایر روابط نیز به همین ترتیب عمل شده است.

محاسبه تغییرات پارامترها

نمایش همزمان تغییرات دبی لحظه‌ای در برابر تغییرات هر پارامتر مربوط به هر رابطه، در شکل‌های ۱ تا ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود محور Y ها مربوط به تغییرات دبی لحظه‌ای و محور X ها مقادیر مربوط به پارامترهای استاندارد شده هستند. این شکل‌ها برای مقایسه کلی اثر تغییرات دبی لحظه‌ای در برابر تغییرات پارامترهای ورودی مناسب است. به طوری که هر منحنی یا هر قسمت از هر منحنی که شیب بیشتری داشته باشد، تأثیر بیشتری بر خروجی دارد. برای مقایسه بهتر اولویت تأثیر هر پارامتر بر خروجی رابطه، بایستی 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 X ها، تغییرات محور Y ها (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، تأثیر آن بر دبی لحظه‌ای بیشتر است. این تأثیر می‌تواند در جهت افزایش یا کاهش دبی لحظه‌ای باشد. مثلاً شیب منحنی تغییرات دبی لحظه‌ای، در برابر متغیر مساحت در رابطه مایر به صورت صعودی ولی کندشونده است. پس برای مقایسه شیب‌های جزئی، باید از قدر مطلق شیب‌های جزئی استفاده گردد تا اولویت تأثیر بر دبی

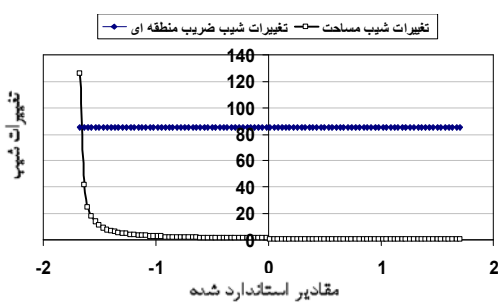
تغییر یک پارامتر بر روی خروجی (دبی لحظه‌ای) را به دست آورد. به عنوان مثال در رابطه با معادله مایر نحوه محاسبات به این شکل است که پارامتر مساحت در میانگین خود ثابت باقی می‌ماند، در حالی که ضریب منطقه‌ای به صورت منظم تغییر می‌کند و اثر این تغییرات بر دبی لحظه‌ای ثبت می‌شود. از طرف دیگر در فاز بعدی محاسبات، ضریب منطقه‌ای در میانگین خود ثابت است و پارامتر مساحت تغییر می‌کند. بدین ترتیب می‌توان اثر تغییرات مساحت بر روی دبی لحظه‌ای را به دست آورد. سپس لازم است که مقادیر استاندارد شده پارامترها محاسبه شود. دلیل این کار این است که فاکتورها و پارامترهای به کار رفته در روش‌های تجربی، ذاتاً با یکدیگر، چه از لحاظ اندازه و چه از لحاظ واحد، تفاوت دارند. مثلاً فاکتور مساحت برحسب کیلومتر مربع است در حالی که ضریب منطقه‌ای بدون بعد می‌باشد و برای اینکه بتوان روابط بین آنها را بررسی و بر روی نمودار به نمایش گذاشت، باید مقادیر آنها را استاندارد نمود. با استاندارد کردن مقادیر پارامترها ضمن اینکه باعث هم وزنی یا در حقیقت همخوانی بهتر آنها برای به نمایش درآوردن بر روی نمودار می‌شود؛ از خطای احتمالی (غیرواقعی شدن مقادیر محور Y ها) که ایجاد خواهد شد جلوگیری می‌کند.

استاندارد کردن پارامترها

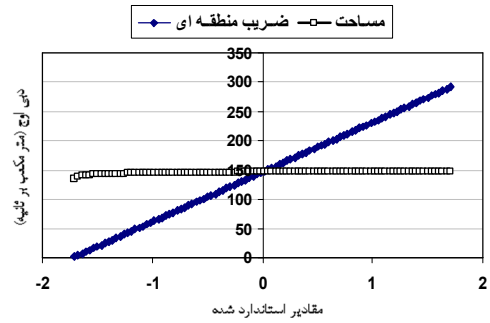
واحد هر یک از پارامترهای مورد نیاز برای برآورد دبی لحظه‌ای با یکدیگر متفاوت هستند. مثلاً ضریب منطقه‌ای بدون بعد، مساحت حوزه کیلومتر مربع و دوره بازگشت به سال است. همچنین تفاوت در اندازه و مقدار پارامترها، نمایش همزمان تغییرات دبی لحظه‌ای در برابر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی یک محور مختصات را مشکل می‌سازد. بدین منظور پارامترها (بین دو حد پایین و بالا) را باید استاندارد نمود. ابتدا بایستی داده‌ها نرمال سازی گردد که از رابطه شماره ۱۲ برای این کار استفاده شده است.

$$n = \frac{(X_i - \bar{X})}{S_{td}} \quad (12)$$

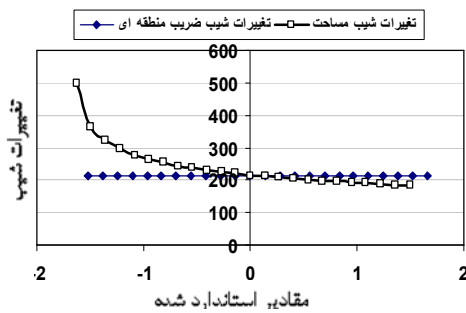
لحظه‌ای چه به صورت کاهشی و چه به صورت افزایشی در بازه مورد نظر، ارزیابی شود (شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸).



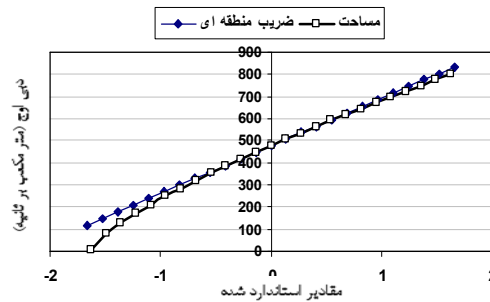
شکل ۵. تغییرات شیب متغیرهای رابطه کریگر



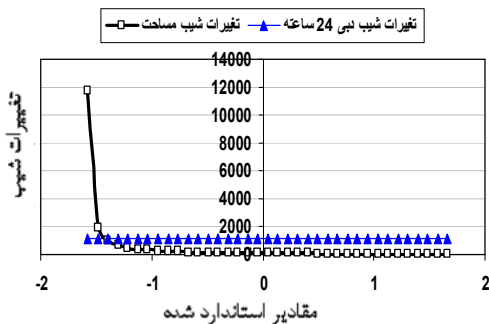
شکل ۶. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه کریگر



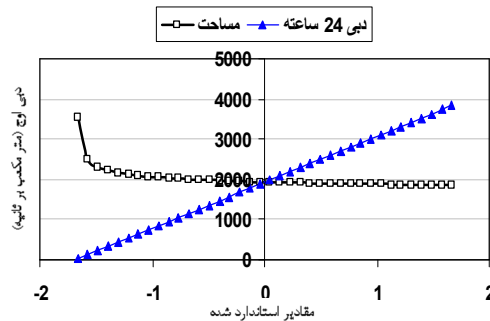
شکل ۷. تغییرات شیب متغیرهای رابطه دیکن



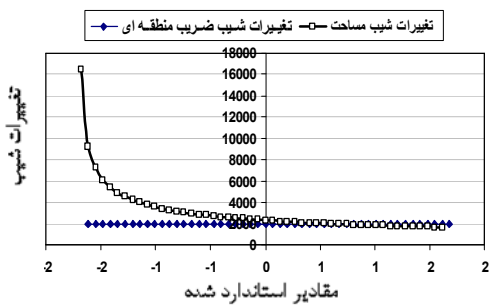
شکل ۸. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه دیکن



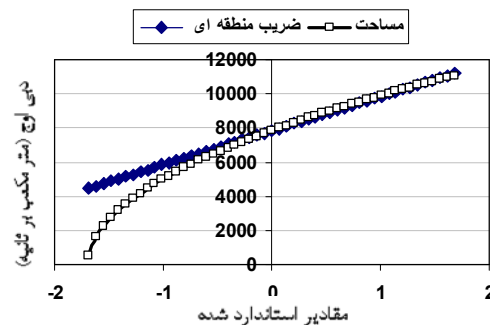
شکل ۹. تغییرات شیب متغیرهای رابطه فولر



شکل ۱۰. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه فولر



شکل ۱۱. تغییرات شیب متغیرهای رابطه مایر

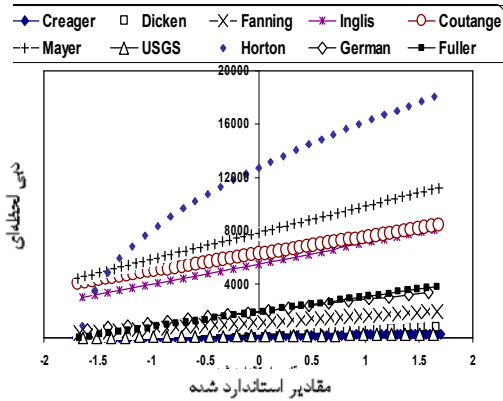


شکل ۱۲. نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای رابطه مایر

نتایج و بحث

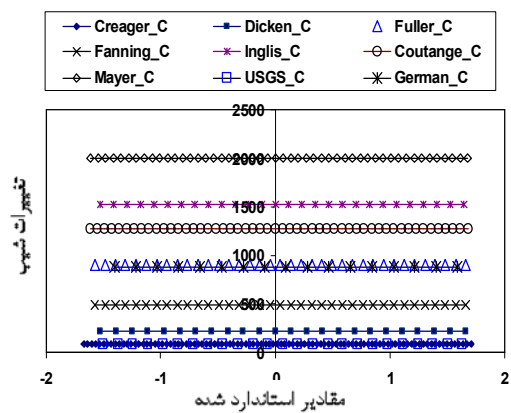
به علت تعدد روابط وهمچنین عکس العمل مشابه تعدادی از روابط نسبت به تغییرات پارامترها، تنها نمودار تعدادی از این روابط در شکل‌های ۱ تا ۸ نمایش داده شده است.

در شکل‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب، تأثیر تغییرات ضریب منطقه‌ای، تأثیر تغییرات فاکتور مساحت در خروجی هر یک از مدل‌ها و در نهایت، مقایسه حساسیت تمامی این روابط با یکدیگر، نسبت به تغییرات پارامترهای آنها نمایش داده شده است.

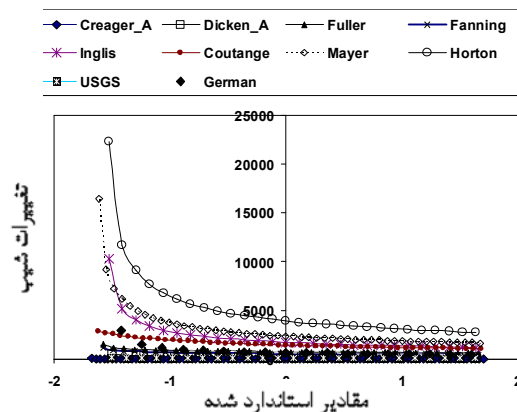


شکل ۱۱. مقایسه حساسیت ده رابطه مذکور در مقابل متغیرهای آنها

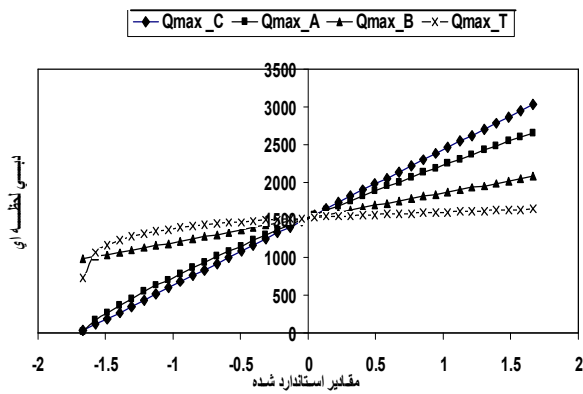
با بررسی و مشاهده نمودارهای فوق می‌توان دریافت که دو پارامتر ضریب منطقه‌ای (C) و مساحت (A) تقریباً در تمامی روش‌های مذکور وجود دارد و در تمامی این روش این فاکتورها تا حدی از یک قالب مشترک تبعیت می‌کنند. البته در روش‌هایی مثل روش فولر و روش جرمن فاکتور دیگری مثل دوره بازگشت (T) و همچنین در روش فولر فاکتور دیگری با نام ضریب طغیانی (β)، نقش مهمی را در مقدار تغییرات دبی لحظه‌ای ایفا می‌کند. در تمامی این روابط، دبی اوج لحظه‌ای به مساحت‌های کم حساس می‌باشند. به عبارتی می‌توان گفت در مساحت‌های کم به ازای تغییرات کم، در مساحت حوزه، باعث تغییرات شدیدی در میزان دبی لحظه‌ای می‌شود ولی با افزایش فاکتور مساحت، حساسیت مدل نسبت به پارامتر مساحت کاهش می‌یابد یا به عبارتی تغییرات زیاد در فاکتور مساحت حوزه، در مساحت‌های بالا، تأثیر کمتری در مقدار دبی لحظه‌ای دارد. در روابطی مثل دیکن، انگلیز، کوتان و مایر در مساحت‌های بالای حوزه مدل نسبت به فاکتور ضریب منطقه‌ای (C) حساس‌تر از فاکتور مساحت (A) می‌باشد ولی در این روابط در مساحت‌های پائین، عامل مساحت حساسیت بالاتری نسبت به ضریب منطقه‌ای (C) در مقدار دبی لحظه‌ای دارد. تنها در رابطه فانینگ هست که در هیچ حالتی حساسیت مدل نسبت به ضریب منطقه‌ای از فاکتور مساحت بالاتر نمی‌رود. این مسأله البته کاملاً منطقی به نظر می‌رسد، چرا که افزایش مساحت رابطه مستقیم با افزایش ذخیره (چالابی، زیرسطحی و ...) حوزه داشته و لذا با افزایش مساحت حوزه، پتانسیل



شکل ۹. حساسیت روابط مختلف نسبت به تغییرات ضریب منطقه‌ای



شکل ۱۰. حساسیت روابط مختلف نسبت به تغییرات فاکتور مساحت



شکل ۱۲. نمودار آنالیز حساسیت پارامترهای رابطه فولر

پارامترهای دوره بازگشت و به خصوص مساحت و ضریب منطقه‌ای که در اکثر روابط تجربی برآورد دبی اوج لحظه‌ای از آنها استفاده شده، تأثیر زیادی در برآورد دبی لحظه‌ای در حوزه‌های فاقد آمار یا ایستگاه‌هایی که به هر دلیلی از آمار کافی برخوردار نیستند، دارد. هر چند تأثیر تغییرات ضریب منطقه‌ای (C) در اکثر این روابط به صورت خطی است ولی در مساحت‌های بالا تأثیر تغییرات این ضریب در دبی لحظه‌ای بیشتر از تأثیر تغییرات عامل مساحت است، در حالی که تأثیر فاکتور مساحت در مساحت‌های کم در مقدار دبی لحظه‌ای در تمام این روش‌ها قابل ملاحظه است.

به اختصار می‌توان در مورد اثر هر یک از پارامترها در روابط ده‌گانه موضوع بررسی در این تحقیق، به موارد ذیل اشاره نمود:

- در رابطه تجربی کریگر تنها در مساحت‌های خیلی پایین است که تأثیر تغییرات مساحت از فاکتور ضریب منطقه‌ای در مقدار دبی لحظه‌ای بیشتر است در حالی که در مساحت‌های بالا این اختلاف تأثیر به نفع ضریب منطقه‌ای بوده، مقدار آن نیز قابل ملاحظه است به طوری که با افزایش ضریب منطقه‌ای به صورت خطی و مستقیم، دبی لحظه‌ای نیز افزایش می‌یابد و این ضریب نیز خود متأثر از خصوصیات فیزیکی و اقلیمی حوزه است.

- در رابطه دیکن تأثیر تغییرات ضریب منطقه‌ای نسبت به فاکتور مساحت در مقایسه با رابطه قبلی کمتر شده ولی در مساحت‌های بالا این تأثیر در تغییر مقدار دبی لحظه‌ای از فاکتور مساحت، بیشتر است. رابطه فولر به لحاظ قالب کلی فرمول و همچنین تعدد ضرائب و فاکتورها کمی

ذخیره حوزه نیز افزایش می‌یابد و حساسیت مدل نسبت به عامل مساحت در حوزه‌های بزرگتر کاهش می‌یابد. در روابطی مثل کریگر، فولر، رابطه USGS و جرمن، مدل علاوه بر مساحت‌های بالا در مساحت‌های متوسط حوزه (در حد ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتر مربع) نیز نسبت به فاکتور ضریب منطقه‌ای (C) حساس بوده، با تغییرات کم، این ضریب مقدار دبی لحظه‌ای تغییرات زیادی پیدا می‌کند.

همچنین اثر تغییرات ضریب منطقه‌ای در روابط فوق‌الذکر بر مقدار دبی لحظه‌ای، رفتاری تقریباً خطی دارد و این در حالی است که تأثیر تغییرات فاکتور مساحت کاملاً به صورت نمایی ظاهر می‌گردد. البته در مورد فاکتور مساحت قابل ذکر است که با افزایش مقدار این فاکتور تأثیر تغییرات آن به روی دبی لحظه‌ای تقریباً به صورت خطی جلوه می‌کند. اثر تغییرات فاکتور ضریب طغیانی (β) در رابطه فولر نیز به صورت خطی است ولی تأثیر تغییرات فاکتور دوره بازگشت در روابط فولر و هورتون در مقدار دبی لحظه‌ای به صورت نمایی می‌باشد به طوری که در رابطه فولر اثر تغییرات دوره بازگشت در مقدار دبی لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های پائین (دوره بازگشت‌های زیر ۱۰۰ سال) بسیار بالا است به نحوی که این تأثیر بیش از تأثیر تغییرات ضرائب دیگر در خروجی مدل است (شکل ۱۲). رابطه هورتون نیز از همین قاعده پیروی می‌کند.

نکته قابل توجه اینکه در رابطه فولر ضرائب منطقه‌ای (C) و همچنین ضریب طغیانی (β) و فاکتور دوره بازگشت به طور غیر مستقیم در تغییرات مقادیر دبی لحظه‌ای نقش دارند، به عبارت دیگر تغییرات این ضرائب ابتدا به صورت مستقیم در مقدار تغییرات دبی حداکثر روزانه طبق روند فوق‌الذکر تأثیر گذاشته، در مرحله بعد طبق بخش دوم رابطه تجربی فولر بر مقدار دبی لحظه‌ای تأثیر می‌گذارند و در حالت کلی تأثیر تغییرات دبی حداکثر روزانه بر روی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای به صورت خطی بوده، در مساحت‌های متوسط و بالا حساسیت این مدل نسبت به فاکتور دبی حداکثر روزانه بالاتر است.

نتیجه گیری

در جمع‌بندی کلی این بحث با توجه به شکل‌های مربوط می‌توان بیان کرد که در بین روابط مذکور، رابطه هورتون و مایر نسبت به تغییرات فاکتور مساحت جزء حساس‌ترین هستند در حالی که روابط کریگر و USGS نسبت به بقیه مدل‌های تجربی در ازای تغییرات فاکتور مساحت از حساسیت پائین‌تری برخوردارند (شکل ۱۰).

باتوجه به شکل ۹ می‌توان نتیجه گرفت که رابطه مایر و انگلیز در بین روابط ده گانه جزء حساس‌ترین مدل‌ها نسبت به تغییرات ضریب منطقه‌ای به کار رفته در ساختار مدل است، در حالی که باز هم در روش‌های کریگر و USGS تغییرات ضریب منطقه‌ای تأثیر کمی در تغییرات مقدار دبی لحظه‌ای دارد.

با مقایسه تمام روابط نسبت به حساسیت مدل‌ها به تغییرات ضرائب و فاکتورهای به کار رفته در قالب فرمولی آنها، می‌توان حساس‌ترین رابطه را با توجه به شکل ۱۱ رابطه هورتون معرفی کرده، در حالی که رابطه کریگر از آنجا که تغییرات مقدار دبی لحظه‌ای در دامنه پایین‌تری است از حساسیت کمتری نسبت به بقیه برخوردار است.

پیچیده‌تر است. پارامترهای وابسته به هم مانند ضریب منطقه‌ای (C) و همچنین ضریب طغیانی (β) در این رابطه از لحاظ نحوه تأثیر در خروجی، مانند یکدیگر عمل می‌کنند، به طوری که افزایش ضریب منطقه‌ای باعث کاهش ضریب طغیانی و بالعکس می‌شود ولی در هر حال آنچه بیش از همه در تغییرات دبی حداکثر روزانه و به تبع آن دبی لحظه‌ای تأثیر دارد؛ تغییرات در دوره بازگشت‌های پایین می‌باشد. همچنین در این رابطه، مدل نسبت به تغییرات مساحت در مساحت‌های کم نیز حساسیت‌های بالایی دارد. در این باره تأثیر ضرائب C و β بر دبی پیک به صورت خطی است در حالی که تأثیر فاکتورهای مساحت و دوره بازگشت نسبت به دبی پیک کاملاً حالت نمایی دارند.

● در رابطه هورتون دو فاکتور مساحت و دوره بازگشت، در تغییرات دبی لحظه‌ای دخیل هستند. به صورتی که در مساحت‌های پائین نه تنها تغییرات مساحت، تأثیر زیادی در مقدار دبی لحظه‌ای دارد بلکه در این سطوح تأثیر دوره بازگشت در خروجی بالاتر از فاکتور مساحت است ولی در مساحت‌های بالاتر برتری تأثیر از جانب فاکتور مساحت است. همان گونه که قبلاً هم ذکر شد، تعدادی از روابط بررسی شده در این تحقیق، از جمله روابط دیکن، کریگر، مایر، فانینگ و انگلیز روابطی هستند که در تحقیق مهدوی و همکاران (۱۳۸۳ ه. ش.) نیز نسبت به مساحت مورد بررسی و تحلیل حساسیت قرار گرفتند (البته فقط نسبت به مساحت). مهدوی و همکاران (۱۳۸۳ ه. ش.) اعلام نمودند که در بین روابط بررسی شده، روابط دیکن، فانینگ، مایر و انگلیز نسبت به عامل مساحت حساسیت بالایی دارند که با نتایج تحقیق حاضر همسو است، زیرا در تحقیق حاضر نیز در بین ده رابطه بررسی شده روابط مذکور حساسیت بالایی به مساحت داشته‌اند بویژه در مساحت‌های کم که این حساسیت بیشتر بوده، بیشترین حساسیت را نسبت به مساحت رابطه فانینگ داشته است.

منابع

- Hall, J. W. , S. A. Boyce, Y. Wang, R. J. Dawson, S. Tarantola, & Saltelli, A. (2009). Sensitivity Analysis for Hydraulic Models, *J. Hydrological Engineering*. 135, (11): 959-969.
- Ho, C. M., R. A. Cropp & Braddock, R. D. (2005). On the Sensitivity Analysis of Two Hydrologic Models, *International Congress on Modelling and Simulation, CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, Australia*.
- Tasker, G. D. (1982). Comparing methods of hydrologic regionalization. *Water Resources Bulletin*. 18(6):965-970.
- آوردن، رحیم، حسن ترابی پوده، اردلان فرزایی (۱۳۸۵ ه.ش.). آنالیز حساسیت مدل HEC-1 به پارامترهای ورودی، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.
- اسلامی، حسین (۱۳۸۳ ه.ش.). برآورد دبی حد اکثر سیل با استفاده از روابط تجربی مبتنی بر سطح وسایر خصوصیات حوزه (مطالعه موردی: استان لرستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- سلاجقه، علی (۱۳۷۳ ه.ش.). برآورد دبی های پیک سیلابی در حوزه های کوچک ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- شیران، مهناز (۱۳۸۶ ه.ش.). نقشه روندیابی سیل در تحلیل حساسیت برخی متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب حوزه کاروان با معرفی مدل HEC-HMS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- عرب خدری، محمد (۱۳۶۸ ه.ش.). بررسی سیلابهای حداکثر در حوزه های آبخیز البرز شمالی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- ملکی نژاد، حسین و محمد رضا کوثری، (۱۳۸۷ ه.ش.). تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نسبی اهمیت عوامل مؤثر بر دبی اوج در روش شماره منحنی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، (۵).
- مهدوی، محمد (۱۳۸۴ ه.ش.). هیدرولوژی کاربردی، جلد ۲، انتشارات دانشگاه تهران.
- مهدوی، محمد، علی اکبر جمالی، سیدعلی ایوب زاده و مهدی وفاخواه (۱۳۸۳ ه.ش.). بررسی حساسیت تعدادی از روشهای تجربی هیدرولوژیکی در برآورد دبی اوج نسبت به سطح حوزه در برخی از حوزه های آبخیز ایران، مجله منابع طبیعی ایران، سال پنجاه و هفتم، شماره ۳، پاییز.
- نظری، محمد (۱۳۸۶ ه.ش.). کالیبراسیون روش تجربی فولر در حوزه مند استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد تهران.
- Bahremand, A. & F. De Smedt, (2008). Distributed Hydrological Modeling and Sensitivity Analysis in Torysa Watershed, Slovakia, *Water Resources Management Journal*, Volume 22, Number 3.
- Campbell, A. I., & Side R. C., (1984). Prediction of peak flows on small watersheds in oregon for use in culvert design. *Water Resources Bulletin*. 20(1):9-14.
- Castains, W., D. Dartus, F.-X. Le Dimet & Saulnier, G.-M. (2009). Sensitivity analysis and parameter estimation for distributed hydrological modeling: potential of variational methods, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, (4).
- Foglia, L., M. C. Hill, S. W. Mehl & Burlando, P. (2009). Sensitivity analysis, calibration, and testing of a distributed hydrological model using error-based weighting and one objective function, *Water Resources Research*, 45, W06427, doi:10.1029 /2008 WR007255.

Evaluation of the most important factors effecting maximum flood discharge using sensitivity analysis of empirical formulae

Researchers & writers:

1-M.T. Dastorani, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, I. R. Iran
mdastorani@yazduni.ac.ir

2-M. Hayatzadeh, MSc graduate of watershed management, Yazd University, I. R. Iran

Received: 22 Jun 2010

Accepted: 11 Nov 2010

Abstract

One of the most important tasks in catchment hydrological analysis is flood and flooding, and therefore estimation of river peak discharges is necessary. Peak discharge estimation as design flood is the base and necessary element of water related projects and designs. In ungaged catchments where no enough measured data is available, empirical approaches are usually applied to estimate the maximum flood discharge. They are usually based on one or more factors such as drainage area that cause flood, and most of these methods have been proposed for a certain area with specific physical and climatic conditions. To use these methods in other areas with different conditions, evaluation and analysis of the sensitivity of their parameters seems to be necessary. In this research a simple new and efficient method has been used to carry on sensitivity analysis of ten empirical flood estimation methods including Creager, Diken, Fuller, Fanning, Inglis, Coutange, Mayer, Horton, USGS and German, in which some of them are the most famous existing methods. The results show high sensitivity of all equations to area in its lower ranges. In other word, small changes in catchment area for small watersheds cause large variation in model output (peak discharge). Also in most of the equations, the role of area is decreased in comparison to the C coefficient in large watersheds. It means that as the area of catchment increases, its role on peak discharge decreases. In some equations such as Fuller, the output is also very sensitive to return period especially in the range lower return periods.

Keywords: Sensitivity analysis, Watershed, Peak discharge, Empirical formulae, Areal coefficient.