

تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS (مورد مطالعه: زرچشمه هونجان - استان اصفهان)

ابوالقاسم امیراحمدی^۱

ملیحه محمدنیا^۲

نگار گلشنی^۳

چکیده

روش‌هایی که برای شناسایی، تفکیک و اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز به‌کار گرفته شده است، اغلب کل حوضه آبخیز را به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته و یا به‌صورت منطقه‌ای و بدون در نظر گرفتن مرزهای فیزیکی حوضه‌ها و یا زیرحوضه‌ها انجام شده است. حوضه زرچشمه هونجان در استان اصفهان و شهرستان شهرضا واقع گردیده است که هر ساله سیل‌های مخرب به بخش‌های وسیعی از زمین‌ها و باغات حاشیه رودخانه آسیب وارد می‌کند. شناسایی و پیش‌بینی حجم سیلاب این زیرحوضه که بدون شک زمین‌های پایین‌دست را متأثر می‌کند و مشخص نمودن اولویت و حساسیت زیرحوضه‌های آن برای اجرای برنامه‌های کنترل سیل امری لازم و ضروری است. در این پژوهش از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی توسط نرم‌افزار HEC-HMS برای بازسازی مدل حوضه و بررسی و روندیابی هیدروگراف‌های سیل در آن و نیز برای تحلیل حساسیت دبی سیلابی حوضه نسبت به تغییر سه پارامتر قابل مدیریت ژئومورفولوژی در سیلاب شامل: CN، شیب و مساحت در هریک از زیرحوضه‌ها و در گستره منطقی خود استفاده شده است. محاسبات حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی، لزوماً متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نبوده و زیرحوضه‌های با دبی اوج بیشتر، ضرورتاً تأثیر بیشتری در سیل خروجی حوضه ندارد. لذا برای هرگونه عملیات کنترل سیل و یا کاهش دبی اوج در خروجی حوضه، باید نحوه تأثیر هر یک از زیرحوضه‌ها را پس از روندیابی آنها در آبراهه‌های اصلی تعیین کرد و سپس با توجه به سهمی که در ایجاد سیل خروجی به‌عهده دارند، آنها را تفکیک و اولویت‌بندی نمود. با اجرای روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها در مدل حوضه زرچشمه هونجان توسط نرم‌افزار HEC-HMS مشخص گردید، زیرحوضه S13 بیشترین اثر کاهشی و زیر حوضه S3 کمترین اثر کاهشی روی دبی اوج خروجی حوضه دارد. همچنین افزایش CN در زیرحوضه‌های S13-S5-S11-S12-S10-S15-S6 موجب افزایش دبی اوج شده است و در سایر زیرحوضه‌ها تأثیر معکوس داشته است. زیرحوضه‌های S12-S13-S5-S10 نسبت به تغییر مساحت حساسیت بیشتری از خود نشان دادند. همچنین افزایش شیب در زیرحوضه‌های S2,S4,S5,S7,S10,S12,S13,S15,S16,S17,S21,S22,S24 در افزایش دبی اوج خروجی تأثیر مستقیم داشته و در سایر زیرحوضه‌ها تأثیر معکوس داشته است.

واژه‌های کلیدی: روندیابی سیل؛ مدل HEC-HMS؛ روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی؛ مدل آنالیز حساسیت؛ زرچشمه هونجان

مقدمه

بررسی‌های سازمان ملل متحد حاکی از آن است که سیل را باید یکی از جدی‌ترین بلایای طبیعی به‌شمار آورد. تنها معدودی از کشورهای جهان را می‌توان یافت که فارغ از مسائل و مصائب سیل باشند. بررسی آمار و اطلاعات خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان، بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد (وهابی، ۱۳۸۵: ۳۴). روند افزایش سیل در ۵ دهه گذشته، نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ تقریباً ده برابر شده است و به‌عبارت دیگر ۹۰۰ درصد افزایش داشته است (عبدی، ۱۳۸۵: ۲۰۰). روندیابی سیل، امکان شناخت ویژگی‌های سیل زیرحوضه‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها را در یک سیستم متقابل عمل و فرآیند ممکن می‌کند و بررسی متغیرهای ژئومورفیک علل این سازوکارها را مورد بررسی قرار می‌دهد. دانش ژئومورفولوژی با در اختیار داشتن ابزار گسترده قادر است، نقش مؤثری در شناخت سیلاب مناطق و تحلیل عوامل آن ارائه کند. تحقیقات می‌می‌کو (۱۹۸۳) در یونان نشان داد که علاوه بر بارش متوسط حوضه و مساحت سه فاکتور شیب آبراهه اصلی، فراوانی آبراهه و شاخص مربوط به خاک نقش بیشتری در تولید رواناب دارد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۱۵). کیلبرت (۱۹۹۶)، در بررسی سیلاب‌های شدید به این نتیجه رسید، که غیر از حالت‌های محدود، سیلاب‌های شدیدی که در حوضه‌های بزرگ حادث می‌گردد در نتیجه بارندگی است و تأثیر انسان در منطقه، پوشش گیاهی، خاک، توپوگرافی و بستر رودخانه از اهمیت کمتری برخوردار بوده است، مگر در شرایط استثنایی که تخریب شدید باشد. همچنین مشخص شد که میزان خسارت سیلاب‌ها را می‌توان با تغییرات در بستر رودخانه کاهش داد (رحیمی، ۱۳۷۸: ۱۰). مک لین^۱ و همکاران (۲۰۰۱)، ترکیبی از Arcview و برنامه الحاقی GIS-HEC را برای آنالیز دشت سیلابی پاگارتا^۲ در لس آلاموس^۳ به‌کار گرفتند. این دشت در سال ۲۰۰۰ تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفته بود. داده‌های رواناب بارش قبل از آتش‌سوزی توسط مدل HEC_HMS موجود بود. با کالیبره کردن مدل توسط داده‌های بارش در تابستان سال ۲۰۰۰ مشخص شد که اجرای مدل فوق همخوانی خوبی با داده‌های سیل منطقه دارد و هیدروگراف سیل برای بارش ۶ ساعته در دوره برگشت ۱۰۰ سال برای منطقه طراحی شد. پلات^۴ (۲۰۰۲)، در تحقیق خود با نام «خطر سیل و مدیریت آن»، پهنه‌بندی خطر را به‌عنوان شیوه کاملاً مشخصی برای سامان‌دهی و مدیریت خطرهای ناشی از عوامل طبیعی زیست محیطی یا انسانی که از بین آن‌ها سیل بسیار بارزتر است، تعریف کرد. چن^۵ و همکاران (۲۰۱۱)، روش تحلیل خوشه‌ای فازی و

1- Mclin

2- Pajarto

3- Los Alamos

4- Plate

5- Chen

شاخص‌های مساحت تحت تأثیر قرار گرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران شده و میزان خسارت اقتصادی مستقیم را در طبقه‌بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان چین به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که روش تحلیل خوشه‌ای فازی روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب است.

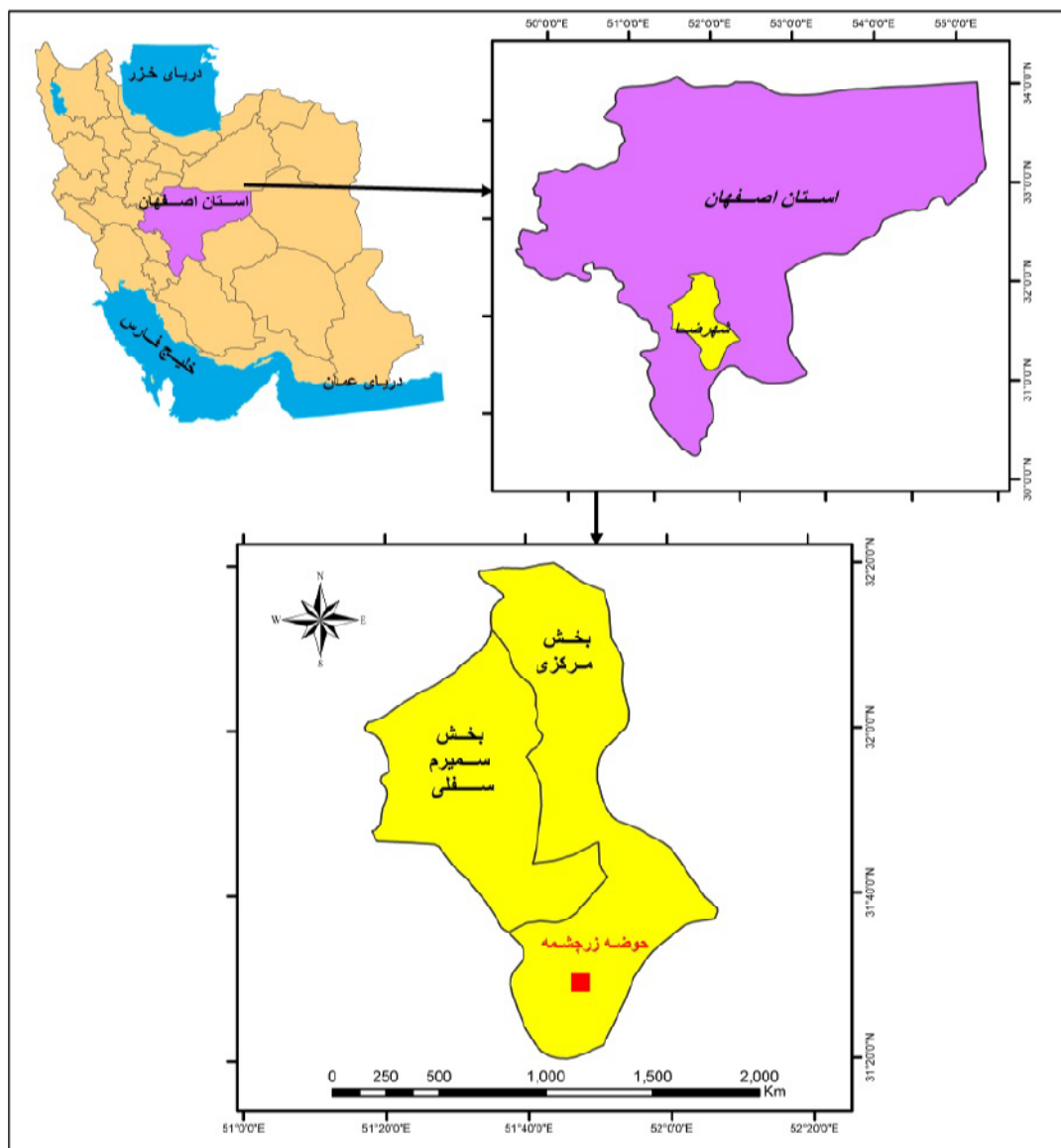
در ایران مرید و قائمی (۱۳۷۶)، برای تشابه‌سازی بارندگی-رواناب در استان هرمزگان مدل HEC-1 را برای تعدادی از سیل‌های مهم حوضه‌های آبخیز بکار گرفته‌اند. براساس نتایج به دست آمده از مطالعات انجام شده، مدل HEC-1 به طور مطلوبی امکان تشابه‌سازی بارندگی-رواناب را دارد، ولی در کاربرد آن باید به دو نکته توجه شود: اول، این که در واسنجی پارامترها، لازم است از هیدروگراف‌هایی استفاده شود که از شکل متعارف زنگوله‌ای برخوردار باشد و هیدروگراف‌های با تغییر زیاد و یا آن‌هایی که یکباره به اوج می‌رسند جواب‌های غیرواقعی خواهند داشت. دوم، این که در استفاده از هیدروگراف واحد جهت برآورد سیلاب، پارامترهای مورد نیاز براساس ضریب متعارف جواب‌های مناسبی نمی‌دهند (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴). خسروشاهی (۱۳۸۱)، مدل HEC-HMS را جهت تعیین زیرحوضه‌های سیل‌خیز حوضه آبخیز دماوند در استان تهران به کار برد، و از روش SCS جهت تعیین ارتفاع رواناب و از روش ماسکینگام برای روندیابی هیدروگراف‌ها استفاده نمود. در پژوهش وی، زیرحوضه‌های سیل‌خیز براساس سهم مشارکتی آن‌ها در سیلاب حوضه تفکیک شده‌اند. امیراحمدی و شیران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل HEC-HMS به بازسازی مدل حوضه و روندیابی هیدروگراف‌های سیل در دشت کرون پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد، نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نبوده و زیرحوضه‌های با دبی اوج بیشتر ضرورتاً تأثیر بیشتری در سیل خروجی حوضه ندارند. امیدوار و اژدرپور (۱۳۹۱)، در پژوهشی با عنوان، مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در برآورد بارش-رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات، به بررسی کارآمدی شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب و مقایسه آن با نتایج مدل HEC-HMS پرداختند. نتایج نشان داد که در حوضه مطالعاتی دقت شبکه بیشتر از مدل HEC-HMS بوده است.

در این تحقیق، روندیابی سیل با استفاده از متغیرهای ژئومورفیک در حوضه زرچشمه هونجان مورد بررسی قرار گرفته است. زرچشمه هونجان یکی از دشت‌های پایکوهی است که از استعداد فراوانی در ارتباط با فعالیت‌های کشاورزی و باغداری برخوردار می‌باشد. این منطقه به دلیل نزدیکی به مناطق شهری به خصوص شهر اصفهان می‌تواند به عنوان مرکزی برای تولید محصولات کشاورزی به حساب آید. لیکن در سال‌های اخیر به علت خشکسالی‌های پی در پی و نیز با توجه به جمعیت روزافزون آن، مشکلات فراوانی را در رابطه با تأمین آب به ویژه در بخش کشاورزی داشته است. این در حالی است که هر ساله سیل‌های مخرب به بخش‌های

وسیع‌تری از زمین‌ها و باغات حاشیه رودخانه آسیب می‌کند. شناسایی و پیش‌بینی حجم سیلاب این زیرحوضه که بدون شک زمین‌های پایین دست را متأثر می‌کند و مشخص نمودن اولویت و حساسیت زیرحوضه‌های آن برای اجرای برنامه‌های کنترل سیل امری لازم و ضروری است. از طرفی با توجه به نیاز روزافزون این ناحیه و تأمین آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب و نیز جلوگیری از اثرات زیان‌بار سیلاب‌ها از مهم‌ترین ضرورت‌های این تحقیق انجام اقدامات مدیریتی شامل: شناسایی زیرحوضه‌ها با عملکرد بحرانی و شناسایی عوامل سیل‌خیزی در جهت جلوگیری از تخریب زمین‌های کشاورزی و فرسایش خاک و کمک به رفع معضل کم‌آبی منطقه را باید عنوان نمود.

منطقه مورد مطالعه

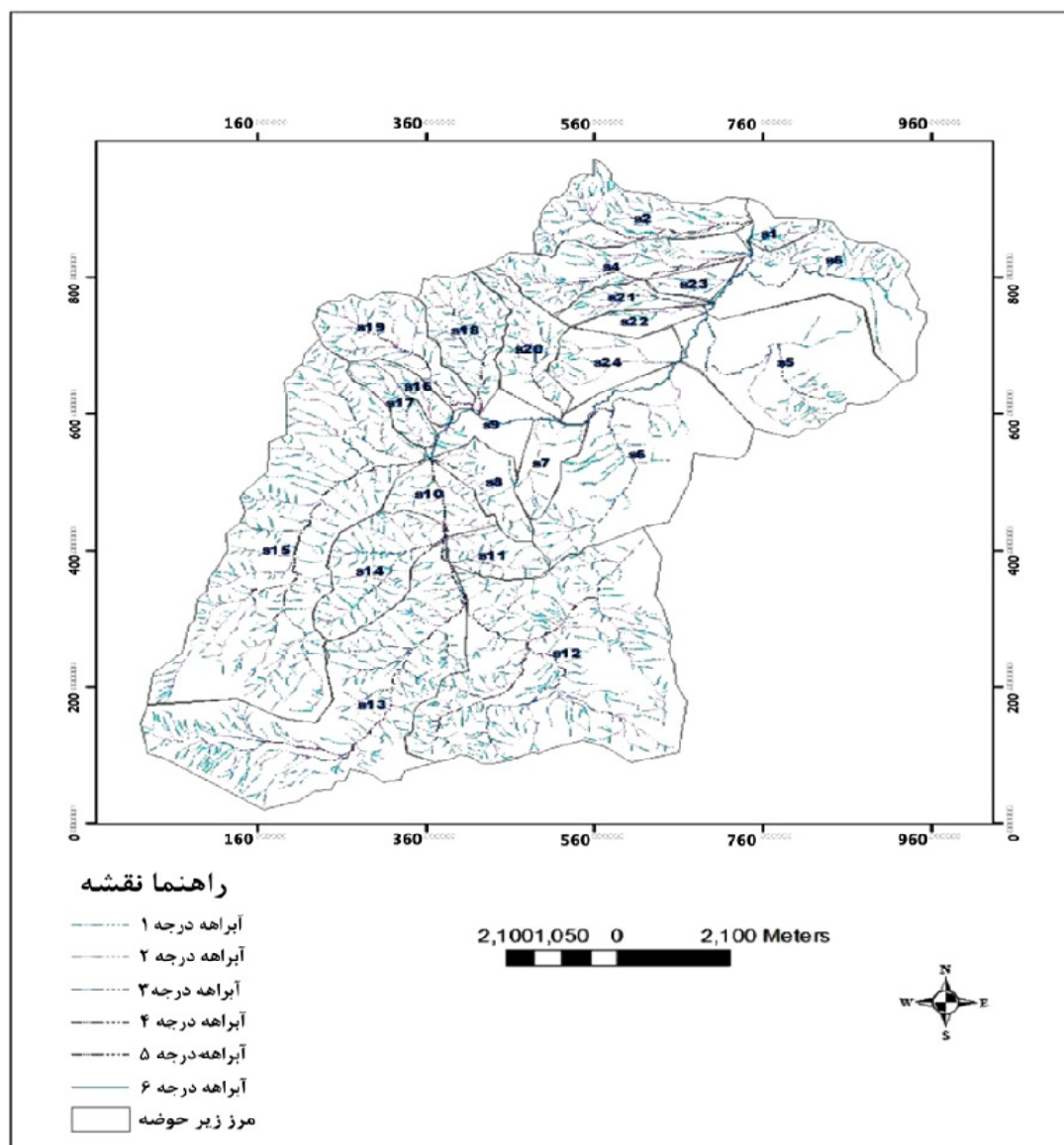
حوضه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی $51^{\circ}52'15''$ و $53^{\circ}44'15''$ در عرض جغرافیایی $31^{\circ}28'33''$ و $31^{\circ}34'15''$ قرار گرفته است. از نظر موقعیت سیاسی در استان اصفهان، شهرستان شهرضا در دهستان اسفرجان از بخش مرکزی قرار گرفته و شامل روستای هونجان، مزارع ماش، آینه قری، چهارقاش می‌باشد، که فاقد جمعیت ساکن ولی ییلاق تعدادی از عشایر ایل قشقایی در فصل تابستان است (شکل ۱). این حوضه از سمت غرب با بخش هوک، از شمال با روستای هونجان، از جنوب با شهرستان سمیرم، از شرق با شهرستان آباده ارتباط دارد. زهکش اصلی حوضه رودخانه زرچشمه است. حوضه مورد نظر از یک رشته کوه که جزء پیش کوه‌های زاگرس می‌باشد، تشکیل شده است. این ارتفاعات اکثر از تشکیلات آهکی دوران کرتاسه است، که قابلیت نفوذپذیری آنها خوب می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه $2714/8$ متر است و مرتفع‌ترین نقطه حوضه 3718 متر و پست‌ترین نقطه 2440 متر ارتفاع دارد. شیب متوسط حوضه 14% می‌باشد. اقلیم منطقه مطابق رده‌بندی دومارتن در گروه اقلیم مدیترانه‌ای و طبق رده‌بندی آمبرژه در محدوده اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل قرار می‌گیرد. مساحت حوضه زرچشمه هونجان 122 کیلومتر مربع و محیط حوضه 54 کیلومتر است. از نظر زمین‌شناسی حوضه مورد مطالعه در پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی و بر روی منتهی‌الیه کمربند سهندج- سیرجان قرار گرفته است. عمده تشکیلات زمین‌شناسی مربوط به دوران ترشیاری می‌باشد (نقشه زمین‌شناسی $1:250000$ اصفهان).



شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

مواد و روش‌ها

برای اجرای روش شبیه‌سازی، نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۵۰۰۰۰:۱ ارقومی گردید، و حوضه مورد نظر به ۲۴ زیرحوضه تفکیک شد (جدول ۱). نقشه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌های زرجشمه هونجان در شکل (۲) آمده است. جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی از مدل HEC-HMS استفاده شده است. از آنجا که منطقه مورد مطالعه فاقد ایستگاه آب‌سنجی است، برای برآورد رواناب حوضه روش SCS به کار گرفته شد. در جدول (۱) متغیرهای ژئومتری محاسبه و برای حوضه آورده شده است.



شکل (۲) نقشه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌های زرچشمه هونجان

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$QP = \frac{2.083 \times A \times R}{TP} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$TP = 0.6TC + \sqrt{TC} \quad \text{رابطه (۳)}$$

QP: دبی سیلابی (مترمکعب بر ثانیه)

R: ارتفاع رواناب (سانتی‌متر)

A: مساحت حوضه (هکتار)

TP: زمان اوج هیدروگراف

P: بارش (سانتی‌متر)

S: نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه

جدول (۱) متغیرهای ژئومتری حوضه

ضریب کشیدگی (Re)=DC/Lb	ضریب گراولیوس	ضریب شکل FF	ضریب گردش‌دگی (Rc)=A/AC	طول حوضه (Lb)	محیط (Pu)	مساحت (Au)	زیرحوضه
۱/۳۷	۱/۲۷	۰/۶۷	۰/۶	۰/۹	۵	۱/۲	۱
۰/۵۸	۱/۴۸	۳/۷	۰/۴۴	۴/۱	۱۱/۳۱	۴/۵۵	۲
۰/۷۵	۱/۵۶	۲/۲۲	۰/۴	۳/۷۸	۱۴/۲	۶/۴۲	۳
۰/۴۷	۱/۵۶	۵/۱۵	۰/۴	۴/۹۳	۱۱/۶۳	۴/۳۵	۴
۰/۹۸	۱/۱۴	۱/۳۱	۰/۷۴	۳/۴	۱۲/۱۸	۸/۸۵	۵
۰/۶۷	۱/۳۴	۲/۸۲	۰/۵۴	۵/۴	۱۵/۵۳	۱۰/۳۴	۶
۰/۶۵	۱/۷۹	۲/۹۴	۰/۳	۲/۳۲	۸/۶۵	۱/۸۳	۷
۰/۶	۱/۱۹	۳/۵۳	۰/۶۸	۲/۷۳	۶/۲۱	۲/۱۱	۸
۰/۶۳	۱/۳۹	۳/۱۲	۰/۵۱	۲/۵	۷	۲	۹
۰/۸۹	۱/۲۲	۱/۶	۰/۶۵	۱/۸۴	۶/۶۳	۲/۱۱	۱۰
۰/۸	۱/۱۳	۱/۹۶	۰/۷۶	۱/۸۵	۵/۳۳	۱/۷۴	۱۱
۰/۸۱	۱/۲۸	۱/۹۲	۰/۵۹	۶/۱	۲۰/۲۴	۱۹/۳۶	۱۲
۰/۴۷	۱/۶۳	۵/۵۳	۰/۳۶	۹/۱۷	۲۲/۸	۱۵/۲	۱۳
۰/۷۱	۱/۱۹	۲/۴۸	۰/۶۸	۳/۲۷	۸/۸۷	۳/۴	۱۴
۰/۶۳	۱/۵۳	۳/۱۳	۰/۴۱	۷/۸	۲۴/۱۹	۱۹/۴۲	۱۹/۴۲
۰/۵	۱/۴۴	۵/۰۶	۰/۴۷	۲/۰۵	۴/۷	۰/۸۳	۱۶
۰/۵۲	۱/۳۸	۴/۷	۰/۵۱	۲/۵۳	۵/۷۸	۱/۳۶	۱۷
۰/۶۵	۱/۳	۳	۰/۵۷	۳/۱۶	۸/۵	۳/۳۳	۱۸
۰/۵۹	۱/۳۷	۳/۵۶	۰/۵۲	۳/۶۶	۹/۴۹	۳/۷۶	۱۹
۰/۵۱	۱/۵۴	۴/۸۷	۰/۴۱	۳/۸	۹/۵	۲/۹۶	۲۰
۰/۴۲	۱/۶۵	۶/۹۲	۰/۳۵	۳	۶/۷۵	۱/۳	۲۱
۰/۴۴	۱/۵	۶/۳	۰/۴۳	۲/۵۱	۵/۳۹	۱	۲۲
۰/۶۹	۱/۳۳	۲/۶۴	۰/۵۵	۱/۵	۴/۴۰	۰/۸۵	۲۳
۰/۱۲	۱/۲۹	۱/۸۸	۰/۵۸	۲/۳	۷/۷۵	۲/۸۱	۲۴

برای روندیابی بازه‌ها روش Tlag انتخاب شد. روش مذکور برای هر عامل بازه به‌صورت زمان تأخیر آن بازه

تعریف می‌شود و فرمول آن به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳: ۴۸۳).

$$T_{lag} = \frac{2.587 \times L^{0.8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{1900 \times H^{0.5}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: Tlag: زمان تأخیر (ساعت)

L: طول هیدرولیکی آبراهه اصلی (متر)

CN: شماره منحنی وزنی حوضه

H: شیب متوسط وزنی آبراهه (درصد)

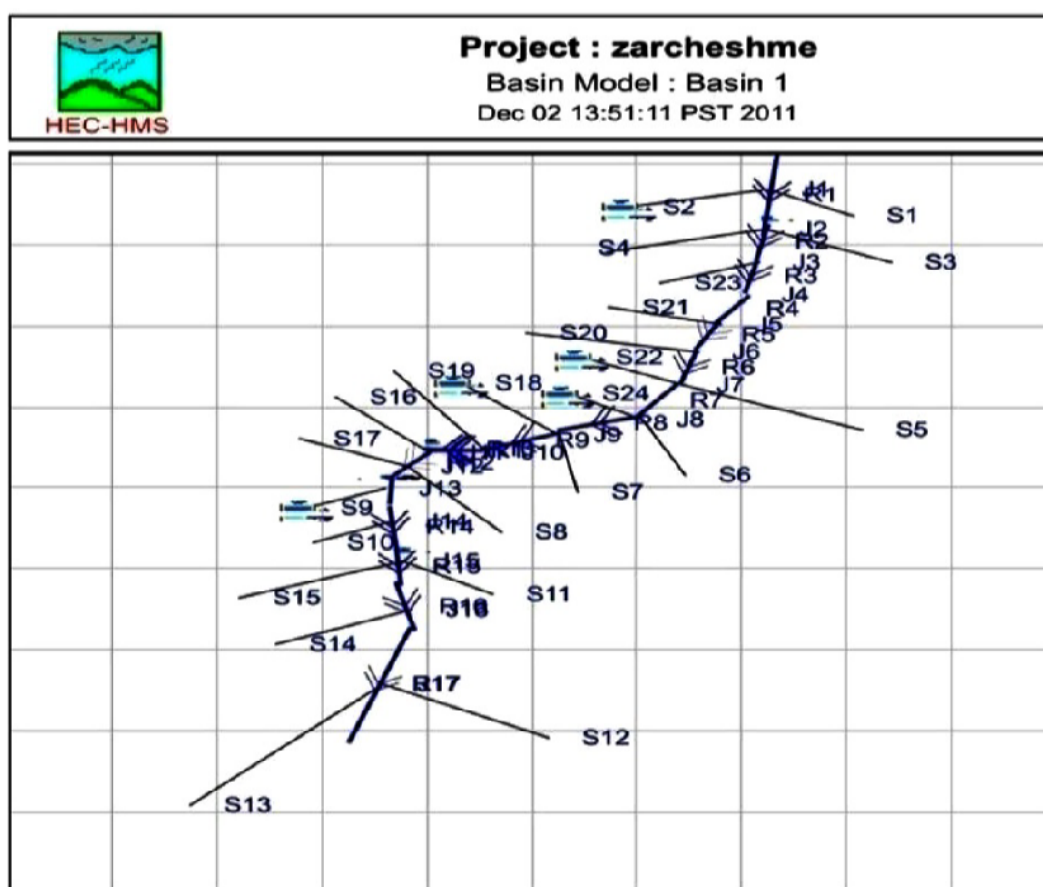
برای به دست آوردن کمیت‌های مورد نیاز از امکانات GIS و لایه‌های تهیه شده استفاده گردید. این کمیت‌ها شامل: شیب متوسط حوضه، طول حوضه، زمان تمرکز، زمان تأخیر، CN، ارتفاع متوسط حوضه و بارندگی ۶ و ۲۴ ساعته بوده که در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲) داده‌های مورد نیاز برای فرآیند HEC-HMS

شماره	شیب متوسط	طول حوضه	زمان تمرکز	زمان تأخیر	CN مرطوب	CN متوسط	ارتفاع متوسط	بارندگی ۶ ساعته	بارندگی ۲۴ ساعته
۱	۴۵/۱۱	۰/۹	۰/۱۷	۰/۱	۶۹	۵۰	۲۴۶۰	۴۱/۲۶	۴۸/۰۲۵
۲	۴۷/۱	۴/۱	۰/۶	۰/۳۶	۷۹	۶۲	۲۵۷۰	۴۳/۰۱	۵۲/۲۰۵
۳	۸/۶	۳/۷۸	۱/۰۶	۰/۶۳	۶۶	۴۶	۲۴۷۲/۵	۴۱/۴۶	۴۸/۵
۴	۱۶/۷۶	۴/۹۳	۰/۶	۴/۳۶	۷۹	۶۲	۲۶۳۵	۴۴/۰۵۳	۵۴/۶۷۵
۵	۱۸	۳/۴۱	۰/۶۸	۰/۴	۷۷	۸۹	۲۴۹۴/۵	۴۱/۸۱	۴۹/۳۳۶
۶	۴۸/۱۲	۵/۴	۰/۷۲	۰/۴۳	۷۴	۵۵	۲۶۵۰/۵	۴۴/۳	۵۵/۲۶۴
۷	۸۶/۶۸	۲/۳۲	۰/۸۶	۰/۱۷	۷۹	۹۱	۲۶۹۰	۴۴/۹۳	۵۶/۷۶۵
۸	۷۸/۲۴	۲/۷۳	۰/۳۷	۰/۲۲	۶۹	۵۰	۲۷۳۶	۴۵/۶۶	۵۸/۵۱۳
۹	۵۵/۳۳	۲/۵	۰/۵	۰/۳	۶۹	۵۰	۲۵۹۱	۴۳/۳۵	۵۳/۰۰۳
۱۰	۲۰/۱	۱/۸۴	۰/۴۵	۰/۲۷	۸۶	۹۴	۲۰۸/۵	۴۵/۲۲	۵۷/۴۶۸
۱۱	۷۷/۳	۱/۸۵	۰/۸۵	۰/۵۱	۷۹	۶۲	۲۷۵۳/۵	۴۵/۹۴	۵۹/۱۷۸
۱۲	۳۱/۰۵	۶/۱	۰/۲۷	۰/۱۶	۸۶	۷۲	۲۸۴۵/۵	۴۷/۴۱	۶۲/۶۷۴
۱۳	۸۳/۵۶	۹/۱۷	۰/۸۹	۰/۵۳	۶۹	۸۴	۳۱۸۰	۵۲/۷۵	۷۵/۳۸۵
۱۴	۶۵/۸۶	۳/۲۷	۰/۴۶	۰/۲۷	۷۹	۶۲	۲۷۷۵	۴۶/۲۹	۵۹/۹۹۵
۱۵	۹۰/۶۹	۷/۸	۰/۷۵	۰/۴۵	۷۹	۶۲	۳۱۶۷/۵	۵۲/۵۵	۷۴/۹۱
۱۶	۵۶/۶۸	۲/۰۵	۰/۳۲	۰/۲	۸۶	۹۴	۲۶۹۰	۴۴/۹	۵۶/۷۶۵
۱۷	۷۴/۵۴	۲/۵۳	۰/۳۵	۰/۲۱	۶۹	۸۴	۲۷۱۸/۵	۴۵/۳۸	۵۷/۸۴۸
۱۸	۶۴/۶۳	۳/۱۶	۰/۴۴	۰/۲۶	۷۹	۶۲	۲۶۹۹/۵	۴۵/۱	۵۷/۱۲۶
۱۹	۶۷/۹۵	۳/۶۶	۰/۴۸	۰/۳	۶۹	۵۰	۲۷۲۰/۵	۴۵/۴۱	۵۷/۹۲۴
۲۰	۵۷	۳/۸	۰/۵۲	۰/۳۱	۶۹	۵۰	۲۶۷۳	۴۴/۶۶	۵۶/۱۱۹
۲۱	۸۰/۰۷	۳	۰/۴۲	۰/۲۵	۷۹	۹۱	۲۵۷۰/۵	۴۳/۰۲	۵۲/۲۲۴
۲۲	۴۶/۵	۲/۵۱	۰/۴۷	۰/۳	۸۶	۹۴	۲۵۳۹	۴۲/۵۲	۵۱/۰۲۷
۲۳	۳۸/۷	۱/۵	۰/۳۱	۰/۱۸	۸۶	۷۲	۲۴۶۵	۴۱/۳۴	۴۸/۲۱۵
۲۴	۶۰/۷۱	۲/۳	۰/۳۴	۰/۲	۷۹	۹۱	۲۵۶۰/۵	۴۲/۸۶	۵۱/۸۴۴

در بررسی و روندیابی سیل درحوضه و مطالعه نقش مشارکتی زیرحوضه‌ها در سیلاب حوضه از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بارش-رواناب توسط نرم‌افزار HEC-HMS استفاده شد. مدل HEC-HMS یک مدل ریاضی است که می‌تواند حجم، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب را به وسیله شبیه‌سازی رفتار حوضه بازسازی کند. از مزایای این برنامه آن است که در حوضه‌ها با اندازه، شکل و پارامترهای مختلف، قابلیت کاربرد دارد (بارتون^۱، ۲۰۰۳: ۱). این روش، بارش-رواناب را شبیه‌سازی نموده و توسط قابلیت بالای گرافیکی

خود قادر به نمایش گراف‌های سیلاب در تمامی عوامل حوضه می‌باشد. این ویژگی امکان روندیابی موج سیل و بررسی چگونگی عملکرد موج سیل با مشارکت فعال زیرحوضه‌ها را فراهم می‌کند. به‌علاوه امکان مقایسه شکل هیدروگراف سیل در زیرحوضه‌ها را ممکن می‌سازد. ساختار مدل از سه بخش مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص کنترل تشکیل شده است (دیویس^۱، ۲۰۰۱: ۵). با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS مدل حوضه در این نرم‌افزار بازسازی شد که شامل: زیرحوضه‌ها (S)، بازه‌ها (R)، و نقاط اتصال آبراهه‌ها (J) است. این مدل در شکل (۳) آمده است.



شکل (۳) مدل حوضه زرچشمه هونجان و زیرحوضه‌های آن در نرم‌افزار HEC-HMS

جهت نشان دادن تأثیر هر کدام از پارامترها، از آنالیز حساسیت استفاده شد. آنالیز حساسیت روشی است، که نشان می‌دهد کدام یک از پارامترها تأثیرات شدیدتری بر نتایج اعمال می‌کنند. رتبه‌بندی پارامترهای مدل براساس مشارکت آنها روی هم‌رفته در مدل قابل محاسبه است. آنالیز حساسیت می‌تواند در مقیاس محلی یا کلی انجام گیرد. در مقیاس محلی تأثیر هر پارامتر به‌شکل مجزا با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها محاسبه

می‌شود. در مقیاس کلی به همه پارامترها اجازه تغییر در یک زمان داده می‌شود و نحوه عملکرد آن بر اساس انتخاب تصادفی پارامترها و روش‌های احتمالاتی است (ساندرلیک^۱ و پی.سیمونوویک^۲، ۲۰۰۴: ۴۷). در حال حاضر آنالیز حساسیت نقش کلیدی در تحلیل‌های مربوط به سیلاب دارد و استفاده از آن برای تحلیل‌های کوتاه‌مدت تا بلندمدت خردمندانه است (پرین^۳ و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۳۱). آنالیز حساسیت بینش توانمندی در مطالعه نتایج مدل ایجاد می‌کند که در جریان نتیجه‌گیری ناشی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی از جمله ریسک خطر یا کاهش خطر مهم خواهد بود (بون^۴ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱). برای انجام تحلیل حساسیت از بین پارامترهای موجود سه متغیر مساحت، شیب و CN انتخاب شد. از بین نتایج مختلف این نرم‌افزار، دبی اوج سیلابی که از مؤثرترین پارامترهای برآورد سیل است برای بررسی انتخاب شده است. این نرم‌افزار دبی اوج خروجی کل حوضه را ۱۰۷۵/۲۲ مترمکعب در ثانیه برای بارش طراحی ۶ ساعته در دوره بازگشت ۱۰۰ سال ارائه می‌کند.

بر پایه تقسیم‌بندی عوامل موثر بر هیدروگراف سیل، دو دسته مشخص از این عوامل تفکیک‌پذیر هستند: دسته اول، شامل عواملی است که تأثیرگذاری بر آن‌ها از قدرت بشر خارج بوده و عملاً نمی‌توان با تغییر آنها اقدام به تعدیل هیدروگراف حاصل از بارش موثر در یک نقطه خاص نمود.

این عوامل به‌طور عمده شامل: عوامل اقلیمی و برخی خصوصیات فیزیوگرافی از جمله: شکل و اندازه حوضه می‌باشد. دسته دوم، عواملی هستند که در امور آبخیزداری و طرح‌های کنترل سیل با استفاده از آن‌ها می‌توان تا حدی دبی اوج هیدروگراف یک حوضه را کاهش داد. از جمله آن‌ها می‌توان به شیب آبراهه، پوشش و کاربری ارضی اشاره نمود. به‌طور کلی روش‌هایی که این‌گونه عوامل را در سطح حوضه آبخیز به‌صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد، به‌دلیل وسعت و گستردگی حوضه‌های آبخیز برای ارائه راه‌حل‌های بهینه اجرایی، همواره با مشکل مواجه می‌شود (خسروشاهی، ۱۳۸۴: ۳۱).

برای بررسی وضعیت زیرحوضه‌ها در جهت ارائه پیشنهادات مدیریتی قابل اجرا اقدام به آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها شد. آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها در دو گام انجام گردید.

1- Cunderlik
2- P.simonovic
3- Perrin
4- Beven

۱- آنالیز حساسیت متغیرهای شیب، مساحت و CN:

از بین خصوصیات فیزیکی و پارامترهای ژئومورفولوژیکی زیرحوضه‌ها سه متغیر شیب، CN و مساحت برگزیده شد.

این سه عامل در دامنه منطقی خود به ترتیب در تمام زیرحوضه‌ها تغییر داده شدند. برای مساحت و شیب دامنه تغییر ± 50 (شامل دامنه ده تایی اعداد از -50 تا $+50$) و برای CN دامنه متغیر ± 10 (شامل دامنه هشت تایی اعداد از -10 تا $+10$) در نظر گرفته شد. با تغییر هر کدام از سه عامل و به ازای تغییر عدد دامنه، کلیه ویژگی سایر زیرحوضه‌ها ثابت نگه داشته شد تا تغییر در هیدروگراف خروجی کل حوضه کاملاً مشخص باشد.

حاصل هر بار تغییر در دبی اوج خروجی حوضه در نظر گرفته شد. بدین شکل مدل HEC-HMS بیش از چهارصد بار در تمام زیرحوضه‌ها اجرا شد. سپس نمودار تحلیل حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر سه عامل مذکور ترسیم گردید.

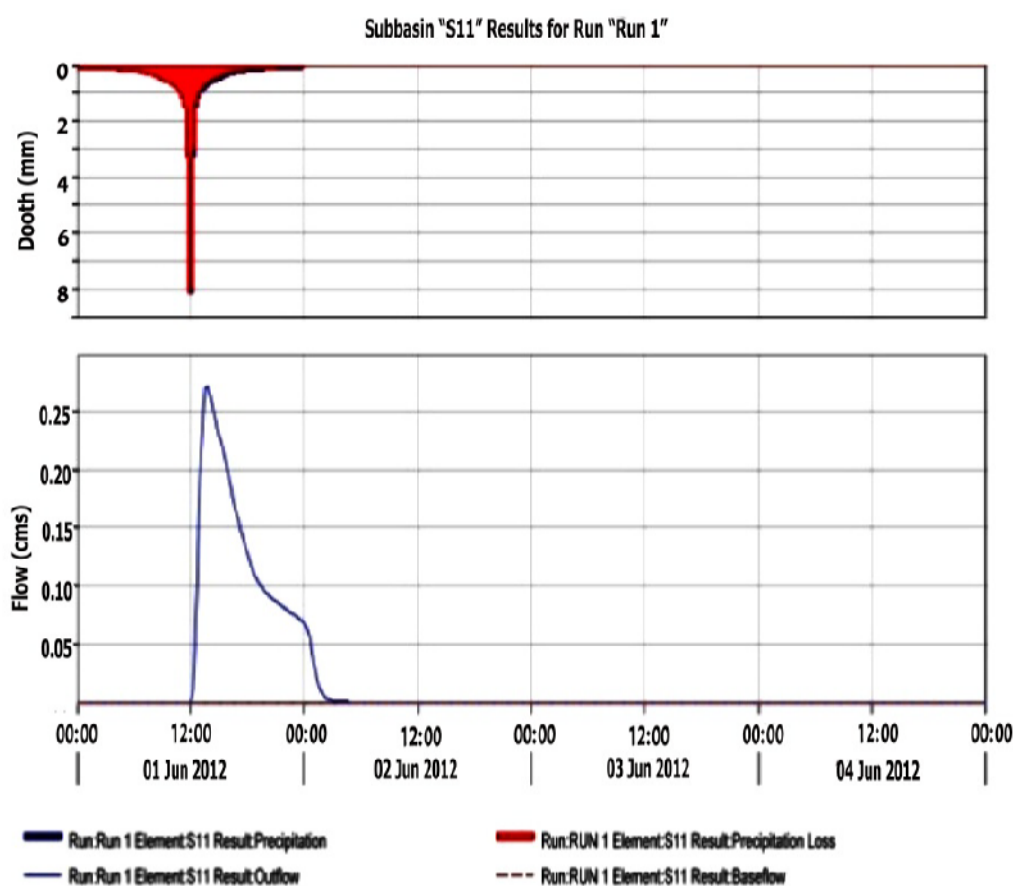
۲- حذف انفرادی زیرحوضه‌ها

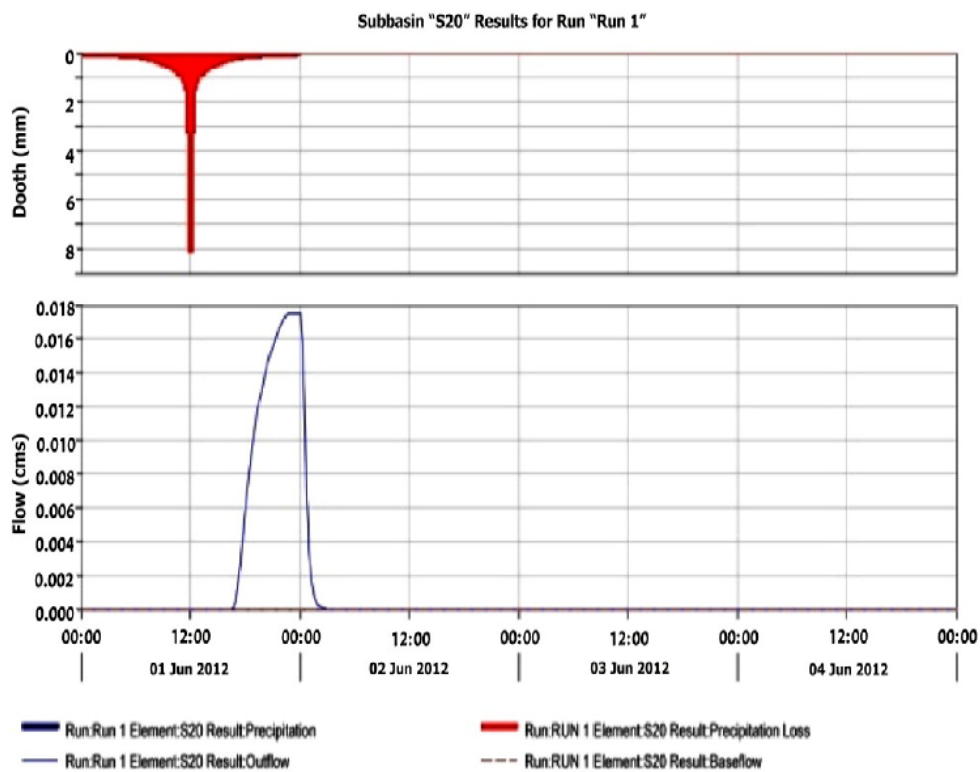
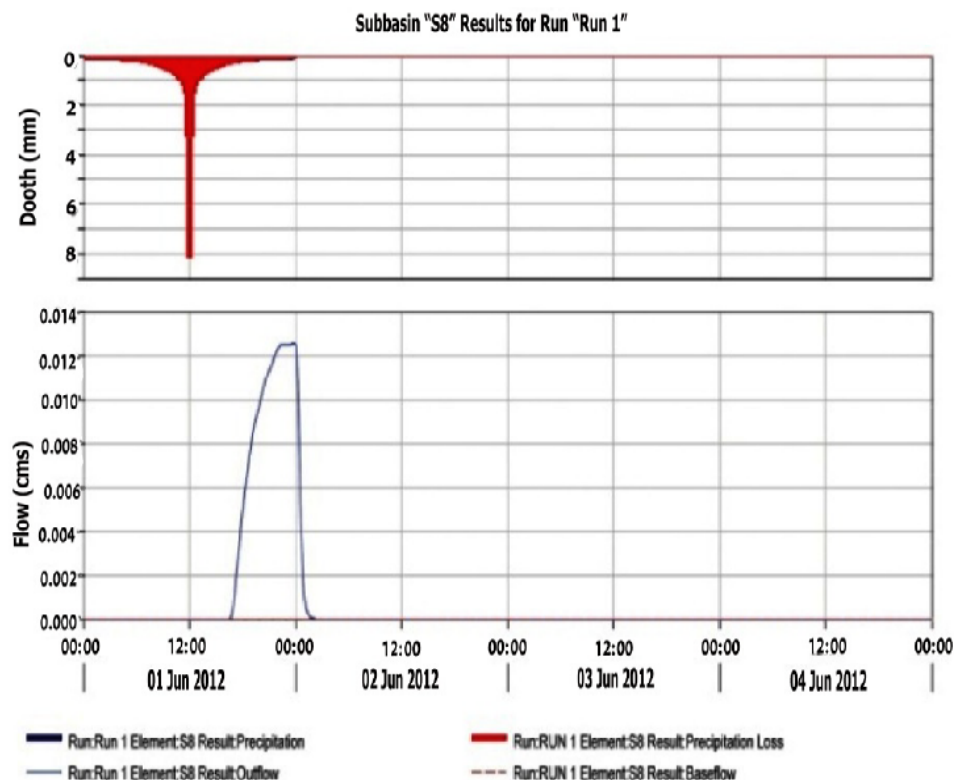
در دومین گام تحلیل حساسیت، برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی و به عبارتی تعیین میزان تأثیر هر یک از زیرحوضه‌ها در دبی سیل خروجی کل حوضه از روش ابداعی «تکرار حذف انفرادی زیرحوضه» استفاده می‌شود.

در این روش ابتدا هیدروگراف سیل خروجی با مشارکت کلیه زیرحوضه‌ها با کاربرد مدل HEC-HMS محاسبه می‌شود. سپس با حذف متوالی و یک به یک زیرحوضه‌ها از فرایند روندیابی داخل حوضه، میزان مشارکت هر یک از آنها در دبی اوج خروجی حوضه به دست می‌آید. زیرحوضه‌ای که بیشترین کاهش را در دبی خروجی کل حوضه از خود نشان دهد بیشترین سهم را در ایجاد سیل خروجی به عهده داشته و به عنوان اولویت اول شناخته می‌شود. بدین ترتیب کلیه زیرحوضه‌ها با توجه به میزان مشارکت آنها در دبی خروجی حوضه اولویت‌بندی می‌شود (خسروشاهی، ۱۳۸۴: ۳۲). این نکته را باید اضافه کرد که این اولویت‌بندی برای بارش‌های طراحی خاص که معمولاً برای کارهای آبخیزداری و کاهش خطر سیل از آن استفاده می‌شود، انجام شده است هر چند ممکن است با تغییر دوره بازگشت و یا تداوم بارش، پتانسیل تولید سیل زیرحوضه‌ها و یا محل تولید بالاترین دبی پیک تغییر کند از این رو لازم است اولویت‌بندی سیل‌خیزی با توجه به اهداف مورد نظر تعیین شود.

بحث و نتایج

مقایسه هیدروگراف سیل در زیرحوضه‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که قله هیدروگراف سیل درحوضه‌های کشیده، پهن‌تر از سایر زیرحوضه‌هاست. دبی سیلابی در واحد سطح آنها کمتر از سایر زیرحوضه‌ها بوده و زمان رسیدن به اوج آنها طولانی بوده است. برعکس حوضه‌هایی که غیر کشیده اند، دبی سیلابی آنها در واحد سطح بیشتر بوده و در زمان کوتاهی به دبی اوج رسیده‌اند و آبنمود آنها نوک تیز بوده است (برای خنثی‌سازی اثر سطح زیرحوضه‌ها، دبی در واحد سطح در نظر گرفته شد زیرا در زیرحوضه‌های بزرگ تلفات رواناب بیشتر است). سه دسته زیرحوضه به‌طور مجزا قابل مشاهده‌اند که ویژگی‌های آنها در جدول (۳) آمده است. شکل ۴ نمونه‌هایی از هر یک از هیدروگراف‌های با ویژگی قله پهن، نسبتاً پهن و تیز را نشان می‌دهد.





شکل (۴) هیدروگراف زیرحوضه‌های S8، S11 و S20 حوضه زرچشمه

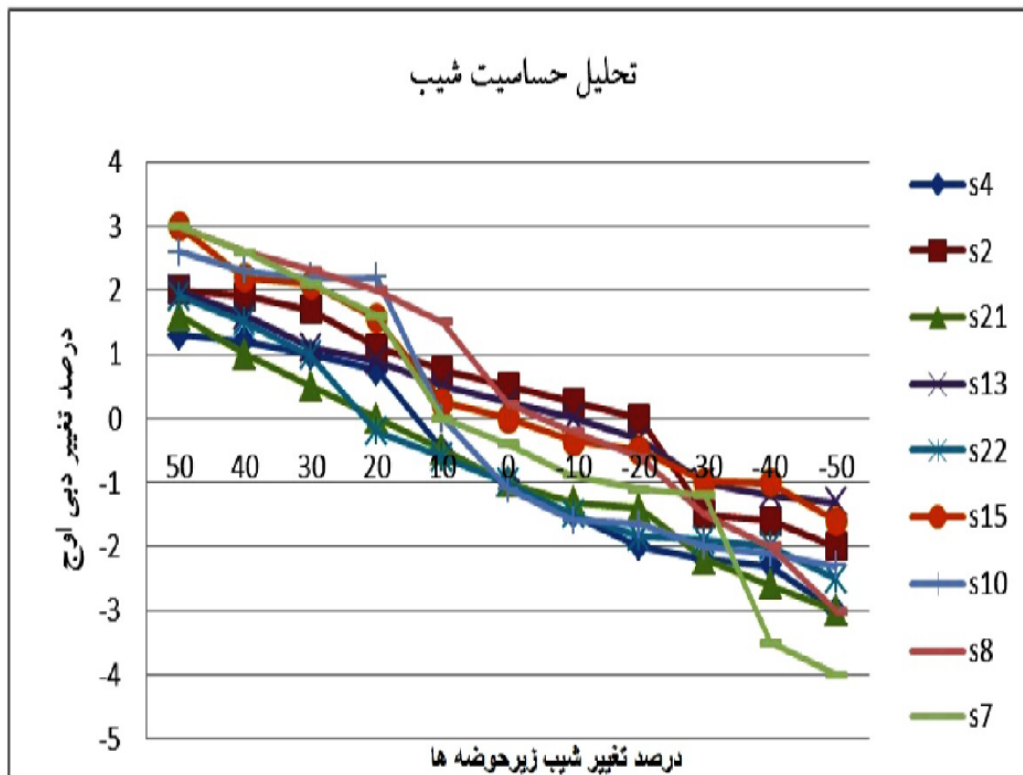
جدول (۳) هیدروگراف‌های سیل در زیرحوضه‌ها (ماخذ: نگارندگان)

گروه	زیر حوضه	ویژگی اوج هیدروگراف	ویژگی زمان اوج	ویژگی دبی اوج در واحد سطح
۱	S5,S7,S8,S10,S12,S13,S15 S16,S17,S21,S22,S24	قله پهن	در حدود ≥ 3.5 ساعت پس از شروع بارندگی	$3.5 \leq Q \leq 35$
۲	S2,S4,S6,S11,S14,S18,S23	قله نسبتاً پهن	در حدود ۳ ساعت پس از شروع بارندگی	$0.3 \leq Q \leq 1.2$
۳	S1,S9,S19,S20	قله تیز	در حدود ۲ ساعت پیش از شروع بارندگی	$0.008 \leq Q \leq 0.02$

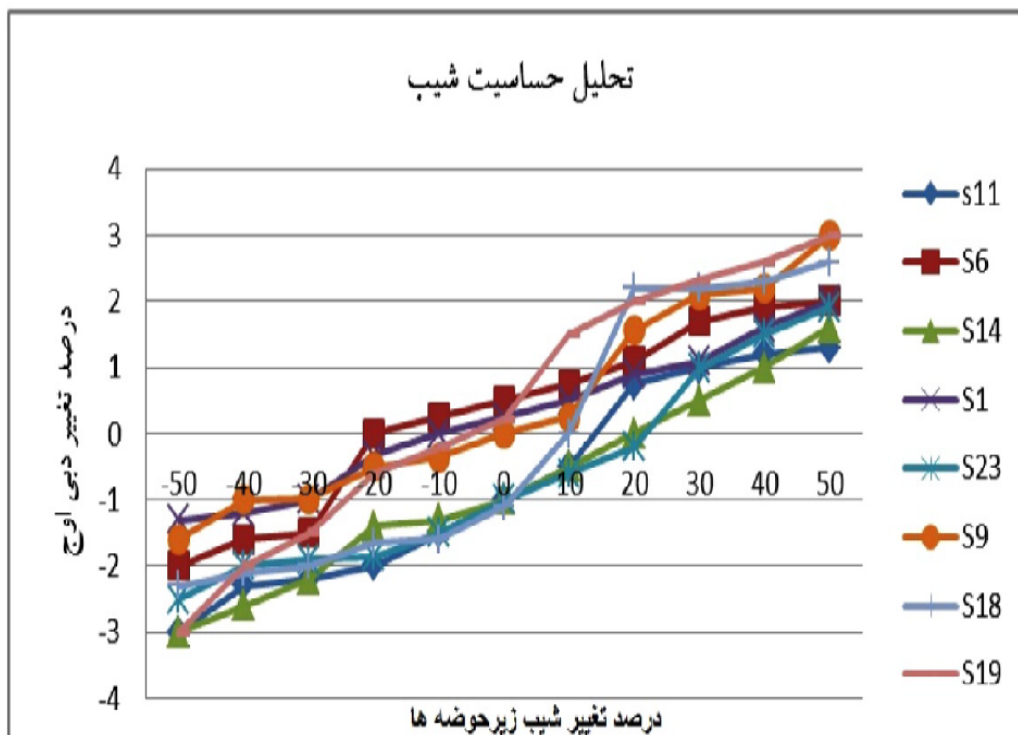
ذکر این نکته ضروری است که زیرحوضه‌های گروه یک از مساحت زیادی در بین سایر زیرحوضه‌ها برخوردارند و در بررسی ویژگی دبی اوج برای خنثی کردن اثر مساحت، دبی در واحد سطح در نظر گرفته شده است.

در عوامل اتصال، ترکیب مثبت موج سیل از ترکیب موج سیل سایر عوامل صورت گرفته است که منجر به تشدید مقدار دبی اوج در عامل اتصال شده است. همین‌طور در حرکت موج سیل به سمت پایین دست حوضه مشخص می‌شود که اثر گذاری و مشارکت زیر حوضه‌های پایین دست، در افزایش دبی پیک به شدت کاهش یافته است.

با تغییر عامل شیب مشخص شد زیرحوضه‌ها بر خلاف تصور با افزایش شیب یا کاهش آن به شکل یکسان در هیدروگراف سیل خروجی حوضه مشارکت نداشته‌اند، و حتی افزایش شیب در دسته‌ای از زیرحوضه‌ها منجر به کاهش دبی اوج حوضه بوده است (شکل ۵ و ۶). علت این امر دخالت دادن عامل مهم روندیابی سیل در بازه‌ها و نیز زیرحوضه‌هاست، که اثر همزمانی رسیدن همه موج‌های سیل در آن واحد به خروجی حوضه را حذف می‌کند و عوامل زیرحوضه‌ها و بازه‌ها با دخالت عامل مهم زمان تأخیر در تشدید یا تضعیف نقطه اوج دبی خروجی با حذف اثر همزمانی شرکت می‌کنند.



شکل (۵) نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه ها به تغییر شیب



شکل (۶) نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه ها به تغییر شیب

با تغییر شیب از کم به زیاد ۳ اثر متفاوت در دبی اوج خروجی حوضه مشاهده می‌شود:

(۱) افزایش شیب در زیرحوضه‌های S2, S4, S5, S7, S10, S12, S13, S15, S16, S17, S21, S22, S24 در افزایش دبی اوج خروجی تأثیر مستقیم داشته و منجر به افزایش آن شده است (شکل ۵).

(۲) افزایش شیب در زیرحوضه‌های S1, S6, S9, S11, S14, S18, S23, S19, S20 در افزایش دبی اوج خروجی تأثیر معکوس داشته است و منجر به کاهش آن شده است.

(۳) تغییرات شیب در زیرحوضه‌های S1, S3, S4, S9, S23 منجر به تغییرات ناچیزی در دبی اوج خروجی شده است. تغییرات شیب در زیرحوضه S3 در افزایش و یا کاهش دبی اوج خروجی تقریباً بی تأثیر بوده است.

در رابطه با مساحت حوضه می‌توان گفت گرچه در برخی منابع به رابطه مستقیم مساحت حوضه با دبی سیلاب تأکید شده و از آن به عنوان مهم‌ترین عامل فیزیوگرافی که تعیین‌کننده اوج سیلاب است یاد شده است اما شدت افزایش دبی سیلاب معادل شدت افزایش مساحت نیست زیرا هر چه سطح حوضه بیشتر شود، اولاً وقوع بارش‌های شدید روی تمامی حوضه را در برنمی‌گیرد و ثانیاً در حوضه‌های بزرگ‌تر در اثر روندیابی اوج سیلاب کاهش می‌یابد. می‌توان گفت با افزایش سطح حوضه اهمیت نسبی ذخیره آبراهه‌ای بیشتر می‌شود.

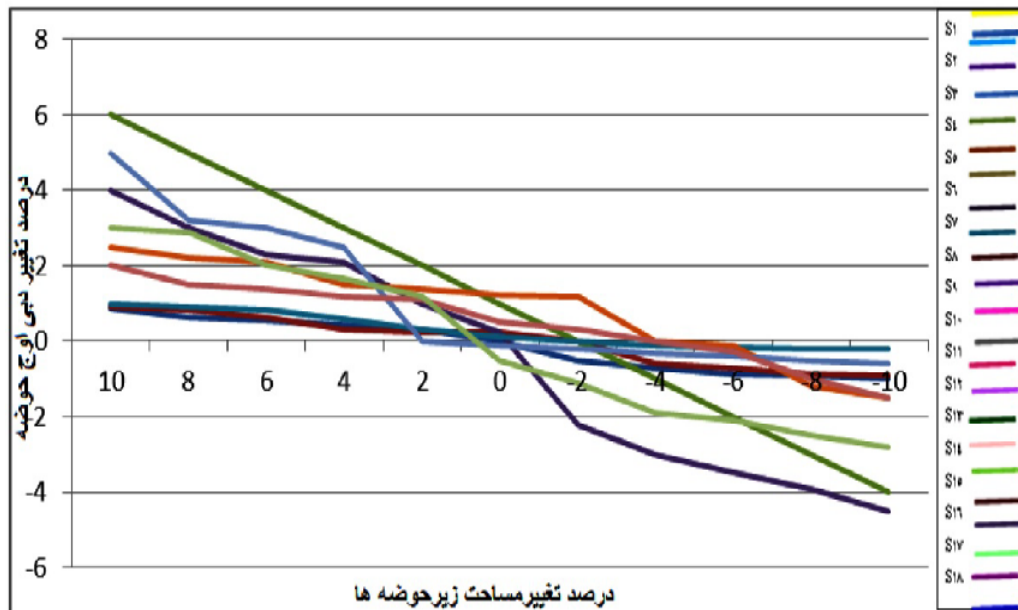
با توجه به نمودار تحلیل حساسیت مشخص شد حوضه‌های S12-S13-S5-S10 نسبت به تغییر مساحت حساسیت بیشتری دارند ولی همین‌طور که مشخص است اگر چنانچه اثر سطح در دبی اوج سیلاب مطلق بود باید حساسیت زیرحوضه S15 با مساحت بیشتر نسبت به سایر زیرحوضه‌ها بیشتر باشد در حالی که وضعیت این زیرحوضه در تحلیل حساسیت مساحت معکوس بوده است.

ترتیب حساسیت زیرحوضه‌ها از زیاد به کم به شکل زیر است:

S13-S5-S11-S12-S24-S10-S7-S21-S22-S16-S17-S15-S23-S14-S2-S4-S18-S6-S19-S20-S9-S8-S1-S3

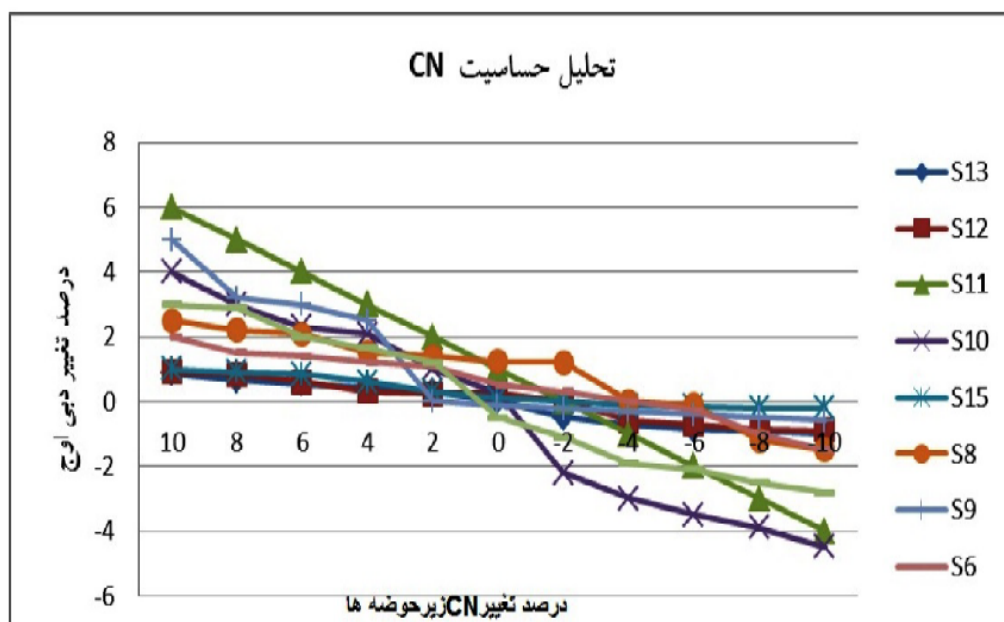
در حالی که ترتیب مساحت حوضه‌ها از بزرگ به کوچک به این ترتیب است:

S15-S12-S13-S6-S5-S3-S2-S14-S4-S19-S18-S20-S24-S8-S10-S9-S7-S11-S21-S17-S22-S1-S23-S16

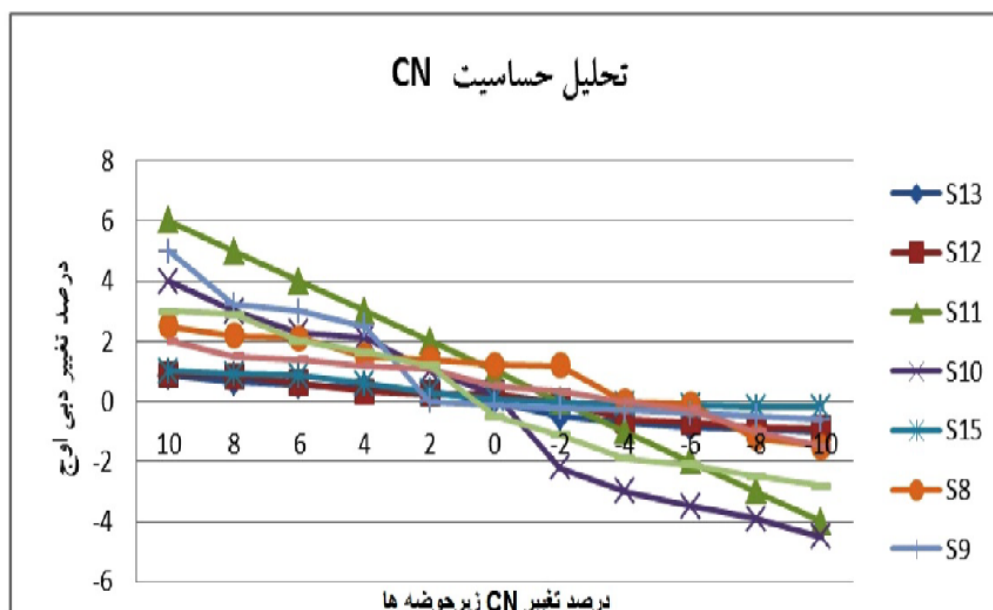


شکل (۷) نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر مساحت

با تغییر عامل CN مشخص شد زیرحوضه‌ها با افزایش CN یا کاهش آن به شکل یکسان در هیدروگراف سیل خروجی حوضه مشارکت نداشته‌اند. هر دو عامل CN و شیب در زمان تأخیر زیرحوضه شرکت دارند و هر تغییری در آنها روی سیلاب زیرحوضه تأثیر می‌گذارد که نتیجه کلی آن در ترکیب هیدروگراف سیل زیرحوضه‌ها با هیدروگراف سیلاب بالادست در محل اتصالات متفاوت خواهد بود.



شکل (۸) نمودار آنالیز حساسیت به تغییر CN



شکل (۹) نمودار آنالیز حساسیت به تغییر CN

در کل با تغییر CN از کم به زیاد ۳ اثر متفاوت در دبی اوج خروجی حوضه مشاهده می‌شود:

(۱) افزایش CN در زیرحوضه‌های S13-S5-S11-S12-S10-S15-S6 در افزایش دبی اوج خروجی تأثیر

مستقیم داشته است و منجر به افزایش آن شده است. (شکل ۸)

(۲) افزایش CN در زیرحوضه‌های S3-S1-S8-S9-S20-S19-S8-S4 در افزایش دبی اوج خروجی تأثیر

معکوس داشته است و منجر به کاهش آن شده است. (شکل ۹)

(۳) تغییرات CN در زیرحوضه‌های S2-S18-S4-S14-S23-S3-S1-S8-S9-S20 منجر به تغییرات ناچیزی

در دبی اوج خروجی شده است.

با اجرای حذف انفرادی زیرحوضه‌ها ترتیب تأثیر حذف آنها از بیشترین تأثیر روی دبی اوج خروجی تا

کمترین تأثیر به ترتیب زیر بوده است:

S13- S15- S12-S5-S11-S10-S24-S7-S21-S22-S16-S17 -S23-S14-S2-S4-S18-S6-S19-S20-S9-S8-S1-S3

در حالی که ترتیب حوضه‌ها از نظر میزان دبی اوج به شکل زیر بوده است:

S13-S5-S11-S12-S24-S10-S7-S21-S22-S16-S17-S15-S23-S14-S2-S4-S18-S6-S19-S20-S9-S8-S1-S3

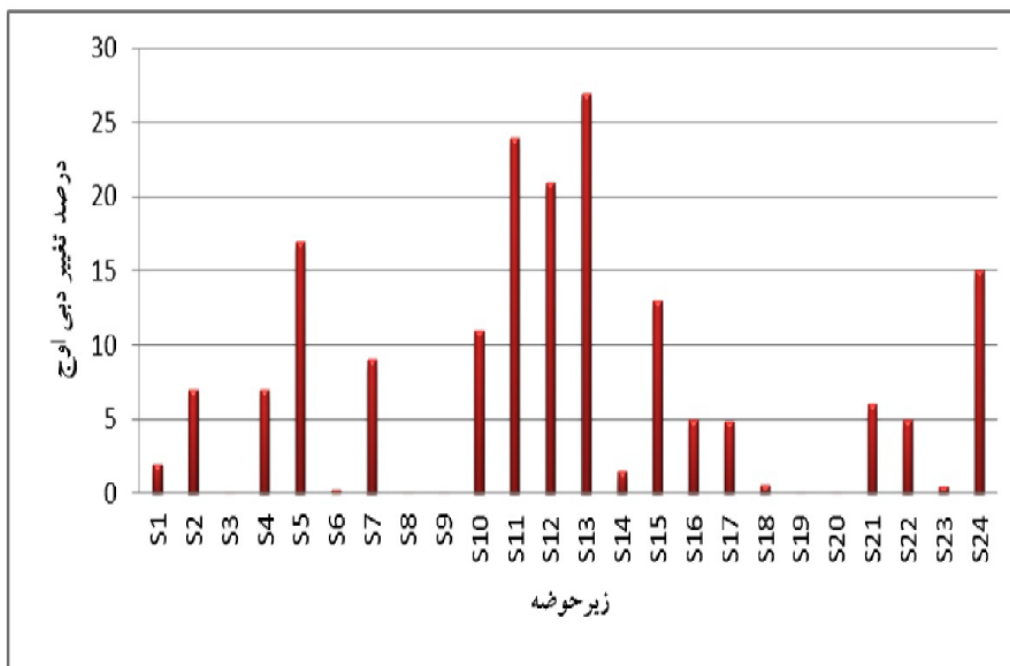
بدین ترتیب مشخص می‌شود حذف زیرحوضه S13 بیشترین اثر کاهشی و زیرحوضه S3 کمترین اثر

کاهشی روی دبی اوج خروجی حوضه دارد. همین‌طور نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً

متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نبوده و زیرحوضه‌های با دبی اوج بیشتر ضرورتاً تأثیر بیشتری در سیل

خروجی حوضه ندارند. بنابر این عوامل روندیابی آبراهه‌ها و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها می‌توانند باعث تغییر

در نحوه مشارکت گردند.



شکل (۱۰) تحلیل حساسیت حوضه به حذف انفرادی زیرحوضه‌ها

نتیجه‌گیری

در حوضه زرچشمه، زیرحوضه‌های با شکل غیر کشیده، هیدروگراف نوک تیز داشته و در زمان کوتاه‌تری به دبی اوج رسیده‌اند، و دبی سیلابی آنها در واحد سطح زیاد بوده‌است. قله هیدروگراف سیل در حوضه‌های کشیده، پهن‌تر از سایر زیرحوضه‌هاست. دبی سیلابی در واحد سطح آنها کمتر از سایر زیرحوضه‌ها بوده و زمان رسیدن به اوج آنها طولانی بوده است.

با به‌کارگیری روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها و لحاظ کردن اثرات روندیابی در بازه‌ها نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها در سیلاب خروجی حوضه مشخص شد. به این شکل نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها متناسب با دبی سیلابی زیر حوضه‌ها نبوده، و سیل‌خیزی بیشتر یک زیرحوضه به معنای مشارکت فعال آن در کل حوضه نیست. بلکه موقعیت مکانی و زمان رسیدن هر موج سیل به عوامل اتصال مهم است. همچنین مشخص گردید، زیر حوضه S13 بیشترین سهم و زیرحوضه S3 کمترین سهم را دارا بودند.

در آنالیز حساسیت سه متغیر مساحت، شیب و CN انتخاب شده و در گستره منطقی خود در زیرحوضه‌ها تغییر داده شدند تا اثرات آنها بر سیل خروجی حوضه مشخص شود. تغییر مساحت در زیرحوضه‌ها به شکل مستقیم بر سیلاب حوضه تاثیر گذار بوده، ولی میزان حساسیت زیرحوضه‌ها یکسان نبوده است. همچنین حوضه‌ها با مساحت بیشتر الزاماً نسبت به تغییر مساحت حساس‌تر نبودند، که حساسیت بیشتر زیرحوضه S13 با مساحتی کمتر از نسبت به زیرحوضه‌های S15, S12 شاهد این مدعاست.

آنالیز حساسیت دو عامل شیب و CN نشان داد، تغییرات آنها در دامنه خود در سطح زیرحوضه‌ها اثرات یکسان به‌بار نیاورده است و افزایش شیب یا CN به‌طورمطلق به افزایش دبی سیلابی حوضه منجر نشده است. بلکه در تعدادی از زیرحوضه‌ها تأثیر معکوس بر روند سیل داشته و آن را کاهش داده است. حتی در بعضی زیرحوضه‌ها این اثرات ناچیز بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. علت آن را تغییر در زمان تمرکز به همراه اعمال اثرات روندیابی آبراهه‌ای باید عنوان نمود. چرا که نحوه ترتیب امواج سیل از طریق روندیابی بازه‌های تحت تأثیر تغییر زمان تمرکز، تغییر یافته است.

این نکته نشان می‌دهد، هر گونه عملیات آبخیزداری برای کنترل پوشش گیاهی و تغییر شیب در زیرحوضه‌ها با اثر معکوس باید با احتیاط و مطالعه کافی صورت گیرد.

بنابر این می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه داد:

- با توجه به ترتیب مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل حوضه، اقدامات کنترل سیلاب در زیرحوضه S11-S5-S13-S12-S24-S10 که مشارکت فعال در دبی سیلابی حوضه دارند در اولویت قرار گیرند.

- در زیرحوضه‌های S1, S2, S10, S13 که کاهش شیب به‌طور مستقیم سیلاب حوضه را کاهش می‌دهد می‌توان با احداث پشته‌های کوتاه، از سرعت آب کاست و فرصت بیشتری به آب داد تا در زمین نفوذ کند. برای احداث پشته‌ها می‌توان از سنگ و قلوه سنگ که به وفور در حوضه یافت می‌شود استفاده کرد که هزینه‌ها را هم کاهش می‌دهد.

- در زیرحوضه‌هایی که کاهش CN سهم مشارکتی حوضه را کاهش می‌دهد، می‌توان با افزایش پوشش گیاهی و مراتع، ضریب CN را کاهش داد.

- برای جلوگیری از تشدید فرسایش خاک آموزش‌های لازم از قبیل اجرای عملیات صحیح شخم‌زنی در امتداد خطوط تراز، ازدیاد پوشش گیاهی، امتناع از آتش‌سوزی و بوته‌کشی و جلوگیری از چرای بی‌رویه به کشاورزان و دامداران داده شود.

- در مکان‌هایی که فرسایش خندقی به‌وجود آمده است، می‌توان آن‌ها را با کشت گیاهان یا احداث بند یا ترکیب آنها کنترل نمود. گیاهان باید از گونه‌ای انتخاب شوند که کاملاً متراکم باشند، تا جلوی سرعت و انرژی آب را بگیرند.

- به‌کارگیری ترانس بندی و ایجاد سکو در زیرحوضه‌ها از راه‌های کاهش سیلاب است، ولی در به‌کارگیری آن در زیرحوضه‌ها حتماً حساسیت زیرحوضه به تغییر شیب در نظر گرفته شود تا اثر معکوس بر سیلاب کل حوضه نداشته باشد.

- احداث بندهای خاکی و انحراف آب از شیوه‌هایی است که با توجه به آن می‌توان تأثیر رواناب در حوضه را کاهش داد. احداث این بندها در زیرحوضه‌های بزرگ مثل S5-S13 پیشنهاد می‌شود.

منابع

- امیراحمدی، ابوالقاسم، شیران، مهناز (۱۳۸۸)، کاربرد مدل HEC-HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب دشت کرون، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صص ۱۵۳-۱۷۳.
- امیدوار، کمال، اژدرپور، مهران (۱۳۹۱)، مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در برآورد بارش-رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۱۴، پیاپی ۱۰۷، صص ۱۳۹-۱۶۰.
- احمدی، حسن (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، ج ۱.
- بهزادفر، مرتضی (۱۳۸۵)، راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، ۲۵ مرداد.
- خسروشاهی، محمد. و ثقفیان، ب. (۱۳۸۱)، نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و تفکیک مناطق سیلخیز در حوضه‌های آبخیز، ششمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- دورکامپ و کینگ، سترالر و کاردینز و راکومپ، جو (۱۳۷۵)، تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی، ترجمه جمشید فریفته، دانشگاه تهران.
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۲)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات آستان قدس رضوی، ج ۱.
- شایان، سیاوش (۱۳۶۹)، فرهنگ اصطلاحات جغرافیای طبیعی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، مدرسه، تهران.
- ضیایی، حجت‌الله و بهنیا، عبدالکریم (۱۳۸۶)، اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات آستان قدس رضوی.
- عبدی، پرویز (۱۳۸۵)، بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنجان‌رود با روش SCS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی کارگاه فنی همزیستی با سیلاب.
- علیزاده، امین (۱۳۸۳)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- محمودی، فرج‌الله (۱۳۷۴)، ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- مهدوی، مسعود و طاهرخانی، مهدی (۱۳۸۳)، کاربرد آمار در جغرافیا، انتشارات قومس.
- شرکت مهندسین مشاور پارس آب سپاهان اندیش (۱۳۸۵)، مطالعات اجرایی کنترل سیلاب حوضه آبخیز هونجان (شهرستان شهرضا)، ج ۱.

- شرکت مهندسين مشاور پارس آب سپاهان انديش (۱۳۸۵)، مطالعات اجرايي كنترل سيلاب حوضه آبخيز هونجان (شهرستان شهرضا)، ج ۲.
- شرکت مهندسين مشاور پارس آب سپاهان انديش (۱۳۸۵)، مطالعات اجرايي كنترل سيلاب حوضه آبخيز هونجان (شهرستان شهرضا)، ج ۳.
- وهابي، جليل (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی خطر سيل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه موردی: طالقان رود)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۱.
- Beven, K.; Pappenberger, F.; and Ratto, M. (2008), **Milti-Method global sensitivity analysis of flood in undation models**, Advances in water Resources, Vo: 131.
- Burton, L. (2003), **Application of HMS-HEC and the effects of sub-Basin Size in Watershed Modeling**, Texas A & M University Department of civil Engineering CVEN689- CE Applications of GIS.
- Davis, C. (2001), **Hydrologic modeling system, HMS-HEC, Technical reference manual**, U.S. Army corps of engineering.
- Perrin, Charles & Oudin, Ludovic (2007), **Impact of streamflow data on the efficiency and the parameters of rainfall-runoff models**, Hydrological sciences Journal, volume 52, p.131, February.
- Cunderlik. Jura, M. & Simonovic, P. (2004), **Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic condition**, University of western Ontario, project report IV, p .47, August.
- USACE, Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), (2000), **Technical Reference Manual**.
- Chen J., Shufang Zhao, Huimin Wang, (2011), **Risk Analysis of Flood Disaster Based on Fuzzy Clustering Method Energy**, Procedia, Volume 5: pp 1915-1919.
- Mclin, S.; Springer, E. & Lane, L. (2001), **Predicting floodplain boundary changes following the cerro Grande Wildfire**, Hydrological processes, Vol15.
- Plate, E.J. (2002), **Flood Risk and Flood Managment**, Journal of Hydrology, No: 267, pp 2-11.