جغرافیا و توسعه- شماره ۱۶- زمستان ۱۳۸۸
وصول مقاله : ۱۳۸۷/۳/۷
تأیید نهایی : ۱۳۸۸/۶/۲۳
صفحات : ۱۷۳- ۱۵۳

کاربرد مدل HEC- HMS در تحلیل حساسیت متغیّرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب دشت کرون

دکتر ابوالقاسم امیراحمدی — استادیار جغرافیا دانشگاه تربیت‌معلم سبزوار
مهناز شیران — کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت معلم سبزوار

چکیده

عوامل روندیابی آبراهه‌ها و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها در سیلاب خروجی حوضه تأثیرگذارند. از این رو برای اجرای برنامه‌های کنترل سیل در بالادست حوضه‌های بزرگ آبخیز باید نحوه‌ی تأثیر آنها را بر سیلاب حوضه ارزیابی کرد و با توجه به سهم این عوامل در سیلاب خروجی، آنها را اولویت‌بندی نمود. 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 دو پارامتر قابل مدیریت ژئومورفولوژی در سیلاب شامل: شیب، CN و مساحت در هر یک از زیرحوضه‌ها و در گستره‌ی منطقی خود استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد نحوه‌ی 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. با اجرای روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها در مدل حوضه‌ی کرون و توسط نرم‌افزار HEC-HMS، مشخص گردید زیرحوضه‌ی S1 بیشترین سهم و زیرحوضه‌ی S8 کمترین سهم را در دبی سیلابی حوضه دارند، درحالی‌که زیرحوضه‌ای که کمترین دبی اوج سیلابی را داراست S18 می‌باشد که از لحاظ مشارکت در سیلاب حوضه در رده‌ی نوزدهم قرار می‌گیرد. همچنین آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به متغیّرهای قابل کنترل از نظر مدیریتی نشان می‌دهد که با اعمال اثرات روندیابی، زیرحوضه‌ها در مقابل تغییرات این متغیّرها، رفتارهای متفاوتی داشته‌اند. در آنالیز حساسیت شیب و CN، مشخص شد تعدادی از زیرحوضه‌ها با افزایش این دو پارامتر در گستره‌ی منطقی خود، اثر کاهشی بر دبی سیلابی حوضه داشته‌اند (تأثیر معکوس) و در سایر زیرحوضه‌ها تأثیرات آنها بر دبی سیلابی حوضه، مستقیم بوده است. در آنالیز حساسیت شیب مشخص شد تغییرات مساحت، مستقیماً در تمام زیرحوضه‌ها با دبی سیلابی کل حوضه در ارتباط است ولی زیرحوضه‌های بامساحت بیشتر الزاماً در گستره‌ی تغییرات خود تأثیر بیشتری بر دبی سیلابی کل حوضه ندارند. همانطورکه زیرحوضه‌ی S7 با وجود مساحت بیشتر نسبت به دو زیرحوضه‌ی S2, S3 با مساحت کمتر، حساسیت کمتری نسبت به تغییر مساحت دارد.

کلیدواژه‌ها: نرم‌افزار HEC- HMS، آنالیز حساسیت، روندیابی سیل، دشت کرون.

www.SID.ir

مقدمه

حوزه‌ی آبخیز به عنوان یک هیدروسیستم، عامل تبدیل بارش نازله به بارش مازاد و تخلیه‌ی آن به نقطه‌ی خروجی است *(حشمت‌پور و همکاران، ۱۳۸۱: ۳)*. تجربه نشان داده است که ارتباط بین مقدار سیل و حوضه‌ی آبخیز نتیجه‌ی برهمکنش تعداد زیادی از روندهای فیزیکی است که ایجاد و انتقال سیل را کنترل می‌کنند *(ویتزار و همکاران، ۲۰۰۱ : ۹۱)*. از آنجا که در یک آبخیز عوامل و عناصر متعدد و متنوعی (عوامل طبیعی، انسانی و غیره) دخیل هستند، مدیریت این عوامل نیازمند برنامه‌ریزی است. پیش‌نیاز هر نوع برنامه‌ریزی، کسب اطلاعات لازم و شناخت دقیق عناصر مؤثر و آگاهی از واکنش‌های آنان نسبت به سایر عوامل و نیز ارتباط درونی و نظامدار هر یک از این عوامل با یکدیگر است *(ضیائی و بهنیا، ۱۳۸۶: ۲۲)*.

بررسی آمار و اطلاعات خسارات سالانه‌ی 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 دهه‌ی گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه‌ی ۸۰ نسبت به دهه‌ی ۴۰ تقریباً ۱۰ برابر شده است و به عبارت دیگر ۹۰۰ درصد افزایش داشته است *(عبدی، ۱۳۸۵: ۲۰۰)*.

مهار طغیان‌ها و سیلاب‌ها مستلزم آشنایی مطلوب به نحوه‌ی عملکرد سیستم هیدرولوژیکی منطقه است *(رامشت، ۱۳۷۵: ۴۸)*. روندیابی سیلاب امکان شناخت ویژگی‌های سیل زیرحوضه‌ها و نحوه‌ی عملکرد آنها را در یک سیستم متقابل عمل و فرآیند با دیگر زیرحوضه‌ها ممکن می‌کند. در این راستا علم ژئومورفولوژی می‌تواند در شناخت بخشی از این محیط و روابط زنجیره‌ای عناصر آن نقش قابل توجهی ایفا نماید *(فنواتی،۱۳۸۲: ۱۷۵)*.

برای ثمربخش بودن برنامه‌های کنترل سیلاب که غالباً روی متغیّرهای قابل کنترل و قابل مدیریت نظیر شیب، CN و ... صورت می‌گیرد، باید میزان حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به این تغییرات مشخص شود و در یک نگرش جامع، تأثیر چنین تغییراتی در سیلاب کل حوضه به عنوان یک سیستم کنش و فرآیند، در نظر گرفته شود. بدین سبب روندیابی سیلاب و شناسایی عوامل مؤثر ژئومورفیک و تحلیل حساسیت آنها در حوضه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

Archive of SID

www.SID.ir

در سال‌های اخیر تعدادی مدل برای شبیه‌سازی جریان آب به کار رفته است که اگر به درستی به کار گرفته شود برای روندیابی جریان سیل به ویژه هیدروگراف ورودی به کانال‌های رودخانه از بالادست که ناشی از بارش‌های رگباری است، سودمند است *(چی‌ین[1]، ۱۹۹۵: ۲)*.

مک‌لین[2] و همکاران *(۲۰۰۱)* ترکیبی از Arcview و برنامه الحاقی GIS-HEC را برای آنالیز دشت سیلابی پاگارتا[3] در لس‌آلاموس[4] به کار گرفتند این دشت در سال ۲۰۰۰ تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفته بود. داده‌های رواناب بارش قبل از آتش‌سوزی توسط مدل HEC-HMS [5] 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 دوره‌ی برگشت ۱۰۰ سال برای منطقه طراحی شد.

بارتون[6] *(۲۰۰۳)* در اجرای پروژه‌ای از دانشگاه تگزاس در حوضه‌ی آبخیز سالادو[7] در سان آنتونیو[8] برای پیش‌بینی تأثیر گسترش شهرنشینی بر سیلاب حوضه از GIS و برنامه‌ی الحاقی آن CRWR-PrePro برای انتقال داده‌های GIS به نرم‌افزار مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده کرد.

در ایران، خسروشاهی و ثقفیان *(۱۳۸۴)* از مدل HEC-HMS جهت تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز با استفاده از تحلیل هیدروگراف‌های خروجی حوضه‌ی دماوند استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که رفتار هیدرولوژیکی زیر حوضه‌ها نسبت به خروجی غیرخطی است و عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از دیدگاه تأثیر بر سیل خروجی حوضه و همچنین بحرانی‌ترین زیرحوضه با روش مورد استفاده نیز قابل شناسایی می‌باشد.

نشاط و صدقی *(۱۳۸۵)* در مطالعه‌ای در حوضه‌ی آبخیز باغ ملک استان خوزستان از داده‌های بارش- رواناب و اجرای مدل HEC-HMS، برای محاسبه‌ی CN منطقه استفاده کردند که نتایج حاصل از اجرای مدل با روش شماره‌ی منحنی سازگاری نشان می‌داد.

1- Chieyen
2- Mclin
3- Pajarto
4 -Los Alamos
5- Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
6- Burton
7- Salado
8- San Antonio

Archive of SID

www.SID.ir

در این پژوهش سیلاب دشت کرون مورد بررسی قرار گرفته است. دشت کرون یکی از دشت‌های پایکوهی است که از استعداد خوبی در ارتباط با فعالیت‌های کشاورزی برخوردار می‌باشد، 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 وسیعی از زمین‌ها و باغات حاشیه رودخانه آسیب وارد می‌کند *(حسینی، ۱۳۸۳: ۱۵)*. ازجمله وقایع سیلاب در سال‌های اخیر می‌توان به واقعه‌ی سیل زمستان سال ۱۳۸۶ اشاره کرد که به روستاهای منطقه‌ی عسکران و زمین‌های کشاورزی آن آسیب فراوان وارد آورد.

معرفی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از اراضی شهرستان تیران و کرون در غرب اصفهان را شامل می‌شود و زیرحوضه‌ای ازحوضه‌ی بزرگ مرغاب (اراضی بالادست حوضه) است که به زاینده‌رود می‌ریزد. این دشت بین ′۵۰ ۳۲ تا ′۲ ۳۳ عرض شمالی و ′۳۲ ۵۰ تا ′۵۶ ۵۰ طول شرقی واقع است و توسط دو رشته‌کوه که جزء پیشکوههای زاگرس است، از طرف جنوب محصور شده است. این ارتفاعات اکثراً از میان لایه‌های آهکی با ماسه‌سنگ و شیست سبز مربوط به دوران کرتاسه است که به صورت صخره‌ای و با پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد، ضخامت خاک بسیار کم و نفوذپذیری متوسط است. ارتفاعات شمالی دشت اکثراً از تشکیلات ماسه‌سنگ و کنگلومرا بوده که نفوذپذیری و پوشش گیاهی اندکی دارند. مساحت حوضه ۳۲۶,۱۸۹ کیلومتر مربع و محیط آن ۸۲,۵۵۴ کیلومتر است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۵۴۵,۲۹ متر است. مرتفع‌ترین نقطه‌ی ارتفاعی ۳۶۴۰ متر (کوه داران) و پست‌ترین نقطه ۲۱۵۰ متر (نزدیک روستای عسکران) است. شیب متوسط حوضه ۱۵,۵٪ می‌باشد که به طور کلی هرچه از سمت غرب به شرق حرکت کنیم از میزان شیب کم می‌شود. اقلیم حوضه در رده‌بندی دومارتن در گروه اقلیم نیمه‌خشک قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

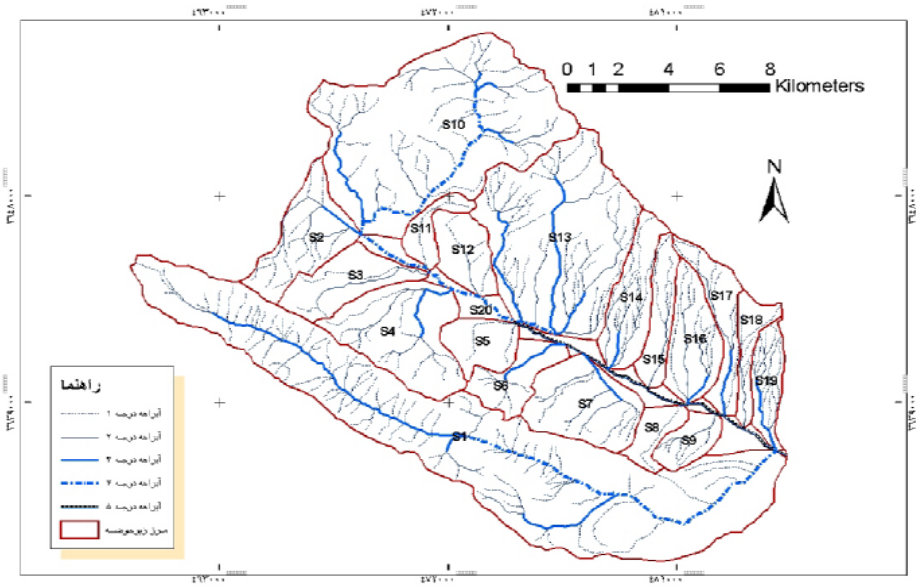
الف- مواد

برای اجرای روش شبیه‌سازی، نقشه‌ی توپوگرافی منطقه با دقت ۱:۵۰۰۰۰رقومی گردید و به کمک لایه‌ی TIN مرز واحدهای هیدرولوژیک در حوضه مشخص شد. به این ترتیب حوضه به بیست زیرحوضه تفکیک‌شد. نقشه‌ی واحدهای هیدرولوژیک‌دشت‌کرون درشکل‌شماره‌ی (۱)

Archive of SID

www.SID.ir

آمده است. برای تهیه‌ی نقشه‌ی CN از نقشه‌ی خاک و پوشش گیاهی منطقه و نیز تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد، به منظور استفاده از روش SCS برای محاسبه‌ی رواناب زیرحوضه‌ها، CN هر زیرحوضه با امکانات GIS و به شکل وزنی محاسبه گردید. با توجه به سابقه‌ی سیلاب‌های حوضه در زمستان و فصل مرطوب حوضه که زمستان است، CN برای شرایط مرطوب اصلاح شد. نقشه‌ی شیب حوضه در کلاس‌های استاندارد آبخیزداری، برای محاسبه‌ی شیب متوسط زیرحوضه‌ها با استفاده از GIS تهیه شد.



شکل ۱ : واحدهای هیدرولوژیکی دشت کرون

آمارهای هواشناسی بر مبنای بارش حداکثر روزانه از ۹ ایستگاه منتخب استخراج گردید و بر اساس نقشه‌ی همباران تهیه شده، بارش هر زیرحوضه محاسبه گردید. بر اساس بارش ساعتی (۶ ساعته) که از الگوی بارش روزانه توسط معادله رگرسیونی استخراج شده بود هیتوگراف بارش برای هر زیرحوضه توسط نرم‌افزار SMADA برای معرفی به بخش هواشناسی مدل طراحی گردید. داده‌های مورد نیاز مدل در جدول شماره‌ی (۱) آمده است.

www.SID.ir

جدول ۱: داده‌های مورد نیاز برای فرآیند مدل HEC- HMS

زیرحوضه	مساحت Km^2	شیب متوسط زیر حوضه٪	طول حوضه (Lb)(fit)	زمان تمرکز Tc(h)	زمان تأخیر TL(h)	CN مرطوب	CN متوسط	بارندگی ۶ ساعته (بازگشت ۱۰۰ سال) mm
۱	۹۱,۰۱	۲۵,۵	۲۶,۷۳	۳,۰۷	۱,۸۵	۸۹	۷۷	۶۶,۶۷
۲	۱۱,۸۸	۱۴,۷۷	۵	۱,۲۱	۰,۷۳	۹۱	۷۹	۶۵,۱۸
۳	۹,۳۸	۱۷,۴۶	۶,۱۱	۱,۰۱	۰,۶۱	۹۱	۸۰	۶۵,۵۵
۴	۱۷,۹۷	۲۴,۰۳	۵,۱۳	۰,۷۴	۰,۴۵	۹۲	۸۲	۶۸,۰۲
۵	۶,۰۳	۱۳,۳۸	۲,۹۸	۰,۷	۰,۴۲	۹۰	۷۸	۵۹,۷
۶	۶,۶۶	۱۸,۶۳	۳,۷۶	۰,۷	۰,۴۲	۹۲	۸۱	۶۲,۹۸
۷	۱۳,۵۷	۱۶,۱	۴,۴۳	۰,۸	۰,۴۸	۹۱	۸۰	۶۲,۵۳
۸	۳,۷۸	۱۶,۱۶	۲,۸۶	۰,۶۶	۰,۴	۹۱	۷۹	۵۷,۶۸
۹	۴,۳۱	۱۳,۵۹	۳,۱۳	۰,۶۱	۰,۳۷	۹۱	۷۹	۵۵,۲۲
۱۰	۵۵,۵۸	۱۴,۳	۱۰,۱۲	۱,۹۷	۱,۱۹	۹۱	۸۰	۶۵,۴۸
۱۱	۳,۷۰	۴,۲۳	۲,۸۸	۱,۶۲	۰,۹۸	۸۹	۷۷	۶۱,۷۴
۱۲	۶,۷۵	۴,۱۲	۴,۰۵	۱,۵۴	۰,۹۳	۸۹	۷۶	۵۸,۴۸
۱۳	۴۰,۵۷	۹,۷	۸,۸۱	۲,۲۹	۱,۳۸	۸۹	۷۷	۶۱,۴
۱۴	۹,۴۹	۹,۱۲	۶,۷۷	۱,۶۲	۰,۹۸	۸۹	۷۶	۵۸,۷
۱۵	۶,۱۵	۱۰,۲۸	۶,۶۷	۱,۵۱	۰,۹۱	۸۹	۷۶	۵۸,۶۱
۱۶	۹,۶۶	۶,۹	۶,۳۹	۱,۶۷	۱,۰۱	۸۹	۷۶	۵۶,۲۷
۱۷	۷,۷۲	۹,۸۲	۶,۸۶	۱,۸۲	۱,۱	۸۹	۷۷	۵۸,۱۱
۱۸	۴,۴۱	۴,۸	۵,۶۱	۲,۰۱	۱,۲۱	۸۸	۷۵	۵۶,۶۴
۱۹	۵,۴۹	۴	۵,۴۲	۲,۱۹	۱,۳۲	۸۸	۷۵	۵۴,۷۷
۲۰	۱۲,۰۵	۳,۲۵	۱۶,۲	۵,۳۱	۳,۲	۸۹	۷۷	۵۴,۵

ب- روش‌ها

۱- روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی

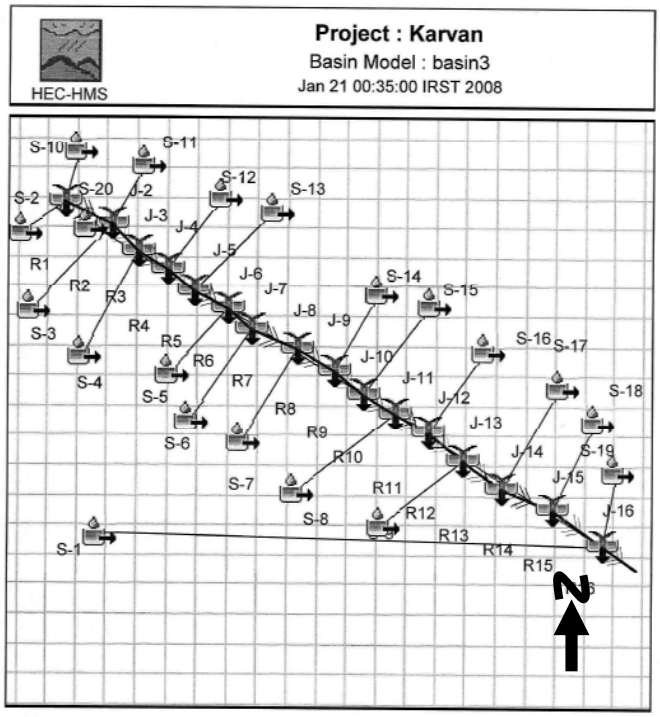
برای بررسی پتانسیل سیلاب و روندیابی سیل منطقه از روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی توسط کاربرد مدل HEC-HMS نسخه ۳،۰،۱ استفاده شد. مدل HEC-HMS یک مدل ریاضی است که می‌تواند حجم، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب را به‌وسیله‌ی شبیه‌سازی رفتار حوضه بازسازی کند. از مزایای این برنامه آن است که در حوضه‌ها با اندازه، شکل و پارامترهای مختلف قابلیت کاربرد دارد *(بارتون[1]،۲۰۰۳ : ۱)*.

1- Burton

Archive of SID

www.SID.ir

هیدروگراف‌های ترسیم شده توسط نرم‌افزار می‌تواند به طور مستقیم یا به کمک سایر نرم‌افزارها استفاده شود *(موسوی‌ندوشنی و داننده مهر،۱۳۸۴: ۲۳)*. این نرم‌افزار فرآیند بارش- رواناب را شبیه‌سازی نموده و توسط قابلیت بالای گرافیکی خود قادر به نمایش گراف‌های سیلاب در تمامی عناصر (المان) حوضه است. این ویژگی امکان روندیابی موج سیل و بررسی چگونگی عملکرد و برهم نهی موج سیل با مشارکت فعال زیرحوضه‌ها را فراهم می‌کند. ساختار مدل از سه بخش مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص کنترل تشکیل شده است *(دیویس[1]، 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. مدل‌سازی حوضه اولین مرحله برای شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب است که به درک رابطه‌ی زیرحوضه‌ها، بازه‌ها و محل ترکیب آبنمودها در نقاط اتصال کمک می‌کند. این مدل در شکل شماره‌ی (۲) آمده است.



شکل ۲: مدل حوضه‌ی دشت کرون در نرم‌افزار HEC-HMS

1 -Davis

www.SID.ir

برای محاسبه‌ی رواناب زیرحوضه‌ها از روش scs و برای روندیابی بازه‌ها از روش lag استفاده شد. زمان تأخیر زیرحوضه‌ها طبق رابطه‌ی (۱) و زمان تمرکز از رابطه‌ی (۳) محاسبه گردید:

$$Tlag = L^{.8} (S + 1)^{.7} / 1900 y^{.5} \quad (1)$$

L طول آبراهه اصلی(فیت)

y متوسط شیب حوضه (درصد)

S نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه (اینچ) که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود

$$S = (1000/CN) - 10 \quad (2)$$

$$TC = 1,67(Tlag) \quad (3)$$

۲- آنالیز حساسیت[1]

آنالیز حساسیت روشی است که نشان می‌دهد کدام یک از پارامترها تأثیرات شدیدتری بر نتایج اعمال می‌کنند. رتبه‌بندی پارامترهای مدل بر اساس مشارکت آنها روی هم رفته در مدل قابل محاسبه است. آنالیز حساسیت می‌تواند در مقیاس محلی یا کلی انجام گیرد. در مقیاس محلی تأثیر هر پارامتر به شکل مجزا با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها محاسبه می‌شود. در مقیاس‌کلی به‌همه‌ی پارامترها اجازه‌ی تغییر در یک‌زمان داده می‌شود و نحوه‌ی عملکرد آن بر اساس انتخاب‌تصادفی‌پارامترها و روش‌های احتمالاتی است *(ساندرلیک[2] وسیمونوویک[3]، 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[4] و همکاران، ۲۰۰۷ : ۱۳۱)*. آنالیز حساسیت بینش توانمندی در مطالعه‌ی نتایج مدل ایجاد می‌کند که در جریان نتیجه‌گیری ناشی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی از جمله ریسک خطر یا کاهش خطر مهم خواهد بود *(بون[5] و همکاران، ۲۰۰۸ : ۱)*. برای انجام تحلیل حساسیت از بین پارامترهای موجود سه متغیّر 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 ۸۷۶,۶۹ متر مکعب در ثانیه برای بارش طراحی ۶ ساعته در دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ سال برای حوضه ارایه می‌کند.

1- Sensitivity analysis
2- Cunderlik
3- Simonovic
4- Perrin
5- Beven

Archive of SID

www.SID.ir

دو گام برای تحلیل وضعیت سیل حوضه در نظر گرفته شد. در گام اول به منظور شناسایی زیرحوضه‌هایی که نقش مشارکتی بیشتری در سیلاب حوضه دارند از روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها[1] *(خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴)* استفاده شد. در این روش تک‌تک زیرحوضه‌ها حذف می‌شوند و اثر آن در عنصر خروجی در نظر گرفته می‌شود.

در گام دیگر برای انجام آنالیز حساسیت در مورد سه متغیّر مساحت، شیب و CN، مدل هیدرولوژیکی بیش از چهارصد بار در تمام زیرحوضه‌های بیست‌گانه‌ی حوضه‌ی کرون اجرا شد و سه متغیّر مذکور در دامنه‌ی منطقی خود (مساحت و شیب ٪۵۰± و CN در دامنه ٪۱۰ ±) به ترتیب در تمام زیرحوضه‌ها تغییر داده شدند و تأثیر آنها بر دبی سیلابی خروجی حوضه اندازه‌گیری شد (قابل ذکر است دامنه‌ی تغییرات دو عامل مساحت و شیب با توجه به اهداف تحقیق و زمینه‌ی کاربردی آن تا حد متوسط در نظر گرفته شده است و اصولاً تغییرات بیش از این دامنه ارزش کاربردی نخواهد داشت و تغییرات CN در دامنه‌ی بالاتر معنادار نمی‌باشد چرا که عامل CN در محدوده‌ی ۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند و با توجه به CN زیرحوضه‌های مورد مطالعه اعمال تغییری بیش از دامنه ٪۱۰ عامل مزبور را تا بیش از عدد ۱۰۰ تغییر می‌دهد که معنادار نیست).

بحث و نتایج

مقایسه‌ی هیدروگراف سیل در زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که قله‌ی هیدروگراف سیل در زیرحوضه‌های 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 زیرحوضه‌هایی که غیر کشیده‌اند، 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 به طور مجزا در این حوضه قابل مشاهده‌اند که ویژگی‌های آنها در جدول (۲) آمده است.

1- Single Successive Sub watershed Elimination (SSSE)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲ : مقایسه‌ی هیدروگراف‌های سیل در زیرحوضه‌ها

گروه	زیرحوضه	ویژگی اوج هیدروگراف	ویژگی زمان اوج	*ویژگی دبی اوج (m^3/s) در واحد سطح*
۱	S1,S10,S13,S20	قله پهن	در حدود۳,۵ ساعت پس از شروع بارندگی	$Q \leq ۳,۴$ $۱,۱ \leq$
۲	S11,S12,S14,S15,S16,S17,S18,S19	قله نسبتا پهن	در حدود۳ ساعت پس از شروع بارندگی	$Q \leq ۳,۳$ $۲,۱ \leq$
۳	*S2,S3,S4,S5,S6,S7,S8,S9*	*قله تیز*	*درحدود ۲ساعت پس از شروع بارندگی*	$Q \leq ۷,۵$ $۴,۸ \leq$

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. همین‌طور در حرکت موج سیل به سمت پایین دست حوضه مشخص می‌شود که اثرگذاری و مشارکت زیرحوضه‌های پایین دست حوضه به جز زیر حوضه S1 ، در افزایش دبی پیک به شدت کاهش یافته است.

با به‌کارگیری روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها و لحاظ کردن اثرات روندیابی در بازه‌ها، نحوه‌ی مشارکت زیرحوضه‌ها در سیلاب خروجی حوضه مشخص شد. با اجرای حذف انفرادی زیرحوضه‌ها ترتیب تأثیر حذف آنها از بیشترین تأثیر روی دبی اوج خروجی تا کمترین تأثیر به ترتیب زیر بوده است:

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

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

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

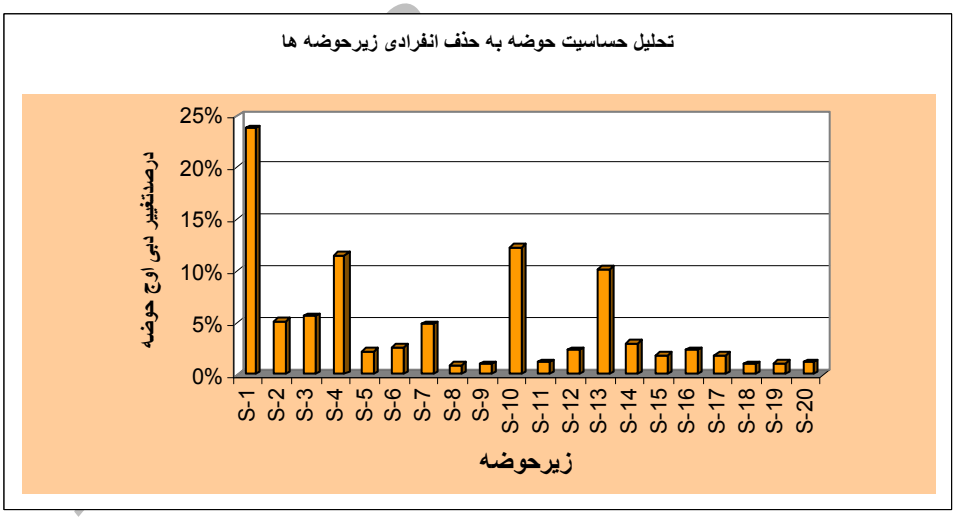
بدین ترتیب مشخص می‌شود حذف زیرحوضه‌ی S1 بیشترین اثر کاهشی و زیرحوضه‌ی S8 کمترین اثر کاهشی روی دبی اوج خروجی حوضه دارند. همین‌طور نحوه‌ی مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نبوده و زیرحوضه‌های با دبی اوج بیشتر ضرورتاً تأثیر بیشتری در سیل خروجی حوضه ندارند. بنابر این عوامل روندیابی آبراهه‌ها و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها می‌توانند باعث تغییر در نحوه‌ی مشارکت گردند. در

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه با روندیابی سیلاب، زیرحوضه‌ای با دبی اوج بالا، ممکن است به خاطر موقعیت مکانی زیرحوضه و شرایط ترکیب هیدروگراف این زیرحوضه با سایر هیدروگراف‌ها، اثر چندانی بر روی دبی خروجی حوضه نداشته باشد. رواناب زیرحوضه‌ی S8 با توجه به زمان تمرکز کوتاه آن به سرعت از حوضه تخلیه می‌گردد درحالی که رواناب بالادست حوضه زمانی به این خروجی می‌رسد که رواناب این زیرحوضه قبلاً تخلیه شده است ولی رواناب زیرحوضه‌ی کشیده‌ای مثل S18 با توجه به زمان تمرکز طولانی‌تر و با وجود محل قرارگیری آن در پایین‌دست حوضه، زمانی به خروجی خود می‌رسد که رواناب بالادست نیز به این خروجی رسیده است و ترکیب دو هیدروگراف در محل اتصال موجب تقویت دبی سیلابی حوضه می‌شود.

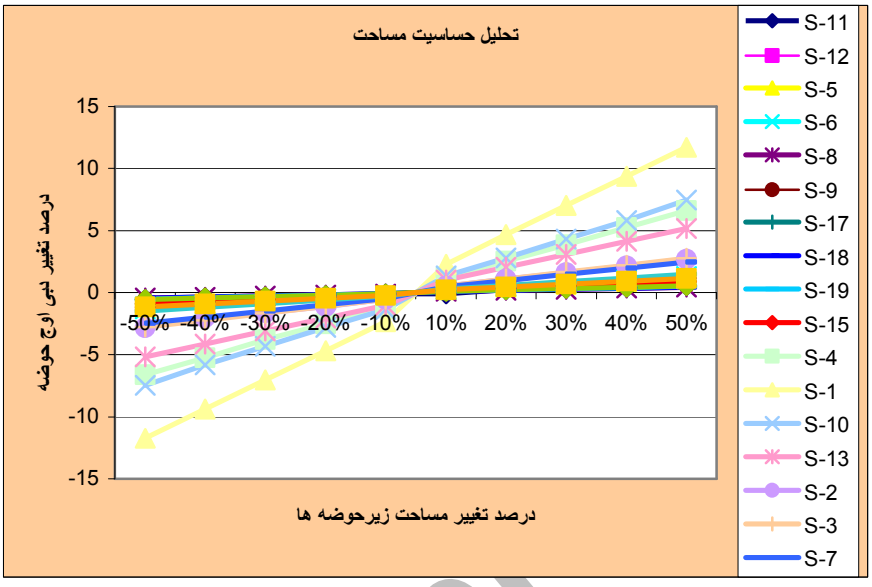
درصد تأثیرگذاری حذف هر یک از زیرحوضه‌ها بردبی اوج سیلاب کل حوضه درشکل شماره‌ی (۳) آمده است. به این شکل می‌توان بحرانی‌ترین زیرحوضه‌ها از نظر مشارکت در سیلاب حوضه و درصد اثرگذاری حذف آنها در کاهش سیلاب حوضه را شناسایی کرد و در عملیات کنترل سیلاب برای آنها اولویت قائل شد. حذف زیرحوضه‌ی S1 با ۲۳,۸٪ بیشترین تأثیر و حذف زیرحوضه‌ی S8 با ۰,۹۳٪ کمترین تأثیر بر کاهش دبی حوضه را داشته‌اند.



شکل ۳ : نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به حذف انفرادی

در آنالیز حساسیت متغیّر مساحت مشخص شد، تغییر مساحت در زیرحوضه‌ها به شکل مستقیم بر سیلاب حوضه تأثیرگذار بوده ولی میزان حساسیت زیرحوضه‌ها یکسان نبوده است (شکل ۴).

www.SID.ir



شکل ۴ : نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر مساحت

با توجه به نمودار تحلیل حساسیت مشخص است که حوضه‌های S1, S10, S4, S13 نسبت به تغییر مساحت حساسیت بیشتری دارند ولی همانطورکه مشخص است چنانچه اثر سطح در دبی اوج سیلاب مطلق بود باید حساسیت زیرحوضه‌ی S13 با مساحت بیشتر نسبت به S4 و زیرحوضه‌ی S7 با مساحت بیشتر نسبت به S2 و S3 بیشتر باشد در حالی‌که وضعیت این زیرحوضه‌ها در تحلیل حساسیت مساحت معکوس بوده است.

ترتیب حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر مساحت از زیاد به کم به ترتیب زیر است:

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

درحالی‌که ترتیب مساحت حوضه‌ها از بزرگ به کوچک به این ترتیب است:

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

می‌توان گفت گرچه در برخی منابع به رابطه‌ی مستقیم مساحت حوضه با دبی سیلاب تأکید شده و از آن به عنوان مهم‌ترین عامل فیزیوگرافی که تعیین‌کننده‌ی اوج سیلاب است یاد شده است اما شدت افزایش دبی سیلاب معادل شدت افزایش مساحت نیست زیرا هرچه سطح

Archive of SID

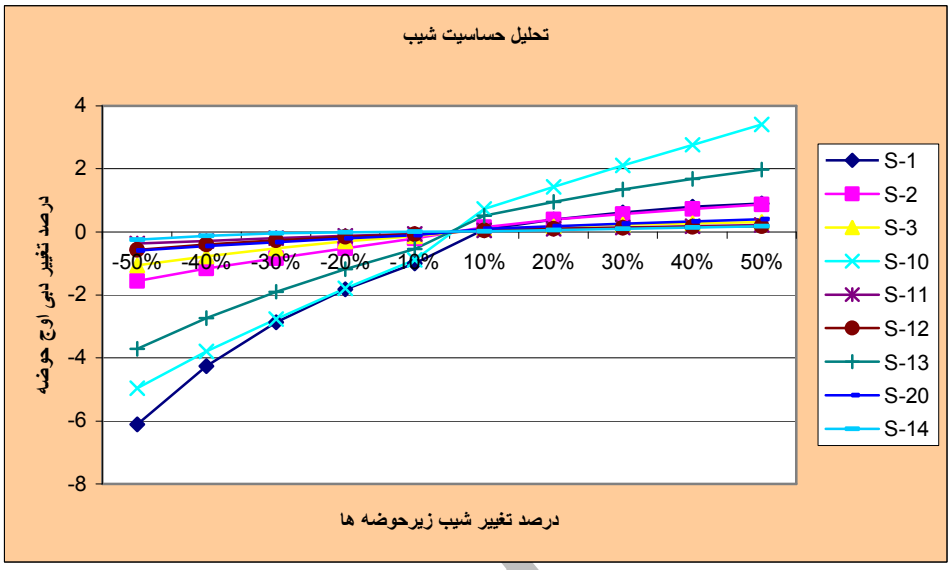
www.SID.ir

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 ذخیره‌ی آبراهه‌ای بیشتر می‌شود *(خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴: ۳۵)*.

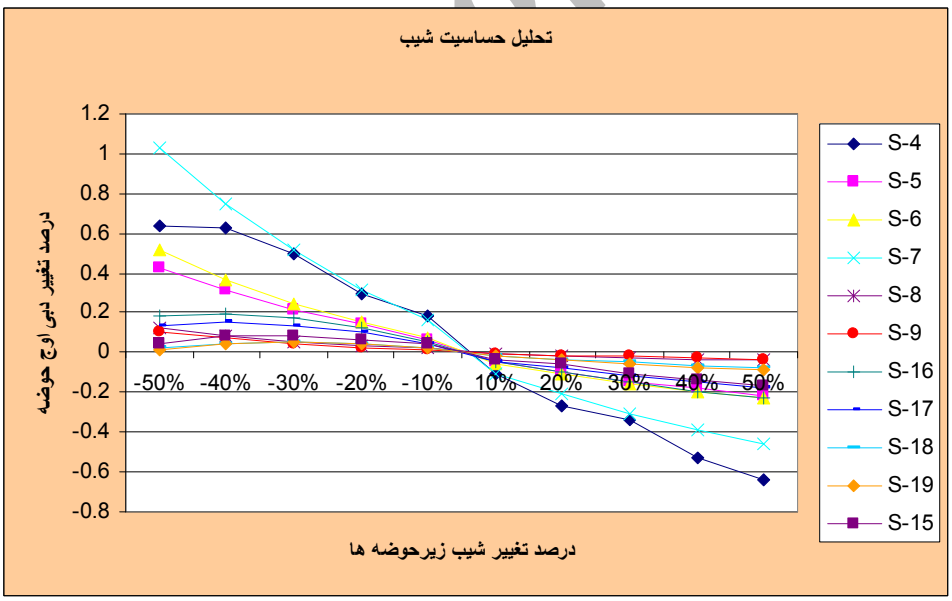
آنالیز حساسیت عامل شیب، نشان می‌دهد که تغییرات شیب در دامنه‌ی خود در سطح زیرحوضه‌ها اثرات یکسان به بار نیاورده است و افزایش شیب به طور مطلق منجر به افزایش دبی سیلابی حوضه نمی‌شود بلکه در تعدادی از زیرحوضه‌ها تأثیر معکوس بر روند سیل داشته و آن را کاهش داده است. حتی در بعضی زیرحوضه‌ها این اثرات ناچیز بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. نمودارهای مربوط به تحلیل حساسیت شیب در شکل‌های (۵) و (۶) آمده است. علت این امر دخالت دادن عامل روندیابی سیل در بازه‌ها و نیز زیرحوضه‌هاست که اثر همزمانی رسیدن همه‌ی موج‌های سیل در یک لحظه به خروجی حوضه را حذف می‌کند. زیرحوضه‌هایی مثل S18 و S19 با وجود اینکه پایین‌دست حوضه‌اند ولی با کاهش شیب، زمان تأخیر آنها افزایش پیدا می‌کند و رواناب آنها دیرتر به خروجی حوضه می‌رسد که این عامل فرصت کافی جهت رسیدن سیلاب بالادست به خروجی این زیرحوضه‌ها و تشدید آن را فراهم می‌کند. در زیرحوضه‌هایی مثل S2 و S3 با توجه به موقعیت مکانی آنها که در بالادست حوضه واقع‌اند، کاهش شیب و افزایش زمان تأخیر باعث تأخیر در تخلیه‌ی رواناب می‌شود، این در حالی است که رواناب بالادست این خروجی‌ها قبلاً تخلیه شده و به این شکل باعث کاهش نقطه‌ی اوج هیدروگراف حوضه نسبت به قبل از اعمال تغییرات شیب می‌شود. به این شکل تغییر شیب در زیرحوضه‌ها با توجه به اثری که بر زمان تمرکز زیرحوضه می‌گذارد و نیز موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها، هیدروگراف سیل زیرحوضه در خروجی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ترکیب آبنمود بالادست حوضه با آبنمود زیرحوضه در محل اتصال آبراهه‌ی فرعی به اصلی منجر به تغییر شکل هیدروگراف سیل آبراهه‌ی اصلی خواهد شد و ممکن است دبی سیلابی در محل اتصال، تقویت یا تضعیف شود که با اعمال تغییر در شیب زیرحوضه‌ها به طور انفرادی و اندازه‌گیری میزان تأثیر بر دبی سیلاب حوضه، می‌توان زیرحوضه‌ها با اثر مستقیم یا معکوس ناشی از کاهش شیب را شناسایی کرد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵ : نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر شیب



شکل ۶ : ادامه‌ی نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر شیب

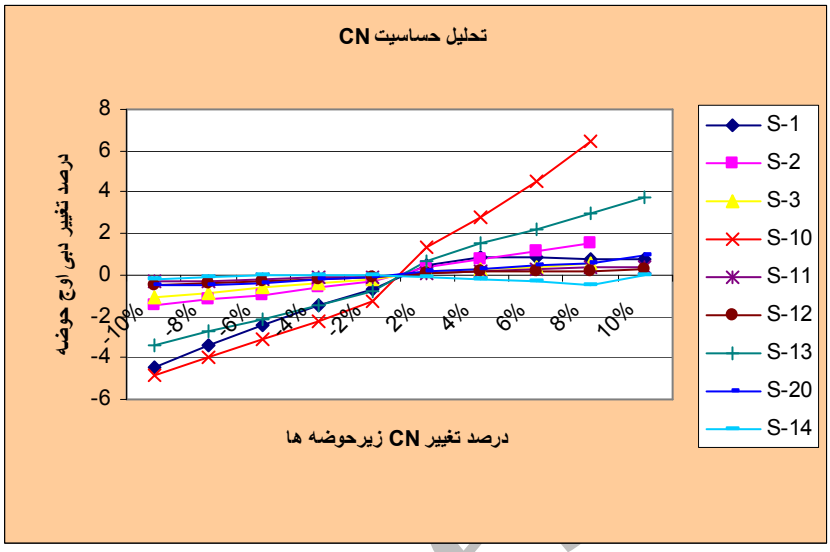
www.SID.ir

با تغییر شیب از کم به زیاد ۳ اثر متفاوت در دبی اوج خروجی حوضه مشاهده می‌شود:
۱-کاهش شیب در زیرحوضه‌های S1,S2,S3,S10,S11,S12,S13,S14,S20 در کاهش دبی اوج خروجی تأثیر مستقیم داشته است و منجر به کاهش آن شده است (شکل ۵).
۲- کاهش شیب در زیرحوضه‌های S4,S5,S6,S7,S8,S9,S15,S16,S17,S18, S19 در کاهش دبی اوج خروجی تأثیر معکوس داشته است و منجر به افزایش آن شده است (شکل۶).
۳- تغییرات شیب در زیرحوضه‌های S8,S9,S11,S12,S14 منجر به تغییرات ناچیزی در دبی اوج خروجی شده است.

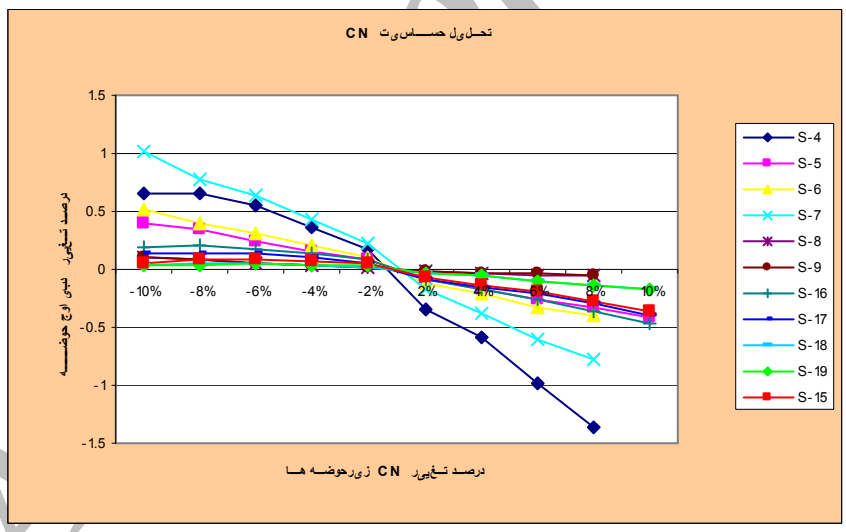
با تغییر عامل CN مشخص شد زیرحوضه‌ها با افزایش CN یا کاهش آن به شکل یکسان در هیدروگراف سیل خروجی حوضه مشارکت نداشته‌اند. هر دو عامل CN و شیب در تعیین زمان تأخیر زیرحوضه‌ها شرکت دارند و هر تغییری در آنها روی سیلاب زیرحوضه تأثیر می‌گذارد که نتیجه‌ی کلی آن در ترکیب آبنمود سیل زیرحوضه‌ها با آبنمود سیلاب بالادست در محل اتصالات متفاوت خواهد بود. در زیرحوضه‌هایی مثل S10 و S11 با کاهش CN زمان تأخیر زیرحوضه بیشتر شده است و رواناب آنها زمانی به خروجی زیرحوضه در محل اتصال می‌رسد که قبلاً رواناب بالادست تخلیه شده است و دبی اوج هیدروگراف حوضه نسبت به قبل از اعمال این تغییر تضعیف می‌شود. در حالی‌که در زیرحوضه‌هایی مثل S16 و S17 که در پایین‌دست حوضه‌اند و رواناب آنها زودتر تخلیه می‌شود، با کاهش CN و افزایش زمان تأخیر، رواناب این زیرحوضه‌ها دیرتر تخلیه شده و فرصت بیشتری برای ترکیب رواناب بالادست با رواناب این زیرحوضه‌ها در خروجی یا اتصالات فراهم می‌شود که منجر به تشدید قله‌ی هیدروگراف حوضه نسبت به قبل از تغییر خواهد شد. نمودار تحلیل حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به عامل CN در شکل‌های شماره‌ی (۷) و (۸) آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷: نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر CN



شکل ۸: نمودار آنالیز حساسیت زیرحوضه‌ها به تغییر CN

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

۱- کاهش CN در زیرحوضه‌های S1,S2,S3,S10,S11,S12,S13,S14,S20 در کاهش دبی اوج خروجی تأثیر مستقیم داشته است و منجر به کاهش آن شده است *(شکل ۷)*.

www.SID.ir

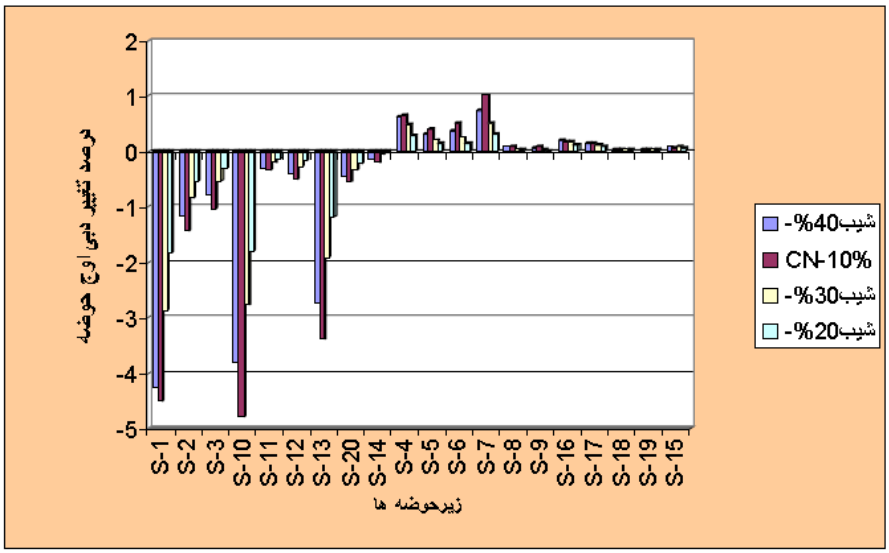
۲- کاهش CN در زیرحوضه‌های S4,S5,S6,S7,S8,S9,S15,S16,S17,S18, S19 در کاهش دبی اوج خروجی تأثیر معکوس داشته است و منجر به افزایش آن شده است *(شکل ۸)*.
۳- تغییرات CN در زیرحوضه‌های S8,S9,S11,S12,S14 منجر به تغییرات ناچیزی در دبی اوج خروجی شده است.

این نکته نشان می‌دهد هر گونه عملیات کنترل سیلاب برای کنترل پوشش گیاهی و تغییر شیب در زیرحوضه‌ها با اثر معکوس باید بااحتیاط و مطالعه‌ی کافی صورت گیرد، چون از جهت ژئومورفولوژیک یک سیستم به صورت کنش - واکنش عمل می‌کند و تغییر در یک قسمت آن می‌تواند بر قسمت‌های دیگر تأثیر بگذارد *(کوک و دورکمپ، ۱۳۷۷: ۲۶۶)*.

نکته‌ی قابل توجه دیگر حساسیت بالاتر زیرحوضه‌ها نسبت به تغییر در عامل CN است. با توجه به گستره‌ی تغییرات عامل CN که در دامنه ۱۰٪ ± صورت گرفته است، مقایسه‌ی نمودارها نشان می‌دهد که در مقایسه با دامنه‌ی ۵۰ ٪ ± تغییرات شیب، که گستره‌ی وسیع‌تری را شامل می‌شود، دبی سیلابی حوضه نسبت به تغییرات CN حساسیت بیشتری داشته است. نمونه‌ای از این مقایسه در شکل (۹) آمده است. به ازای تنها ۱۰ درصد تغییر در CN نسبت به تغییرات ۲۰،۳۰ و۴۰ درصدی شیب، دبی سیلاب حوضه کاهش بیشتری داشته است. به این ترتیب برای اجرای عملیات کنترل سیل می‌توان به جای تغییر در عامل شیب که پرهزینه و کم بازده‌تر است تغییرات اصلاحی در وضعیت پوشش گیاهی زمین ایجاد کرد که نهایتاً تغییر در عامل CN را به همراه دارد. مقدار CN از روی مشخصات خاک، نوع بهره‌وری از زمین، شرایط رطوبت قبلی خاک و نوع پوشش گیاهی به دست می‌آید که فقط پوشش گیاهی و استفاده از زمین در کنترل و مدیریت انسان است. با اصلاح پوشش گیاهی می‌توان نفوذپذیری خاک را افزایش و سرعت سیل را کاهش داد. پوشش حوضه از عوامل مؤثر بر زمان تمرکز است که خصوصاً در زیرحوضه‌های کوچک و بالادست که بخش زیادی از زمان تمرکز مربوط به پیمایش صفحه‌ای آب است می‌تواند با تأخیر در حرکت آب، ذخیره‌ی موقت و نفوذ قسمتی از سیلاب، به مراتب دبی اوج خروجی زیرحوضه را کاهش دهد. از آنجا که زبری سطح اثر کاهنده بر روی سرعت آب دارد (مطابق با رابطه شزی و مانینگ)، قوی بودن پوشش گیاهی خصوصاً در دوره‌ی بازگشت‌های پایین، تا حد زیادی از دبی اوج سیلاب می‌کاهد و چه‌بسا مانع از تولید سیلاب توسط بارش‌های با دوره‌ی بازگشت کم شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹ : مقایسه‌ی درصد تغییرات دبی اوج حوضه به ازای تغییر در دو عامل شیب و CN

نتیجه‌گیری

– مقایسه‌ی هیدروگراف سیل در زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که قله‌ی هیدروگراف سیل در زیرحوضه‌های کشیده، پهن‌تر از سایر زیرحوضه‌هاست. برعکس حوضه‌هایی که غیر کشیده‌اند دبی سیلابی آنها در واحد سطح بیشتر بوده و در زمان کوتاهی به دبی اوج رسیده‌اند و آبنمود آنها نوک‌تیز بوده است.

- با حذف انفرادی زیرحوضه‌ها در این مدل مشخص گردید نحوه‌ی 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.

- در آنالیز حساسیت متغیّر مساحت مشخص شد، تغییر مساحت در زیرحوضه‌ها به شکل مستقیم بر سیلاب حوضه تأثیرگذار بوده ولی میزان حساسیت زیرحوضه‌ها یکسان نبوده است و شدت افزایش دبی سیلاب معادل شدت افزایش مساحت نیست زیرا هرچه سطح حوضه بیشتر شود تلفات رواناب بیشتری دارد.

- آنالیز حساسیت عامل شیب، نشان می‌دهد که تغییرات شیب در دامنه‌ی خود در سطح زیرحوضه‌ها اثرات یکسان به بار نیاورده است و افزایش شیب به طور مطلق منجر به افزایش دبی سیلابی حوضه نمی‌شود بلکه در تعدادی از زیرحوضه‌ها تأثیر معکوس بر روند سیل داشته

Archive of SID

www.SID.ir

و آن را کاهش داده است. حتی در بعضی زیرحوضه‌ها این اثرات ناچیز بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد که علت آن نحوه‌ی قرارگیری زیرحوضه‌ها و تأثیرات روندیابی و ترکیب آبنمود عناصر حوضه در محل اتصالات است.

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

– زیرحوضه‌ها نسبت به تغییر در عامل CN نسبت به عامل شیب حساس‌تر بوده‌اند.

پیشنهادات

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد با اعمال اثراث روندیابی سیل در عناصر حوضه و تحلیل حساسیت عوامل مؤثر بر سیلاب می‌توان :

۱- زیرحوضه‌هایی که تأثیر بیشتری بر سیلاب کل حوضه دارند را شناسایی کرد بدین ترتیب که می‌توان زیرحوضه‌ها با تأثیرگذاری زیاد بر سیلاب خروجی حوضه را شناسایی کرد و به جای انجام عملیات اصلاحی در زیرحوضه‌ها با اثر ناچیز بر سیلاب حوضه، اقدام به اصلاحات در زیرحوضه‌هایی کرد که پتانسیل سیل‌خیزی آنها در ایجاد رواناب برای کل حوضه بیشتر است و عملیات مهار سیل را از بالادست حوضه با هزینه‌ی کمتر کنترل کرد.

۲- عملیات کنترل سیلاب در مورد شیب و پوشش گیاهی را به نحو مؤثر و مفیدی در زیرحوضه‌ها اجرا کرد چرا که آنالیز حساسیت دو عامل CN و شیب نشان می‌دهد گرچه کاهش CN و شیب در کاهش رواناب زیرحوضه‌ها مؤثر است ولی از آنجا که کل حوضه به شکل یک سیستم عمل می‌کند باید تأثیرات ناشی از تغییر در این دو عامل را در بر هم کنش زیرحوضه‌ها با یکدیگر و کل حوضه لحاظ کرد تا در زیرحوضه‌هایی که کاهش CN و شیب منجر به تقویت دبی اوج سیلاب حوضه می‌شود با اجرای کارهای پرهزینه، سیلاب حوضه در اراضی پایین‌دست تشدید نشود یا در زیرحوضه‌هایی که کاهش این دو عامل اثر ناچیز بر سیلاب حوضه داشته است در انتخاب روش مدیریت سیلاب دقت صورت گیرد.

۳- پیشنهاد می‌گردد که از میان عوامل قابل مدیریت مؤثر بر سیلاب، تأثیرگذارترین عامل شناسایی گردد و برای اجرای عملیات کنترل سیلاب در اولویت قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع و مآخذ

۱- حسینی، حسن (۱۳۸۳). بررسی لندفرم‌های آبی در دشت کرون، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان.

۲- حشمت‌پور، علی؛ محسنی ساروی، محسن؛ سعدالدین، امیر و عرفانیان، مهدی (۱۳۸۱). بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد دبی سیلاب، مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۵۵.

۳- خسروشاهی، محمد؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴). تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل مؤثر بر سیلخیزی زیرحوضه‌های آبخیز با استفاده از تحلیل هیدروگراف‌های خروجی حوضه و کاربرد مدل HEC-HMS، جنگل و مرتع، شماره ۶۷.

۴- رامشت، محمدحسین (۱۳۷۵). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی منطقه‌ای اقتصادی، چاپ اول. اصفهان. انتشارات دانشگاه اصفهان.

۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، برگه‌های چادگان، عسگران، آشن، دهق.

۶- ضیایی، حجت‌الله و بهنیا، عبدالکریم (۱۳۸۶). اصول مهندسی آبخیزداری، چاپ دوم. انتشارات آستان قدس رضوی.

۷- عبدی، پرویز (۱۳۸۵). بررسی پتانسیل سیلخیزی حوضه‌ی زنجان رود با روش SCS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی. کارگاه فنی همزیستی با سیلاب.

۸- علیزاده، امین (۱۳۸۳). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هفدهم. انتشارات آستان قدس.

۹- قنواتی، عزت‌الله (۱۳۸۲). مدل ژئومورفولوژیکی سیلاب در حوضه‌ی گاماسیاب، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۱.

۱۰- کوک، آر.یو. دورکمپ، جی. سی (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد ۱. چاپ اول. ترجمه شاپور گودرزی‌نژاد. انتشارات سمت.

۱۱- موسوی‌ندوشنی،سعید؛ داننده‌مهر، علی (۱۳۸۴). سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HEC-HMS)، چاپ اول. تهران. انتشارات دیباگران.

۱۲- نشاط، علی و صدقی، حسین (۱۳۸۵). برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-HMS درحوضه آبخیز باغ ملک- استان خوزستان، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. شماره‌ی ۴. تهران.

۱۳- وهابی، جلیل (۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه‌ی موردی طالقان رود)، مجله‌ی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۱.

Archive of SID

www.SID.ir

14- Beven, K., Pappenberger, F. and Ratto, M. (2008). Multi – Method global sensitivity analysis of flood in undation models, Advances in Water Resources, Vol 31.
15- Burton, L. (2003). Application of HEC-HMS and the Effects of Sub-Basin Size in Watershed Modeling, Texas A&M University Department of Civil Engineering CVEN689- CE Applications of GIS.
16- Chieyen, B. (1995). Hydraulics and effectiveness of levees for flood control, U.S.-Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods Perugia (Italy)
17- Cunderlik, J. and Simonovic, P.(2004). Assessment of water resources risk andvalnerability to changing climatic condition, university of western Ontario, project report IV.
18- Davis C (2001). Hydrologic modeling system, HEC-HMS, Technical reference manual, U. S. Army corps of engineering.
19- Mclin, S. Springer, E. and Lane, L (2001). Predicting floodplain boundary changes following the Cerro Grande wildfire, Hydrological Processes, Vol 15.
20- Perrin, C. and Oudin, L (2007) Impact of stream flow data on the efficiency and the parameters of rainfall – runoff models, Hydrological sciences Journal, Vol 52.
21- Veitzar, S, Menabde, M. and Gupta, V (2001).Test of peak flow scaling in simulated self – similar river network,Advances in Water Resources, Vol 24.

Archive of SID

www.SID.ir