Archive of SID

یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز
11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Participatory Development in Watershed Management
April 19-21, 2016

بررسی تاثیر تغییر در الگوی زمانی بارش بر روی خصوصیات هیدروگراف سیل در حوزه‌ی آبخیز نمین چای استان اردبیل

مژگان راد[1] و سجاد میرزائی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

SajjadMirzaei2014@gmail.com

چکیده

تغییرات شدت بارندگی در طول زمان پیشروی رگبار، تأثیر به‌سزایی در شکل هیدروگراف و زمان وقوع دبی پیک سیلاب‌های ناشی از بارش دارد. لذا تحقیقی در شهرستان نمین واقع در استان اردبیل با فرض یکسان بودن تمامی شرایط به بررسی تاثیر تغییر الگوی بارش ناشی از تغییر اقلیم در این منطقه بر روی خصوصیات هیدروگراف سیل پرداخته شد. مقدار حداکثر بارش روزانه با دوره بازگشت ۲۵ سال، ۵۲ میلی متر و حداکثر بارش شش ساعته ۳۸ میلی‌متر و دارای شماره منحنی ۷۵ با بیشترین کاربری از نوع مرتع درجه یک می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار WMS توسط سه مدل SCS ، CLARK و SNYDER و با بهره‌گیری از شش الگوی توزیع زمانی بارش استاندارد جهانی SCS, huff-4, huff-3, huff-2, huff-1, WMO اقدام به برآورد هیدروگراف سیل شد. نتایج نشان داد که با تغییر در الگوی زمانی بارش از چارک اول به سمت چارک‌های پایانی در هر یک از مدل‌های بارش-رواناب مقدار حداکثر دبی افزایش می‌یابد همچنین زمان تا اوج هیدروگراف‌های سیل کاهش، زمان پایه افزایش، زمان فروکش سیل نیز افزایش می‌یابد. تغییرات الگوی زمانی بارش هیچ‌گونه تاثیری بر روی حجم سیل خروجی در منطقه نداشت. با توجه به موضوع تغییر اقلیم و تاثیر آن بر روی الگوی زمانی بارش و به تبع آن افزایش میزان حداکثر دبی اوج را به همراه دارد. همچنین بررسی هیدروگراف-های سیل نشان می‌دهد که هر قدر حداکثر دبی سیلاب افزایش پیدا کند به میزان زمان نفوذ در هنگام بارش و قبل از شروع سیل افزوده می‌شود.

کلمات کلیدی: SCS، CLARK، SNYDER، حجم سیلاب، حداکثر دبی.

مقدمه

به دنبال گرم شدن اقلیم زمین الگوی گردش عمومی هوا و به تبع آن الگوی زمانی– مکانی بارندگی تغییر کرده است. تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدید و بلای سیاره زمین به شمار می‌آید (موحد، ۱۳۹۲). به علت اهمیت تأثیر تغییرات بر شرایط محیطی و اقتصادی –اجتماعی و همچنین، نقش آن در برنامه‌ریزی خرد و کلان، تغییرات رفتار بارندگی جهان و در زمان طولانی، به ویژه در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است. بارش به عنوان یکی از عناصر اقلیمی مهم از پیچیدگیهای خاصی برخوردار است و معمولاً جمع بارشهای یک نقطه در مقیاس های زمانی مختلف دارای توزیع های آماری ساده و متقارنی نیست. دراهمیت مقادیر بارش و تغییرات آن به خصوص در کشور ما که در ناحیه خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد، تردیدی نیست (زارع، ۱۳۸۸).

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اینکه کشور ایران از نظر سیل‌خیزی رتبه ششم دنیا را به خود اختصاص داده است و به علت نوع اقلیم و عدم یکنواختی مکانی و زمانی بارندگی در سطح کشور، شرایط متفاوت آب و هوایی در طول سال، سبب شده است که قسمت عمده‌ی ریزش‌های جوی در مدت زمان کوتاهی رخ داده و باعث سیلاب‌های عظیم در سطح حوزه آبخیز گردد (میرزایی، ۱۳۹۲). الگوی توزیع زمانی بارش در واقع نحوه تغییرات شدت بارش در طول مدت بارندگی را معرفی می‌کند. تاثیر خصوصیات بارش به ویژه توزیع زمانی بارش و شدت آن بر روی شبیه‌سازی رخدادهای سیلاب حوضه شناخته شده‌تر است (سالنیر و لی‌لای[۲۵]، ۲۰۰۹؛ آندرسین[۲۶] و همکاران، ۲۰۰۴). همان طور که انتظار می‌رفت در نتیجه افزایش سطح آب دریاها و افزایش فراوانی و شدت بارندگی‌ها، تعداد وقایع سیلاب افزایش یافته است (پانل بین دولتی تغییرات اقلیمی (CRED)، ۲۰۱۳؛ Ramin and McMichael, 2009) و به دلیل افزایش سطح شهرنشینی، تعداد افراد در معرض وقایع سیلابی رو به فزونی است (Du et al, 2010). به طوری که بر اساس آمار ارائه شده توسط مرکز تحقیقات بلایای همه‌گیر (CRED, 2013)، در ایران در طول ۲۷ سال گذشته (2012-1986) در حدود ۶۰ واقعه سیلابی بزرگ رخ داده است که این تعداد سبب کشته شدن ۳۲۳۷ نفر و در حدود ۷۶۵۳ میلیون دلار خسارت مالی شده است. بخش بزرگی از خطاهای شبیه‌سازی مدل‌های بارش-رواناب مربوط به عدم قطعیت‌های الگوی توزیع بارش حوضه می‌باشد (سنگتی و بورگا[۲۷]، ۲۰۰۹؛ مولاین[۲۸] و همکاران، ۲۰۰۹؛ سید[۲۹] و همکاران، ۲۰۰۳). شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و طراحی سازه‌های هیدرولیکی غالبا نیازمند ویژگی‌های باران طرح شامل مقدار، تداوم و توزیع زمانی بارش می‌باشد(تانگ و وانگ[۳۰]، ۲۰۱۳). محمودی و همکاران (۱۳۹۳) در شمال غرب ایران اقدام به بررسی داده‌های حداکثر بارش روزانه کردند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود تغییرات مقدار بارش روزانه تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی داشت.

در این مطالعه به منظور بررسی روش‌های شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب، هیدروگراف خروجی (حداکثر دبی لحظه‌ای) روش-های SCS، SNYDER و CLARK توسط الگوهای بارش WMO، SCS، Huff1st، Huff2nd، Huff3rd، Huff4th با به-کارگیری سیستم مدل‌سازی حوضه آبخیز شبیه سازی شد. هدف از این مطالعه بررسی میزان تغییرات دبی سیلاب با تغییر الگوی بارش می‌باشد.

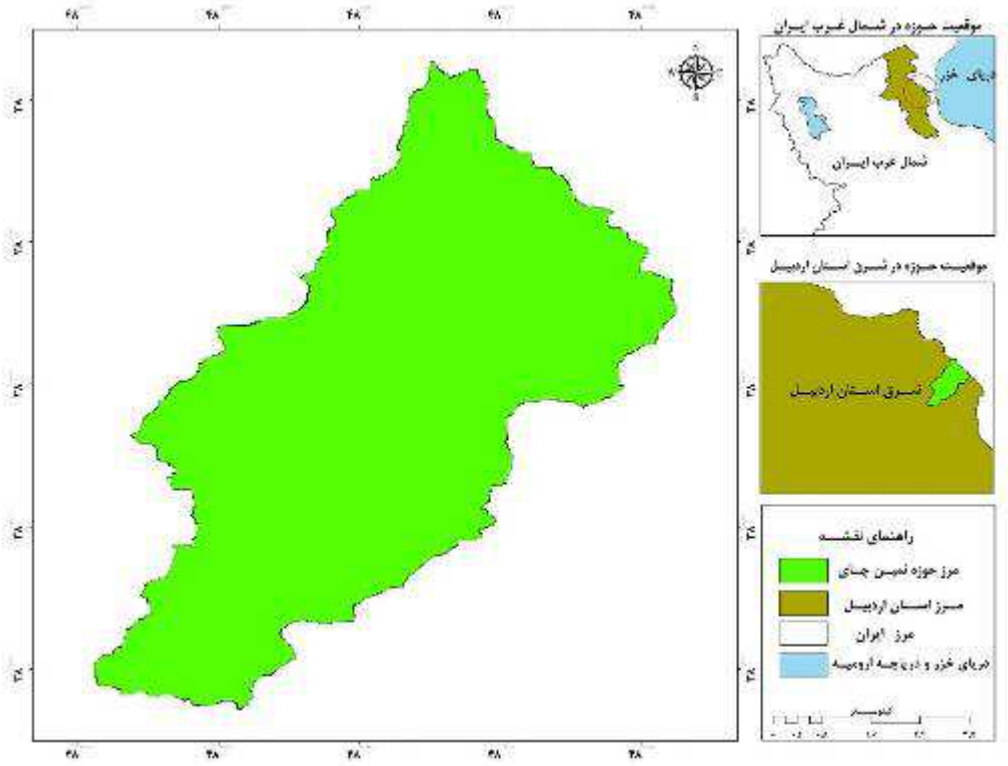
مواد و روش ها

حوزه آبخیز نمین‌چای در شهرستان نمین در شرق استان اردبیل در دامنه‌های جنوب غربی کوهستان تالش قرار گرفته است و هم مرز با کشور جمهوری آذربایجان و استان گیلان است. این حوزه آبخیز از سرشاخه های رودخانه قره سو است که با طی مسیر جریان شمال به جنوب به حوزه قره سو می ریزد. این حوزه با مساحت ۳۴/۹۳ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۶۹۳ متر از سطح دریا در بالا دست ایستگاه هیدرومتری نمین واقع شده است. حوزه آبخیز نمین‌چای غالبا علاوه بر تولید رواناب سطحی و تغذیه چشمه‌های منطقه، سبب تغذیه سفره آب زیرزمینی نیز می‌شود. شکل ۱ موقعیت حوزه نمین‌چای را نشان می‌دهد.

25 -Saulnier and Le Lay
26- Andreassian
27- Sangati and Borga
28- Moulin
29- Syed
30- Tung and Wong

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز نمین‌چای در شمال ایران

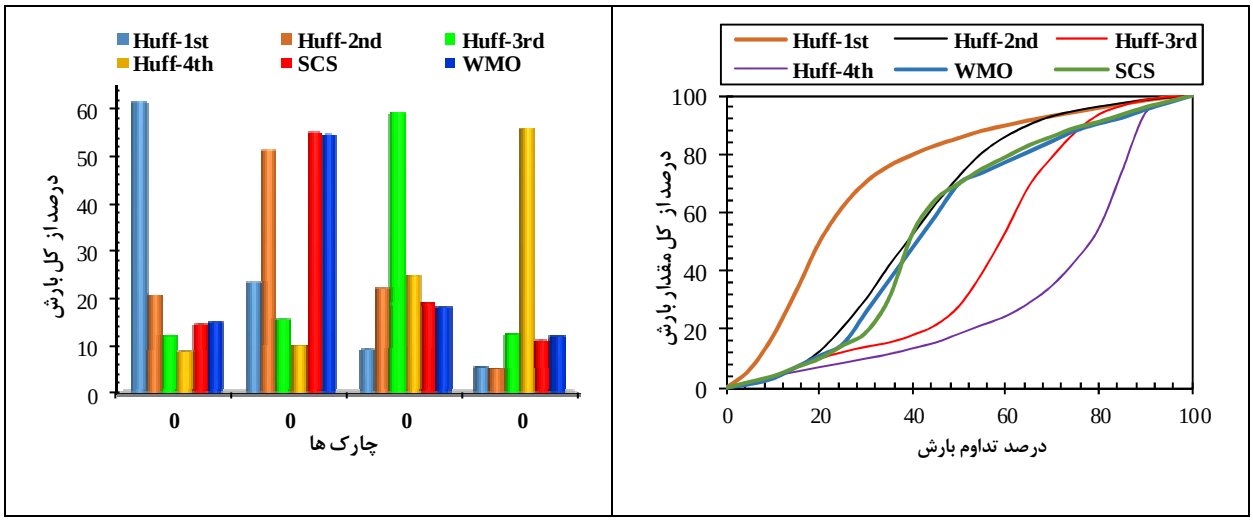
روش تحقیق: این تحقیق شامل سه مرحله بود، در مرحله اول اقدام به تعیین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه و پارامترهای مورد نظر در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل پرداخته شد. در مرحله دوم اقدام به بررسی انواع الگوهای زمانی بارش استاندارد جهانی پرداخته شد و شش الگوی بارش WMO، SCS، Huff1st، Huff2nd، Huff3rd، Huff4th انتخاب گردید. در مرحله سوم با استفاده از روش‌های اشنایدر، کلارک و شماره منحنی با سیستم مدل‌سازی حوضه آبخیز هیدروگراف سیلاب (حداکثر دبی لحظه‌ای) برای دوره بازگشت ۲۵ سال شبیه‌سازی شد. مقدار متوسط حداکثر بارش روزانه (۵۲/۲۲ میلی متر) و متوسط حداکثر بارش شش ساعته (۳۵/۲۸میلی‌متر) حوزه آبخیز نمین چای از پایان‌نامه محمودی (۱۳۹۴) برای دوره بازگشت ۲۵ سال تهیه شد.

نتایج و بحث

بررسی الگوهای بارش Huff1st، Huff2nd، Huff3rd و Huff4th نشان می‌دهد که حداکثر بارش به ترتیب در چارک-های اول، دوم، سوم و چهارم اتفاق می‌افتد و این وضعیت در هر دو الگوی بارش SCS و WMO در چارک‌های دوم به ترتیب ۵۶ و ۵۵ درصد از کل بارش می‌باشد. در شکل ۲ منحنی بی بعد بارش و نمودار چارک‌های الگوهای بارش نشان داده شده است.

www.SID.ir

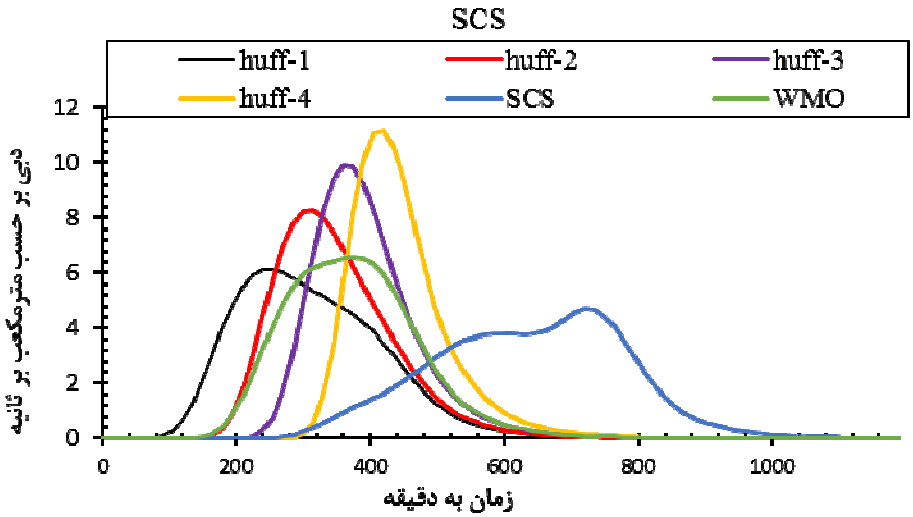
Archive of SID



شکل ۲- منحنی بی‌بعد بارش و نمودار چارک‌ها

جهت تخمین حداکثر سیلاب این حوضه به روش‌های SCS، CLARK و SNYDER در سیستم مدل‌سازی حوضه از بارش ۶ ساعته استفاده شد. با توجه به این‌که زمان تمرکز حوزه کمتر از ۶ ساعت می‌باشد و در روش SCS هیدروگراف طرح براساس باران‌های ۶ ساعته استخراج می‌گردد لذا در این پژوهش متوسط حداکثر بارش روزانه با دوره بازگشت ۲۵ سال به بارش ۶ ساعته با همان دوره بازگشت تبدیل گردید. بارش ۶ ساعته و شماره منحنی حوضه (که متوسط آن برابر با ۷۴/۸ می‌باشد) با فرض رطوبت خاک متوسط، وارد سیستم مدل‌سازی حوضه گردید.

در این پژوهش شبیه‌سازی دبی و هیدروگراف سیلاب از طریق سه مدل بارش- رواناب SCS، CLARK و SNYDER که هرکدام با شش روش الگوی توزیع زمانی بارش (SCS، WMO، Huff1st، Huff2nd، Huff3rd، Huff4th) برای دوره بازگشت ۲۵ سال انجام گرفت. در شکل ۳ هیدروگراف شبیه سازی شده توسط شش الگوی بارش با استفاده از روش SCS برای دوره بازگشت ۲۵ سال نشان داده شده است.



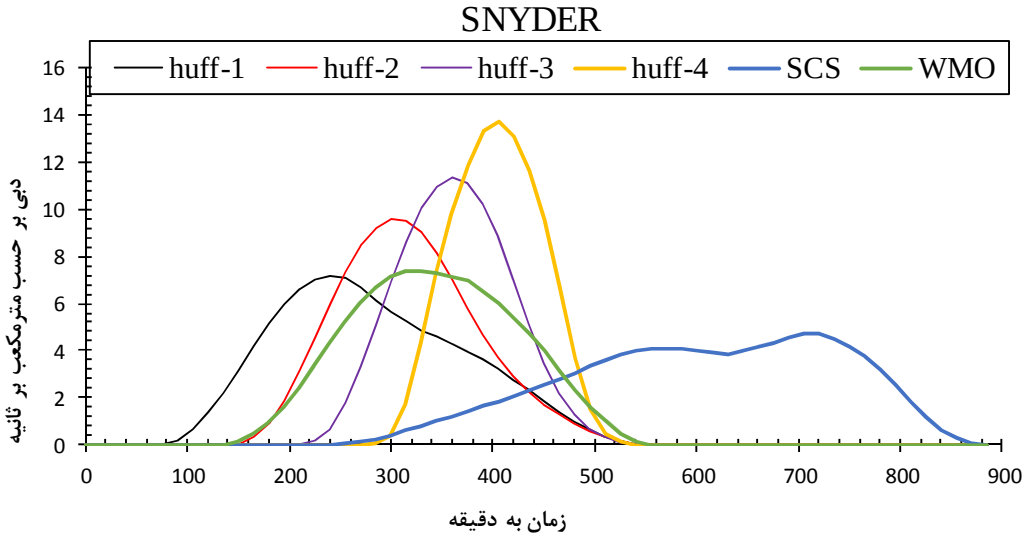
شکل ۳- هیدروگراف‌های سیلاب شبیه‌سازی شده با روش SCS در سیستم مدل‌سازی حوضه

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد حداکثر دبی هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده توسط الگوی بارش Huff4th دارای بیشترین مقدار دبی حداکثر نسبت به سایر الگوهای بارش می‌باشد. بررسی شبیه‌سازی دبی سیلاب در سیستم مدل‌سازی حوضه با الگوی بارش SCS، با روش شماره منحنی نشان داد که داده‌های برآورد شده دبی حداکثر لحظه‌ای از مقادیر دیگر روش‌ها کمتر ۱۱۸۰ دقیقه و از سایر روش‌ها بیشتر می‌باشد.

بررسی دبی حداکثر لحظه‌ای شبیه‌سازی شده توسط مدل بارش- رواناب SNYDER با الگوهای بارش برای دوره‌های بازگشت ۲۵ سال نشان داد که الگوی بارش Huff1st و Huff4th به ترتیب دارای مقدار حداکثر دبی کمتر و بیشتر از سایر هیدروگراف‌ها می‌باشد. به طور کلی به هر میزان که اگوی بارش به سمت چارک‌های پایانی میل می‌کند بر میزان حداکثر دبی سیل نیز افزوده می‌شود. که این افزایش حداکثر دبی با کاهش زمان تا اوج هیدروگراف و زمان پایه هیدروگراف همراه می‌باشد. در شکل ۴ هیدروگراف شبیه سازی شده توسط شش الگوی بارش با استفاده از روش SNYDER برای دوره بازگشت ۲۵ سال نشان داده شده است

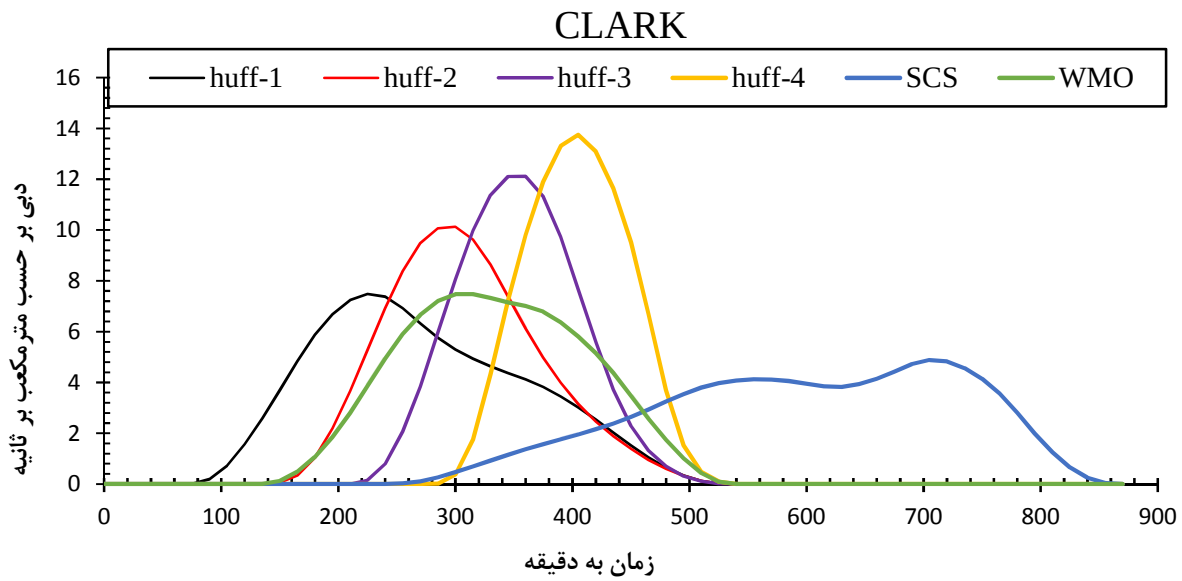


شکل ۴- هیدروگراف‌های سیلاب شبیه‌سازی شده با روش SNYDER در سیستم مدل‌سازی حوضه

تجزیه و تحلیل نتایج استفاده از مدل CLARK، حاکی از آن است که این روش نسبت به سایر روش‌های شبیه‌سازی حداکثر دبی دارای بیشترین مقدار در هر یک از الگوهای زمانی بارش را دارد. بررسی زمان تا اوج هیدروگراف‌های شبیه سازی شده توسط انواع الگوهای بارش نشان داد که بیشترین زمان نفوذ در حین بارش مربوط به الگوی بارش SCS و کمترین زمان نفوذ در الگوی بارش huff-1 می‌باشد. در شکل ۵ هیدروگراف شبیه سازی شده توسط شش الگوی بارش با استفاده از روش CLARK برای دوره بازگشت ۲۵ سال نشان داده شده است

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- هیدروگراف‌های سیلاب شبیه‌سازی شده با روش CLARK در سیستم مدل‌سازی حوضه

جدول۱- مقادیر زمانی هیدروگراف و حداکثر دبی لحظه‌ای با مدل‌های مختلف و الگوهای متفاوت(مترمکعب بر ثانیه)

مدل بارش -رواناب	الگوی بارش	زمان تا اوج کلی	نفوذ	زمان تا اوج	زمان پایه	حجم سیلاب	حداکثر دبی
	SCS	۷۲۰	۲۲۵	۴۹۵	۱۱۸۵	۹۸۲۸۹	۴/۷
	WMO	۳۷۵	۱۵۰	۲۲۵	۸۷۰	۹۸۲۹۰	۶/۵۵
	huff-1	۲۵۵	۶۰	۱۹۵	۸۵۵	۹۸۲۸۴	۶/۱۳
	huff-2	۳۱۵	۱۳۵	۱۸۰	۸۵۵	۹۸۲۸۹	۸/۲۹
	huff-3	۳۶۰	۲۱۰	۱۵۰	۸۵۵	۹۸۲۸۹	۹/۹۲
SCS	huff-4	۴۲۰	۲۷۰	۱۵۰	۸۷۰	۹۸۲۸۹	۱۱/۱۹
	SCS	۷۰۵	۳۷۵	۳۳۰	۸۷۰	۹۸۲۸۸	۴/۸۹
	WMO	۳۰۰	۱۲۰	۱۸۰	۵۴۰	۹۸۲۹۰	۷/۴۷
	huff-1	۲۲۵	۶۰	۱۶۵	۵۴۰	۹۸۲۸۸	۷/۴۹
	huff-2	۳۰۰	۱۳۵	۱۶۵	۵۴۰	۹۸۲۸۸	۱۰/۱۳
	huff-3	۳۶۰	۲۱۰	۱۵۰	۵۴۰	۹۸۲۸۹	۱۲/۱۱
CLARK	huff-4	۴۰۵	۲۷۰	۱۳۵	۵۴۰	۹۸۲۸۸	۱۳/۷۴
	SCS	۷۰۵	۲۲۵	۴۸۰	۸۸۵	۹۸۲۸۹	۴/۷۱
	WMO	۳۳۰	۱۳۵	۱۹۵	۵۵۵	۹۸۲۸۷	۷/۳۸
	huff-1	۲۴۰	۶۰	۱۸۰	۵۵۵	۹۸۲۹۰	۷/۲
	huff-2	۳۰۰	۱۳۵	۱۶۵	۵۵۵	۹۸۲۸۸	۹/۵۶
	huff-3	۳۶۰	۲۲۵	۱۳۵	۵۵۵	۹۸۲۸۷	۱۱/۳۳
SNYDER	huff-4	۴۰۵	۲۷۰	۱۳۵	۵۵۵	۹۸۲۸۸	۱۳/۷۴

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی تمامی هیدروگراف‌های شبیه‌سازی سیل نشان می‌دهد با تغییر الگوی زمانی بارش تغییر قابل ملاحظه‌ای بر روی حجم سیل اتفاق نمی‌افتد تنها زمان‌های بخش‌های مختلف هیدرگراف سیل تغییر و کم و زیاد می‌شود. همچنین با توجه به اینکه دو الگوی بارش SCS و WMO تقریبا از لحاظ زمانی باهم برابر هستند ولی همین تغییر اندک باعث اختلاف چشم‌گیری در مقوله زمان‌های هیدروگراف سیل و مقدار دبی حداکثر سیل شده است لذا این موضوع اهمیت الگوی زمانی بارش در بررسی و برآوردهای دبی سیلاب را در طرح‌های عمرانی نشان می‌دهد. به طوریکه در روش CLARK، مقدار نفوذ، زمان تا اوج و زمان پایه در روش الگوی زمانی بارش به ترتیب ۳۷۵، ۳۳۰ و ۸۷۰ دقیقه می‌باشد در صورتی که در الگوی بارش WMO این مقادیر به ترتیب ۱۲۰، ۱۸۰ و ۵۴۰ دقیقه می‌باشد. جدول ۱ مشخصات مربوط به هر یک از روش‌های بارش-رواناب به همراه الگوهای زمانی بارش را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

مقایسه الگوهای توزیع زمانی بارش در شبیه‌سازی دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب نشان داد استفاده از الگوی Huff-1st در شبیه‌سازی سیلاب سبب برآورد کمتر و استفاده از الگوی Huff-4th سبب برآورد بیشتر دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب می‌شود. نتایج نشان داد الگوی بارش SCS کمترین میزان برآورد دبی سیل در بین الگوهای بارش در مدل‌های بارش-رواناب SCS، CLARK، SNYDER برای حوضه برآورد می‌کند. به‌طور کلی نتایج حاصله نشان می‌دهد ویژگی‌های مربوط به بارش از مهم‌ترین عوامل شبیه-سازی هیدروگراف سیلاب (حداکثر دبی لحظه‌ای) می‌باشد بنابراین بررسی شرایط الگوی توزیع زمانی بارش در مطالعات مربوط به سیل‌خیزی ضروری به نظر می‌رسد. ازطرفی دیگر با توجه به کمبود یا فقدان آمار ایستگاه های هیدرومتری و در نتیجه عدم امکان واسنجی مدل، به نظر می‌رسد که بررسی پارامتر خصوصیات بارندگی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای نتایج شبیه‌سازی حداکثر دبی لحظه‌ای را به واقعیت نزدیک‌تر سازد. با توجه به مسأله تغییر اقلیمی که در ایران صورت می‌گیرد و این تغییراقلیم در مناطقی از ایران با کاهش بارندگی و در مناطق دیگر افزایش بارش‌ها را منجر می‌شود. در ایران اثر تغییر اقلیم بر روی افزایش دبی حداکثر سیل می-باشد که این مسأله نه تنها بر میزان مقدار حداکثر بارش روزانه افزوده می‌شود باعث تغییر الگوی زمانی بارش می‌شود به گونه‌ای که بیشترین مقدار بارندگی در اواخر یک واقعه رخ می‌دهد که طبق نتایج ین تحقیق با فرض ثابت بودن تمامی شرایط، میزان حداکثر دبی سیلاب به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد ولی طبق نتایج به دست آمده تغییری در حجم سیلاب صورت نمیگیرد و تنها مقوله‌ی زمان در این خصوص نقش اصلی را ایفا می‌کند به طوریکه زمان تا اوج و زمان شاخه خشکیدگی هیدروگراف سیل کاهش می‌یابد که این تغییر زمانی باعث افزایش دبی سیلاب می‌شود.

بررسی بیشتر هیدروگراف‌های سیل بدست آمده از سه روش بارش-رواناب با الگوهای مختلف بارش برای دوره بازگشت ۲۵ سال نشان می‌دهد که هرچند دبی سیلاب با تغییر الگوی زمانی بارش (تغییر اقلیم) افزایش می‌یابد ولی به نظر می‌رسد بهترین و کم هزینه ترین راه‌حل مقابله یا همان سازگاری با طبیعت استفاده از سیستم‌های هشدار سیل در منطقه می‌باشد زیرا با کاهش زمان تا اوج هیدروگراف سیل که به تبع آن دبی نیز افزایش پیدا می‌کند زمان نفوذ در هنگام بارندگی نیز افزایش پیدا می‌کند به عبارتی زمان کافی برای خروج مردم از محدوده سیل‌گیر وجود دارد.

منابع

زارع، آ.، یاورزاده، م.، شیدای، ا و همدمی، ق، (۱۳۸۸)، بررسی روند تغییرات بلند مدت رژیم بارش حوضه آبریز نازلوچای، همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی، دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول. دزفول. ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

موحد، س.، عساکره، ح.، سبزی پرور، ع. ا.، مسعودیان، ا و مریانجی، ز، (۱۳۹۲)، بررسی تغییرات الگوی بارندگی در استان همدان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره دوم، تابستان، شماره پیاپی ۱۰۹. صص: ۴۸-۳۳.

محمودی، س، (۱۳۹۴)، ارزیابی تغییرات زمان سیلاب اوج نسبت به شدت بارش با استفاده از مدل بارش- رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نمین). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

محمودی، س.، میرزائی، س.، میرزائی، ی و اسمعلی، ا.، (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات مقدار حداکثر بارش روزانه (مطالعه موردی: ماکو-چالدران؛ استان آذربایجان غربی)، سومین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ۲۹ و ۳۰ مرداد.

میرزائی، س، (۱۳۹۲)، شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و دبی سیلاب با استفاده از WMS و GIS (مطالعه موردی: حوزه آتشگاه)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

Andreassian, V., Perrin, C., Michel, C., Usart-Sanchez, I., and Lavabre, J., (2004), Impact of imperfect rainfall knowledge on the efficiency and the parameters of watershed models, J, Hydrol, 250: 206–223.

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters)., (2013), Natural disastertrends, Retrieved 15/4/2013, from Super Admin EMDAT, http://www.emdat.be.

Du, W., FitzGerald, G.J., Clark, M., And Hou, X.Y., (2010), Health impacts of floods, Prehosp Disaster Med, 25: 265–272.

Moulin, L., Gaume, E., and Obled, C., (2009), Uncertainties on mean areal precipitation: assessment and impact on streamflow simulations. Hydrol. Earth Syst, Sci. 13: 99–114.

Sangati, M., and Borga, M., (2009), Influence of rainfall spatial resolution on flash flood modelling, Nat. Hazards Earth Syst, Sci. 9: 575–584.

Saulnier, G.M., and Le Lay, M., (2009), Sensitivity of flash-flood simula-tions on the volume, the intensity, and the localization of rain-fall in the Cevennes-Vivarais region. Water Resour. Res. 45. doi: 10.1029/2008WR006906, (France).

Syed, K.H., Goodrich, D.C., Myers, D.E., and Sorooshian, S., (2003), Spatial characteristics of thunderstorm rainfall fields and their relation to runoff, J. Hydrol, 271: 1–21.

Tung, Y.K., and Wong, C.L., (2013), Assessment of design rainfall uncertainty for hydrologic engineering applications in Hong Kong, Stoch Environ Res Risk Assess, DOI 10.1007/s00477 - 013-0774-2.

www.SID.ir