

پیش‌بینی و تحلیل پهنه سیل در شرایط تغییر اقلیم براساس سناریوهای مدل CanESM2

سجاد میرزائی^۱، مهدی وفاخواه^{۲*}، بیسواجیت پردهان^۳ و سید جلیل علوی^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری-آب، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد مرکز مدل‌سازی پیشرفته و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده مهندسی و فناوری اطلاعات، دانشگاه فناوری

سیدنی، استرالیا

۴. استاد دانشکده مهندسی انرژی و منابع معدنی، دانشگاه سئول، کره

۵. استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱)

چکیده

شمال ایران به دلیل اقلیم مرطوب و مقدار زیاد بارش حداکثر روزانه، یکی از مناطق مستعد وقوع سیل است. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی پهنه سیل در شرایط تغییر اقلیم براساس سناریوهای پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در حوضه تالار (شهر زیراب) انجام شد. به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم از شش ایستگاه سینوپتیک استفاده شد. از میان مدل‌های گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، برای ریزمقیاس‌سازی آماری حداکثر بارش روزانه به کار برده شد. برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیلاب در دهه‌های اخیر و آینده از مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS استفاده شد. نتایج نشان داد بارش حداکثر روزانه در حوضه تالار افزایش یافته، به طوری که مقدار افزایش حداکثر بارش روزانه در اقلیم مرطوب (شمال) نسبت به اقلیم خشک (جنوب) بیشتر است. به طور کلی، حداکثر و حداقل بارش روزانه به ترتیب ۸ و ۳۳ میلی‌متر در حوضه تالار افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی با توجه به هیدروگراف سیلاب بیانگر آن است که سیل در تمامی دوره‌ها افزایش می‌یابد. سناریوی RCP 4.5 حداقل و حداکثر سیل را به ترتیب در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰ (۳۷۴ مترمکعب بر ثانیه) و ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (۱۲۰۹ مترمکعب بر ثانیه) تولید خواهد کرد. نقشه پهنه‌بندی سیلاب نشان داد پهنه سیل‌گیر دوره پایه در محدوده رودخانه است، ولی تغییر اقلیم سبب افزایش پهنه سیلاب در این منطقه می‌شود. همچنین، نتایج نشان داد حداقل ۰/۱۸ درصد و حداکثر ۸/۷ درصد از کل شهر زیراب تحت تأثیر سیلاب در شرایط تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت.

کلیدواژگان: بارش حداکثر روزانه، تغییرپذیری هیدرولوژیکی، ریزمقیاس‌سازی آماری، سناریوهای گزارش پنجم.

مقدمه

تغییرات بارندگی شدید، یکی از پیامدهای مهم گرم شدن آب‌وهوای جهانی است [۱]. به طوری که با افزایش هر درجه سانتی‌گراد دمای هوا، میزان بارندگی شدید حدود ۷ درصد افزایش می‌یابد [۲ و ۳] و میزان بارش ساعتی نیز دو برابر می‌شود [۴] که نشان‌دهنده افزایش خطر طغیان سیل ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است [۴]. همچنین، در مناطقی از جهان به دلیل پتانسیل زیاد رطوبت، شدت بارندگی روزانه در دماهای بالاتر، افزایش می‌یابد [۵ و ۶] که به افزایش مقدار و فراوانی حوادث شدید سیل منجر می‌شود [۷-۱۰]. در آینده، تغییرات در ویژگی‌های سیل به شدت به تغییر اقلیم بستگی دارد [۱۱] و تأثیر تغییرات انسانی در میزان افزایش سیل، کمتر است [۶ و ۱۲].

در سال‌های اخیر نیز شاهد افزایش وقایع بارش سنگین هستیم که سبب افزایش سیل در جهان شده است [۱۳ و ۱۴]. در ضمن، به دنبال تغییر اقلیم نیز آسیب‌پذیری جوامع در برابر وقایع سیل بیشتر شده است [۱۵]. از آنجا که وقایع سیلاب در هر زمان و مکانی اتفاق می‌افتد، بنابراین انعطاف‌پذیری می‌تواند کارکرد مؤثری در مدیریت بحران داشته باشد [۱۶]. به طوری که در آینده به دلیل تغییر اقلیم، حوادث سیل به شدت افزایش می‌یابد [۱۷-۱۹]. نتایج پژوهش خان و همکاران [۲۰] نشان می‌دهد در دهه‌های گذشته میزان فراوانی و بروز سیل‌های خطرناک در آسیا افزایش داشته است. همچنین، تأثیرگذاری تغییر اقلیم بر رواناب حدود ۴۵ تا ۶۵ درصد است [۲۱] با این حال، سیل حدود ۴۰ درصد ضرر و زیان ناشی از بلایای طبیعی را به خود اختصاص داده است [۱۱، ۲۲ و ۲۳] که به عنوان یکی از فاجعه‌بارترین خطرهای از نظر مرگ‌ومیر شناخته می‌شود [۲۴-۲۶].

سیل سالانه میلیاردها دلار خسارت ایجاد می‌کند [۲۷]، و انتظار می‌رود خطرهای ناشی از سیل به دلیل تغییرات آب‌وهوایی افزایش یابد [۱۱، ۲۸ و ۲۹]. خسارت‌های سیل از یک تریلیون دلار (ارزش‌های ۲۰۱۳) فراتر رفته است و بیش از ۲۲۰ هزار انسان، جان خود را به این دلیل از دست داده‌اند [۳۰]. اجرای اقدامات مدیریتی برای سیلاب آینده، می‌تواند سبب کاهش تلفات، محافظت از ساختمان و مردم شود [۳۱] و در نتیجه، آسیب‌پذیری در برابر آن را کاهش می‌دهد [۳۲ و ۳۳]. شناسایی

پهنه‌های سیل‌گیر یکی از راه‌های اساسی برای کنترل و کاهش خسارت‌های سیل است [۳۴].

مدل SDSM^۱ یکی از بهترین مدل‌ها برای ریزمقیاس‌سازی پارامترهای بارش و بررسی تأثیر تغییر اقلیم است [۳۵]. تا کنون، این مدل در پژوهش‌های زیادی همچون [۳۶-۴۳] استفاده شده است که توانمندی این مدل را نشان می‌دهد. همچنین، مدل‌های هیدرولوژیکی HEC-HMS و هیدرولیکی HEC-RAS در بسیاری از انواع تحقیقات برآورد و پهنه‌بندی سیلاب استفاده شده است [۳۱، ۴۴-۵۰]. نمونه‌های بارزی از سیل که سبب خسارت‌های مالی درخور توجهی شده است را می‌توان در اروپا (۲۰۱۷) [۱۱]، یونان (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) [۴۷، ۵۱]، ایتالیا (۲۰۰۵، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹) [۵۲-۵۴]، اسپانیا (۲۰۱۳) [۵۵]، فرانسه (۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) [۵۶ و ۵۷]، ویتنام (۲۰۲۰) [۵۸]، رومانی (۲۰۲۰) [۵۹]، اسلواکی غربی (۲۰۱۹) [۶۰]، پرتغال شمالی (۲۰۲۰) [۶۱] مشاهده کرد. همچنین، مطالعاتی در مورد تأثیر تغییرات اقلیم در سیلاب‌ها را در هند (۲۰۱۹، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۹) [۶۲-۶۴]، مالزی (۲۰۱۹) [۹] و انگلیس (۲۰۱۹) [۱۰] می‌توان دید. پیش‌بینی‌های آینده برای مدیریت ریسک سیل مفید است [۸، ۶۵ و ۶۶]. به طور معمول، پیش‌بینی خطر سیلاب در ایران با توجه به سناریوهای تغییر اقلیم انجام شده است [۶۷] ولی مطالعه‌ای در خصوص بررسی تغییرات حداکثر بارش روزانه آینده انجام نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر در این مقوله می‌تواند مفید باشد. تحقیق حاضر نه تنها دانش کافی، بلکه ظرفیت لازم برای اجرای کارآمد و تقسیم واضح، شفاف و جامع از مسئولیت‌ها را در بر می‌گیرد [۶۸].

حوضه تالار به دلیل داشتن شیب زیاد و بارندگی شدید، سیل ناگهانی دارد که از نوع رایج سیل در این منطقه است و به عنوان احتمال وقوع پدیده‌های مضر خطرناک شناخته می‌شود [۶۹]. با توجه به جدیدترین مطالعات انجام‌شده در این حوضه توسط مقصود و همکاران [۶۷] که گفته‌اند در آینده میزان بارش سالانه در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین، بی‌توجهی به ظرفیت هیدرولوژیکی منابع و توسعه شهر و زمین‌های زراعی در این حوضه، سبب خسارت‌هایی به مردم شده است [۷۰] که بیانگر ضرورت مدیریت دشت‌های سیلابی است [۳۴]. برای تعیین قابلیت اطمینان

اقلیم‌های مختلف برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم روی حداکثر بارش روزانه استفاده شد (جدول ۱). نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک و مدل رقومی ارتفاع با دقت‌های ارتفاعی دو متر از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران دریافت شد. در پژوهش حاضر از مدل SDSM برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی، از نرم‌افزار HEC-GeoHMS و HEC-HMS به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و از نرم‌افزار HEC-GeoRAS و HEC-RAS برای پهنه‌بندی سیلاب در شهر زیراب استفاده شد. هر سه مدل براساس داده‌های مشاهداتی، وقایع متناظر بارش - رواناب و سطح آب (اشل - دبی) واسنجی و اعتبارسنجی شدند.

تغییر اقلیم

ویژگی‌های اقلیمی حوضه تالار بیشتر تحت تأثیر رطوبت دریای خزر است [۶۷]. در مطالعه حاضر، از نرم‌افزار SDSM برای ریزمقیاس‌سازی سناریوهای RCP استفاده شد [۴۳]. از سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 با مدل CanESM2 [۳۹] برای سه دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۲۰-۲۰۷۰ و ۲۰۲۰-۲۱۰۰ به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم روی حداکثر بارش روزانه استفاده شد. برای بررسی تغییر اقلیم از کل سال‌ها، ۷۰ درصد از داده‌ها به منظور واسنجی و ۳۰ درصد برای ارزیابی استفاده شد.

مدل‌سازی هیدرولوژیکی

برای برآورد حداکثر دبی لحظه‌ای حوضه تالار از روش شماره منحنی استفاده شد. برای تعیین تغییرات مکانی حداکثر بارش روزانه در سطح حوضه تالار از روش‌های درون‌یابی آماری کریجینگ و کوکریجینگ از طریق مدل‌های K-Bessel، Rational Quadratic J-Bessel و روش‌های قطعی شامل چندجمله‌ای موضعی (LPI)، عکس فاصله وزنی (IDW) و تخمین‌گر عام استفاده شد. الگوی توزیع زمانی بارش با استفاده از ۱۴ واقعه بارش (مشاهده‌شده) حاصل از دو ایستگاه باران‌نگار (سنگده و پالندردبار) واقع در مرکز حوضه بررسی شد. بعد از واسنجی (سه واقعه) و اعتبارسنجی (دو واقعه) مدل هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ سال انجام شد.

مدل‌سازی هیدرولیکی

از داده‌های جریان پایدار به عنوان ورودی در مدل HEC-RAS برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده شد. به این منظور،

از فراوانی سیلاب و دقت لازم، از سری زمانی طولانی مدت استفاده شد [۷۱]، به طوری که حداکثر دبی لحظه‌ای با یک دوره بازگشت ۲۵ ساله [۷۲] براساس داده‌های مشاهده‌ای ۶۲ ساله تهیه شد. از آنجا که این دوره بازگشت، بیشتر شایع است و توانایی ما در تشخیص تغییرات بسیار دقیق است [۷۳ و ۷۴]، پژوهش حاضر با اهداف

الف) پیش‌بینی میزان تغییرات حداکثر بارش روزانه تحت تأثیر سه سناریوی تغییر اقلیم،

ب) شبیه‌سازی وقایع سیل با دوره بازگشت ۲۵ ساله اخیر و آینده

ج) پیش‌بینی و تعیین پهنه سیل

در شهر زیراب انجام شد. به این منظور از مدل SDSM برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم و از نرم‌افزارهای هیدرولوژیکی HEC-HMS و هیدرولیکی HEC-RAS برای شبیه‌سازی سیل و تعیین پهنه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

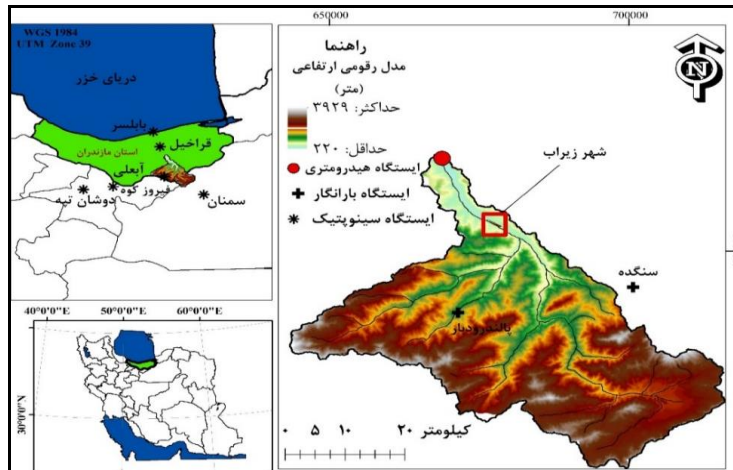
حوضه تالار با مساحت ۱۷۶۵ کیلومتر مربع در شمال ایران [۷۵] و در موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه ۳۵ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۵۳ درجه، ۲۳ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۷ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه عرض شمالی [۷۶] واقع شده است. این حوضه توسط رودخانه‌ای به نام «تالار» که مسیر جریان آن از جنوب به شمال است، زهکش می‌شود (شکل ۱). داخل این حوضه و در مجاورت رودخانه تالار شهرهای پل سفید، زیراب و شیرگاه قرار دارند. در حوضه تالار بیشترین مقدار متوسط دبی رودخانه مربوط به فصل زمستان و کمترین میزان آن در فصل تابستان جریان دارد [۷۷]. متوسط ارتفاع حوضه تالار ۱۹۷۸ متر از سطح دریا و متوسط شیب آن ۴۰ درصد است. متوسط بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۶۱۰ میلی‌متر و ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. حوضه تالار منطقه‌ای کوهستانی و پوشیده از اراضی جنگلی غالب است. رژیم بارندگی حوضه مطالعه‌شده کاملاً مدیترانه‌ای است. بافت خاک حوضه تالار بیشتر لومی سیلتی، رسی سیلتی، لومی رسی و رسی لومی است [۶۷].

جمع‌آوری داده‌ها

در مطالعه حاضر، از شش ایستگاه سینوپتیک واقع در

(MAE)، راندمان نش- ساتکلیف (NSE)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطا (ME)، ضریب توده باقی مانده (CRM)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف (MBE) استفاده شد. در نهایت، پهنه بندی سیلاب برای دوره اخیر و سناریوهای تغییر اقلیم در دوره بازگشت ۲۵ سال تهیه شد. شکل ۲ نمودار جریانی مراحل تحقیق را نشان می دهد.

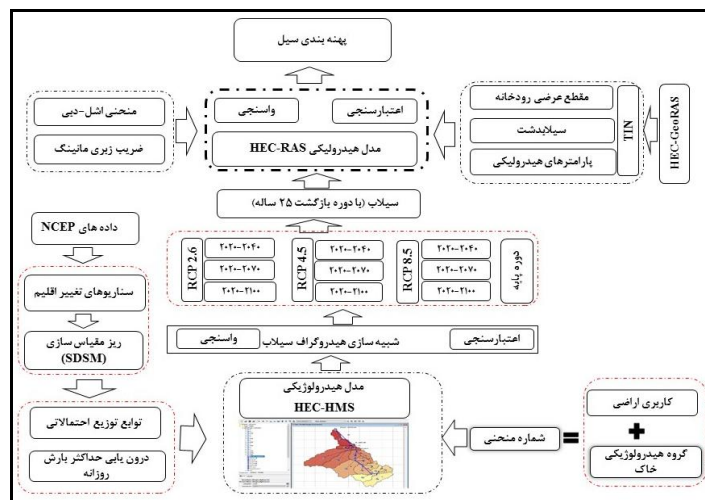
بازه ای از رودخانه به طول ۲/۴ کیلومتر که از وسط شهر زیراب عبور می کند، انتخاب شد. ضریب زبری مانینگ رودخانه با عملیات میدانی و آزمایشگاهی از روش تجربی کوان [۳۴] به دست آمد. برای فرایند واسنجی و اعتبارسنجی مدل از داده های اشل-دبی مشاهداتی استفاده شد. به منظور ارزیابی مدل از معیارهای آماری میانگین خطای مطلق



شکل ۱. موقعیت بازه رودخانه در شهر زیراب در حوضه تالار و استان مازندران

جدول ۱. اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک واقع در اطراف حوضه تالار

ایستگاه	دوره آماری	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)	اقلیم	واسنجی	اعتبارسنجی
بابلسر	۲۰۰۶-۱۹۶۰	۳۶° ۴۳'	۵۲° ۳۹'	-۲۱	خیلی مرطوب	۱۹۹۱-۱۹۶۰	۲۰۰۶-۱۹۹۲
قراخیل	۲۰۰۶-۱۹۸۴	۳۶° ۲۷'	۵۲° ۴۶'	۱۴	مرطوب	۱۹۹۹-۱۹۸۴	۲۰۰۶-۲۰۰۰
دوشان تپه	۲۰۰۶-۱۹۷۳	۳۵° ۴۲'	۵۱° ۲۰'	۱۲۰۹	نیمه خشک	۱۹۹۶-۱۹۷۳	۲۰۰۶-۱۹۹۷
آبعلی	۲۰۰۶-۱۹۸۳	۳۵° ۴۵'	۵۱° ۵۳'	۲۴۶۵	سرد کوهستانی	۱۹۹۸-۱۹۸۳	۲۰۰۶-۱۹۹۹
فیروزکوه	۲۰۰۶-۱۹۹۵	۳۵° ۵۵'	۵۲° ۵۰'	۱۹۷۵	نیمه خشک	۲۰۰۲-۱۹۹۵	۲۰۰۶-۲۰۰۳
سمنان	۲۰۰۶-۱۹۹۵	۳۵° ۳۵'	۵۳° ۳۳'	۱۱۳۰	نیمه بیابانی	۱۹۹۴-۱۹۶۶	۲۰۰۶-۱۹۹۵



شکل ۲. نمودار مفهومی گردش کار تحقیق

نتایج و بحث

ریزمقیاس‌سازی حداکثر بارش روزانه

نتایج ریزمقیاس‌سازی حداکثر بارش روزانه نشان می‌دهد تغییرات داده‌های حداکثر بارش روزانه پیش‌بینی شده با سناریوهای تغییر اقلیم از نظر مقدار متفاوت است. به طوری که افزایش مقدار حداکثر بارش روزانه تحت سناریوی RCP8.5 در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل با روند افزایشی درخور توجهی در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۰۲۰-۲۱۰۰ را نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های آبدلی و فیروزکوه این روند افزایش درخور توجه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ تحت سناریوی RCP4.5 را نشان می‌دهد که با نتایج مطالعات مقصود و همکاران [۷۷] مطابقت دارد، در حالی که تغییرات حداکثر بارش روزانه در ایستگاه‌های سمنان و دوشان تپه روند کاهشی دارد.

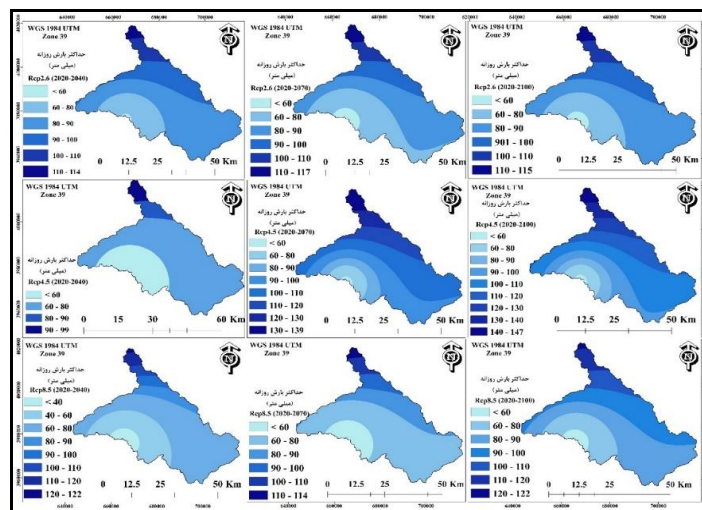
درون‌یابی حداکثر بارش روزانه

نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی بارش نشان داد بیشترین میانگین حداکثر بارش روزانه در سطح حوضه تالار مربوط

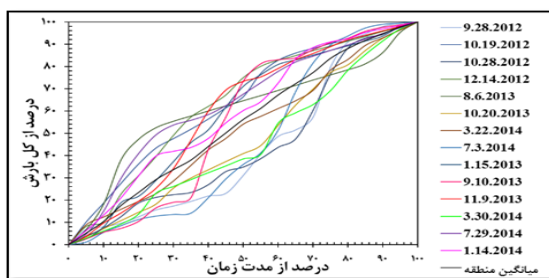
به سناریوی تغییر اقلیم دوره RCP 4.5 در دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ است. به طور کلی، سناریوهای تغییر اقلیم افزایش متوسط حداکثر بارش روزانه به میزان حداقل ۱۲ میلی‌متر و حداکثر ۵۰ میلی‌متر در حوضه تالار را نشان می‌دهند، به این معنا که در حالت خوش‌بینانه وقایع حدی بارش در این حوضه حداقل ۲۰ درصد و حداکثر ۸۷ درصد افزایش خواهد داشت که با نتایج پژوهش مقصود و همکاران [۶۷] مطابقت دارد. شکل ۳، نقشه طبقه‌بندی حداکثر بارش روزانه در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم با بازه زمانی مختلف در دوره بازگشت ۲۵ ساله را نشان می‌دهد.

الگوی توزیع زمانی بارش

به منظور تعیین الگوی توزیع زمانی بارش، تمامی وقایع بین صفر تا صد از بعد زمانی و مقدار بارش، استاندارد شدند. متوسط تمامی این وقایع به عنوان الگوی توزیع زمانی بارش حوضه تالار در نظر گرفته شد. شکل ۴ میانگین منحنی‌های توزیع زمانی بارش و نمودار میله‌ای چارک‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی حداکثر بارش روزانه در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم با دوره بازگشت ۲۵ سال

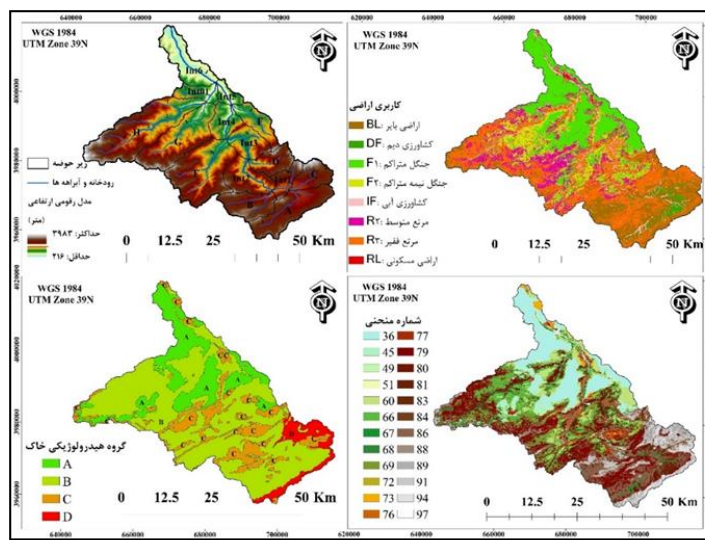


شکل ۴. چارک‌های بارش در منطقه و (سمت چپ): منحنی بارش بدون بعد

حوضه تالار را مراتع و جنگل تشکیل می‌دهد. از تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، نقشه شماره منحنی تهیه شد (شکل ۵)، به طوری که متوسط وزنی شماره منحنی در حوضه تالار ۷۰ به دست آمد. در جدول ۲ مقدار حداکثر دبی سیل شبیه‌سازی شده برای سه بازه زمانی و سناریوهای تغییر اقلیم ارائه شده است.

شبیه‌سازی هیدروگراف سیل

برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی، حوضه تالار به ۱۵ زیرحوضه تقسیم شد که هشت زیرحوضه (A, B, C, D, E, F, G, H) مستقل و هفت زیرحوضه (Int01, Int1, Int2, Int3, Int4, Int5, Int6) وابسته‌اند. شهر زیراب در پایین دست و خروجی‌ترین زیرحوضه یعنی زیرحوضه Int6 قرار دارد. براساس نقشه استفاده از زمین، کاربری غالب



شکل ۵. مدل رقمی ارتفاع، کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و شماره منحنی

جدول ۲. حداکثر دبی لحظه‌ای شبیه‌سازی شده برای دوره اخیر و سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در زیرحوضه‌ها

زیر حوضه	دوره اخیر	۲۰۲۰-۲۰۴۰			۲۰۲۰-۲۰۷۰			۲۰۲۰-۲۱۰۰		
		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
A	۲۳/۴	۱۰۳/۶	۴۹	۶۵/۲	۱۰۰/۷	۱۴۴/۷	۵۸/۴	۱۳۳/۱	۱۵۰/۴	۵۹/۴
B	۲۱/۳	۸۳/۵	۴۲	۵۴/۷	۸۱/۴	۱۱۳/۹	۴۹/۴	۱۰۵/۴	۱۱۸/۱	۵۰/۲
C	۲۵	۷۴/۵	۴۱/۸	۵۱/۹	۷۲/۸	۹۷/۷	۴۷/۸	۹۱/۲	۱۰۰/۹	۴۸/۴
D	۲۲/۶	۷۱/۶	۳۹/۱	۴۹	۶۹/۹	۹۴/۹	۴۴/۹	۸۸/۴	۹۸/۱	۴۵/۵
E	۲۶/۹	۱۳۶/۶	۶۱/۵	۸۳/۸	۱۳۲/۵	۱۹۵/۴	۷۴/۵	۱۷۸/۷	۲۰۳/۵	۷۵/۹
F	۰/۹	۱۶/۳	۴/۸	۷/۹	۱۵/۷	۲۶/۶	۶/۶	۲۳/۶	۲۸	۶/۸
G	۹/۷	۶۸/۳	۲۶/۷	۳۸/۶	۶۵/۹	۱۰۲	۳۳/۶	۹۲/۳	۱۰۶/۸	۳۴/۴
H	۱۷/۹	۱۰۶/۷	۴۴/۴	۶۲/۵	۱۰۳/۳	۱۵۷	۵۴/۹	۱۴۲/۶	۱۶۴/۱	۵۶
Int01	۰/۲	۹/۵	۲/۳	۴/۱	۹/۱	۱۶/۳	۳/۳	۱۴/۳	۱۷/۳	۳/۴
Int1	۱/۷	۲۴	۸/۱	۱۲/۷	۲۳/۲	۳۶/۷	۱۰/۸	۳۳	۳۸/۶	۱۱/۱
Int2	۶۰/۶	۱۴۴/۸	۹۰/۷	۱۰۷/۸	۱۴۲/۱	۱۸۱/۶	۱۰۰/۹	۱۷۱/۴	۱۸۶/۶	۱۰۱/۹
Int3	۳/۹	۳۵/۴	۱۳/۱	۱۹/۴	۳۴/۲	۵۳/۳	۱۶/۷	۴۸/۲	۵۵/۹	۱۷/۱
Int4	۰/۴	۱۶/۲	۴	۷/۲	۱۵/۵	۲۷/۲	۵/۸	۲۴	۲۸/۸	۶
Int5	۲/۱	۱۶	۶/۲	۹/۱	۱۵/۵	۲۳/۸	۷/۹	۲۱/۶	۲۴/۹	۸/۱
Int6	۰/۵	۱۶/۲	۴/۱	۷/۳	۱۵/۴	۲۷/۴	۵/۹	۲۴	۲۹	۶/۱
کل	۱۶۷/۵	۸۳۱/۹	۳۷۶/۶	۵۱۰/۶	۸۰۵/۳	۱۱۸۱/۳	۴۵۵/۱	۱۰۷۹/۲	۱۲۳۰	۴۶۳/۵

مقایسه با سایر سناریوها کمترین سیل و پهنه سیل‌گیری را ایجاد می‌کند، در حالی که همین سناریو در دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ بیشترین پهنه سیل‌گیری را دارد.

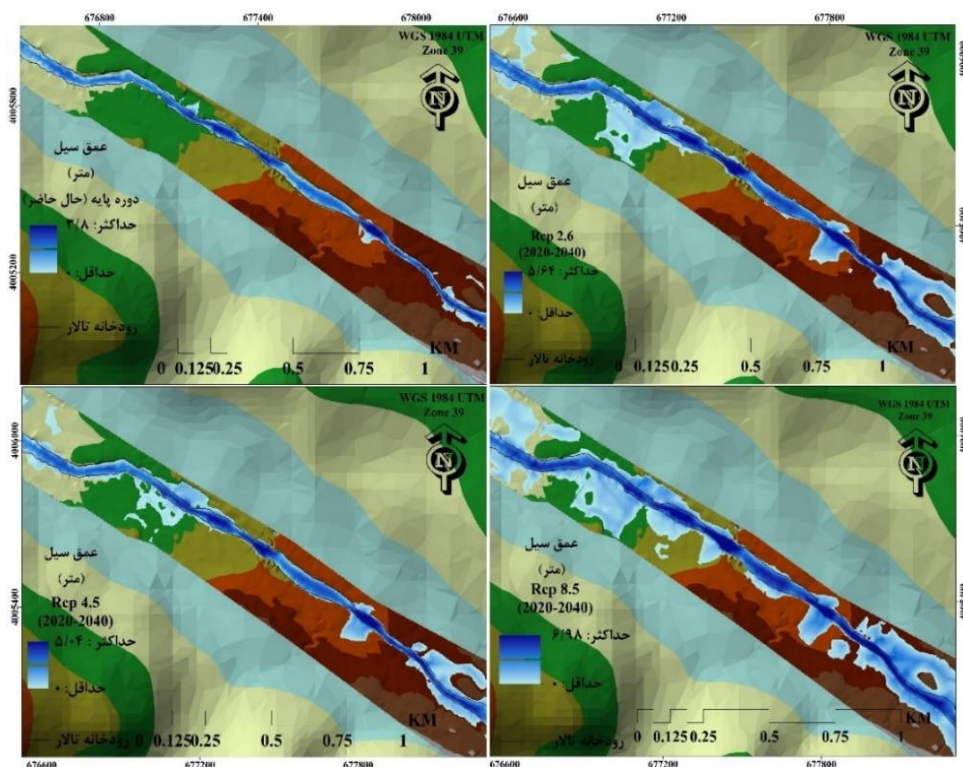
سناریوی تغییر اقلیم RCP 4.5 بیشترین دبی سیلاب و منطقه تحت تأثیر سیل را شامل می‌شود. در شکل ۶ رنگ آبی میزان مساحت سیل‌گیری را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که سیل نه تنها در سناریوهای تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت بلکه از حریم فعلی رودخانه تجاوز می‌کند و بیشتر اراضی مسکونی شهر زیراب تحت تأثیر سیلاب خواهند بود که به افزایش خسارت ناشی از سیل در آینده منجر می‌شود. در جدول ۴ میزان مساحت مناطقی که تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند، محاسبه شده است.

پهنه‌بندی سیل آینده

پهنه‌بندی سیلاب برای شهر زیراب با عرض متوسط ۵۰ متر از رودخانه تالار انجام شد. مقایسه شاخص‌های آماری بیانگر عملکرد مطلوب مدل هیدرولیکی برای شبیه‌سازی سطح آب است. در جدول ۳ مقادیر MAE, MBE, RRMSE, CRM, NS, RE و R در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ارائه شده است. پهنه‌بندی سیل در دوره پایه نشان داد مقدار دبی سیلاب ۱۶۷/۸ مترمکعب بر ثانیه است که این مقدار دبی سیلاب برابر دبی مقطع پر رودخانه بوده و در محل‌های حتی کمتر از دبی مقطع پر رودخانه است. بنابراین، سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال در دوره پایه هیچ خطری برای حاشیه رودخانه و منازل مسکونی شهر زیراب ندارد. سناریوی تغییر اقلیم RCP 4.5 با دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ در

جدول ۳. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-RAS

CRM	RRMSE	MBE	MAE	NS	RE	R	
-۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۰۴۱۲۲	-۰/۰۱۱	۰/۰۴۶۶	۱/۰۰	۰/۰۰۴۱۲۲	۰/۹۸	واسنجی
۰/۰۶۳۶	۰/۰۰۱۱۶۰۲	۰/۰۷۰۹	۰/۰۷۸۷	۱/۰۰	۰/۰۱۰۰۴۷	۰/۹۹	اعتبارسنجی



شکل ۶. پهنه سیل‌گیر سناریوهای تغییر اقلیم در دوره بازگشت ۲۵ سال آینده و دوره اخیر

جدول ۴. مساحت پهنة سيل گیر در سناریوهای تغییر اقلیم

اختلاف (m ²)	پهنة سيل (m ²)	مساحت بازه (m ²)	دبی (m ³ /s)	سناریوها
-۷۲۰۶۴	۱۰۳۴۲۵	۱۷۵۴۸۹	۱۶۷/۸	دوره پایه
۶۴۴۲	۱۸۱۹۳۱	۱۷۵۴۸۹	۳۷۴	۴/۵ (۲۰۴۰-۲۰۲۰)
۶۰۶۲۷	۲۳۶۱۱۶	۱۷۵۴۸۹	۴۵۲	۲/۶ (۲۰۷۰-۲۰۲۰)
۶۴۱۷۸	۲۳۹۶۶۷	۱۷۵۴۸۹	۴۵۹	۲/۶ (۲۰۴۰-۲۰۲۰)
۷۸۲۶۵	۲۵۳۷۵۴	۱۷۵۴۸۹	۵۰۷/۲	۲/۶ (۲۱۰۰-۲۰۴۰)
۱۹۳۴۰۲	۳۶۸۸۹۱	۱۷۵۴۸۹	۷۹۶	۸/۵ (۲۰۷۰-۲۰۲۰)
۲۰۱۴۵۷	۳۷۶۹۴۶	۱۷۵۴۸۹	۸۲۱	۸/۵ (۲۰۴۰-۲۰۲۰)
۲۸۱۱۳۷	۴۵۶۶۲۶	۱۷۵۴۸۹	۱۰۶۴	۸/۵ (۲۱۰۰-۲۰۲۰)
۳۰۷۲۸۹	۴۸۲۷۷۸	۱۷۵۴۸۹	۱۱۶۱	۴/۵ (۲۰۷۰-۲۰۲۰)
۳۱۵۶۲۸	۴۹۱۱۱۷	۱۷۵۴۸۹	۱۲۰۹/۸	۴/۵ (۲۱۰۰-۲۰۲۰)

نتیجه گیری

نتایج با نتایج مطالعه مقصود و همکاران [۶۷] سازگار است. بررسی هم‌زمان نوسان‌های متوسط حداکثر بارش روزانه و به تبع آن، تغییرات پهنة سيلاب تحت تأثیر تغییر اقلیم، این موضوع را روشن می‌کند که حوضه تالار تا سناریوی RCP4.5 با دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ پتانسیل افزایش تولید سيل را دارد، ولی در حالت بدبینانه (RCP8.5) به دلیل منفی شدن حداکثر بارش در ایستگاه‌های واقع در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک سبب کاهش بارش در سطح حوضه می‌شود، در صورتی که در دو ایستگاه بابلسر و قراخیل (اقلیم مرطوب) بارش همچنان سیر صعودی دارد. حداقل ۱۸٪ درصد و حداکثر ۸/۷ درصد از کل شهر زیراب تحت تأثیر سيلاب ناشی از تغییر اقلیم آینده خواهد بود.

با شناخت مناطقی که در معرض سيل قرار دارند و با استفاده از روش‌های علمی برای کنترل سيلاب و خطرهای آن، می‌توان اقدامات کاهش خسارت‌های سيل را انجام داد. پیشنهاد می‌شود با کاهش ضریب زبری بستر رودخانه که همراه با افزایش سرعت جریان آب خواهد بود، از گسترش سيل گیری کاست. همچنین، می‌توان با تعمیق مسیر رودخانه و احداث دایک‌های مناسب در این بازه به کاهش خسارت‌های احتمالی اقدام کرد. به‌طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد تعداد حوادث شدید غیرمعمول در آینده افزایش خواهد یافت، بنابراین مطالعه حاضر می‌تواند هشدار برای توصیف استراتژی‌های طولانی‌مدت و سودمند برای مدیریت آینده کنترل سيلاب در حوضه تالار باشد.

روند آینده دور می‌تواند متفاوت از روند گذشته مشاهده شده تا به امروز باشد، زیرا پیش‌بینی گرمایش در پایان قرن بیست و یکم احتمالاً بسیار قوی‌تر خواهد بود که عدم ثبات را در آینده به وجود خواهد آورد. به این معنا که یک سيل با دوره بازگشت مشخص، به طور مثال Q₂₅ برای مکان خاص با مشاهدات تاریخی، می‌تواند با مقدار سيل طراحی شده آینده متفاوت باشد. بنابراین، برای سازگاری با آینده، تمامی سناریوها در مطالعه حاضر بررسی شد. نتایج سناریوها نشان داد تغییرات حداکثر بارش روزانه در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. در ایستگاه‌های اقلیمی نیمه‌خشک با افزایش دمای هوا، ابتدا میزان حداکثر بارش روزانه افزایش یافته، ولی با ادامه گرمایش، کاهش می‌یابد. در صورتی که همین موضوع در حاشیه دریای خزر به صورت رابطه مستقیم افزایشی است. یعنی پتانسیل افزایش مقدار حداکثر بارش روزانه در شمال کشور و حاشیه دریای خزر در بدبینانه‌ترین حالت گرمایش زمین همچنان وجود دارد که با نتایج پژوهش مقصود و همکاران [۷۷] مطابق است. به‌طور کلی، میزان حداکثر بارش روزانه در حوضه تالار افزایش می‌یابد. بنابراین، اقلیم مرطوب در آینده وقایع بزرگ بارشی و حوادث مخرب سيل را تجربه خواهد کرد. در مطالعه حاضر دوره بازگشت ۲۵ ساله سيل برای بررسی تغییرات آن در آینده با احتمال تغییر مقدار بارش روزانه تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای وقوع یک رویداد شدید مشابه در سه دوره شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد میزان حداکثر دبی سيلاب برای هر سه سناریوی تغییر اقلیم روند افزایشی دارد. این

منابع

- [1]. Pfahl S, O’Gorman PA, Fischer EM. Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. *Nature Climate Change*. 2017; 7(6):423–7.
- [2]. Fischer EM, Knutti R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nat Clim Change*. 2016; 6(11):986–91.
- [3]. Lenderink G, Fowler HJ. Hydroclimate: Understanding rainfall extremes. *Nature Climate Change* [Internet]. 2017; 7(6):391–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate3305>
- [4]. Prein AF, Rasmussen RM, Ikeda K, Liu C, Clark MP, Holland GJ. The future intensification of hourly precipitation extremes. *Nature Climate Change*. 2017; 7(1):48–52.
- [5]. Chan SC, Kendon EJ, Roberts NM, Fowler HJ, Blenkinsop S. Downturn in scaling of UK extreme rainfall with temperature for future hottest days. *Nature Geoscience*. 2016; 9(1):24.
- [6]. Kundzewicz ZW, Kanae S, Seneviratne SI, Handmer J, Nicholls N, Peduzzi P, et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal* [Internet]. 2014; 59(1):1–28. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>
- [7]. II IP on CCWG. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. IPCC Working Group II; 2014.
- [8]. Linden P Van Der, Parry ML, Parry ML, Canziani O, Palutikof J, Van der Linden P, et al. Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Vol. 4. Cambridge University Press; 2007.
- [9]. Zainalfikry MK, Ab Ghani A, Zakaria NA, Chan NW. HEC-RAS One-Dimensional Hydrodynamic Modelling for Recent Major Flood Events in Pahang River. In: AWAM International Conference on Civil Engineering. Springer; 2019. p. 1099–115.
- [10]. asquier U, He Y, Hooton S, Goulden M, Hiscock KM. An integrated 1D–2D hydraulic modelling approach to assess the sensitivity of a coastal region to compound flooding hazard under climate change. *Natural Hazards*. 2019; 98(3):915–37.
- [11]. löschl G, Hall J, Parajka J, Perdigão RAP, Merz B, Arheimer B, et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017; 357(6351):588–90.
- [12]. Ashok V, Sridhar R V, Ajey NVU, Patel K, Rangari VA, Sridhar V, et al. Floodplain mapping and management of urban catchment using HEC-RAS: a case study of Hyderabad City. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A* [Internet]. 2019; 100(1):49–63. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40030-018-0345-0>
- [13]. Kunkel KE, Karl TR, Easterling DR, Redmond K, Young J, Yin X, et al. Probable maximum precipitation and climate change. *Geophysical Research Letters*. 2013; 40(7):1402–8.
- [14]. Universiteit V, Bouwer LM. Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2011; 92(1):39–46.
- [15]. Shahzad M, Faizan K, Tariq A, Saeed U, Sharif M, Sheraz K, et al. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2016; 41(4):1375–90.
- [16]. 16. Ward PJ, Jongman B, Aerts JCJH, Bates PD, Botzen WJW, Loaiza AD, et al. A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nature Climate Change*. 2017; (July):1–7.
- [17]. Posthumus H, Hewett CJM, Morris J, Quinn PF. Agricultural land use and flood risk management: Engaging with stakeholders in North Yorkshire. *Agricultural Water Management* [Internet]. 2008; 95(7):787–98. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.001>
- [18]. Muis S, Güneralp B, Jongman B, Aerts JCJH, Ward PJ. Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data. *Science of the Total Environment* [Internet]. 2015; 538:445–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068>
- [19]. Kourgialas NN, Dokou Z, Karatzas GP. Statistical analysis and ANN modeling for predicting hydrological extremes under climate change scenarios: The example of a small Mediterranean agro-watershed. *Journal of environmental management* [Internet]. 2015; 154:86–101. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.034>
- [20]. Khan B, Iqbal MJ, Yosufzai MAK. Flood risk assessment of river Indus of Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*. 2011; 4(1–2):115–22.
- [21]. Huang S, Chang J, Huang Q, Chen Y, Leng G. Quantifying the relative contribution of

- climate and human impacts on runoff change based on the Budyko hypothesis and SVM model. *Water resources management*. 2016; 30(7):2377–90.
- [22]. Issn J, Online FA, Ologunorisa TE, Abawua MJ. Flood risk assessment: a review. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2005; 9(1):57–63.
- [23]. Re M. Innovative new ways of analysing historical loss events. 2016.
- [24]. Georgakakos KP. Analytical results for operational flash flood guidance. *Journal of Hydrology*. 2006; 317(1–2):81–103.
- [25]. Ac- G, Witt L, Oceanic N, Downton MW, Pielke Jr RA. Discretion without accountability: Politics, flood damage, and climate. *Natural Hazards Review*. 2001; 2(4):157–66.
- [26]. Golian S, Saghafian B, Maknoon R. Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting. *Water Resources Management [Internet]*. 2010; 24(13):3547–59. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9619-7>
- [27]. Hirabayashi Y, Mahendran R, Koirala S, Konoshima L, Yamazaki D, Watanabe S, et al. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change [Internet]*. 2013 Jun 9; 3(9):816–21. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nclimate1911>
- [28]. Winsemius HC, Aerts J, van Beek LPH, Bierkens MFP, Bouwman A, Jongman B, et al. Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*. 2015; 6(4):381–5.
- [29]. Arnell NW, Gosling SN. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*. 2016; 134(3):387–401.
- [30]. Re M. Munich reinsurance company geo risks research. *NatCatSERVICE Database*. 2013;
- [31]. Shahriparsa AA, Noori M, Heydari M, Rashidi M. Floodplain Zoning Simulation by Using HEC-RAS and CCHE2D Models in the Sungai Maka River. *Air, Soil and Water Research*. 2020; 9(1).
- [32]. Pappenberger F, Stephens E, Thielen J, Salamon P, Demeritt D, Jan S, et al. Visualizing probabilistic flood forecast information: expert preferences and perceptions of best practice in uncertainty communication. *Hydrological Processes*. 2013; 27(1):132–46.
- [33]. Sampson CC, Smith AM, Bates PD, Neal JC, Alfieri L, Freer JE. A high-resolution global flood hazard model. *Water resources research*. 2015; 51(9):7358–81.
- [34]. Golshan M, Jahanshahi A, Afzali A. Flood hazard zoning using HEC-RAS in GIS environment and impact of manning roughness coefficient changes on flood zones in Semi-arid climate. *Desert*. 2016; 21(1):24–34.
- [35]. Khan MS, Coulibaly P, Dibike Y. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*. 2006; 319(1–4):357–82.
- [36]. Shrestha S, Anal AK, Salam PA, Valk M Van Der, America L. Managing Water Resources under Climate Uncertainty.
- [37]. Sayari N, Bannayan M, Alizadeh A, Farid A. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study : Kashafrood basin). 2013; 127(August 2012):115–27.
- [38]. Zhang Y, You Q, Chen C, Ge J. Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmospheric Research*. 2016; 178:521–34.
- [39]. Pervez MS, Henebry GM. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation—Downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology*. 2014; 517:120–34.
- [40]. Zhou J, He D, Xie Y, Liu Y, Yang Y, Sheng H, et al. Integrated SWAT model and statistical downscaling for estimating streamflow response to climate change in the Lake Dianchi watershed, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment [Internet]*. 2015; 29(4):1193–210. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-015-1037-1>
- [41]. Feyissa G, Zeleke G, Bewket W, Gebremariam E. Downscaling of future temperature and precipitation extremes in Addis Ababa under climate change. *Climate*. 2018; 6(3):58.
- [42]. Wilby RL, Dawson CW, Barrow EM. SDSM - A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling and Software*. 2002; 17(2):145–57.
- [43]. Wilby RL, Dawson CW, Barrow EM. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*. 2002; 17(2):145–57.
- [44]. Eguibar M, Bodoque JM, Stoffel M. Estimating flash flood discharge in an ungauged mountain catchment with 2D hydraulic models

- and dendrogeomorphic palaeostage indicators. 2011; 979(November 2010):970–9.
- [45]. Chatterjee C, Saskia F, Bronstert A, Förster S, Bronstert A. Comparison of hydrodynamic models of different complexities to model floods with emergency storage areas. *Hydrological Processes: An International Journal*. 2008; 22(24):4695–709.
- [46]. Brocca L, Melone F, Moramarco T. Distributed rainfall-runoff modelling for flood frequency estimation and flood forecasting. *Hydrological processes*. 2011; 25(18):2801–13.
- [47]. Kourgialas NN, Karatzas GP. A hydro-sedimentary modeling system for flash flood propagation and hazard estimation under different agricultural practices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014; 14(3):625.
- [48]. Papaioannou G, Loukas A, Vasiliades L, Aronica GT. Flood inundation mapping sensitivity to riverine spatial resolution and modelling approach. *Natural Hazards*. 2016; 83(1):117–32.
- [49]. Fijko R, Labant S, Weiss E, Zele M, Markovi G, Zeleňáková M, et al. Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kružlov village, Slovakia. *Journal of cleaner production*. 2019; 212:109–18.
- [50]. Hafnaoui MA, Madi M, Hachemi A, Farhi Y, Amin M, Madi M, et al. El Bayadh city against flash floods: case study. *Urban Water Journal* [Internet]. 2020; 00(00):1–6. Available from: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1714671>
- [51]. Papagiannaki K, Lagouvardos K, Kotroni V, Bezes A. Flash flood occurrence and relation to the rainfall hazard in a highly urbanized area. *Natural Hazards & Earth System Sciences*. 2015; 15(8):1859–71.
- [52]. Moramarco T, Melone F, Singh VP. Assessment of flooding in urbanized ungauged basins: a case study in the Upper Tiber area, Italy. *Hydrological Processes: An International Journal*. 2005; 19(10):1909–24.
- [53]. Molinari D, Menoni S, Aronica GT, Ballio F, Berni N, Pandolfo C, et al. Ex post damage assessment: an Italian experience. 2014; 4(c):901–16.
- [54]. Shustikova I, Domeneghetti A, Neal JC, Bates P, Castellarin A. Comparing 2D capabilities of HEC-RAS and LISFLOOD-FP on complex topography. *Hydrological Sciences Journal* [Internet]. 2019; 64(14):1769–82. Available from: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1671982>
- [55]. Llasat MC, Petrucci O, Pasqua AA, Rossell J, Llasat-Botija M, Petrucci O, et al. Towards a database on societal impact of Mediterranean floods within the framework of the HYMEX project. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013; 13(5):1337.
- [56]. Gaume E, Livet M, Desbordes M, Villeneuve J-P. Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999. *Journal of Hydrology*. 2004; 286(1–4):135–54.
- [57]. Eau D, Lyon G De, Delrieu G, Nicol J, Yates E, Kirstetter P-E, et al. The catastrophic flash-flood event of 8–9 September 2002 in the Gard Region, France: a first case study for the Cévennes–Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory. *Journal of Hydrometeorology*. 2005; 6(1):34–52.
- [58]. Hong Quang N, Tuan VA, Le Hang TT, Manh Hung N, Thi Dieu D, Duc Anh N, et al. Hydrological/Hydraulic Modeling-Based Thresholding of Multi SAR Remote Sensing Data for Flood Monitoring in Regions of the Vietnamese Lower Mekong River Basin. *Water*. 2020; 12(1):71.
- [59]. Stoleriu CC, Urzica A, Mihulea P, Pintilie A. Improving flood risk map accuracy using high-density LiDAR data and the HEC-RAS river analysis system: A case study from north-eastern Romania. *Journal of Flood Risk Management*. 2020; 13:e12572.
- [60]. Vojtek M, Petroselli A, Vojteková J, Asgharinia S, Publishing IWA. Flood inundation mapping in small and ungauged basins: sensitivity analysis using the EBA4SUB and HEC-RAS modeling approach. *Hydrology Research*. 2019; 50(4):1002–19.
- [61]. Martins M, Gonçalves P, Gomes A, Teixeira J. Definition of Flood-Prone Areas: A Comparison between HEC-RAS and Iber Software Results. In: *Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge*. Springer; 2020. p. 127–31.
- [62]. Ramachandran A, Palanivelu K, Mudgal B V, Jeganathan A, Gugesanesh S, Abinaya B, et al. Climate change impact on fluvial flooding in the Indian sub-basin: A case study on the Adyar sub-basin. *PloS one*. 2019; 14(5):1–24.
- [63]. Rangari VA, Sridhar V, Umamahesh N V, Patel AK. Floodplain mapping and management of urban catchment using HEC-RAS: a case study of Hyderabad City. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*. 2019; 100(1):49–63.

- [64]. Rangari VA, Umamahesh N V, Bhatt CM. Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2019; 5(4):1839–51.
- [65]. Murray V, Ebi KL. IPCC special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX) [Internet]. BMJ Publishing Group Ltd; 2012. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2012-201045>
- [66]. Beven KJ. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. John Wiley & Sons; 2011.
- [67]. Maghsood FF, Moradi H, Bavani ARM, Panahi M, Berndtsson R, Hashemi H, et al. Climate Change Impact on Flood Frequency and Source Area in Northern Iran under CMIP5 Scenarios. *Water*. 2019; 11(2):273.
- [68]. Runhaar HAC, Uittenbroek CJ, van Rijswijk HFMW, Mees HLP, Driessen PPJ, Gilissen HK. Prepared for climate change? A method for the ex-ante assessment of formal responsibilities for climate adaptation in specific sectors. *Regional Environmental Change*. 2016; 16(5):1389–400.
- [69]. Baldassarre G Di, Montanari A, Lins H, Koutsoyiannis D, Brandimarte L, Blöschl G, et al. Flood fatalities in Africa: from diagnosis to mitigation. *Geophysical Research Letters*. 2010; 37(22):2–6.
- [70]. Motevalli A, Vafakhah M. Flood hazard mapping using synthesis hydraulic and geomorphic properties at watershed scale. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2016; 30(7):1889–900.
- [71]. Kundzewicz ZW, Krysanova V, Dankers R, Hirabayashi Y, Kanae S, Huang S, et al. Differences in flood hazard projections in Europe – their causes and consequences for decision making. *Hydrological Sciences Journal [Internet]*. 2017; 62(1):1–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2016.1241398>
- [72]. Dankers R, Arnell NW, Clark DB, Falloon PD, Fekete BM, Gosling SN, et al. First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014; 111(9):3257–61.
- [73]. Roudier P, Andersson JCM, Donnelly C, Feyen L, Greuell W, Ludwig F. Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a+ 2 C global warming. *Climatic Change*. 2016; 135(2):341–55.
- [74]. Cloke HL, Pappenberger F. Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology [Internet]*. 2009; 375(3–4):613–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005>
- [75]. Kaviani A, Mohammadi M, Gholami L, Rodrigo-Comino J. Assessment of the spatiotemporal effects of land use changes on runoff and nitrate loads in the Talar River. *Water (Switzerland)*. 2018; 10(4).
- [76]. Jahanshahi A, Golshan M, Afzali A. Simulation of the catchments hydrological processes in arid, semi-arid and semi-humid areas. *Desert*. 2017; 22(1):1–10.
- [77]. Maghsood FF, Moradi H, Bavani M, Reza A, Panahi M, Berndtsson R, et al. Climate Change Impact on Flood Frequency and Source Area in Northern Iran under CMIP5 Scenarios. *Water*. 2019; 11(2):273.