

تغییر پاسخ هیدروگراف سیلاب در اثر تغییرات بارش در دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز نمین

رئوف مصطفی‌زاده^{۱*}، زینب پورگنجی^۲، فریبا اسفندیاری درآبادی^۳، مریم آقائی^۴

۱- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و آمایش محیط، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

۳- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: raooftmostafazadeh@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

چکیده

سیلاب یکی از مخاطرات طبیعی است که تحت تاثیر عوامل بسیاری رخ می‌دهد بارش‌های رگباری و شدید در بالادست حوضه یکی از عوامل رخ داد سیلاب است. هدف این پژوهش مطالعه تغییرات میزان بارش و تاثیر مقادیر آن در دوره بازگشت‌های مختلف بر هیدروگراف سیلاب در حوضه نمین از منطقه جنگلی فندقلو در استان اردبیل است. در مطالعه حاضر جهت تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای لندست و نرم‌افزار ENVI 5.3 و Google Earth استفاده شده است. سپس مقادیر بارش طرح در دوره بازگشت‌های مختلف با نرم‌افزار Cumfreq محاسبه و هیدروگراف ساعتی سیلاب با نرم‌افزار 5 Wildcat شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصل ارزیابی تغییرات بارش در منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر بارش در دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر ۲۳/۲۷ و ۴۷/۰۲ میلی‌متر بوده است. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان، میزان رواناب در دوره ۲ ساله به مقدار ۱/۴۳ میلی‌متر و بیش‌ترین میزان در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به مقدار ۷/۴۲ میلی‌متر بوده است. بر اساس نتایج، در بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، میزان اوج دبی هیدروگراف سیلاب برابر ۱۰۰/۰۷ مترمکعب در ثانیه خواهد بود. بر اساس نتایج، افزایش میزان دبی از دوره بازگشت ۲ ساله به ۵ ساله برابر ۲۰/۷۳ متر مکعب در ثانیه است که افزایش ۱۱۱/۵۱ درصدی داشته است. در حالی که، با افزایش بارش از دوره بازگشت ۵۰ به ۱۰۰ ساله، مقدار افزایش دبی برابر ۱۵/۳۸ درصد خواهد بود. نتایج شبیه‌سازی بارش و سیلاب در منطقه نمین در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که میزان تغییر دبی در دوره‌بازگشت‌های پایین بیش‌تر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی

شبیه‌سازی رواناب، واکنش هیدرولوژیک، مدل‌سازی هیدرولوژیک، هیدروگراف سیلاب

مقدمه

مختلف مدیریتی مکانیکی و بیولوژیکی، کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب است. پرداختن به مباحث مرتبط با سیلاب در مقیاس بزرگ و کوچک، نیازمند یک رویکرد یکپارچه در مدل‌سازی حوضه آبخیز است، که در آن محرک‌ها، فرایندها و تأثیرات بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیکی HMS-HEC در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز ليقوان پرداخته‌اند. نتایج مدل‌سازی حاکی از اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد داده‌های پیش‌بینی زمان وقوع و حداکثر میزان سیلاب مشاهداتی با مقادیر مشاهداتی بود، که بیان نمودند نتایج در پیش‌بینی رخداد سیلاب‌های احتمالی قابل اعتماد است. حسینی و همکاران (۱۳۹۴) پژوهشی با عنوان پیش‌بینی سیلاب‌های رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HMS-HEC را انجام دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل HMS-HEC دارای کارایی بالایی در شبیه‌سازی رواناب روزانه طی دوره ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های کم‌تر از ۳۰۰ سال را دارد. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) با هدف مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز کوچک-رودک با استفاده از مدل HMS-HEC به این نتیجه رسیدند که نتایج مدل در حوضه مورد مطالعه از کارایی بالایی برخوردار نیست، زیرا

شبیه‌سازی بارش و دبی یکی از روش‌هایی است که می‌توان نسبت به رفتار هیدرولوژیکی حوضه در برابر رژیم‌های مختلف بارش شناخت پیدا کرد که در نهایت این شناخت صحیح منجر به مدیریت مناسب منابع آب و سیلاب می‌شود. سیلاب از موضوعاتی است که مورد توجه محققان بوده و از مباحث مهم مورد مطالعه بلایای طبیعی در سراسر جهان است. با توجه به اینکه در حوضه‌های آبخیز دسترسی به اطلاعات دقیق جهت مطالعه سیلاب محدود است، از مدل‌های هیدرولوژیکی برای برآورد خصوصیات سیلاب و پیش‌بینی روند تغییرات رواناب استفاده شده است، که در بسیاری از موارد نتایج مناسبی در بر داشته است (Eisenbies et al. 2007, Okeke, 2019). بررسی تغییرات رواناب در حوضه های آبخیز در مکان و زمان دشوار بوده و معمولاً با عدم قطعیت همراه است. علاوه بر این، دقت پیش‌بینی رواناب براساس تجزیه و تحلیل سری های زمانی داده‌های گذشته تا حد زیادی بستگی به کیفیت داده‌های استفاده شده دارد (Mishra et al, 2018). بنابراین، استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل قابلیت تهیه داده‌های مکانی پیوسته، ارائه داده‌های به‌روز از مناطق بالادست و غیرقابل دسترس مانند اطلاعات توپوگرافی، طول جریان، مناطق زهکشی و جهت جریان که از اهمیت بسیاری در فرآیند رخ‌داد سیلاب برخوردارند. هدف اقدامات

اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی بیش از ۲۰ درصد است. مصطفی زاده و همکاران (۱۳۹۶) به استخراج شماره منحنی رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن را با مؤلفه‌های بارش در حوضه آبخیز جعفرآباد در شمال شرق ایران پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که میانگین مقادیر شماره منحنی در فصل‌های تابستان و زمستان حدود ۶۰ و در فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب ۵۰ و ۵۶ است. با برقراری ارتباط بین شماره منحنی با ویژگی‌های بارش در نمودارهای سه متغیره، مقدار زیاد شماره منحنی در بارش‌هایی با شدت بیش از ۱ میلی‌متر در ساعت و بیش از ۴ میلی‌متر برآورد شد. هم‌چنین در رخدادهایی با ضریب رواناب ۸۰-۴۰ درصد، مقدار شماره منحنی برآورد شده بیش از ۷۰ بود. خادمی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی حداکثر سیل محتمل در حوضه آبخیز اسکندری در غرب استان اصفهان با مدل HEC-HMS پرداخته‌اند. به این نتیجه رسیدند که حداکثر بارش محتمل برابر ۲۴۰/۶ میلی‌متر است که این بارش می‌تواند سیلابی با دبی اوج ۳۰۷۹/۵ مترمکعب بر ثانیه و حجم ۱/۱۷۸ میلیون مترمکعب در ایستگاه هیدرومتری اسکندری ایجاد کند. ویگلیون و بلاشل (۲۰۰۹) به بررسی نقش مدت بارش بر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف در اثر بارش پرداختند. ایشان بر اساس مقادیر منحنی شدت-مدت-فرآوانی، مدت و عمق بارش را محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که در تاثیر بارندگی بر سیلاب با دوره‌های بازگشت‌های مختلف، عامل مدت تداوم جریان و زمان پاسخ حوضه تعیین‌کننده‌تر هستند. مورلا توپلز و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی دوره بازگشت سیلاب‌های شهری با استفاده از مدل‌سازی واکنش بارش-رواناب در دانمارک پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که یک رابطه پیچیده بین دوره‌های بازگشت سیل و بارندگی وجود دارد که حاکی از روابط خطی بارش-رواناب است و در مطالعه موردی انجام شده برای تخمین سیل ناکافی است. و شناسایی مناطق مستعد سیل می‌تواند برای درک بهتر دینامیک سیل سطحی بسیار کمک کند و رابطه افزایشی بین شدت بارندگی و مقدار سیل همیشه قابل اجرا نیست و به پیچیدگی سیستم زهکشی شهری بستگی دارد. علاوه بر این، انتخاب مناسب بارندگی و دینامیک زمانی بارندگی به‌طور گسترده به‌عنوان یک عنصر کلیدی اشاره شده است. لاواچریا و همکاران (۲۰۱۹) به مدل‌سازی تاثیر بارندگی طراحی بر سیستم زهکشی شهری با استفاده از مدل (SWMM) در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال در شمال شرقی الجزایر پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که SWMM به خوبی برای حوضه‌های آبریز شهری مناسب است و می‌تواند مدل‌سازی هیدرولوژیکی را برای دوره‌های مختلف بارندگی و دوره بازگشت‌های مختلف انجام دهد. مقایسه نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیکی در شرایط بارندگی طرح نشان داد که روش مثلث دوتایی با مدت زمان کوتاه و دوره بازگشت متفاوت باعث افزایش پیک جریان و کاهش حجم کل می‌شود. به‌طور خاص، رویدادهای بارندگی شدید ناشی از تغییرات آب و هوایی بر عملکرد جریان سیلاب تاثیر می‌گذارد. پای و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی خطر سیل با توجه به مؤلفه‌های دینامیک بارندگی، کاربری اراضی و تغییرات آن در حوضه رودخانه شهری در آکرا، غنا پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده تاثیر بالقوه شدت بارندگی و مدت زمان برای دوره بازگشت مختلف بر اوج رواناب و دبی است. در طول سال‌های مورد بررسی، اراضی پوشش گیاهی، به‌ویژه سطح جنگلی به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و مناطق شهری گسترده شده‌اند.

دبی اوج برای تمام شدت‌های بارندگی و دوره‌های بازگشت در طول دوره در نظر گرفته افزایش یافته است. این مطالعه نشان داده که شدت بارندگی بالا، افزایش مساحت سکونتگاه‌های شهری و دوره‌های بازگشت طولانی باعث افزایش رواناب و سرعت جریان می‌شود. برینل و همکاران (۲۰۲۱) با مطالعه چگونگی مکانیسم‌های بارش و ویژگی‌های حوضه آبریز در کشور اتریش و ارتباط احتمالاتی بین بارش و سیلاب پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که شدت بارش در حوضه‌هایی که تحت تاثیر بارندگی همرفتی است نسبت به حوضه‌های کوهستانی که بارندگی سالانه بیش‌تری دارد و مکانیسم‌های بارش که عمدتاً اوروگرافیک است، متغیرتر هستند. در حوضه‌های خشک منحنی‌های فراوانی سیلاب دارای اوج بالاتری نسبت به بارش هستند و با افزایش دوره بازگشت، میزان هیدروگراف رواناب هم افزایشی می‌شود. ژنگ‌ژو و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه نقش تغییرات مکانی-زمانی بارش، و برهم‌کنش‌های پیچیده آن با ویژگی‌های سطح زمین بر سیلاب در حوضه‌های شهری کوچک ایالت مرلیند، ایالات متحده پرداختند. ایشان از چارچوب تحلیل فراوانی سیل که مبتنی بر تغییرات اوج‌های تصادفی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی بود استفاده نمودند. نتایج حاکی از پیچیدگی واکنش سیلاب در چندین زیرحوضه با دوره‌های بازگشت بارندگی کوتاه (کم‌تر از ۵۰ سال) و طولانی (بیش‌تر از ۱۰۰ سال) بود. با افزایش دوره بازگشت بارندگی، تأثیر منطقه غیرقابل نفوذ بر تولید سیلاب کاهش می‌یابد. حداکثر دبی ارتباط نزدیکی با پراکنش مکانی بارش، به‌ویژه گستردگی مکانی اوج جریان سیلاب دارد. ناهمگونی مکانی بارندگی، بزرگی اوج سیل را به‌طور متوسط به‌میزان ۵۰ درصد در خروجی حوضه و زیرحوضه‌های آن در دوره‌های بازگشت کوچک و بزرگ افزایش می‌دهد. اوسی و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه و تخمین دوره بازگشت حداکثر بارندگی و سیل در حوضه آبریز رودخانه پرا، در کشور غنا واقع در غرب آفریقا با استفاده از توزیع مقادیر حدی گامبل پرداخته‌اند. نتایج حاکی از افزایش مقادیر حداکثر بارندگی، و تعداد روزهای متوالی خشک و مرطوب بوده است. علاوه بر این، حجم سیل‌هایی با دوره بازگشت پایین‌تر افزایشی معادل ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ در دوره بازگشت‌های پایین ۱ تا ۲ ساله داشته‌اند. شهرستان نمین یکی از مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل در استان اردبیل است و از نظر هیدرولوژیکی حوزه‌ای است با پاسخ هیدرولوژیک سریع، که برای تحقیق حاضر انتخاب شده است در این راستا، هدف تحقیق حاضر، شبیه‌سازی تاثیر بارش با مقادیر و دوره بازگشت‌های مختلف بر مؤلفه‌های هیدروگراف ساعتی سیلاب است. نتایج می‌تواند در تحلیل سیلاب ناشی از بارندگی‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

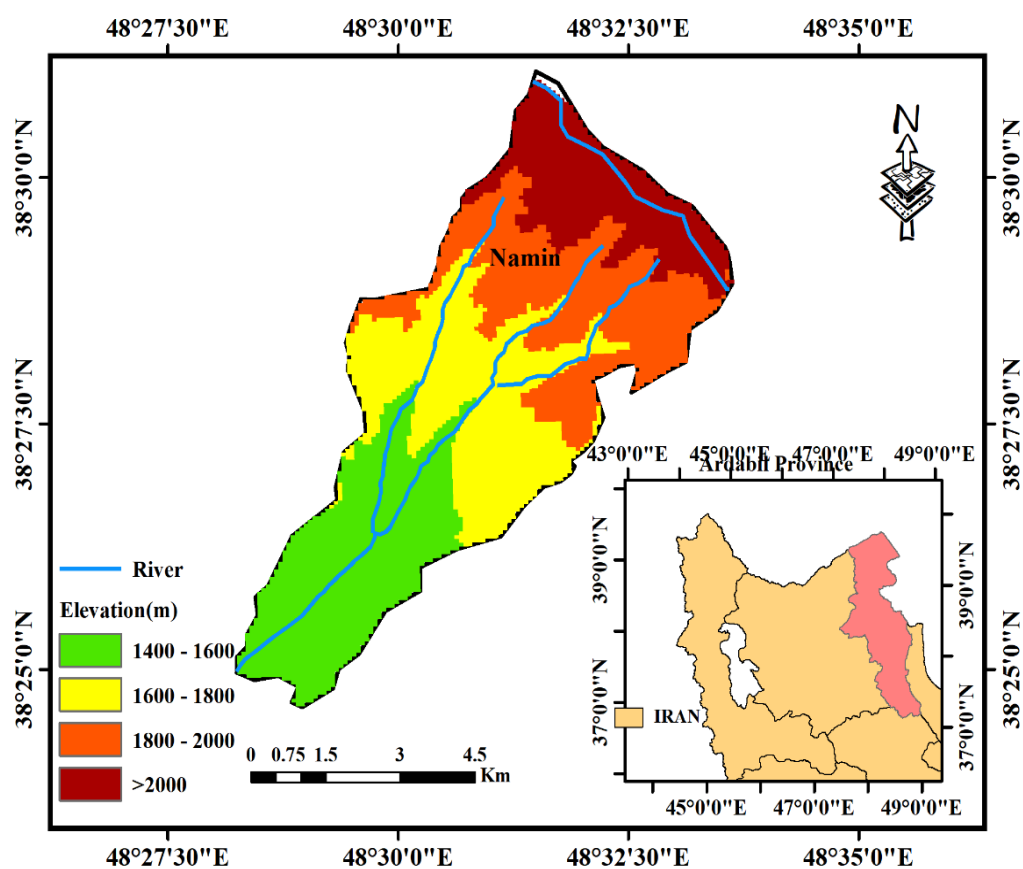
مواد و روش پژوهش

معرفی محدوده مورد مطالعه

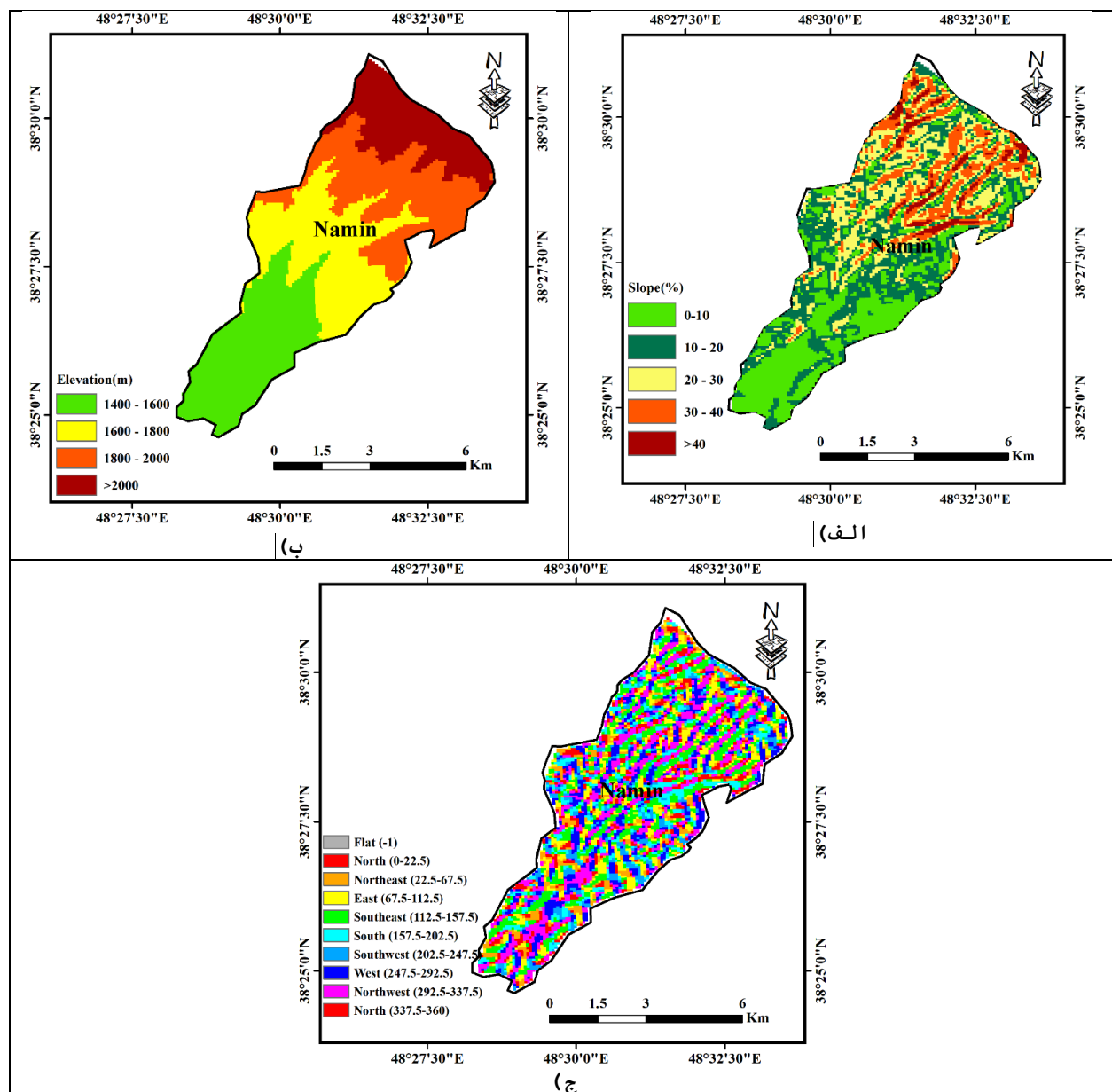
شهرستان نمین یکی از شهرستان‌های استان اردبیل بوده و با آستارا، اردبیل و جمهوری آذربایجان همجوار است (شکل ۱). این شهرستان از ۹ بخش و ۱۰ دهستان تشکیل شده است، نمین در شمال شرق استان و در حاشیه غربی دریای خزر با وسعت ۱۱/۰۶ کیلومتر مربع قرار دارد. آب و هوای نمین معتدل بوده و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌ها خنک، که متأثر از دریای خزر و آب و هوای کوهستانی سبلان است (جوان و همکاران، ۱۳۹۸). منطقه جنگلی نمین در محدوده مختصات جغرافیایی ۲۶° ۳۸' و ۱۲° ۳۸' عرض شمالی و طول شرقی واقع است.

رستمی کیا و شریفی، ۱۳۹۷). در سال‌های اخیر تبدیل کاربری جنگلی و مرتعی به زراعت، چرای دام، آتش‌سوزی عمدی و قطع درختان (برای زغال‌گیری و استفاده هیزمی) از عامل‌های تأثیرگذار در تخریب و از بین رفتن این منابع با ارزش بوده است (رستمی کیا و شریفی، ۱۳۹۷). در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل نشان داده شده است و در شکل ۲، نقشه شیب، جهت و مدل رقومی ارتفاع نشان داده شده است.

نمین منطقه‌ای است کوهستانی و ریزش برف از اوایل آذر ماه و بعضی از سال‌ها در آبان ماه نیز برف می‌بارد، در بعضی سال‌ها دما به ۲۷ درجه زیر صفر هم می‌رسد. از اوایل فروردین ماه هوا به تدریج گرم شده و به علت عدم وجود کوه‌های مرتفع در منطقه نمین، برف زمستانی تا پایان اردیبهشت ماه کامل ذوب می‌شود (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۸). این منطقه دارای کاربری‌های مرتع، جنگل، کشاورزی، بایر و مسکونی است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۴). بارش سالانه در این منطقه بین ۳۱۲/۵ تا ۵۰۹ میلی‌متر در نوسان است. این منطقه شدیداً تحت تأثیر اقلیم خزری قرار دارد و نفوذ جریان‌های خزری باعث مه و بارندگی می‌شود، هم‌چنین اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب و سرد است. جنگل‌های این منطقه از نظر موقعیت مکانی، شرایط اقلیمی و رویشگاهی، یک جنگل گذر (اکوتون) از جنگل‌های هیرکانی به جنگل‌های ارسباران محسوب می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه نمین در استان اردبیل



شکل ۲- الف) نقشه شیب (ب) مدل رقومی ارتفاعی، ج) جهت جغرافیایی منطقه نمین

روش تحقیق

در این مطالعه برای تهیه نقشه کاربری اراضی در حوضه نمین منطقه فندقلو اردبیل از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۰ استفاده شد که از سایت زمین‌شناسی آمریکا دانلود شد. برای پیش‌پردازش و طبقه‌بندی تصویر منطقه از نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. همچنین برای افزایش دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی و نیز تهیه نمونه‌های تعلیمی از تصاویر Google Earth استفاده شده است و در ادامه از نرم‌افزار ArcGIS برای نمایش نقشه کاربری اراضی بهره گرفته شده است.

پیش‌پردازش تصویر

قبل از استخراج نقشه کاربری اراضی و طبقه‌بندی، تصاویر باید پیش‌پردازش شوند. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای لندست به صورت

تصحیح هندسی شده در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، چند نقطه کنترل از ۴ تصویر انتخاب شد و دقت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که دقت در حد قابل قبول بود. به این منظور، در نرم‌افزار ENVI 5.3 باندهای سبز، آبی و قرمز ترکیب شدند و سپس به دلیل وجود خطاها، اثرات پخش و جذب اتم‌سفر در سطح تصویر تصحیحات رادیومتریک، هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۶). خروجی تصحیح رادیومتریک، تصاویر رادیانس است که با دستور Radiometric Calibration صورت گرفت سپس تصحیح اتمسفری به روش FLAASH بر روی تصویر انجام شد. روش FLAASH از مهم‌ترین و اولین ابزارهای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای است (آقایی و همکاران، ۱۳۹۸)، که طول موج‌هایی از

شده دارای دقت بالا به میزان ۹۸ در صد بودند. تصویر و نقشه کاربری اراضی برای را به محیط ArcGIS انتقال داده و در آنجا به محاسبه میزان مساحت هر کاربری پرداخته شده است. با توجه به هدف تحقیق که بررسی واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبخیزنمین به تغییرات میزان بارش در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ با استفاده از مدل هیدرولوژیکی Wildcat5 است به بررسی تاثیرات تغییر مقادیر بارش در دوره بازگشت‌های مورد نظر در هیدروگراف سیلاب درحوضه نمین پرداخته شده است.

مدل‌سازی هیدروگراف سیلاب

مدل Wildcat5 بر مبنای مدل SCS است که مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب است. ورودی‌های مورد نیاز مدل شامل موارد زیر است. ابتدا، مشخصات بارش برای هر سال با دوره بازگشت‌های مختلف (متوسط میزان بارندگی و توزیع بارش) تعیین خواهد شد. در ادامه، پارامترهای مربوط به خاک و پوشش سطحی انواع کاربری‌های حوضه برای محاسبه بارش مازاد (رواناب حوضه) مشخص خواهد شد. برای این محاسبه از اختصاص شماره منحنی^۱ (CN) با توجه به نوع پوشش هر کاربری استفاده شد. سپس، پارامترهای زمانی برای تعریف زمان عبور جریان از بالادست به محل خروجی آبخیز محاسبه و وارد مدل شدند. روش مناسب برای تبدیل بارش به بارش موثر و نیز تبدیل بارش موثر به هیدروگراف واحد بر اساس روش شماره منحنی انتخاب شدند. در این بخش عواملی مانند مقدار طول رودخانه اصلی حوضه و مقدار متوسط شیب حوضه محاسبه شدند. در ادامه مساحت هر کاربری کاربری اراضی مشخص و در بخش مذکور به همراه شماره منحنی وارد مدل شدند. در نهایت مقدار زمان تمرکز حوضه محاسبه شد. با توجه به ورودی‌های مورد نیاز، ابتدا مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در طول دوره‌های آماری موجود از ایستگاه باران‌سنجی نمین استخراج شد. جهت برآورد میزان بارش در دوره بازگشت‌های مختلف از نرم‌افزار Cumfreq بهره گرفته شد. جدول (۱) مقادیر بارش محاسبه شده در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بر اساس ایستگاه باران‌سنجی نمین و مدل Cumfreq ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر بارش محاسبه شده در دوره بازگشت‌های مختلف در نرم‌افزار Cumfreq

دوره بازگشت	بارش (میلی‌متر)
۲	۲۳/۲۷
۵	۳۱/۱۲
۱۵	۳۷/۹۳
۲۵	۴۰/۶۳
۵۰	۴۳/۹۶
۱۰۰	۴۷/۰۲

شدند در بخش تعیین شماره‌منحنی، با توجه به نوع کاربری اراضی و نوع خاک مقادیر تعیین شدند. شماره منحنی‌های بیانگر پتانسیل رواناب حوزه است و مقادیر شماره منحنی از نقشه کاربری اراضی و گروه‌های

محدوده مرئی تا ۳ میکرومتر را در برمی‌گیرد تا تصاویر آماده طبقه‌بندی شود. (Siregar et al. 2018). آقایی و همکاران، (۱۳۹۸) پس از انجام تصحیحات لازم، مرز منطقه را با تصاویر FLAASH برش زده و اقدام به تهیه نمونه آموزشی جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی در محیط ENVI5.3 از کلاس‌های کاربری اراضی با کمک شناخت بصری از منطقه، گوگل‌ارت، نقشه کمکی شیب، مدل رقومی ۱۲/۵ متر منطقه، نقشه‌های طبقه‌بندی موجود و تصاویر ماهواره‌ای شد. نمونه‌های تعلیمی از کاربری‌های اراضی کاربری جنگل، کاربری زمین‌های بایر، کاربری کشاورزی (آبی)، کاربری مرتع، کاربری مسکونی صورت گرفت. سپس طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر انجام شد.

پردازش و طبقه‌بندی تصویر

برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از دستور حداقل فاصله از میانگین و ماشین بردار پشتیبان استفاده شده که یک طبقه‌بندی باینری است (خاوریان و همکاران، ۱۳۹۸). از بین روش‌های مورد استفاده، روش ماشین بردار پشتیبان بیش‌ترین میزان دقت را داشت و همچنین برای افزایش دقت طبقه‌بندی از نقشه شیب منطقه که با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی که توسط سامانه تصویر تهیه شده بود استفاده شد. قابل ذکر است که نقشه شیب با نوارهای چندطیفی برای طبقه‌بندی کاربری‌های زمین به‌صورت (Layer stack) انجام شد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۸). ترکیب باندهای حرارتی و مولتی به باندهای دیگر تصاویر انجام شد و در ادامه از تمام این باندها یک خروجی جامع تهیه شد و با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان به دلیل دارا بودن دقت بالا طبقه‌بندی صورت گرفت.

پس‌پردازش و صحت‌سنجی تصویر طبقه‌بندی شده

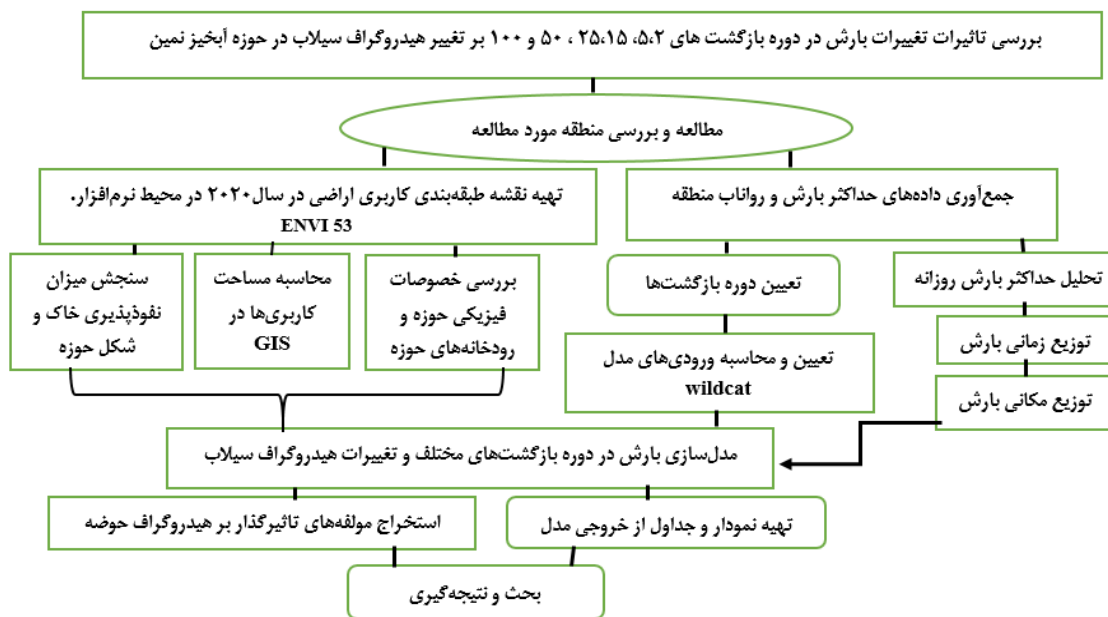
بعد از طبقه‌بندی کاربری اراضی، صحت طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت، برای این کار نمونه‌های آزمایشی از کاربری‌های اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه برداشت شد و صحت کلی و ضرایب کاپای طبقه‌بندی‌های کاربری اراضی محاسبه شد. تمامی تصاویر طبقه‌بندی

مقادیر زمان تمرکز به کمک محاسبه طول رودخانه اصلی حوضه و شیب متوسط حوضه به‌دست آمد. میزان مساحت هر کاربری اراضی در دوره مورد مطالعه به‌طور جداگانه در محیط ArcGIS محاسبه و وارد مدل

^۱ Curve Number S 0.05

ادامه در روش تبدیل بارش مازاد به هیدروگراف جریان سطحی، هیدروگراف واحد بدون بعد SCS انتخاب شد. تمام مراحل بالا برای تمام دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله اجرا شده و نتایج به‌صورت نمودار و جداول در بخش یافته‌ها ارائه شده است. در شکل (۳) روند اجرای تحقیق شرح داده شده است.

هیدرولوژیک خاک استخراج خواهد شد (Wanielista, 1997). USDA, 1986 میرزایی و همکاران، ۱۳۹۶). از روش CN برای محاسبه بارش مازاد استفاده شد. برای تبدیل بارش به رواناب از روش SCS و از روش Kents equation با استفاده از مقادیر شیب متوسط حوضه و طول رودخانه اصلی، میزان زمان تمرکز حوضه محاسبه شد (خسروشاهی و همکاران، ۱۳۸۴، مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹) و در

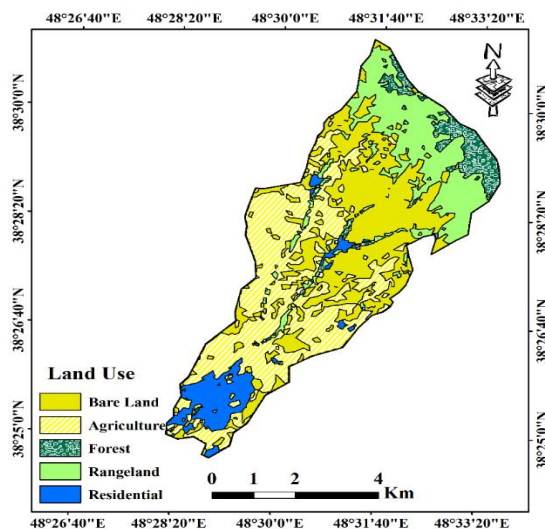


شکل ۳- مراحل انجام تحقیق

در شکل (۴) نقشه کاربری اراضی منطقه نمین در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است. بر اساس نقشه کاربری اراضی، گسترش اراضی مرتع و جنگلی در مناطق شمالی و شمال شرقی، در مناطق مرکزی و شرقی بیش‌تر اراضی بایر و بخش‌های غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی اراضی کشاورزی توسعه یافته است. مناطق مسکونی بیش‌تر در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه نمین واقع شده است.

یافته‌ها و بحث

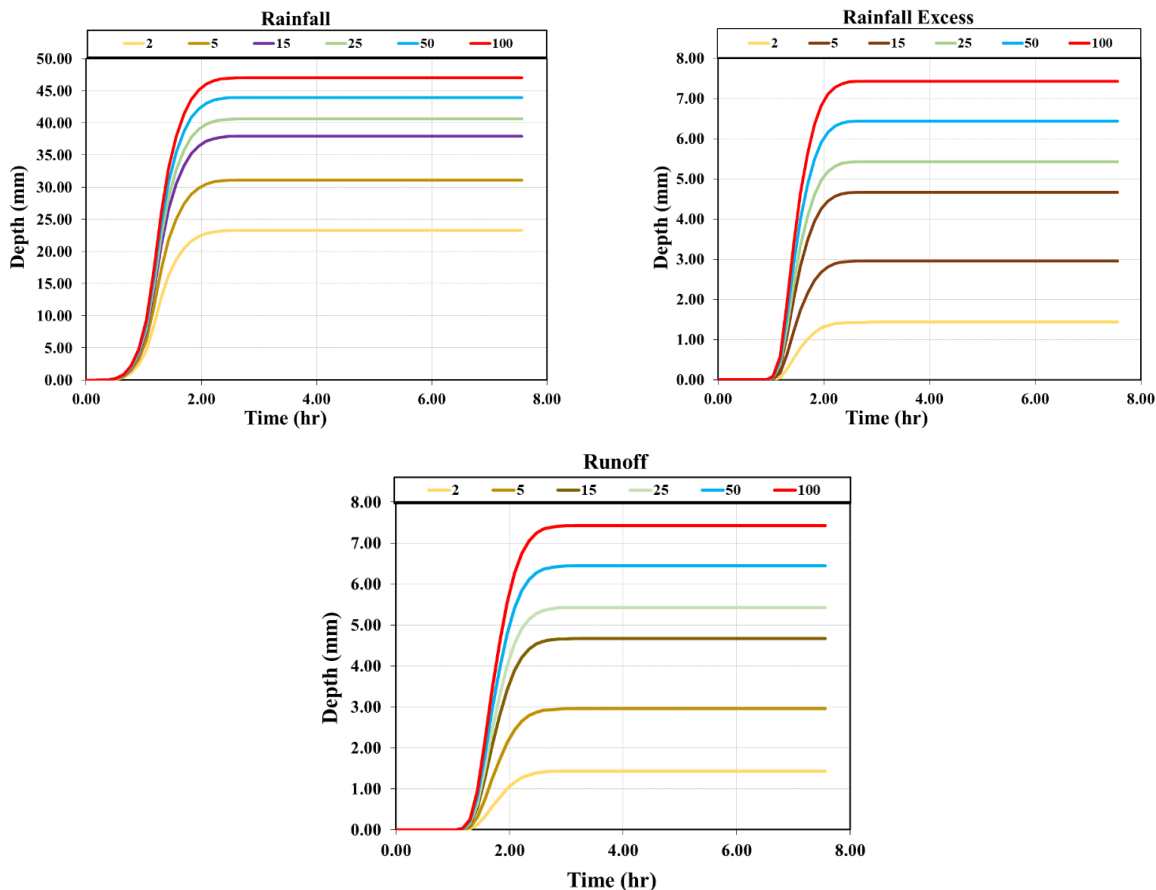
با تهیه نقشه‌های مدل رقمی ارتفاعی و شیب و جهت شیب حوضه در شکل (۲) مشاهده می‌شود که بیش‌ترین میزان ارتفاع و شیب حوضه در بخش‌های شمال و شمال شرقی منطقه است. شیب متوسط منطقه ۱۵ درصد است مرتفع‌ترین نقطه در بخش شمالی منطقه با ارتفاع ۲۰۶۰ متر و پست‌ترین با ارتفاع ۱۴۰۰ متر در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی منطقه نمین در سال ۲۰۲۰

۱/۵۰ میلی‌متر بوده که در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به ۷/۵۰ میلی‌متر رسیده است.

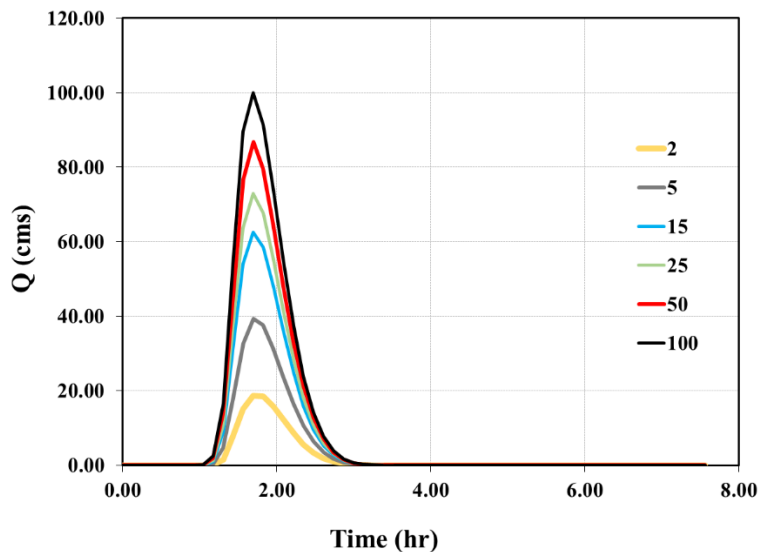
میزان بارش در دوره بازگشت ۲ ساله حدود ۲۳ میلی‌متر بوده است که در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به میزان ۴۸ میلی‌متر افزایش داشته است. بر اساس شکل (۵) بارش مازاد هم در دوره بازگشت ۲ ساله میزان بارش مازاد



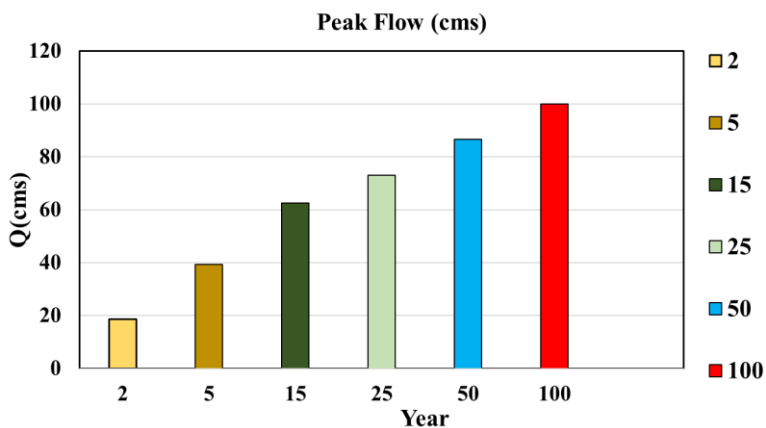
شکل ۵ - هیدروگراف تغییرات بارش، بارش مازاد و رواناب سطحی سال ۲۰۲۰ در دوره بازگشت‌های مختلف

دبی در دوره بازگشت ۲ ساله کم‌تر از ۲۰ متر مکعب در ثانیه که در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به حدود ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد.

میزان تغییرات دبی اوج هیدروگراف سیل در شکل (۶) در دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه نمین را نشان داده شده است. مقادیر



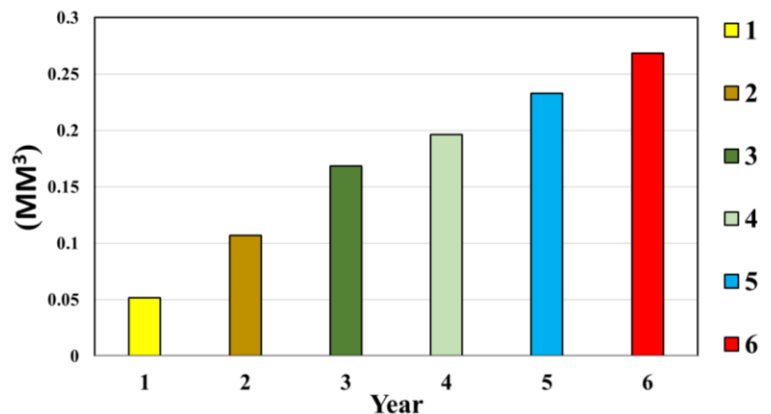
شکل ۶- مقادیر اوج هیدروگراف سیل در منطقه نمین (سال ۲۰۲۰) با بارش دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله (۷) نشان‌دهنده تغییرات دبی در دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله در منطقه مورد مطالعه نمین است که دبی یک روند افزایشی از دوره بازگشت ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله را طی کرده است.



شکل (۷) مقادیر دبی اوج به ازای دوره بازگشت‌های مختلف بارش

و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به $۰/۲۶۸۴۲۰۷۲$ میلیون مترمکعب بر ثانیه رسیده است.

میزان تغییرات حجم سیلاب در شکل (۸) را در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در حوضه آبخیز نمین نشان داده شده است. میزان رواناب در دوره بازگشت ۲ ساله $۰/۰۵$ مترمکعب بر ثانیه بوده است



شکل (۸) تغییرات حجم سیلاب برحسب میلیون مترمکعب در بارش با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در منطقه نمین

جدول ۲- مقادیر اوج دبی، حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف در سال ۲۰۲۰ در منطقه نمین

دوره بازگشت	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیلاب (میلیون مترمکعب)	شماره منحنی موثر
۲	۱۸/۵۹	۰/۰۵۱۷۳۰۶۷	۷۹/۷۲
۵	۳۹/۳۲	۰/۱۰۶۷۱۷۱۳	۷۷/۴۴
۱۵	۶۲/۶۱	۰/۱۶۸۵۷۶۸۹	۷۵/۹۳
۲۵	۷۳/۰۰	۰/۱۹۶۰۷۰۱۲	۷۵/۴۲
۵۰	۸۶/۷۳	۰/۲۳۲۶۰۷۱۷	۷۴/۸۳
۱۰۰	۱۰۰/۰۷	۰/۲۶۸۴۲۰۷۲	۷۴/۳۴

۲ ساله ۷۹/۷۲ بوده در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به میزان ۷۴/۳۴ کاهش یافته است. مقدار زمان تا اوج در تمام دوره‌های بازگشت ۱/۶۹ ساعت بوده است و همچنین میزان جذب اولیه بارش هم در تمام دوره بازگشت‌ها برابر ۹/۴۵ میلی‌متر است. میزان تغییرات دبی به ازای تغییر در دوره بازگشت‌های مختلف بارش در جدول (۳) ارائه شده است.

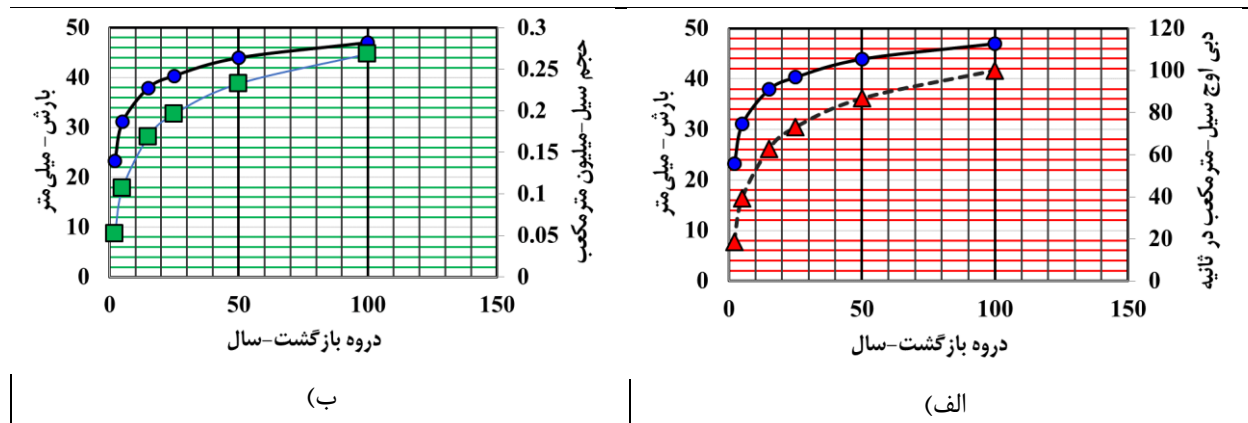
مقادیر دبی اوج و حجم رواناب را در سال ۲۰۲۰ در دوره بازگشت‌های مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است که میزان افزایش دبی اوج و حجم رواناب در منطقه نمین با افزایش دوره بازگشت بارش را نشان می‌دهد. همچنین مقدار CN موثر در میزان رواناب هم در دوره بازگشت

جدول ۳- میزان تغییرات دبی به ازای تغییر در دوره بازگشت‌های مختلف بارش

دوره بازگشت‌ها	میزان تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	درصد تغییرات
۲-۵	۲۰/۷۳	۱۱۱/۵۱
۵-۱۵	۲۳/۲۹	۵۹/۲۳
۱۵-۲۵	۱۰/۳۹	۱۶/۵۹
۲۵-۵۰	۱۳/۷۳	۱۸/۸۱
۵۰-۱۰۰	۱۳/۳۳	۱۵/۳۸

که با افزایش بارش از دوره بازگشت ۵۰ به ۱۰۰ ساله، مقدار افزایش دبی برابر ۱۵/۳۸ درصد بوده است. میزان دبی اوج سیل و حجم سیلاب به ازای افزایش دوره بازگشت بارش در شکل ۹ نشان داده شده است.

میزان تغییرات دبی در جدول (۳) نشان می‌دهد که افزایش میزان دبی از دوره بازگشت ۲ ساله به ۵ ساله برابر ۲۰/۷۳ متر مکعب در ثانیه است که افزایش ۱۱۱/۵۱ درصدی داشته است. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد



شکل ۹- تغییرات دبی اوج سیل (الف) و حجم سیلاب (ب) به ازای دوره بازگشت‌های مختلف بارش در حوزه نمین

بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۹، نکته حایز اهمیت در این تحقیق این است که درصد افزایش میزان دبی با افزایش دوره بازگشت بارش، در دوره بازگشت‌های کم‌تر بیش‌تر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی نقش تغییرات بارش بر هیدروگراف ساعتی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته شد. در این راستا با استفاده از مدل Wildcat5 شبیه‌سازی بارش و رواناب در سال ۲۰۲۰ در منطقه نمین صورت گرفته است. با توجه به شبیه‌سازی‌های صورت گرفته برای بارش و رواناب حداکثری حوضه نمین در دوره بازگشت‌های مختلف، مشاهده شد که با افزایش میزان بارش از دوره بازگشت ۲ ساله به ۱۰۰ ساله، مقادیر رواناب و شدت جریان‌های حداکثر افزایش خواهد یافت. نکته قابل توجه میزان تغییرات با افزایش دوره بازگشت است. در مجموع نتایج نشان داد که شدت افزایش میزان دبی در دوره بازگشت‌های پایین‌تر بیش‌تر از دوره بازگشت‌های بالاتر از ۵۰ سال خواهد بود. نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده از تحقیقات مشابه چون مزیدی و کوشکی (۱۳۹۲) که به شبیه‌سازی بارش-رواناب و تخمین سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد با مدل HEC-HMS پرداخته‌اند که نتایج به دست آمده از اجرای مدل در این مرحله در دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب منجر به وقوع دبی‌های سیلاب با میزان ۷۶۲، ۱۴۴۲، ۱۹۹۵ و ۲۲۴۸ مترمکعب بر ثانیه شده است. هم‌چنین خادمی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی حداکثر سیل محتمل در حوضه آبخیز اسکندری با مدل HEC-HMS به این

نتیجه رسیدند که با افزایش طول دوره بازگشت‌ها، میزان بارش و میزان رواناب هم در منطقه اسکندری افزایش می‌یابد و احتمال رخداد سیلاب را افزایش می‌دهد. نتایج برخی از مدل‌سازی‌های اقلیمی نشان می‌دهد که شدت بارندگی در اثر تغییرات اقلیمی افزایش پیدا خواهد نمود که حاکی از افزایش شدت وقایع سیلابی خواهد بود که نیاز به مطالعه اثرات تشدید بارش را نشان خواهد داد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش بارش، میزان دبی هم افزایش می‌یابد پس در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در منطقه نمین با میزان بارش شبیه‌سازی شده ۴۷/۰۲ میلی‌متر با اوج دبی ۱۰۰/۰۷ مترمکعب بر ثانیه همراه است و می‌تواند یک سیلاب با حجم ۲۶۸۴۲۰/۷۲ مترمکعب ایجاد کند. در ادامه می‌توان نتیجه گرفت که وقوع سیلاب‌های شدید ناشی از بارش‌های سنگین می‌تواند به افزایش تعداد و شدت سیل و آبگرفتگی در حوضه منجر شود. بر این اساس به‌کارگیری تمهیداتی جهت تطبیق با اثرات مرتبط با سیلاب ناشی از پدیده تغییر اقلیم در حوضه مورد مطالعه اهمیت دارد. در این راستا برنامه‌ریزی جهت مدیریت رواناب و لحاظ نمودن ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی در کنار جنبه‌های فنی و هیدرولیکی به‌منظور حصول یک دیدگاه جامع جهت سازگاری با پدیده تغییر اقلیم و اثرات هیدرولوژیکی ناشی از آن ضروری به‌نظر می‌رسد.

منابع

- آقائی، م؛ ح. خاوریان و ر. مصطفی‌زاده. ۱۳۹۹. پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکوف و LCM در آبخیز کوزه‌تپراقی استان اردبیل. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۳(۳): ۱۰۷-۹۱.
- ایمانی، ر؛ د. حسن آبادی و ر. برنا. ۱۳۹۹. تبیین مدل‌سازی و قابلیت تفرج شهرستان نمین (مطالعه موردی تفرجگاه فندقلو). جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه ای، ۳۹(۳): ۳۸۹-۴۰۳.

- جوان، ف؛ ح. حسنی مقدم و ح. ترابی. ۱۳۹۹. ارزیابی روند تخریب اراضی جنگلی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (مورد مطالعه: جنگل های فندقلو شهرستان نمین). محیط زیست و توسعه فرابخشی، ۵(۶۹): ۴۱-۶۹.
- حسینی، م؛ م. جعفریگلو، م. یمانی و ف. گراوند. پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴(۱): ۱۱۸-۱۳۳.
- حسین‌زاده، م و س. ایمنی. ۱۳۹۵. مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز کوچک-رودک با استفاده از مدل HEC-HMS پژوهش‌های دانش زمین، ۷(۲۵): ۳۱-۴۳.
- خاوریان، ح؛ م. آقایی و ر. مصطفی زاده. ۱۳۹۹. پیش‌بینی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر جریان ماهانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و داده‌های سنجش از دور در حوضه آبریز کوزه تهرانی اردبیل. هیدروژئومورفولوژی، ۶(۲۴): ۳۹-۱۹.
- خادمی، م؛ س. سلطانی گردفرامری و م. قاسمی. ۱۳۹۷. تعیین دوره بازگشت حداکثر سیل محتمل با استفاده از مدل HEC-HMS و روش‌های آماری در حوزه آبخیز اسکندری. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲(۴۰): ۱۲۹-۱۳۴.
- خسروشاهی، م و ب. ثقفیان. ۱۳۸۴. اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل خیز راهکاری برای عملیات اجرایی مهار و کنترل سیل در حوضه‌های آبخیز. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۲): ۱۲۸-۱۳۸.
- رستمی کیا، ی و م. تیموری. ۱۳۹۸. تأثیر فرم زمین و ویژگی‌های خاک بر صفات رویشی سیاه گیله در جنگل‌های فندقلوی اردبیل (مطالعه‌ی موردی: جنگل سوها). مجله جنگل ایران، ۱۱(۱): ۱۱۹-۱۳۳.
- رستمی کیا، ی و ج. شریفی. ۱۳۹۷. فندقلو، بزرگترین ذخیره‌گاه جنگلی فندقی ایران را دریابید. طبیعت ایران، ۳(۶): ۹۹-۹۰.
- رحیم‌زاده، ز؛ م. حبیبی. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با مدل هیدرولوژیک HEC-HMS پیش‌بینی دوره بازگشت در حوضه روانسر کرمانشاه. جغرافیا و توسعه، ۱۶(۵۳): ۱۹۴-۱۷۵.
- فاطمی، ب و ی. رضایی. ۱۳۹۶. اصول سنجش از دور، چاپ پنجم. انتشارات آزاده، تهران.
- کریمی، م؛ م. عزیزیان و گ. غفاری. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS مطالعه موردی: حوزه آبخیز ليقوان. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران.
- مصطفی‌زاده، ر؛ ش. میرزایی و پ. ندیری. ۱۳۹۶. تعیین شماره منحنی از رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن با مؤلفه‌های بارش در یک حوضه آبخیز جنگلی. علوم آب و خاک، ۲۱(۴): ۲۸-۱۵.
- میرزایی، ش؛ ا. اسمعیلی، ر. مصطفی‌زاده، ا. قربانی، س. میرزایی. ۱۳۹۶. مدل‌سازی جریان و تعیین سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در هیدروگراف سیل در حوزه آبخیز عموقین، استان اردبیل. مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۸): ۱۰۸-۸۹.
- مزیدی، ا و س. کوشکی. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی بارش-رواناب و تخمین سیل در حوضه‌ی آبریز خرم‌آباد با مدل HEC-HMS. جغرافیا و توسعه، ۱۳(۴۱): ۱-۱۰.
- ناصری، د؛ م. علیخواه اصل، ش. هدایت و ا. فتحی. ۱۳۹۴. بررسی قابلیت شاخص NDVI در تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه فندقلو نمین. دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل، ایران.
- Osei, M., L, Amekudzi., Y, Omari-Sasu., E, Yamba., E, Quansah., J, Aryee., and K, Preko. 2021. Estimation of the return periods of maxima rainfall and floods at the Pra River Catchment, Ghana, West Africa using the Gumbel extreme value theory. Heliyon. 7. 6980.
- Breinl, K., D, Lun., H, Müller-Thomy, and G, Blöschl. 2021. Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity-duration-frequency analysis. Journal of Hydrology, 602.
- Eisenbies, M.H, Aust W.M, Burger J.A, Adams, M.B. 2007. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians-A review; Forest Ecology and Management, 242: 77-98 Review.
- Zhou, Z., J, Smith., M. L, Baeck., D. B, Wright., B. K, Smith, and S, Liu. 2021. The impact of the spatiotemporal structure of rainfall on flood frequency over a small urban watershed: An approach coupling stochastic storm transposition and hydrologic modeling. Hydrology and Earth System Sciences, 25(9), 4701-4717.
- Laouacheria, F., S, Kechida., and M, Chabi. 2019. Modelling the impact of design rainfall on the urban drainage system by Storm Water Management Model. Journal of Water and Land Development, 40, 119-125.
- Mishra, S., C, Saravanan., V.K, Dwivedi, and J.P, Shukla. 2018. Development of hydrologic process framework for rainfall-runoff modeling in the river, Brahmaputra basin: Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS), 47(12), 2369-2381.

- Mostafazadeh, R., A, Sadoddin, A, Bahremand, V.B, Sheikh, and A, Zare Garizi. 2017. Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision-making technique in Northeast Iran. *Natural Hazards*, 87(3): 1827-1846.
- Murla Tuyls, D., S Thorndahl, and M.R, Rasmussen. 2018. Return period assessment of urban pluvial floods through modelling of rainfall–flood response. *Journal of Hydroinformatics*, 20 (4): 829–845.
- Okeke O.A, O. 2019. Changing land use and land cover impact on runoff characteristics of an upstream reach in Ala river watershed. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 8(6): 80-86.
- Pabi, O., S, Egyir, and E, Attua. 2021. Flood hazard response to scenarios of rainfall dynamics and land use and land cover change in an urbanized river basin, Accra, Ghana. *City and Environment Interactions*, 8. 996
- Siregar, V.; N, Wantona., S, Agus, and T, Subarno. 2018. The effect of atmospheric correction on object based image classification using SPOT-7 imagery: a case study in the Harapan and Kelapa Islands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 176(1).
- USDA, Natural Resources Conservation Service. 1986. Urban hydrology for small watersheds. Technical Release, 55-164.
- Viglione ,A, and G. Bloschl.2009. On the role of storm duration in the mapping of rainfall to flood return periods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 205–216.
- Wanielista, M.P. 1997. *Hydrology Water Quantity and Water Quality Control*. University of Central Florida.

Change in flood hydrograph response due to variable rainfall amount during different return periods in Namin watershed

Raof Mostafazadeh¹, Zeinab Pourganji², Fariba Esfandyari Darabad³, and Maryam Aghaie⁴

*1 - Associate Professor, Department of Natural Resources and Member of Water Management Institute, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2 - M.Sc Student of Geomorphology-Environmental Management, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

3 - Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, , University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4 - M.Sc. Remote Sensing and GIS, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*Email Address: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Flood as a natural hazards occurs under the influence of many factors. Heavy rainfall in the upstream basin is one of the causes of floods. Rainfall and discharge simulation is one of the methods that can be used to understand the hydrological behavior of the watershed against different rainfall regimes, which ultimately leads to proper management of water resources and floods. Floods are one of the topics of interest to researchers and one of the most important topics studied in natural disasters around the world. Due to the fact that access to accurate information for flood study is limited in watersheds, hydrological models have been used to estimate flood characteristics and predict the trend of runoff changes, which in many cases has yielded good results. Namin city is one of the flood vulnerable areas in Ardabil province and is hydrologically an area with a rapid hydrological response, which has been selected for the present study in simulating the hourly flood hydrograph. The results can be used in flood analysis due to different rainfalls. The aim of this study was to study the changes in rainfall amount and the effect of its values in different return periods on hourly flood hydrographs in the Namin watershed in Fandoghlu forested area in Ardabil province.

Methodology

In the present study, Landsat satellite images, ENVI 5.3 software and Google Earth were used to classify the land use map of the study area. Due to the fact that Landsat satellite images are provided to users in the form of geometric correction, several control points were selected from 4 images and their accuracy was evaluated, which was acceptable. For this purpose, in ENVI 5.3 software, green, blue and red bands were combined and then due to errors, the effects of diffusion and atmospheric absorption at the image level, radiometric, geometric and atmospheric corrections were performed on satellite images. The atmospheric correction was performed on the image by FLAASH method. Then, training sample was prepared to classify land use in ENVI5.3 environment from land use classes with the help of visual interpretation, Google Earth, auxiliary slope map, digital model of 12.5 m area. Training samples were taken from land use, forest use, barren land use, agricultural use (irrigated), pasture use, and residential use. Then land use classification was performed using images. For land use classification, the command of minimum distance from the mean and support vector machine was used, which among the methods used, the SVM method had the highest accuracy, and also to increase the classification accuracy of the area slope map using digital elevation model map. The thermal and multi-bands were combined into other bands of the images, and then a comprehensive output was prepared from all of these bands, and the classification was done using the SVM method due to its high accuracy. After land use classification, the accuracy of the classification was evaluated. For this purpose, experimental samples were taken from the land uses in the study area and the overall accuracy and kappa coefficients of the land use classifications were calculated. All classified images had a high accuracy of 98%. Then the design rainfall values in different return periods has been calculated using Cumfreq software and the hourly flood hydrograph is simulated by using Wildcat software. The Wildcat5 model is based on the SCS model, which is a rainfall-runoff simulation model. The required inputs to the model include the following. First, the rainfall characteristics for each year will be determined with different return periods (average rainfall and rainfall distribution). In the following, the parameters related to soil and surface cover of various watershed land uses to calculate excess rainfall (basin runoff) will be determined. For this purpose, curve number (CN) was assigned according to the type of coverage of each user. Then, time parameters were calculated to enter the flow time from the upstream to the watershed outlet and entered the model. The appropriate method for transforming rainfall to effective rainfall and also converting effective rainfall to unit hydrograph were selected based on the curve number method. In this section, factors such as the length of the main stream and the average slope of the watershed were calculated. Then, the area of each land use was determined and in the mentioned section, they were included in the model along with the curved number. Finally, the amount of watershed concentration time was calculated. According to the required inputs, first the maximum 24-hour rainfall during the existing statistical periods was extracted from Namin rain gauge station.

According to the aim of this study, which is to investigate the hydrological response of the Namin watershed to changes in rainfall during the return period 2, 5, 15, 25, 50 and 100 using the Wildcat5 hydrological model to investigate the effects of changing rainfall during the return period in the flood hydrograph in the Namin watershed. Cumfreq software was used to estimate the amount of rainfall in different return periods.

Results

According to the results, the rainfall changes in the study area showed that the rainfall values in the return period of 2 years and 100 years were 23.27 and 47.02 mm, respectively. Based on the results of hourly flow simulation, the amount of runoff in the 2-year period was 1.43 mm and the highest amount in the 100-year return period was 7.42 mm. Accordingly, the results showed that the peak flow rate of the flood hydrograph will be equal to 100.07 cubic meters per second under the rainfall with 100-years return period. According to the results, the increase in discharge from the 2-year to 5-year return period is equal to 20.73 cubic meter per second, which has increased by 111.51 percent. While, with the increase of rainfall from the return period of 50 to 100 years, the amount of increase in flow will be equal to 15.38%.

Conclusion

The results of rainfall-runoff simulation at hourly time scale in the Namin watershed showed that the rate of change in discharge relatively will be more in the lower return periods.

According to the simulations performed for maximum rainfall and runoff in Namin watershed in different return periods, it was observed that with increasing rainfall from 2 year return period to 100 years, runoff values and maximum flow intensities will increase. A noteworthy point is the amount of change with increasing return period. Overall, the results showed that the intensity of flow rate increase in the low return period will be more than the return period of more than 50 years. Based on the results of climate forecasts, the intensity of rainfall will increase due to climate change. Therefore, an increase in the intensity of flood events can be expected, which will show the importance of studying the effects of rainfall intensification. Accordingly, it is important to predict the flood-related effects of climate change in the study watershed.

Key words

Runoff simulation, Hydrologic response, Hydrologic modelling, Flood hydrograph