پژوهشنامه مدیریت حوزه اَبخیز سال دوازدهم/ شماره ۲۴/ پاییز و زمستان ۱۴۰۰

"مقاله پژوهشی"



بررسی خطرپذیری سیل در حوضههای فاقد آمار با استفاده از ویژگیهای ژئومرفیک (مطالعه موردی: وازرود)

کریم سلیمانی' و فاطمه شکریان'

۱ – استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری ۲– استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: shokrian.f@gmail.com) تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۸ صفحه: ۱۳۲ تا ۱۳۲

چکیدہ مبسوط

مقدمه و هدف: در حوضههای فاقد آمار هیدرومتری نمیتوان رفتار هیدرولوژیک را نسبتاً دقیق به دست آورد؛ اما با پرداختن به ویژگیهای ژئومرفیک میتوان بر این مشکل فائق آمده تا در آینده به کاهش خسارات ناشی از سیل پرداخت. در این تحقیق بهمنظور تعیین خطر سیلاب مناطق سیل گیر از دو عامل ژئومرفیک شامل شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص قدرت رودخانه استفاده شد.

مواد و روشها: با توجه به نبود دادههای کافی در ارتباط با دبی رودخانه حوزه آبخیز وازرود اقدام به تعیین مشخصههای خطر سیل تاریخی در این منطقه شد. در مرحله نخست از روش SCS به منظور شبیهسازی دبی اوج استفاده شد. پس از تعیین مشخصه های کمی خطر سیل (دبی اوج) در مرحله بعد اقدام به پیش بینی خطر کیفی سیل شد. بهمنظور تعیین خطر کیفی سیل از تلفیق دو عامل قدرت رودخانه و سطح اراضی سیل گیر استفاده شد. اراضی سیل گیر با دوره بازگشتهای مختلف با روش آستانه شاخص رطوبت توپوگرافی مشخص شد.

یافتهها: نتایج اجرای این روش نشان داد که با افزایش دوره بازگشت سیل، اراضی سیل گیر افزایش می یابد و میزان شاخص رطوبت توپوگرافی با افزایش دوره بازگشت سیل کاهش می باید. نتایج نقشههای خطر سیلاب با دوره بازگشتهای مختلف نشان داد که هرچه دوره بازگشت سیل بزرگتر می شود مناطق تحت تأثیر خطر سیل در طبقات خطر به طور کلی افزایش پیدا می نماید. اراضی که در خطر سیل با دوره بازگشتهای ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله قرار خواهند گرفت به ترتیب ۲/۲، ۳، ۲/۲ و ۲/۹٪ در کل حوضه می رسد. همچنین روستاهای واز تنگه، وازعلیا و نوجمه به ترتیب با ۲/۶، ۲۰ (۲۰، ۱۳/۷ و ۱۳/۷) اراضی تحت تأثیر سیل به عنوان آسیب پذیرترین مناطق روستایی در حوضه آبخیز وازرود تعیین شدند.

نتیجه گیری: پیش بینی خطر سیل بستگی به ویژگیهای حوزه آبریز و عوامل هیدرولوژیک و ژئومرفیک منطقه دارد. بهطوری که در حوزههایی که دارای اَمار ناقص و کم می اشند به عنوان یکی از ابزارهای مدیریت غیرسازهای سیلاب و مکمل روشهای سازهای، نقش مهمی را در کنترل سیلاب و کاهش خسارات محتمل ایفا می کند.

واژههای کلیدی: شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت رودخانه، شماره منحنی، مدیریت ریسک سیل

مقدمه

وقوع پدیده های طبیعی چون سیل، تاکنون موجب بروز خسارات زیادی به جوامع بشری شده است. بر اساس دادههای بانک اطلاعاتی معاونت أبخیزداری سازمان جنگلها و مراتع ایران طی چند دهه اخیر، به طور متوسط خسارات ناشی از سیل بالغ بر ۱۰ هـزار میلیارد ریال معادل ۴۰ میلیارد دلار آمریکا در سال بوده است. همچنین سیل در ایران در بازه زمانی ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ باعث مرگ ۱۱ هزار و ۷۳۹ نفر و مفقودالاثر شدن ۲۳۸۱ نفر دیگر شده است. یکمیلیون و ۵۸۰ هزار رأس دام تلفشده و دو میلیون ۳۰۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی در همین بازه زمانی از سیل اسیبدیده است. متأسفانه در فاصله سال های ۱۳۳۰ تا ۱۳۶۰ حدود ۲۶ درصـد از وقایع سیل اتفاق افتاده در کشور به درستی ثبت نشده است (۵،۱۷). بسیاری از تلفات ناشی از این سیلها قابل پیشـگیری و مدیریت بوده است (۲۶). بر اساس آمارهای موجود، وقـوع سیلابهای بزرگ ثبت نشده در دهههای پیش میتوانست در جهت مدیریت بهتر در مقابله با رخدادهای سیل آتی کمک نماید (۱۴،۱۵). خصوصیات سیلاب برای درک چگونگی عمل و نحوه مقابله با آن دارای اهمیت است (۱۶). در پیش بینی سيلاب، خصوصيات رگبار و خصوصيات حوضه نقش تعیین کننده ای دارند (۲۸). تا لاش محققان، در جهت درک بهتر از پدیدههای اساسی که رفتار فرآیندهای ژئوفیزیک در پیشبینی شرایط آتی را کنترل میکنند و همچنین ترکیب این وضعیتهای پیشبینی شده برای طراحی، از موارد قابل توجه

است. به دلیل فقدان ایستگاههای دبی و بارش در حوضه وازرود نمى توان رفتار هيدرولوژيك نسبتا دقيق از منطقه داشت. لذا با پرداختن به ویژگیهای ژئومرفیک میتوان بر این مشکل فائق آمدہ تا در آیندہ به کاهش خسارات ناشـی از سیل پرداخت. بنا بر اطلاعات توصیفی از ساکنان محلی دو واقعه سیل در تاریخهای ۱۳۳۷ و ۱۳۶۰ در منطقه رخداده است که با پرسش و پاسخ از آنها تمامی روستاهای واز علیا، واز سفلی و واز تنگه را تحت تأثیر قرار داده است. بـه گفتـه بومیان ارتفاع سیل در این دو رخداد حتی به ۵ متر نیز رسید و خسارت كامل به اين مناطق مسكوني وارد ساخت. تغييـرات کاربری اراضی در بالادست در پی فعالیتهای انسانی از جمله تشدید چرای دام و تخریب پوشش گیاهی منجر به تشدید بلایای طبیعی از جمله وقوع سیلابهای مهیب و ویـران گـر در حوضهها نظیر وازرود گردیده است (۲۰،۲۱،۲۴،۲۵). متأسفانه علیرغم رخدادهای سیل در حوضههای مختلف ابخیز در مقیاس جهانی فقدان دادههای ثبتشده مشکل را مضاعف نموده است. در ایران فراوانی وقوع سیلابها هرساله خسارات جانی و مالی زیادی وارد مینماید که متأسفانه بخش اعظمی از این رخدادها مربوط به حوضههای فاقد آمار میباشد. نهایتـاً فقدان دادههای ثبتی در حوضههای فاقد آمار برنامه ریـزان را با در انتخاب مکانهای مناسب جهت احداث سدها، استقرا مناطق مسكوني و ايجاد زيرساختهاي توسعهاي نظير جادهها، پلها و... با مشكلات عديدهاي روبرو ساخته است. لذا یافتههای این تحقیق میتواند برای برون رفت از چنین

مشكلاتی رهگشا باشد. هدف از انجام این تحقیق تعیین مقدار عددی دبی اوج و میزان گسترش مکانی پهنههای سیل گیر در حوضههای فاقد آمار است. در حوضه آبخیـز واز رود مطالعات زیادی در زمینه پهنهبندی خطر سیل انجامنشده است. مطالعات قابل ذکر در این حوضه می توان به مطالعه هادیان امری و حبیبنژاد (۱۰) به مقایسه روشهای تجربی برأورد دبی حداکثر سیل در حوضه أبخیز واز رود استان مازندران اقدام نمودند. نتایج نشان داد که تنها بین مقادیر حاصل از مدل های کریگر و دیکـن در سطح اطمینـان ۹۵٪ تفاوت معنیداری وجود ندارد و ضمناً با توجه به نزدیک بودن مقادیر این دو مدل با واقعیت منطقه، از نتایج آنها می توان در طراحیها استفاده نمود. زندی و همکاران (۳۰) به ارزیابی نقشه خطر فرسایش خاک و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی در حوضه وازرود اقدام نمودند. نتایج نشان داد که بازدیدهای گسترده میدانی صورت گرفته صحت کلی (۹۰ درصد) نقشه خطر فرسایش و مدل مورد بررسی را تائید کرد. بخش اعظم طبقات فرسایشی زیاد و خیلی زیاد درشیبهای ۲۵ تا ۴۵ درجه، ارتفاع ۱۱۸۰ تا ۲۱۸۰ متر از سطح دریـا و در اراضی لخت منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق اتخاذ استراتژیهای مدیریتی مناسب را برای تصمیم گیران در اولویتبندی نواحی برای کاهش فرسایش در حوضه آبخیز وازرود امکان پذیر می کند. سلیمانی و همکاران (۲۲) به ارزیابی کارایی روشهای نسبت فراوانی، آماری دومتغیره Wi و Wf در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه أبخیز وازرود پرداختند. فرایند اعتبارسنجی نشان داد کـه مقـدار سـطح زیـر منحنی ROC در روش وزندهی به فاکتورها (Wf) برابر با ۰/۹۶۲ همراه با خطای استاندارد ۰/۰۰۲ بوده و نسبت به دیگر روشها پیشبینی بهتری در رخداد زمین لغزشها داشته است. صادقی و همکاران (۱۸) به تأثیر برداشت شن و ماسه رودخانهای بر تغییرپذیری ماهانه غلظت رسوب معلق حوضه أبخيز واز رود پرداختند. مقدار غلظت بار معلق در شرايط فعالیت معدن و شدت برداشت، افزایش بیشتری نسبت به قبل از معدن داشت. همچنین، دامنه اثر محدود و حداکثر در حدود چند صد متری محل برداشت بـر غلظـت رسـوبات معلـق و قاعدتاً همزمان با مدت برداشت نيز مورد تائيد قرار گرفت. غلامی و همکاران (۸) به بررسی تـأثیر افـزایش جمعیـت بـر میزان تغییر کاربری اراضی حوضه أبخیز واز پرداختند. در بررسی روند تغییرات کاربریهای مختلف در سه دوره مختلف از سالهای ۴۵ تا ۷۱ و تا ۸۱، اثرات افزایش جمعیت بر روی سطح حوضه برای کاربریهای مختلف مثبت نشان داده شد. مهاجرت افراد غيربومي جهت احداث ويـلا بيشـتر گرديـده و درنتیجه عدم موفقیت برخی از طرحهای مرتبط با بخش جنگل، کاهش سطح جنگل در دهه اخیر اتفاق افتـاده اسـت. یوسفزاده و همکاران (۲۹) به استخراج پتانسیل سیلخیزی حوضه سیمینه رود با کمک تصاویر ماهوارهای، شاخص رطوبت توپوگرافی و ویژگیهای مورفولوژیکی پرداختند. براساس نقشه استخراجي و تجزيه و تحليل نتايج، از كل مساحت منطقه، حدود ۸۱/۶ کیلومتر مربع (۲/۵ درصد) مستعد سیلاب بوده و ۱/۹ درصد از منطقه با میزان خطر متوسط

برای سیلاب شناسایی شد.

عابدینی و جوکدان (۱) به پهنهبندی خطر وقوع سیل در حوضهی گرگان رود با استفاده از Arc GIS پرداختند. ابتدا متغیرهای تأثیرگذار در وقوع سیل نظیر شیب، زمین شناسی، پوشش گیاهی، خاک، میزان بارندگی و رتبهبندی ابراههها، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که حوضهی موردمطالعه به دلیل برخورداری از متوسط بارنـدگی سـالانهی ۱۰۵۸/۷ میلیمتر، شیب زیاد، سازندهای نسبتاً نفوذناپذیر و همچنین به دلیل داشتن شکلی دایرهوار از قابلیت سیل خیزی نسبتاً زیادی برخوردار میباشد. شیرزادی و هاشمزاده (۱۹) بـر اساس روش سازمان حفاظت خاک امریکا SCS، برای تعیین ارتفاع رواناب از نقشههای شماره منحنی CN و نقشه خطوط هم باران استفاده کردند. سپس با مدل سازی و نوشتن فرمول های مرتبط در محیط نرمافزار GIS نقشه پهنهبندی ارتفاع رواناب و سیل خیزی منطقی تهیه کردند. بررسی نتایج نشان داد که شبکه منتخب MLP با همبستگی ۰/۹۸ در مرحله آموزش و ۰/۹۷۹ در مرحله آزمایش و خطای کمتر نسبت به سایر روشها به عنوان بهترین مدل در بین انواع شبکهی عصبی شناخته شد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته می توان چنین نتیجه گیری کرد که از جمله مهم ترین عوامل بروز سیل تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و کاهش نفوذیذیری خـاک بـوده اسـت (۲). همچنـین بررسـی منابع نشان داد که استفاده از عوامل ژئومرفیک از قبیل شاخص توان أبراهه، شـاخص رطوبـت توپـوگرافی در برخـی مطالعات داده کاوی پهنهبندی مناطق سیل گیر مورد استفاده قرار گرفته است (۵)، اما در این تحقیق با استفاده از تلفیق دو ویژگی اراضی سیل گیر و شاخص قدرت أبراهـه بـه ارزیـابی خطرپذیری اراضی سیل گیر پرداخته خواهد شد و پس از شبیهسازی دبی اوج در دوره بازگشتهای مختلف ۲ تا ۱۰۰ ساله، سناریوهای سیل گیری قدرت سیل و میزان وسعت خسارات وارده به مناطق مسکونی بررسی خواهد شد.

171

مواد و روشها

محدوده حوضه أبخيز توسط نقشههای رقومی ۲۵۰۰۰ ۱ و بررسی نقشههای توپوگرافی نمارستاق و چمستان از سازمان جغرافیایی ایران تعیین گردیده است. محـدوده حوضـه أبخیـز وازرود در بخش میانی استان مازندران در عـرض شـمالی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۴ ثانیه و طول شرقی ۵۲ درجه و ۰۱ دقیقه و ۴۶ ثانیـه تـا ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱)(۲۴). این حوضه از شمال به شهرستان نور، از جنوب به حوضه أبخيز هزار، از غرب به حوضه أبخيـز لاويـج رود از شرق به حوضه ناپلارود ختم مى گردد، مساحت اين حوضه ۱۳۷ کیلومتر مربع و محیط آن ۷۲/۳۲ کیلومتر میباشد (۲۴). از مهمترین شاخههای آن رودخانه نوجمه-گزناسرا در بخش شرقی از ارتفاعات تترستاق، رودخانه دولت سرا که از ارتفاعات رودبارک، ایتا، واکمر و میشنو سرچشمه گرفته و بعد از طی مسیر در محل روستای واز بالا به رودخانه اصلی متصل می گردد (۲۴).



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز وازرود در ایران و استان مازندران (۲۴) Figure 1. Position of Vazroud Watershed in Iran and Mazandaran Province (24)



(۲۴) شکل ۲- نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز وازرود Figure 2. Geological map of Vazrood watershed (24)

سازند شمشک، رسوبات کرتاسه K2^{L,m} و سـری سـنگهـای دوران سـوم سـنوزوئیک شـامل رسـوبات Qs, M^{M.S}, Pe^m و رسوبات بستر رودخانه Qal را میتوان مشاهده نمود (شکل ۲) در حوضه آبخیـز وازرود، تشـکیلات زمـینشناسـی از نـوع سنگهای رسوبی بوده واز نظر سنگشناسی منطقه بهترتیـب از قدیم به جدید سری سنگهای دوران دوم نظیر سازند الیکا،

(۲۴). خصوصیات رگبار براساس مقادیر شدت – مدت محاسبه شده و در دوره برگشت های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به مدل معرفی شده است. این مقادیر بر اساس محدوده حدی که در سال های ۱۳۳۶ و ۱۳۶۰ اتفاق افتاده در نظر گرفته شده و برای زیر حوضه ها و کل حوضه آبخیز وازرود اعمال شده است. با توجه به بیشترین مقدار بارش ۲۴ ساعته

در محدوده حوضه وازرود که از ایستگاه های تنگه لاویج و چمستان اقتباس شده اقدام به توزیع بارش در حوضه أبخیز وازرود شده است. در جدول ۱ شدت رگبارهای کوتاهمدت بادوامها و دوره برگشتهای مختلف معرف منطقه طی دوره آماری موجود (۱۳۳۱–۱۳۶۰) ارائهشده است.

جدول ۱ – شدت رگبارهای شش ساعته با دورههای برگشت مختلف (mm/h) (۲۴ Table 1. Intensity of six-hour storm with different reversal periods (mm/h) (24)

کا منا ا	نام زیر حوضه								
ىل خوصە	V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	دوره بار نسب 🗕	
۵/۸	۶/۳	٨/٨۵	۵/۸۵	۵/۴	۶/۳	٣/٩	۵/۴	٢	
۱۱/۴	۱۲/۶))/Y	۱۱/Y	۱۰/۳۵	17/40	٧/٩۵	۱۰/۳	۱.	
14/2	۱۵/۷۵	14/4	14/4	17/8	۱۵/۴۵	۱۱/۲۵	۱۳/۰۵	۲۵	
۱۶/۳	۱۸	18/80	18/80	14/4	1Y/Y	۱۲/۷۵	۱۴/۸۵	۵۰	
۱۸/۳	۲۰/۲۵	۱۸/۴۵	۱۸/۹	18/80	۱۹/۹۵	۱۵/۷۵	18/80	۱۰۰	

محاسبه حجم سيلاب با استفاده از هيدروگراف واحد

برای تهیه هیدروگراف واحد از روش تجربی SCS استفاده گردید. همان طور که در جدول ۲ ملاحظه می گردد زیر حوضههای V1 و V7 دارای بیشترین دبی پیک در مقایسه به دیگر حوضهها و کل حوضه می باشند. در ادامه مقادیر CN با توجه به گروه هیدرولوژیکی خاک (شکل ۳) و کاربری اراضی (شکل ۴) ارائه شده است. با توجه به نقشههای گروههای هیدرولوژیک و کاربری اراضی، مقدار CN را تعیین نموده و سپس میانگین وزنی آن را گرفته و CN حوضه در شرایط

متوسط به دست آورده می شود. با توجه به CN به دست آمده مقادیر شماره منحنی (CN) هر یک از زیر حوضهها در ادامه در شکل ۵ ارائه شده است. دقت در تخمین عدد شماره منحنی تأثیر بسیار مهمی در محاسبات دارد (۲). استفاده از تکنیکهای جدید میتواند باعث افزایش دقت و سرعت در کار گردد. لذا در این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با کمک نرمافزار ArcGIS اقدام به تهیه نقشه شماره منحنی (CN) منطقه گردید (۴).

جدول ۲- مقادیر دبی حداکثر لحظه ای برای هر یک از زیرحوضه ها در هیدروگراف واحد به روش SCS برای یک سانتی متر رواناب (۲۴) Table 2. Maximum instantaneous discharge values for each of the sub-basins in the unit hydrograph by SCS method

IOr	one centimete	er of runoff (24)			
Qp	TP	TL	D	Tc	مساحت (کیلومتر مربع)	نام زيرحوضه
۲/۹۹	۲/۰۵	۱/۸۵	۰/۴۱	٣/٠٨	29/40	V1
١/٨٢	1/88	١/۴٩	۰/۳۳	۲/۴۹	۱۴/۵	V2
۱/۸۵	۱/۵۳	١/٣٧	۰/٣	४/४९	۱۳/۵۴	V3
۲/۰۴	۲/۴	۲/۱۶	۰/۴۸	۳/۶	TT/FF	V4
١/٨	۱/۳۸	١/٢۴	•/۲٨	۲/۰۷	<u> </u>	V5
١/٨٢	١/٣٧	١/٢۴	•/YY	۲/۰۶	17/3	V6
۲/۲۲	٣/٠١	۲/۲۱	۰/۶	۴/۵۱	۳۲/۱۱	V7
۴/۷۹	۵/۹۲	۵/۳۷	۱/۱۹	٨/٩۵	134/3	کل حوضه



شکل ۳- گرومهای هیدرولوژی حوضه اَبخیز وازرود Figure 3. Hydrological groups of Vazrood watershed



شکل ۴– نقشه کاربری اراضی حوضه اَبخیز وازرود Figure 4. Land use map of Vazrood watershed



شكل ۵- نقشه شماره منحنى حوضه أبخيز وازرود Figure 5. Curve number map of Vazrood watershed

شاخص رطوبت توپوگرافی

توپوگرافی مهمترین عامل کنترل کننده در الگوی مکانی حوضه آبخیز میباشد که نشاندهنده بسیاری از تغییرات و فرآیندهای هیدرولوژیکی میباشد. توپوگرافی بهعنوان یک عامل اولیه در تغییرات مکانی شرایط هیدرولوژیک میباشد که از آن پیروی میکند (۱۷). بنابراین از شاخص رطوبت توپوگرافی برای توصیف الگوی مکانی رطوبت اشباع استفاده میشود (۱۲). شاخص رطوبت توپوگرافی IWT ابزاری مفید برای تعیین شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه میباشد و بنابراین مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت در بوسط کرکبی و بیون (۱۳). در مدل بارش رواناب تولید رواناب بهصورت کمی بیان کرد. این شاخص بهصورت تولید رواناب بهصورت کمی بیان کرد. این شاخص بهصورت رابطه ۱ تعریف شد. شاخص رطوبت توپوگرافی که از ترکیب

مساحت حوضه بالادست و شیب به دست می آید، معمولاً برای کمی کردن کنترل توپوگرافی بر روی فرآیندهای هیدرولوژیک می باشد. اگرچه روشهای مختلفی برای محاسبه این شاخص وجود دارد که این روشهای محاسباتی اصولاً در و تخمین مقدار شیب باهم اختلاف دارند. در نهایت مناطقی که در یک حوضه مقدار TWI مشابهی داشته باشد، در صورتیکه شرایط محیطی دیگر آنها یکسان باشد، فرض می شود که پاسخ هیدرولوژیک مشابهی به باران داشته باشند و می توانند یکسان تلقی شوند. (رابطه ()

 $TWI=(\ln\alpha/\tan\beta)$ (رابطه ۱) که در این رابطه α مساحت ویژه حوضه (مترمربع) و β درجه شیب میباشد. سطح ویژه محدوده اَبخیز براساس سطح بالادست سهیم در جریان آب، در هر نقطه از محدوده با توجه به توپوگرافی تعریف میگردد (۱۳).

تعيين أستانه شاخص رطوبت توپوگرافي

در این بخش، از روش ژئومرفیک با استفاده از یک روش احتمالاتی به منظور تهیه نقشه خطر سیل استفاده می شود. آستانه TWI با استفاده از روش حداکثر احتمال مورد استفاده در مطالعه متولی و وفاخواه (۱۳) برای شناسایی ناحیههای سیل خیز مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که هر چه دوره بازگشت سیل بیشتر می شود، شایستگی سیل و چه دوره بازگشت سیل بیشتر می شود، شایستگی سیل و شاخص رطوبت توپوگرافی کمتر (اراضی سیل گیر بیشتر) می گردد. در این مطالعه آنان اشاره داشتند که آستانه توپوگرافی در حدود ۱۱/۶ می تواند عرصههای سیل گیر با عمق بیش از ۳ متر را اشباع و به زیر آب ببرد. در این مطالعه نیز از این مقدار به عنوان آستانه توپوگرافی در حوضه آبخیز وازرود استفاده می گردد.

شاخص قدرت جريان

شاخص قدرت جریان نشاندهنده میزان قدرت فرسایندگی جریان آب است. این شاخص توسط مور و همکاران (۱۲) معرفی شد. بر این اساس این شاخص متناسب است با مساحت ویژه حوضه و شیب که با استفاده از رابطه ۲ به دست میآید.

که در این رابطه: As سطح سهیم در تجمع جریان است و β درجه شیب است. زمانی که هر دو عامل شیب و هم مقدار آب تأمین شده از سطح بالادست شیب افـزایش یابـد منجـر بـه افزایش سرعت آب و SPI شده و خطر فرسایش شیب افزایش مییابد.

عدم قطعیت و خطر پذیری سیل

مفهوم سازی ارزیابی مکانی خطر سیل میتواند بهعنوان روشی کارآمد برای تهیه نقشه خطر سیل که نشان دهنده قدرت و عمق سیل باشد را فراهم کند. تهیه نقشه های ارزیابی خطر سیل در عرصه مدیریت و تصمیم گیری در ارتباط با سیلاب زمانی مؤثرند که عدم قطعیت مدل و داده برای ارزیابی با هم تلفیق باشند (۱۲). عدم قطعیت در برخی از مطالعات در زمینه مدل سازی مخاطرات طبیعی مورد توجه قرار گرفته است

جدول ۳– ویژگیهای فیزیوگرافی حوضه آبخیز وازرود (۲۳)

(۱۱،۹). در این بخش از آنالیز عدم قطعیت مربوط به مونت کارلو به منظور تعیین احتمال شاخص قدرت سیل استفاده شده است. پس از آنالیز عدم قطعیت مونت کارلو و به دست آوردن احتمال قدرت سیل، ارزیابی ریسک با توجه به اثرات بالقوه سیل در حوضه آبخیز وازرود تعیین گردید. بر اساس اراضی سیل گیر با عمق های مختلف و پیامدهای احتمالی از قدرت سیل، میتوان میزان خطر سیل را تعیین نمود (۶،۲۵) (رابطه ۳).

 $Risk = P_i * D_i$ (r ()

که در آن: P_i، احتمال قدرت سیل و D_i، نشان دهنده خسارت می باشد.

خسارت در این رابطه شامل وسعت اراضی سیل گیر میباشد. نقشه احتمال قدرت سیل نیز با استفاده از روش آنالیز عدم قطعیت مونت کارلو⁽ به دست آمده و در نهایت، از ترکیب این دو عامل، میزان خطر سیل در حوضه آبخیز وازرود تعیین گردید.

سنار یوبندی خطر سیلاب در دوره باز گشتهای مختلف با توجه به شبیه سازی دبی اوج و خصوصیات مختلف سیلاب در حوضه آبخیز وازرود از قبیل قدرت سیل و عمق و تهیه نقشه خطر، مدل ساخته شده در این پژوهش برای پیش بینی وضعیت آینده اراضی سیل گیر و میزان خطر سیلاب در دوره بازگشتهای مختلف مورداستفاده قرار گرفت.

نتايج و بحث

بیشترین تراکم آبراههای حوضه ۲/۴ و کمترین آن ۱/۹ کیلومتر بر کیلومترمربع میباشد. حداقل شیب خالص آبراههای ۴/۲ درصد و حداکثر آن ۲۶/۱ درصد میباشد. دامنه تغییرات ارتفاعی حوضه در ۸ کلاس ارتفاعی ۴۰۰ متری مورد بررسی قرار گرفته است. میانگین ارتفاع (متوسط وزنی) در حوضه حدود۱۸۲۲ متر و میانه ارتفاع آن ۱۷۰۰ متر و نمای (مد) آن ۱۷۵۰ متر میباشد. شیب متوسط وزنی کل حوضه ۲۴/۲ درصد بوده و میانه شیب آن ۴۳ درصد میباشد (جدول ۳).

Table 3. Physiographic Characteristics of Vazroud Watershed (23)

شيب متوسط وزنى	زمان تمرکز برانسی	تراکم زهکشی	نسبت انشعاب	طول أبراهه اصلى	شيب متوسط وزنى	نام واحد کارې
ابراهه (درصد)	(ساعت)	(km/km ²)	km/km ²	(km)	حوضه (درصد)	
۱۴/۸	۳/۰۸	۴/۸۸	٧/٢٩	17/78	84/87	V1
۲۵/۳۵	۲/۴۹	۴/۳۸	۵/۲۹	৭/٧۶	83/3	V2
۱۵/۵۴	۲/۲۹	4/89	٣/٨۵	٩/٠٣	48/30	V3
18/96	۳/۶	۴/۵۴	8/V	14/00	40/1V	V4
24/av	۲/۰۷	٣/٢٩	۴/۸۸	٨/•٧	۵۷/۴	V5
٧/٢	۲/۰۶	۲/۸۵	۳/۴۸	Υ/٨	۵۸/۹۶	V6
۴/۲۷	4/04	۳/۰۵	۴/۱۷	۱۶/۸۲	۴٨/٩۶	V7

مدل سازی دبی اوج جریان در دوره بازگشتهای مختلف در حوضه آبخیز وازرود از طریق روش SCS انجام شد. در مرحله بعد بهمنظور تعیین میزان خطر سیلاب در دوره بازگشتهای مختلف اقدام به تهیه عوامل شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص قدرت سیل و همچنین تعیین احتمال وقوع قدرت

سیلاب شده است. در ادامه نتایج حاصل از شـبیهسـازی دبـی اوج سیلاب حوضه اَبخیز وازرود ارائه شده است (شکل ۶). **نتایج شبیهسازی دبی اوج سیلاب**

با استفاده از اطلاعات بارش ۶ ساعته مقادیر بارش مـازاد در شرایط رطوبتی متوسط از روش SCS محاسـبه و در ادامـه در

1- Monte Carlo

دبی اوج با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۱۲۰/۶ و ۷۹/۵۵ مترمکعب بر ثانیه، سیل خیزترین زیر حوضه های وازرود تعیین شدند. در مرحله بعد ارتباط دبی اوج با مناطق سیل گیر از طریق نتایج شاخص های توپوگرافی TWI و SPI و تعیین خطرپذیری آن ارائه شده است.

جدول ۴ برای شرایط رطوبتی متوسط ارائه شده است. ارقام دبی مندرج در جدول ۴ برحسب مترمکعب بر ثانیه می باشد. هماًن طور که ملاحظـه مـ*ی گـ*ردد دبـی اوج سـیلاب در دوره بازگشتهای ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰ ساله به ترتیب ۵۰/۵، ۲۸/۴۹، ۵۲/۱۹، ۵۲/۱۶، ۱۱۸/۱ و ۱۴۹/۹۵ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد (شکل ۶). همچنین زیر حوضههای ۷۱ و V3 با

جدول ۴– حداکثر دبی اوج (.m³/sec) زیرحوضه و حوضه آبخیز وازرود با استفاده از روش SCS (۲۴) Table 4. Maximum peak discharge (m³/sec.) sub-basin and Vazrood watershed using SCS method (24)

		مساحت (km ²)	واحد كارى				
١	۵۰	۲۵	١٠	۵	٢	_	
17+/88	৭ ৭/ <i>•</i> ۵	٧٨/۵۴	۵۰/۷	٣۴	۱۰/۴۷	۲۹/۵	V1
40/22	$\gamma / \gamma $	71/ 7 7	٨/٢٩	۲/۹۳	•/١١	۱۴/۵	V2
۲٩/۵۵	84/1	79/87	۳١/٩٨	۱٩/۵۶	۵/۰۷	۱۳/۵	V3
FV/F4	۵۱/۶۳	34/22	۲۵/۹	14/14	۴/۰۳	۲۳/۴	V4
41/22	۳۰/۵۲	۲۰/۸۷	١١/٢٩	۵/۲۸	٠/١۶	۱۱/۹	V5
۴۸/۸۱	۳۸/۹۵	21/22	۱۵/۸۸	۲۲/۸	٠/٧٩	17/3	V6
۴٨/٩۴	36/41	20/21	17/88	۵/۸۹	٠/٠٢	۳۲/۱	V7
149/90	۱۱۸/۱	۸۸/۱۶	۵۲/۱۹	۲۸/۴۹	۵/۰۵	۱۳۷/۳	کل حوضه



شکل ۶- حداکثر دبی اوج حوضه آبخیز وازرود با استفاده از روش SCS (۲۴) Figure 6. Maximum peak discharge of Vazrood watershed using SCS method (24)

شاخص رطوبت توپوگرافی

شکل دیده می شود، مقدار TWI بین ۲/۸۶ و ۲۱/۰۱ تغییر می کند. بیشترین مقادیر TWI را می توان در اطراف کانالهای رودخانه حوضه آبخيز وازرود مشاهده نمود.

این عامل از طریق نقشه رقومی ارتفاعی با مقیاس ۱۰ متر در نرمافزار SAGA تهیه و وارد مدلسازی خطر سیلاب شد. این نقشه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که در



شکل ۷- شاخص رطوبت توپوگرافی حوضه آبخیز وازرود (۲۴) Figure 7. Topographic humidity index of Vazrood watershed (24)

پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال دوازدهم/ شماره ۲۴/ پاییز و زمستان ۱۴۰۰ ۱۴۰۰ کار استان ۱۲۰۰ ا

شاخص قدرت رودخانه

این عامل نیز از طریق نقشه رقومی ارتفاعی با مقیاس ۱۰ متر در نرمافزار SAGA تهیه و وارد مدلسازی خطر سیلاب شد. این نقشه در شکل ۸ نشان دادهشده است. همان طور که در

شکل دیده می شود، مقدار SPI از صفر تا ۲۶۷ هـزار تغییر میکند. بیشترین مقادیر SPI را میتوان در خروجی و زيرحوضه V7 حوضه وازرود مشاهده نمود.



شكل ٨- شاخص قدرت رودخانه حوضه أبخيز وازرود (٢۴) Figure 8. River power Index of Vazrood Watershed (24)

نقشههای خطر سـیلاب حوضـه أبخیـز وازرود در دوره بازگشتهای مختلف

پس از آنالیز عدم قطعیت مونت کارلو و به دست آوردن احتمال قدرت سیل که نشاندهنده بزرگی میزان سیلاب در نقاط مختلف می باشد، ارزیابی خطر با توجه اثرات دبی اوج در حوضه أبخيز تعيين شد. نقشه احتمال قدرت رودخانه سيل حوضه آبخیز وازرود طبق نقشه ۹ و نقشههای خسارت سیل در دوره بازگشتهای ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ در نقشههای ۱۰ الی ۱۴ نشان داده شده است. در نهایت نقشههای خطر سیلاب

با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله (تاریخی) در شکلهای ۱۰ تا ۱۴ نشان دادهشده است.

نتایج اجرای سناریوهای خطر سیلاب در دوره بازگشتهای مختلف

در این مرحله خطر سیل در دوره بازگشتهای مختلف تعیین شد. نتایج خطر مناطق سیل گیر در جدول ۵ نشان داده شده است. به طور کلی با افزایش دوره بازگشت کل اراضی تحت تأثیر سیل از ۲۴۲ هکتار در دوره بازگشت ۲ ساله بـه ۱۱۲۷ هکتار رسیده است.



شكل ٩- نقشه احتمالاتي شاخص قدرت رودخانه حوضه أبخيز وازرود (٢۴) Figure 9. Probability Map of The Power Index of The Vazroud Watershed (24)

جدول ۵- مساحت مناطق در خطر سیل در دوره بازگشتهای مختلف در حوضه آبخیز وازرود (کیلومتر مربع) Table 5. Area of flood risk areas in different return periods in Vazrood watershed (square kilometers)

	1 1				
)	۵۰	طبقات خطر سيل			
•/97٣	•/47•	•/٣٣٢	•/۲۹٧	•/٣٣	خطر کم
۲/۲۳۴	1/174	۰/ <i>٨۶</i> ١	٠/٧۵٩	۰/۶۰۲	خطر متوسط
۲/۰۶۶	١/•٨٢	٠/٨١٨	•/Y•A	۰/۵۳۳	خطر زياد
۶/+۵۱	۲/۵۰۴	١/٢۵۶	١/۴٧٨	۱/+۵۲	خطر خیلی زیاد
11/540	۵/۱۳۹	r/181	37/261	2/421	محمدع

راهنها



شکل ۱۱– نقشه خطر سیلاب ۱۰ ساله حوضه آبخیز وازرود Figure 11. 10-year flood risk map of Vazrood watershed

شكل ١٠- نقشه خطر سيلاب ٢ ساله حوضه أبخيز وازرود Figure 10. 2-year flood risk map of Vazrood watershed

شكل ١٢- نقشه خطر سيلاب ٢۵ ساله حوضه أبخيز وازرود Figure 12. 25-year flood risk map of Vazrood watershed



شكل ١٣– نقشه خطر سيلاب ٥٠ ساله حوضه أبخيز وازرود Figure 13. 50-year flood risk map of Vazroud watershed



شکل ۱۴– نقشه خطر سیلاب ۱۰۰ ساله حوضه آبخیز وازرود Figure 14. 100-year flood risk map of Vazroud watershed

نتایج خطر سیلاب در زیرحوضههای آبخیز وازرود نتایج مدلسازی خطر سیل در زیرحوضههای آبخیز وازرود با دوره بازگشت ۲ ساله در شکل ۱۰ نشان دادهشده است. با توجه به این نتایج، زیرحوضههای V7 و V1 دارای بیشترین اراضی سیل گیر می باشند و علاوه بر این که دارای دبی اوج بالاترى مىباشند داراى بيشترين سطح خطر اراضى سيل گير می باشند. در زیر حوضه ۷۲ حدود ۴۷ هکتار و در زیر حوضه V1 تقريباً ۳۸ هکتار از اراضی تحت تأثیر خطر سیلاب قرارگرفتهاند. همچنین در دوره بازگشت ۱۰ ساله نیـز در زیـر حوضههای ۷7 و ۷۱ مساحت اراضی با خطر سیل بالا به ۶۵ و ۵۱ هکتار رسیده است. این میزان خطر در دوره بازگشت ۲۵ ساله در این دو زیرحوضه به ۷۵ و ۵۹ هکتار رسیده است. در دوره بازگشت ۵۰ ساله نیز پهنههای سیل گیر به ۱۰۵ و ۸۰ هکتار در دو حوضه V7 و V1 رسیده است. درنهایت در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله وسعت اراضی سیل گیر در زیرحوضههای V7 و V1 به ترتیب به ۲۳۱ و ۱۸۶ هکتار رسیده است.

نتایج خطر سیلاب در روستاهای حوضه أبخیز وازرود

توسعه مناطق روستایی در حاشیه رودخانهها، بستر و حواشی دشتهای سیلابی بدون شناخت و توجه به شرایط هیدرولوژیک و دینامیکی رودخانهها و قسمتهای بالادست حوضه که موجب افزایش خطر سیلاب و خسارات جانی، مالی و زیربنایی ناشی از آن می شود، توسعه را با مشکلاتی مواجه می سازد. از این رو خطر سیلاب در روستاهای حوضه آبخیز وازرود مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن نشان داده شده است. نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش دوره بازگشت سیل، مساحت اراضی سیل گیر در روستاهای حوضه آبخیز وازرود افزایش یافته است. بدین صورت که خطر سیل در دروه بازگشت ۲ ساله از ۲۷۹۵۲ مترمربع به ۱۲۵۴۷۸ متر متربع رسیده و تعداد روستاهای تحت تأثیر خطر سیل از ۶ مورد به ۸ مورد افزایش پیدا کرده است. در بین روستاهای مورد به ۸ مورد افزایش پیدا کرده است. در بین روستاهای

بیشترین مساحت اراضی تحت تأثیر خطـر سـیل آسـیب.دیر روستاها تعیین شدند.

نتیجه گیری کلی

تعیین خطر سیل یکی از مهم ترین وظایفی است که در مدیریت ریسک سیلاب می توان به آن پرداخت، خصوصاً در رابطه با حفاظت از جان و اموال و دارائیها ساکنان دارای اهمیت زیادی است. پیشبینی خطر سیل بستگی به ویژگیهای حوضه و عوامل هیدرولوژیک و ژئومرفیک منطقه دارد (۲۷). لازم است تا قبل از بحران نسبت به تعیین خطر سیل اقدام نمود و با انجام اقدامات ضروری از خساراتی که در أينده ممكن است در اثر وقوع سيل به وجود أيـد كاسـت. بـا توجه به اینکه برای جلوگیری از بروز این گونه پدیدههای زیانبار در حال حاضر نمی توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود، بنابراین هرگونه راهحل اصولی و چارهساز را باید در حوضه أبخیز جستجو کرد. در این تحقیق سعی بر أن شد تا با توجه به نبود دادههای کافی در ارتباط با دبی رودخانه حوضه آبخيز وازرود اقدام به تعيين مشخصههاي خطر سیل تاریخی در این منطقه شود. در مرحله نخست از روش SCS بهمنظور شبیه سازی دبی اوج استفاده شد. به منظور تعیین نقشه شماره منحنی از عوامل کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی استفاده شد. نتایج شبیهسازی دبی اوج حوضه أبخيز وازرود با ايستكاه تنكه لاويج بهعنوان ايستكاه معرف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این مقایسه نشاندهنده همبستگی مناسب دبیهای سیلابی با ایستگاه تنگه لاویج به عنوان ایستگاه معرف می باشد. این نتایج با مطالعه غلامی و همکاران (۸) و شیرزادی و همکاران (۱۹) مطابقت دارد. پس از اینکه مشخصههای کمی خطر سیل (دبی اوج) مشخص شد در مرحله بعد اقدام به پیش بینی خطر کیفی سیل شد. به منظور تعیین خطر سیلاب مناطق سیل گیر از دو عامل ژئومرفیک شامل شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص قدرت رودخانه استفاده شد. به منظور تعیین خطر کیفی سیل از تلفیق

دو عامل قدرت رودخانه و سطح اراضی سیل گیر بهعنوان خسارتی که می تواند وارد سازد استفاده شد. از روش آنالیز عدم قطعيت مونت كارلو به منظور تعيين احتمال قدرت رودخانه و خسارت اراضی سیل گیر استفاده شد. در این ارتباط تحقیقات انجام شده در داخل کشور (۲۲،۱۹،۱۳) در این زمینه خطرپذیری را بررسی نکردهاند و فقط آسیب پذیری و ارزیـابی حساسیت و خطر را انجام دادهاند. میزان اراضی سیل گیر با دوره بازگشت های مختلف با استناد به مطالعه متولی و همکاران (۱۳) در ارتباط با روش آستانه شاخص رطوبت توپوگرافی مشخص شد. نتایج اجرای این روش نشان داد که با افزایش دوره بازگشت سیل، میزان اراضی سیل گیر افزایش می یابد و میزان شاخص رطوبت توپوگرافی با افزایش دوره بازگشت سیل کاهش می باید. این نتایج نیز با مطالعه دریسی و همکاران (۵) مطابقت دارد. در مرحله بعد به منظور تعیین خطر سيل حوضه أبخيز وازرود با تركيب احتمال قدرت رودخانه با خسارت اراضی سیل گیر، نقشه خطر سیل در دوره بازگشتهای ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تعیین شد. در این ارتباط عابدینی و جوکدان (۱) به این نتایج رسیدند که هرچه دوره بازگشت سیل بزرگتر می شود مناطق تحت تأثیر خطر سیل در طبقات خطر بهطورکلی افزایش پیدا مینماید. همچنین وجود مطابقت در دو عامل هیدروگراف واحد و (میزان عـددی دبی اوج) در زیرحوضـه هـای ۷۱ و ۷۷ بـا نقشههای خطر (بیشترین وسعت اراضی در خطر سیل در این دو حوضه نسبت به سایر زیرحوضهها بیشتر بوده است) که نشاندهنده ارتباط بين هيدروگراف واحد، زمان تمركز با شاخص قدرت سیل و شاخص رطوبت توپوگرافی میباشد. همچنین مطابقت دبی اوج از روش SCS را میتوان با

شاخص قدرت سیل و شاخص رطوبت توپوگرافی از طریق عواملی از قبیل کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی و شماره منحنی مرتبط دانست. نتایج کل اراضی که در خطر سیل با دوره بازگشتهای ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله قرار خواهند گرفت به ترتیب ۲/۲، ۳، ۴/۲ و ۹/۹٪ میرسد. همچنین روستاهای واز تنگه، وازعلیا و نوجمه بهترتیب با ۲۰/۶، ۱۶/۴ و ۱۳/۱٪ اراضی تحت تأثیر سیل بـ معنـوان آسـیب پـذیرترین مناطق روستایی در حوضه أبخیز وازرود تعیین شدند. پیش بینی خطر سیل در حوضههای که دارای آمار ناقص و کم می باشند به عنوان یکی از ابزارهای مدیریت غیرسازهای سیلاب و مکمل روشهای سازهای، نقش مهمی را در کنتـرل سيلاب و كاهش خسارات محتمل ايف مي كند. به علاوه سیلاب از جمله سوانحی است که تا حد زیادی قابل پیش بینی مىباشد، بنابراين پيش بينى خطر سيلاب مىتواند تأثير بسزايى در مدیریت ریسک سیلاب داشته باشد. احداث تأسیسات کنترل سیل علاوه بر هزینه های سنگین، ریسک ناشی از سیلاب را نیز نمی تواند به طور کامل از بین ببرد و ممکن است در سیلابهای مخربتر، سیل، حادثه آفرین گردد. احداث سازههای عظیم کنترل سیلاب چون سیل بندها نمی تواند همواره به دلیل هزینه سنگین توجیه پذیر باشد و به لحاظ زیست محیطی و دیگر دلایل اقتصادی- اجتماعی مطلوب نیست. ارزیابی خطر سیلاب از جمله معیارهای غیر سازهای می باشند که اهمیت آن روز به روز آشکارتر می شود، بطوریکه چه از دیدگاه مدیریت خطر سیلاب و چه از دیدگاه مدیریت غیرسازهای سیلاب، در نواحی که می تواند منجر به خسارات جانی مالی شود منجر به کاهش خطرات و خسارات ناشی از سىلاب خواھد شد.

منابع

- 1. Abedini, M. and R. Fathi jukdan. 2016. Zoning the risk of flooding in the Gorganrood catchment using Arc GIS. Hydrogeomorphology, 7: 1-17 (In Persian).
- Bazai, N.A., P. Cui, K.J. Zhou, S. Abdul, K.F. Cui, H. Wang, G.T. Zhang and D.Z. Liu. 2021. Application of the soil conservation service model in small and medium basins of the mountainous region of Heilongjiang, China. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-16.
- 3. Beven, K.J. and M.J. kirkby. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / UN modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrol Sci Bull, 24: 43-69.
- 4. De Almeida, I.K., A.K. Almeida, J.L. Steffen and T.A. Sobrinho. 2016. Model for estimating the time of concentration in watersheds. Water Resour Manag, 30: 4083-4096.
- 5. De Risi, R., F. Jalayer and F. De Paola. 2015. Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas. Journal of Hydrology, 527: 316-325.
- 6. Doerfliger, N., P.Y. Jeannin and F. Zwahlen. 1999. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). Environmental Geology journal, 39: 165-176.
- Du, J.K., L. Qian, H. Rui, T. Zuo, D. Zheng, Y. Xu and C.Y. Xu .2012. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. Journal of Hydrology, (464 -465): 127-139.
- Gholami, SH., M. Habibnezhad roshan and M. Nooripoor. 2015. The effect of population growth on land use change (case study: Vaz catchment, Noor). Journal of Natural ecosystem of Iran, 6(1-2): 37-56 (In Persian).
- 9. Gurdak, J.J., J.E. McCray, G. Thyne and S.L. Qi. 2007. Latin hypercube approach to estimate uncertainty in ground water vulnerability. Ground Water, 45: 348-361.

- 10. Hadian amri, M.A. and M. Habibneghad roshan. 2011. Comparison of experimental methods for estimating maximum flood discharge in Vaz River basin of Mazandaran province. 7th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Iran, Esfahan. 7 pp (In Persian).
- 11. Loague, K., R.L. Bernknop, R.E. Green and T.W. Giambelluca. 1996. Uncertainty of groundwater vulnerability assessments for agricultural regions in Hawaii: Review. Journal of environmental quality, 25: 475-490.
- 12. Moore, I.D., R.B. Grayson and A.R. Ladson. 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Process, 5(1): 3-30.
- 13. Motevalli, A. and M. Vafakhah. 2016. Flood hazard mapping using synthesis hydraulic and geomorphic properties at watershed scale. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 30: 1889-1900.
- 14. Müller, A., J. Reiter and U. Weiland. 2011. Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach-a case study for Santiago de Chile. Natural Hazardous Earth System Sciences, 11(8): 2107-2123.
- 15. Pelling, M. 1997. What determines vulnerability to floods; a case study in Georgetown, Guyana. Environ Urban, 9: 203-226.
- 16. Rahmani, A. 2019. Flood damage is a short-term consequence of natural resource protection. Iran nature, 4(2): 73-87 (In Persian).
- 17. Rahmati, O., H.R. Pourghasemi and H. Zeinivand. 2016. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. Geocarto International, 31: 42-70.
- 18. Sadeghi, H., S. Gharemahmudli, A. Khaledi Darvishan, H. Kheirfam, M. Kiani Harchegani and P. Saeidi. 2014. Effect of river sand and gravel mining on monthly changeability of suspended sediment concentration. Journal of Water and Soil Resources conservation, 3(3): 65-77 (In Persian).
- Shirzadi, M. and N. Hashemzadeh inisofla. 2016. Flood prediction in Ahar Chay catchment using SCS and GIS artificial neural network (ANN). 2nd International Congress of Earth Sciences and Urban Development, Tabriz, Iran, 14 pp (In Persian).
 Solaimani, K. and F. Shokrian. 2020. Suitable Site Selection of Fog Water Harvesting Based-On RS
- 20. Solaimani, K. and F. Shokrian. 2020. Suitable Site Selection of Fog Water Harvesting Based-On RS Data in Upstream of Vazrud Watershed in Iran. Jour a of Watershed Management Research, 11(21): 249-258 (In Persian).
- 21. Solaimani, K., F. Shokrian, R. Tamartash and M. Banihashemi. 2010. Efficiency of ETM+ Data Analysis to Determining of Suitable Vegetation Indices (Case Study: Vazrud Watershed). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 4: 71-82 (In Persian).
- 22. Solaimani, K., J. Zandi and M. Habibnejad. 2014. Evaluating the Efficiency of Frequency Ratio, Bivariate (Wi) and (Wf) Methods of Landslide Susceptibility Mapping, A Case Study: Vazroud Watershed, Mazandaran Province, Iran. Geosciences Scientific Quarterly Journal, 24: 41-50 (In Persian).
- 23. Solaimani, K. 2002. Morphometric analysis of Vazrood basin. Final report of the research project. Mazandaran University (In Persian).
- 24. Solaimani, K. 2021. Investigation of historical floods in non-statistical basins using remote sensing techniques (Case study: Vazrood Basin). Final report. Sari University of Agriculture and Natural Resources (In Persian).
- 25. Tariq, M. 2013. Risk-based flood zoning employing expected annual damages: The Chenab River case study. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27: 1957-1966.
- 26. Tehrany, M.S., B. Pradhan and M.N. Jebur. 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology, 512: 332-343.
- Trigila, A., C. Iadanza, C. Esposito and G. Scarascia-Mugnozza. 2015. Comparison of Logistic regression and random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy). Geomorphology, 249: 119-136.
- 28. Van Westen, C.J. 2013. Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Bishop, M.P. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, Remote Sensing and GIS science in Geomorphology, 3: 259-298.
- 29. Yousefzadeh, A., B. Zeinali, K. Khalil Valizadeh and S. Asghari Sar Eskanrood. 2019. The Extraction of Flood Potential of Simineh River Basin Applying Satellite Images, Topographic Wetness Index and Morphological Features. Geographical and Sustainability of environment, 9(32): 49-61(In Persian).
- 30. Zandi, J., M. Habibnejad and K. Solaimani. 2013. Soil erosion risk assessment and its relationship with some environmental parameters (Case study: Vazroud watershed, Mazandaran). Journal of Range and Watershed Management, 66(3): 401-415 (In Persian).

Investigation of Flood Risk in Ungauged Watersheds using Geomorphic Features (A Case Study: Vazrood Watershed)

Karim Solaimani¹ and Fatemeh Shokrian²

 Professor, Sari of Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
 Assistant Professor, Sari of Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, (Corresponding Author: shokrian.f@gmail.com) Received: 18 February, 2021 Accepted: 7 April, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Due to the lack of discharge stations and rainfall in the Vazroud basin, it is not possible to have a relatively accurate hydrological behavior of the region. Therefore, by addressing the geomorphic features, this problem can be overcome to reduce the damage caused by floods in the future. In this study, in order to determine the flood risk of flood-prone areas, two geomorphic factors including topographic wetness index and stream power index were used.

Material and Methods: Due to the lack of sufficient data related to the discharge of Vazroud watershed, the characteristics of historical flood risk were determined in this area. In the first step, the SCS method was used to simulate the peak discharge. After determining the quantitative characteristics of flood risk (peak discharge) in the next step, the qualitative risk of flood was predicted. In order to determine the qualitative risk of floods, a combination of two factors, the strength of the river and the level of floodplains, was used as the damage that could be caused. The amount of flood-prone regions with different return periods was determined by topographic moisture index threshold method.

Results: The results of this method showed that with increasing the flood return period, the amount of flood-prone lands increases and the amount of topographic moisture index should decrease with increasing the flood return period. The results of flood risk maps with different return periods showed that as the flood return period becomes larger, the areas affected by flood risk in the hazard classes generally increase. The results of total lands that will be at risk of floods with return periods of 2, 10, 25, 50 and 100 years will reach 2.2, 3, 4.2 and 9.8% in the whole basin, respectively. Also, Vaz Tangeh, Nojmeh and Vaz olia villages with 20.6, 16.4 and 13.1% of flood-affected lands were determined as the most vulnerable rural areas in Vazrood watershed, respectively.

Conclusion: Flood risk prediction depends on the characteristics of the catchment and the hydrological and geomorphic factors of the region. So that in areas that have incomplete and low statistics as one of the non-structural flood management tools and complementary to structural methods, it plays an important role in flood control and reduction of potential damages.

Keywords: Curve Number, Flood Risk Management, Stream power index, Topographic wetness Index