



The Extraction of Flood Potential of Simineh River Basin Applying Satellite Images, Topographic Wetness Index and Morphological Features

Ardashir Yousefzadeh¹, Battol Zeynali^{1*}, Khalil Valizadeh Kamran², Saayad Asghari Sar Eskanrood¹

¹ Department of Physical Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

² Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 23 July 2019

Accepted 23 September 2019

Available online 11 November 2019

Keywords:

Simineh Catchment, Flood, Digital Elevation Model, Landsat8 and Topographic Wetness Index.

Citation: Yousefzadeh, A., Zeynali, B., Valizadeh Kamran, Kh., Asghari Sar Eskanrood, S. (2019). The Extraction of Flood Potential of Simineh River Basin Applying Satellite Images, Topographic Wetness Index and Morphological Features. *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (3), 49-61. doi: [10.22126/GES.2019.4294.2071](https://doi.org/10.22126/GES.2019.4294.2071)

ABSTRACT

Identifying flood-prone areas is one of the essential strategies in planning to mitigate the damaging effects of floods. In this study, topographic and morphological indices were used to investigate flooding. Due to the effect of hydrogeomorphic features on flooding, these features were extracted by ARCGIS software and watershed modeling system with the help of digital elevation model and topography layers. Due to lack of accurate field data and incidence of soil moisture, vegetation layer and precipitation statistics from remote sensing facilities, soil moisture and precipitation were extracted. In order to control and compare the information extracted from precipitation satellite images dated December 03, 2016, it was selected as a flood sample. Due to the importance of topographic moisture index to describe soil moisture conditions and estimation of physical and hydrological characteristics, this index was used and the output map was classified according to the area. To illustrate flood-prone areas, a hybrid model was used in which the soil surface moisture layers (optical trapezoidal model was extracted from Landsat 8 images), vegetation, precipitation and topographic moisture index were applied. After mapping the maps and weighting, the layers were merged into GIS environment and the flood potential map of the basin was extracted and the basin was flooded with five flood susceptibility ranges, moderate floods, partly floods and floods, respectively. The flood was classified. According to the extraction map and analysis, out of 3279 km², about 81.6 km² (2.5%) were susceptible to flood and 1.9% of the area with moderate risk of flood was identified. Most flood prone areas are located in the central plain and the north of the basin in the flat marginal lands of the Simineh River.



استخراج پتانسیل سیل خیزی حوضه سیمینه رود با کمک تصاویر ماهواره‌ای، شاخص رطوبت توپوگرافی و ویژگی‌های مورفولوژیکی

اردشیر یوسف‌زاده^۱، بتول زینالی^{۲*}، خلیل ولیزاده کامران^۲، صیاد اصغری سراسکانرود^۱

^۱گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۲گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، تبریز، ایران.

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	شناسایی مناطق سیل‌گیر از راهکارهای اساسی در برنامه‌ریزی کاهش اثرات تخریبی سیل است. در نوشتار پیش رو از شاخص‌های توپوگرافی و مورفولوژیکی به‌منظور بررسی سیل‌زایی استفاده شده است. به‌دلیل اثرگذاری ویژگی‌های هیدروژئومورفیک در سیل‌زایی، این ویژگی‌ها با نرم‌افزارهای آرک‌جی.آی.اس. و سیستم مدل‌ساز حوضه آبریز با کمک لایه‌های مدل رقومی ارتفاع و توپوگرافی استخراج شدند. به‌دلیل نبود اطلاعات میدانی دقیق و به‌روز از رطوبت سطحی خاک، لایه پوشش گیاهی و آمار ثبتی بارش، از امکانات سنجش از دور اقدام به استخراج رطوبت خاک و بارش شده است. برای کنترل و مقایسه اطلاعات به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای، بارش مورخ ۱۲ آذر ۱۳۹۵ به‌عنوان نمونه بارش سیلابی انتخاب شد. با توجه به اهمیت شاخص رطوبت توپوگرافی برای توصیف شرایط رطوبتی خاک و تخمین ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژی از این شاخص استفاده شده و نقشه خروجی به‌صورت طبقه‌بندی در منطقه بررسی شد. برای نمایش نواحی مستعد سیلاب از مدل ترکیبی که در آن از لایه‌های رطوبت خاک سطحی (از مدل ذوزنقه‌ای فیزیکی از تصاویر لندست ۸ استخراج شد)، پوشش گیاهی، بارش و شاخص رطوبت توپوگرافی استفاده شده است. پس از همسان‌سازی نقشه‌ها و وزن‌دهی، روی هم‌گذاری لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام و نقشه پتانسیل سیل‌زایی حوضه استخراج شد و حوضه به‌ترتیب شدت سیل‌زایی به پنج محدوده مستعد سیلاب، سیلاب متوسط، تاحدودی سیلابی، سیلاب بسیار کم و فاقد سیلاب طبقه‌بندی شد. براساس نقشه استخراجی و تجزیه و تحلیل نتایج، از کل ۳۲۷۹ کیلومتر مربع منطقه، حدود ۸۱/۶ کیلومتر مربع (۲/۵٪) مستعد سیلاب بوده و ۱/۹٪ از منطقه با میزان خطر متوسط برای سیلاب شناسایی شد. محدوده‌های مستعد سیلاب بیشتر در نواحی دشتی مرکزی و شمال حوضه در زمین‌های مسطح حاشیه‌ای رود سیمینه قرار گرفته است.
تاریخچه مقاله: دریافت ۱ مرداد ۱۳۹۸ پذیرش ۱ مهر ۱۳۹۸ دسترسی آنلاین ۲۰ آبان ۱۳۹۸	
کلیدواژه‌ها: حوضه آبریز سیمینه، سیلاب، مدل رقومی ارتفاع، لندست ۸، شاخص رطوبت توپوگرافی.	
استناد: یوسف‌زاده، اردشیر؛ زینالی، بتول؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۸). استخراج پتانسیل سیل‌خیزی حوضه سیمینه رود با کمک تصاویر ماهواره‌ای، شاخص رطوبت توپوگرافی و ویژگی‌های مورفولوژیکی. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۲ (۳)، ۴۹-۶۱. doi: 10.22126/GES.2019.4294.2071	

مقدمه

پدیده سیل یکی از مهم‌ترین مسائل دنیا و از جمله ایران است. مخاطرات ناشی از سیلاب موجب بروز ناپایداری محیطی و برهم‌زدن تعادل است که این امر سبب ایجاد ناهماهنگی در طبیعت و زندگی انسان‌های آن به‌ویژه در مناطقی دشتی اطراف رودخانه است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۵). این خطر طبیعی در بسیاری از نقاط ایران، سال به سال چه از منظر تعداد وقوع و چه شدت خسارات (سیلاب‌های پرحجم و برق‌آسا) در حال افزایش هستند. وقوع سیلاب‌های ناگهانی ناشی از بارش‌های شدید و تند و جریان سریع آب در مدت‌زمان کم است. شدت بارش به‌مثابه مسئله اقلیمی عامل اصلی در ایجاد سیلاب بوده و ویژگی‌های هیدروژئومورفیک حوضه بستر ادغام آب‌های سطحی در حوضه عامل دیگر در ایجاد سیلاب شناخته می‌شود (بانقرا^۱، ۲۰۱۳: ۱۰). در هر صورت وقوع سیلاب پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است و با اینکه نمی‌توان مانع رخداد آن را شد، اما با اقداماتی می‌توان خسارات ناشی از آن را به حداقل رساند (پرووریز و سوتانتو^۲، ۲۰۰۴: ۲۰).

پهنه‌بندی سیل یکی از بهترین روش‌ها برای برنامه‌ریزی و شناسایی مناطق حساس سیل با هدف کاهش خطرات آن شناخته می‌شود (تهرانی^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). روش‌های موجود برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل در چهار گروه عمده شامل روش مشاهده‌ای یا استفاده از مشاهده داغ آب سیلاب، مقایسه عکس‌های هوایی منطقه، محاسبات دستی و استفاده از مدل‌های ریاضی تقسیم‌بندی می‌شود (ولیزاده کامران، ۱۳۸۶). در روش استفاده از مدل‌های ریاضی، جریان سیلاب شبیه‌سازی شده و پس از محاسبه پروفیل، پهنه سیل با دوره‌های بازگشت مختلف بر روی نقشه‌های توپوگرافی منتقل می‌شود (برخوردار و چاوشیان، ۱۳۷۹). به‌منظور پهنه‌بندی سیل، اداره مهندسی ارتش آمریکا^۴ (۲۰۰۲) مدل تک‌بعدی هک-راس^۵ را توسعه داد و با توجه به قابلیت تحلیلی موجود در آن، یکی از کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای مهندسی آب استفاده می‌شود.

ابداع مدل‌های ریاضی جدید و پیشرفته، امکانات زیادی برای تحلیل دقیق‌تر جریان سیلاب در اختیار می‌گذارد و از سوی دیگر امکانات سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی توانایی زیادی برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سیل و نمایش بصری آن‌ها در اختیار کاربران قرار می‌دهد. در این راستا با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه خطر سیل برای سیل تاریخی ۱۹۸۸ بنگلادش تهیه شد (اسلام و سادو^۶، ۲۰۰۰). با طراحی مدلی از ترکیب نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و با کمک آمار ایستگاه‌های ثبت زمینی و کالیبره‌نمودن آمار تصاویر ماهواره‌ای و بانقرا^۷ (۲۰۱۳) با لحاظ نقش رطوبت خاک، استخراج محدوده‌های در معرض خطر سیل در آفریقای جنوبی اقدام کرد.

با توجه به اهمیت رطوبت خاک در زمان بارش، شاخص رطوبت توپوگرافی^۸ ابزاری مفید برای تعیین وضعیت رطوبت خاک به حساب می‌آید. این شاخص ارتباط زیادی با میزان سطح آب زیرزمینی منطقه دارد (اتکینسون^۹، ۱۹۹۷)؛ همچنین لاوال و اومودوجی^۹ (۲۰۱۷) همبستگی و رابطه معنی‌دار شاخص‌های زبری

1- Bangira

2- Proverbs & Soetanto

3- Tehrani & Else

4- USA Army Corps of Engineers

5- Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS)

6- Islam & Sado

7- Topographic Wetness Index (TWI)

8- Atkinson

9- Laval & Umeuduji

سطح - اندازه‌گیری زبری عمودی^۱، شاخص زبری توپوگرافی^۲ و شاخص رطوبت توپوگرافی را در تشخیص مناطق سیلابی و غیر سیلابی اثبات کرده و اثر بیشتر شاخص رطوبت توپوگرافی نسبت به سایر شاخص‌ها در تشخیص مناطق سیلابی را تأیید نمودند.

در پهنه‌بندی سیل، نواحی سیلاب‌دشت به قسمت‌هایی با خطرپذیری‌های متفاوت تقسیم می‌شوند و شاخص رطوبت توپوگرافی ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه است (گراس^۳ و همکاران، ۲۰۰۹). راد (۱۳۹۶: ۶۲) با روی هم‌گذاری نتایج نرم‌افزار هک-راس و شاخص رطوبت توپوگرافی، دقت پهنه‌بندی سیلاب را بالای ۷۴٪ برآورد کردند که نشانگر دقت مناسب شاخص یادشده است.

کاظمی و همکاران (۱۳۹۵) برای شبیه‌سازی جریان رودخانه، محاسبه و تعیین پروفیل سطح آب و سایر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان از مدل هک-راس، الحاقیه هک-ژئوراس^۴ و نرم‌افزار آرک جی.آی.اس. استفاده کردند و تشخیص دادند که به دلیل شرایط جغرافیایی، روستاها و زمین‌های کشاورزی واقع در حاشیه رودخانه سیمینه، هنگام وقوع سیل زیر آب رفته و باعث ایجاد تلفات جانی و مالی می‌شود، به‌طوری‌که بیشترین مساحت زمین‌های زراعی، باغ‌های منطقه و مناطق مسکونی در این بازه در بستر و حریم رودخانه، در معرض خطر سیلاب قرار دارند.

حوضه سیمینه به دلیل شرایط هیدرولوژیکی، اقلیمی و ژئومورفولوژیکی، جزو مناطق سیل خیز کشور است. وجه غالب سیلاب‌ها در شمال غربی ایران ناشی از باران یا ترکیب ذوب برف و باران است (مهدوی، ۱۳۷۶). تعیین میزان پیش‌روی سیلاب و شناسایی این مناطق بسته به شدت سیل اتفاق افتاده به‌منظور اطلاع‌رسانی و برنامه‌ریزی مناسب برای حذف یا حداقل کاهش صدمات و خسارات ضروری است. با توجه به توانایی‌های مدل‌های ریاضی، در پژوهش حاضر با ترکیب و استفاده هم‌زمان از داده‌های جغرافیایی مختلف ازجمله تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی از مدل ریاضی ترکیبی استفاده شد و ضمن ایجاد تغییرات در مدل انجام‌گرفته بانقرا (۲۰۱۳) در کشور آفریقای جنوبی به کمک شاخص رطوبت توپوگرافی حاصل از مدل رقومی ارتفاع، رطوبت خاک و پوشش گیاهی به استخراج پهنه‌های در معرض خطر سیل حوضه سیمینه‌رود اقدام شده است.

معرفی منطقه مورد بررسی

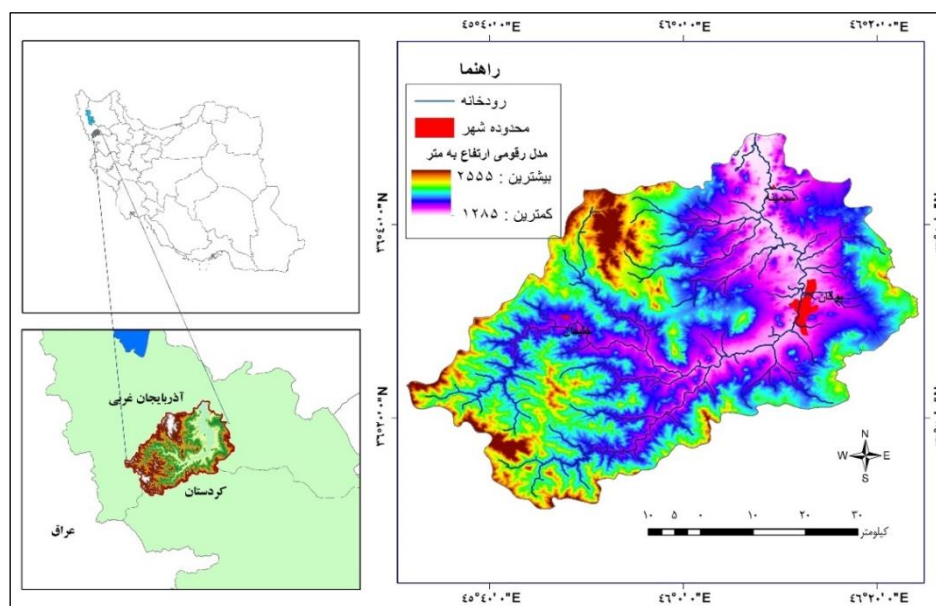
منطقه مطالعاتی حوضه رودخانه سیمینه‌رود با مساحتی در حدود ۲۹۷۷ کیلومتر مربع از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه است (شکل ۱). منطقه در اقلیم نمای آمبرژه در ناحیه نیمه‌خشک سرد متمایل به نیمه‌مرطوب سرد قرار دارد. مرتفع‌ترین نقطه حوضه با ارتفاع ۲۵۸۰ متر در شمال غرب محدوده و پست‌ترین نقطه حوضه نیز با ارتفاع ۱۳۰۰ متر در شمال محدوده در محل خروجی رودخانه از حوضه واقع است. متوسط ارتفاع حوضه ۱۶۱۷ متر است و شیب متوسط حوضه ۱۷٪ بوده و مناطق کوهستانی غربی با کوهستان‌های پرشیب و مناطق شرقی و شمالی شیب کمتری دارد. دما از شمال به جنوب کاهش و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. براساس گزارش شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی (۱۳۹۶)، میانگین بارندگی سالانه در ارتفاعات و دشت به ترتیب برابر ۴۶۷ و ۳۹۳ میلی‌متر برآورد شده است.

1- Vector Roughness Index (VRI)

2- Terrain Roughness Index (TRI)

3- Grabs

4- HEC-GEORAS



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در نوشتار پیش رو با توجه به ماهیت آن از ترکیب اطلاعات به‌منظور استخراج نتایج استفاده شد. ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مورفومتریک و هیدروژئومورفیک را با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع^۱ استخراجی از تصاویر سنجنده استر^۲ با قدرت تفکیک ۳۰ متر با کمک نرم‌افزارهای آرک جی.آی.اس. ۱۰،۲ و سیستم مدل سازی حوضه آبریز^۳ استخراج شد. به کمک ایکستشن تا.او.دی.ای.ام.^۴ در نرم‌افزار آرک جی.آی.اس.، شاخص رطوبت توپوگرافی استخراج شد. به‌منظور استخراج بارش حدی تصاویر سنجنده مأموریت ثبت بارش مناطق گرمسیری^۵ برای محدوده مورد نظر از سایت ناسا دریافت و برای منطقه بارش برآوردی از این تصاویر با بارش ثبت‌شده از ایستگاه‌های مقایسه شد. رطوبت خاک و پوشش گیاهی از تصاویر لندست ۸ با دریافت از سایت ناسا استخراج شدند. با استفاده از مدل و الگوریتم، تمامی نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی براساس وزن و اهمیت روی هم‌گذاری شد و پتانسیل پهنه‌بندی سیل استخراج شد.

ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مورفومتریک و هیدروژئومورفیک

عامل اساسی در ایجاد سیلاب، ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه است. این ویژگی‌ها هرچند به‌مثابه عامل اولیه ایجاد سیلاب نبوده، با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های هیدروولوژیکی از مدل رقومی ارتفاع استخراج می‌شود (بانقرا، ۲۰۱۳)؛ همچنین ویژگی‌های هیدروژئومورفیک حوضه اثرگذاری شدیدی در پتانسیل سیل‌زایی دارد که تحت تأثیر دو عامل ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفیک حوضه در برآورد پتانسیل سیل‌پذیری در خیلی از مناطق جهان مورد تأیید است (مارچی^۶ و همکاران، ۲۰۱۰). پس از استخراج حوضه، تجزیه و تحلیل‌های لازم

1- Digital Elevation Model

2- ASTER

3- Watershed Modeling System

4- TAU DEM

5- Tropical Rainfall Measuring Mission

6- Marchi

برای استخراج شاخص رطوبت توپوگرافی و سایر پارامترها مطابق پارامترهای هورتون^۱ (۱۹۴۵) انجام گرفت. این خصوصیات با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، سنجش از دور و مدل‌های رقومی ارتفاعی در نرم‌افزارهای آرک جی.آی.اس. و سیستم مدل‌سازی حوضه آبریز استخراج شد (جدول ۱).

شاخص رطوبت توپوگرافی

شاخص رطوبت توپوگرافی ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه بوده و این فرایند از نوعی تجزیه و تحلیل دیجیتالی^۲ استفاده می‌کند که منجر به شاخص رطوبت توپوگرافی می‌شود تا کنترل توپوگرافی فرایندهای هیدرولوژیکی را اندازه‌گیری کند (ایسکلاچی^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). این شاخص مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک در حوضه‌ها را بر فرض برابری شیب آب زیرزمینی با شیب سطح زمین، تقریب می‌زند و همان‌طور که در رابطه^۱ نشان داده شده است، از انباشت نقاط مشهود محاسبه می‌شود که تمامی نقاط حوضه در شاخص توپوگرافیک جواب هیدرولوژیک از آن استخراج می‌شود (بون و همکاران، ۱۹۷۹).

$$TWI = \ln [CA/Slope]$$

رابطه ۱

CA: منطقه‌ای است که با یک شبکه تخلیه می‌شود و Slope: شیب برای هر سلول براساس ارتفاع نقاط و فاصله آن‌ها برحسب درجه یا درصد است، به‌طوری که ارزش هر سلول معادل شیب متوسط آن در جهت‌های مختلف خواهد بود. (تاربتون^۴، ۱۹۹۷).

شاخص رطوبت توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به کمک ایکستشن تا.اودی.ای.ام. در آرک جی.آی.اس. ۱۰،۲ استخراج شد. پس از تولید شاخص رطوبت توپوگرافی، نقشه مورد نظر برای حوضه مورد مطالعه استخراج شد. در این نقشه بیشترین ارقام مربوط به مناطق دارای شاخص رطوبت توپوگرافی بیشتر و ارقام کمتر مربوط به مناطق دارای شاخص یا خطر کمتر است.

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی حوضه استخراجی از سیستم مدل‌ساز حوضه آبریز

ردیف	علائم	ویژگی‌های مورفومتریک	میزان
۱	CSD	فاصله از مرکز ثقل حوضه تا یک نقطه در جریان	۹۳ کیلومتر
۲	MSS	شیب MSL	۴/۱ متر در کیلومتر
۳	MSL	حداکثر طول جریان درون حوضه	۱۴۷/۶ کیلومتر
۴	MFD	فاصله حداکثر جریان درون حوضه	۱۵۱ کیلومتر
۵	AVEL	میانگین ارتفاع حوضه	۱۶۲۹ متر
۶	P	محیط حوضه	۳۴۸ کیلومتر
۷	BS	متوسط شیب حوضه	۱۷ درصد
۸	A	مساحت حوضه	۲۹۷۷ کیلومتر مربع
۹	FF	ضریب فرم	۰/۳
۱۰	SF	ضریب شکل	۳/۶
۱۱	GF	ضریب گراویلیوس	۱/۵
۱۲	DD	تراکم زهکشی	۰/۸۴
۱۳	TSL	مجموع طول جریان	۲۵۱۲ کیلومتر

1- Horton

2- Digital Terrain Analysis (DTA)

3- Schillaci

4- Tarboton

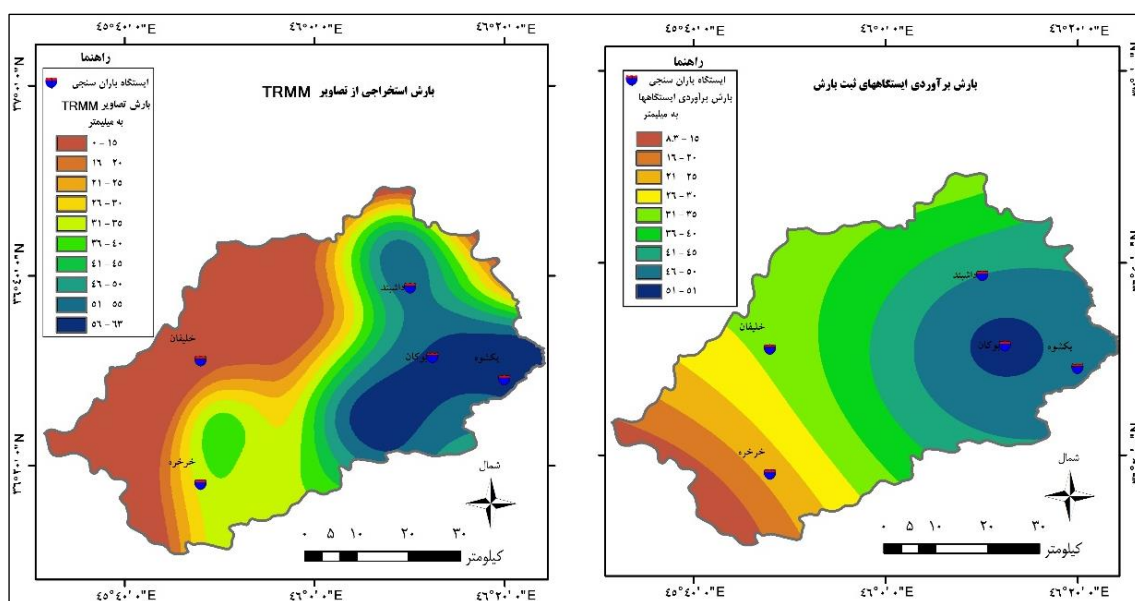
بارش حدی شدید اتّفاق افتاده حوضه

با استفاده از بارش‌های ثبت‌شده، ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک، بارش ۱۲ آذرماه ۱۳۹۵ به دلیل بارش قابل توجه به میزان ۵۰ میلی‌متر در طی ۲۴ ساعت به‌منزله حادثه بارشی حدی انتخاب شد. به‌منظور مقایسه و کنترل بارش‌های ثبت‌شده ایستگاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری بارش مناطق گرمسیری^۱ (تی.آر.ام.ام)، اطلاعات آماری پنج ایستگاه مورد تأیید از ثبت اطلاعات بارش موجود در حوضه بررسی و استفاده شدند (جدول ۲).

تصاویر سنجنده تی.آر.ام.ام برای محدوده مورد نظر از سایت ناسا^۲ برای سطح ۳ و با فرمت تصویری تیف^۳، با فاصله زمانی سه ساعت برای تاریخ ۱۲ آذرماه ۱۳۹۵ (۲۰۱۶/۱۲/۰۲) دانلود شد؛ سپس با استفاده از نرم‌افزار آرک جی.آی.اس و توابع تحلیل ارزش پیکسل‌ها^۴ از مجموعه بارش‌های سه ساعته بارش روزانه استخراج شد. اطلاعات موجود در تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر به ایستگاه‌های باران‌سنجی (شکل ۲) منتقل شده و با استفاده از توابع درونیابی میزان بارش در سیمینه‌رود برآورد شد.

جدول ۲. اطلاعات بارش ایستگاه‌های ثبت زمینی مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	دستگاه متوالی	بارش ثبت‌شده به mm در ۹۵/۰۹/۱۲	بارش استخراجی از تصاویر TRMM به mm در مورخ ۹۵/۰۹/۱۲
۱	بوکان	سینوپتیک	هواشناسی	۵۱	۵۶
۲	یکشوه	باران‌سنجی	هواشناسی	۴۷	۵۸
۳	داشبند	باران‌سنجی	آب‌منطقه‌ای	۳۲	۵۳
۴	خلیفان	باران‌سنجی	هواشناسی	۲۹	۱۰
۵	خورخوره	باران‌سنجی	هواشناسی	۶۰	۳۲



شکل ۲. انحراف بارش ایستگاه‌های زمینی با تصاویر سنجنده تی.آر.ام.ام.

- 1- Tropical Rainfall Measuring Mission
- 2- <https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>
- 3- TIFF
- 4- Cell Statistics

پتانسیل سیلاب لحظه‌ای حوضه

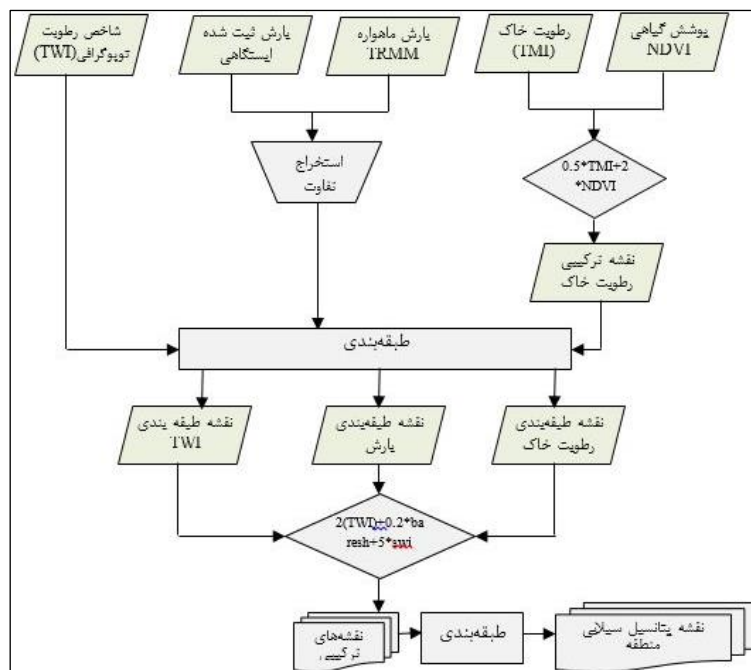
سیل خیزی، وضعیت سیلاب را در یک حوضه نشان می‌دهد و می‌توان به عوامل مختلفی از جمله رخداد بارش‌های شدید، ذوب ناگهانی برف در منطقه کوهستانی و عملکرد هم‌زمان هردو عامل اشاره کرد. پس از دریافت تمامی تصاویر مورد نیاز که نشانگر ویژگی‌های هیدروفیزیوگرافی مؤثر در سیلاب هستند، کل نقشه‌ها به‌منظور همسان‌سازی نقشه‌ها با روش نزدیک‌ترین همسایگی هم‌اندازه شدند و طبقه‌بندی لازم براساس نیاز برای هرکدام از نقشه‌ها مطابق مدل شکل ۳ با استفاده از امکانات تجزیه و تحلیل رستری نرم افزار آرک جی.آی.اس. صورت گرفت.

در مدل یادشده شاخص رطوبت توپوگرافی از تصاویر استر استخراج شده است. لایه بارش‌های ایستگاهی به‌همراه اطلاعات به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای آر.ام.ام. مورد استفاده و مقایسه قرار می‌گیرند. شاخص رطوبت خاک از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با مدل مرئی - حرارتی دوزنقه‌ای^۱ به تاریخ ۱۹ آذر ماه ۱۳۹۵ استخراج استفاده شد و شاخص ان.دی.وی.آی^۲ با استفاده از تصاویر لندست ۸ به همان تاریخ تهیه شد.

انحراف بارش با بررسی تفاوت بین نتایج ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای برای بارش ۲۴ ساعته پیدا شد. انحراف مثبت، پتانسیل سیل را نشان می‌دهد و انحراف منفی، نشانگر بارش کمتر از حد میانگین است. نقشه‌های ناهنجاری برای مقادیر منفی اصلاح و با نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی ترکیب شد. در مدل یادشده نقشه بارش با توجه به منشأ اصلی در ایجاد سیلاب بیشترین وزن را به خود اختصاص داد (رابطه ۲).

رابطه ۲ $(TWI) 2 + (ناهنجاری بارش) 0.5 =$ (ترکیب نقشه ناهنجاری بارش و شاخص TWI)

پس از ترکیب لایه‌ها، سه لایه طبقه‌بندی شامل رطوبت توپوگرافی، بارش و نقشه رطوبت خاک^۳ با استفاده از تجزیه و تحلیل رستری با وزن‌های متفاوت طبق الگوی مدل ۳ روی هم‌گذاری شد.



شکل ۳. مدل استخراج پتانسیل سیل خیزی مناطق حاصل از سیلاب (بانقرا، ۲۰۱۳)

1- Thermal-Optical Trapezoid Model

2- NDVI

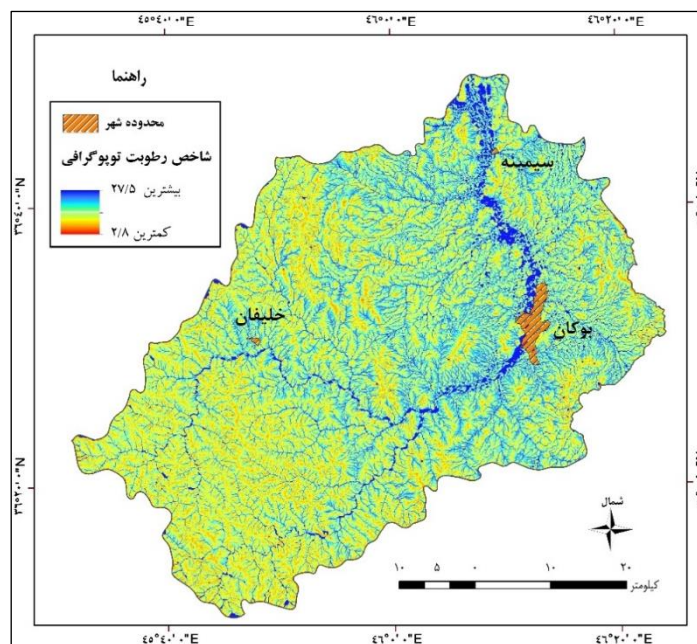
3- Soil wetness map

نتایج

در شاخص رطوبت توپوگرافی استخراجی حوضه، پیکسل‌های دارای ارزش بالاتر از ۱۰ را به‌منزله مناطق دارای خیزی زیاد انتخاب و طبقه‌بندی لازم در حوضه انجام شد (شکل ۴). در محدوده مورد مطالعه طبق اطلاعات استخراجی از شاخص رطوبت توپوگرافی، حدود ۲۶۲ کیلومتر مربع (۲۹۱۰۷۳ پیکسل) دارای ارزش بالاتر از ۱۰ است و حدود ۵۵۳ کیلومتر مربع (۶۱۴۷۳۴ پیکسل) در مناطق دشتی و صاف فاقد اطلاعات هستند. با احتساب مناطق فاقد اطلاعات در مناطق دشتی و TWI بالا حدود ۲۴٪ حوضه دارای شاخص رطوبت توپوگرافی بیشتر هستند.

نتایج حاصل از تصاویر ماهواره تری.ام.ام. ضمن تأیید بارش شدید نشانگر برآورد کم بارش توسط تصاویر ماهواره‌ای یادشده هستند و همبستگی کامل داده‌های زمینی با اطلاعات ماهواره تی.آر.ام.ام. مورد تأیید است (شکل ۲).

صادقی و همکاران (۲۰۱۵) رطوبت خاک را به‌کمک مدل دوزنقه‌ای فیزیکی اُ.پی.تی.آر.ام.^۱ که بر پایه رابطه فیزیکی بین رطوبت خاک و «بازتاب تبدیل‌شده مادون قرمز کوتاه»^۲ پایه‌گذاری کرده‌اند. یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای حوضه یادشده استخراج کرده‌اند و نتایج نشانگر رطوبت بیشتر خاک در مناطق دره‌ای و نواحی کوهستانی غرب حوضه هستند (شکل ۵ الف). پراکنش پوشش گیاهی منطقه با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی^۳ از تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج شد (شکل ۵ ب). نتایج نشانگر تطابق و روی هم‌افتادگی مکانی پوشش گیاهی با رطوبت خاک دارد. همچنین پوشش گیاهی متراکم بیشتر در نواحی دره‌ای حاشیه رودخانه و کوهستان‌های بلند نواحی غربی حوضه گسترش دارند.



شکل ۴. توزیع شاخص رطوبت توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه

1- OPTRAM

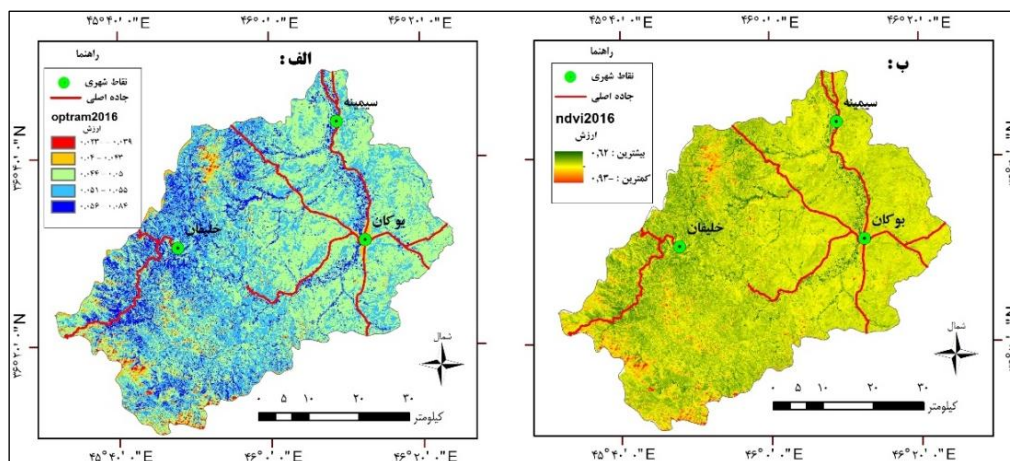
2- Shortwave infrared transformed reflectance

3- Normalized Difference Vegetation Index

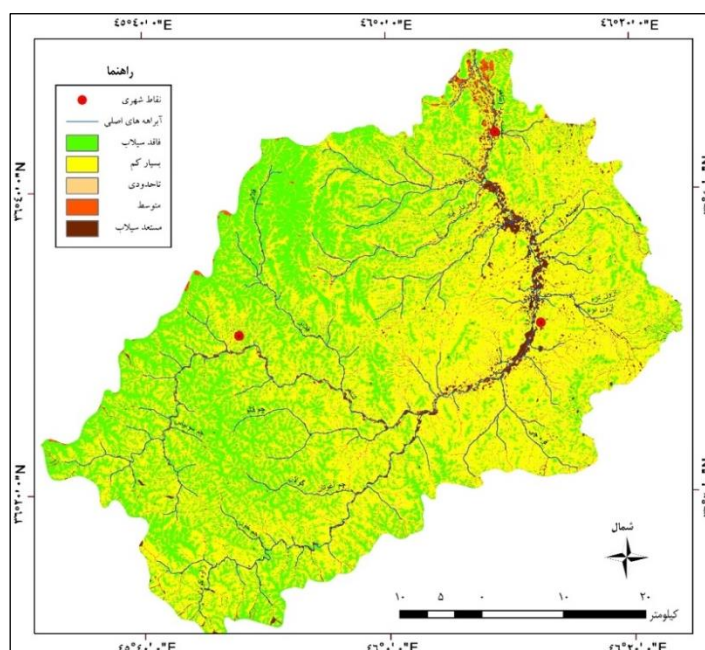
تحلیل مناطق در معرض خطر سیلاب

تجزیه و تحلیل‌های صورت‌گرفته در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی از محدوده مورد پژوهش نشان می‌دهد که مناطق مستعد سیلاب بیشتر در نواحی دشتی مرکزی و شمال حوضه که رودخانه سیمینه جریان دارد واقع شده است و به رنگ قهوه‌ای تیره نمایش داده است (شکل ۶). از کل ۲۹۷۷ کیلومتر مربع حوضه مورد مطالعه، حدود ۸۱/۶ کیلومتر مربع (۲/۵٪) مستعد سیلاب بوده و ۶۲ کیلومتر مربع (۱/۹٪) در محدوده با میزان خطر متوسط است.

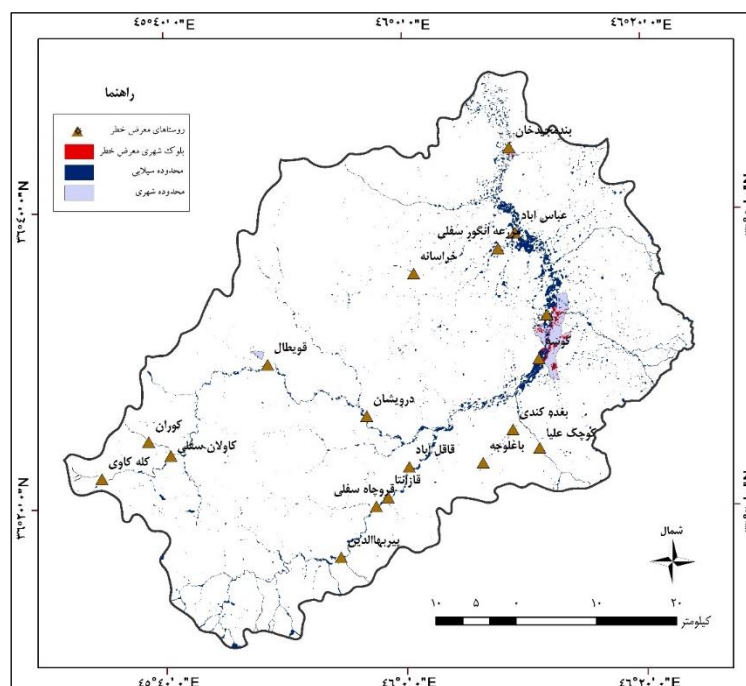
به دلیل خطرات ناشی از سیلاب در محدوده‌های سیل‌گیر لازم است در مرحله اول، اطلاعاتی همچون وضعیت و امکانات موجود در مناطق در معرض خطر جمع‌آوری شود و در مرحله بعد اطلاع‌رسانی لازم در راستای برنامه‌ریزی به منظور کاهش صدمات جانی و مالی صورت پذیرد. براساس نتایج تجزیه و تحلیل‌های مکانی، حدود هجده روستا در محدوده مستعد سیلاب قرار دارد؛ همچنین در مناطق شهری نیز قسمت‌هایی از محلات شهری در مناطق مستعد سیلاب قرار دارند (شکل ۷).



شکل ۵. الف: نقشه رطوبت خاک؛ ب: پوشش گیاهی



شکل ۶. پراکنش مکانی خطر سیلاب در حوضه سیمینه‌رود



شکل ۷. محدوده‌های در معرض خطر سیلاب در حوضه سیمینه‌رود

بحث

در پژوهش حاضر از معیارهای رطوبت توپوگرافی، رطوبت خاک، پوشش گیاهی و بارش (برآوردی از تصاویر ماهواره‌ای تی.آر.ام.ام.)، به منظور پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه در پنج طبقه فاقد سیلاب، بسیار کم، تاحدودی، متوسط، مستعد سیلاب استفاده شده است. مناطق مستعد در محدوده زمین‌های کشاورزی و نواحی کم‌شیب حاشیه رودخانه‌ها در شمال و بالاتر از شهر بوکان قرار گرفته‌اند و این مناطق را نیز کازمی و همکاران (۱۳۹۵) جزو مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا استخراج کردند. استفاده از ترکیب شاخص‌های رطوبت توپوگرافی، رطوبت خاک و پوشش گیاهی در پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب را بانقرا و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه کپ آفریقای جنوبی نیز کار کرده‌اند و محدوده را به چهار منطقه با سیلاب کم، متوسط، بیشتر و خیلی زیاد پهنه‌بندی کردند.

شاخص‌های مختلفی در مطالعه و شناسایی محدوده سیلابی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. شاخص رطوبت توپوگرافی در تشخیص پهنه‌های سیلابی و غیر سیلابی نتایج قابل اعتمادتری نسبت به شاخص‌های زبری عمودی و شاخص زبری توپوگرافی دارد (لاوال و اومودوجی، ۲۰۱۷). راد (۱۳۹۶) پهنه‌بندی سیل را با رویکرد احتمالاتی با روی هم‌گذاری نتایج هک‌راس و شاخص رطوبت توپوگرافی انجام داد و دقت نتایج آن بالای ۷۴٪ برآورد شد که کارایی مناسب ارزیابی شاخص را نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، کمترین مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی حدود ۲/۸ در مناطق کوهستانی و بیشترین آن بالای ۲۷/۵ در مناطق دشتی و مسطح حوضه سیمینه است (شکل ۴). این شاخص به‌منزله یکی از ورودی‌های اصلی در مدل (شکل ۳) استفاده شد. نتایج خروجی نشان می‌دهد که در قسمت‌های خروجی حوضه سیمینه و در مناطق هموار، به‌دلیل کاهش شیب رودخانه و افزایش حجم آب و برداشت ماسه و کم‌عرض‌بودن دشت در زمان طغیان رودخانه مطابق نتایج مطالعه کازمی و همکاران (۱۳۹۵) در برخی از نواحی پهنه وسیعی در معرض خطر سیل قرار دارد.

اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره تری.ام.ام. برای بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه تطابق زیادی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی دارند؛ ولی در مقیاس روزانه برآورد بارش کمتر از واقعیت ثبت زمینی است. با این حال روند اطلاعات تصاویر یادشده با آمار ایستگاه‌های زمینی مشابه هستند (اسلام و همکاران، ۲۰۱۰؛ میررحیمی و فیضی‌زاده، ۱۳۸۷). در پژوهش حاضر از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای تری.ام.ام. با اطلاعات بارش پنج ایستگاه حوضه مقایسه شد (شکل ۲)، بارش استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی همبستگی بالایی را نشان می‌دهد که در تاریخ مورد نظر بارش‌های لحظه‌ای باعث افزایش حجم آب ورودی به حوضه و شکل‌گیری سیلاب شده است.

روش‌های سنجش از دور مبتنی بر امواج ماکروویو، تکنیک‌هایی مؤثر برای برآورد رطوبت خاک بوده و با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی در تصاویر لندست می‌توان سطوح آب‌های سطحی را با دقت مناسب استخراج کرد (خسروی‌ان و همکاران، ۱۳۹۶). درضمن یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده شاخص مدل دوزنقه‌ای فیزیکی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، نقشه رطوبت خاک را برای حوضه سیمینه رود استخراج کردند. با توجه به اینکه رطوبت خاک از عوامل مؤثر در شکل‌گیری سیلاب بوده و اشباع رطوبتی خاک باعث افزایش پتانسیل سیل خیزی می‌شود، این عامل نیز به‌منزله فاکتور مهمی در پهنه‌بندی سیلاب در نظر گرفته شده است.

در پژوهش حاضر مناطق در معرض خطر سیلاب ناگهانی با استفاده از ترکیب داده‌های بارش ماهواره تی.آر.ام.ام.، رطوبت خاک، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، داده‌های توپوگرافی و اطلاعات ایستگاه‌های ثبت بارش در حوضه با کمک مدل مورد استفاده در مطالعه استخراج شد و مناطق براساس میزان خطر سیل پهنه‌بندی شدند. از آنجاکه اطلاعات ثبتی چندانی از بیشتر مناطق کوهستانی در دسترس نیست و در عین حال امکان گرفتن و تهیه تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای و رقومی مورد نیاز به‌منظور استخراج بارش، رطوبت خاک، مدل رقومی ارتفاع و غیره از آن مناطق میسر است؛ بنابراین امکان استفاده از روش پیش‌گفته به‌دلیل کم‌هزینه‌بودن و زمان اندک برای شناسایی مناطق مستعد سیلاب در سایر مناطق کشور نیز قابل استفاده است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج مطالعه، مناطق مستعد سیلاب، بیشتر در نواحی دشتی و کم‌شیب مرکزی و شمال حوضه و حاشیه‌های رودخانه سیمینه، واقع شده است (شکل ۶). از کل ۲۹۷۷ کیلومتر مربع منطقه مورد بررسی، حدود ۲/۵٪ از منطقه مستعد سیلاب بوده و در محدوده خطر است و حدود ۱۸ روستا به‌همراه مناطقی از شهر در معرض خطر سیلاب هستند (شکل ۷) که تمامی روستاهای در معرض خطر در کنار رودخانه واقع شده‌اند.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، محصولات ماهواره‌ای تری.ام.ام. برای برآورد میزان بارش در بارش‌های شدید، مناسب و قابل استفاده هستند. با توجه به کمبود ایستگاه‌های ثبت بارش در بیشتر مناطق کوهستانی کشور استفاده از اطلاعات ماهواره تری.ام.ام. با فرض برآورد نسبتاً کم بارش روزانه نسبت به واقعیت زمینی، برای تخمین بارش‌های شدید مناسب هستند. امکان استخراج رطوبت سطحی خاک با استفاده از شاخص مدل دوزنقه‌ای فیزیکی که از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده می‌شود، وجود دارد. با توجه به اینکه نتایج خروجی رطوبت سطحی خاک در عمل با خروجی‌های شاخص رطوبت توپوگرافی هم‌پوشانی و تناسب دارد؛ ضمن

اطمینان به نتایج استخراجی شاخص رطوبت خاک، می‌توان در مدل استفاده‌شده لایه رطوبت خاک را حذف و لایه شاخص رطوبت توپوگرافی را جایگزین کرد و اقدام به استخراج مناطق سیلابی نمود. با توجه به دقت مناسب مدل و وجود اطلاعات و تصاویر ماهواره‌ای امکان استفاده از آن در سایر مناطق به‌ویژه مناطق کوهستانی که فاقد اطلاعات ثبت‌شده میدانی هستند، استفاده از این مدل در شناسایی محدوده‌های در معرض سیل پیشنهاد می‌شود.

منابع

- برخوردار، مهرداد؛ چاوشیان، سیدعلی (۱۳۷۹). روش‌های مختلف پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از فن‌آوری نوین GIS. کارگاه روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب، تهران.
- خسروی، مریم؛ انتظاری، علی‌رضا؛ رحمانی، ابوالفضل؛ باعقیده، محمد (۱۳۹۶). پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور. *هیدروژئومورفولوژی*، ۴ (۱۳)، ۹۹-۱۲۰.
- راد، مژگان. (۱۳۹۶). *ارزیابی کارایی شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خرم‌آباد*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی آبخیزداری. دانشگاه تربیت مدرس.
- کاظمی، آفاق؛ رضایی‌مقدم، محمد حسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ حجازی؛ میراسدا... (۱۳۹۵). پهنه‌بندی و مدیریت مخاطرات سیلاب در رودخانه سیمینه‌رود با استفاده از مدل هیدرولیک HEC-RAS. مدیریت مخاطرات طبیعی، ۳ (۴)، ۳۷۹-۳۹۳.
- مهدوی، محمد (۱۳۷۶). *بررسی آثار اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی خسارات سیل*. کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه‌ها، انجمن هیدرولیک ایران.
- میررحیمی، سید محمود؛ فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش. همایش ژئوماتیک، تهران: سازمان نقشه‌برداری کشور.
- ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۸۶). کاربرد GIS در پهنه‌بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود ليقوان). *فصلی جغرافیایی*، ۷ (۲۰)، ۱۵۳-۱۷۰.
- یوسف‌زاده، اردشیر؛ زینالی، بتول؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۸). برآورد رطوبت خاک با استفاده از مدل جدید دوزنقه‌ای مرئی برای حوضه سیمینه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸. *هیدروژئومورفولوژی*، ۵ (۱۸)، ۱۸۱-۲۰۵.

References

- Atkinson, P. M. (1997). Sub-pixel target mapping from soft-classified, remotely sensed imagery Photogram. *Engineering Remote Sensing*, 71 (7), 839-846.
- Bangir, T., Maathuis, H. P. B., Dube, T. & Winora gara, T. (2015). Investigating flash floods potential areas using ASCAT and TRMM satellites in the Western Cape Province, South Africa. *Geocarto International*, 7 (30), 737-754.
- Bangira, T. (2013). *Mapping of Flash Flood Potential Area in the West Cape using Remote Sensing and Situ Data*. MS Thesis, Univercity of Twente, Netherland.
- Barkhordar, M. & Chavooshiyan, S. (2000). *Different methods of flood zoning using new technology of GIS*. Workshop on Non-Structural Flood Management Methods. Thehran. (In Persian)
- Beven, K. J., Kirkby, M. & Seibert, J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, 24, 43-69.
- Grabs, T., Seibert, J., Bishop, K. & Laudon, H. (2009). Modelling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. *Journal of Hydrology*, 373, 15-23.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins-

- hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56 (3), 275-370.
- Islam, M. D. & Sado, K. (2000). Development of Flood Hazard Maps of Bangladesh Using NOAA-AVHRR Image Whit GIS. *Hydrology Sciences Journal*, 45 (3), 24-36
- Islam, M. D., Das, S. & Uyeda, H. (2010). Calibration of TRMM Derived Rainfall over Nepal during 1998-2007. *Atmospheric Science Journal*, 4, 12-23.
- Kazemi, A. & Rezaei Moghaddam, M. (2017). Zoning and Management of the hazards of Floodwater in the Siminehrood River Using the HEC-RAS Hydraulic Model. *Environmental Hazards Management magazine*. 3 (4), 379-393. (In Persian)
- Khosravian, M., Entezaari, A., Rahmani, A. & Baaghde, M. (2018). Monitoring the Disturbance of Lake District Water Level Changes Using Remote Sensing Indices. *Hydrogeomorphology*, 4 (13), 99-120. (In Persian)
- Lawal, O. & Umeuduj, J. (2017). Exploration of hydro-geomorphological indices for coastal floodplain characterization in Rivers State, Nigeria. *Ghana Journal of Geography*, 9 (1), 67-87.
- Mahdavi, M. (1998). *Investigation of socio-economic and environmental impacts of flood damage. Specialized workshop on river flood control*. Iranian Hydraulic Society. (In Persian)
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394 (1-2), 118-133.
- Mir Rahimi, S. M. & Feizizadeh, B. (2009). *Accuracy of ground radar data and TRMM in Estimation of precipitation*. Geomatics Conference. National Cartographic Center. Tehran. (In Persian)
- Proverbs, D. G., Soetanto, R. (2004). *Flood damaged property: A guide to repair*. UK: Blackwell Publishing, Oxford.
- Rad, M. (2018). *Performance evaluation of TWI index in order to map the flood risk in the Khorramabad watershed*. Master's dissertation. Department of Watershed Engineering. Modarres Univercity. (In Persian)
- Sadeghi, M., Jones, S. B. & Philpot, W. D. (2015). A linear physically-based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sens, Environ*, 164, 66-76.
- Schillaci, C., Braun, A. & Kropacek, J. (2015). Terrain analysis and landform recognition; Chapter 2.4.2, in *Geomorphological Techniques*. *British Society for Geomorphology*, 18.
- Tarboton, D. G. (1997). A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 33 (2), 309-319.
- Tehrany, M., Pradhan, S. & Jebur, B. M. N. (2014). Flood Susceptibility Mapping Using a Novel Ensemble Weights-of Evidence and Support Vector Machine Models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332-343.
- Us Army Corps of Engineers (2002). *HEC-RAS River Analysis System*. Hydrologic Engineering Center, CPD-68.
- Valizadeh Kamran, Kh. (2008). The Application of GIS Technique in the Zoning of Flood Hazard: The Case study of Ligvan River Basin. *Geographic Space*, 7 (20), 153-170. (In Persian)
- Yousefzadeh, A., Zeynali, B., Valizadeh Kamran, Kh. & Asghari Sar Eskinrood, S. (2019). The Estimation of Soil Moisture Using the New Visible Trapezoidal Model for Simineh Basin Using Images of Landsat 8 Satellite. *Hydrogeomorphology*, 5 (18), 181-206. (In Persian)

