نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۶، پاییز ۱۴۰۱

تحلیل فضایی مخاطره سیلاب در حوضه آبریز نیرچای با استفاده از مدل HEC-HMS و منطق فازی

دریافت مقاله: ۹۸/۲/۱ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۶/۲۱
صفحات: ۱۰۳-۷۹

فریبا اسفندیاری درآباد: استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران[۱]
Email: fariba.darabad@gmail.com
منصور خیری‌زاده آروق: دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
Email: m_kheirizadeh@yahoo.com
مسعود رحیمی: دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
Email: masoudrahimi20@gmail.com

چکیده

یکی از مهم‌ترین اقدامات غیرسازه‌ای در جهت کاهش خسارات سیلاب تهیه نقشه‌های خطر سیل است. در پژوهش حاضر خطر سیل در حوضه آبریز نیرچای واقع در استان اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، از مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی بارش- رواناب و شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و از منطق فازی برای روی‌هم‌گذاری لایه‌های موضوعی و تهیه نقشه خطر سیلاب استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه آبریز نیرچای و برآورد دبی‌های پیک سیلاب می‌باشد. بیشترین ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک حوضه نیرچای در زیرحوضه‌های بالادست است. این امر به دلیل شیب زیاد، نفوذپذیری اندک، فراوانی سطوح غیرقابل نفوذ و CN بالاست. ترکیب لایه‌های موضوعی با استفاده از منطق فازی نشان داد که در حدود ۸/۶ درصد از سطح حوضه در پهنه‌های با خطر بسیار بالای وقوع سیلاب واقع شده‌اند. این پهنه‌ها عمدتا منطبق بر دشت سیلابی رودخانه نیرچای می‌باشند.

کلید واژگان: سیل، مدل HEC-HMS، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، هم‌پوشانی فازی، نیرچای.

۱.نویسنده مسئول: اردبیل، بلوار دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

مقدمه

همه ساله بلایا و بحران‌ها میلیون‌ها نفر را تحت تاثیر قرار می‌دهند و باعث خسارات قابل توجه در سراسر جهان می‌شوند. در این رابطه، سیلاب‌ها از نظر تاثیر بر زندگی انسان و اقتصاد در بین فاجعه‌بارترین بلایای طبیعی در مقیاس جهانی می‌باشند. به عنوان مثال، در دو دهه گذشته، سیلاب‌ها ۵۵ درصد افراد متاثر از بلایای طبیعی را شامل می‌شوند و سهم عمده‌ای از زیان‌های اقتصادی را به خود اختصاص داده‌اند (رویلا-رومرو[1] و همکاران، ۲۰۱۵). در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، سیلاب‌ها حدود ۲۰-۴۰ درصد از رخدادهای گزارش شده را شامل می‌شوند (سن[2]، ۲۰۰۸: ۸). بین سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۱۳، سیلاب‌ها ۴۳ درصد از تمامی بلایای ثبت شده (در مجموع ۶۸۷۳ بلایا در سراسر جهان) توسط پایگاه داده رویدادهای اضطراری[3] را تشکیل می‌دهند (گوها- ساپیر[4]، ۲۰۱۷).

سیلاب‌ها جزء لاینفک دینامیک مجرای رودخانه‌ها هستند (ووهل[5]، ۲۰۰۰: ۳). درواقع، سیل یک پدیده معمول و قابل انتظار برای یک رودخانه است، اما از آنجایی که کناره‌های رودخانه‌ها معمولا دارای تراکم جمعیتی بالایی هستند، سیلاب‌های بزرگتر دارای یک مولفه خطرزا هستند (الکانتارا- ایالا و گودی[6]، ۲۰۱۰: ۹۷). آمارها نشان می‌دهند که خطر سیل در طی زمان افزایش یافته است، بخصوص از زمانیکه بسیاری از کشورها مجوزهای ساخت و ساز در دشت‌های سیلابی را صادر کردند و حتی رشد تجاری و مسکونی در این مناطق را تشویق نمودند (کوسکی[7]، ۲۰۰۸: ۶۱). درواقع، هنگامی که منطقه حریم رودخانه‌ها توسط انسان اشغال می‌شود سیلاب‌ها بسیار خطرناک و آسیب‌رسان می‌شوند (ووهل، ۲۰۰۰: ۵). ازاینرو، با توسعه بیشتر دشت‌های سیلابی، تلفات و هزینه‌های مربوط به سیلاب‌ها نیز زیادتر می‌شوند (هیندمن و هیندمن[8]، ۲۰۰۹: ۳۳۴). وقوع سیلاب پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است و با اینکه نمی‌توان جلوی رخداد آن را گرفت اما با اقداماتی می‌توان خسارات و اختلالات ناشی از آن را به حداقل رساند (پراوربز و سوتانتو[9]، ۲۰۰۴: ۹). در این زمینه، کنترل کاربری اراضی، پهنه‌بندی و برنامه‌ریزی، عوامل مهمی محسوب می‌شوند (کمیته تحلیل ریسک‌پایه برای کاهش خسارت سیل[10]، ۲۰۰۰: ۳۱). تهیه نقشه خطر سیل ابزاری اساسی برای ارزیابی و مدیریت ریسک سیل است. اهداف نهایی تهیه نقشه خطر سیل عبارتنداز: (۱) پشتیبانی از برنامه‌های مدیریت سیل، (۲) کاربری اراضی و فعالیت‌های برنامه‌ریزی مکانی، (۳) برنامه‌های اضطراری و تخلیه و (۴) افزایش آگاهی‌های عمومی از ریسک‌های سیل (الکانتارا- ایالا و گودی، ۲۰۱۰: ۱۱۶).

سیل فرآیندی دینامیک است و نشان‌دهنده مشخصه‌های فضایی می‌باشد بدین معنی که سیلاب‌ها در مکان‌هایی خاص رخ می‌دهند که در آن مکان‌ها عوامل دخیل مختلفی جهت وقوع وجود دارد. به عنوان مثال، شرایط معمول سیل شامل سطوح با شیب ملایم، بارش سنگین باران، خاک اشباع شده و کانال‌های مسدود شده است (الکما[11]،

1 - Revilla-Romero
2 - Sene
3 - Emergency Events Database EM-DAT
4 - Guha-Sapir
5 - Wohl
6 - Alcántara-Ayala and Goudie
7 - Kusky
8 - Hyndman and Hyndman
9 - Proverbs and Soetanto
10 - Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction
11 - Alkema

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

۲۰۰۴). بنابراین، یک برنامه موثر مدیریت سیل و تمام مراحل آن بستگی به طیف وسیعی از پارامترها و حجم زیادی از اطلاعات جغرافیایی دقیق، مناسب و به‌هنگام دارد (مورفی[1] و همکاران، ۲۰۱۰). اطلاعات فیزیکی مورد نیاز شامل توپوگرافی و عوارض زمین، نوع خاک، پوشش زمین و جنگلداری و شدت عوامل محرک است. در نهایت، مدیریت ریسک سیل نیازمند داده‌های اقتصادی- اجتماعی (محل سکونت، داده‌های ارزش یا قیمت، ساختار جمعیتی، اطلاعات سرشماری) و همچنین اطلاعات مربوط به کاربری اراضی، مرزهای اداری، فشار توسعه و محدودیت‌های زیست محیطی می‌باشد (الطاهر[2] و همکاران، ۲۰۰۶). در این رابطه، فن‌آوری‌های جغرافیایی مدرن، به خصوص در رشته‌های فتوگرامتری، سنجش از دور و علم اطلاعات مکانی، می‌تواند در مدیریت بحران از طریق مشاهده، تهیه نقشه و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوطه در هر مرحله اساسی مدیریت فاجعه کمک کند (التان و کمپر[3]، ۲۰۱۰). از طریق هم‌پوشانی یا تقطیع[4] لایه‌های فضایی مختلف، نواحی مستعد سیلاب می‌تواند شناسایی شود، در نتیجه امکان کاهش اثر و واکنش موثرتر به رویدادهای سیل فراهم می شود (شانلی[5] و همکاران، ۲۰۰۶).

در این تحقیق، خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز نیرچای (آغلاغان‌چای) واقع در شهرستان نیر استان اردبیل مورد تحلیل قرار می‌گیرد. حوضه آبریز نیرچای به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرارگیری در دامنه‌های جنوبی سبلان از پتانسیل بالایی جهت وقوع سیلاب برخوردار است. در این زمینه می‌توان به سیلاب فروردین ماه سال ۱۳۹۶ اشاره کرد که خسارات زیادی را به اراضی کشاورزی، روستاها و شهر نیر وارد ساخت. به همین دلیل، ضرورت دارد که رخداد آن از نظر فضایی مورد تحلیل قرار گرفته و از این طریق نسبت به برنامه‌ریزی کاهش خسارات آن اقدام شود. اهداف مهم این پژوهش شامل شناسایی و تعیین مهم‌ترین متغیرهای موثر بر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز نیرچای، کاربرد مدل HEC-HMS و منطق فازی در پهنه‌بندی و تحلیل فضایی مخاطره سیلاب و شناسایی پهنه‌های با بیشترین احتمال خطر در سطح حوضه مطالعاتی است. در رابطه با پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از GIS و شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS می‌توان به کارهای تحقیقی درخشان (۱۳۸۹)، مرادنژادی و همکاران (۱۳۹۴)، عابدینی و بهشتی جاوید (۱۳۹۵)، طاهری تیزرو و همکاران (۱۳۹۵)، حسین‌زاده و ایمنی (۱۳۹۵)، حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶)، حجازی و همکاران (۱۱۳۹۸)، امرسون و همکاران (۲۰۰۳)، فرناندز و لوتز (۲۰۱۰)، بلمونته و گارسیا (۲۰۱۲)، حق و همکاران (۲۰۱۲)، استون (۲۰۰۱)، چن و همکاران (۲۰۰۹) و هونگ مینگ و همکاران (۲۰۱۲) و شارما و همکاران (۲۰۱۸)، اشاره کرد.

روش تحقیق

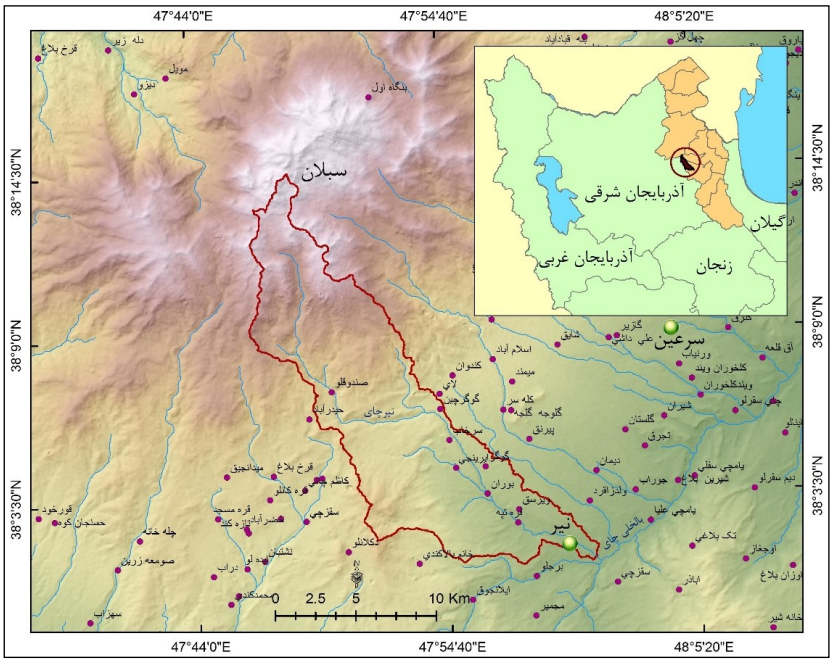
منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی حوضه آبریز نیرچای با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی در محدوده شهرستان‌های نیر و سرعین در

1 - Murphy
2 - Al-Tahir
3 - Altan and Kemper
4 - overlaying or intersecting
5 - Shanley

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

استان اردبیل و سراب در استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه مطالعاتی در حدود ۱۷۰ کیلومتر مربع است. آبراهه اصلی این حوضه، رودخانه نیرچای به طول تقریبی ۴۲ کیلومتر می‌باشد که از زمین‌های پوشیده از برف توده آتشفشانی سبلان سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از زهکشی قسمت‌هایی از دامنه‌های جنوبی توده آتشفشانی سبلان و دریافت چندین انشعاب فرعی پس از عبور از شهر نیر به رودخانه بالخلی‌چای منتهی می‌شود. شهر نیر مهم‌ترین سکونتگاه حوضه مطالعاتی می‌باشد. علاوه بر این، چندین روستا در مجاورت آبراهه‌های حوضه آبریز مطالعاتی جای گرفته‌اند. میانگین دبی سالانه رودخانه نیرچای در ایستگاه هیدرومتری نیر در حدود ۱/۲ مترمکعب در ثانیه با ضریب تغییرات ۲۰ درصد است. بیشترین میزان دبی این رودخانه مربوط به ماه‌های اسفند و فروردین است. در طی این دو ماه ذوب برف و یخ نواحی مرتفع حوضه نیز در رواناب سطحی مشارکت کرده و درنتیجه میزان دبی رودخانه افزایش پیدا می‌کند.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز نیرچای در استان اردبیل

داده و ورش کار

مهم‌ترین داده‌های تحقیق حاضر به منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب و پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز نیرچای عبارتنداز: نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه خاک‌شناسی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۲۷ متر، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth (GeoEye با قدرت تفکیک تقریبا ۱متر)، داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی و داده‌های رگبار و سیلاب حوضه. جهت شبیه‌سازی بارش - رواناب از اکستنشن HEC-GeoHMS و مدل HEC-HMS و به منظور همپوشانی و تلفیق متغیرهای موثر بر وقوع سیلاب از منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS[1] در سال ۱۹۹۲ به عنوان جایگزینی برای HEC-1 طراحی شد که مدت‌ها به عنوان یک استاندارد برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی شناخته می‌شد (فلدمن[2]، ۲۰۰۰). مدل HEC-HMS می‌تواند برای تحلیل سیلاب‌های شهری، دوره‌های بازگشت سیل، سیستم‌های هشدار دهنده‌ی سیل و غیره مورد استفاده قرار گیرد (سپاه مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا[3]، ۲۰۰۸). این مدل دارای چهار جزء اصلی است: ۱) یک مدل تحلیلی برای محاسبه رواناب در مسیر مجرا؛ ۲) یک رابط کاربری پیشرفته‌ی گرافیکی جهت نمایش اجزای سیستم هیدرولوژیکی؛ ۳) سیستمی برای ذخیره و مدیریت داده‌ها و ۴) ابزاری برای نمایش و گزارش خروجی‌های مدل (باجوا و تیم[4]، ۲۰۰۲). هیدروگراف‌هایی که توسط این برنامه تولید می‌شوند، به طور مستقیم یا در رابطه با نرم‌افزارهای دیگر برای مطالعات مربوط به دسترسی به آب، سیلاب شهری، پیش‌بینی جریان، تاثیر شهرنشینی آینده، طراحی مخزن، کاهش خسارات سیل و مدیریت دشت سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS لازم است که سه مدل شامل مدل حوضه، مدل هواشناسی و مدل مشخصات کنترل تعریف شود.

مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده امریکا در راستای افزایش دقت اطلاعات ورودی به نرم‌افزار HEC-HMS الحاقیه‌ای تحت عنوان HEC-GeoHMS طراحی کرده است. این اکستنشن با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، خصوصیات منطقه مورد مطالعه را با دقت بالایی استخراج می‌نماید. برای جزئیات بیشتر و معادلات مورد استفاده در مدل HEC-HMS به راهنما و دستورالعمل‌های مدل مراجعه شود.

کاربرد منطق فازی در ترکیب لایه‌های موضوعی

جهت تهیه نقشه خطر سیل‌گیری در سطح حوضه آبریز نیرچای، متغیرها و پارامترهای موثر بر وقوع سیلاب در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شدند. در این زمینه، روش منطق فازی ترکیبات انعطاف‌پذیر نقشه‌های وزنی حاصل از هر مقیاس اندازه‌گیری را امکان‌پذیر می‌سازد (چانگ و فابری[5]، ۲۰۰۱: ۳۱-۴۷). در فرآیند فازی‌سازی، ایده‌آلی جهت عضویت در مجموعه تعریف می‌شود. به هر مقداری از پدیده که نسبت به هسته تعریف مجموعه، محوری‌تر یا مرکزی‌تر باشد ارزش ۱ اختصاص خواهد یافت و به مقادیری که به طور قطع بخشی از مجموعه نیستند ارزش ۰ تخصیص می‌یابند. مقادیری که بین این دو حد واقع می‌شوند در منطقه گذار مجموعه قرار می‌گیرند (ازری[6]، ۲۰۱۲). عملگرهای متنوعی می‌توانند برای ترکیب مقادیر عضویت به‌کار گرفته شوند. عموما، پنج عملگر موسوم به «و» فازی، «یا» فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و گامای فازی برای ترکیب مقادیر عضویت فازی به‌کار گرفته می‌شوند (لی، ۲۰۰۷: ۶۱۵-۶۲۳):

1 - Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System
2 - Feldman
3 - U.S. Army Corps of Engineers
4 - Bajwa and Tim
5 - Chung and Fabbri
6 - Esri

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

and (و) فازی: معادل با عملیات AND بولین (اشتراک منطقی[1]) در مقادیر مجموعه کلاسیک می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$\mu_{combination} = MIN(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots)$ رابطه (۱)

که در آن $\mu_{combination}$ تابع عضویت فازی محاسبه شده، μ_A مقدار عضویت برای نقشه A در یک موقعیت خاص، μ_B مقدار عضویت برای نقشه B، و غیره می‌باشد.

or (یا) فازی: همانند OR بولین (اجتماع منطقی[2] که در آن مقادیر عضویت خروجی بوسیله مقادیر حداکثر هر نقشه ورودی تعیین می‌شود) می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$\mu_{combination} = MAX(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots)$ رابطه (۲)

ضرب فازی: ضرب جبری فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i$ رابطه (۳)

که در آن μi تابع عضویت فازی برای نقشه i ام، و $i=1,2,\ldots n$ نقشه‌هایی هستندکه باید ترکیب شوند.

جمع جبری فازی: این عملگر متمم ضرب جبری فازی می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i)$ رابطه (۴)

عملیات گاما: برحسب ضرب جبری فازی و جمع جبری فازی بر اساس رابطه زیر تعریف می‌شود:

$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy algebraic sum})^{\lambda} * (\text{Fuzzy algebraic product})^{1-\lambda}$ رابطه (۵)

که در آن λ یک پارامتر انتخابی در دامنه (۱و۰)، و جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی به ترتیب با استفاده از روابط (۴) و (۳) محاسبه می‌شوند. در عملیات گامای فازی، هنگامی‌که λ برابر ۱ باشد ترکیب همانند جمع جبری فازی، و هنگامیکه λ برابر ۰ باشد ترکیب معادل با ضرب جبری فازی است.

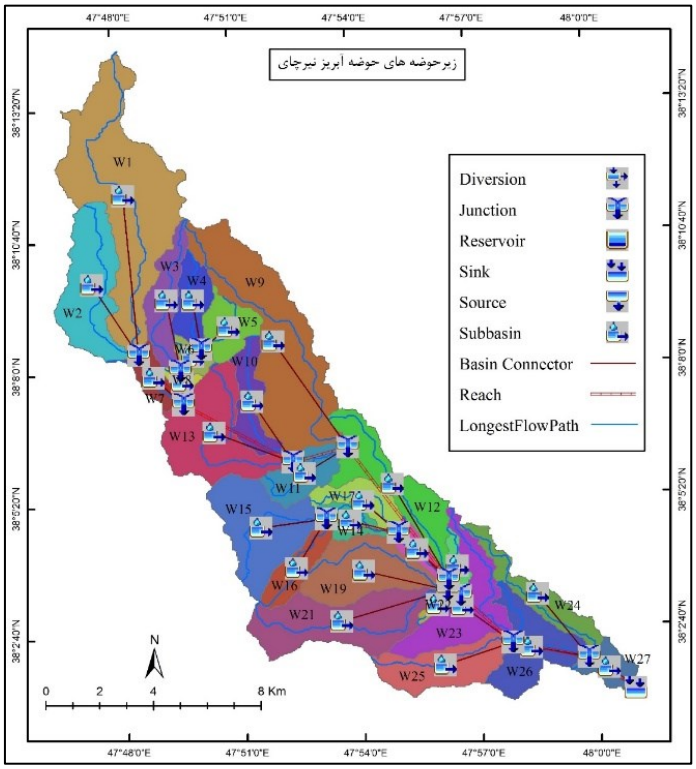
نتایج

محاسبه پارامترهای حوضه‌ای تحقیق

در تحقیق حاضر برای مدل‌سازی خصوصیات فضایی حوضه آبریز نیرچای از الحاقی HEC-GeoHMS در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. اکثر داده‌ها از طریق پردازش مدل رقومی ارتفاع (DEM) حاصل شدند. در این راستا، حوضه آبریز نیرچای با استفاده از پردازش DEM منطقه به ۲۷ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد شکل (۲) و سپس متغیرها و پارامترهای فضایی مورد نیاز مدل‌سازی برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد جدول(۱). در پژوهش حاضر مبنای اکثر پارامترهای مورد نیاز مدل HEC-HMS روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) می‌باشد.

1- logical intersection
2- logical union

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]



شکل (۲). زیرحوضه‌ها و شماتیک حوضه آبریز نیرچای

جدول(۱).متغیرها و پارامترهای فیزیوگرافی و حوضه‌ای نیرچای

زیر حوضه	مساحت km^2	محیط km	شیب (٪)	طول طولانی-ترین آبراهه	شیب طولانی‌ترین آبراهه	طول مستطیل معادل	عرض مستطیل معادل
W1	۲۳/۴۸	۴۱/۴۲	۳۶/۵۲	۱۴/۸۷	۰/۱۲۲	۱۹/۵۰۸	۱/۲۰۴
W2	۹/۷۸	۲۱/۸۱	۳۲/۵۸	۷/۹۲	۰/۱۴۳	۹/۹۲۰	۰/۹۸۶
W3	۴/۷۴	۱۷/۴۶	۲۵/۰۲	۷/۴۲	۰/۱۵۵	۸/۱۴۹	۰/۵۸۲
W4	۳/۵۵	۱۱/۶۴	۳۰/۶۲	۴/۴۴	۰/۱۸۳	۵/۱۲۸	۰/۶۹۳
W5	۳/۷۹	۱۱/۳۰	۲۰/۰۲	۳/۲۵	۰/۱۱۸	۴/۸۷۳	۰/۷۷۸
W6	۱/۳۴	۶/۸۴	۲۲/۷۲	۱/۸۰	۰/۱۹۷	۲/۹۶۶	۰/۴۵۳
W7	۲/۲۹	۱۱/۴۷	۳۴/۵۸	۴/۰۳	۰/۱۴۳	۵/۳۰۴	۰/۴۳۲
W8	۱/۰۰	۷/۰۱	۳۴/۶۷	۱/۸۹	۰/۱۸۹	۳/۱۹۰	۰/۳۱۴
W9	۱۹/۳۲	۳۵/۰۹	۲۵/۱۲	۱۳/۲۱	۰/۱۳۰	۱۶/۳۶۶	۱/۱۸۱
W10	۴/۱۰	۱۷/۵۷	۲۰/۰۳	۶/۷۵	۰/۱۲۰	۸/۲۹۳	۰/۴۹۴
W11	۴/۱۸	۱۲/۲۱	۱۶/۶۱	۴/۸۵	۰/۰۵۲	۵/۳۱۷	۰/۷۸۶
W12	۸/۶۴	۲۷/۱۸	۱۶/۸۵	۸/۸۱	۰/۰۵۹	۱۲/۹۲۲	۰/۶۶۸
W13	۱۰/۹۷	۲۲/۶۶	۲۴/۹۴	۹/۱۰	۰/۰۷۴	۱۰/۲۶۱	۱/۰۷۰
W14	۲/۳۴	۱۱/۴۷	۲۱/۸۵	۴/۳۳	۰/۰۸۶	۵/۲۹۳	۰/۴۴۳
W15	۱۰/۱۸	۲۰/۴۶	۱۵/۳۰	۵/۹۱	۰/۰۸۵	۹/۱۱۲	۱/۱۱۷
W16	۳/۳۶	۱۲/۴۹	۲۰/۳۷	۴/۹۷	۰/۱۱۹	۵/۶۵۰	۰/۵۹۴
W17	۳/۲۵	۱۳/۱۱	۱۶/۶۹	۴/۷۵	۰/۰۸۴	۶/۰۱۵	۰/۵۴۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

W18	۱/۷۶	۹/۵۵	۱۱/۲۰	۳/۵۶	۰/۰۴۱	۴/۳۷۳	۰/۴۰۲
W19	۸/۵۲	۱۸/۰۳	۱۷/۶۶	۶/۷۱	۰/۰۹۲	۷/۹۴۱	۱/۰۷۳
W20	۱/۲۷	۹/۱۰	۷/۸۵	۳/۲۲	۰/۰۴۴	۴/۲۵۱	۰/۲۹۸
W21	۱۱/۶۵	۲۵/۰۹	۲۱/۷۰	۹/۸۲	۰/۰۹۵	۱۱/۵۳۶	۱/۰۱۰
W22	۰/۷۵	۶/۸۴	۸/۱۷	۲/۳۹	۰/۰۵۴	۳/۱۸۳	۰/۲۳۶
W23	۸/۳۷	۲۶/۵۰	۸/۱۲	۷/۳۳	۰/۰۳۰	۱۲/۵۸۷	۰/۶۶۵
W24	۴/۷۵	۲۲/۸۳	۵/۰۴	۸/۸۰	۰/۰۲۸	۱۰/۹۸۳	۰/۴۳۳
W25	۶/۷۳	۱۷/۲۴	۱۰/۴۲	۶/۲۸	۰/۰۵۷	۷/۷۴۹	۰/۸۶۹
W26	۷/۰۸	۲۰/۵۷	۷/۴۵	۵/۶۰	۰/۰۲۸	۹/۵۴۳	۰/۷۴۲
W27	۲/۴۵	۹/۷۸	۵/۵۰	۳/۰۷	۰/۰۲۰	۴/۳۲۲	۰/۵۶۶

ادامه جدول (۱). متغیرها و پارامترهای فیزیوگرافی و حوضه‌ای نیرچای

زیرحوضه	ضریب گراویلیوس	تراکم زهکشی	CN	زمان تاخیر	زمان تمرکز	ارتفاع رواناب برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته (cm)
W1	۲/۳۹۳	۱/۵۰۲	۸۶/۱۳	۰/۹۶۰	۱/۶۰۳	۳/۰۵۸
W2	۱/۹۵۳	۱/۴۰۳	۸۲/۶۱	۰/۶۹۴	۱/۱۵۸	۲/۵۱۲
W3	۲/۲۴۵	۱/۸۶۱	۸۳/۰۸	۰/۷۳۹	۱/۲۳۵	۲/۵۸۰
W4	۱/۷۳۰	۱/۳۹۷	۸۲/۷۲	۰/۴۴۸	۰/۷۴۸	۲/۵۲۸
W5	۱/۶۲۵	۱/۸۲۴	۸۳/۱۹	۰/۴۲۶	۰/۷۱۱	۲/۵۹۷
W6	۱/۶۵۲	۱/۴۰۶	۸۳/۲۵	۰/۲۴۸	۰/۴۱۴	۲/۶۰۵
W7	۲/۱۲۳	۱/۲۰۱	۷۹/۰۲	۰/۴۳۹	۰/۷۳۳	۲/۰۳۰
W8	۱/۹۶۲	۱/۳۲۰	۸۵/۲۷	۰/۱۹۵	۰/۳۲۶	۲/۹۱۸
W9	۲/۲۳۵	۱/۸۶۷	۸۰/۲۹	۱/۲۸۲	۲/۱۴۱	۲/۱۹۲
W10	۲/۴۳۰	۱/۷۳۷	۷۹/۳۱	۰/۸۶۵	۱/۴۴۴	۲/۰۶۶
W11	۱/۶۷۱	۱/۶۰۷	۷۹/۷۳	۰/۷۱۹	۱/۲۰۰	۲/۱۲۰
W12	۲/۵۹۰	۱/۷۹۳	۷۸/۹۸	۱/۱۷۸	۱/۹۶۸	۲/۰۲۵
W13	۱/۹۱۵	۱/۵۰۰	۷۹/۹۹	۰/۹۶۳	۱/۶۰۹	۲/۱۵۴
W14	۲/۰۹۸	۱/۹۹۳	۸۰/۳۰	۰/۵۶۳	۰/۹۴۱	۲/۱۹۴
W15	۱/۷۹۶	۱/۸۱۴	۷۷/۰۸	۰/۹۵۲	۱/۵۸۹	۱/۷۹۷
W16	۱/۹۰۹	۱/۸۷۲	۷۶/۵۴	۰/۷۳۰	۱/۲۱۸	۱/۷۳۴
W17	۲/۰۳۶	۱/۳۹۱	۷۷/۱۹	۰/۷۶۲	۱/۲۷۲	۱/۸۰۹
W18	۲/۰۱۷	۱/۹۲۷	۷۹/۰۶	۰/۶۹۹	۱/۱۶۷	۲/۰۳۵
W19	۱/۷۲۹	۱/۹۶۰	۷۸/۵۴	۰/۹۳۸	۱/۵۶۷	۱/۹۷۱
W20	۲/۲۶۲	۲/۱۰۸	۷۰/۵۱	۰/۹۸۳	۱/۶۴۲	۱/۱۳۰
W21	۲/۰۵۸	۱/۸۲۷	۸۱/۱۴	۱/۰۵۹	۱/۷۶۸	۲/۳۰۶
W22	۲/۲۱۰	۲/۲۶۱	۸۰/۵۷	۰/۵۶۷	۰/۹۴۷	۲/۲۲۹
W23	۲/۵۶۵	۲/۰۷۶	۷۷/۹۳	۱/۵۱۳	۲/۵۲۷	۱/۸۹۶
W24	۲/۹۳۳	۲/۲۶۸	۸۲/۱۷	۱/۹۴۶	۳/۲۵۰	۲/۴۴۹
W25	۱/۸۶۰	۱/۹۴۱	۸۳/۷۱	۰/۹۸۱	۱/۶۳۸	۲/۶۷۴
W26	۲/۱۶۴	۱/۸۰۰	۷۴/۷۴	۱/۳۹۷	۲/۳۳۲	۱/۵۳۸
W27	۱/۷۵۰	۱/۷۱۴	۶۶/۹۱	۱/۲۴۵	۲/۰۷۹	۰/۸۳۷

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

تهیه لایه‌های پوشش زمین، پوشش گیاهی و شماره منحنی حوضه

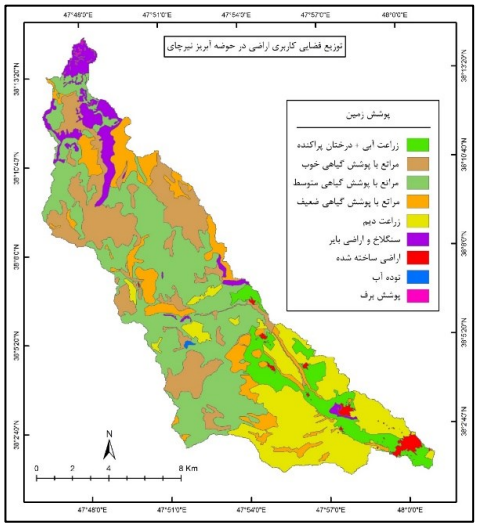
در روش SCS یکی از مهم‌ترین ورودی‌های مدل HEC-HMS متغیر شماره منحنی (CN) حوضه است. شماره‌ی منحنی (CN)، نشان‌دهنده‌ی چگونگی نفوذ بارش یا چگونگی تبدیل آن به رواناب سطحی است. شماره‌ی منحنی بالا به‌معنای رواناب بیشتر و نفوذ کمتر است و برعکس. برای محاسبه شماره منحنی لازم است لایه‌های گروه‌های هیدرولوژیک خاک (تهیه شده از آب منطقه‌ای استان اردبیل)، کاربری اراضی و DEM هیدرولوژیکی حوضه در اختیار باشد.

- کاربری اراضی: کاربری اراضی حوضه مطالعاتی یکی از مهم‌ترین ورودی‌های مدل HEC-HMS به منظور تهیه لایه CN حوضه و از اینرو یکی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار در تولید رواناب در سطح حوضه می‌باشد. لایه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از روی تصاویر ماهواره‌ای Google Earth با قدرت تفکیک بالا و تصویر ماهواره‌ای Sentinel2 مربوط به تابستان ۲۰۱۸ میلادی به روش طبقه‌بندی نظارت شده تهیه شد شکل (۳). کاربری‌های اصلی حوضه مطالعاتی عمدتا به صورت مراتع می‌باشند. کشاورزی آبی منطقه اغلب به صورت زراعت همراه با باغات- در مقیاس محدود- است که بر روی دشت‌های سیلابی کم عرض و محدود منطقه واقع شده‌اند. در حدود ۱۳/۲ کیلومتر مربع از سطح حوضه به این کاربری اختصاص یافته است. اراضی کشاورزی آبی منطقه عمدتا در قسمت‌های پایین دست حوضه تمرکز یافته و در حالت کلی به اراضی هموار بستر دره نیرچای محدود شده است. کشت دیم (غلات) الگوی غالب کشاورزی منطقه مطالعاتی می‌باشد و درحدود ۳۲ کیلومترمربع از سطح حوضه به این نوع کشت اختصاص یافته است. کاربری‌های مراتع با پوشش گیاهی ضعیف، اراضی بایر و سکونتگاه‌ها نقش حفاظتی بسیار محدودی در خصوص سیلاب دارند و بنابراین بخش زیادی از بارش در این کاربری‌ها تبدیل به رواناب می‌شود.

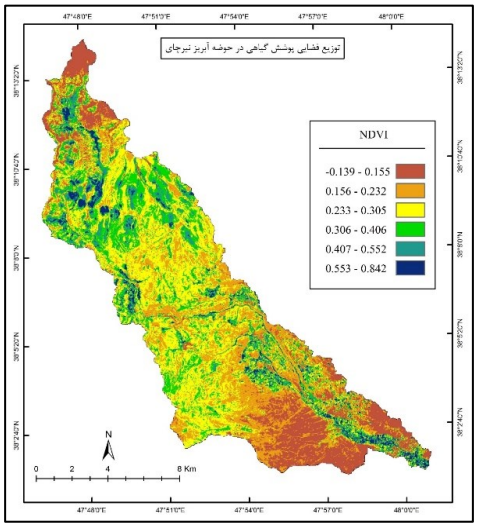
- پوشش گیاهی: برای تهیه نقشه پوشش گیاهی از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی[1] (NDVI) از روی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 استفاده شد. مقادیر این شاخص برای منطقه مطالعاتی نشان‌دهنده پایین بودن تراکم پوشش گیاهی در منطقه می‌باشد شکل (۴)؛ به طوریکه، در حدود ۴۰ درصد از منطقه دارای مقادیر NDVI کمتر از ۰/۲۳ است که نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار ضعیف تا بایر می‌باشند. تنها در حدود ۱۱/۵ درصد از منطقه مطالعاتی دارای مقادیر بالای شاخص NDVI (بیشتر از ۰/۴) می‌باشند و اغلب شامل اراضی کشاورزی موجود در دره‌ها و دشت‌های سیلابی و همچنین مراتع متراکم بالادست حوضه می‌باشند.

1 - Normalized difference water index (NDVI)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]



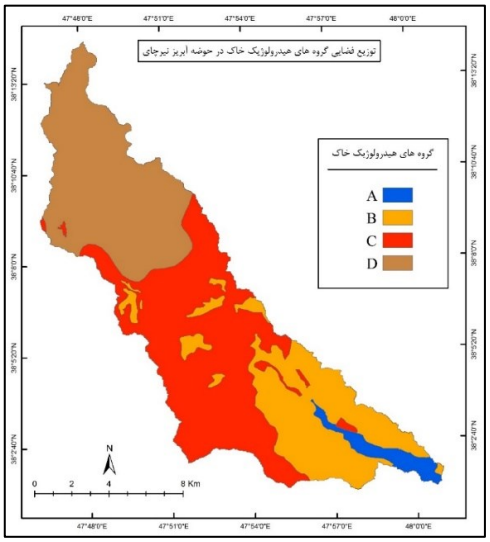
شکل (۳). نقشه کاربری اراضی حوضه نیرچای



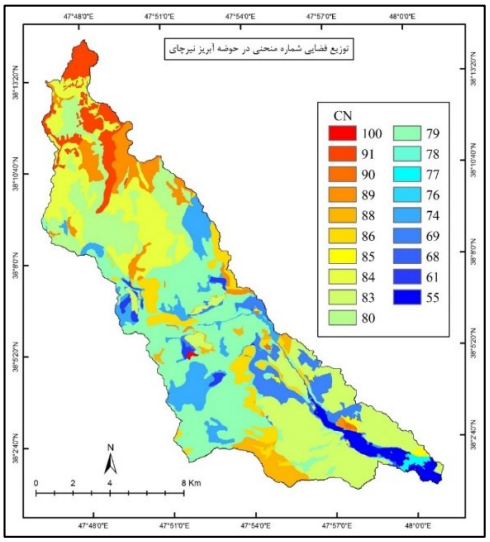
شکل (۴). پوشش گیاهی (NDVI) حوضه نیرچای

گروه‌های هیدرولوژیک: با توجه به شکل (۵)، گروه هیدرولوژیکی (A) به صورت محدود در انتهای حوضه مطالعاتی وجود دارد و با مساحت حدود ۵/۵ کیلومترمربع تقریبا ۳/۲ درصد از سطح حوضه را در برمی‌گیرد. این واحد هیدرولوژیکی عمدتا شامل دشت سیلابی و بستر رودخانه نیرچای می‌باشد. خاک‌های نیمه عمیق تا عمیق با بافت سنگین و عموما تکامل پروفیلی از مشخصات این واحد هیدرولوژیکی است. گروه (B) در قسمت‌های پایین دست و به صورت لکه‌هایی در قسمت‌های میانی حوضه واقع شده‌اند. این واحد در حدود ۲۴ درصد از سطح حوضه را پوشش می‌دهد و منطبق بر تپه‌های کم‌ارتفاع تا نسبتا مرتفع و دامنه‌های پایین‌دست توده آتشفشانی سبلان هستند. این واحد دارای خاک‌های کم‌عمق تا نیمه عمیق با بافت متوسط تا سنگین سنگریزه‌دار است. گروه (C) با مساحت حدود ۶۸ کیلومترمربع در حدود ۴۰ درصد سطح حوضه آبریز مطالعاتی را شامل می‌شوند و عمدتا در قسمت‌های میانی حوضه واقع شده‌اند. این واحد دارای خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق با بافت متوسط تا سنگین می‌باشد. درنهایت، گروه (D) حدود ۳۳ درصد سطح حوضه را شامل می‌شود. به طور کلی، قسمت‌های بالادست حوضه مطالعاتی جزو واحد D می‌باشند. خاک‌های خیلی کم عمق تا کم‌عمق غیریکنواخت با بافت سنگین از اختصاصات این واحد در حوضه مطالعاتی است. در شرایط برابر، این واحد از بیشترین میزان تولید رواناب و کمترین میزان تلفات بارش برخوردار می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]



شکل (۵). گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه نیرچای



شکل (۶). نقشه CN حوضه نیرچای

CN حوضه: با در اختیار داشتن لایه‌های DEM هیدرولوژیکی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، گروه‌های هیدرولوژیک و مراجعه به جداول مربوطه، لایه شماره منحنی حوضه به دست آمد شکل (۶). مقادیر CN در سطح حوضه نیرچای از ۵۵ تا ۱۰۰ متغیر است. مقادیر بالاتر این پارامتر عموما منطبق بر قسمت‌های بالادست حوضه آبریز می‌باشد. این امر به دلیل نفوذپذیری اندک خاک، پوشش گیاهی نسبتا ضعیف و شیب تند اراضی می‌باشد. با توجه به توزیع فضایی مقادیر CN حوضه، میانگین این متغیر برای هر یک از زیرحوضه‌ها حاصل شد جدول(۱). مقادیر CN از حداقل ۶۶/۹ برای زیرحوضه انتهایی (زیرحوضه شماره ۲۷) تا حداکثر ۸۶/۱ برای بالادست‌ترین زیرحوضه (زیرحوضه شماره ۱) متغیر است.

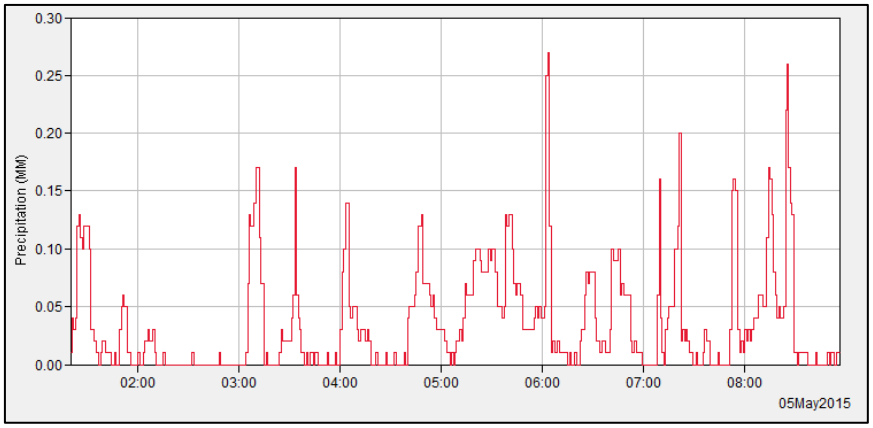
پارامتر بارش

در منطقه مورد مطالعه بارش علت اساسی رخداد سیلاب است. در این رابطه بارش‌های شدید و طولانی‌مدت از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در پژوهش حاضر حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف برای شبیه‌سازی بارش- رواناب و محاسبه ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور برای داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه آبریز نیرچای انواع توابع توزیع متداول شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گامبل اکسترمال تیپ ۱، پیرسون تیپ ۳ و لوگ پیرسون تیپ ۳ برازش داده شد. با توجه به نمودارهای حاصل شده، توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ به عنوان بهترین توزیع انتخاب شد جدول (۲). برای منطقه مورد مطالعه حداکثر بارش ۲۴ ساعته مشاهده شده ۶۲ میلی‌متر می‌باشد (بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک سرعین). همچنین از یک رویداد اندازه‌گیری شده بارش هایتوگراف شکل(۷) و دبی یا هیدروگراف شکل(۸) مربوط به ایستگاه نیر جهت کالیبره کردن و بهینه‌سازی نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب مدل HEC-HMS استفاده شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

جدول (۲).حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه نیرچای با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از تابع لوگ پیرسون تیپ ۳

احتمال وقوع	دوره بازگشت	مقدار محاسبه شده	انحراف معیار
۰/۵۰۰	۲	۱۹/۵۰	۰/۵۹۷
۰/۶۶۷	۳	۲۲/۳۸	۰/۷۵۳
۰/۸۰۰	۵	۲۵/۹۴	۰/۹۹۸
۰/۹۰۰	۱۰	۳۰/۰۰	۱/۵۹۱
۰/۹۶۰	۲۵	۳۸/۳۸	۲/۹۹۵
۰/۹۸۰	۵۰	۴۴/۶۵	۴/۵۹۸
۰/۹۹۰	۱۰۰	۵۱/۶۶	۶/۷۴۹
۰/۹۹۵	۲۰۰	۵۹/۵۱	۹/۵۴۵



شکل (۷). هایتوگراف بارش مشاهداتی در حوضه آبریز نیرچای

شبیه‌سازی بارش- رواناب

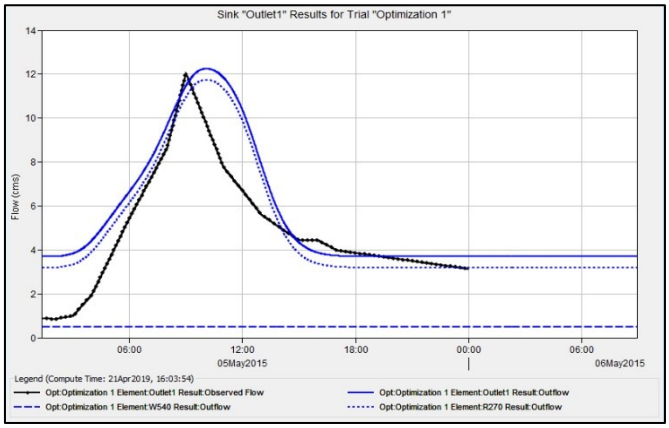
پس از معرفی شبکه زیرحوضه‌ها و مسیرهای روندیابی و ورود داده‌های مورد نیاز به نرم‌افزار HEC-HMS مدل مربوطه اجرا گردید. نتایج این مدل بدون کالیبره و بهینه کردن نمی‌تواند از دقت مقبولی برخوردار باشد. پس از اجرای برنامه، در صورتی که در یکی از عناصر مدل حوضه، یک هیدروگراف مشاهداتی وجود داشته باشد، کاربر می‌تواند از بخش بهینه‌سازی و تنظیم پارامترهای نرم‌افزار HEC-HMS استفاده نماید و با استفاده از این بخش، پارامترهای مدل حوضه را به نحوی تعیین کند که هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی دارای کمترین اختلاف شوند. برای حوضه آبریز نیرچای، هیدروگراف‌های سیلاب در خروجی حوضه موجود می‌باشند. بنابراین می‌توانند برای بهینه‌سازی مدل مورد استفاده قرار گیرند.

برای تخمین پارامترها در نرم‌افزار HEC-HMS از فرایند بهینه‌سازی[۱] که فرایندی تکرار شونده است، استفاده می‌شود. در این فرایند برای کمینه کردن میزان اختلاف هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی، یک تابع هدف در عنصری که در آن هیدروگراف مشاهداتی وجود دارد، بکار می‌رود (مدرسی و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۶: ۱۹۷). نتایج مدل

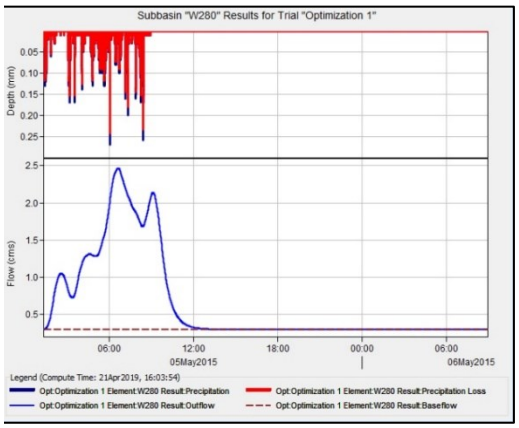
۱ - Optimization

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

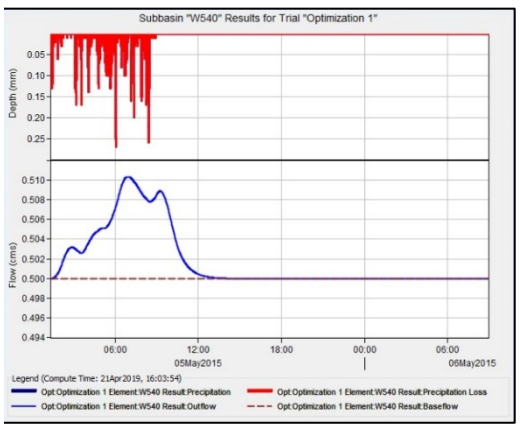
بعد از فرایند بهینه‌سازی به صورت جدول (۳) می‌باشد. به دلیل تعداد زیاد هیدروگراف‌ها تنها به درج دو هیدروگراف بسنده شده است شکل‌های (۹، ۱۰). نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه آبریز نیرچای- مخصوصا در برآورد دبی‌های پیک سیلاب- می‌باشد. به طوریکه مقایسه دبی پیک هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی شکل (۸) نشان‌دهنده اختلاف اندک ۰/۲ مترمکعبی می‌باشد. دبی پیک هیدروگراف مشاهداتی ۱۲/۱ مترمکعب در ثانیه و دبی پیک محاسباتی ۱۲/۳ مترمکعب برای یک بارش حدودا ۲۰ میلی‌متری می‌باشد.



شکل (۸). هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی در خروجی حوضه آبریز نیرچای



شکل (۹). هیدروگراف محاسباتی سیل برای زیرحوضه ۱ بعد از بهینه‌سازی



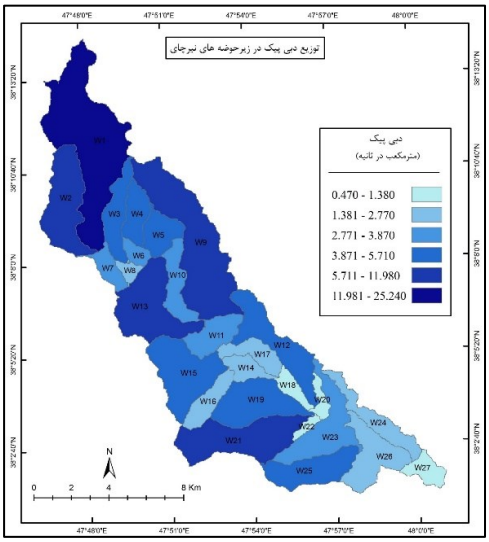
شکل (۱۰). هیدروگراف محاسباتی سیل برای زیرحوضه ۲۷ بعد از بهینه‌سازی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

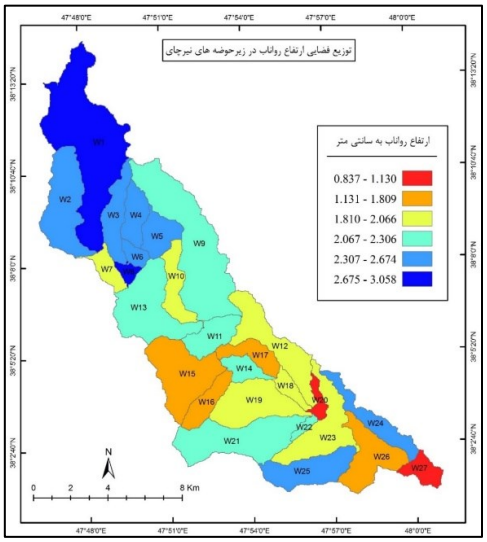
جدول (۳). دبی پیک سیلاب‌های حوضه نیرچای (مترمکعب در ثانیه) با دوره‌های بازگشت مختلف

زیرحوضه	دوره بازگشت (به سال)							
	۲	۳	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
W1	۲/۵	۵/۱۴	۸/۹۱	۱۳/۷۶	۲۵/۲۴	۳۴/۸۱	۴۶/۲۴	۵۹/۷۵
W2	۰/۹	۱/۸۸	۳/۳۵	۵/۳۵	۱۰/۳۲	۱۴/۶۲	۱۹/۸۸	۲۶/۲۳
W3	۰/۴	۰/۸۸	۱/۵۹	۲/۵۵	۴/۹۱	۶/۹۵	۹/۴۴	۱۲/۴۳
W4	۰/۴	۰/۸۸	۱/۶۱	۲/۶۰	۵/۰۵	۷/۱۶	۹/۷۵	۱۲/۸۶
W5	۰/۴	۰/۹۶	۱/۸۰	۲/۹۳	۵/۷۱	۸/۰۹	۱۱/۰۱	۱۴/۵۰
W6	۰/۲	۰/۴۹	۰/۹۱	۱/۴۸	۲/۸۹	۴/۰۹	۵/۵۶	۷/۳۳
W7	۰/۶	۰/۸۰	۱/۱۳	۱/۶۱	۲/۸۸	۴/۰۴	۵/۴۹	۷/۲۸
W8	۰/۱	۰/۴۰	۰/۸۴	۱/۴۱	۲/۷۷	۳/۹۱	۵/۲۹	۶/۹۲
W9	۱/۹	۲/۸۵	۴/۳۶	۶/۴۸	۱۱/۹۸	۱۶/۸۸	۲۲/۹۸	۳۰/۴۴
W10	۰/۳	۰/۵۳	۰/۹۲	۱/۴۷	۲/۹۳	۴/۲۴	۵/۸۹	۷/۹۲
W11	۰/۷	۰/۹۹	۱/۴۶	۲/۱۲	۳/۸۶	۵/۴۲	۷/۳۷	۹/۷۶
W12	۰/۸	۱/۱۸	۱/۸۰	۲/۷۱	۵/۱۱	۷/۲۹	۱۰/۰۳	۱۳/۴۱
W13	۱/۱	۱/۷۴	۲/۷۶	۴/۲۱	۷/۹۸	۱۱/۳۵	۱۵/۵۶	۲۰/۷۲
W14	۰/۲	۰/۴۱	۰/۷۳	۱/۲۰	۲/۳۹	۳/۴۶	۴/۷۸	۶/۴۱
W15	۰/۷	۱/۰۸	۱/۷۷	۲/۸۲	۵/۷۱	۸/۴۱	۱۱/۸۷	۱۶/۱۹
W16	۰/۲	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۹۹	۲/۰۹	۳/۱۴	۴/۴۸	۶/۱۶
W17	۰/۲	۰/۳۴	۰/۶۱	۱/۰۰	۲/۰۹	۳/۱۱	۴/۴۱	۶/۰۳
W18	۰/۱	۰/۲۱	۰/۴۰	۰/۶۷	۱/۳۸	۲/۰۳	۲/۸۴	۳/۸۴
W19	۰/۴	۰/۸۱	۱/۵۰	۲/۵۲	۵/۲۳	۷/۷۰	۱۰/۸۳	۱۴/۷۰
W20	۰/۲	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۴۷	۰/۶۹	۰/۹۸	۱/۳۸
W21	۰/۵	۱/۲۳	۲/۳۷	۳/۹۴	۷/۹۶	۱۱/۵۰	۱۵/۸۸	۲۱/۲۱
W22	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۷۳	۱/۰۷	۱/۵۰	۲/۰۲
W23	۰/۷	۰/۹۶	۱/۴۱	۲/۰۷	۳/۸۷	۵/۵۳	۷/۶۴	۱۰/۲۶
W24	۰/۱	۰/۳۱	۰/۶۴	۱/۰۸	۲/۱۹	۳/۱۶	۴/۳۴	۵/۷۸
W25	۰/۲	۰/۷۹	۱/۶۷	۲/۸۳	۵/۶۸	۸/۱۱	۱۱/۰۷	۱۴/۶۱
W26	۰/۶	۰/۷۲	۰/۹۸	۱/۴۱	۲/۶۹	۳/۹۳	۵/۵۵	۷/۶۱
W27	۰/۵	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۶۹	۰/۹۵	۱/۳۳	۱/۸۵
خروجی	۱۲/۳	۲۱/۹۹	۳۷/۱۰	۵۸/۰۱	۱۱۱/۲۱	۱۵۸/۰۹	۲۱۶/۱۲	۲۸۶/۷۶

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]



شکل (۱۱). دبی پیک زیرحوضه‌های نیرچای به ازای دوره بازگشت ۲۵ سال



شکل (۱۲). ارتفاع رواناب حوضه آبریز نیرچای برای حداکثر بارش مشاهداتی

با عطف به دو نقشه دبی‌های پیک (با دوره بازگشت ۲۵ ساله) شکل(۱۱) و نقشه ارتفاع رواناب شکل(۱۲) (برای حداکثر بارش مشاهداتی و یا هر بارش خاصی) و همچنین جدول (۵)، صرفنظر از مساحت زیرحوضه‌ها، می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- دبی‌های پیک زیرحوضه‌ها و دبی پیک خروجی حوضه برای دوره‌های بازگشت کمتر از ۲۵ سال ارقام قابل توجهی را نشان نمی‌دهند. دبی‌های پیک خروجی حوضه برای این دوره‌ها از حدود ۱۲ تا ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه متغیر است. با وجود این، دبی‌های پیک خروجی برای سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر از ۲۵ سال بیشتر از ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌شود که می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد.

- علاوه بر مساحت، سایر ویژگی‌های ژئومورفومتری زیرحوضه‌ها- مانند شکل زیرحوضه (با دخالت در زمان تاخیر و زمان تمرکز) و شیب- تاثیر زیادی در میزان تولید رواناب و سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها دارند.

- کاربری اراضی، و به تبع آن شماره منحنی (CN)، به شدت هیدروگراف سیل زیرحوضه‌ها و هیدروگراف خروجی حوضه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طوریکه دبی‌های پیک در زیرحوضه‌های با غلبه پوشش گیاهی مرتعی یا کشاورزی آبی کاهش می‌یابد و برعکس در زیرحوضه‌های با غلبه مراتع ضعیف و بایر افزایش قابل توجهی می‌یابد.

- بیشترین ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک حوضه نیرچای در زیرحوضه‌های بالادست است. این امر به دلیل شیب زیاد، نفوذپذیری اندک خاک، فراوانی سطوح غیرقابل نفوذ و CN بالاست. در این رابطه، زیرحوضه شماره (۱) که بخش قابل توجهی از بالادست حوضه نیرچای را زه‌کشی می‌کند و همچنین چند زیرحوضه مجاور آن- مانند زیرحوضه شماره (۲)- دارای ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک قابل توجهی هستند. این امر مخصوصا در سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر از ۲۵ سال مشهودتر است. در این زیرحوضه‌ها به دلیل شرایط توپوگرافیکی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی خشن و همچنین فقدان خاک‌های سطحی و فراوانی برون‌زدهای سنگی پتانسیل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

آب‌دوی و تولید رواناب بسیار زیاد است. به دلیل فقدان پوشش خاک و شرایط اقلیمی، امکان استفاده از پوشش گیاهی جهت پیشگیری و مدیریت سیلاب بسیار محدود می‌شود و بنابراین باید به اقدامات مکانیکی توسل شود.
- با اینکه پتانسیل تولید رواناب در بسیاری از زیرحوضه‌های پایین‌دست اندک است و دبی‌های پیک این زیرحوضه‌ها ناچیز است اما بخش‌هایی از این مناطق با خطر جدی سیل‌گیری و مخاطره سیلاب ناشی از رواناب-های بالادست مواجه هستند. همچنانکه قبلا گفته شد دبی‌های پیک رودخانه نیرچای برای دوره‌های بازگشت کمتر از ۲۵ سال نسبتا کم است. این امر باعث شده است که در سال‌های اخیر در حریم و حتی بستر رودخانه ساخت و ساز صورت گیرد و یا به فعالیت‌های کشاورزی پرداخته شود. بنابراین، در صورت وقوع سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا، سیلاب‌ها می‌توانند تبدیل به تهدید و مخاطره جدی شوند.

ارزیابی پهنه‌های سیل‌گیر حوضه آبریز نیرچای

برای پهنه‌بندی و ارزیابی نواحی سیل‌گیر حوضه نیرچای از ۱۱ متغیر تاثیرگذار استفاده شد. این متغیرها با استفاده از منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شدند. در ادامه هر یک از این متغیرها در سطح حوضه آبریز مطالعاتی به طور خلاصه تبیین می‌شوند. کاربری اراضی، پوشش گیاهی و دبی‌های پیک در مباحث قبلی ذکر شده‌اند.

ارتفاع: حوضه آبریز نیرچای از روی تصویر DEM منطقه به ۱۵ کلاس ارتفاعی تقسیم‌بندی شد شکل (۱۳). در ارتفاعات بالاتر حوضه به دلیل عواملی مانند خشونت اقلیم، فقدان یا محدود بودن پوشش خاک، توپوگرافی خشن و عدم دسترسی مناسب، سکونتگاه‌های انسانی امکان استقرار نیافته‌اند. بنابراین وقوع سیلاب دارای خطرات انسانی بسیار محدودی است. برعکس، سکونتگاه‌ها در پایین دست حوضه در جاهایی که دره‌ها از عرض مناسب برخوردار شده و یا در محل خروجی بلافصل کوهستان ایجاد شده‌اند. دو شهر لای و نیر در این قسمت‌ها مستقر شده‌اند و درنتیجه در معرض رواناب‌های هدایت شده از بالادست حوضه قرار گرفته‌اند.

شیب: حدود ۲۹ درصد از حوضه مطالعاتی دارای شیب کم‌تر از ۱۰ درصد می‌باشد. اراضی با شیب کم عمدتا در کف دره‌های آبراهه‌های اصلی و همچنین در بخش‌های پایین‌دست حوضه پراکنده شده‌اند. این مناطق محل استقرار شهرها و روستاهای متعددی هستند و درنتیجه بیشتر در معرض خطر سیلاب قرار می‌گیرند؛ مخصوصا در مواردی که در دره اصلی حوضه و در مجاورت آبراهه اصلی (رودخانه نیرچای) ساخت و ساز صورت گرفته باشد. در قسمت‌های میانی و بالادست، درصد قابل‌توجهی از حوضه دارای شیب‌های تند و بسیار تند می‌باشد شکل(۱۴) که نشان‌دهنده فراوانی مورفولوژی‌های پرتگاهی و دیواره‌مانند در سطح حوضه می‌باشد. این امر باعث می‌شود که میزان آب‌دوی و تبدیل بارش به رواناب در قسمت‌های بالادست افزایش قابل توجهی داشته باشد.

جهت شیب: در سطح حوضه مطالعاتی، شیب‌های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی به ترتیب حدود ۱۸، ۲۰ و ۱۲ درصد سطح حوضه را شامل می‌شوند شکل (۱۵). تاثیر اساسی جهت شیب مربوط به ذوب سریع برف‌ها در دامنه‌های جنوبی و غربی حوضه مطالعاتی می‌باشد. این امر مخصوصا در اواخر زمستان و اوایل بهار از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این ایام بارش‌های رگباری و شدید می‌تواند با ذوب سریع برف دامنه‌های جنوبی و غربی همراه شده و رواناب قابل توجهی را ایجاد کند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

لندفرم‌ها: به منظور طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه از روش طبقه‌بندی ارائه شده توسط ویس[1] (۲۰۰۱) و جنس[2] (۲۰۰۶) استفاده شد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۹-۴۵). در این روش طبقه‌بندی، از شاخصی موسوم به شاخص موقعیت توپوگرافیک[3] یا TPI استفاده می‌شود و براساس آن، ده نوع لندفرم قابل تشخیص می‌باشد شکل(۱۶). منطقه مورد مطالعه یک ناحیه کوهستانی با درجه ناهمواری بالا می‌باشد. این نوع ژئومورفولوژی در طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه نیز منعکس شده است؛ به طوریکه، منطقه در مقیاس کلی شامل دره‌ها و میاناب-های متعدد می‌باشد و اراضی هموار درصد کمی از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. دشت‌ها با مساحت حدود ۱۱ کیلومترمربع در حدود ۶ درصد سطح منطقه مطالعاتی را دربرمی‌گیرند. حدود ۳۰ درصد حوضه مطالعاتی را واحد ژئومورفیکی قله‌ها و ستیغ‌های مرتفع تشکیل می‌دهند. بنابراین، دره‌ها و دشت‌های میان‌کوهی حوضه مطالعاتی بیشتر در معرض سیلاب می‌باشند و به دلیل استقرار سکونتگاه‌های منطقه در این واحدهای ژئومورفیک، سیلاب می‌تواند به یک مخاطره جدی تبدیل شود.

شاخص عمق دره: عمق دره به صورت تفاضل بین ارتفاع و سطح خط‌الراس محاسبه می‌شود. این شاخص می‌تواند در شناسایی پهنه‌های سیل‌گیر حوضه آبریز نیرچای کمک کند. مقادیر این شاخص در قسمت‌های انتهایی حوضه و همچنین در قسمت‌هایی از دره اصلی حوضه از بیشترین مقدار برخوردار است شکل(۱۷). بنابراین می‌توان گفت که این بخش‌های حوضه از پتانسیل سیل‌گیری بالاتری برخوردار می‌باشند.

شاخص تحدب: شاخص تحدب سطح زمین[4] توسط ایواهاشی و پیکه[5] (۲۰۰۷) برای طبقه‌بندی عوارض زمین پیشنهاد شد. حوضه نیرچای بر اساس این شاخص به پنج کلاس (از تحدب بسیار کم تا تحدب بسیار زیاد) تقسیم‌بندی شد شکل(۱۸). در قسمت‌هایی از حوضه که از تحدب بالایی برخوردار می‌باشند امکان تجمع و انباشت آب وجود ندارد و درنتیجه احتمال سیلاب به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. برعکس، در قسمت‌های با تحدب بسیار پایین یا مقعر حوضه امکان تجمع و انباشت آب بالاست و درنتیجه در معرض سیلاب می‌باشند.

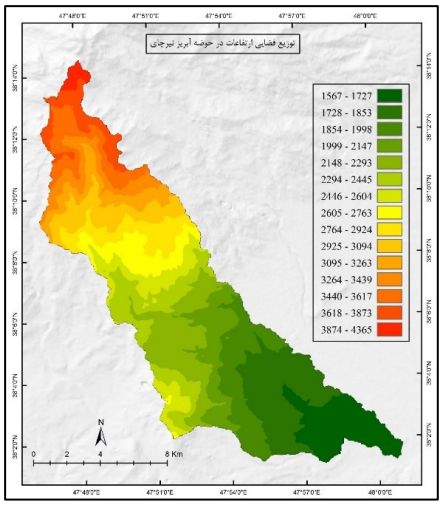
فاصله از رودخانه: در حوضه مطالعاتی، توپوگرافی خشن و غلبه لندفرم‌های ناهموار باعث افزایش جاذبه‌های دشت‌های سیلابی مجاور رودخانه برای ساخت و ساز و فعالیت‌های گوناگون شده است. بنابراین، ساخت و ساز در حریم رودخانه نیرچای و سایر آبراهه‌ها و مسیل‌های منطقه باعث شده است که از یک طرف با تنگ‌شدگی مجرای رودخانه، ظرفیت عبور سیلاب‌ها کاهش یابد و از طرف دیگر به عاملی در جهت افزایش خسارات سیلاب-های آتی تبدیل شود. بدیهی است مناطق حریم و دشت سیلابی رودخانه نیر چای از پتانسیل وقوع سیلاب بالاتری نسبت به سایر مناطق حوضه برخوردار می‌باشند. این امر در قالب لایه فاصله از آبراهه‌های رده بالا در ترکیب نهایی متغیرهای موثر در رخداد سیلاب حوضه مطالعاتی مدنظر قرار گرفت شکل (۱۹). در حوضه مطالعاتی، حدود ۲۵/۵ درصد از سکونتگاه‌ها در فاصله ۰ تا ۱۵۰ متری رودخانه‌ها مستقر شده‌اند که مساحتی بالغ بر ۵۰/۳ هکتار را شامل می‌شود. ۱۹/۳ درصد از سکونتگاه‌ها با مساحت تقریبی ۳۸ هکتار در فاصله ۱۵۰ تا

1 - Weiss
2 - Jenness
3 - Topographic Position Index (TPI)
4 - Terrain Surface Convexity
5 - Iwahashi & Pike

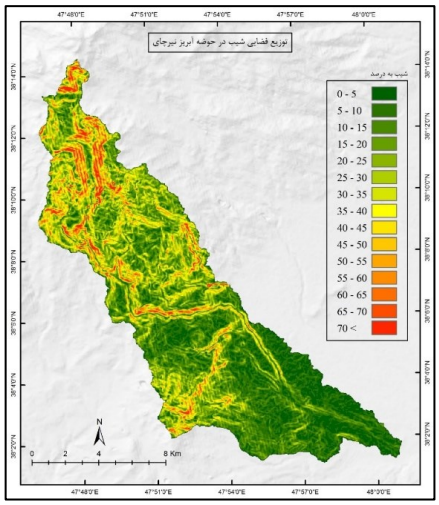
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

۳۰۰ متری و ۱۸ درصد با مساحت ۳۵/۶ هکتار در فاصله ۳۰۰ تا ۴۵۰ متری آبراهه‌های اصلی (مخصوصا رودخانه نیرچای) مستقر شده‌اند.

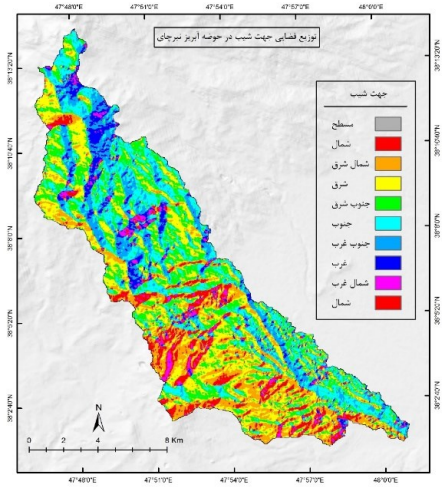
سنگ‌شناسی: حوضه آبریز نیرچای بخش‌هایی از دامنه جنوبی توده آتشفشانی سبلان را زهکشی می‌کند. بنابراین، بخش اعظم حوضه آبریز مطالعاتی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده است شکل(۲۰) که در یک حالت تطبیقی از نفوذپذیری پایین‌تری برخوردار می‌باشند. نواحی مرتفع منطقه نیز منطبق بر این واحدهای سنگ‌شناسی می‌باشند. آبرفت‌های قدیمی و جوان منطقه عمدتا در پایین دست حوضه و مجاورت آبراهه‌های اصلی و منطبق بر دشت‌های سیلابی حوضه مطالعاتی می‌باشند. این واحد عمدتا متشکل از رس، ماسه و گراول است که در مقایسه با سایر واحدهای سنگ‌شناسی حوضه از نفوذپذیری بالاتری برخوردار می‌باشند.



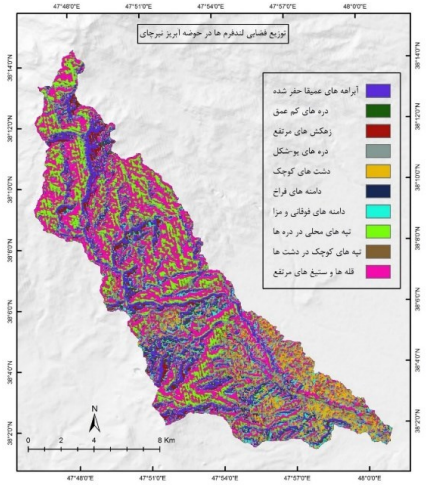
شکل(۱۳). توزیع فضایی ارتفاعات حوضه نیرچای



شکل (۱۴). توزیع فضایی شیب حوضه نیرچای

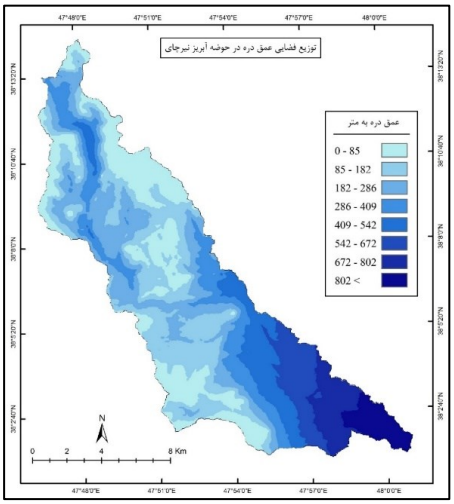


شکل (۱۵). توزیع فضایی جهت شیب در نیرچای

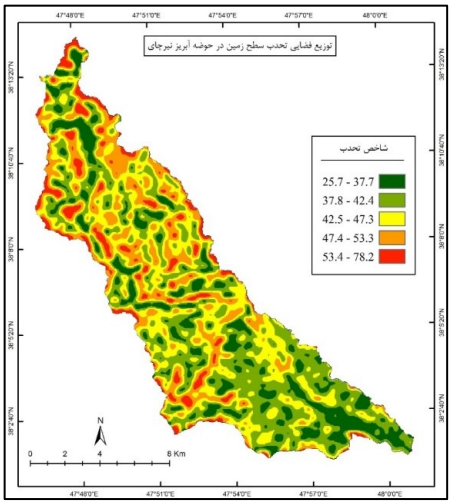


شکل (۱۶). توزیع لندفرم‌ها حوضه نیرچای

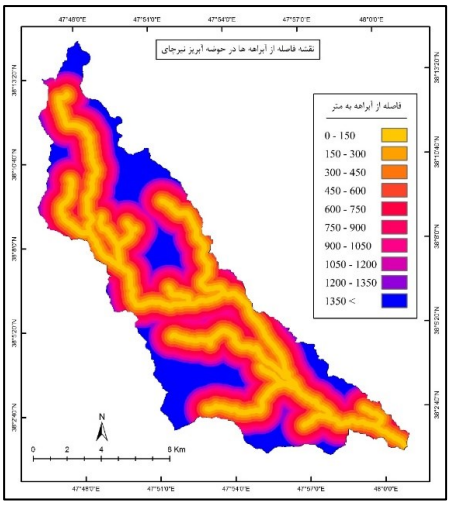
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]



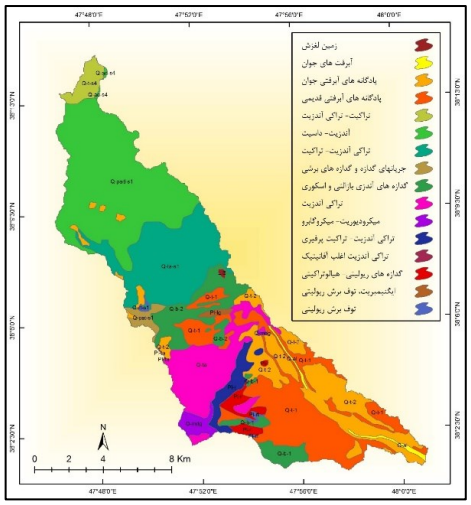
شکل (۱۷). نقشه شاخص عمق دره در حوضه نیرچای



شکل (۱۸). نقشه شاخص تحدب در حوضه نیرچای



شکل (۱۹). نقشه فاصله از آبراهه‌های حوضه نیرچای



شکل (۲۰). لیتولوژی حوضه آبریز نیرچای

روی‌هم‌گذاری فازی لایه‌های موضوعی

با توجه به اینکه لایه‌های موضوعی دارای محدوده و مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوتی هستند مقیاس اندازه‌گیری آنها باید متناسب شوند. در این تحقیق از توابع عضویت فازی برای استاندار کردن لایه‌های موضوعی استفاده شد جدول(۴).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

جدول (۴). نوع توابع فازی لایه‌های موضوعی تاثیرگذار بر سیل‌گیری

متغیر	نوع تابع فازی	نقاط کنترل	
ارتفاع	تابع کوچک فازی	نقطه میانی: ۱۳۹۹	گسترش: ۱
شیب	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۰	حداقل: ۳۰
جهت شیب	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۳/۵	گسترش: ۴
عمق دره	تابع خطی افزایشی	حداکثر ۹۴۷/۲	حداقل: ۰
لندفرم	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۴	گسترش: ۳
تحدب	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۲۵/۷	حداقل: ۷۸/۲
پوشش گیاهی	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۰/۱۳۸۹-	حداقل: ۰/۸۴۵۷
فاصله از رودخانه	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۰	حداقل: ۱۸۰۰
سنگ‌شناسی	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۳	گسترش: ۴
کاربری اراضی	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۳	گسترش: ۵
دبی پیک	تابع خطی افزایشی	حداکثر: ۶۷/۰۴۳	حداقل: ۱/۳۱۵

پس از فازی‌سازی، لایه‌های موضوعی فازی با استفاده از پنج عملگر «و» فازی، «یا» فازی، جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و فازی گاما تلفیق شده و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری حاصل گردید. برای منطقه مورد مطالعه، پهنه‌بندی با چهار عملگر «یا» فازی «و» فازی، ضرب فازی و جمع جبری فازی نتایج قابل قبولی را ارائه ندادند. «و» فازی معادل با عملیات AND بولین (اشتراک منطقی[1]) در مقادیر مجموعه کلاسیک می‌باشد. بدین صورت که حداقل درجه عضویت را استخراج می‌کند. بنابراین، در بین تمامی لایه‌های موضوعی، حداقل ارزش هر پیکسل را استخراج کرده و درنقشه نهایی منظور می‌کند. در ضرب فازی نیز تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی می‌باشد، این عملگر باعث می‌شود تا اعداد در نقشه خروجی، کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. درنتیجه، تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خطرناک قرار می‌گیرد. به همین دلیل، این عملگر حساسیت بالایی در پهنه‌بندی اعمال می‌کند. درنتیجه، در پهنه‌بندی با اپراتورهای «و» فازی و ضرب فازی اکثریت منطقه در کلاس بسیار کم‌خطر قرار گرفت و نتایج مدل منطبق بر واقعیت‌های موجود نمی‌باشد. برعکس، با اعمال دو اپراتور «یا» فازی و جمع جبری فازی، تقریبا کل منطقه مورد مطالعه در طبقه با خطر سیل‌گیری بسیار بالا قرار گرفت. «یا» فازی همانند OR بولین (اجتماع منطقی[2] که در آن مقادیر عضویت خروجی بوسیله مقادیر حداکثر هر نقشه ورودی تعیین می‌شود) می‌باشد. این عملگر، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در پهنه‌بندی برخوردار نمی‌باشد. جمع جبری فازی، متمم ضرب جبری فازی می‌باشد. به همین دلیل، در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. درنتیجه، تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خطرناک قرار می‌گیرد. به همین دلیل، این عملگر حساسیت خیلی کمتری در پهنه‌بندی دارد و از دقت خیلی کمی در همپوشانی رسترها برخوردار می‌باشد. بنابراین، با استفاده از این عملگر عرصه وسیعی به عنوان مکان‌های با خطر بسیار بالای سیل‌گیری انتخاب می‌شود. درنتیجه، پهنه‌بندی با استفاده از این چهار اپراتور به طور کلی رد شد. برعکس این اپراتورها، عملگر گامای فازی جهت همپوشانی لایه‌های موضوعی و

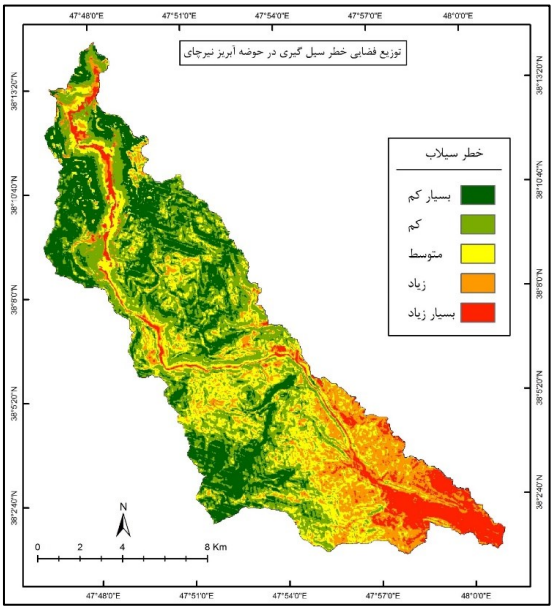
1- logical intersection
2- logical union

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

تهیه نقشه خطر سیل‌گیری به نتایج مناسب و مقبولی منجر شد (شکل ۲۱). این عمگر در واقع ترکیبی از اپراتورهای جمع جبری فازی و ضرب فازی می‌باشد. در عملیات گامای فازی، هنگامی‌که λ برابر ۱ باشد ترکیب همانند جمع جبری فازی، و هنگامیکه λ برابر ۰ باشد ترکیب معادل با ضرب جبری فازی است.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری حوضه آبریز نیرچای شکل (۲۱) می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- در حدود ۸/۶ درصد از سطح حوضه با مساحت ۱۴/۵ کیلومتر مربع در پهنه‌های با خطر بسیار بالا و درحدود ۱۵/۷ درصد از سطح حوضه با مساحت ۲۶/۶ کیلومترمربع در پهنه‌های با خطر بالای وقوع سیلاب واقع شده‌اند. این پهنه‌ها عمدتا منطبق بر دشت سیلابی مجاور آبراهه اصلی حوضه (رودخانه نیرچای) می‌باشند. دره رودخانه نیرچای تا نزدیک خروجی حوضه تنگ و باریک می‌باشد و بنابراین در قسمت‌های میانی و بالادست درنتیجه وقوع سیلاب‌های با دوره بازگشت بین ۱۵ تا ۲۰ سال به زیر آب می‌روند. تنها در نزدیکی خروجی حوضه و در مجاورت تلاقی رودخانه نیرچای با رودخانه بالخلی‌چای بر عرض دره و دشت سیلابی مجاور آن افزوده می‌شود.
- در حدود ۲۳/۵ از سطح حوضه (با مساحت ۳۹/۹ کیلومترمربع) در کلاس بسیار کم‌خطر و در حدود ۲۹/۹ درصد (با مساحت ۵۰/۶ کیلومترمربع) در کلاس کم‌خطر رخداد سیلاب قرار گرفته‌اند. اکثر قسمت‌های بالادست و میانی حوضه در پهنه‌های با خطر بسیار کم تا کم خطر وقوع سیلاب واقع شده‌اند. توپوگرافی تند و خشن و فقدان یا محدود بودن اراضی کم‌شیب مهم‌ترین نقش را در این زمینه دارند.
- به علت توپوگرافی خشن و عدم دسترسی، تنها چند روستا در قسمت‌های میانی و بالادست حوضه شکل گرفته است. به همین دلیل فرایند سیلاب در این بخش‌ها تبدیل به مخاطره نمی‌شود. دو سکونتگاه مهم منطقه یعنی شهر نیر و لای در قسمت‌های پایین دست حوضه واقع شده‌اند. در سال‌های اخیر روند توسعه بخش‌هایی از شهر نیر در جهت غربی- بر روی دشت سیلابی- بوده است. این مناطق جزو مخاطره‌آمیزترین پهنه‌های حوضه نیرچای در رابطه با رخداد سیلاب می‌باشند.



شکل (۲۱). نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه نیرچای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان‌دهنده کارایی بالای مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی بارش- رواناب در حوضه آبریز نیرچای می‌باشد. دقت این مدل در برآورد دبی‌های پیک حوضه بسیار مناسب می‌باشد. هر چند در برآورد حجم سیلاب از دقت بسیار بالایی برخوردار نبود و حجم سیلاب را با دقت حدود ۷۵ درصد پیش‌بینی نمود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که هیدروگراف سیلاب زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه نیرچای تا حد زیادی تحت تاثیر ویژگی‌های ژئومورفومتری (شیب، شکل، مساحت و غیره) و پوشش زمین می‌باشد. پیک‌های بالا در زیرحوضه‌های با کمترین میزان پوشش حفاظتی، شیب زیاد، نفوذپذیری کم، فراوانی برون‌زدهای سنگی و سطوح غیرقابل نفوذ مشاهده می‌شود. این زیرحوضه‌ها مخصوصا در قسمت‌های بالادست حوضه واقع شده‌اند. حوضه نیرچای برای سیلاب‌های با دوره بازگشت کمتر از ۲۵ سال از پتانسیل سیل‌خیزی کمتری برخوردار است اما مقدار دبی برای دوره‌های بازگشت بالاتر از ۲۵ سال نسبتا زیاد بوده و به بیش از ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. بنابراین، ضرورت دارد که اقدامات آبخیزداری در قسمت‌های بالادست و میانی حوضه صورت گیرد. از نظر سیل‌گیری، ترکیب لایه‌های موضوعی نشان داد که در داخل دره‌ها و اراضی پایین دست حوضه به دلایل ژئومورفومتریکی از قبیل وجود دشت‌های سیلابی با شیب کم، تحدب اندک، ارتفاع پایین و هدایت رواناب‌های بالادست خطر وقوع سیلاب بالاست. پهنه‌های با خطر بالای رخداد سیلاب عمدتا منطبق بر دشت سیلابی مجاور رودخانه نیرچای می‌باشند. این اراضی به علت کم‌عرض بودن دره و شیب کم همیشه در معرض سیلاب‌های رودخانه‌ای و مسیل‌های ورودی هستند. اکثر سکونتگاه‌های منطقه مطالعاتی در پایین دست حوضه مستقر شده‌اند. این امر باعث افزایش مخاطرات ناشی از سیلاب شده است. بخش‌هایی از غرب شهر نیر که بر روی دشت سیلابی رودخانه نیرچای توسعه یافته است در معرض سیلاب می‌باشد. مخصوصا در سال‌های اخیر ساخت و ساز و فعالیت‌های کشاورزی بدون توجه به حریم رودخانه باعث تنگ‌شدگی، انسداد و پرشدگی مجرای رودخانه شده و درنتیجه خطرات ناشی از سیلاب به طور قابل توجهی افزایش یافته است. بنابراین، در حاشیه رودخانه نیرچای نظارت بر ساخت و ساز و آزادسازی حریم رودخانه ضرورت می‌یابد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با شماره ۹ تاریخ ۹۷/۱/۱۹ می‌باشد که با حمایت مالی حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردیده است. در این راستا، از زحمات این معاونت محترم قدردانی می‌گردد.

منابع

اسفندیاری، فریبا؛ رحیمی، مسعود؛ خیری‌زاده، منصور. (۱۳۹۷). **ارزیابی و پیش‌بینی مکانی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک (منطقه مطالعاتی: جاده مواصلاتی خلخال- سرچم)**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۷(۲): ۱۹-۴۵.

حاتمی‌نژاد، حسین؛ آتش‌افروز، نسرین؛ آروین، محمود. (۱۳۹۶). **پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایذه**، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۷(۲): ۴۴-۵۷.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]

[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

حجازی، اسداله؛ خدائی قشلاق، فاطمه؛ خدائی قشلاق، لیلا. (۱۳۹۸). **پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه‌ی آبریز ورکش‌چای با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۳): ۱۳۷-۱۵۵.

حسین‌زاده، محمد مهدی؛ ایمنی، سپیده. (۱۳۹۵). **مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک با استفاده از مدل HEC-HMS**، پژوهش‌های دانش زمین، ۷(۲۵): ۳۱-۴۳.

درخشان، شهرام. (۱۳۸۹). **مطالعه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز کسیلیان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۱۶): ۵۱- ۶۳.

طاهری تیزرو، عبداله؛ پاکدل خسمخی، حدیث؛ معروفی، صفر؛ وظیفه دوست، مجید. (۱۳۹۵). **تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS در تخمین رواناب مناطق فاقد آمار**، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۴): ۱۰۱-۱۱۸.

عابدینی، موسی؛ بهشتی جاوید، ابراهیم. (۱۳۹۵). **پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز لیقوان چای با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی**، نشریه فضای جغرافیایی، ۱۶(۵۵): ۲۹۳-۳۱۲.

مدرسی، فرشته؛ عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۹۶). **آموزش کاربردی مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در HEC-HMS**، انتشارات نشر نوآور.

مرادنژادی، مریم؛ جورغلامی، مقداد؛ ملکیان، آرش. (۱۳۹۴). **بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب حوضه‌های آبخیز جنگلی (مطالعه موردی: جنگل خیرود)**، نشریه جنگل و فراورده‌های چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، ۶۸(۳): ۶۳۹-۶۲۵.

Alcántara-Ayala, I., Goudie, A. S, (2010), **Geomorphological Hazards and Disaster Prevention**, Cambridge University Press.

Alkema, D, (2004), **RS and GIS applications in flood forecasting**, Proceedings of the National Workshop on Flood Disaster Management: Space Inputs. India. 57-59.

Al-Tahir, R., Baban, S., Ramlal, B, (2006), **Utilizing emerging geo-imaging technologies for the management of tropical coastal environments**, West Indian Journal of Engineering, 29 (1), 11-21.

Altan, O., Kemper G, (2010), **Spatial Information for disaster management using examples from Istanbul**, Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlag Berlin.

Bajwa, H.S., Tim, U.S, (2002), **toward immersive virtual environments for GIS-based floodplain modeling and visualization**, In: Proceedings of 22nd ESRI User Conference, San Diego, TX, USA.

Belmonte, C., García. S, (2012), **Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology**, Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain), Landscape and Urban Planning 104(5), 189–200.

Chen, Y., Xu, Y., Yin, Y., (2009), **Impacts of land use scenarios on storm run off generation in Xitiaoxi basin China**, Journal of Hydrology, v. 28(1-4), 1-8.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

Chung, C.F., Fabbri, A.G., (2001), **Prediction models for landslide hazard zonation using a fuzzy set approach**, Geomorphology & Environmental Impact Assessment, Balkema Publishers, 31-47.

Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction, Water Science and Technology Board, National Research Council, (2000), **Risk Analysis and Uncertainty in Flood Damage Reduction Studies**, National Academy Press. Washington, D.C. 202P.

Emerson, CH., Welty, C., Traver, R.G., (2003), **Application of HEC-HMS to model the additive effects of multiple detention basins over a range of measured storm volumes**, Civil Engineering Database, Part of world water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia.

Feldman, A.D., (2000), **Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers**, Hydrologic Engineering Center, HEC, Davis, CA, USA.

Fernández, D.S., Lutz, M.A., (2010), **Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis**, Engineering Geology No.111, 90–98.

Guha-Sapir, D., Below, R., Hoyois, Ph., (2017), **EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database**, www.emdat. be, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.

Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., Rahmatullah, J., (2012), **Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 15, 135–141.

Hongming, H., Zhou, J., Peart, M. R., Chen, J., Zhang, Q., (2012), **Sensitivity of hydrogeomorphological hazards in the Qinling Mountains, China**, Quaternary International, v. 282,. 37-47.

Hyndman, D., Hyndman, D., (2009), **Natural Hazards and Disasters**, Second Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning. 555p.

Iwahashi, J., Pike, R.J., (2007), **Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature**, Geomorphology, Vol. 86, 409–440.

Kusky, T., (2008), **Floods: hazards of surface and groundwater systems**, Facts On File, Inc. New York.

Lee, S., (2007), **Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping**, Environ Geol 52, 615–623.

Murphy, A., Colleton, N., Downs, R., Goodchild, M., Hanson, S., Lawson, V., Macdonald, G., Magilligan, F., Moseley, W., Polsky, C., Seto, K., Wright, D., (2010), **Understanding the Changing Planet: Strategic Directions for the Geographical Sciences**, National Research Council. The National Academies Press. Washington, D.C.

Proverbs, D. G., Soetanto, R., (2004), **Flood Damaged Property: A Guide to Repair**, Blackwell Publishing. Oxford. 225p.

Revilla-Romero, B., Hirpa, F. A., Thielen-del Pozo. J., Salamon, P., Brakenridge, R., Pappenberger, F., De Groeve, T., (2015), **On the Use of Global Flood Forecasts and Satellite-Derived Inundation Maps for Flood Monitoring in Data-Sparse Regions**, Remote Sensing, vol. 7, 15702–15728. doi:10.3390/ rs71115702.

Sene, K., (2008), **Flood Warning, Forecasting and Emergency Response**. Springer. 303p.

Shanley, L. A., Bellovary, T., Lulloff, A., Schwoegler-Boos, P. A. L., (2006), **GIS Data Sharing and Flood Hazards in Wisconsin**, Wisconsin Land Information Association, Wisconsin. Available online: www.wlia.org/resources /datasharingfloods.pdf. Last accessed 15 May 2010.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]

Sharma, S., Roy, P. S., Chakravarthi, V., Srinivasa, R. G., (2018), **Flood risk assessment using multi-criteria analysis: a case study from Kopili River Basin, Assam, India**, Geomatics, Natural Hazards and Risk, Volume 9, Issue 1, 1-15.

Stone, S. A, (2001), **Geospatial Database and Preliminary Flood Hydrology Model for the Lower Colorado Basin**, Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Engineering, The University of Texas at Austin.

U.S. Army Corps of Engineers, (2008), **Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Applications Guide: Version 3.1.0**, Institute for Water Resources, Hydrologic EngineeringCenter, Davis, CA.

Wohl, E. E., (2000), **Inland flood hazards: human, riparian and aquatic communities**, Cambridge University Press. 498p.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.15.0]

[DOI: 10.52547/jgs.22.66.79]