نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ٤، زمستان١٤٠١

صفحات ٢١ - ٤٠

مقایسه نتایج تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره در پهنه‌بندی مناطق مستعد خطر سیلاب با شاخص‌های سنجش از دور در حوضه آبریز رودخانه کهیر(بلوچستان جنوبی)

علیرضا خسروی[1]؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

مهدی اژدری مقدم[1]؛ استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

سید آرمان هاشمی‌منفرد؛ دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

حمید نظری‌پور؛ استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۱/۰۶/۱۴ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۱۰/۳۰

چکیده

نقشه‌های خطر سیلاب یکی از ابزارهای سودمند در جهت مدیریت این مخاطره در حوضه آبریز و کاهش اثرات آن است. در حوضه بلوچستان جنوبی و حوضه آبریز رودخانه کهیر، باتوجه به وجود دو رژیم بارشی زمستانه و تابستانه، وقوع سیلاب‌های ناگهانی امری اجتناب‌ناپذیر است که باتوجه به استقرار جوامع روستایی و سکونتگاه‌ها در نواحی مستعد وقوع سیلاب، هرساله موجب واردآمدن خسارات فراوان به جمعیت آسیب‌پذیر منطقه می‌گردد. در راستای پهنه‌بندی خطر سیلاب، داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیک، پوشش زمین و توپوگرافی حوضه از منابع معتبر تهیه و باتوجه‌به مطالعات علمی، دوازده متغیر تأثیرگذار بر بروز خطر سیلاب در قالب پنج مؤلفه اصلی (هیدرولوژیک، پوشش گیاهی، پوشش زمین، اقلیمی و توپوگرافی)، جمع‌آوری گردید. با استفاده از دو روش همپوشانی فازی و وزنی و امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه متغیرها و مؤلفه‌ها پس از طبقه‌بندی مجدد و فازی‌سازی با عملگرهای مناسب تهیه شد. نتایج نشان داد که روش همپوشانی فازی باتوجه به منطق حاکم بر آن، قدرت تمایز بهتری از مناطق مستعد وقوع سیلاب دارد و می‌تواند به ریز پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب، کمک نماید. با مقایسه نتایج حاصل از داده‌های واقعی وقوع سیلاب دی‌ماه ۱۳۹۸ حاصل از تصاویر ماهواره سنتینل ۲، صحت نتایج روش فازی به طور نسبی مورد تأیید قرار گرفت. با ملاحظه تمرکز سکونت‌گاه‌ها در پیرامون آبراهه اصلی و ضعف زیرساخت‌ها، مناطق جمعیتی قابل توجهی در معرض بالقوه خطر سیل قرار دارند.

واژه های کلیدی: سیلاب، منطق فازی، همپوشانی وزنی، بلوچستان جنوبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

۱. نویسنده مسئول: Email: mazhdary@eng.usb.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

مقدمه

در عمل سیلاب هم ازنظر تلفات جانی و هم ازنظر خسارات مالی، مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود(فرج-زاده و باغبانان، ۱۳۸۷). عوامل اصلی بروز و تشدید سیلاب‌ها را به‌طورکلی در سه گروه اصلی اقلیمی، خصوصیات منطقه‌ای و حوضه‌ای و عوامل انسانی طبقه‌بندی می‌کنند(وزارت نیرو، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر رویکردهای جلوگیری از تلفات جانی و محدودکردن اختلال و خسارات برآمده از وقوع سیل از راهبرد مقابله با سیلاب به راهبرد مدیریت ریسک سیلاب تغییر کرده است. لازم است که جامعه همزیستی با سیلاب‌ها را فراگیرد و ساکنین نواحی در معرض سیل، راهبردهای سازگاری یا افزایش تاب‌آوری نسبت به اثرات سیلاب‌ها را در زمان وقوع توسعه دهند. این تغییر رویکرد، نمایانگر یک تغییر الگو است که برخاسته از این ادراک می‌باشد که تقویت و توسعه همیشگی روش‌های متداول مقابله با سیلاب ازنظر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برحسب عدالت اجتماعی غیرقابل‌تحمل است. تحلیل حساسیت و خطرپذیری سیل همواره یکی از رویکردهای مهم و تأثیرگذار در زمینه ارزیابی خطر سیل است که در حال حاضر به‌عنوان نقطه عطف در مدیریت بحران و مدیریت منابع آب و مخاطرات طبیعی بیان‌شده است. باتوجه‌به سیل‌های پیوسته‌ای که در ایران رخ‌داده است و سبب آسیب‌رسانی و خسارات در استان‌های مختلف شده است می‌توان خطر سیلاب در ابعاد و معیارهای گوناگون طبقه‌بندی کرد(محمدپور و وفائی‌نژاد، ۱۳۹۹).

در مقابله با سیلاب دو روش سازه‌ای و غیر سازه‌ای مورد توجه اندیشمندان و پژوهشگران بوده است. روش‌های غیر سازه‌ای بخصوص در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از محورها و راهکارهای بسیار کارآمد و مؤثر در کاهش خسارات سیل به‌شدت موردتوجه قرار گرفته است(Andjelkovic, ۲۰۱۳). نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب بدون شک یکی از مؤثرترین روش‌های غیر سازه‌ای تعدیل و پیش‌آگاهی از مخاطرات سیلاب است. تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل یکی از ملزومات و پیش‌نیازهای کلیه طرح‌های پیشگیری و کنترل ازجمله سامانه‌های هشدار سیل، بیمه سیل، نحوه تعیین کاربری اراضی حاشیه رودخانه و آزادسازی محل عبور ایمن جریان رودخانه می‌باشد. بر پایه این نقشه‌ها می‌توان تعیین نمود که احتمال رخداد مخاطره سیل در هر پهنه چقدر است و نحوه استقرار جمعیت و تأسیسات باید چگونه ساماندهی شود. شناخت استعداد نواحی ازنظر سیل‌خیزی با تلفیق و ترکیب داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، سنجش‌ازدور، زمین‌شناسی و با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی روش نوینی است که می‌تواند برای پهنه‌بندی خطر سیلاب از آن استفاده نمود. پهنه‌بندی خطر سیل، درواقع ابزاری اساسی برای مدیریت کاهش خطرهای سیل است و ابزاری مفید و قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه هم‌زمان با کاهش خطرهای سیل و حفاظت محیط‌زیست است.

سیلاب همه‌ساله در جنوب شرق ایران باعث آسیب‌دیدن سکونتگاه‌ها، تخریب زیرساخت‌ها، فرسایش منطقه و ازدست‌رفتن بخش مهمی از منابع آب برآمده از بارش می‌شود. یکی از رخدادهای جدید و مخرب سیل مربوط به سیل استان سیستان و بلوچستان در دی‌ماه ۱۳۹۸ می‌باشد که با توجه به اطلاعات موجود در شبکه‌های اجتماعی ۴۰ درصد جمعیت و ۷۰ درصد روستاهای مسیر خود را تحت‌تأثیر قرار داده است. (پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۹۹). بنابراین ضرورت به‌کارگیری روش‌هایی که امکان ارزیابی تحلیل خطرپذیری سیلاب و ارزیابی ریسک و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و حساسیت رخداد سیل را داشته باشند، بسیار موردتوجه هستند و این رویکردها امکان شناسایی مناطق حساس و مدیریت بحران را در آن مناطق به عمل می‌آورند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

باتوجه به افزایش جمعیت و ساخت‌وسازها در اطراف و حریم رودخانه‌ها و تغییرات اقلیمی، وقوع سیلاب و افزایش آسیب‌پذیری ناشی از آن از مباحث بسیار مهم در مدیریت منابع آب و مدیریت بحران است. این امر در مناطق خشک اهمیتی مضاعف دارد. سیلاب در این مناطق علاوه بر آسیب به مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها منابع آب باارزش را نابود می‌کند. لذا اهمیت بررسی سیلاب و مناطق در معرض آسیب هم از دیدگاه برنامه‌ریزی فضایی و آمایش سرزمین و هم مدیریت بحران امری اجتناب‌ناپذیر است. حوضه آبریز کهیر به دلیل امکان وقوع سیلاب فصلی در زمستان و مونسون در تابستان می‌تواند الگویی مناسب برای مطالعه‌ای موردی در زمینه تعیین مناطق خطر و پایش مناطق کمتر آسیب‌پذیر باشد که نتایج آن می‌تواند قابل‌تعمیم به مناطق مشابه در استان‌های کرمان، هرمزگان، بوشهر و سایر مناطق مشابه در خاورمیانه باشد.

در سال‌های اخیر باتوجه‌به افزایش فراوانی و خطر سیلاب، مطالعات متعددی در حوضه‌های آبریز و مناطق شهری درباره پهنه‌بندی خطر سیلاب با روش‌های گوناگون آماری و زمین‌آماری انجام‌شده است. (آل‌شیخ و همکاران، ۱۳۸۱) با استفاده از منطق بولین و روش همپوشانی فازی پهنه‌های در معرض خطر سیل در حوضه سمل بوشهر را برآورد نمودند. مطالعات دیگری با استفاده از روش‌های مشابه در حوضه‌های آبریز عشق‌آباد طبس توسط بلداجی(Chabok Boldaji et al, ۲۰۱۰)، حوضه کنجاچم توسط امیدوار و همکاران(۱۳۸۹)، شهر سبزوارتوسط امیرحمدی و همکاران(۱۳۹۰)، حوضه آبریز دامن، توسط بومری و همکاران(۱۳۹۰)، شهر زواره اردستان، توسط نصری و سبزی(۱۳۹۰)، شهر بم توسط سلامی و همکاران(۱۳۹۰)، انجام شده است. آجین و همکاران(Ajin et al, ۲۰۱۳)، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی خطر بالقوه سیلاب را با استفاده از متغیرهای محیطی تغییر توزیع بارش، کاربری زمین، جنس خاک، شکل و اندازه حوضه پهنه‌بندی نمودند. حسن‌زاده نفوتی و خواجه بافقی(۱۳۹۵)، با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره حوضه آبخیز شیطور بافق را ازنظر خطر سیلاب پهنه‌بندی نمودند. خطر سیل استان آچه مالزی با امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از پارامترهای محیطی مانند دبی، شیب و شکل حوضه، تراکم شبکه آبراهه‌ای پهنه‌بندی شده است(Hadihardaja & Vadiya, ۲۰۱۶). حاجی بیگلو و همکاران(Hajibigloo et al, ۲۰۱۷)، مناطق در معرض سیلاب شمال ایران را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ترکیب خطی موزون (WLC) با استفاده از امکانات GIS پهنه‌بندی نمودند. مددی و همکاران(۱۳۹۸)، با استفاده از فرایند تحلیل شبکه(ANP) در محیط GIS به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق‌لاقان چای پرداختند. یوسف و همکاران(Youssef et al, ۲۰۱۹)، با استفاده از روش‌های چندمتغیره و GIS به ارزیابی خطر سیل در منطقه رأس غریب مصر پرداختند. ابراهیمی(۱۳۹۹) با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی در حوضه لواسانات نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب را تهیه نمود وی با استفاده از امکانات GIS پهنه‌های خطرناک و خیلی خطرناک را در قسمت‌های غربی و شمال غربی منطقه تعیین نمود. اوگاتو و همکاران(Ogato et a, ۲۰۲۰)، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل‌های چندمتغیره خطر وقوع سیلاب در شهر آمبو در اتیوپی را مورد بررسی و دسته‌بندی قرار داده‌اند.

با جمع‌بندی پیشینه پژوهش و تنوع روش‌های مورداستفاده در پهنه‌بندی خطر سیلاب در مناطق گوناگون جهان، ضروری است در منطقه اقلیمی و آندروییک جنوب‌شرق ایران باتوجه‌به ویژگی‌های خاص جغرافیایی و هیدرولوژیکی مورد آزمون قرار گیرند و باتوجه‌به نقاط ضعف روش‌های استفاده‌شده در جهان الگویی مناسب برای این منطقه طراحی گردد. ضرورت توجه به آسیب‌پذیری اقتصادی، اجتماعی ساکنین حوضه و طرح‌های توسعه سواحل مکران از یک‌سو و تغییرات

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

و نوسانات اقلیمی و رفتار غیرقابل‌پیش‌بینی رودخانه کهیر از مواردی است که انجام پژوهش را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. بدیهی است در صورت تهیه مدل مناسب پهنه‌بندی خطر سیل می‌تواند محققان بعدی را در زمینه ارائه طرح‌های آمایش و اسکان ایمن جمعیت سکونتگاه‌های شهری و روستایی راهنمایی کند و امکان پیش‌بینی بهتر رفتار سیلابی رودخانه را فراهم آورد. از سوی دیگر جمع‌آوری آب‌های شیرین ناشی از بارش و جلوگیری از هدررفت آن توسط سیل و پیشگیری از فرسایش کالی‌ها در منطقه ساحلی از اهدافی است که تحقیقات بعدی متکی بر این پژوهش می‌تواند به آن بپردازد.

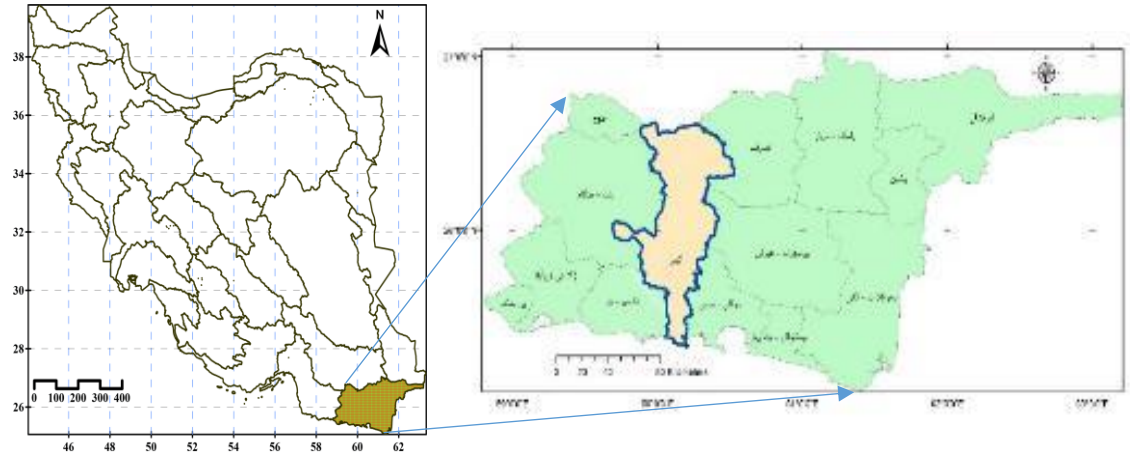
داده ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

منطقه موردمطالعه این پژوهش حوضه آبریز رودخانه کهیر است. حوضه آبریز رودخانه کهیر با وسعتی معادل ۴۸۵۶ کیلومترمربع و محیطی معادل ۷۵۰ کیلومتر(گورابی و امامی، ۱۳۹۶)، در جنوب شرق ایران و در حاشیه ساحل دریای عمان قرار گرفته است (شکل۱). موقعیت جغرافیایی این حوضه بین ″ ۱۷′۴۱°۵۹ تا ″۵۹ ′۳۱ °۶۰ طول شرقی و ″ ۵۲ ′ ۱۹ °۲۵ تا ″ ۳۸ ′ ۳۷ °۲۶ عرض شمالی آن را در شرایط اقلیمی ویژه‌ای قرار می‌دهد که در زمستان‌ها تحت‌تأثیر چرخندهای بادهای غربی و رطوبت سامانه سودانی قرار می‌گیرد و در تابستان‌ها از بارش‌های همرفتی سامانه موسمی شبه‌قاره هند بهره‌مند می‌شود و ریزش‌های جوی بیشتر به شکل بارش رگباری و سنگین هستند که باتوجه‌به شرایط هیدرولوژیکی و رسوبات ریزدانه و کمتر نفوذپذیر مارنی منطقه باعث وقوع سیلاب‌های مخرب می‌گردند. این حوضه با شیب متوسط ۱۱ درصد، طول آبراهه اصلی ۲۰۶ کیلومتر و ضریب گراویلیوس ۲/۵۲ ازنظر فیزیوگرافی شرایط مساعدی را برای وقوع سیلاب‌های فصلی دارا می‌باشد. رودخانه کهیر از سیاه کوه در ۳۸ کیلومتری شمال غرب نیک شهر سرچشمه گرفته و پس از عبور از کنار نیک‌شهر به طول ۱۸۵ کیلومتر و میانگین آبدهی سالانه حدود ۷۰ میلیون کیلومتر مکعب به خلیج پزم در سواحل مکران می‌ریزد. پس از ورود به شهرستان کنارک به نام کهیر نامیده می‌شود. در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ سیلاب‌های شدیدی را در منطقه کنارک موجب و خسارت‌های فراوانی به زیرساخت‌ها، مزارع کشاورزی، باغات موز و سکونتگاه‌های روستایی وارد نموده و موجب مرگ‌ومیر اهالی شده است. از سوی دیگر حجم زیادی از منابع آب شیرین را در یک منطقه مواجه با تنش کمبود آب از دسترس خارج نموده و فرسایش شدیدی را ایجاد می‌نماید. حوضه آبریز رودخانه کهیر با کد اختصاصی ۲۹۴ بر اساس ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز در زیرمجموعه حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان به‌عنوان حوضه آبریز درجه ۱ قرار دارد. در تقسیمات درجه ۲ حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان در حوضه آبریز رودخانه‌های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان با کد ۲۹ قرار دارد(شکل۱).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]



شکل۱. موقعیت حوضه آبریز رودخانه کهیر در تقسیمات جغرافیایی و هیدرولوژیک ایران

- **داده‌ها**

طبق مطالعات صورت گرفته، بر اساس دردسترس‌بودن داده‌ها و بررسی متون مرتبط با پهنه‌بندی خطر سیلاب معیارهای زیادی وجود دارند که بر سیل تأثیرگذار هستند که در این مطالعه از دوازده معیار مؤثر در خطر سیلاب و پنج مؤلفه اصلی استفاده گردیده است. مؤلفه‌های اصلی تأثیرگذار بر سیلاب شامل توپوگرافی، اقلیم، هیدرولوژیک، پوشش زمین و پوشش گیاهی می‌باشند(جدول۱).

جدول ۱. فاکتورهای استفاده‌شده به‌منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در منطقه موردمطالعه

گروه اصلی	فاکتور	منبع	نوع داده	مقیاس/قدرت تفکیک
توپوگرافی	طبقات ارتفاعی	مدل رقومی ارتفاعی	رستر	۳۰ متر
	شیب	مدل رقومی ارتفاعی	رستر	۳۰ متر
اقلیمی	رطوبت توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاعی	رستر	۳۰ متر
	بارندگی	پایگاه اسفزاری و	رستر	۳۰ متر
پوشش گیاهی	شاخص پوشش گیاهی	لندست ۸	رستر	۳۰ متر
هیدرولوژی	فاصله از آبراهه	مدل رقومی ارتفاعی	رستر	۳۰ متر
	قدرت جریان آبراهه	مدل رقومی ارتفاعی	رستر	۳۰ متر
	فاصله از رودخانه اصلی	مدل رقومی ارتفاعی	رستر	۳۰ متر
پوشش زمین	خاک‌شناسی	نقشه خاک های ایران	وکتور	۱:۲۵۰۰۰۰
	زمین‌شناسی	نقشه زمین‌شناسی	وکتور	۱:۲۵۰۰۰۰
	کاربری اراضی	لندست ۸	رستر	۳۰ متر

یک بررسی جامع جهت انتخاب فاکتورهای مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیلاب صورت گرفته است. خلاصه نتایج این بررسی در جدول (۲) آورده شده است. معیار ارتفاع و شیب، رطوبت توپوگرافی، بارندگی، پوشش گیاهی، فاصله از

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

آبراهه، قدرت جریام آبراهه، فاصله از رودخانه اصلی، خاکشناسی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی به عنوان فاکتورهای نهایی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب انتخاب گردیده‌اند.

جدول۲. فاکتورها و معیارهای انتخابی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب و پیشینه استفاده از آن‌ها

منبع فاکتور	C۱،۱	C۱،۲	C۱،۳	C۲،۱	C۲،۲	C۳،۱	C۳،۲	C۳،۳	C۳،٤	C٤،۱	C٤،۲
(حسینقلی‌زاده، ۱۳۹۸)	×	×	×	×	×			×		×	×
(ملازهی و همکاران، ۱۳۹۹)	×			×	×	×	×	×	×	×	×
(Eini et al, ۲۰۲۰)	×	×	×	×	×	×	×		×		
(Shirzadi et al, ۲۰۲۰)	×			×	×	×	×		×	×	
(موسوی و همکاران، ۱۳۹۵)	×	×	×	×	×	×				×	
(محمدپور و وفائی‌نژاد، ۱۳۹۹)	×			×	×	×	×	×		×	
(Sepehri et al, ۲۰۲۰)	×			×							
(Das, ۲۰۱۹)	×	×		×	×	×			×		
(Wang et al, ۲۰۲۰)	×			×	×	×			×	×	
(Abdelkarim et al, ۲۰۲۰)	×	×	×		×	×		×	×	×	×
(Falah et al, ۲۰۱۹)	×			×			×				×
(Hou et al, ۲۰۱٤)				×	×	×			×		
پژوهش جاری	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

[C۱،۱]بارش [C۱،۲] | شاخص رطوبت توپوگرافیک [C۱،۳] شاخص قدرت جریان آبراهه‌ای [C۲،۱] | شیب [C۲،۲] |ارتفاع [C۳،۱]کاربری اراضی [C۳،۲] |فاصله از آبراهه‌ها [C۳،۳] |پوشش گیاهی [C۳،٤] | فاصله از رودخانه اصلی [C٤،۱]زمین شناسی [C٤،۲] | نوع خاک

بارش، مهمترین فاکتور اقلیمی تأثیرگذار بر سیل می‌باشد. به دلیل محدود بودن حوضه آبریز موردمطالعه، ایستگاه‌های باران‌سنجی از تراکم و دوره آماری مطلوبی برخوردار نیست. براین‌اساس، دو پایگاه‌داده شامل پایگاه‌داده اسفزاری که یک پایگاه داده ملی مبتنی بر داده‌های مشاهداتی ایستگاه مبنا و یک پایگاه داده دیگر شامل GPM که مبتنی بر داده‌های سنجش از دور می‌باشند مورد استفاده قرار گرفته است. جزئیات این پایگاه‌های داده بارش به ترتیب در منابع(عینی و همکاران، ۱۳۹۷) و (Poudyal et, ۲۰۱۰) یافت می‌شود.

شاخص رطوبت توپوگرافی برای نخستین بار توسط بون و کربی(Bannari et, ۲۰۱۷) توسعه داده شده است. از این شاخص به طور گسترده برای تعیین کمیت اثرات توپوگرافی بر فرایندهای هیدرولوژیکی استفاده شده است که از نظر کمی تعادل بین انباشت آب و شرایط زهکشی را در مقیاس محلی نشان می‌دهد و معادله آن به شرح زیر است:

$$TWI = [\ln((A_S + ۰۰۰۱)/((\beta/۱۰۰) + ۰۰۰۱))] \quad \text{معادله (۱)}$$

در این رابطه، A_S تجمع جریان آبراهه‌ای بوده و تعیین می‌کند که چه مقدار آب از نواحی بالادست انباشته می‌شود و بنابراین مناطقی را که به جریان سطحی کمک می کند را شناسایی می‌کند. β نیز بیانگر گرادیان شیب می‌باشد. معیارهای توپوگرافی، شامل شیب و طبقات ارتفاعی از یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تولید شده از ماهواره SRTM ایجاد شده است. معیارهای مؤلفه هیدرولوژیک شامل فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از آبراهه اصلی و قدرت جریان آبراهه‌ای می‌باشد. شاخص قدرت جریان آبراهه‌ای (SPI)، یک مدل نیمه‌تجربی است که برای توصیف توانایی انتقال رسوب در

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

جریان‌های آبراهه‌ای، تخمین نرخ رسوب در هیدرولوژی حوضه و ارزیابی خطرات سیل استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطه (۲) محاسبه و تعریف می‌شود.

$$SPI = [ln\ ((A_S + ۰۰۰۰۱) \cdot tan((\beta/۱۰۰) + ۰۰۰۰۱))] \quad \text{معادله (۲)}$$

در این رابطه، A_S مساحت حوضه زهکشی و β بیانگر گرادیان شیب می‌باشد. شاخص‌های پوشش گیاهی شامل شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی اصلاحی خاک(SAVI) از فرآورده‌های تصاویر ماهواره لندست ۸ می‌باشند. برای مناطق خشک با پوشش گیاهی پراکنده، شاخص NDVI دارای ضعف‌هایی می‌باشد به همین دلیل از شاخص پوشش گیاهی اصلاحی خاک استفاده می‌شود. این شاخص، یکی از شاخص‌هایی است که برای کاهش تأثیر خاک زمینه و بهبود یا بارزسازی عوارض پوشش گیاهی استفاده می‌شود. این شاخص مخصوصاً در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی کمتر از ۳۰ درصد کارایی بهتری نسبت به NDVI دارد(Sepehri et al, ۲۰۲۰؛ صداقت و نظری‌پور، ۱۳۹۹).

- **روش‌شناسی**

تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره دارای روش‌های زیادی می‌باشد و برای استفاده از این تکنیک لازم است باتوجه‌به موارد استفاده هر مدل در هر منطقه با ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن منطقه، تصمیم‌گیری به عمل آید(ملازهی و همکاران، ۱۳۹۹). معیار انتخابی برای تصمیم‌گیری و پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز کهیر، دو معیار تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی است.

- **تحلیل سلسله مراتبی**

تحلیل سلسله‌مراتبی، یک ابزار مهم در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. تحلیل سلسله‌مراتبی یک تئوری ریاضی اندازه‌گیری است که توسط توماس ساعتی ایجاد گردیده و موفقیت آن در بسیاری از زمینه‌ها ثابت شده است. تحلیل سلسله‌مراتبی بهترین چارچوب برای استخراج اهمیت هر یک از معیارها، دررابطه‌با سایر معیارهای مرتبط با آن است. جدول (۳) اهمیت معیارهای تحلیل سلسله‌مراتبی را که توسط توماس ساعتی ارائه شده است، نشان می‌دهد(ملازهی و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول۳. اهمیت نسبی معیارها، بر طبق رویکرد توماس ساعتی

مقیاس/ درجه اهمیت	توضیح
۱	اهمیت برابر
۳	یکی از معیارها نسبت به دیگری اهمیت متوسطی دارد
۵	یکی از معیارها نسبت به دیگری از اهمیت بالایی برخوردار است.
۷	یکی از معیارها نسبت به دیگری از اهمیت خیلی بالایی برخوردار است.
۹	یکی از معیارها نسبت به دیگری بسیار مهم است.
۸-۶-۴-۲	مقادیر میانی استفاده شده بین وزن‌های قبلی در مقایسه عددی

تهیه نقشه خطر سیل با استفاده از رویکرد سلسله‌مراتبی را در پنج مرحله می‌توان خلاصه کرد(ملازهی و همکاران، ۱۳۹۹) و (Shahabi et al, ۲۰۱۵) که درمراحل زیر ارائه می‌گردد:

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

۱. **مرحله اول**: محاسبه مقادیر اهمیت معیارها. در این مرحله مقادیر اهمیت (اولویت) هر معیار نسبت به سایر معیارها مطابق جدول قبلی مشخص می‌گردد تخصیص ارزش‌های اهمیت در این پژوهش شامل ارزیابی هر معیار در برابر سایر معیارها در سطح سلسله‌مراتبی است.

۲. **مرحله دوم**: محاسبه درصد ارزش‌های اهمیت. در این مرحله درصد اهمیت بین دو معیار (یک معیار در ردیف و یک معیار در ستون) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{1=I}^{m} a_{\acute{I}k}}$$ رابطه (۳)

در اینجا، $\bar{a}_{jk}$ درصد ارزش اهمیت بین دو معیار، a_{jk} ارزش اهمیت بین دو معیار (یکی در ردیف و دیگری در ستون) و $\sum_{1=I}^{m} a_{\acute{I}k}$ مجموع ستون‌های استاندارد شده است. مقدار وزن نسبی هریک از معیارهای ردیف نیز توسط رابطه (۴) تعیین می‌گردد:

$$w_j = \frac{\sum_{1=I}^{m} a_{jl}}{m'}$$ رابطه (۴)

در اینجا، w_j ارزش وزن نسبی ردیف‌های استاندارد شده و $\sum_{1=I}^{m} a_{jl}$ مجموع درصد مقادیر اهمیت برای یک ردیف معیار و m ارزش نهایی از $\sum_{1=I}^{m} a_{jl}$ برای تمام ردیف‌ها می‌باشد.

۳. **مرحله سوم**: ایجاد ماتریس ارزش‌های وزن. در این مرحله از فرایند سلسله‌مراتبی محاسبات لازم برای تعیین اولویت هریک از عناصر تصمیم‌گیری با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های زوجی صورت می‌گیرد. در این مرحله مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه و سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌شود. خروجی این فرایند «ماتریس مقایسات نرمال» نامیده می‌شود. سپس، میانگین اعداد هر سطر از این ماتریس جدید را محاسبه نموده و این میانگین وزن نسبی عناصر تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌دهد. در نهایت به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هر عنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب نمود تا وزن نهایی به دست آید. با انجام این مرحله، مقادیر وزن نهایی به دست می‌آید

۴. **مرحله چهارم**: محاسبه شاخص سازگاری (تأیید سازگاری).

یک ماتریس سازگار زمانی است که برای هر دو مقدار متقابل، ضرب دو مقدار برابر یک باشد و اگر عناصر ستون متقابل عناصر سطر مربوطه باشند. شاخص سازگاری با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda Max - n}{n - ۱'}$$ رابطه (۵)

در اینجا، λMax بزرگترین ارزش ویژه در ماتریس مرحله قبل است که همیشه بزرگتر یا مساوی تعداد سطها یا ستون‌ها می‌باشد و n تعداد معیارها است. مقدار "CI" اگر به صفر نزدیک‌تر باشد قابل قبول‌تر است هرچه مقدار "CI" به صفر نزدیک‌تر باشد، اطمینان بیشتری به شاخص سازگاری وجود دارد. برعکس، هر چه مقدار "CI" از صفر دورتر باشد، ناسازگارتر است نسبت سازگاری با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد:

$$consistency\ ratio = \frac{CI}{R'}$$ رابطه (۶)

در اینجا، R با توجه به تعداد معیار، شاخص تصادفی می‌باشد مقدار R از جدول (۴) تعیین شده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

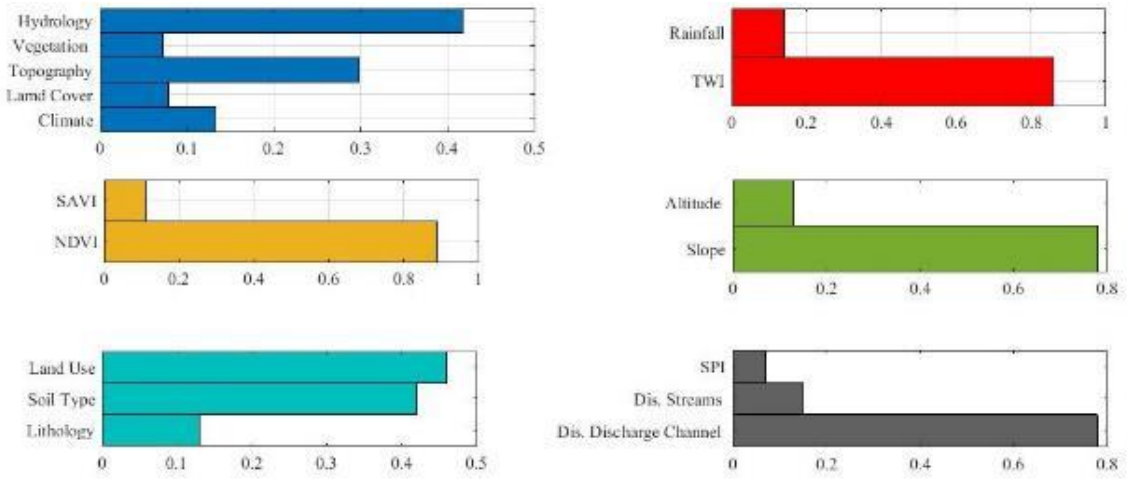
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

جدول۴. ترتیب ماتریس (N) و شاخص تصادفی معادل آن (R).

اندازه ماتریس	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
شاخص تصادفی	۰	۰	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳	۱/۴	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۴

از جدول ۴، مقدار شاخص تصادفی در این مورد ۱/۵۴ می‌باشد، زیرا در این مطالعه از ۱۲ معیار استفاده می‌شود.

۵. مرحله پنجم: تولید نقشه خطر سیل. این مرحله قسمت اولیه مطالعه بوده که شامل ایجاد مدل ساختاری ساخته شده در محیط ArcGIS برای استخراج تمام معیارهای موردنیاز به طور خودکار با افزودن ماژول‌های ArcGIS برای تولید نقشه خطر سیل است. در این پژوهش، بعد از تنظیم پرسش‌نامه، کارشناسان مربوطه معیارهای مرتبط به خطر سیلاب را با استفاده از مقایسه زوجی وزن‌دهی کردند و نتایج این مقایسات زوجی توسط نرم‌افزار Expert Choice که بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی، مقایسات زوجی را انجام می‌دهد، تحلیل و وزن‌دهی گردید که خروجی‌های آن در شکل (۲) قابل‌مشاهده است.



شکل۲. وزن‌های استخراج شده از نرم‌افزار Expert Choice

- **روش منطق فازی**

تئوری فازی توسط لطفی زاده در سال۱۹۶۵ ارائه شده است. یکی از چالش‌های اصلی در مطالعات فازی این است که روش بهینه برای تعیین نوع تابع عضویت و پارامترهای آن وجود ندارد(Shahabi et al, ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد که هم‌وزنی تمامی معیارهای مؤثر در تهیه نقشه‌های سیلاب در مطالعات مختلف کم‌وبیش یکسان باشد. در این تحقیق برای وزن‌دهی به معیارهایی که با درجه سیلاب رابطه مستقیم دارند از معادله (۷) استفاده شده است. برای سایر معیارهایی که با درجه سیل رابطه معکوس دارند، معکوس معادله (۷) یعنی معادله (۸) انتخاب شده است. پس از تخصیص وزن به هر زیر معیار با استفاده از رابطه (۷) و (۸)، این معیارها با استفاده از فازی گاما (رابطه ۹) ترکیب می‌شوند که از دو تابع مجموع و حاصل‌ضرب تشکیل شده است(Ramesh et al, ۲۰۱۶)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

$$f(x;a.b)=\begin{cases}0.x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a}\cdot & a\le x\le b\\ 1.b\le x\end{cases}$$ رابطه (۷)

$$f^{-1}(x;a.b)=f(x;b.a)=\begin{cases}1.x\le a\\ 1-\dfrac{x-a}{b-a}\cdot & a\le x\le b\\ 0.b\le x\end{cases}$$ رابطه (۸)

$$\mu_{gamma}=\mu_{al.sum}^{\gamma}*\mu_{al.prod}^{1-\gamma}=\left[\prod_{i}^{n}\mu_i\right]^{\gamma}*\left[1-\prod_{i}^{n}(1-\mu_i)\right]^{1-\gamma}$$ رابطه (۹)

- **شاخص‌های سنجش از دور**

برای بررسی سیل و پایش اثرات آن در سال‌های اخیر رویکردها بیشتر به تحلیل هم‌زمان این مخاطره از طریق سنجش‌ازدور و تحلیل‌های فضایی است. جهت بررسی رویدادهای شاخص سیلاب در حوضه کهیر و ارزیابی مدل پهنه‌بندی از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ استفاده گردید. شاخص‌های بررسی پهنه‌های آب در ترکیبات مختلف ماهواره‌ای وجود دارد که مهم‌ترین ترکیبات آن به شامل شاخص ترکیبی موج‌کوتاه مادون‌قرمز(SWIR) و شاخص نرمال شده تفاضلی آب(NDWI) می‌باشند(Gao, ۱۹۹۶). شاخص SWIR به شناخت بهتر آب‌وخاک و گیاه کمک می‌کند همچنین برای شناخت انواع ابرها و بررسی تفاوت برف از یخ مورداستفاده قرار می‌گیرد. عموماً پوشش گیاهی ترکیبی از رنگ سایه سبز، خاک‌ها و مناطق ساخته‌شده در طیف‌های رنگ قهوه‌ای و آب به رنگ آبی تیره تا سیاه دیده می‌شود. ترکیب باندی این شاخص در ماهواره سنتینل ۲ باندهای B۱۲,B۸A,B٤ است. شاخصNDWI نیز یکی از شاخص‌های مهم برای نمایش پهنه‌های آبی و سیلاب است. پهنه‌های آبی در این تصاویر با شاخص بالای ۰/۵ آشکار می‌شوند و پوشش گیاهی مقادیر کمتر را نشان می‌دهند. مناطق ساخته‌شده بین صفر تا ۰/۲ را نشان می‌دهند. شاخص از طریق رابطه زیر در تصاویر سنتینل ۲ ساخته می‌شود(Sentinel Hub, ۲۰۲۲).

NDWI=(B۳-B۸)/(B۳+B۸) رابطه ۱۰.

شرح وتفسیر نتایج

- **نقشه خطر سیلاب با استفاده از روش همپوشانی وزنی**

جهت ارزیابی میزان خطر ناشی از سیلاب در حوضه آبریز کهیر، پنج مؤلفه اصلی تأثیرگذار بر سیلاب حوضه و دوازده متغیر که از طریق مطالعات قبلی و همچنین بر اساس نظر کارشناسان مرتبط با مباحث هیدرولوژی و مهندسی سیلاب و پرسش‌نامه‌های مربوطه در سیستم AHP، با تهیه ماتریس‌های زوجی و باتوجه به ضریب ناسازگاری وزن‌های مربوط به متغیرهای مؤثر و مؤلفه‌های اصلی خطر بروز سیلاب، وزن‌دهی شد. باتوجه‌به بروز سیلاب در کانال اصلی رودخانه و بالا آمدن سطح تراز آب در مواقع بارش سنگین، مناطق واقع در اطراف رودخانه اصلی و سیلاب‌دشت، بالاترین خطر روبه‌رو شدن با آب‌گرفتگی و تخریب ناشی از سیلاب را تجربه خواهند کرد. با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی، در ابتدا درکل حوضه، فاصله نقاط تا رودخانه اصلی مشخص و باتوجه‌به مقادیر این لایه، فاصله در پنج طبقه، دسته‌بندی گردید که گروه ۵، باتوجه‌به پارامترهای خطر سیلاب، بالاترین، و گروه ۱،کمترین خطر قرارگیری در معرض سیلاب را دارا

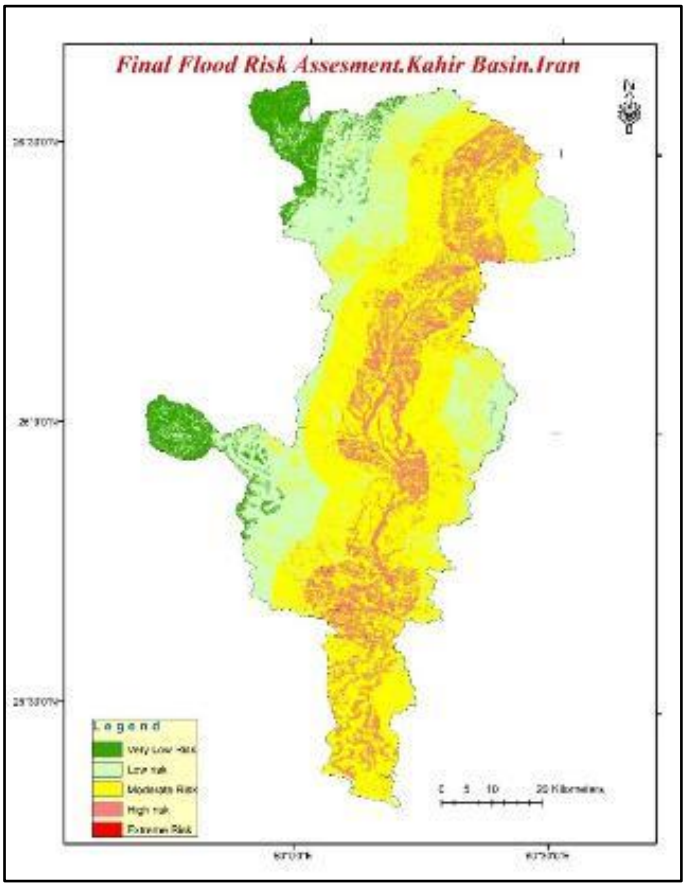
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

هستند. در بحث در معرض سیلاب قرار گرفتن، خطر بیشتری متوجه ارتفاعات پایین دست است. از این رو، متغیر ارتفاع از سطح دریا نیز با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی به پنج طبقه تقسیم و به صورت معکوس ارزش‌گذاری گردید. در ارتفاعات بالا باتوجه به شیب جریان، رواناب با شدت بیشتری در کانال اصلی رودخانه جریان می‌یابد، ولی در مناطق پست حوضه به دلیل پخش سیلاب و کم‌شدن ارتفاع، خطر آب‌گرفتگی در کوهپایه و ورودی مناطق دشت و جلگه، افزایش می‌یابد. نقشه شیب حوضه آبریز نیز در پنج کلاس طبقه‌بندی مجدد گردیده است. شاخص قدرت جریان آبراهه‌ای و شاخص رطوبت توپوگرافیک با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی و شیب محاسبه و بر اساس مقیاس ۱ تا ۵، شدت آن در مناطق مختلف حوضه طبقه‌بندی مجدد گردید. دو شاخص پوشش گیاهی استفاده شده در این مطالعه، بر اساس فرآورده‌های تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ با استفاده از امکانات Google Earth Engine استخراج گردید. این داده‌ها بر اساس مقیاس پنج‌گانه به شکل معکوس ارزش‌گذاری گردید که ارزش‌های پایین دو شاخص، در گروه ۵ و بسیار مستعد برای تشکیل رواناب و وقوع سیلاب، تعیین گردید. متغیر بارش بر اساس مقیاس پنج‌گانه ارزش‌گذاری گردید که ارزش‌های بالا، در گروه ۵ بسیار مستعد برای تشکیل رواناب و وقوع سیلاب، تعیین گردید. باتوجه‌به نحوه مدیریت اراضی و نحوه گسترش فعالیت انسانی در سطح حوضه، خطر سیل‌گیری مناطق با این نوع فعالیت‌ها، ارتباط پیدا می‌کند. لایه کاربری اراضی، از محصولات سنجنده مودیس(اسپکترو رادیومتر تصویربردار باقدرت تفکیک متوسط) از ماهواره ترا و آکوا استخراج گردیده و بر اساس جدول راهنمای محصول مودیس، از ۱۷ کد اصلی در حوضه آبریز، ۱۴ کاربری تخصیص‌داده‌شده و بر اساس خطر سیلاب برای انسان‌ها و نوع کاربری در طبقات پنج‌گانه خطر، طبقه‌بندی مجدد گردید. پس از مشخص نمودن واحدهای اصلی زمین‌شناسی حوضه، بر اساس جدول طبقه‌بندی سنگ و خاک بکر واحدها(وفائیان، ۱۳۷۱)، باتوجه‌به تأثیر آنها در نفوذ آب، رده‌بندی گردید و لایه‌های سخت و غیرقابل‌نفوذ که بیشترین نقش در شکل‌گیری رواناب و جاری شدن سیلاب را به عهده دارند در مقیاس پنج‌گانه ارزش‌گذاری و سایر طبقات نیز بر اساس اولویت تقسیم‌بندی شدند. باتوجه‌به نفوذپذیری جنس خاک، نقش آن بر تولید رواناب و سیلاب، بااهمیت است. برای تهیه نقشه خاک از شیپ فایل نقشه خاک ایران که توسط وزارت جهاد و کشاورزی تهیه شده است و نقشه خاک‌های ایران استفاده گردید و باتوجه‌به پوشش خاک حوضه کهیر با استفاده از روش طبقه‌بندی مجدد، باتوجه‌به جداول مربوط به نفوذپذیری خاک(Engda et al, ۲۰۱۱) و نفوذناپذیری، در مقیاس پنج‌گانه طبقه‌بندی گردید.

پس از آماده‌سازی لایه‌ها برای هر یک از مؤلفه‌های پنج‌گانه اصلی که شامل هیدرولوژی، اقلیمی، پوشش زمین، پوشش گیاهی و توپوگرافی بر اساس متغیرهای مؤثر بر آن، همپوشانی وزنی صورت گرفت. برای این مؤلفه‌ها، نقشه‌های رستر که نقش آنها را در وقوع سیلاب مشخص می‌نماید، تهیه گردید. سپس با اجرای همپوشانی وزنی، مؤلفه های ایجاد شده در محاسبه‌گر رستری در بخش Map Algebra در نرم‌افزار ArcMap ، تابع میانگین‌گیری وزنی، وارد و لایه رستر نقشه نهایی بر اساس روش همپوشانی وزنی تهیه گردید. باتوجه‌به خروجی نقشه خطر میانگین وزنی برای یاخته‌های نقشه، بین حداقل۱/۴۳ و حداکثر ۴/۳۰ محاسبه گردید و بر اساس یک تقسیم‌بندی طیف از دامنه تغییرات شاخص خطر، منطقه به پنج ناحیه خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، پائین و خیلی کم از نظر وقوع آب‌گرفتگی ناشی از سیل تقسیم‌بندی گردید (شکل۳). پس از تبدیل نقشه نهایی خطر سیلاب به شیپ‌فایل، با استفاده از ویژگی‌های این ساختار، مساحت هر یک از پهنه‌های خطر به شرح جدول (جدول۵) محاسبه گردید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]



شکل۳. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز رودخانه کهیر با روش همپوشانی وزنی

جدول۵. پهنه‌های اصلی خطر سیلاب در حوضه آبریز رودخانه کهیر با روش همپوشانی وزنی

محدوده	شدت مخاطره	مساحت (کیلومترمربع)	درصد از کل حوضه
۱	خطر خیلی زیاد	۲/۷	۰/۰۵
۲	خطر زیاد	۷۷۰/۸	۱۵/۶۳
۳	خطر متوسط	۲۵۵۵	۵۱/۸۲
۴	خطر کم	۱۲۶۹/۳	۲۵/۷۴
۵	خطر بسیار کم	۳۳۱/۴	۶/۸

- **نقشه خطر سیلاب با استفاده از روش همپوشانی فازی**

برای ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز کهیر با استفاده از منطق فازی و امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از متغیرهای دوازده‌گانه ریسک سیلاب و پنج مؤلفه اصلی اقدام گردید. در ابتدا بر اساس منطق فازی متغیرهای ۱۲ گانه با امکانات درجه عضویت فازی (Fuzzy Membership) در مقیاس صفر تا یک فازی‌سازی شدند. این فرایند بر اساس عملگرهای فازی با استفاده از ابزارگان تحلیل‌گر فضایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

نرم افزار ArcMap و نرم افزار ArcGIS pro انجام گردیده است. با توجه به نقش آبراهه از نظر هیدرولوژیکی و با توجه به محاسبه فاصله از آبراهه‌های رده‌های مختلف حوضه آبریز، با استفاده از عملگر Small فازی که اهمیت بیشتر در مخاطره سیلاب را به مناطق نزدیک به آبراهه‌ها می‌دهد، فازی سازی انجام گردیده است. با توجه به ماهیت داده‌های ارتفاع، برای فازی سازی این لایه نیز از عملگر Small استفاده شده است. فازی‌سازی لایه‌های ساختار زمین‌شناسی، قدرت جریان آبراهه‌ای، کاربری زمین و رطوبت توپوگرافی با استفاده از عملگر Large و لایه‌های پوشش گیاهی، شیب، خاک و بارش با استفاده از عملگر Linear انجام شده است. پس از انجام عضویت متغیرهای دوازده‌گانه و فازی‌سازی آنها برای تعیین مؤلفه‌های اصلی مؤثر در سیلاب در سطح حوضه آبریز کهیر بر اساس وزن‌های تعیین شده مؤلفه‌ها وزن‌دهی شد. برای دقت بیشتر در وزن‌دهی و استانداردسازی داده‌ها اوزان ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته شد تا مؤلفه‌های کم‌اهمیت ارزش خود را از دست ندهند. سپس برای انجام عملیات همپوشانی فازی مؤلفه‌ها پنج‌گانه مطابق جدول (۶) فازی شدند و نقشه‌های نهایی مؤلفه‌های پنج‌گانه تهیه گردید.

پس از تهیه نقشه مؤلفه‌های پنج‌گانه اصلی و فازی‌سازی آن جهت تعیین مناطق خطر و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب در حوضه از روش همپوشانی فازی استفاده گردید. استفاده از این روش می‌تواند بر اساس تجربیات قبلی به ریز پهنه‌بندی مناسب‌تری از روش‌های همپوشانی مرسوم منتهی شود. باتوجه‌به عملگرهای همپوشانی فازی شامل (Gamma)، (Product)، (Sum)، (Or) و (And) باتوجه‌به اهداف پژوهش و ماهیت و ساختار لایه‌های نهایی از عملگر گامای فازی در سطح۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ استفاده گردید. بررسی رابطه نتایج این عملگر با لایه‌ها نشان داد که روش همپوشانی گامای سطح ۰/۹ بهترین نتایج را تولید می‌نماید و سایر عملگرها عملاً برای همپوشانی مناسب نمی‌باشند. براین‌اساس نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل از همپوشانی گاما برای حوضه آبریز کهیر تهیه گردید (شکل۴).

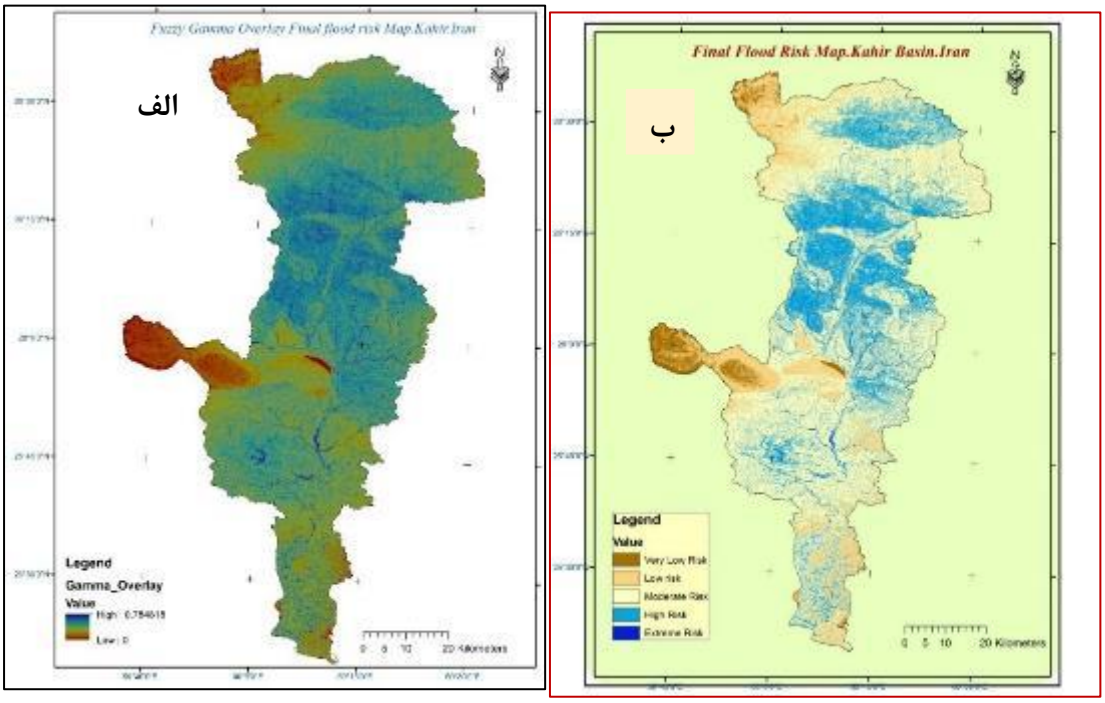
جدول۶. روش‌های مورداستفاده در فازی‌سازی مؤلفه‌های اصلی مؤثر در وقوع خطر سیلاب حوضه

مولفه	عملگر فازی‌سازی	پارامترها
هیدرولوژی	Linear	Min ۰،۵۸۷ Max ۹،۳۶۸
اقلیم	MsLarge	Mean multiplier ۱ Standard deviation multiplier ۱
پوشش زمین	MsLarge	Mean multiplier ۱ Standard deviation multiplier ۱
پوشش گیاهی	MsLarge	Mean multiplier ۱ Standard deviation multiplier ۱
توپوگرافی	Large	Spread ۵ Midpoint ٤،۸۵

برای تفکیک بهتر مناطق خطر از روش طبقه‌بندی مجدد (Reclassify) با روش شکست طبیعی (Natural Breaks) در طبقه‌بندی بهره گرفته شد و مناطق مختلف حوضه بر اساس مقیاس ۱ تا ۵ باتوجه‌به شدت خطر سیلاب پهنه‌بندی گشت که مناطق بسیار پرخطر در گروه ۵ و مناطق بسیار کم‌خطر در گروه ۱ قرار گرفت(شکل۴). باتوجه‌به تحلیل فضایی پهنه خطر به لحاظ مکانی از شمال تا جنوب حوضه این مناطق خطر وجود دارد و با توجه با ماهیت تحلیل فازی نمی‌توان انتظار داشت که پهنه‌های پیوسته و ناحیه‌ای باشند. باتوجه‌به رابطه قوی پهنه‌های سیلابی با عوامل هیدرولوژیک، بخش زیادی از پهنه‌های سیلابی در اطراف رودخانه اصلی پراکنده شده‌اند. مناطق بالقوه برای سیلاب در هر دو شهرستان نیک‌شهر و کنارک مشاهده می‌شود(جدول۷).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]



شکل۴. نقشه نهایی حاصل از همپوشانی به روش گاما (الف) و طبقه‌بندی مجدد به روش شکست طبیعی (ب)

جدول۷. مساحت و درصد پهنه‌های در معرض خطر سیلاب بر اساس منطق فازی حوضه آبریز کهیر

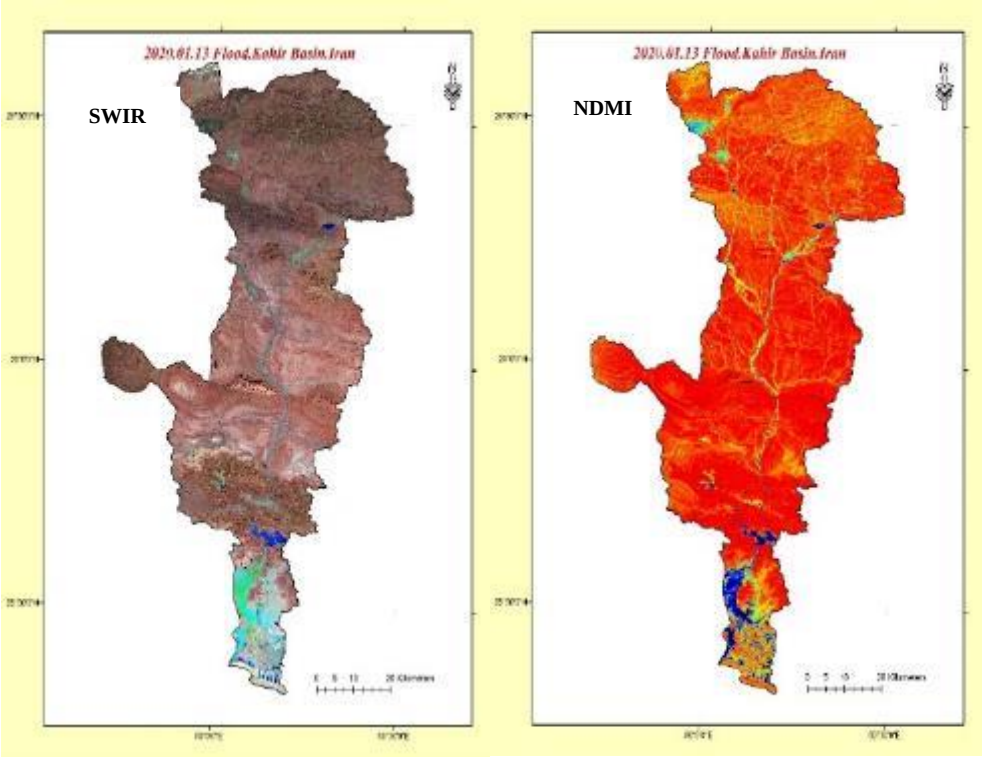
ردیف	شدت مخاطره	وسعت به کیلومترمربع	درصد از سطح حوضه
۱	خطر بسیار شدید	۳۱۰	۶/۲۵
۲	خطر شدید	۱۳۵	۲/۷۴
۳	خطر متوسط	۴۰	۰/۸۱
۴	خطر کم	۸	۰/۱۶
۵	خطر بسیار کم	۴۴۴۰	۹۰

- **مقایسه نتایج با داده‌های سنجش از دور**

برای بررسی و پایش رخدادهای بااهمیت سیلاب در حوضه در طی ۴ سال اخیر مجموعاً با استناد به گزارش‌های رسانه‌ها و سازمان هواشناسی ۱۳ مورد بارش سنگین منجر به سیل انتخاب گردید و تصاویر مربوطه از پایگاه‌داده‌های اتحادیه اروپایی ماهواره سنتینل ۲ اخذ گردید. باتوجه‌به پوشش ابر و گذر ماهواره در زمان موردنظر ۴ رویداد قابلیت بررسی و تحلیل را به شرح زیر داشتند که از از میان آن‌ها، رویداد سیلاب ۲۰و ۲۱ دی‌ماه ۱۳۹۸ تحلیل گردیده است. این سیلاب، یکی از مخرب‌ترن سیلاب‌های جنوب و جنوب‌شرق ایران بوده که خسارت‌های زیادی مالی و جانی زیادی به بار آورده است. همه مدل‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب با توجه به متغیرهای مورداستفاده و پیچیدگی‌های سامانه حوضه آبریز با درجاتی از عدم قطعیت روبرو هستند. آنچه در ارزیابی بالقوه خطر سیلاب مهم است پیش‌بینی با حداکثر دقت از نظر زمانی و مکانی است. مقایسه دو روش همپوشانی برای تهیه نقشه خطر سیلاب در حوضه آبریز کهیر نشان می‌دهد که روش همپوشانی فازی با توجه به منطق عضویت متغیرها در تعیین مناطق خطر به‌صورت ریز پهنه‌بندی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

نمایشی واقعی‌تر از مناطق در معرض خطر سیلاب را نسبت به روش‌های سنتی همانند همپوشانی وزنی نشان می‌دهد. هرچند همبستگی بین پهنه‌های خطر بالا قابل‌قبول است اما با توجه به تصاویر ماهواره‌ای سیلاب‌های گذشته وجود خطا در روش‌های وزنی که بیشتر بر تعیین مناطق بسیار پرخطر در اطراف کانال رودخانه اصلی و سیلاب‌دشت تأکیددارند، مشهود است. با توجه به همپوشانی مناطق با خطر زیاد و بسیار زیاد حاصل از همپوشانی فازی با نقشه نمونه سیلاب ۲۰ و ۲۱ دی‌ماه ۱۳۹۸حوضه(شکل۵) انطباق حداکثری این با مناطق با نواحی درگیر سیلاب روشن می شود. از سوی دیگر بایستی به یاد داشت که پهنه‌های خطر نواحی بالقوه در معرض خطر را نشان می‌دهند.



شکل۵ . نمایش پراکندگی سیلاب ۲۱ دی‌ماه ۱۳۹۸ بر اساس شاخص‌های سنجش‌ازدور

نتیجه‌گیری

درک دینامیک سیلاب و تهیه نقشه دقیق خطر سیل یک ابزار مؤثر در برنامه‌ریزی بوده و به نوبه خود خطرات سیل را کاهش و به برنامه‌ریزان و مسئولان در توسعه اقدامات حفاظتی بهینه کمک می‌کند. منطقه موردمطالعه در این پژوهش یکی از حوضه‌های آبریز خشک در جنوب شرق ایران است که با وقوع سیلاب‌های ناگهانی مواجه می‌گردد. باتوجه‌به خشک بودن محیط، سکونت‌گزینی در پیرامون رودخانه اصلی به جهت دسترسی به منابع آب رایج است. ازاین‌رو، هرساله سیلاب سکونتگاه‌های انسانی این حوضه آبریز را متأثر می‌سازد. خطرات سیل در منطقه موردمطالعه شامل آسیب به زیرساخت‌ها، مناطق سکونتگاهی و حمل‌ونقل مانند جاده‌ها و سیستم‌های معیشتی محلی اعم از زراعت، باغداری و دامداری می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش پهنه‌بندی و تحلیل فضایی مناطق مستعد خطر سیلاب در منطقه موردمطالعه در حوضه آبریز رودخانه کهیر بود. وقوع چندین سیل سهمگین در منطقه موردمطالعه سبب شده است که جوامع سکونتگاهی نزدیک به آبراهه اصلی، خسارت قابل‌توجهی از نظر جانی، مالی و زیرساختی متحمل شوند. بنابراین تهیه نقشه خطر سیلاب در این مطالعه می‌تواند به توسعه راه‌حل راهبردی مناسب به‌منظور کاهش خطر سیل کمک کند. در

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

این مطالعه جهت رسیدن به اهداف پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز کهیر، داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز، جمع‌آوری و باتوجه‌به تجربیات ملی و بین‌المللی، نقشه‌های خطر سیلاب در حوضه تهیه گردید.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر سیلاب با دو روش هم‌پوشانی وزنی و هم‌پوشانی فازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از دوازده متغیر تأثیرگذار و پنج مؤلفه اصلی، نشان داد که بخش قابل‌توجهی از سطح حوضه که عموماً اراضی کشاورزی و سکونتگاه‌های روستایی را هم شامل می‌شود، در معرض خطر بسیار شدید و شدید سیلاب هستند. نتایج حاصل از روش هم‌پوشانی فازی باتوجه‌به منطق حاکم بر آن و ریز پهنه‌بندی سطوح در معرض خطر بالقوه سیلاب، نمایی مناسب‌تر از محدوده در معرض خطر را نشان داد. باتوجه‌به وقوع خطر سیل در چهار سال اخیر (۱۶-۱۲ دی‌ماه ۱۳۹۷، ۲۳ و ۲۴ فروردین ۱۳۹۸، ۱۶ و ۱۷ آذر ۱۳۹۸، ۲۹ و ۳۰ آبان ۱۳۹۸، ۲۰ و ۲۱ دی ۱۳۹۸، ۲ و ۳ فروردین ۱۳۹۹، ۱۰ و ۱۱ مهر ۱۴۰۰، ۱۳ و ۱۴ دی ۱۴۰۰)، تجربیات و مشاهدات مناسبی از پهنه‌های سیل‌گیر در حوضه وجود دارد که به‌خصوص در سیلاب بسیار عظیم دی‌ماه ۱۳۹۸، می‌توان از طریق تصاویر ماهواره‌ای آن را پایش و ردیابی نمود. تصاویر و باندها و شاخص‌های مناسب جهت بررسی سیلاب در حوضه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ تهیه گردید و با نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از هم‌پوشانی فازی مقایسه شد. نتایج تا حدود زیادی دقت حاصل از پهنه‌بندی خطر سیلاب را باتوجه‌به انطباق پهنه‌ها تأیید نمود. موارد اختلاف در منطقه شمال غربی حوضه می‌تواند ناشی از ماهیت بارش‌های جبهه‌ای و اثرات کوهستانی بودن منطقه باشد. نمی‌توان انتظار داشت مدل‌ها بتوانند واقعیت را کاملاً دقیق پوشش دهند. مدیریت مؤثر بلایا، مستلزم دریافت و ارسال داده و اطلاعات بی‌وقفه به تصمیم-گیرندگان مختلف است. در یک بلای طبیعی مانند سیلاب، بایستی مناطق آسیب‌دیده به طور کامل و سریع برای پشتیبانی از فعالیت‌های امداد و نجات درک شود. در این راستا، تکنیک‌های سنجش از دور می‌توانند کمک شایانی در توسعه مدل‌های واقع بینانه‌تر از شبیه‌سازی آسیب در رویداد مخاطره آمیز سیل داشته باشند. از سوی دیگر، در ارزیابی و برآورد میزان آسیب و خسارت نیز سریع‌تر عمل می‌کنند.

منابع

ابراهیمی، لیلا.۱۳۹۹. تهیه نقشهٔ مدیریت مخاطرات سیلاب با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضهٔ آبخیز لواسانات)، *مدیریت مخاطرات محیطی*: **۷(۲)**، ۱۹۶-۱۸۱.

آل شیخ، علی اصغر؛ محمدجعفر سلطانی و حسین هلالی. ۱۳۸۱. کاربرد GIS در مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*، **۱۷(۴)**: ۳۸-۲۲.

امیدوار، کمال؛ آمنه کیانفر و شمس‌الله عسگری. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کنجانچم، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۴۲(۷۲)**:۹۰-۷۳.

امیراحمدی، ابوالقاسم؛ ابوالفضل بهنیافر و مجید ابراهیمی.۱۳۹۰. ریزپهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، *آمایش محیط*، **۵ (۱۶)**:۳۲-۱۷.

بومری، محمد؛ عبدالباسط نهتانی‌فرد، شهباز رادفر و ابوالقاسم مهدوی. ۱۳۹۰. شناسایی پهنه‌های سیلابی و ویژگی‌های فیزیوگرافی و کمی حوضه‌ی آبریز دامن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، *جغرافیا و توسعه*، **۹ (۲۲)**:۱۴۶- ۱۲۹.

پژوهشکده سوانح طبیعی. ۱۳۹۹. *گزارش سیلاب فروردین‌ماه ۱۳۹۹ دراستان سیستان و بلوچستان*، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

حسن‌زاده نفوتی، محمد و حبیب‌الله خواجه بافقی.۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی حوضه آبخیز شیطور – بافق)، *مدیریت حوضه آبخیز*، **۷ (۱۴)**،۳۷-۲۹.

حسینقلی‌زاده، هاجر. ۱۳۹۸. *پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل تحلیل شبکه ANP (مطالعه موردی : حوضه آبریز آذرشهرچای)*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

سبزی، عاطفه و مسعود نصری.۱۳۹۰. کاربرد مدل SWMM در برآورد رواناب در حوضه شهری زواره، *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، ۱۳ اردیبهشت، تهران.

سلامی، همت؛ حمیدرضا ناصری و مجید طالب بیدختی. ۱۳۹۰. تعیین عرصه حوزه‌های مناسب جهت پخش سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در حوزه آبخیز شهری بم، *پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور*، ۱۰ الی ۱۱ اسفند، کرمان. ایران.

صداقت، مهدی و حمید نظری‌پور. ۱۳۹۹. پایش تغییرات رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم و ارتباط آن با طوفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران، *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، **۲۹(۱۱۴)**:۱۴۵-۱۳۳.

عینی، محمدرضا؛ سامان جوادی، مجید دلاور و محمد دارند. ۱۳۹۷. ارزیابی داده های بارش پایگاه اسفزاری در برآورد رواناب و پایش خشکسالی منطقه‌ای، *اکوهیدرولوژی*، **۵(۱)**: ۱۱۰-۹۹.

فرجزاده، منوچهر.، باغبانان، پرستو.۱۳۹۷. *مدیریت مخاطرات آب و هوایی*، انتشارات انتخاب.

گورابی، ابوالقاسم و کامیار امامی. ۱۳۹۶. تاثیرات نوزمینساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه های زهکشی سواحل مکران، جنوب-شرق ایران. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، **۶(۱)**: ۸۹-۷۴.

محمدپور، امیرحسین و علیرضا وفائی‌نژاد. ۱۳۹۹. ارزیابی خطرپذیری رخداد سیل در حوضهٔ تجن با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، *اکوهیدرولوژی*، **۷(۳)**:۷۴۱-۷۳۱.

محمدی، حسین.۱۳۸۷. *مخاطرات جوی*، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

مددی، عقیل؛ الناز پیروزی و سمیه پرستار. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق‌لاقان چای با استفاده از مدل ANP، *پژوهش‌های محیط زیست*، **۱۰(۲۰)**: ۳۴-۲۱.

ملازهی، اسدالله؛ محمدرضا پودینه، محمود خسروی، محسن آرمش و علی‌اصغر دهواری.۱۳۹۹. پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب در حوضه آبریز سرباز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۲۰(۵۸)**:۲۶۰-۲۴۱.

موسوی، سیده معصومه؛ سعید نگهبان، حیدر رخشانی‌مقدم و سیدمحسن حسین زاده. ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک)، *مخاطرات محیط طبیعی*، **۵ (۱۰)**:۹۷-۷۹.

وزارت نیرو.۱۳۹۵. *راهنمای مدیریت سیلاب‌دشت*، ضابطه شماره ۷۰، دفتر استانداردها و طرحهای آب و آبفا.

وفائیان، محمود. ۱۳۷۱. *مکانیک سنگ*، انتشارات دانشگاه یزد.

Abdelkarim, A.; S. S. Al-Alola, H. M. Alogayell, S. A. Mohamed, I. I. Alkadi and I. Y. Ismail .۲۰۲۰. Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process to assess flood hazard on the Al-Shamal train pathway in Al-Qurayyat region، kingdom of Saudi Arabia. *Water*, ۱۲(٦): ۱۷۰۲. **DOI** ۱۰,۳۳۹۰/w۱۲۰٦۱۷۰۲.

Abdullah, M. F.; S. Siraj and R. E. Hodgett. ۲۰۲۱. An overview of multi-criteria decision analysis (MCDA) application in managing water-related disaster events: analyzing ۲۰ years of literature for flood and drought events. *Water*, ۱۳(۱۰): ۱۳۵۸. **DOI** ۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۱۰۱۳۵۸.

Ajin, R. S.; R. R. Krishnamurthy, M. Jayaprakash and P. G. Vinod. ۲۰۱۳. Flood hazard assessment of Vamanapuram River basin، Kerala، India: an approach using remote sensing & GIS techniques. *Advances in Applied Science Research*، ٤(۳): ۲٦۳-۲۷٤. **DOI** ۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۱۰۱۳۵۸.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

Andjelkovic. I. ۲۰۰۱. *Guidelines on non-structural measures in urban flood management*. International Hydrological Programme (IHP)، United Nations Educational، Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

Bannari, A.; A. Ghadeer, A. El-Battay, N.A. Hameed and M. Rouai. ۲۰۱۷. Detection of areas associated with flash floods and erosion caused by rainfall storm using topographic attributes, hydrologic indices, and GIS. In Global changes and natural disaster management: Geo-information technologies (pp. ۱۵۵-۱۷٤). Springer، Cham.

Chabok Boldaji, M.; M. Hassanzadeh Nofoti and Z. Ibrahim Khosfi. ۲۰۱۱. Suitable Areas Selection Using AHP (Case study watershed Ashgabat Tabas). *Journal of Science and Engineering watershed*, ٤(۱۳): ۱۲۷-۱٤.

Das, S. ۲۰۱۹. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*، ۱٤: ٦۰-۷٤. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.rsase.۲۰۱۹,۰۲,۰۰٦

Eini, M.; H. S. Kaboli, M. Rashidian and H. Hedayat. ۲۰۲۰. Hazard and vulnerability in urban flood risk mapping: Machine learning techniques and considering the role of urban districts. International Journal of Disaster Risk Reduction, ۵۰: ۱۰۱٦۸۷. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.ijdrr.۲۰۲۰,۱۰۱٦۸۷

Engda, T. A.; H. K. Bayabil, E. S. Legesse, E. K. Ayana, S. A. Tilahun, A. S. Collick, ... and T. S. Steenhuis. ۲۰۱۱. *Watershed hydrology of the (semi) humid Ethiopian Highlands. In Nile River Basin* (pp. ۱٤۵-۱٦۲). Springer، Dordrecht.

Falah, F.; O. Rahmati, M. Rostami, E. Ahmadisharaf, I. N. Daliakopoulos and H. R. Pourghasemi .۲۰۱۹. *Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas. In Spatial modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. ۳۲۳-۳۳٦). Elsevier.

Gao, B. C. ۱۹۹٦. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote sensing of environment*, ۵۸(۳): ۲۵۷-۲٦٦.

Hadihardaja, I. K.; and R. Vadiya. ۲۰۱٦. Identification of flash flood hazard zones in mountainous small watershed of Aceh Besar Regency، Aceh Province، Indonesia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, ۱۹(۱): ۱٤۳-۱٦۰. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.ejrs.۲۰۱۵,۱۱,۰۰۱

Hajibigloo, M.; A. A. Ghezelsofloo, H. Memarian and V. Berdi Sheikh .۲۰۱۷. Mapping the flood-prone areas for developing a flood risk management system in the northeast of Iran, *Water Harvesting Research*, ۲(۲): ۱-۱۲. **DOI** ۱۰,۲۲۰۷۷/jwhr.۲۰۱۸,۸۲۵

Han, D. ۲۰۱۱. *Flood risk assessment and management*. Bentham Science Publishers.

Hou, A. Y.; R. K. Kakar, S. Neeck, A.A. Azarbarzin, S. D. Kummerow, M. Kojima, ... and T. Iguchi. ۲۰۱٤. The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American meteorological Society*, ۹۵(۵): ۷۰۱-۷۲۲. **DOI** ۱۰,۱۰۰۲/qj.۳۳۱۳

Ogato, G. S.; A. Bantider, K. Abebe and D. Geneletti. ۲۰۲۰. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone، oromia regional State, Ethiopia, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, ۲۷:۱۰۰٦۵۹. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.ejrh.۲۰۱۹,۱۰۰٦۵۹

Poudyal, C. P.; C. Chang, H. J. Oh and S. Lee .۲۰۱۰. Landslide susceptibility maps comparing frequency ratio and artificial neural networks: a case study from the Nepal Himalaya, *Environmental Earth Sciences*, ٦۱(۵): ۱۰٤۹-۱۰٦٤. **DOI** ۱۰,۱۰۰۷/s۱۲۳۰۳-۰۱۵-۰۰۲٦-۱

Sentinel Hub .۲۰۲۲. Retrived from https://www.sentinel-hub.com/explore/education.

Sepehri, M.; H. Malekinezhad, S. Z. Hosseini and A. R. Ildoromi. ۲۰۲۰. Assessment of flood hazard mapping in urban areas using entropy weighting method: a case study in Hamadan city, Iran. *Acta Geophysica*, ٦۷(۵): ۱٤۳۵-۱٤٤۹. **DOI** ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱٦۰۰-۰۱۹-۰۰۳٤۲-x

Shahabi, H.; M. Hashim and B. B. Ahmad. ۲۰۱۵. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio، logistic regression، and fuzzy logic methods at the central Zab basin, Iran. *Environmental Earth Sciences*,۷۳(۱۲): ۸٦٤۷-۸٦٦۸. **DOI** ۱۰,۱۰۰۷/s۱۲٦٦۵-۰۱۵-٤۰۲۸-۰

Shirzadi, A.; S. Asadi, H. Shahabi, S. Ronoud, J. J. Clague, K. Khosravi, ... and D. T. Bui .۲۰۲۰. A novel ensemble learning based on Bayesian Belief Network coupled with an extreme learning machine for flash

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

flood susceptibility mapping, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, ۹۶: ۱۰۳۹۷۱. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.gsf.۲۰۲۰,۱۰,۰۰۷

Wang, Y.; Z. Fang, H. Hong and L. Peng. ۲۰۲۰. Flood susceptibility mapping using convolutional neural network frameworks, *Journal of Hydrology*, ۵۸۲: ۱۲٤٤۸۲. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۹,۱۲٤٤۸۲

Youssef, A. M.; and M. A. Hegab. ۲۰۱۹. *Flood-hazard assessment modeling using multicriteria analysis and GIS: a case study—Ras Gharib area, Egypt*. In Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences (pp. ۲۲۹-۲۵۷). Elsevier.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.4.3.5]