پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر نوشهر با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین

حسن کاظمی*، نبی‌الله منصوری، سیدعلی جوزی*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

چکیده
اولین گام در جهت رسیدن به برنامهٔ پیشگیری و ایمن‌سازی شهرها، شناخت مخاطرات و بحران‌های موجود و اولویت‌بندی مؤلفه‌های ریسک‌پذیری، با توجه به سوابق تاریخی و مطالعات علمی انجام‌گرفته در تبیین احتمال خطر است. پدیدهٔ سیل به‌عنوان یکی از مخاطرات بسیار پرخطر طبیعی است که در مدیریت بحران باید نگاه ویژه‌ای به آن معطوف داشت. هدف مطالعهٔ حاضر، مدل‌سازی و پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل طبق ویژگی‌های شهر بندری نوشهر، با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین است. بر اساس مرور منابع، ابتدا معیارها و شاخص‌های مؤثر بر مخاطرهٔ سیل، شامل معیار آب‌وهوا (شاخص بارندگی ۶ساعته)، معیار هیدرولوژی (شاخص‌های ارتفاع رواناب سطحی، تراکم زهکشی، عمق آب زیرزمینی)، معیار توپوگرافی (شاخص‌های شیب و ارتفاع از سطح دریا)، معیار خاک‌شناسی (شاخص نوع خاک) و معیار کاربری اراضی (شاخص نوع کاربری زمین) شناسایی شدند و سپس در محیط ArcGIS رستری گردیدند و در نهایت، برای استفاده در مدل‌ها، به‌روش فازی استانداردسازی شدند. در تحقیق حاضر، برای پهنه‌بندی مخاطرهٔ سیل از مدل‌های یادگیری ماشین، k نزدیک‌ترین همسایه (Fine KNN، Cubic KNN، Cosine KNN، Weighted KNN)، درخت تصمیم (Fine tree، Medium tree، Coarse tree)، یادگیری تجمعی (Ensemble (Subspace KNN)) و WLC استفاده شده است. برای انجام صحت‌سنجی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل نیز از روش ROC بر اساس دو معیار ارزیابی صحت و سطح زیر نمودار در خصوص بحران سیل استفاده گردیده است. لایه‌ها در محیط ArcGIS تهیه و برای انجام مدل‌سازی و تعیین ضرایب تعیین، به محیط نرم‌افزاری MATLAB انتقال داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که مدل یادگیری تجمعی با صحت ۰/۹۶ و سطح زیر نمودار ۰/۹۰ بهترین و مدل WLC با صحت ۰/۶۱ و سطح زیر نمودار ۰/۶۲ ضعیف‌ترین مدل پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل در شهر نوشهر است. بنابراین نتیجهٔ خروجی الگوریتم Ensemble (Subspace KNN) برای ارائهٔ نقشهٔ نهایی خطر سیلاب انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی، مخاطرهٔ سیل، یادگیری ماشین، یادگیری تجمعی.

* دانشجوی دکترای تخصصی (PhD) رشتهٔ مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
** استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، و احد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. Nmansouri@gmail.com
*** استاد تمام، گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، و احد تهران شمال، تهران، ایران.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

مقدمه

سیلاب به‌عنوان یکی از بحران‌های طبیعی مهم، خسارت‌های فراوانی به مناطق تحت‌تأثیر خودش وارد می‌کند. برای مدیریت سیلاب ابتدا باید عوامل تولید و ایجاد آن شناسایی شوند و سپس مناطقی که پتانسیل زیادی در تولید سیل دارند، شناسایی شوند (بدری و همکاران، ۱۳۹۵). ارزیابی دقیق خطرات سیلاب به‌عنوان یکی از بحران‌های طبیعی ویرانگر مهم به‌علت کمبود اطلاعات و دانش درمورد تلفات سیل در مقیاس‌های مختلف با شکست مواجه می‌شود (گراهن و نیبرج، ۲۰۱۷). سیل ممکن است نتیجهٔ عوامل مختلفی چون ریزش باران‌های شدید، ذوب سریع برف و یخ یا تخریب سدها باشد. این فرآیند هر علتی که داشته باشد، هنگام ورود به مناطق شهری می‌تواند موجب خسارات و گاهی کشته‌شدن افراد گردد؛ چراکه عمدتاً شهرها در جریان رشد و توسعهٔ خودشان، به فضاهای هیدرولوژیکی طبیعی (مسیل‌ها و بستر رودخانه‌ها) تجاوز می‌کنند. در حال حاضر، گسترش شهرنشینی بدون برنامه‌ریزی است یا در قالب برنامه‌هایی است که ریسک‌های سیل را نادیده گرفته‌اند یا دست‌پایین برآورد می‌کنند. شناسایی ریسک‌های ناشی از سیلاب و درنظرگرفتن آن برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی موجب خواهد شد که رشد شهرها با توجه به نیاز روزافزون آن، لزوماً به تشدید ریسک منجر نشود. طبق پیش‌بینی‌های به‌عمل‌آمده، برآورد می‌شود در سال ۲۰۲۵ حدود ۶۵ درصد از مردم دنیا برای سکونت به شهرها روی آورند که در این صورت، حوادث طبیعی از جملهٔ مواردی خواهند بود که گریبان‌گیر شهرها و کاربری‌های شهری می‌شوند (یاریان و کرمی، ۱۳۹۸). این مخاطرات می‌توانند در صورت و جودنداشتن برنامه‌ها و دستگاه‌های تقلیل‌دهنده و پیشگیرانه، به فجایعی هولناک تبدیل شوند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶). از میان فعالیت‌های انسانی، شهرنشینی بیش از بقیه، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر دستگاه‌های رودخانه‌ای تأثیر گذارده است و آن‌ها را تغییر می‌دهد. رشد سریع جمعیت شهرنشین طی سال‌های اخیر موجب گسترش مناطق شهری، به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه شده است. اثرات مستقیم شامل مواردی‌اند که کانال رود به‌صورت عمدی، مانند عملیات مهندسی و کانال‌سازی تغییر می‌کند و تغییرات غیرمستقیم شامل تولید رسوب و رواناب می‌شوند که در نتیجه، فعالیت‌های ساخت‌وساز افزایش می‌یابند (حسین زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴).

روش‌های مختلفی از جمله روش منطق فازی و تصمیم‌گیری چند معیار (MCDM) (کنعانی سادات و همکاران، ۲۰۱۹)، مدل رگرسیون چندگانه (وین و همکاران ،۲۰۱۸)، روش‌های چندوجهی (Vachaud et all, 2018)، مدل ترکیب هوش مصنوعی جدید[1] (چپی و همکاران، ۲۰۱۷)، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (رضوی ترمه و ملک ، ۱۳۹۶)، فازی تحلیل سلسله‌مراتبی (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶)، مدل سیستم شاخص‌گذاری (صادقی، ۱۳۹۵)، برگ خرید وزنی[2] (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶)، نسبت فراوانی (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶) ماشین بردار پشتیبان[3] (شفا پور تهرانی و همکاران، ۲۰۱۴) و رویکرد خوشه‌بندی فازی (چن و همکاران، ۲۰۱۱) برای ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی استفاده شده‌اند.

آوند و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین جنگل تصادفی و خطی تعمیم‌یافته بیزین و با استفاده از ۱۳ برگ خرید، نقشهٔ حساسیت به وقوع سیلاب را در حوزهٔ آبخیز تجن مازندران تهیه نمودند.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

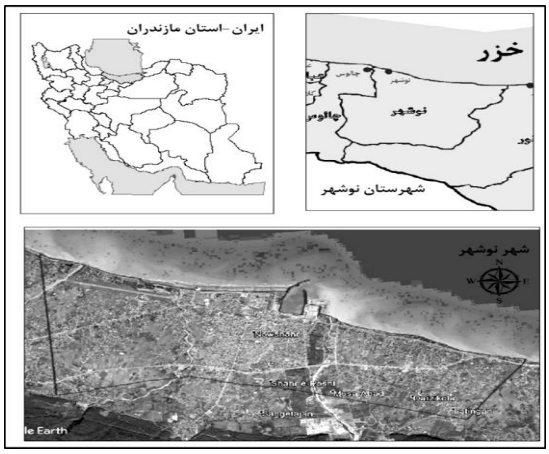
وانگ و همکاران (۲۰۱۹) نقشهٔ آسیب‌پذیری در برابر سیل را با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزهٔ شانگیوی چین به دست آوردند.

با توجه به اهمیت بررسی و شناسایی مناطق حساس به خطر، پایداری و ناپایداری رودخانه‌های شهری، روش‌هایی برای شناسایی مکان‌های ناپایدار در کانال رودها (Doyle et al., 2005) و دشت‌های سیلابی (Dust and Wohl, 2010) و همچنین طبقه‌بندی رودها به وجود آمده‌اند. هدف از این تحقیق، پیش‌بینی و مدل‌سازی مخاطرهٔ سیل در شهر نوشهر با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین است. اکثر شهرهای ایران در خروجی حوضهٔ آبریز بنا شده‌اند (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰). بین این مناطق، نواحی ساحلی غرب استان مازندران شرایط ویژه‌ای دارند که منجر به بروز سیل‌های متعدد شده‌اند. رویکرد به‌کاررفته در این پژوهش، توصیفی‌تحلیلی است و برای جمع‌آوری داده‌ها از تلفیق روش‌های اسنادی‌میدانی استفاده شده است که خروجی آن می‌تواند کاربردی باشد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ موردمطالعه

شهر نوشهر مرکز شهرستان نوشهر در استان مازندران است. این شهر در ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقهٔ طول شرقی در جلگهٔ آبرفتی رودخانه‌های ماشلک، گردکل و کورکورسر قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۲۵ تا ۵ متر و شیب بسیار کمی از جنوب به شمال دارد. نوشهر با تهران از طریق شهر چالوس و جادهٔ کندوان حدوداً ۲۰۰ کیلومتر و با شهر ساری حدوداً ۱۶۴ کیلومتر فاصله دارد. شهر نوشهر از شمال به دریای خزر و از غرب به چالوس محدود است و در شرق و جنوب آن دشت رویان واقع است که با عرض کم تا کوه شروک در جنوب امتداد می‌یابد. این کوه بخشی از سه رشته سلسله جبال البرز است که پوشیده از جنگل است و تقریباً موازی با ساحل دریاست (تصویر شماره ۱).



ت۱. موقعیت جغرافیایی شهر نوشهر

روش تحقیق

انتخاب معیارها و شاخص‌های مخاطرهٔ سیل

بر اساس مطالعات انجام‌شده در مناطق مختلف جهان، معیارها و شاخص‌های مهم مخاطرهٔ سیل شامل معیار آب‌وهوا (شاخص بارندگی ۶ساعته)، معیار هیدرولوژی (شاخص‌های ارتفاع رواناب سطحی، تراکم زهکشی، عمق آب زیرزمینی)، معیار توپوگرافی (شاخص‌های شیب و ارتفاع از سطح دریا)، معیار خاک‌شناسی (شاخص نوع خاک) و معیار کاربری اراضی (شاخص نوع کاربری زمین) می‌شوند که در تحقیق حاضر به‌عنوان ورودی‌ها و داده‌های ساخت مدل‌های پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل استفاده شده‌اند.

معیار آب‌وهوا

بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به‌صورت مستقیم در چرخهٔ هیدرولوژی دخالت دارد. بارندگی‌ها اگر به‌صورت باران باشند و در طول ماه و سال تکرار زیادی داشته باشند، سبب شست‌وشوی مسیل‌ها و مناطق اطراف آن می‌شوند و زمینه را برای

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

سیلاب‌های ویرانگر، به‌ویژه در شهرهای بندری، فراهم می‌کنند که در نهایت، بارندگی‌های شدید سبب جاری‌شدن سیلاب می‌گردند (Ballais et al, 2005). هرچقدر شدت متوسط بارندگی روزانه از میانگین بارندگی ماهانه و سالانه بیشتر باشد، احتمال وقوع سیلاب بیشتر است. در جدول شماره ۱، رابطهٔ وزنی شاخص بارندگی ۶ساعته با مخاطرهٔ سیل ارائه شده است.

ج۱. مقادیر اهمیت وزنی شاخص بارندگی ۶ساعته در ارتباط با مخاطرهٔ سیل

شاخص	رابطهٔ وزنی	شاخص مرجع (میلی‌متر)	مقیاس توصیفی
بارندگی ۶ ساعته	۰< کاربری < ۰٫۲۵	بیشتر از ۱۰۰	ناایمن
	۰٫۲۵ < کاربری < ۰٫۵۰	۱۰۰	نسبتاً ناایمن
	۰٫۵۰ < کاربری < ۰٫۷۵	۹۲	نسبتاً ایمن
	۰٫۷۵ < کاربری < ۱	کمتر از ۸۵	ایمن

معیار هیدرولوژی

همواره میزان ظرفیت بروز سیل تحت‌تأثیر عوامل هیدرولوژی قرار دارد. مهم‌ترین عوامل هیدرولوژی در این زمینه عبارت‌اند از: ارتفاع رواناب سطحی؛ تراکم زهکشی؛ عمق آب زیرزمینی (سطح ایستایی) (Loczy et al, 2009).

ارتفاع رواناب سطحی: هرگاه شدت بارندگی بیشتر از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک باشد، بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند. این آب پس از پرکردن گودی‌های سطح زمین که به آن چالاب گفته می‌شود، در امتداد شیب زمین جریان پیدا می‌کند و از طریق شبکهٔ آبراهه‌ها و سپس رودخانهٔ اصلی، از حوضه خارج می‌شود. به این بخش از بارندگی که می‌توان مقدار آن را در رودخانه‌ها اندازه‌گیری کرد، رواناب سطحی می‌گویند (علیزاده، ۱۳۸۹).

در رابطه با خطر وقوع سیلاب در سطح حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه در شهرهای بندری، به‌دست‌آوردن ارتفاع رواناب ناشی از بارندگی با مقدار مشخص، از اهمیت فراوانی برخوردار است. هرچقدر ارتفاع رواناب سطحی بیشتر باشد، احتمال وقوع سیل بیشتر است (جدول شماره ۲).

ج۲. مقادیر اهمیت وزنی شاخص ارتفاع رواناب سطحی در ارتباط با مخاطرهٔ سیل

شاخص	رابطهٔ وزنی	شاخص مرجع (سانتی‌متر)	مقیاس توصیفی
ارتفاع رواناب سطحی	۰٫۷۵> کاربری < ۱	بیشتر ۱	ناایمن
	۰٫۵۰> کاربری > ۰٫۷۵	۱ -۰٫۸	نسبتاً ناایمن
	۰٫۲۵ < کاربری > ۰٫۵۰	۰٫۸ – ۰٫۶	نسبتاً ایمن
	۰ < کاربری > ۰٫۲۵	کمتر از ۰٫۶	ایمن

تراکم زهکشی: از این پارامتر به‌عنوان شاخصی برای بیان وضعیت آبراهه‌های حوضه استفاده می‌شود. میزان تراکم زهکشی، یک شاخص مهم در تعیین شدت سیلاب‌ها، میزان بار رسوبی، بیلان آب در کل حوضه و به‌طورکلی در چگونگی فعالیت فرایندهای رواناب‌های سطحی است (Barredo and Lavalle, 2007). هرچقدر میزان تراکم زهکشی افزایش پیدا می‌کند، رواناب نیز زیادتر می‌گردد و بنابراین، سیلاب بیشتری را در پی خواهد داشت (بادامکی، ۱۳۹۸: ۷۵) (جدول شماره ۳).

ج۳. مقادیر اهمیت وزنی شاخص تراکم زهکشی در ارتباط با مخاطرهٔ سیل

شاخص	رابطهٔ وزنی	شاخص مرجع (کیلومتر در کیلومترمربع)	مقیاس توصیفی
تراکم زهکشی	۰٫۷۵> کاربری < ۱	بیشتر ۳/۵	ناایمن
	۰٫۵۰> کاربری > ۰٫۷۵	۳- ۳/۵	نسبتاً ناایمن
	۰٫۲۵ < کاربری > ۰٫۵۰	۳-۲/۵	نسبتاً ایمن
	۰ < کاربری > ۰٫۲۵	کمتر از ۲/۵	ایمن

عمق آب زیرزمینی (سطح ایستایی): ظرفیت نفوذ آب باران به زمین متأثر از سطح ایستایی آب زیرزمینی است (Kusky, 2008). بالاآمدن سطح آب‌های زیرزمینی ناشی از نفوذ مقادیر زیادی آب به آبخوان‌ها، به‌ویژه آبخوان‌های نسبتاً کم‌عمق است. در مناطقی که سطح ایستایی آب زیرزمینی بالاست، لایهٔ زیرین خاک به‌سرعت با اولین بارش اشباع و باعث ایجاد سریع‌تر

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

رواناب سطحی وقوع سیل می‌شود (Trosh, et al, 1993) (جدول شماره ۴).

ج۴. مقادیر اهمیت وزنی شاخص عمق آب زیرزمینی در ارتباط با مخاطرهٔ سیل

شاخص	رابطهٔ وزنی	شاخص مرجع (متر)	مقیاس توصیفی
عمق آب زیرزمینی (سطح ایستابی)	۰< کاربری < ۰,۲۵	کمتر از ۳	ناایمن
	۰,۲۵ < کاربری < ۰,۵۰	۳-۴	نسبتاً ناایمن
	۰,۵۰ < کاربری < ۰,۷۵	۴-۵	نسبتاً ایمن
	۰,۷۵ < کاربری < ۱	بیشتر از ۵	ایمن

معیار توپوگرافی

توپوگرافی یک منطقه تأثیر مستقیم در بروز سیلاب و تشدید آن دارد. نقش این عامل در مخاطرهٔ سیلاب با دو شاخص ارتفاع و شیب منطقه بررسی می‌گردد.

ارتفاع: این پارامتر نقش مهمی را در کنترل سیلاب‌ها و حرکت جریان آب ایفا می‌کند؛ به این معنی که حرکت جریان آب همواره به‌سمت مناطق با ارتفاع کمتر است (Islam and Sado, 2000). شهر بندری نوشهر در ارتفاعی پایین‌تر از سطح دریای آزاد واقع شده است و هرچند این اختلاف ارتفاع کم است، ولی همین اختلاف اندک بین دو نقطهٔ ارتفاعی، محدودهٔ چشمگیری را در بر می‌گیرد. واضح است که مناطق با ارتفاع بیشتر، حساسیت کمتری نسبت به سیل‌گیری دارند.

شیب: مقدار شیب به‌عنوان یک برگ خرید مهم در تعیین مناطق مستعد سیلابی مطرح است. شیب زمین در حوزه‌های آبخیز مهم‌ترین عامل در تعیین سرعت جریان است(Fernandez and Lutz, 2010). با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش می‌یابد و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش و احتمال وقوع سیلاب افزایش می‌یابد. درشیب‌های مسطح که ماندابی اتفاق می‌افتد، حجم چشمگیری از رواناب سطحی به عنوان ذخیرهٔ موقت باقی می‌ماند.

معیار خاک‌شناسی

پوشش خاک و نوع سنگ، ظرفیت نفوذ آب به زمین را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. خاک یا سنگ نفوذپذیر، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیهٔ آن را به داخل آبراههٔ اصلی به تأخیر می‌اندازد. ازاین‌رو، رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ‌بستر یا خاک نفوذناپذیر، حجم بالایی از رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (Garde, 2006)، بنابراین در این بخش میزان نفوذپذیری سازندها مدنظر است.

جنس خاک: هرقدر کود حیوانی و مواد گیاهی و هوموس خاک بیشتر باشد، آب بیشتری و هرچقدر رس آن بیشتر باشد، آب کمتری در آن نفوذ می‌کند. بنابراین در اراضی با خاک رسی و چسبنده و فقیر از لحاظ کود، پوشش گیاهی و هوموس به‌خصوص در مناطق شیب‌دار سیل ایجاد می‌شود. دانه‌های باران بر اثر ضربه به خاک باعث به‌هم‌فشرده‌شدن و چسبندگی لایهٔ سطح رویی خاک می‌شوند و از قدرت جذب خاک و نفوذ آب در عمق می‌کاهند و به همین علت، آب بارندگی در خاک نفوذ نمی‌کند و جاری می‌شود و در همین حال، شدت ضربات باران باعث حرکت دانه‌های خاک می‌شود و این دانه‌ها را همراه خودش به حرکت درمی‌آورد که معلق‌شدن این ذرات خاک باعث افزایش حجم آب جریان‌یافته می‌گردد (صادقی، ۱۳۹۵) (جدول شماره ۵).

ج۵. مقادیر اهمیت وزنی شاخص خاک‌شناسی در ارتباط با مخاطرهٔ سیل

شاخص	رابطهٔ وزنی	شاخص مرجع (نوع)	مقیاس توصیفی
خاک‌شناسی	۰,۷۵ < کاربری < ۱	سنگ‌های آذرین	ناایمن
	۰,۵۰ < کاربری < ۰,۷۵	کنگلومرا، ماسه‌سنگ	نسبتاً ناایمن
	۰,۲۵ < کاربری < ۰,۵۰	سنگ‌آهک	نسبتاً ایمن
	۰< کاربری < ۰,۲۵	آبرفت	ایمن

معیار کاربری اراضی

مطالعات نشان داده‌اند که مقدار آب و بار رسوب، پیک‌های سیلاب و زمان وقوع آن‌ها و سرعت انتقال

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

پیک جریان، به‌شدت تحت‌تأثیر کاربری اراضی منطقه، به‌ویژه ماهیت و گسترش پوشش گیاهی قرار می‌گیرند (Garde, 2006).

ج۶. مقادیر اهمیت وزنی شاخص کاربری اراضی در ارتباط با مخاطرهٔ سیل

شاخص	رابطهٔ وزنی	شاخص مرجع (نوع)	مقیاس توصیفی
کاربری اراضی	۰٫۷۵ < کاربری < ۱	جاده‌های درون و بیرون شهری، سنگلاخ و صخره	ناایمن
	۰٫۵۰ < کاربری < ۰٫۷۵	مسکونی شهری و روستایی	نسبتاً ناایمن
	۰٫۲۵ < کاربری < ۰٫۵۰	مرتع و بایر	نسبتاً ایمن
	۰< کاربری < ۰٫۲۵	پوشش گیاهی	ایمن

به‌طوری که وجودنداشتن پوشش گیاهی یا فقر شدید آن، سبب کاهش نفوذ و افزایش آب دوی و در نتیجه کاهش زمان تمرکز می‌شود. به‌طور کلی، کاربری‌های نفوذناپذیر به کاهش زمان تأخیر، افزایش پیک جریان و هم‌چنین افزایش کل جریان برای یک رخداد سیلابی منجر می‌شوند.

در مرحلهٔ بعد، نقشهٔ شاخص‌های فوق در محیط ArcGIS تهیه و با استفاده از توابع فازی، استانداردسازی شد. برای فازی‌سازی شاخص‌ها ابتدا کلاس‌های هریک از لایه‌ها با توجه به عملکردشان در سیل‌خیزی بین ۰ تا ۱ وزن‌دهی و در نهایت با تبدیل به لایهٔ رستری فازی‌سازی شدند (جدول شماره ۷).

ج۷. فازی‌سازی شاخص‌های مخاطرهٔ سیل با استفاده از توابع مربوطه

معیار	شاخص	نوع تابع	شکل تابع
آب‌وهوا	بارندگی ۶ ساعته	**Linear**	کاهشی-یکنواخت
هیدرولوژی	عمق آب زیرزمینی	**Linear**	کاهشی-گسسته
	تراکم زهکشی	**Linear**	افزایشی-گسسته
	ارتفاع رواناب سطحی	**Linear**	افزایشی-یکنواخت
توپوگرافی	شیب	**Linear**	افزایشی-یکنواخت
	ارتفاع	**Linear**	کاهشی-یکنواخت
خاکشناسی	خاکشناسی	**User defined**	افزایشی- گسسته
کاربری اراضی	کاربری اراضی	**User defined**	افزایشی- گسسته

مدل‌های پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل

آنالیز k نزدیک‌ترین همسایه (KNN)[۴]

آنالیز نزدیک‌ترین همسایه[۵] یکی از روش‌های غیرپارامتری طبقه‌بندی متغیرها بر اساس تشابه آن‌ها با یکدیگر است که الگوی داده‌ها را بدون نیاز به الگوهای ازپیش‌مشخص‌شده، طبقه‌بندی می‌نماید. در این روش، سعی می‌شود ویژگی نقاط داده از روی ویژگی نزدیک‌ترین همسایگانشان تعیین شوند. یکی از طبقه‌بندی‌های مناسب، طبقه‌بندی k نزدیک‌ترین همسایه است که این طبقه‌بندی، نمونهٔ آزمون را متعلق به کلاسی می‌داند که بیشترین آرا را در بین k نزدیک‌ترین همسایگان آن داشته باشد. برای انجام این روش، نیاز به داده‌های واقعیت زمینی یا مرجع است که بر اساس آن‌ها محدوده‌های (یا نقاط) نامعلوم طبقه‌بندی (برچسب‌گیری) می‌شوند. در این روش، دو عامل مهم برای تخصیص کلاسه مدنظر قرار می‌گیرند: ۱) معیار فاصلهٔ بهینه؛ ۲) مقدار k یا تعداد نقاط همسایه باکلاس معلوم که نزدیک‌ترین فاصله را به نقطهٔ نامعلوم دارند. در تحقیق حاضر، از پنج الگوریتم KNN به شرح زیر استفاده شده است:

Fine KNN: در این الگوریتم، ابتدا بر اساس فاصلهٔ اقلیدسی (D_e)، نزدیک‌ترین نمونهٔ تعلیمی با کلاس معلوم به نمونهٔ موردنظر باکلاس نامعلوم تشخیص داده و نمونهٔ موردنظر به آن کلاسه تخصیص داده می‌شود:

$$D_e(x^a, x^b) = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (x_j^a - x_j^b)^2}$$

در این رابطه، x^a نمونه باکلاس نامعلوم، x^b نمونهٔ تعلیمی باکلاس معلوم، j ویژگی موردمقایسه و m مجموع ویژگی‌ها هستند. در اینجا K=1 است.

Cubic KNN: در این الگوریتم، ابتدا بر اساس فاصلهٔ کیو بیک (D_3)، ۱۰ نمونهٔ تعلیمی (با کلاس معلوم) نزدیک به نمونهٔ موردنظر باکلاس نامعلوم تشخیص داده خواهد شد و نمونهٔ موردنظر به کلاسهٔ نمونهٔ تعلیمی غالب اختصاص خواهد یافت:

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

$$D_{۳}(x^{a},x^{b})=\sqrt[۳]{\sum_{j=۱}^{m}\left|(x_{j}^{a})-(x_{j}^{b})\right|^{۳}}$$

Cosin KNN: در این الگوریتم، ابتدا بر اساس فاصلهٔ کسینوسی (D_c)، ۱۰ نمونهٔ تعلیمی (باکلاس معلوم) نزدیک به نمونهٔ موردنظر با کلاس نامعلوم تشخیص داده خواهد شد و نمونهٔ موردنظر به کلاسهٔ نمونهٔ تعلیمی غالب اختصاص خواهد یافت:

$$W_{x_j^b}=\frac{۱}{(D_e(x_j^a,x_j^b))^{۲}}$$

درخت تصمیم[۶]

الگوریتم‌های یادگیری بر پایهٔ درخت، یکی از اعضای خانوادهٔ محبوب و گستردهٔ روش یادگیری نظارتی و غیرپارامتریک‌اند که هم در طبقه‌بندی و هم در رگرسیون کاربرد دارند. اساس یادگیری درخت تصمیم بر اساس یک سری از قوانین تصمیم‌گیری است. در این الگوریتم، اولین قانون (ریشه) در رأس و سایر قوانین در زیر قرار می‌گیرند و نتایج آن همانند یک درخت وارونه (یعنی برگ‌های درخت نماد کلاسه‌ها هستند) مبهم به نظر می‌رسند. برای انتخاب معیاری که بر اساس آن درخت تصمیم تقسیم شود، از متریک‌های کسب اطلاعات و ضریب جینی استفاده می‌شود. فرمول محاسبهٔ ضریب جینی به‌صورت رابطه زیر است:

$$Gini=\sum_{i=۱}^{C}(p_i)*(۱-p_i)$$

در این رابطه، p_i احتمال انتخاب دادهٔ متعلق به کلاسهٔ i (در اینجا کلاسهٔ وقوع یا عدم‌وقوع سیل) است و C مجموع کلاسه‌ها. درخت بر اساس هر معیاری تقسیم می‌شود که مقدار ضریب جینی کمتری نسبت به بقیهٔ معیارها داشته باشد. به‌عبارت دیگر، این معیار داده‌ها را به‌نحو بهتری به کلاسه‌های موردنظر تخصیص می‌دهد. در تحقیق حاضر، از سه نوع الگوریتم درخت تصمیم به‌شرح زیر استفاده شده است (Silhavy, 2019: 90):

Fine Tree: که در آن تعداد زیادی برگ برای یک تابع پاسخ با انعطاف‌پذیری بالا وجود دارند (حداقل سایز برگ ۴، حداکثر تعداد تقسیم‌ها برابر با ۱۰۰ و تنظیمات بهینه‌سازی آن بر اساس شاخص تنوع جینی[۷]).

Medium Tree: در آن تعدادی برگ با اندازهٔ متوسط برای یک تابع با انعطاف‌پذیری کمتر وجود دارند (حداقل سایز برگ ۱۲، حداکثر تعداد تقسیم‌ها برابر با ۲۰ و تنظیمات بهینه‌سازی آن بر اساس شاخص تنوع جینی[۸]).

Coarse Tree: در آن تعداد کمی برگ با اندازهٔ بزرگ برای یک تابع با حداقل انعطاف‌پذیری وجود دارند (حداقل سایز برگ ۳۶، حداکثر تعداد تقسیم‌ها برابر با ۴ و تنظیمات بهینه‌سازی آن بر اساس شاخص تنوع جینی).

یادگیری تجمعی

در این نوع، از مفهوم یادگیری تجمعی (Ensemble learning) استفاده شده است. ایدهٔ اصلی یادگیری تجمعی، ترکیب چندین مدل برای بهبود نتایج پیش‌بینی یا طبقه‌بندی است. بر این اساس، مدل‌ها به‌روش‌های Bagging و Subspace ترکیب می‌شوند.

Bagging (Aggregation Bootstrap): در این رویکرد، یک سری از مدل‌ها روی نمونه‌های تصادفی از کل داده‌ها اجرا می‌شوند و هر مدل پیش‌بینی خودش را انجام می‌دهد. در ادامه، از این پیش‌بینی‌ها میانگین‌گیری می‌شود و نتیجهٔ نهایی گرفته می‌شود. لازم به ذکر است انتخاب چند مجموعهٔ تصادفی از کل داده‌ها با قابلیت جایگزینی، بوت‌استراپینگ نام دارد. همچنین در این رویکرد، از مدل‌های مختلف یک الگوریتم (مانند KNN یا درخت تصمیم) استفاده می‌شود. فرآیند بوت‌استراپینگ در این رویکرد در فضای نمونه‌ای انجام می‌گیرد.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

Subspace: این رویکرد مشابه روش Bagging است؛ با این تفاوت که فرآیند بوت استراپینگ در فضای ویژگی نمونه انجام می‌گیرد. برای مثال، نمونه‌های تعلیمی مربوط به وقوع یا عدم‌وقوع زمین‌لرزهٔ فضای نمونه‌ای‌اند. ویژگی‌های هرکدام از این نقاط، مانند شیب، جهت، فاصله از گسل و سطح ایستایی، فضای ویژگی را تشکیل می‌دهند. در تحقیق حاضر از این الگوریتم استفاده شده است.

روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

این روش یکی از فنونی است که در کار روی مسائل مترتب بر تصمیم‌گیری چند صفتی فضایی استفاده می‌شود. از این روش، تحت‌عنوان وزن‌دهی جمعی ساده یا روش مبتنی بر نمره‌دهی (امتیازبندی) نیز یاد می‌شود. در تحقیق حاضر از روش FAHP برای وزن‌دهی لایه‌های ورودی استفاده شده است و در نهایت، با استفاده از رابطه زیر، نقشهٔ مخاطرهٔ سیل به دست آمد:

$$WLC = \sum_{j}^{n} w_j r_{ij}, \sum w_j = ۱$$

در این رابطه، w وزن به‌دست‌آمده از روش FAHP مربوط به نقشهٔ j، r_{ij} نقشهٔ j فازی‌شده و n تعداد نقشه‌های استفاده‌شده در تحلیل است.

ارزیابی مدل

یکی از معیارهای بررسی و ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی/طبقه‌بندی دودویی (وقوع یا عدم وقوع)، منحنی مشخصهٔ عملکرد[9] یا به‌اختصار، منحنی ROC است. این معیار ارزیابی در شاخهٔ یادگیری ماشین بیشتر موردتوجه قرار گرفته است. ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های واقعی وقوع/عدم وقوع انجام می‌گیرد. برای درک بهتر موضوع، ابتدا ماتریس دودویی داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده بررسی می‌شود (جدول شماره ۸).

ج۸. ماتریس اغتشاش داده‌های واقعیت زمینی و پیش‌بینی‌شده

پیش‌بینی‌شده توسط مدل			
		وقوع	عدم وقوع
واقعیت زمینی	وقوع	رکوردهای وقوع صحیح (TP)	رکوردهای عدم وقوع اشتباه (FN)
	عدم وقوع	رکوردهای وقوع اشتباه (FP)	رکوردهای عدم وقوع صحیح (TN)

با استفاده از ماتریس فوق، صحت مدل به‌صورت رابطهٔ مقابل محاسبه می‌شود:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

در ادامه، برای تشکیل منحنی ROC از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$FPR = \frac{FP}{N} = \frac{TP}{FP + TN}$$

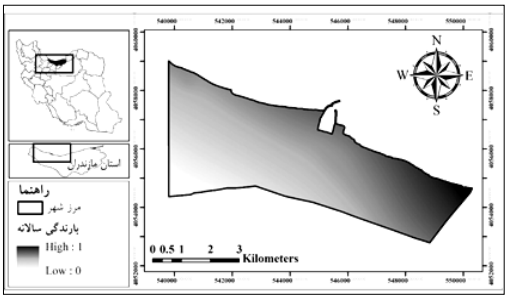
به مقدار اول (TPR) اصطلاح حساسیت یا نرخ وقوع صحیح و به مقدار دوم (FPR) خطا یا نرخ وقوع کاذب گفته می‌شود. مقدار عددی سطح زیر نمودار ROC (AUC) بین ۱ و ۰ است. هرچقدر این مقدار برای یک مدل به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ عملکرد خوب آن مدل است.

نتایج

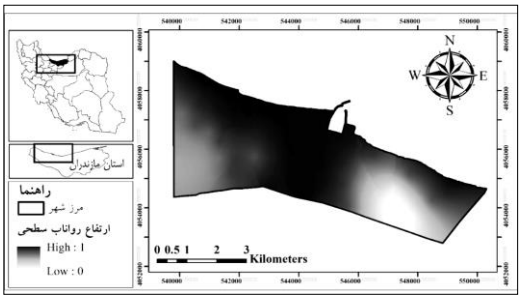
استانداردسازی شاخص‌ها

در این مرحله، اطلاعات گردآوری‌شده بررسی و برای تحلیل‌های موردنیاز آماده‌سازی می‌شوند. به این ترتیب باید مقیاس و سیستم تصویر لایه‌ها در صورت تفاوت، یکسان شوند؛ زیرا برای انجام عملیات تجزیه‌وتحلیل در محیط GIS داده‌ها باید با یکدیگر هماهنگ باشند. بنابراین، عملیات آماده‌سازی ویرایش داده‌ها و تبدیل آن‌ها به‌گونه‌ای که حاوی کلیهٔ اطلاعات موردنیاز برای کاربری موردنظر باشند و ساختار مناسبی جهت انجام تحلیل‌ها داشته باشند، ضروری است (تصاویر شماره ۲ تا ۹).

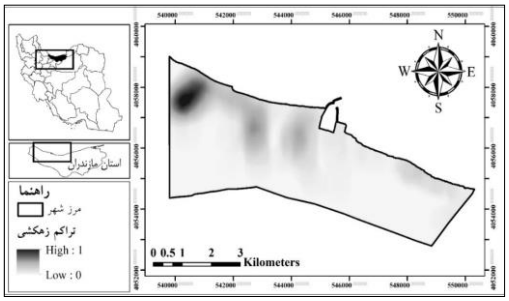
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]



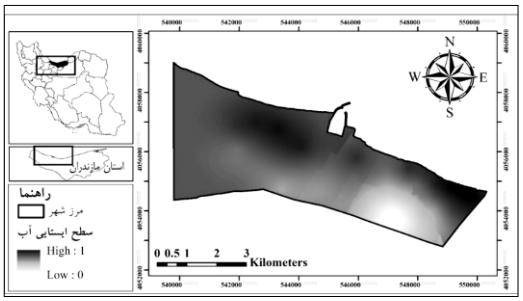
ت۲. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص بارندگی ۶ساعته برای خطر سیل



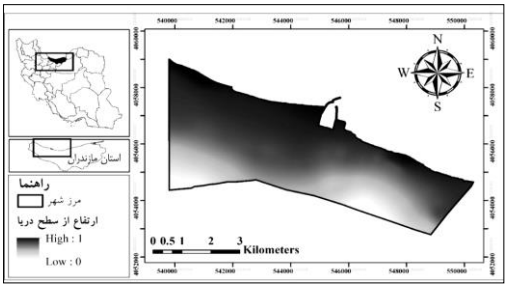
ت۳. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص ارتفاع رواناب سطحی برای خطر سیل



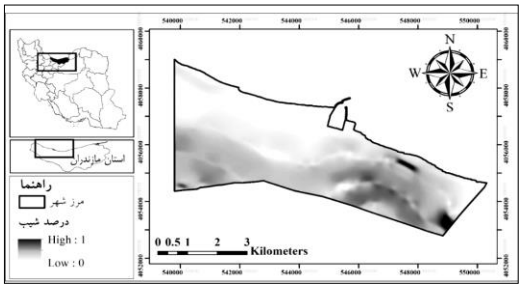
ت۴. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص تراکم زهکشی برای خطر سیل



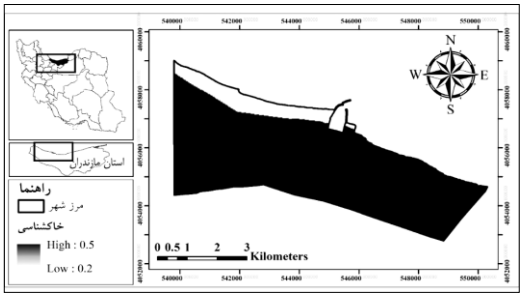
ت۵. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص سطح ایستابی آب برای خطر سیل



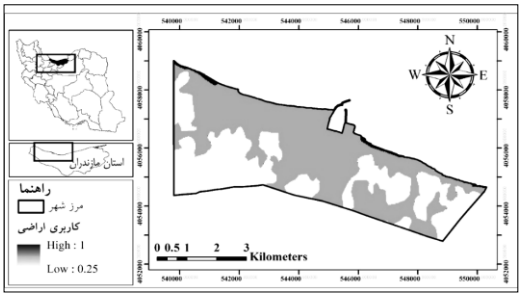
ت۶. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص ارتفاع از سطح دریا برای خطر سیل



ت۷. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص درصد شیب برای خطر سیل



ت۸. ر نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص خاک‌شناسی برای خطر سیل



ت۹. نقشهٔ استانداردشدهٔ شاخص کاربری اراضی برای خطر سیل

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]

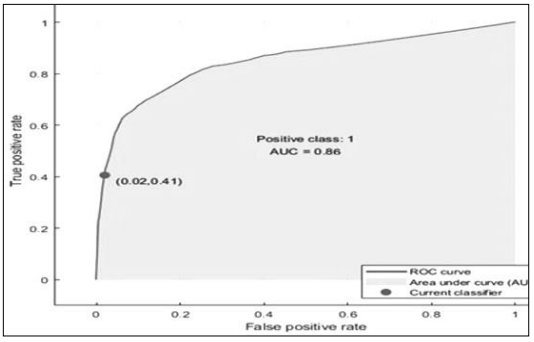
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

مدل‌سازی مخاطرهٔ سیل

در این بخش، با تلفیق ۸ لایهٔ ورودی استانداردشدهٔ بارندگی سالانه، عمق آب زیرزمینی(سطح ایستابی)، تراکم زهکشی، ارتفاع رواناب سطحی، شیب، ارتفاع از سطح دریا، خاک‌شناسی، کاربری اراضی از طریق الگوریتم‌های غیرپارامتریک یادگیری ماشین (KNN، درخت تصمیم، و یادگیری تجمعی) و روش WLC برپایِ FAHP مخاطرهٔ سیل در شهر نوشهر پیش‌بینی شدند.

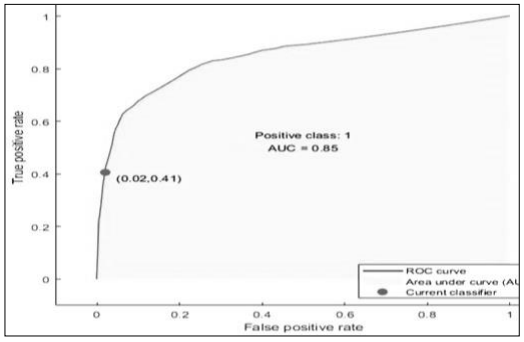
الگوریتم KNN

برای انجام این روش و سایر مدل‌های بیان‌شده، نیاز به داده‌های واقعیت زمینی یا مرجع است که بر اساس آن‌ها، محدوده‌های (یا نقاط) نامعلوم طبقه‌بندی (برچسب گیری) می‌شوند. در اینجا، داده‌های واقعیت زمین بر اساس نقاط وقوع سیل در محدودهٔ شهر نوشهر استفاده شدند. این نقاط با توجه به آمار سازمان مدیریت بحران و بنیاد مسکن و پژوهشکدهٔ زلزله‌شناسی به دست آمده‌اند. بر این اساس، نقشهٔ واقعیت زمینی برحسب نقاط وقوع و عدم‌وقوع تهیه شد. سپس نقشهٔ واقعیت زمینی با ابعاد پیکسل ۲۵ × ۲۵ متر به‌صورت رستری تهیه شد که در آن هر پیکسل ارزش صفر(عدم‌وقوع سیل)یا یک (وقوع سیل) دارد (تصاویر شماره ۱۰ تا ۱۳).



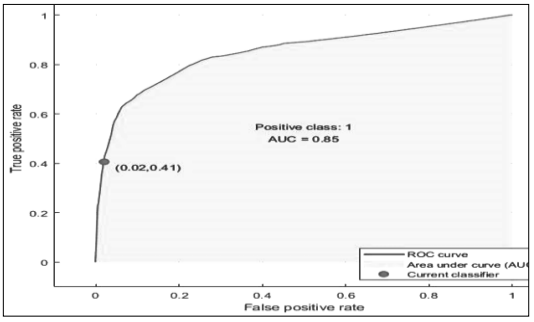
R	۰	٪۸۲	٪۱۸		٪۸۲	٪۱۸
	۱	٪۱۶	٪۸۴		٪۸۴	٪۱۶
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۰. روش Fine KNN



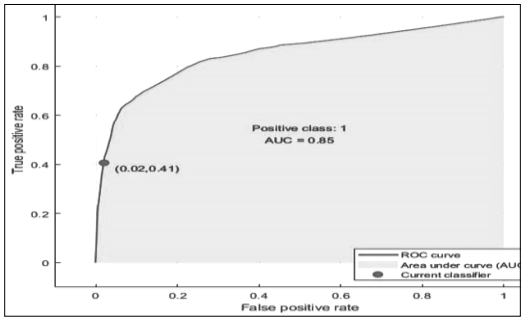
R	۰	٪۹۳	٪۷		٪۹۳	٪۷
	۱	٪۳۸	٪۶۲		٪۶۲	٪۳۸
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۱. روش Wheighted KNN



R	۰	٪۹۵	٪۵		٪۹۵	٪۵
	۱	٪۳۱	٪۶۹		٪۶۹	٪۳۱
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۲. روش Cubic KNN



R	۰	٪۹۵	٪۵		٪۹۵	٪۵
	۱	٪۳۱	٪۶۹		٪۶۹	٪۳۱
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۳. روش Cosine KNN

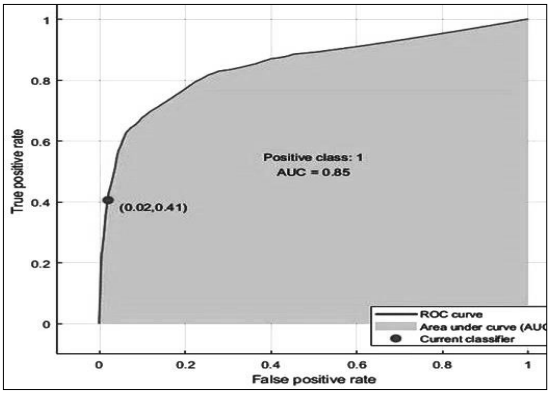
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

۱. Fine KNN از فاصلهٔ اقلیدسی و تعداد k (نمونه تعلیمی همسایه) به‌تعداد k برابر ۱ استفاده شد.
۲. Weighted KNN از تابع فاصلهٔ اقلیدسی و تابع وزنی مربع معکوس استفاده شد.
۳. Cubic KNN از تابع فاصلهٔ Cubic و تعداد k برابر ۱۰ استفاده شد.
۴. Cosine KNN از تابع فاصلهٔ کسینوسی و تعداد k برابر ۱۰ استفاده شد.

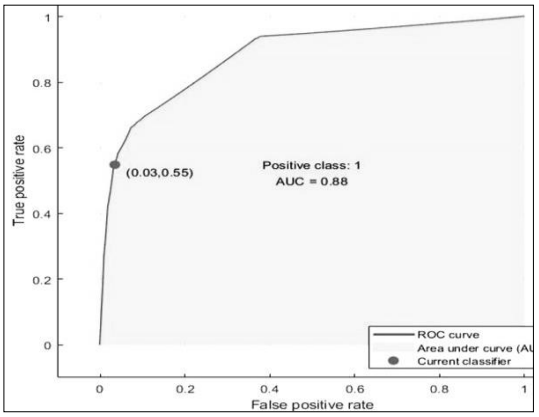
الگوریتم درخت تصمیم

در این فرایند، داده‌ها به دو دستهٔ آموزشی (۹) و آزمایشی (۱۰) تقسیم شده‌اند[۱۲]؛ به‌طوری که در این پژوهش، ۳۰ درصد از کل داده‌ها به آموزش مدل تعلق یافته است و ۷۰ درصد باقیمانده به‌عنوان داده‌های آزمون، به مدل معرفی گردیده است. انتخاب داده‌های آموزش و آزمون به‌صورت سیستماتیک و از سوی کاربر انجام شد است و بدیهی است که داده‌های آزمون در مرحلهٔ آموزش استفاده نشده‌اند. در این تحقیق، سه الگوریتم انشعاب جینی با استفاده از نرم‌افزار متلب به کار برده شده‌اند (تصاویر شماره ۱۴ تا ۱۶).



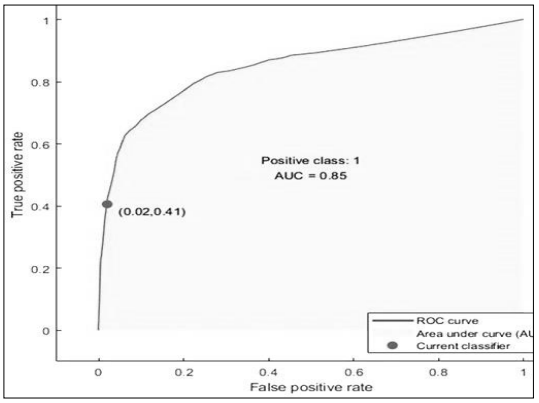
R	۰	٪۹۳	٪۷		٪۹۳	٪۷
	۱	٪۳۸	٪۶۲		٪۶۲	٪۳۸
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۴. روش **Fine tree**



R	۰	٪۹۳	٪۷		٪۹۳	٪۷
	۱	٪۳۸	٪۶۲		٪۶۲	٪۳۸
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۵. روش **Medium tree**



R	۰	٪۸۲	٪۱۸		٪۸۲	٪۱۸
	۱	٪۱۶	٪۸۴		٪۸۴	٪۱۶
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۶. روش **Coarse tree**

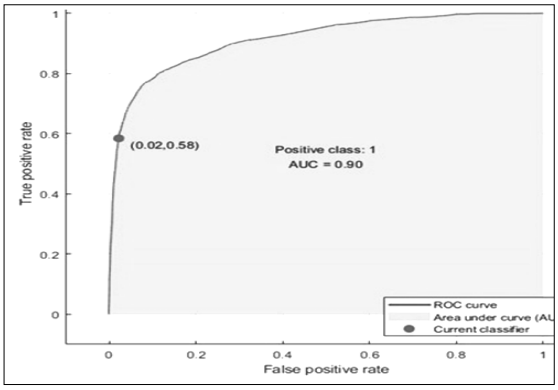
۱. Fine Tree از شاخص انتخاب معیار جینی، با حداکثر تعداد تقسیم برابر ۱۰۰ و حداقل سایز برگ ۴ استفاده شده است.
۲. Medium Tree از شاخص جینی، با حداکثر تعداد تقسیم برابر ۲۰ و حداقل سایز برگ ۱۲ استفاده شده است.
۳. Coarse Tree از حداقل سایز برگ ۳۶، حداکثر

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

تعداد تقسیم برابر ۴ و شاخص جینی استفاده شده است.

یادگیری تجمعی

در روش یادگیری تجمعی از نوع Ensemble (SubspaceKNN)، از روش subspace، نوع یادگیرنده (مدل) نزدیک‌ترین همسایه، تعداد مدل برابر ۳۰ و ابعاد subspace برابر ۲ استفاده شده است (تصویر شماره ۱۷).



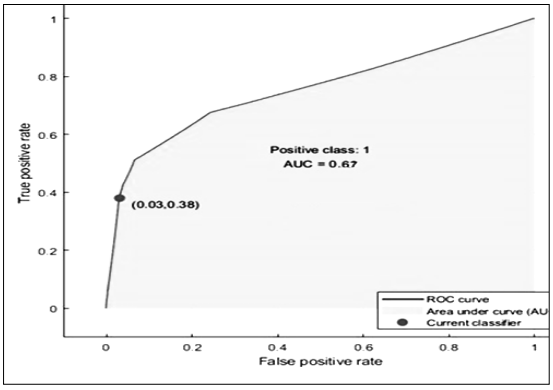
R		٪۹۸	٪۲		٪۹۸	٪۲
	۰	٪۹۸	٪۲		٪۹۸	٪۲
	۱	٪۳۰	٪۷۰		٪۷۰	٪۳۰
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

ت۱۷. روش یادگیری تجمعی

جدول شماره ۹ میزان دقت هریک از مدل‌ها را در تعیین خطر سیلاب نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان می‌دهند که به‌طور کلی، صحت و سطح زیر نمودار همهٔ الگوریتم‌ها به‌جز WLC بالاتر از ۷۰درصد است. در این بین، مدل WLC با صحت و سطح زیر نمودار ۰/۶۲ و ۰/۶۱ ضعیف‌ترین

روش WLC برپایِ FAHP

درروش WLC نیز لایه‌های وزن‌دار حاصل از فن FAHP با یکدیگر تلفیق شدند. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ نهایی مخاطرهٔ سیل با استفاده از روش WLC، پس از آنکه معیارها و شاخص‌های مخاطرهٔ سیل با روش FAHP محاسبه شدند، هرکدام از وزن‌ها در لایه‌های استانداردشده اعمال شدند (تصویر شماره ۱۸).



R		٪۷۱	٪۲۹		٪۷۱	٪۲۹
	۰	٪۷۱	٪۲۹		٪۷۱	٪۲۹
	۱	٪۳۵	٪۶۵		٪۳۵	٪۶۵
		۰	۱		TPR	FNR
		S				

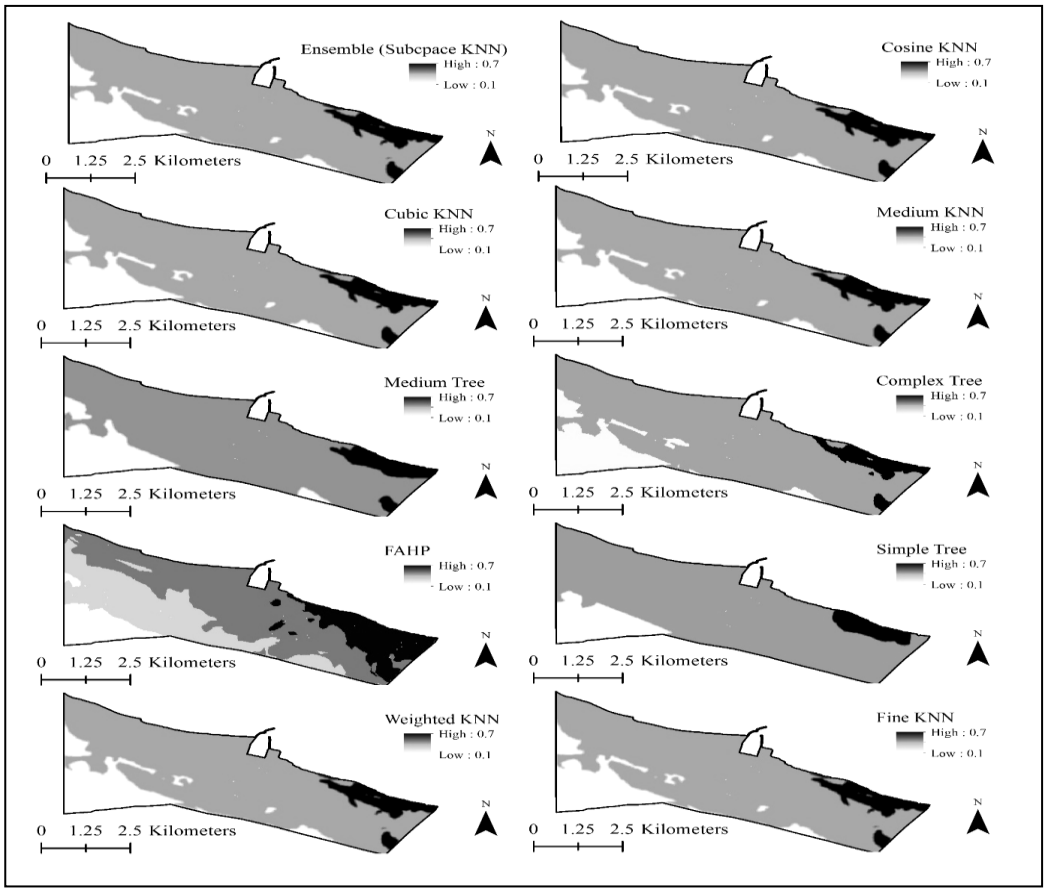
ت۱۸. روش WLC

عملکرد و مدل Ensemble (Subspace KNN) با صحت و سطح زیر نمودار ۰/۹۰ و ۰/۹۶ قوی‌ترین عملکرد دارند. در نتیجه خروجی الگوریتم Ensemble (Subspace KNN) برای ارائهٔ نقشهٔ نهایی خطر سیلاب انتخاب گردید (تصویر شماره ۱۹).

ج۹. ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل در شهر نوشهر

الگوریتم طبقه‌بندی	سطح زیر نمودار (AUC)	صحت (Accuracy)
Ensemble (Subspace KNN)	۰/۹۰	۰/۹۶
Cosine KNN	۰/۸۲	۰/۸۹
Cubic KNN	۰/۸۲	۰/۸۹
Medium KNN	۰/۸۲	۰/۸۷
Medium Tree	۰/۸۷	۰/۸۵
Complex Tree	۰/۸۳	۰/۸۸
WLC	۰/۶۲	۰/۶۱
Simple Tree	۰/۸۴	۰/۸۱
Weighted KNN	۰/۸۲	۰/۸۸
Fine KNN	۰/۷۳	۰/۷۹

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]



ت۱۹. نقشه‌های پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل در شهر نوشهر با استفاده از مدل‌های مورداستفاده

نتیجه

شهرهای بندری به‌عنوان مناطق استراتژیک، همواره به برنامه‌ریزی راهبردی برای امر مدیریت سوانح و بحران‌های مختلف نیازمندند. این مناطق به‌عنوان نبض اقتصادی کشور، در افزایش تولید ناخالص داخلی و رونق اقتصادی نقش به‌سزایی ایفا می‌نمایند. بنابراین، ایجاد خلال در کارکرد آن‌ها می‌تواند منجر به بروز خسارات جبران‌ناپذیر ملی و فراملی گردد. از سوی دیگر، حجم چشمگیر ورود کالاهای مختلف به بندر و در نتیجه، تردد افراد و حضور ارگان‌های متعدد و همچنین ترافیک سنگین وسایط نقلیه و تجهیزات گوناگون در شهرهای بندری، این شهرها را تبدیل به مکان‌های مستعد برای بروز سوانح مختلف می‌نمایند. به همین دلیل، برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران و جلوگیری از بروز بحران در این مناطق، به‌عنوان یکی از وظایف مهم مدیران شهری، در سطح دنیا تلقی می‌گردد. در این راستا، رویکردی جامع‌نگر برای مدیریت بحران، ارزیابی و برآورد میزان مخاطرات شهری با بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف همچون برنامه‌ریزی شهری نیاز است. برقراری این ارتباط می‌تواند به‌عنوان ابزاری در کاهش ریسک بحران‌های طبیعی شهرها و بندرها و تهیهٔ برنامه‌ها و سیاست‌های کاهش آسیب‌پذیری و تقلیل خسارت عمل نماید. با توجه به موارد اشاره‌شده، هدف تحقیق حاضر، طراحی مدلی برای ارزیابی مخاطرهٔ سیل

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

نوشهر بر اساس ویژگی‌های این شهر است.

در تحقیق حاضر، پس از مشخص‌شدن معیارها و شاخص‌های مخاطرهٔ سیل، نقشه‌های اولیه و خام کلیهٔ شاخص‌ها در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه شدند. سپس از آنجایی که نقشه‌های مربوطه مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوتی داشتند، با استفاده از عملیات استانداردسازی، فازی گردیدند و در مرحلهٔ بعد، مدل‌های پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل مناسب انتخاب شدند. در خصوص مخاطرهٔ سیل روش‌های KNN، درخت تصمیم، یادگیری تجمعی و WLC بررسی شدند. نتایج نشان دادند که مدل پیش‌بینی Ensemble (Subspace KNN) با سطح زیر نمودار ۰/۹۰ و صحت ۰/۹۶، بهترین مدل پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل در شهر نوشهر است. بر اساس مطالعهٔ (Liu et al,2020) روش KNN در تلفیق با روش شبکهٔ عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مخاطرهٔ سیل قابلیت چشمگیری دارد. روش یادگیری تجمعی از نظر صحت و کارایی نسبت به سایر مدل‌ها کارایی خودش را نشان داده است (Althuwaynee et al., 2014). تران و همکاران در سال ۲۰۲۰ از این روش برای بهبود کارآمدی سایر روش‌ها از قبیل درخت تصمیم، KNN، ANN استفاده نمودند. در مطالعهٔ Shahabi و همکاران در سال ۲۰۲۰، روش‌های Coarse KNN، Cosine KNN، Cubic KNN و Weighted KNN به‌همراه الگوریتم یادگیری تجمعی برای پیش‌بینی خطر سیل استفاده شده است. نتیجهٔ این تحقیق نشان داده است که استفاده از روش‌های KNN در قالب روش یادگیری تجمعی منجر به بهبود پیش‌بینی خطر سیل می‌شود که با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. به‌عبارت دیگر، الگوریتم ترکیب تجمعی قدرت پیش‌بینی و طبقه‌بندی مدل‌های پایه را از قبیل KNN افزایش می‌دهد.

از مزیت‌های دیگر مدل‌های یادگیری ماشین ترکیب تجمعی، به‌طوری که در نقشه‌های خروجی مشاهده شد، به‌تصویرکشیدن خطرات یا احتمال خطرات به‌صورت مجزا و ترکیبی است که احتمال خرابی خطرات در اثر وقوع مخاطرات به‌صورت مجزا و تلفیق خطرات به‌صورت کلی در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی به‌صورت کمی به تصویر کشیده شده است (فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۸; آوند و همکاران، ۱۳۹۹) در پایان می‌توان گفت که دستیابی به یک نقشهٔ پیش‌بینی مکانی دقیق و معقول می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان شهری در شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل برای مدیریت بحران نواحی مستعد کمک شایانی بنماید.

پی‌نوشت

1. Bagging-LMT
2. Weighting factor
3. Support vector machine (SVM)
4. K Nearest Neighbor
5. Nearest NeighborAnalysis
6. Tree Decision
7. Gini’s diversity index
8. Receiver Operating Characteristic
9. Testing data

فهرست منابع

– آوند، م. ت؛ مرادی، ح. ر؛ رمضان زاده لسبوئی، مهدی. (۱۳۹۹)، تهیهٔ نقشهٔ حساسیت سیل با استفاده از مدل های یادگیری ماشین جنگل تصادفی و خطی تعمیم‌یافته بیزین. فصلنامهٔ محیط‌زیست و مهندسی آب، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱ . ۸۳ -۹۵.

– اسماعیلی علویچه، الهام؛ کریمی، سعید؛ علوی‌پور، فاطمه‌سادات. (۱۳۹۶)، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی(مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۲۲ تهران). فصلنامهٔ علوم و فناوری محیط‌زیست، شمارهٔ ۵. ۱-۱۲.

– بادامکی، مهدی. (۱۳۹۸)، پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضهٔ آبریز قوریچای با استفاده از مدل ANP وGIS. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی. گروه آموزشی جغرافیای طبیعی. صفحهٔ ۷۵.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

– بدری، بهرام؛ زاع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین؛ آتشخوار، فاطمه. (۱۳۹۵)، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۴۸(۱)، ۱۴۳–۱۵۸.

– حسین‌زاده، محمدمهدی؛ اسماعیلی، رضا. (۱۳۹۴)، مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای؛ مفاهیم، اشکال و فرآیندها. چاپ اول. دانشگاه شهید بهشتی.

– خسروی، خه بات؛ معروف‌نیا، ادریس؛ نوحانی، ابراهیم؛ چپی، کامران. (۱۳۹۱). ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیهٔ نقشهٔ حساسیت به وقوع سیل. مجلهٔ منابع طبیعی ایران، ۶۹(۴)، ۸۶۳–۸۷۶.

– رحمانی، محمد؛ عبوری، مهدی؛ ملاآقاجان‌زاده، ساره. (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از روش‌های هم‌پوشانی ترکیب خط وزنی (WLC) و سناریوهای میانگین وزنی مرتب‌شده(OWA)؛ مطالعهٔ موردی: شهر ساری. کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم کشاورزی و محیط‌زیست. دانشگاه تهران.

– رضوی ترمه، وحید؛ ملک، محمدرضا. (۱۳۹۶)، تهیهٔ نقشهٔ حساسیت سیلاب با استفاده از ترکیب مدل باور شهودی (EBF) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)؛ مطالعهٔ موردی: شهرستان جهرم. نشریهٔ مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، شمارهٔ ۳، ۱–۱۵.

– علیزاده، امین. (۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی چاپ بیست‌وهشتم. آستان قدس رضوی، مشهد.

– صادقی پویا، علیرضا. (۱۳۹۵)ف طراحی و ارائهٔ مدل مدیریت ریسک سیلاب در نواحی ساحلی؛ مطالعهٔ موردی: نواحی ساحلی غرب استان مازندران. پایان‌نامهٔ دکترا. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات. صفحهٔ ۲۸۲.

– فرامرزی، ح؛ حسینی، س. م؛ پورقاسمی، ح. ر؛ فرنقی، م. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی وقوع مخاطرهٔ سیالب در پارک ملی گلستان. اکوهیدرولوژی، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴.، ۱۰۶۸–۱۰۵۵.

– ملکی، سعید؛ امان‌پور، سعید؛ صفای‌پور، مسعود؛ پورموسوی، سید نادر؛ مودت، الیاس. (۱۳۹۶). ارزیابی طیف تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی؛ نمونهٔ موردی: شهر ایلام. نشریهٔ علمی‌پژوهشی برنامه‌ریزی توسعهٔ کالبدی، سال دوم، شمارهٔ ۱. پیاپی۵.

– یاریان، پیمان؛ کرمی، محمدرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی و عدم‌قطعیت آسیب‌پذیری شهرها ناشی از زلزله با مدل FAHP؛ نمونهٔ موردی: شهر سنندج. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ ۳۱، ۱۸۵–۲۰۳

- Althuwaynee, O.F.; Pradhan, B.; Park, H.-J.; Lee, J.H. A novel ensemble decision tree-based CHi-squared Automatic Interaction Detection (CHAID) and multivariate logistic regression models in landslide susceptibility mapping. Landslides 2014, 11, 1063–1078.
- Arianpour, M. and Jamali, A. A. (2015). Flood Hazard Zonation using Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) in GIS (Case Study: Omidieh-Khuzestan). European Online Journal of Natural and Social Sciences. 4(1): 39 – 49.
- Ballais JL, Garry G, Masson M. 2005. Contribution of hydrogeomorphological method to flood hazard assessment: the case of French Mediterranean region. CR Geosci 337(13):1120–1130.
- Barredo, J, and Lavalle, C, 2007, European flood risk mapping. Water Science and Technology, 56(4), 11-17.
- Chen, J., Zhao, S. and Wang, H. (2011). Risk Analysis of Flood Disaster Based on Fuzzy Clustering Method. Energy Procedia. 5: 1915 – 1919.
- Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. Environmental Modelling & Software, 95, 229-245.
- Doyle, M.W., Jonathan, M.H., Rich, C.F., & Spacie, A., 2000. Examining the effects of urbanization on streams using indicators of geomorphic stability. Physical Geography, 21(2), 155-181.
- Dust, D.W., & Wohl, E.E., 2010. Quantitative technique for assessing the geomorphic thresholds for floodplain instability and braiding in the semi-arid environment. Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, 55(1), 145–160.
- Fernandez D.S. and M.A. Lutz. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucuman Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis, Engineering Geology, 111: 90-98.
Garde, R. J., 2006, River Morphology, Published by New Age International (P) Ltd.,Publishers, New Delhi.
- Grahn, T.; Nyberg, L. 2017. Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas. Int. J. Disaster Risk Reduct. 21: 367–375.
- Islam, M.D. and K. Sado 2000, Development of Flood Hazard Maps of Bangladesh Using NOAAAVHRR Images with GIS, Hydrological Sciences Journal, 45: 42-48.
- Loczy, D. et al., 2009, Local Flood Hazards Assessed from Channel Morphometry along the Tisza River in Hungary, Geomorphology, No. 113, PP. 200-209.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]

- Liu M, Huang Y, Li Z, Tong B, Liu Z, Sun M, Jiang F, Zhang H. The Applicability of LSTM-KNN Model for Real-Time Flood Forecasting in Different Climate Zones in China. Water. 2020; 12(2):440. https://doi.org/10.3390/w12020440
- Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., & Bahri, M. (2016). Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. Environmental monitoring and assessment, 188(12), 656.
- Kusky, T., 2008, Floods: Hazards of Surface and Groundwater Systems, Facts on File Publishing, New York.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. Geocarto International, 31(1), 42-70.
- Shahabi, H.; Shirzadi, A.; Ghaderi, K.; Omidvar, E.; Al-Ansari, N.; Clague, J.J.; Geertsema, M.; Khosravi, K.; Amini, A.; Bahrami, S.; Rahmati, O.; Habibi, K.; Mohammadi, A.; Nguyen, H.; Melesse, A.M.; Ahmad, B.B.; Ahmad, A. Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Remote Sensing Data and a Machine Learning Approach: Hybrid Intelligence of Bagging Ensemble Based on K-Nearest Neighbor Classifier. Remote Sens. 2020, 12, 266. https://doi.org/10.3390/rs12020266
- Tran QC, Minh DD, Jaafari A, Al-Ansari N, Minh DD, Van DT, Nguyen DA, Tran TH, Ho LS, Nguyen DH, Prakash I, Le HV, Pham BT. Novel Ensemble Landslide Predictive Models Based on the Hyperpipes Algorithm: A Case Study in the Nam Dam Commune, Vietnam. Applied Sciences. 2020; 10(11):3710. https://doi.org/10.3390/app10113710
- Trosh, P., F. De Trosh and W. Brutsaert. 1993. Effective Water Table Depth to Describe Initial Conditions Prior to Storm Rainfall in Humid Regions. Water Resources Research, 29: 427-434.
- Vachaud, G.; Quertamp, F.; Phan, T. S. H.; Ngoc, T. D. T.; Nguyen, T.; Luu, X. L. … Gratiot, N. (2018). "Flood-related risks in Ho Chi Minh City and ways of mitigation", Journal of Hydrology
- Win Sh., Zin W., Kawasaki A., Tin San Z M. L., 2018: Establishment of flood damage function models: A case study in the Bago River Basin Myanmar, Disaster Risk Reduction, vol.28, pages 688-700
- Wang Y., Hong H., Chen W., Li S., Pamučar D., Gigović L., Drobnjak S., Bui D. T. and Duan H. (2019). A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. Remote Sens., 11(1).
- https://doi.org/ 10.22034/40.176.71

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-06]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.71]