



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)


جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و هشتم، تابستان ۱۴۰۰

صص ۲۰-۱

doi : <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2021.67947.1007>

مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی

خدیجه داوند - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.  هیمن شهابی<sup>۱</sup> - دانشیار سنجش از دور، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان‌شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. ممند سالاری - استادیار ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان‌شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۲/۱۸

### چکیده

هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی می‌باشد. فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیل که در این مطالعه در نظر گرفته شدند، شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت توان جریان، انحنا شیب، لیتولوژی، خاک‌شناسی، کاربری اراضی و میزان بارندگی هستند. پس از جمع‌آوری اطلاعات و لایه‌های موردنیاز، ۱۲۶ نقطه سیل‌گیر در منطقه مطالعاتی شناسایی شدند. موقعیت‌های سیل‌گیر به صورت تصادفی به دو گروه ۷۰ درصد (۸۹ نقطه) و ۳۰ درصد (۳۷ نقطه) به ترتیب برای مدل‌سازی و اعتبار سنجی تقسیم شدند. به کمک مدل تابع شواهد قطعی (EBF) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر ایلام تهیه شد. نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل تهیه‌شده، به ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. برای ارزیابی عملکرد مدل، از سطح زیر نمودار AUC به‌دست‌آمده از منحنی ROC استفاده گردید. با توجه به معیار ارزیابی مورد استفاده در این مطالعه (ROC) و با توجه به داده‌های اعتبارسنجی، مدل تابع شواهد قطعی EBF (۰/۹۱۴) در پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی در منطقه مورد نظر دارای عملکرد خوبی بود. در نهایت با توجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده، مناطق شرق و شمال‌شرقی شهر ایلام در محدوده کم‌خطر هستند. همچنین نتایج مطالعه نشان داد که سیل‌خیزی شهر ایلام ناشی از عوامل محیطی شامل

شیب زیاد و تغییر کاربری اراضی است که بر اساس نقشه پیش‌بینی خطر سیل ارائه‌شده، می‌توان در آینده اقدامات مدیریتی مناسبی را جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد.

**کلیدواژه‌ها:** مخاطرات سیلاب، پهنه‌بندی خطر سیلاب، مدل شواهد قطعی، شهر ایلام.

#### ۱- مقدمه

سیلاب از جمله مخاطرات هیدرولوژیکی و فاجعه‌آفرین دنیا می‌باشد که تأثیرات بسیار زیادی بر جوامع بشری داشته و به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به‌صورت ناگهانی افزایش پیدا می‌کند و باعث خسارت‌های جانی و مالی می‌گردد (علیزاده، ۱۳۹۰). سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که بر اساس گزارش پایگاه داده بین‌المللی مخاطرات در زمینه مخاطرات طبیعی، در کنار زلزله و خشک‌سالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت‌های مالی و جانی به همراه دارد. ایران همه‌ساله شاهد وقوع مخاطره سیلاب با شدت مختلف است و از آنجایی که این کشور دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و بارش اندک و غالباً رگباری سالیانه آن از لحاظ زمانی و مکانی توزیع یکنواختی ندارد.

این مقدار کم بارش نیز به دلیل شرایط خاص اقلیمی حاکم در ایران بیشتر در قالب‌های بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت و شدید با توجه به شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی در سطح زمین فرصت زیادی برای نفوذ در لایه‌های زیرین را نداشته و در نتیجه بسیار کم جذب زمین شده و بخش عمده‌ای از آن به‌صورت سیلاب‌های مخرب بر سطح زمین جاری می‌شود (لشکری، ۱۳۷۵)؛ بنابراین محققین به‌منظور کاهش و جلوگیری خسارات سیلاب اقدام به پیش‌بینی و پهنه‌بندی آن در مناطق مختلف می‌نمایند (استفان، ۲۰۰۲). پهنه‌بندی خطر سیل در واقع ابزاری اساسی برای مدیریت کاهش خطرات سیل و راهکاری قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه و حفاظت از محیط‌زیست است. با پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نمود و با ارائه راه‌حل‌ها، شیوه‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع سیلاب جلوگیری و خسارات ناشی از وقوع آن را کاهش داد. در این بین، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب به‌منزله ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهری و همچنین شناخت نواحی‌ای که توسعه زیرساخت‌های تخلیه زهکشی سیلاب موردنیاز است، استفاده می‌شود (بوچله، ۲۰۰۶). مسئله تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل توسط محققان مختلفی بررسی شده است. دسترسی سریع به ماهواره بر پایه داده‌های سنجش‌از‌دور و بهبود روش‌های تجاری، استفاده از اطلاعات جغرافیایی (GIS) را در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل افزایش داده است؛ بنابراین GIS یک ابزار مفید برای بررسی وقایع چندبعدی مانند سیلاب است (آزادی و همکاران، ۱۳۹۹).

1 Stephan

2 Buchle

دامنه وسیعی از تکنیک‌های مدل‌سازی در ارزیابی بلایای طبیعی پیشنهاد و مورد استفاده واقع شده است. محققان مختلفی ارزیابی نقشه‌های سیلاب را توسط GIS انجام داده‌اند و اطلاعات مفیدی را در ارتباط با بعضی از روش‌های موجود جمع‌آوری نموده‌اند. روش‌های مختلف تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل مانند مدل‌های آماری و احتمالاتی در تحقیق‌های مختلف و موارد مطالعاتی مختلفی انجام شده است. در سال‌های اخیر تکنیک‌های پیشرفته‌تری در ارزیابی نقشه‌های حساسیت سیلاب توسط روش‌های محاسبات نرم و داده‌کاوی اجرا شده است. جیمز و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۰) ضمن برشمردن نیازهای مدیریتی به‌ویژه در اقلیم خشک، به پهنه‌بندی خطر سیل در ایالت یوتای امریکا اقدام کردند و بیان داشتند که به علت تغییرات مناطق سیل‌گیر از سیلی به سیل دیگر، باید توجه داشت که در مناطق نقشه بندی شده، خطرهای خیلی زیاد و یا خیلی کم نشان داده نشود. هیالمارسون<sup>۲</sup> (۱۹۹۸) برای پهنه‌بندی خطر سیل در مناطق آریزونا غربی و شرقی با استفاده از خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئومرفولوژیکی، به بررسی خطرهای تهدیدکننده عملیات مهندسی پرداختند. در پایان، با توجه به فرسایش کناری سواحل و بستر رودخانه‌ها و ته‌نشست رسوبات در هنگام وقوع و فروکش جریان سیل، ضوابط موردنظر در پهنه‌بندی منطقه موردبررسی و مناطق مشابه را ارائه کردند. مطالعات به‌روز دیگری نیز در حوضه سیلاب صورت گرفته است که از آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های هونگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) در منطقه پویانگ چین با روش Fuzzy- WoE مورفی<sup>۴</sup> (۲۰۱۸) در ارتباط با پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر تالارک فیلیپین بر مبنای روش‌های کیفی، تاریخی و تحلیلی و نیز پژوهش دیاکاکیسو همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) در ارتباط با فاکتورهای کنترل‌کننده توزیع فضایی سیلاب در نواحی مادر شهری و به‌صورت موردی رویداد ۲۰۱۳ آن اشاره کرد که نتایج آن نشان داد که ارتباط قوی بین فاکتورها و دقت تخمین سیلاب با ضریب همبستگی ۰/۶۳ و نیز دقت پیش‌بینی ۸۲/۹ درصد وجود دارد.

دوی تین بیوو همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۹) در ارتباط با مدل‌سازی مکانی سیل در شمال ایران با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS و مقایسه بین عملکردهای شواهد قطعی با مدل لجستیک رگرسیون مطالعه کرده‌اند، هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد مدل شواهد قطعی (EBF) هم‌به‌عنوان مدل فردی و هم ترکیبی با روش لجستیک رگرسیون، از فاکتورهای ارتفاع، زاویه شیب، انحنای شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت توان جریان، فاصله از رودخانه، باران، زمین‌شناسی و شاخص طبیعی پوشش گیاهی (NDVI) برای منطقه است. پس از به دست آوردن ۱۵۱ نقطه از ۲۱۱ نقطه سیلاب ثبت‌شده، برای آموزشی مدل و تهیه نقشه‌های حساسیت به سیل استفاده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از سطح زیر نمودار AUC به‌دست‌آمده از منحنی ROC استفاده گردید. با توجه به معیار ارزیابی

1 James et al

2 Hyalmarson

3 Hong et al

4 Murphy

5 Diakakis et al

6 Duie et al

مورد استفاده در این مطالعه (ROC) و با توجه به داده‌های اعتبارسنجی نتایج AUC نشان که EBF از LR EBF LR و موفقیت EBF LR به ترتیب ۹۴/۶۱ درصد، ۶۹/۹۴ درصد، ۸۶/۴۵ درصد و ۳۱/۵۶ درصد بوده است. نتایج نشان داد که مدل EBF بالاترین دقت را در پیش‌بینی حساسیت به سیل در حوضه آبریز شمال ایران داشت که ۱۵٪ از کل منطقه در کلاس‌های حساسیت زیاد و بسیار بالا قرار داشت و ۶۲٪ نیز در کلاس‌های حساسیت بسیار کم و کم قرار دارد.

تای فام و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) به ارزیابی حساسیت سیلاب با استفاده از مدهای آماری پرداختند و آن‌ها برای مدل-سازی از هشت عامل (فاصله از رودخانه‌ها، جهت شیب، ارتفاع، شیب، بارندگی، خاک، کاربری زمین و سنگ‌شناسی) استفاده کردند جایی که فاصله تا رودخانه‌ها مهمترین عامل برای مدل سازی انتخاب شد سیل در این منطقه عملکرد مدل‌ها با استفاده از اندازه‌گیری‌های آماری و منحنی (AUC) ROC مورد اعتبارسنجی قرار گرفت و نتایج این مطالعه نشان داد که مدل ABM-CDT با (AUC = 0.957) با از نظر دقت بهترین قابلیت پیش‌بینی را دارد. امیراحمدی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS سیلاب را در دشت کرون مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیر حوضه‌ها نمی‌باشد. مامی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چرداول (چناره) با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS، در دوره بازگشت‌های مختلفی پرداختند. نتایج نشان داد احتمال سیل‌گیری اراضی حاشیه به علت عریض بودن بستر کانال در اکثر نواحی به‌طور نسبی کم است. این مسئله حتی در سیل‌های با دوره بازگشت زیاد هم مشاهده می‌شود. پژوهش‌های مرتبط دیگری در داخل ایران نیز صورت گرفته از جمله: سیستمی و همکاران (۱۳۹۶) پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز گابریک را با استفاده از روش مختلف انجام دادند و پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب شناسایی و با به-کارگیری مدل AHP در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌ای با دقت بالا تهیه کردند. نتایج حاصل از این پهنه‌بندی گویای آن است که مناطق با خطر بالا و بسیار بالا مجموعاً ۲۳/۴ درصد مساحت حوضه را تشکیل داده که نشان از سیلابی بودن پهنه‌های وسیعی به‌خصوص در مناطق پست نیمه جنوبی است.

عسگری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی توان سیل‌خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد پرداختند نتایج نشان داد که زیر حوضه‌ها نقش اساسی در سیل‌خیزی این حوضه داشته که زمین‌های وسیع کشاورزی پایین‌دست را متأثر می‌کنند. پروین (۱۳۹۹) در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی بر اساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک (مطالعه موردی حوضه قصر شیرین) پرداخت نتایج نتایج نشان داد، که بر اساس روش محاسبه درجه خطر ۹۳٪ مساحت حوضه قصر شیرین دارای پتانسیل خطر زیاد و شدید سیلاب ناگهانی است و بر اساس مدل MFFPI به ترتیب ۸۰٪ و ۲۰٪ مساحت این حوضه دارای پتانسیل خطر زیاد، خیلی زیاد و متوسط و

پتانسیل خطر کم و خیلی کم می‌باشد. در پژوهشی دیگر مددی و همکاران (۱۳۹۹) به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز قوری چای کورائیم در استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۱۸ درصد از مساحت حوضه آبخیز مطالعاتی در کلاس‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد واقع شده‌اند.

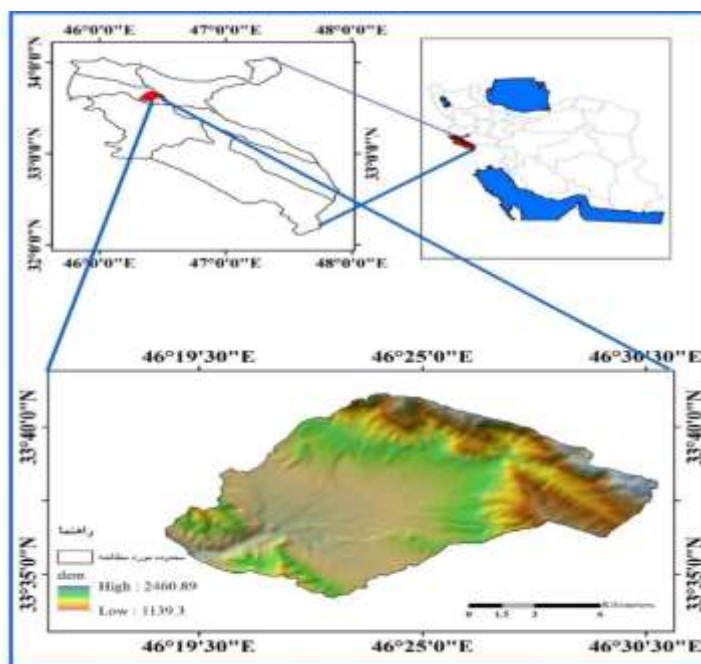
خطر سیلاب در بستر دره‌های اصلی و اراضی پایین‌دست حوضه مورد مطالعه به دلایل ژئومورفومتریکی از قبیل شکل‌گیری و توسعه دشت‌های سیلابی، ارتفاع نسبی پایین، مقعر بودن سطح زمین و آهنگ سریع حرکت رواناب‌های بالادست از پتانسیل رخداد بالایی برخوردار می‌باشد. بعلاوه، مکان‌گزینی مناطق مسکونی در دشت‌های سیلابی پایین-دست حوضه خطر وقوع سیلاب در این پهنه‌ها را افزایش داده است.

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک حوضه آبریز الوندچاپیرداختند. آن‌ها در پژوهش خود دریافتند که در بین پارامترهای شبکه زهکشی چهار پارامتر بافت زهکشی، نسبت بافت، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب به ترتیب با ضرایب ۱۶/۹۶، ۱۳/۸۴، ۱۳/۴۹ و ۱۲/۴۶ درصد و سه پارامتر مساحت، ضریب فشردگی و نسبت مدور بودن به ترتیب با ضرایب ۲۹/۶۳، ۲۷/۷۸ و ۲۰/۳۷ درصد در بین پارامترهای شکلی و دو پارامتر برجستگی و شیب با ضرایب ۴۳/۷۵ و ۳۱/۲۵ درصد در بین پارامترهای برجستگی بیشترین اهمیت را داشته‌اند.

همان‌طور که بیان گردید، هر ساله سیل‌های فراوانی در ایران رخ می‌دهد که باعث خسارات مالی و حتی تلفات جانی شده است که وجود این خسارات ناشی از نبود اطلاعات از مناطق سیل‌گیر و همچنین عدم اقدامات اساسی جهت جلوگیری از سیل می‌باشد. بنابراین با توجه به این موارد در این پژوهش از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) برای تهیه نقشه حساسیت خطر سیلاب در شهر ایلام در راستای رویکرد مدیریتی مبتنی بر شرایط محیطی استفاده شده است.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

شهر ایلام بین موقعیت جغرافیایی بین  $36^{\circ} 18' 36''$  تا  $36^{\circ} 30' 44''$  طول شرقی و  $33^{\circ} 34' 07''$  تا  $33^{\circ} 41' 10''$  عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). پهنه شهر دارای مساحت حدود ۲۰ کیلومترمربع است. ایلام در داخل یک دشت میانکوهی واقع شده و از اطراف به وسیله ارتفاعات محصور گردیده است. این شهر در ارتفاع ۱۳۶۳ متری از سطح دریا قرار دارد. به لحاظ ژئومورفیک و چشم‌انداز نیز یک فرم مخروطه‌افکنه‌ای دارد که با توجه به ماهیت مخروطه‌افکنه‌ها و ناپایداری جریان‌های موجود بر سطح آن‌ها از منظر فرایند سیلاب و در نهایت مخاطرات مرتبط با آن بسیار حساس و آسیب‌پذیر هستند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

### ۳- مواد و روشها

#### ۳-۱- پارامترهای مؤثر و تعریف عملیاتی آنها در پهنه مطالعاتی

برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیلاب و یا به طور کلی تولید مدلی برای ارزیابی در معرض آسیب بلایای طبیعی، مجموعه‌ای از فاکتورهای مؤثر باید تعریف گردد. مجموعه فاکتورهای مؤثر بر سیلاب توسط ۱۲ فاکتور شامل شیب، جهت شیب، انحنای شیب<sup>۱</sup>، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، بارندگی، لیتولوژی، نوع خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۲</sup>، شاخص قدرت توان جریان<sup>۳</sup> ساخته شد. این داده‌ها از منابع مختلف جمع‌آوری و با پیکسل سائز ۱۰ متر بر اساس DEM منطقه تبدیل شدند. شرح عوامل تهیه شده به صورت زیر می‌باشد:

#### ۳-۱-۱- شیب

نسبت فاصله قائم (با اختلاف ارتفاع) دو نقطه با فاصله افقی میان همان دو نقطه تعریف می‌شود. این بدان معنی است که نیروی جاذبه زمین در به حرکت درآوردن رواناب تأثیر داشته و آن را تشدید می‌کند بنابراین فاکتور شیب در هیدرولوژی بسیار مهم و تأثیرگذار است. نقشه شیب زمین به دلیل تأثیر رابطه مستقیم بر فرصت نفوذ و رواناب

1 Curvature

2 Topographic wetness index (TWI)

3 Stream power index (SPI)

سطحی، یکی از عوامل مهم در وقوع سیل به شمار می‌رود. به منظور تهیه این نقشه با تکیه بر مدل رقومی (با قدرت تفکیک ۱۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. نقشه به دست آمده به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۲).

### ۳-۱-۲- انحناى شیب

فاکتور مهم دیگر که تأثیر بالایی بر وقوع سیل دارد. انحناى شیب می‌باشد. انحناى شیب بیانگر شکل توپوگرافی است به طوری که تقعر مثبت بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن به صورت محدب (Convex, Coves, Hollows)، تقعر منفی بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن به صورت مقعر (Concave, Noses) و مقدار صفر آن بیانگر سطحی است که شیب نداشته و به صورت مستقیم (Flat, Straight) می‌باشد (قاسمیان، ۱۳۹۶). این فاکتور به پنج کلاس تقسیم‌بندی گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است.

### ۳-۱-۳- ارتفاع

سومین فاکتور مؤثر که برای تحقیق حاضر در نظر گرفته شده است. طبقات ارتفاعی است. این فاکتور سبب تغییر در ویژگی‌های آب و هوایی شده در نتیجه باعث تفاوت در پوشش گیاهی، خاک و سایر پارامترهای محیطی می‌شود. ارتفاع همیشه نقش مهمی در نقشه حساسیت سیل دارد. نقشه طبقات ارتفاع زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۱۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه شد. در پنج کلاس تقسیم‌بندی گردید که در (شکل ۲) نشان داده شده است.

### ۳-۱-۴- جهت شیب

جهت شیب فاکتور مهمی در تجزیه و تحلیل پایداری ژئومورفولوژیکی می‌باشد چراکه برخی از پارامترهای اقلیمی همچون میزان دریافت تابش، باد (خشک، مرطوب) شدت بارش و رطوبت خاک تأثیر دارد. یکی از کاربردهای نقشه جهت شیب تعیین جریان حرکت آب است نقشه جهت شیب، این نقشه با تکیه بر مدل رقومی (با قدرت تفکیک ۱۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه و به ۸ کلاس تقسیم‌بندی گردید که در (شکل ۲) نشان داده شده است.

### ۳-۱-۵- شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)

TWI در واقع تعیین‌کننده تأثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است و یکی از شاخص‌های مفید در بررسی پتانسیل سیل به شمار می‌رود. شاخص رطوبت توپوگرافی بر اساس رابطه زیر تعریف می‌گردد، برای تهیه این نقشه از نرم‌افزار SAGA GIS 2 استفاده شد. نقشه حاصل به پنج کلاس تقسیم گردید (شکل ۲).

$$TWI = \text{Ln} \left( \frac{A_s}{\tan\beta} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

### ۳-۱-۶- شاخص قدرت توان جریان

SPI یکی از پارامترهای مهم در پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبخیز به شمار می‌رود. شاخص توان آبراهه با توجه به رابطه (۲) تعریف می‌گردد. برای تهیه این نقشه نیز از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 تهیه و به پنج کلاس طبقه‌بندی شدند (شکل ۲).

$$SPI = A_s \tan\beta \quad \text{رابطه (۲)}$$

### ۳-۱-۷- کاربری اراضی

کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل رواناب سطحی و پتانسیل سیل است. لایه کاربری اراضی نیز بر اساس کاربری‌های مختلف شهری در ۷ کلاس (زراعی، علفزار، مراتع درجه ۱، مراتع درجه ۲، اراضی بایر، مناطق سنگلاخی و مناطق مسکونی) تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲).

### ۳-۱-۸- نوع خاک

خاک‌شناسی نقش مهمی را در توزیع رواناب سطحی و زیرسطحی ایفا می‌کند. ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی در میزان نفوذپذیری آب در درون زمین و یا آبدهی مستقیم و در نتیجه تعادل جریان رودخانه و با سیل خیزی حوزه تأثیر بسزایی دارد لایه خاک از نقشه بافت خاک با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج گردید. Arc GIS 10.3 تهیه شد. این داده از سازمان منابع آبراهه‌های موجود در حوضه آبریز، به‌طور کلی عمل تخلیه جریان‌های سطحی را انجام می‌دهند و با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها، خطر ایجاد سیلاب و سیل خیزی کاهش می‌یابد (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۱).

### ۳-۱-۹- فاصله از رودخانه

فاصله از رودخانه‌های مجاور با استفاده از داده‌های شرکت سهامی آب منطقه‌ای بر اساس لایه رقومی شبکه جریان حوضه آبخیز استان ایلام در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه و در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۲).

### ۳-۱-۱۰- تراکم آبراهه

نقشه مجاور بر اساس لایه رقومی شبکه جریان حوضه آبخیز استان ایلام در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه گردید و با دستور "Line density" در محیط نرم‌افزار Arc GIS ترسیم و جهت مدل‌سازی به پنج کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۲).

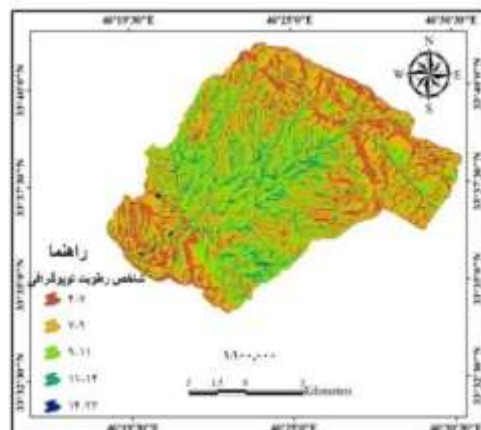
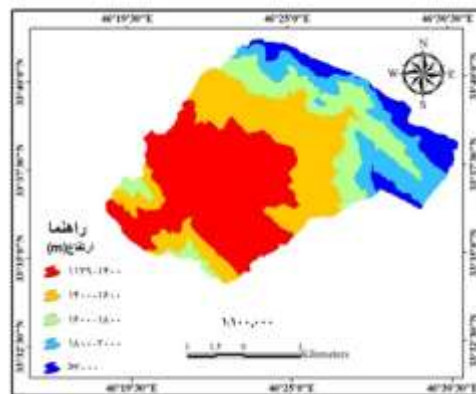
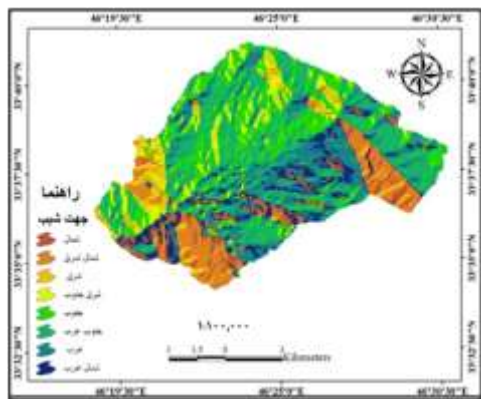
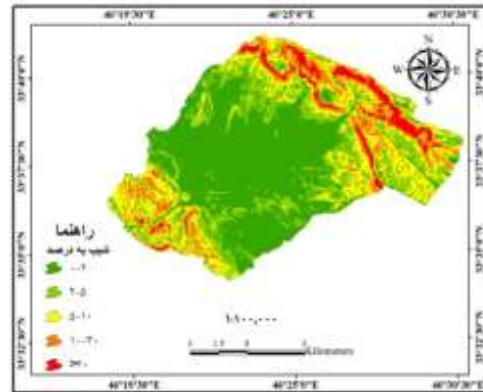


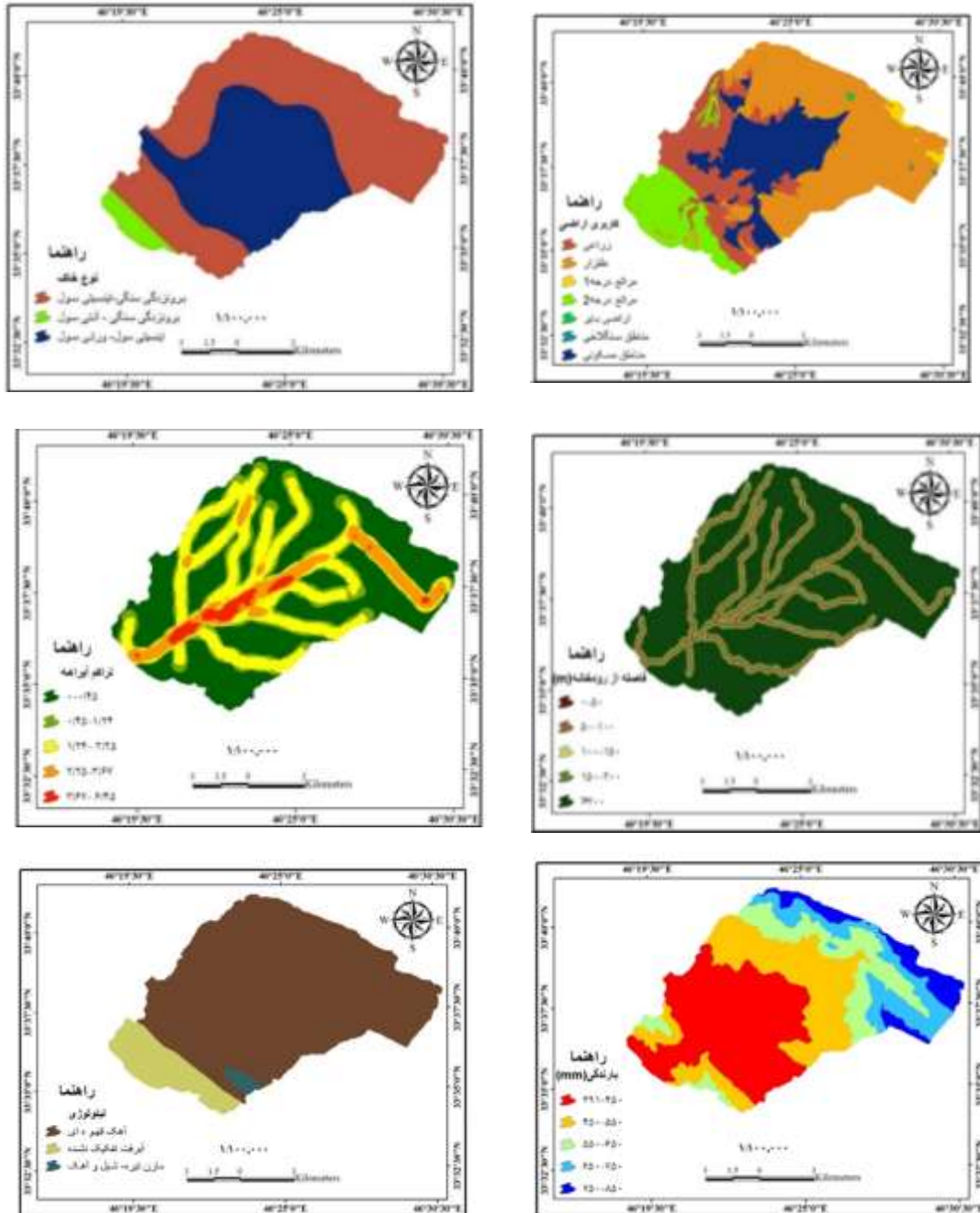
### ۳-۱-۱۱- بارندگی

برای تشکیل لایه بارندگی، از داده‌های ۲۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۰) ایستگاه باران‌سنجی داخل و خارج محدوده مطالعاتی استفاده شد. از روش‌های درون‌یابی شامل کریجینگ برای درون‌یابی نقشه بارندگی استفاده شد که از روش کریجینگ ساده به دلیل داشتن کمتر مقدار  $RMSE$  و  $MAE$  جهت تهیه نقشه بارندگی استفاده شد. نقشه منطقه پس از درون‌یابی به ۵ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲).

### ۳-۱-۱۲- لیتولوژی

لیتولوژی یا سنگ‌شناسی بر روی نفوذپذیری و ظرفیت نفوذ آب در خاک بسیار مؤثر می‌باشد. هرچه نفوذپذیری و خلل سنگ کمتر باشد در این صورت خطر سیل‌گیری افزایش می‌یابد. به‌منظور استخراج لایه لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید (شکل ۲).





شکل ۲- نقشه فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیل در شهر ایلام

## ۲-۳- مدل مورد استفاده

## ۳-۲-۱- مدل تابع شواهد قطعی (EBF)

این مدل شامل پارامترهای: Bel یا درجه اطمینان، Dis درجه عدم اطمینان، Unc درجه عدم قطعیت و Pls درجه معقولیت در محدوده‌ی بین صفر تا یک می‌باشد (پرادهان و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). بخش اصلی این تئوری توسط درجه اطمینان و درجه معقولیت ارائه می‌شود، به همین خاطر درجه معقولیت بزرگ‌تر یا مساوی درجه اطمینان است. داده استخراج‌شده از EBFs نه تنها همبستگی مکانی بین فاکتورهای مؤثر و رخداد سیل را بلکه همبستگی مکانی بین کلاس‌های هر یک از فاکتورهای مؤثر را برآورد می‌کند (جبور و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). پارامترهای روابط مدل توسط معادلات (۷ تا ۳) برآورد می‌گردد: معادلات مذکور برای تعریف ادغام لایه‌های Bel، Dis، Pls و Unc تعریف می‌شوند.

$$\text{Belief}(Bel) = \frac{Bel_1 + Bel_2 + \dots + Bel_n}{\beta} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{Disbelief}(Dis) = \frac{Dis_1 + Dis_2 + \dots + Dis_n}{\beta} \quad \text{رابطه (۴)}$$

رابطه (۵)

$$\text{Uncertainty}(Unc) = \frac{\sum_{i=2}^n (Unc_{i-1} Unc_i + Bel_{i-1} Unc_i + Bel_i Unc_{i-1} + Dis_{i-1} Unc_i + Dis_i Unc_{i-1})}{\beta}$$

$$\text{Plausibility}(Pls) = Bel + Unc \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\beta = 1 - \sum_{i=2}^n (Bel_{i-1} Dis_i - Dis_{i-1} Bel_i) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$Bel_n$  درجه پایین‌تر از اعتماد برای هر نوع عامل یا محدوده است.  $Dis_n$  درجه عدم اعتماد برای هر نوع عامل یا محدوده است. یکی از ویژگی‌های  $Unc_n$  درجه عدم قطعیت هر نوع عامل یا محدوده است.  $N$  تعداد عوامل است. یکی از ویژگی‌های مدل EBF این است که Bel، Dis و Unc در محدوده [۰، ۱] هستند. مجموع آن؛ و برابر با یک است. بنابراین؛ Unc برابر یک باشد، Bel و Dis صفر می‌شوند و در صورتی که مجموع Bel و Dis برابر یک شود درجه Unc برابر صفر است.

1 Pradhan et al

2 Jebur et al

## ۳-۲-۲- اعتبارسنجی مدل و نقشه‌های پیش‌بینی

اعتبارسنجی گویای ارزش پیش‌بینی و میزان انطباق مدل است. با این هدف در این پژوهش مجموعه نقاط برداشت شده که ۱۲۶ مورد در قالب نقاط سیل گیر بودند به‌طور تصادفی به دو گروه ۷۰ درصد (۸۹ موقعیت سیلابی) برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد (۳۷ موقعیت سیلابی) برای اعتبارسنجی تقسیم شدند؛ بنابراین در این مرحله از ۳۷ موقعیت سیلابی در محیط GIS به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل از سطح زیر نمودار AUC به‌دست‌آمده از منحنی ROC استفاده گردید. منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از پیش‌بینی هاست (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). مقدار سطح زیر منحنی AUC، یک شاخص کمی برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل است (به‌دروند و همکاران، ۱۳۹۳). دامنه مقادیر مختلف سطح زیر منحنی بین ۰/۵ (پیش‌بینی تصادفی) تا حداکثر ۱ (پیش‌بینی کاملاً صحیح) است (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶). همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به‌صورت (۰/۹-۱ عالی؛ ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸ خوب؛ ۰/۶-۰/۷ متوسط؛ ۰/۵-۰/۶ ضعیف) است (پرادهان، ۲۰۱۰).

## ۴- نتایج و یافته‌های پژوهش

بر اساس لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده و نیز مدل آماری موجود پایگاه اطلاعاتی خوبی از سیلاب در پهنه ایلام حاصل گردید که در پهنه‌بندی نهایی خطر سیلاب در این محدوده نیز بسیار کارا بود که در قالب زیر مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

## ۴-۱- تعیین وزن پارامترهای مؤثر در پتانسیل سیل

با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی و نیز موقعیت رخدادهای سیل و نیز نظر کارشناسی وزن‌دهی صورت گرفت. تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای محیطی مؤثر بر وقوع سیل انجام گرفت و بر اساس آن، وزن تأثیر هر پارامتر به دست آمد. نتایج شواهد قطعی که نشان‌دهنده رابطه بین رخداد سیلاب و فاکتورهای مؤثر در وقوع سیلاب می‌باشد در (جدول ۱) نشان داده شده است.

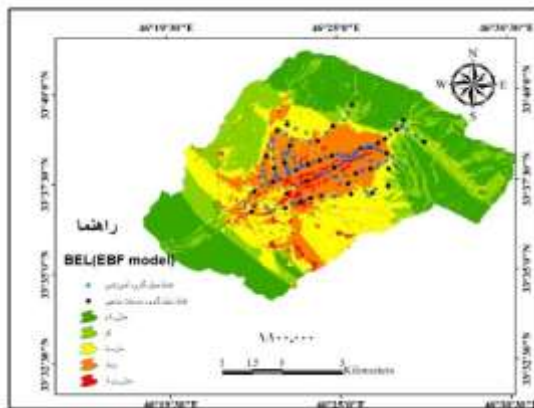
جدول ۱- تعداد پیکسل، تعداد نقاط سیل و امتیاز طبقات پارامترها در روش تابع شواهد قطعی

پارامتر	فاصله طبقات	Bel	Dis	Unc	Plausibility
جهت شیب	شمال	۰/۰۰۰	۰/۱۱۹	۰/۸۸۱	۰/۸۸۱
	شمال شرق	۰/۰۲۷	۰/۱۲۰	۰/۸۵۳	۰/۸۸۰
	شرق	۰/۰۰۰	۰/۱۱۷	۰/۸۸۳	۰/۸۸۳
	جنوب شرق	۰/۰۰۰	۰/۱۱۹	۰/۸۸۱	۰/۸۸۱
	جنوب	۰/۰۶۳	۰/۱۲۱	۰/۶۴۳	۰/۸۷۹

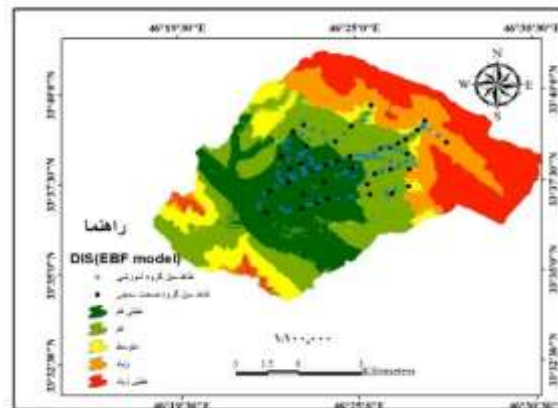
Plausibility	Unc	Dis	Bel	فاصله طبقات	پارامتر
۰/۸۸۰	۰/۵۳۹	۰/۱۲۰	۰/۸۹۰	جنوب غرب	
۰/۹۰۳	۰/۷۱۲	۰/۰۸۲	۰/۲۷۶	غرب	
۰/۸۹۵	۰/۷۱۲	۰/۰۹۷	۰/۳۶۴	شمال غرب	
۰/۹۹۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۹۸۹	۰-۲	شیب
۰/۸۶۸	۰/۸۵۸	۰/۱۳۲	۰/۰۱۱	۲-۵	
۰/۸۵۲	۰/۸۵۲	۰/۱۴۸	۰/۰۰۰	۵-۱۰	
۰/۸۲۵	۰/۸۲۵	۰/۱۷۵	۰/۰۰۰	۱۰-۳۰	
۰/۸۴۴	۰/۸۴۴	۰/۱۵۶	۰/۰۰۰	۳۰	
۰/۸۵۴	۰/۳۸۲	۰/۱۴۶	۰/۴۷۲	۱۱۳۹-۱۴۰۰	ارتفاع
۰/۸۴۱	۰/۳۳۶	۰/۱۵۹	۰/۵۰۵	۱۴۰۰-۱۶۰۰	
۰/۷۶۰	۰/۸۳۷	۰/۲۴۰	۰/۰۲۳	۱۶۰۰-۱۸۰۰	
۰/۷۶۷	۰/۷۶۷	۰/۲۳۳	۰/۰۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	
۰/۷۷۹	۰/۷۹۷	۰/۲۲۱	۰/۰۰۰	۲۰۰۰	
۰/۳۸۴	۰/۲۹۶	۰/۶۱۶	۰/۰۸۸	برونزدگی سنگی (اینسیتی سول)	نوع خاک
۰/۶۷۶	۰/۶۷۶	۰/۳۲۴	۰/۰۰۰	برونزدگی سنگی (آنتی سول)	
۰/۹۴۰	۰/۰۲۷	۰/۰۶۱	۰/۹۱۲	اینسیتی سول (ورتی سول)	
۱/۰۰۰	۰/۴۶۲	۰/۱۴۷	۰/۳۹۱	۰-۵۰	فاصله از آبراهه
۱/۰۰۰	۰/۴۴۸	۰/۱۳۶	۰/۴۱۶	۵۰-۱۰۰	
۱/۰۰۰	۰/۷۴۳	۰/۱۷۱	۰/۰۸۶	۱۰۰-۱۵۰	
۱/۰۰۰	۰/۷۵۸	۰/۱۷۷	۰/۰۶۵	۱۵۰-۲۰۰	
۱/۰۰۰	۰/۵۸۹	۰/۳۶۹	۰/۰۴۲	۲۰۰	
۰/۶۶۸	۰/۶۵۷	۰/۳۳۲	۰/۰۱۱	۰-۰/۰۴۵	تراکم آبراهه
۰/۸۱۱	۰/۷۸۳	۰/۱۸۹	۰/۰۲۸	۰/۰۴۵-۱/۲۴	
۰/۸۳۷	۰/۷۵۹	۰/۱۶۳	۰/۰۴۲	۱/۲۴-۲/۲۵	
۰/۸۵۹	۰/۰۲۷	۰/۱۴۱	۰/۸۳۳	۲/۲۵-۳/۶۷	
۰/۸۲۴	۰/۸۳۷	۰/۱۷۶	۰/۰۸۷	۳/۶۷-۶/۴۵	
۰/۸۴۸	۰/۷۰۹	۰/۱۵۲	۰/۱۳۹	زراعی	کاربری اراضی
۰/۷۷۹	۰/۷۱۳	۰/۲۲۱	۰/۰۶۶	علفزار	
۰/۸۵۹	۰/۸۵۹	۰/۱۴۱	۰/۰۰۰	مراتع درجه ۱	
۰/۸۴۰	۰/۸۴۰	۰/۱۶۰	۰/۰۰۰	مراتع درجه ۲	
۰/۸۶۰	۰/۸۶۰	۰/۱۴۰	۰/۰۰۰	اراضی بایر	
۰/۸۶۰	۰/۸۶۰	۰/۱۴۰	۰/۰۰۰	مناطق سنگلاخی	
۰/۹۵۵	۰/۱۵۹	۰/۰۴۵	۰/۷۹۵	مسکونی	
۰/۸۵۴	۰/۳۸۲	۰/۱۴۶	۰/۴۷۲	۴۵۰-۳۹۱	
۰/۸۴۱	۰/۳۳۶	۰/۱۵۹	۰/۵۰۵	۵۵۰-۴۵۰	
۰/۷۶۰	۰/۸۳۷	۰/۲۴۰	۰/۰۲۳	۶۵۰-۵۵۰	بارندگی

پارامتر	فاصله طبقات	Bel	Dis	Unc	Plausibility
انحنای شیب	۷۵۰-۶۵۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۳	۰/۷۶۷	۰/۷۶۷
	۸۷۸-۷۵۰	۰/۰۰۰	۰/۲۲۱	۰/۷۷۹	۰/۷۷۹
	(-۸/۴۴)-(-۵/۲۵)	۰/۳۰۹	۰/۳۸۷	۰/۳۰۴	۰/۶۱۳
	(-۵/۲۵)-(-۲/۰۶)	۰/۲۹۱	۰/۳۹۴	۰/۳۱۵	۰/۶۰۶
	۱/۱۲-(-۲/۰۶)	۰/۴۰۰	۰/۲۱۹	۰/۳۸۱	۰/۷۸۱
	۱/۱۲-۴/۳۱	۰/۰۲۹	۰/۴۳۷	۰/۵۳۴	۰/۵۶۳
	۴/۳۱-۷/۵۰	۰/۰۰۰	۰/۳۹۴	۰/۶۰۶	۰/۶۰۶
لیتولوژی	آهک قهوه‌ای	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
	آبرفت تفکیک نشده	۰/۰۰۰	۰/۵۲۶	۰/۴۷۴	۰/۴۷۴
	مارن تیره-شیل و آهک	۰/۰۰۰	۰/۴۷۴	۰/۵۲۶	۰/۵۲۶
شاخص رطوبت توپوگرافی	۷-۴	۰/۰۱۸	۰/۲۳۷	۰/۷۴۵	۰/۷۶۳
	۷-۹	۰/۰۴۷	۰/۲۶۲	۰/۶۹۱	۰/۷۳۸
	۹-۱۱	۰/۱۵۵	۰/۱۵۸	۰/۶۸۷	۰/۸۴۲
	۱۱-۱۴	۰/۲۵۲	۰/۱۶۰	۰/۵۸۸	۰/۸۴۰
	۱۴-۲۳	۰/۵۲۸	۰/۱۸۲	۰/۲۹۰	۰/۸۱۸
شاخص قدرت توان جریان	۰-۷/۲۷۹	۰/۱۴۳	۰/۰۹۸	۰/۷۵۹	۰/۹۰۲
	۷/۲۷۹-۷/۷۴۸	۰/۱۲۲	۰/۱۰۴	۰/۷۷۴	۰/۸۹۶
	۷/۷۴۸-۱۵/۰۲۷	۰/۰۴۱	۰/۱۱۸	۰/۸۴۱	۰/۸۸۲
	۱۵/۰۲۷-۱۲۸/۱۴۲	۰/۰۰۰	۰/۱۱۴	۰/۸۸۶	۰/۸۸۶
	۱۲۸/۱۴۲-۱/۸۸۵	۰/۱۸۲	۰/۱۰۸	۰/۷۱۰	۰/۸۹۲

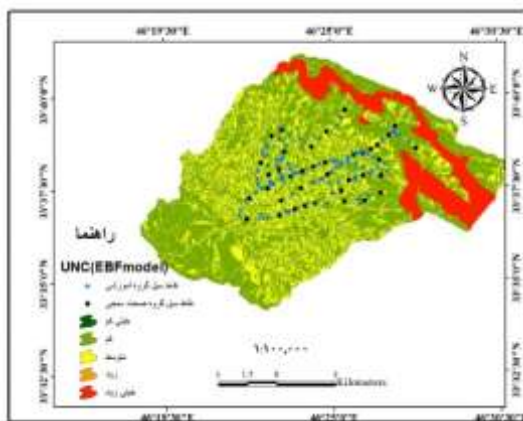
نقشه پتانسیل وقوع سیلاب با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی در (شکل ۳) ارائه شده است. نقشه‌های حاصل از مدل EBF شامل درجاتی از قطعیت (Bel)، عدم قطعیت (Dis)، عدم اطمینان (Unc) و احتمال (Pls) در دامنه بین صفر و یک است و مجموع مقادیر قطعیت، عدم قطعیت و عدم اطمینان ۱ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ۴۴ درصد از منطقه در کلاس حساسیت متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل وقوع سیلاب در (جدول ۲) ارائه شده است.



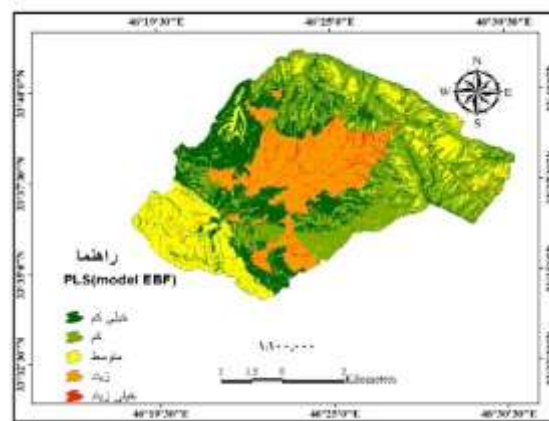
تابع قطعیت (نقشه خطر سیل)



تابع عدم قطعیت



تابع عدم اطمینان



تابع احتمال

شکل ۳- نقشه خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل شواهد قطعی

جدول ۲- مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل و تعداد و درصد نقاط سیل در هر طبقه خطر

درصد مساحت	مساحت طبقات (هکتار)	طبقات سیل
۲/۹	۳۸۹/۸	خیلی زیاد
۱۶/۸	۲۲۱۵/۱	زیاد
۲۳/۷	۳۱۲۸/۷	متوسط
۲۲	۲۹۰۱/۸	کم
۳۴/۴	۴۵۴۱/۳	خیلی کم

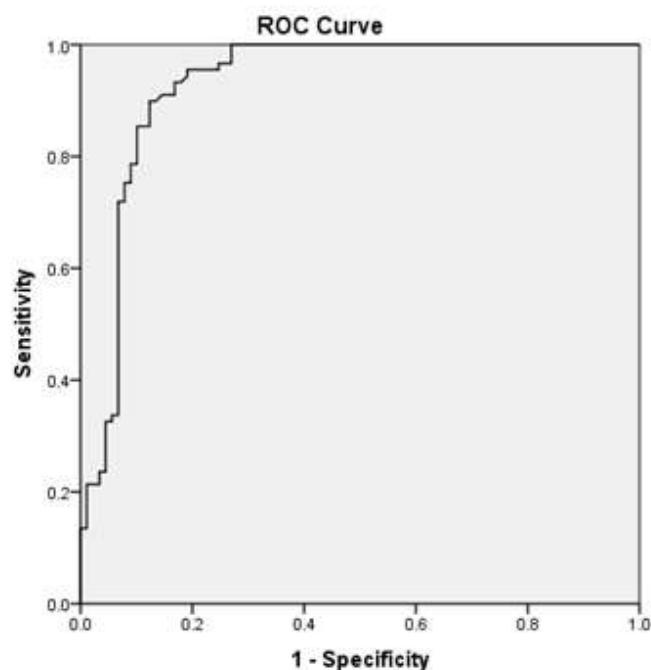


#### ۴-۲- اعتبارسنجی نقشه حساسیت به وقوع سیل

اعتبارسنجی نقشه‌های تهیه‌شده، گامی اساسی در توسعه و تعیین کیفیت آن‌ها می‌باشد و بدون آن مدل‌ها و نتایج آن‌ها فاقد اهمیت علمی خواهند بود. در این تحقیق از روش منحنی (ROC) Receiver Operating Characteristics و مساحت زیر منحنی (AUC) آن جهت ارزیابی استفاده شد. در صورتی که AUC کمتر از ۰/۵ باشد نشان‌دهنده عدم صحت مدل است و از ۰/۵ تا ۱ نشان‌دهنده صحت مدل، جهت پیش‌بینی وجود یا عدم وجود پتانسیل سیل خیزی است. مقدار AUC برای مدل مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی در جدول (۳) ارائه شده است؛ و همچنین منحنی ROC مدل مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی در شکل (۳) ارائه شده است. نتایج نشان داد که برای میزان پیش‌بینی سطح زیر منحنی برابر با ۹۲ درصد می‌باشد. پس این روش دارای نتیجه قابل قبول جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیلاب در شهر ایلام می‌باشد.

جدول ۳- مقدار AUC مدل پیش‌بینی ریسک سیل خیزی

مقدار AUC		مدل پیش‌بینی	ردیف
داده‌های آموزشی	داده‌های اعتبارسنجی		
۰/۹۲۸	۰/۹۱۲	EBF	۱



شکل ۳- منحنی ROC جهت اعتبارسنجی نقشه نهایی سیلاب شهر ایلام

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

سیل پر خسارت‌ترین عارضه مصیبت‌بار در جهان می‌باشد که تهدیدی جدی برای زندگی می‌باشد. پس تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع سیلاب در مشخص کردن مناطق حساس به وقوع سیل ضروری و یکی از گام‌های اولیه در کاهش خسارت می‌باشد و به‌علاوه آنالیز حساسیت به وقوع سیلاب یکی از محبوب‌ترین موضوعات مورد تحقیق می‌باشد. در این مورد روش‌های مختلفی توسط محققان برای کنترل و تخفیف سیلاب در دهه‌های اخیر به کار گرفته شده است. از اهداف اصلی این تحقیق می‌توان به تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیلاب در شهر ایلام توسط مدل شواهد قطعی، ارزیابی کارایی روش نامبرده در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیلاب و تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در وقوع سیلاب در شهر ایلام اشاره نمود

با استفاده از نقشه‌های احتمال وقوع سیل به‌راحتی مناطقی را که دارای احتمال خطر بالا هستند شناسایی کرده تا از وقوع خسارات جلوگیری نمود. برای این کار از ۱۲ عامل مؤثر و ۱۲۶ نقطه سیلابی ثبت‌شده، ۳۷ نقطه برای مدل-سازی و ۸۹ نقطه برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که دقت مدل شواهد قطعی (EBF) در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل‌گیری در شهر ایلام ۹۱/۲ درصد است. از آنجاکه شهر ایلام در دشت میانکوهی واقع شده است و به دلیل اینکه اطراف آن را کوه‌ها احاطه کرده و همچنین شیب زیاد، رواناب به‌سرعت تشکیل شده و در مناطق کم شیب باعث ایجاد آب‌گرفتگی و وقوع سیل می‌شود؛ و در جاهای توپوگرافی اجازه دهد سطح وسیعی را به‌صورت سیل در برمی‌گیرد. بیشتر مناطق مسکونی در داخل این شهر، در مناطقی احداث شده است که دارای شیب کم هستند و به همین خاطر در صورت وقوع سیل موجب خسارات زیادی می‌شود و هرچه به سمت شیب‌های بیشتر می‌رویم مقدار احتمال وقوع سیل کمتر می‌گردد که منطبق با یافته‌های خسروی و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد.

برای فاکتور شاخص رطوبت توپوگرافی در کل، با افزایش مقدار این شاخص احتمال رخداد وقوع سیل بیشتر می‌گردد. علت انتخاب ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب آن است که سیل در ارتفاعات پایین‌تر از سطح دریا اتفاق می‌افتد و در ارتفاعات بالا احتمال رخداد سیل بسیار کم است. با بررسی فاکتور بارندگی می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش ارتفاع، احتمال بارندگی بیشتر می‌گردد و از طرف دیگر احتمال وقوع سیل در ارتفاعات بالا غیرممکن است، پس در شهر ایلام در عمل با افزایش بارندگی احتمال وقوع سیل کاهش می‌یابد به دلیل کوهستانی بودن منطقه می‌باشد. فاکتور مؤثر دیگر، فاصله از رودخانه می‌باشد که با افزایش فاصله از رودخانه احتمال وقوع سیل کاهش می‌یابد. کاربری اراضی از دیگر فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد، زیرا که نوع کاربری اراضی بر روی نفوذ رواناب و یا تشدید سرعت آن مؤثر می‌باشد. در فاکتور زمین‌شناسی به دلیل اینکه هر سازنده و هر سنگی دارای نفوذپذیری متفاوت می‌باشد، در نتیجه سازندهای یا نفوذپذیری کم، دارای تأثیر مستقیم

بر روی تشکیل و تشدید رواناب و در نتیجه وقوع سیل هستند؛ و فاکتور مؤثر دیگر انحناى زمین می‌باشد و به پنج کلاس تقسیم شد که کلاس دوم دارای بیشترین تأثیر بر روی رخداد سیل بودند.

نتایج و اطاعتی که از این تحقیق می‌توان گرفت برای بسیاری از ارگان‌های دولتی شامل شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای، ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری، برنامه‌ریزها جهت برنامه‌های هشدار سیل و جلوگیری از وقوع خسارات در سیل‌های آینده شهر ایلام که هر چندین ساله شاهد وقوع سیل‌های خطرناک هستیم، مفید و ضروری خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که سیل‌خیزی شهر ایلام ناشی از عوامل محیطی شامل شیب زیاد و تغییر کاربری اراضی است که بر اساس نقشه‌ی پیش‌بینی خطر سیل ارائه‌شده، می‌توان در آینده اقدامات مدیریتی مناسبی را جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد.

#### کتابنامه

- آزادی، فهیمه؛ صدوق، حسن؛ قهرودی، منیژه؛ شهابی، همین؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل در حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از دو مدل WOE و EBF. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۹(۱): ۶۰-۴۵.
- پروین، منصور؛ ۱۳۹۹. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی بر اساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک (مطالعه موردی حوضه‌ی قصرشیرین). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۳۲: ۲۳-۳۵.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ حجازی، اسدالله؛ کامران، خلیل ولیزاده؛ رحیم پور، توحید؛ ۱۳۹۹. بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شمال غرب ایران). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی*. ۹(۲): ۲۱۴-۱۹۵.
- سیستانی، بدوئی؛ مسعود، نگارش؛ حسین، فتوحی؛ صمد؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز گابریک. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۶(۲۲): ۱۸۲-۱۶۳.
- عسگری، شمس‌اله؛ صفاری، امیر؛ فتحی، حجت‌الله؛ ۱۳۹۷. بررسی توان سیل‌خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۸(۵۰): ۹۰-۷۷.
- علیزاده، امین؛ ۱۳۹۰. *اصول هیدرولوژی کاربردی*، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ هفدهم، ص ۹۲۸.
- قاسمیان، بهاره؛ عابدینی، موسی؛ روستایی، شهرام؛ شیرزادی، عطالله؛ ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه کارایی الگوریتم‌های یادگیری ماشین به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش‌های سطحی اطراف شهر کامیاران، رساله دکتری، دانشگاه محقق اردبیلی.
- لشکری، حسن؛ ۱۳۷۵. *بررسی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران*. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- مامی‌زاده، جعفر؛ همتی، موسی؛ قادری، جمیل؛ ۱۳۹۴. پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چرادول (بازه‌ی چناره)، با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ۹(۲۹): ۷۵-۷۱.

مددی، عقیل؛ اصغری، صیاد؛ بادامکی، مهدی؛ احسان، قلعه؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز قوری چای کورائیم در استان اردبیل. پژوهش‌های ژئومورفولوژی. ۹(۲): ۸۱-۹۷.

میراحمدی، ابوالقاسم؛ شیران، مهناز؛ ۱۳۸۸. کاربرد مدل HEC-HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب دشت کرون. فصلنامه جغرافیا و توسعه. ۷(۱۶): ۱۷۳-۱۵۳.

- Buchele, B. Kreibich, H. Kron, A. Thielen, A. Ihringer, J. Oberle, P. Merz, B. Nestmann, F., 2006. Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks, *Natural Hazards Earth System*, 6: 485-503.
- Diakakis, M. Deligiannakis, G. Pallikarakis, A. Skordoulis, M., 2018. Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens flash flood event, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18:171- 180.
- Hong, H. Tsangaratos, P. Ili, I. Liu, J. Zhu, A. X. Chen, W., 2018. Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China, *Science of the Total Environment*, 625: 575-588.
- Hyalmarson, H. W., 1998. *Flood Hazard Zonation in Arid land*, Wesley Publishers.
- James, M. D. Larson, M. D. Glover, T. F., 1980. Floodplain Management Needs Precuiler to Arid Climates, *Water Resources Bulletin*, 16: 1020-1029.
- Jebur, M. Pradhan, B. Tehrany, M., 2014. Manifestation of LiDAR-derived parameters in the spatial prediction of landslides using novel ensemble evidential belief functions and support vector machine models in GIS, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8: 674 – 690
- Murphy, P.M., 2018. Flood Hazard Zoning of Tarlac City: Towards the Development of Flood Overlay Zones and Provision, *Procardia Engineering*, 212: 69-76.
- Pham, B.T. Avand, M. Janizadeh, S. Phong, T.V. Al-Ansari, N. Ho, L.S. Das, S. Le, H.V. Amini, A. Bozchaloei, S.K. Jafari, F., 2020. GIS based hybrid computational approaches for flash flood susceptibility assessment, *Water*, 12: 683.
- Stephan, C., 2002. Hydrologic investigation by the U.S Geological Survey Following the 1996 and 1997 Floods in the upper Yellowstone River, Montana, *American water Resources Association 19<sup>th</sup> Annual Montana*, Section one:1-18.
- Tien Bui, D. Khosravi, K. Shahabi, H. Daggupati, P. Adamowski, J.F. Melesse, A.M. Thai Pham, B. Pourghasemi, H.R. Mahmoudi, M. Bahrani, S. Pradhan, B., 2019. Flood spatial modeling in northern Iran using remote sensing and GIS: A comparison between evidential belief functions and its ensemble with a multivariate logistic regression model, *Remote Sensing*, 11: 1589.
- Tingsanchali, T., 2012. Urban flood disaster management. *Procedia engineering*, 32: 25-37.