نوع مقاله: علمی-پژوهشی
شماره ۳۶ / پاییز ۱۳۹۹ / ص ۲۷ تا ۴۰
Archive of SID

پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی[۱]

مهناز آزادطلب - کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
هیمن شهابی[۲] - * دانشیار و عضو هیات علمی گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
*گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان‌شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
عطاالله شیرزادی - گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
کامران چپی -دانشیار و عضو هیات علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷

چکیده
سیل دومین بلای طبیعی است که سالانه خسارات زیادی را به جوامع انسانی وارد می‌آورد. در این میان شهرها و مراکز جمعیتی، بیشترین ریسک و احتمال خسارت فیزیکی قابل لمس ناشی از وقوع سیل را دارا هستند. شهر سنندج به دلیل احاطه شدن به وسیله کوه‌ها و تپه‌ها پتانسیل بالایی در تولید رواناب و انتقال آن به سطح شهر را دارد. بنابراین هدف از این مطالعه پیش‌بینی مکانی مخاطره سیلاب در شهر سنندج در استان کردستان با استفاده از الگوریتم‌های شاخص آماری (SI) و مدل تابع شواهد قطعی (EBF) هم به صورت منفرد و هم به صورت ترکیبی در محیط GIS است. فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیل که در این مطالعه در نظر گرفته شدند شامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، تجمع جریان، کاربری اراضی، انحنای شیب، لیتولوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان، تراکم ساختمان و میزان بارندگی بود. پس از جمع‌آوری اطلاعات و لایه‌های مورد نیاز، نقشه پیش‌بینی مکانی حساسیت سیلاب در شهر سنندج تهیه شد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از سطح زیر نمودار AUC به دست آمده 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 (۰/۸۴۰) نسبت به مدل شاخص آماری (۰/۸۲۷) در پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در منطقه مورد نظر دارای بهترین عملکرد بود. در مدل ترکیبی SI-EBF همچنین میزان صحت با توجه به داده‌های اعتبارسنجی برابر ۰/۸۴۹ بود که این نشان داد، عملکرد مدل ترکیبی SI-EBF در پیش‌بینی مکانی خطر سیلاب در مطالعه حاضر نتایج بهتری نسبت به مدل‌های منفرد داشته است. در نهایت نتایج مطالعه نشان داد که تراکم ساختمانی و معابر شهری عوامل اصلی در وقوع سیلاب شهر سنندج هستند که براساس نقشه پهنه‌بندی خطر سیل ارائه شده می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی را برای کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد.

واژگان کلیدی: مدل ترکیبی، پهنه‌بندی خطر، شاخص آماری، تابع شواهد قطعی، شهر سنندج.

۱ این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی گرایش طبیعی نویسنده نخست با عنوان « پیش‌بینی مکانی مخاطره سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی» به راهنمایی هیمن شهابی، کامران چپی و به مشاوره عطاالله شیرزادی در دانشگاه کردستان انجام شده است.

۲ نویسنده مسئول مقاله: h.shahabi@uok.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

سیل دومین بلای طبیعی است که سالانه خسارات زیادی را به جوامع انسانی وارد می‌آورد (Wheater & Evans, 2009). در این میان شهرها و مراکز جمعیتی، بیشترین ریسک و احتمال خسارت فیزیکی قابل لمس ناشی از وقوع سیل را دارا هستند. جمعیت شهری دنیا در هر سال ۱۱ میلیون نفر افزایش می‌یابد و پیش‌بینی می‌شود که با این افزایش شهرنشینی تا سال ۲۰۲۰ میلادی جمعیت شهری به ۵۱ درصد کل جمعیت دنیا برسد (Wang et al., 2019). این افزایش شهرنشینی و تغییر در شیوه زیست و الگوی کاربری اراضی باعث افزایش میزان مشکلاتی مانند بروز سیلاب‌ها به خصوص در مناطق تحت تغییر یعنی شهرها شده و تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز مربوطه می‌گذارد و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد. به بیان دیگر، تحولات هیدرولوژیک ناشی از شهرسازی و نحوه کاربری اراضی حوضه‌های شهری را می‌توان به اختصار شامل تغییر حجم کل رواناب، تغییر میزان تغذیه ناشی از بارش، تغییر حداکثر آبدهی سیلاب‌ها و تغییر کیفیت آب خلاصه نمود (Ahmadlou et al., 2019).

آمارهای موجود نشان می‌دهد، در بین بلایای طبیعی ۳۱ درصد آن مربوط به سیلاب‌های شهری است که به فراخور شرایط طبیعی و محل استقرار شهرها، شدت و اندازه‌های مختلفی دارد (Chapi et al., 2017). در ایران نیز به دلیل شرایط اقلیمی، سیلاب‌ها از رخدادهای مکرر و آسیب بار محسوب می‌شود. روند رو به رشد رخداد سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که اکثر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب قرار دارند. براساس مطالعات انجام شده، سالانه نزدیک به چهل سیل بزرگ و کوچک در نقاط مختلف کشور روی می‌دهد. سیل پُر خسارت‌ترین عارضه مصیبت‌بار در جهان است که تهدیدی جدی برای زندگی به شمار می‌رود. پس تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل در مشخص کردن مناطق حساس به وقوع سیل ضروری و یکی از گام‌های اولیه در کاهش خسارت است. با استفاده از نقشه‌های احتمال وقوع سیل به راحتی می‌توان مناطقی را که دارای احتمال خطر بالا هستند، شناسایی کرد تا از وقوع خسارات جلوگیری نمود. در مطالعات مدل‌سازی مخاطرات طبیعی و محیطی چون سیلاب، پیچیدگی سیستم‌های طبیعی، استفاده از مدل‌های فیزیکی را مشکل می‌نماید؛ استفاده از مدل‌های ترکیبی جایگزین‌های مناسبی برای مدل‌های فیزیکی به شمار می‌آیند. بنابراین لازم است تا در مناطقی که ریسک وقوع رواناب و در نتیجه آن رخداد مخاطره سیلاب وجود دارد، روش‌ها و پیشنهادهایی مناسب برای برآورد رواناب و سیلاب به منظور جلوگیری از وقوع آن ارائه شود (Khosravi et al., 2019). با توجه به اهمیت موضوع و سختی‌های پیش‌رو و در نظر داشتن پیشینه مطالعات انجام شده در مناطق مختلف و همچنین ظرفیت و توان داده‌ای مورد نیاز و در دسترس باید به انتخاب روشی بهینه، متناسب و پاسخگو منتهی شود (Bui et al., 2018).

همچنین استفاده از مدل‌های پیش‌بینی کننده GIS امکان پهنه‌بندی مناطق شهری را از نظر خطر سیلاب فراهم می‌کند و با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده، امکان شناسایی مناطق را از نظر خطر سیلاب مهیا می‌کند. امروزه با استفاده از مدل‌های ترکیبی GIS می‌توان دقت پهنه‌بندی خطر سیلاب را در مناطق شهری نسبت به مدل‌های منفرد GIS افزایش داد.

در سال‌های اخیر مدل‌های آماری و احتمالاتی زیادی برای نقشه حساسیت به وقوع سیل به کار برده شده و GIS به عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دستکاری داده‌ها به دلیل توانایی آن در مدیریت مقادیر زیادی از داده‌های مکانی به کار رفته است. ترکیب مدل‌های آماری و احتمالاتی با سنجش از دور و GIS بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. دانشمندان و محققان زیادی مدل‌سازی را به وسیله مدل‌های پرکاربردی همچون درخت تصمیم[1] (Tehrany et al., 2013)، ماشین بردار پشتیبان[2] (Tehrany et al., 2014a)، نسبت فراوانی[3] (Tehrany et al., 2014b)، تابع شاهد قطعی[4] (Nampak et al., 2014, Tien Bui et al., 2019)، رگرسیون لجستیک[5] (Shafapour Tehrany et al., 2017)، ترکیب مدل‌های نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک (Youssef et al., 2016)، آنتروپی شانون[6] (Khosravi et al., 2016)، شبکه عصبی مصنوعی (Kia et al., 2012)[7]، تحلیل سلسله مراتبی[8] (Stefanidis & Stathis, 2013) و سیستم استنتاج عصبی فازی[9] (Zou et al., 2013) در بلایای طبیعی به خصوص در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب انجام داده‌اند.

تهرانی و همکاران (۲۰۱۵) به وسیله تکنیک ماشین بردار پشتیبان[10] با چهار تابع مختلف شامل Linear، Polynomial، Radial Basis Function (RBF) و Sigmoid به بررسی پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع سیل در مالزی پرداختند. آنها بیان کردند که مساحت سطح زیر منحنی (AUC) به ترتیب برای توابع فوق برابر با ۸۴/۶۳٪ ، ۸۳/۹۲٪ ، ۸۴/۹۷٪، ۸۱/۸۸٪ است. آنها به وسیله شاخص Cohen's kappa بیان کردند که کل فاکتورهای در نظر گرفته شده به جز رواناب سطحی (که باعث کاهش صحت نتایج نهایی می‌شود) دارای تأثیر مثبت در سیلاب هستند. طبق نتایج آنها شیب و طبقات ارتفاعی در همه انواع توابع از مؤثرترین فاکتورها بودند (Tehrany et al., 2015) . همچنین خسروی و همکاران (۲۰۱۸) به مقایسه و کارایی روش‌های درخت تصمیم در تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل پرداختند و در نهایت

1 Decision tree
2 Support vector machine
3 Frequency ratio
4 Evidential belief function
5 Logistic regression
6 Shannon entropy
7 Artificial neural network
8 Analytic hierarchy process
9 Adaptive neuro-fuzzy inference system
10 Support vector machine

www.SID.ir

Archive of SID

بیان کردند که روش درخت تصمیم متناوب (ADT) دارای کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های درخت تصمیم است (Khosravi et al., 2018). در پژوهش دیگری، تین بوی و همکاران (۲۰۱۹) به مدل‌سازی مکانی سیلاب در حوضه آبریز هراز در شمال ایران با استفاده از مقایسه مدل توابع شواهد قطعی و ترکیب آن با مدل لجستیک رگرسیون چندگانه پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد که مدل[1] EBF بیشترین دقت را در پیش‌بینی مکانی مخاطره سیلاب در حوضه مورد مطالعه داشته است (Tien Bui et al., 2019).

با توجه به موقعیت جغرافیایی شهر سنندج که در کنار تپه‌ها و دره‌ها قرار گرفته و همچنین بافت طبیعی ناهموار و گاهی پرشیب که در سرتاسر محیط شهری واقع شده است، باعث تشدید رواناب به وجود آمده ناشی از بارش‌های شدید می‌شود. این مسئله باعث بروز مشکلاتی در حمل‌ونقل شهری و خسارت‌هایی به ابنیه‌ها و مناطق مسکونی با بافت فرسوده‌تر می‌گردد.

این موضوع مسئله سیلاب‌های شهری را به یکی از معضلات شهر سنندج تبدیل کرده که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که چالش اصلی محققان در ارتباط با سیلاب شهری، شناسایی دقیق مناطق حساس به وقوع سیل با استفاده از روش‌های مختلف آماری و غیر آماری است، این تحقیق در راستای برآورد این چالش انجام می‌گیرد. بنابراین هدف از این پژوهش شناسایی مناطق با پتانسیل وقوع سیل‌خیزی بیشتر در شهر سنندج با استفاده از روش شاخص آماری[2] (SI) و تابع شواهد قطعی (EBF) هم به صورت منفرد و هم به صورت ترکیبی است.

۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرسنندج بین ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۶ درجه و۵۷ دقیقه تا۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی در مرکزاستان کردستان (غرب ایران) قرار گرفته است. شهر سنندج محصور بین تپه‌ها و در یك چاله محصور به ارتفاعات قرارگرفته است. شهر با مساحت کوچك خود، جمعیت انبوهی را با تراکم نسبتاً زیاد در خود اسکان داده که به اجبار از وجود تپه‌ها استفاده شده است. این مسئله در زمینه ارائه خدمات، مشکلاتی را برای مردم فراهم ساخته و خواهد ساخت (Bahrami et al., 2017). ارتفاع متوسط شهر سنندج از سطح دریا ۱۳۷۳ متر است. کوه‌ها و تپه‌های اطراف شهر در پاره‌ای از نقاط ازجمله جنوب غربی و شمال شرقی، رشد و گسترش شهر را محدود کرده است. از لحاظ ژئومورفولوژی، کمربند سنندج-سیرجان از این محدوده شروع می‌شود. لیتولوژی غالب منطقه شامل سنگ‌های آهکی، دولومیتی، ماسه سنگ تریاس، آهک و ماسه سنگ همراه با لایه‌های زغال ژوراستیک، آهک، مارن، سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه و سنگ‌های آهکی توأم با فلیش‌ها همراه با رادیولاریت دیده می‌شوند (Habibi & Pourahmad, 2005). شیل سنندج از انباشته‌های تخریبی ریزدانه شامل شیل تیره، سیاه، خاکستری متمایل به سبز و زردرنگ به ضخامت تقریبی ۲۰۰۰ متر و گستره‌ای وسیع در قسمت غرب نقشه چهارگوش سنندج قرار گرفته است. از آنجا که سنندج روی آنها واقع شده، شیل سنندج نامیده می‌شود که نمود مورفولوژیکی غالب سنندج را به صورت تپه‌ماهورهای پراکنده و گنبدی نشان می‌دهد. نهشته‌های کواترنر این منطقه شامل تراس‌های رودخانه‌ای و نهشته‌های آبرفتی بستر و حاشیه رودخانه‌های منطقه است (Habibi & Pourahmad, 2005). از مهم‌ترین ویژگی‌های این منطقه می‌توان به وجود راندگی‌های طویل با راستای شمال غرب-جنوب شرق اشاره کرد (Darvishzadeh, 1991). راندگی‌های فوق به‌ویژه در کنار زون زاگرس و امتداد آن گسترش یافته و با حرکت و جابه‌جایی خود سبب وقوع زمین‌لرزه‌ها می‌گردند (Mohammady et al., 2013). تصویر شماره ۱ موقعیت شهر سنندج را در استان و ایران نشان می‌دهد.

عدم توجه به شیب زمین، خط القعرها، ساختار و مورفولوژی شهر باعث می‌گردد که جهات توسعه شهری بدون توجه به این نکات در مسیل‌ها و دامنه‌های منتهی به کوهستان شکل گرفته و در معرض خطر سیلاب قرار گیرند. در شهر سنندج محلات شریف‌آباد، آقازمان، بلوار پاسداران، فردوسی، گریاشان و ... در معرض خطر سیلاب قرار دارند؛ چراکه فقدان سیستم فاضلاب شهری و عدم پیش‌بینی آن در طراحی شهری، کمبود جداول با عرض و شیب مناسب برای هدایت آب‌های سطحی باعث می‌گردد که در اغلب اوقات بارندگی‌های متوسط نیز سیستم‌های مختلف شهری را مختل سازند. تصویر شماره ۲ نمونه‌هایی از سیل‌های اتفاق افتاده در شهر سنندج را نشان می‌دهد.

۳. مواد و روش‌ها

۳،۱. عوامل مؤثر در سیلاب شهری

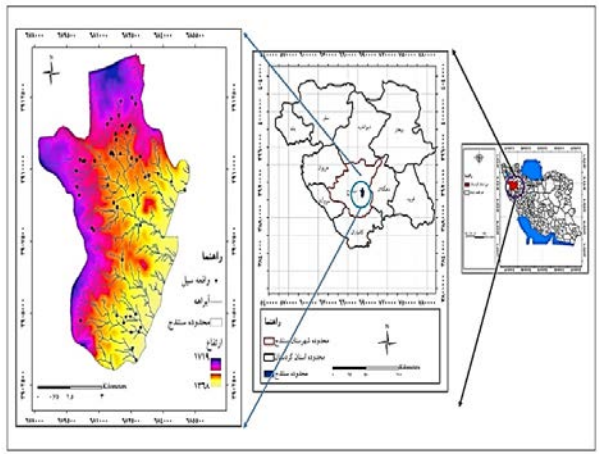
در این مطالعه با توجه به مطالعات قبلی و شرایط منطقه، فاکتورهای درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، تجمع جریان،کاربری اراضی، انحنای شیب، لیتولوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان، تراکم ساختمان و میزان بارندگی برای پهنه‌بندی خطر سیل در نظر گرفته شدند. گفتنی است که طبقه‌بندی لایه‌ها با توجه به شرایط منطقه و نظر کارشناسی انجام شده است.

نقشه رستری این پارامترها با اندازه پیکسل ۳۰ متر تهیه شدند. نقشه طبقات ارتفاع زمین براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) (با قدرت تفکیک ۳۰ متر استخراج شده از ماهواره ASTER Global DEM (ASTER GDEM) به آدرس https://gdex.cr.usgs.gov/gdex) تهیه شد. نقشه شیب زمین به دلیل تأثیر مستقیم بر نفوذ، یکی از عوامل مهم در وقوع سیل به شمار می‌رود. این نقشه با تکیه بر مدل رقومی تهیه و به پنج کلاس طبقه‌بندی شد. نقشه انحنای زمین براساس مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. نقشه مزبور به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و تخت (بدون انحنا) طبقه‌بندی گردید. نقشه جهت شیب، یکی از عوامل مهم در وقوع سیل به شمار می‌رود. این نقشه با تکیه بر مدل رقومی

1 Evidential belief function
2 Statistical Index

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر شماره ۱: موقعیت جغرافیایی شهر سنندج در استان کردستان و ایران



تصویر شماره ۲: نمونه‌هایی از مناطق سیل گیری شهر سنندج

تهیه و به نُه کلاس طبقه‌بندی شد. تراکم زهکشی نسبت طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوزه آبریز است. هرچه تراکم زهکش‌ها بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد. نقشه تراکم شبکه زهکشی با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید. نقشه فاصله از شبکه زهکشی با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ و اعمال توابع Distance در محیط ArcGIS 10.3 تهیه گردید. لایه کاربری اراضی نیز براساس کاربری‌های مختلف شهری به کلاس‌های مختلف تقسیم‌بندی شد. این لایه از اداره مسکن و شهرسازی استان کردستان تهیه و براساس فرمت DWG در محیط نرم‌افزاری اتوکد شهر سنندج پردازش شد. به منظور استخراج لایه لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشوراستفاده گردید. نقشه بارندگی، براساس میانگین بارندگی سالیانه (۱۳۷۵-۱۳۹۵) ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و خارج محدوده مطالعاتی با استفاده از روش درونیابی وزندهی براساس فاصله معکوس[1] (IDW) تهیه و به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد. لایه‌های فاصله از معابر، تراکم معابر و فاصله از ساختمان‌ها و تراکم ساختمانی از روی نقشه کاربری اراضی شهر سنندج استخراج شده و سپس در محیط ArcGIS 10.3 تهیه و به پنج طبقه تقسیم شد.

نقشه تجمع جریان براساس نقشه رقومی ارتفاعی تهیه و به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد.

۳،۲. روش تجزیه و تحلیل پهنه‌بندی سیلاب

روش‌های مختلفی برای مطالعه پهنه‌بندی سیل‌خیزی استفاده شده‌اند که از جمله آنها می‌توان به روش تحلیل سلسله مراتبی، نسبت فراوانی، شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و رگرسیون لجستیک اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در پهنه‌بندی سیل‌خیزی تعیین عوامل تأثیرگذار بر آنهاست که انتخاب درست این عامل‌ها رابطه مستقیم با دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر دارد. پس از جمع‌آوری اطلاعات و لایه‌های مورد نیاز، به کمک الگوریتم‌های شاخص آماری و تابع شواهد قطعی هم به صورت منفرد و هم به صورت ترکیبی، نقشه پیش‌بینی مکانی خطر سیلاب در شهر سنندج تهیه شد. سپس بهترین الگوریتم که توانایی پیش‌بینی بالاتری در شناسایی و تفکیک مناطق سیل‌خیز داشته باشد، انتخاب می‌گردد. در نهایت خروجی مراحل داده‌کاوی به عنوان ورودی برای GIS تعریف شده و نقشه پیش‌بینی مکانی سیل‌خیزی سطح شهر سنندج تهیه می‌گردد. در پایان اقدام به ارزیابی صحت و سقم مدل و نقشه به دست آمده از خروجی طرح می‌گردد.

1 Inverse distance weighting

www.SID.ir

Archive of SID

۳،۲،۱. روش شاخص آماری

روش شاخص آماری یک روش آماری دو متغیره است. مقادیر وزن معین برای هر یک از کلاس‌های پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل به صورت لگاریتم طبیعی تراکم سیل در هر کلاس، تقسیم بر تراکم سیل در کل نقشه به دست می‌آید. فرمول این روش به صورت زیر است:

رابطه شماره ۱

$$w_{SI} = Ln\left(\frac{E_u}{E}\right) = Ln\left(\frac{\frac{L_{ij}}{L_T}}{\frac{P_{ij}}{P_L}}\right)$$

Wsi = وزن معین برای هر کلاس مشخص i از پارامتر j؛ Eij= تراکم سیل در داخل کلاس i پارامتر j، E= تراکم کل سیل در داخل کل نقشه؛ Lij =تعداد سیل در داخل کلاس i پارامترj ؛ Pij =تعداد پیکسل کلاس i پارامتر j؛ Lt =تعداد کل سیل در کل نقشه و Pl= تعداد کل پیکسل نقشه. در نهایت نرخ‌های به دست آمده برای هر کلاس با استفاده از این روش در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در لایه‌های مربوطه اعمال گردیده و نقشه پهنه‌بندی خطر سیل به دست آمد. سرانجام نقشه تهیه شده به پنج کلاس خطر شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید (Shafizadeh-Moghadam et al., 2018).

۳،۲،۲. تابع شواهد قطعی

این مدل شامل Bel[1] یا درجه اطمینان، Dis درجه عدم اطمینان[2]، Unc درجه عدم قطعیت[3] و Pls درجه معقولیت[4] در محدوده بین صفر تا یک است (Chen et al., 2020). بخش اصلی این تئوری به وسیله درجه اطمینان و درجه معقولیت ارائه می‌شود، به همین خاطر درجه معقولیت بزرگ‌تر یا مساوی درجه اطمینان است. داده استخراج شده ازEBFs نه‌تنها همبستگی مکانی بین فاکتورهای مؤثر و رخداد سیل بلکه همبستگی مکانی بین کلاس‌های هر یک از فاکتورهای مؤثر را برآورد می‌کند (Jebur et al., 2014). پارامترهای روابط مدل به وسیله روابط شماره ۲ تا ۵ برآورد می‌گردد. همچنین روابط شماره ۲ تا ۶ برای تعریف ادغام لایه‌های Bel ، Dis، Pls و Unc تعریف می‌شوند.

رابطه شماره ۲

$$Belief(Bel) = \frac{Bel_1 + Bel_2 + \cdots \ldots + Bel_n}{\beta}$$

رابطه شماره ۳

$$Disbelief(Dis) = \frac{Dis_2 + Dis_2 + \cdots . + Dis_n}{\beta}$$

رابطه شماره ۴

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

رابطه شماره ۵

$$\text{Plusibility(Pls)=Bel+Unc}$$

رابطه شماره ۶

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

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. 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 [۱، ۰] هستند و مجموع آنها برابر با یک است. بنابراین اگر Unc برابر با یک باشد، Bel و Dis صفر می‌شوند و در صورتی که مجموع Bel و Dis برابر یک شود، درجه Unc برابر صفر است.

۳،۲،۳. مدل ترکیبی

مدل ترکیبی ایجاد شده در این مطالعه (SI-EBF) طی مراحل زیر تهیه گردید. ۱) ابتدا براساس روش شاخص آماری وزن هر معیار با استفاده از رابطه شماره ۱ به دست آمد، ۲) وزن هر معیار اعمال و نقشه شاخص آماری برای هر معیار تهیه گردید، ۳) نقشه‌های به دست آمده از روش SI با مناطق سیل‌خیزی همپوشانی شدند، ۴) مقادیر به دست آمده از همپوشانی استانداردسازی شده و به عنوان ورودی به مدل تابع شواهد قطعی وارد شدند و ۵) وزن‌های به دست آمده با استفاده از روابط شماره‌های ۲ تا ۶ به هر معیار اعمال و نقشه نهایی پهنه‌بندی تهیه شد.

1 Belief
2 Disbelief
3 Uncertainty
4 Plausibility

www.SID.ir

Archive of SID

۳،۲،۴. استانداردسازی لایه‌ها

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب، هر کدام از لایه‌های مؤثر در وقوع سیلاب به مقیاس صفر و یک برده می‌شود که اصطلاحاً به آن استانداردسازی لایه‌ها گفته می‌شود. این استانداردسازی از طریق رابطه شماره ۷ انجام می‌گیرد. انجام پهنه‌بندی بر لایه‌های استاندارد شده سبب می‌شود لایه پهنه‌بندی به دست آمده از احتمال رویداد سیلاب به صورت دامنه‌ای از صفر تا یک داشته باشد.

رابطه شماره ۷

$$X_{S\,tandard} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

X_i = وزن اولیه هر سلول؛ X_{min} = کمترین وزن در عامل مورد نظر؛ X_{max} = بیشترین وزن در عامل مورد نظر.

۳،۲،۵. ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد مدل از سطح زیر نمودار AUC به دست آمده از منحنی ROC استفاده گردید. منحنی ROC یك نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از پیش‌بینی‌هاست (Chen et al., 2020). مقدار سطح زیر منحنی AUC، یك شاخص کمی برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل است (Shahabi et al., 2020). دامنه مقادیر مختلف سطح زیر منحنی بین ۰/۵ (پیش‌بینی تصادفی) تا حداکثر ۱ (پیش‌بینی کاملاً صحیح) است. همبستگی کیفی-کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۱-۰/۹ عالی، ۰/۹-۰/۸ خیلی خوب، ۰/۸-۰/۷ خوب، ۰/۷-۰/۶ متوسط و ۰/۶-۰/۵ ضعیف) است (Wang et al., 2019). نقشه موقعیت ۵۲ واقعه سیل رخ داده در شهر سنندج تهیه شد. این مجموعه به صورت تصادفی به دو گروه آموزشی (۷۰ درصد واقعه‌ها) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم گردید.

۴. نتایج و تجزیه و تحلیل

در این مطالعه، برای پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل از روش‌های شاخص آماری و تابع شواهد قطعی و مدل ترکیبی آنها استفاده شده است. نتایج در سه بخش ۱-روش شاخص آماری، ۲- تابع شواهد قطعی و ۳-مدل ترکیبی ارائه می‌شود.

۴،۱. روش شاخص آماری

پس از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بین عوامل محیطی (متغیرهای مستقل) شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، تجمع جریان، کاربری اراضی، باران، انحنای شیب، لیتولوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان و تراکم ساختمان و نقاط وقوع سیل (متغیر وابسته)، وزن هر کلاس محاسبه شد. وزن هر کلاس در جدول شماره ۱ ارائه شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که در شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد، پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر است. همچنین جهت شیب شمال غرب، ارتفاع (۱۳۶۸-۱۴۰۰)، فاصله از رودخانه (۵۰-۰ متر)، تراکم ساختمان (۰/۱۰۸-۰/۱۴۴)، فاصله از ساختمان (۵۰-۰ متر)، تراکم معابر (۰/۰۲۱-۰/۰۲۹)، فاصله از معابر (۵۰-۰ متر)، لیتولوژی (k^2sh)، انحنای شیب مقعر، بارندگی (۳۳۰-۳۴۹ میلیمتر)، کاربری معابر شهری و تجمع جریان (۵۰۰۰-۰) دارای بیشترین تأثیر در ایجاد پتانسیل سیل‌خیزی هستند.

جدول شماره ۱: تعداد پیکسل، تعداد نقاط سیل و امتیاز طبقات پارامترها در روش شاخص آماری ←

پارامتر	فاصله طبقات	پیکسل	درصد پیکسل	تعداد سیلاب	درصد سیل	امتیاز
شیب	۱۰-۰	۲۸۷۶۰	۰/۵۵	۳۵	۰/۹۴۵	۱/۷۳
	۲۰-۱۰	۱۷۹۸۶	۰/۳۴	۲	۰/۰۵۴	۰/۱۵
	۳۰-۲۰	۴۴۶۶	۰/۰۸	۰	۰	۰
	۴۰-۳۰	۱۱۵۷	۰/۰۲	۰	۰	۰
	۴۰<	۲۷۹	۰/۰۱	۰	۰	۰
جهت شیب	مسطح	131	00/0	0	0	0
	شمال	3312	06/0	0	0	0
	شمال شرق	8587	16/0	2	0544/0	331/0
	شرق	13235	25/0	12	32/0	29/1
	جنوب شرق	10750	20/0	10	27/0	32/1
	جنوب	7484	14/0	6	162/0	14/1
	جنوب غرب	4824	09/0	6	162/0	76/1
	غرب	2871	05/0	1	027/0	49/0
	شمال غرب	1454	03/0	0	0	0
ارتفاع	1400-1368	1923	0/04	2	0/054	1/47
	1500-1400	21908	0/42	13	0/35	0/84
	1600-1500	22715	0/43	22	0/594	1/37
	1700-1600	5997	0/11	0	0	0
	1700<	105	0/00	0	0	0
فاصله از رودخانه	50-0	39822	0/38	23	0/621	1/657
	100-50	29149	0/27	7	0/189	0/689
	150-100	17885	0/17	7	0/189	1/123
	200-150	12057	0/11	0	0	0
	200<	7252	0/07	0	0	0

www.SID.ir

Archive of SID

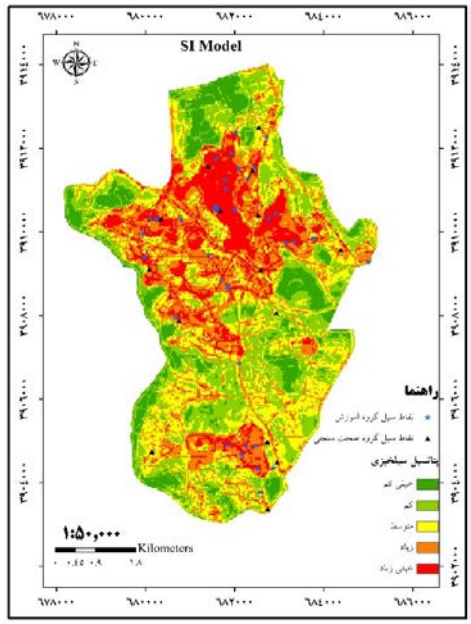
← ادامه جدول شماره ۱: تعداد پیکسل، تعداد نقاط سیل و امتیاز طبقات پارامترها در روش شاخص آماری

پارامتر	فاصله طبقات	پیکسل	درصد پیکسل	تعداد سیلاب	درصد سیل	امتیاز
تراکم رودخانه	0-0028/0	68607	0/65	2	0/054	0/083
	0028/0-0055/0	16434	0/15	21	0/56	3/66
	0055/0-0083/0	12117	0/11	14	0/37	3/31
	0083/0-011/0	7464	0/07	0	0	0
	011/0-014/0	1543	0/01	0	0	0
تجمع جریان	0-5000	105638	0/99	37	1	1/004
	5000-10000	266	0/00	0	0	0
	10000-20000	165	0/00	0	0	0
	20000-30000	12	0/00	0	0	0
	30000<	115	0/00	0	0	0
کاربری اراضی	دیگر کاربری‌ها	31964	0/30	2	0/054	0/179
	معابر شهری	20718	0/20	31	0/837	4/292
	فضای سبز	21152	0/20	2	0/054	0/271
	مسکونی	32304	0/30	2	0/054	0/177
بارش	282-311	21601	0/20	8	0/216	1/062
	311-330	24750	0/23	7	0/189	0/811
	330-349	26535	0/25	14	0/37	1/514
	349-369	21611	0/20	8	0/216	1/062
	369-412	11699	0/11	0	0	0
انحنای شیب	مقعر	178611	0/42	17	0/459	1/092
	فلات	187779	0/44	16	0/432	0/977
	محدب	58151	0/14	4	0/108	0/789
لیتولوژی	k2sh	334012	0/79	30	0/81	1/03
	Qt2	79284	0/19	7	0/18	1/013
	Kul	8288	0/02	0	0	0
	Kvc	3076	0/01	0	0	0
فاصله از معابر	0-50	83832	0/79	36	0/97	1/23
	50-100	16085	0/15	1	0/027	0/178
	100-150	3442	0/03	0	0	0
	150-200	1554	0/01	0	0	0
	200<	1252	0/01	0	0	0
تراکم معابر	0-0072/0	9933	0/09	1	0/027	0/288
	0072/0-014/0	31633	0/30	8	0/216	0/72
	014/0-021/0	50965	0/48	22	0/594	1/23
	021/0-029/0	12986	0/12	6	0/162	1/32
	029/0-036/0	648	0/01	0	0	0
فاصله از ساختمان	0-50	67554	0/64	35	0/945	1/48
	50-100	20927	0/20	2	0/054	0/27
	100-150	11396	0/11	0	0	0
	150-200	4825	0/05	0	0	0
	2000<	1463	0/01	0	0	0
تراکم ساختمان	0-036/0	140834	0/79	6	0/162	0/205
	036/0-072/0	16433	0/09	15	0/405	4/39
	072/0-108/0	12017	0/07	4	0/108	1/603
	108/0-144/0	7408	0/04	10	0/27	6/501
	144/0-18/0	1508	0/01	2	0/054	6/38

درنهایت وزن‌های به دست آمده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوطه اعمال گردیده و با استفاده از تابع روی هم‌گذاری Raster Calculator نقشه پتانسیل سیل‌خیزی (تصویر شماره ۳) به دست آمد. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل سیل‌خیزی در هر طبقه خطر در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر شماره ۳: نقشه پهنه بندی خطر سیل در شهر سنندج با استفاده از مدل شاخص آماری

جدول شماره ۲: مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل به دست آمده از مدل شاخص آماری ←

طبقات سیل	مساحت طبقات (هکتار)	درصد مساحت
خیلی زیاد	۶۰۵/۰۲	۱۴/۳
زیاد	۱۰۰۵/۴	۲۳/۷
متوسط	۱۰۶۱/۹	۲۵/۱
کم	۱۰۷۹	۲۵/۵
خیلی کم	۴۸۴/۰۴	۱۱/۴

۴،۲. تابع شواهد قطعی

نتایج حاصل از ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط وقوع سیل با استفاده از روش تابع شواهد قطعی در جدول شماره ۳ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود جهت جنوب غرب، شیب ۱۰-۰ درصد، ارتفاع از سطح دریای ۱۴۰۰-۱۳۶۸ متر، تجمع جریان (۵۰۰۰-۰)، فاصله از رودخانه (۵۰-۰)، تراکم رودخانه (۰/۰۰۵۵-۰/۰۰۲۸)، کاربری معابر شهری، باران (۳۴۹-۳۳۰ میلیمتر)، انحنای شیب مقعر، لیتولوژی (k^2sh)، فاصله از معابر و ساختمان (۵۰-۰ متر)، تراکم معابر (۰/۰۲۹-۰/۰۲۱) و تراکم ساختمان (۰/۱۴۴-۰/۱۰۸) دارای بیشترین تأثیر در ایجاد پتانسیل خطر سیل‌خیزی هستند.

جدول شماره ۳: تعداد پیکسل، تعداد نقاط سیل و امتیاز طبقات پارامترها در روش تابع شواهد قطعی ←

پارامتر	فاصله طبقات	Bel	Dis	Unc	Pluasibility
جهت شیب	مسطح	۰۰۰/۰	۱۱۲/۰	۸۸۸/۰	۸۸۸/۰
	شمال	۰۰۰/۰	۱۱۹/۰	۸۸۱/۰	۸۸۱/۰
	شمال شرق	۰۵۲/۰	۱۲۶/۰	۸۲۲/۰	۸۷۴/۰
	شرق	۲۰۳/۰	۱۰۱/۰	۶۹۶/۰	۸۹۹/۰
	جنوب شرق	۲۰۸/۰	۱۰۲/۰	۶۸۹/۰	۸۹۸/۰
	جنوب شرق	۱۸۰/۰	۱۰۹/۰	۷۱۲/۰	۸۹۱/۰
	جنوب غرب	۲۷۹/۰	۱۰۳/۰	۶۱۹/۰	۸۹۷/۰
	غرب	۰۷۸/۰	۱۱۵/۰	۸۰۷/۰	۸۸۵/۰
	شمال غرب	۰۰۰/۰	۱۱۵/۰	۸۸۵/۰	۸۸۵/۰
شیب	۱۰-۰	۹۱۶/۰	۰۲۵/۰	۰۵۸/۰	۹۷۵/۰
	۲۰-۱۰	۰۸۴/۰	۳۰۷/۰	۶۰۹/۰	۶۹۳/۰
	۳۰-۲۰	۰۰۰/۰	۲۳۴/۰	۷۶۶/۰	۷۶۶/۰
	۴۰-۳۰	۰۰۰/۰	۲۱۹/۰	۷۸۱/۰	۷۸۱/۰
	>۴۰	۰۰۰/۰	۲۱۵/۰	۷۸۵/۰	۷۸۵/۰
ارتفاع	۱۴۰۰-۱۳۶۸	۴۰۰/۰	۱۹۹/۰	۴۰۱/۰	۸۰۱/۰
	۱۵۰۰-۱۴۰۰	۲۲۸/۰	۲۲۵/۰	۵۴۷/۰	۷۷۵/۰
	۱۶۰۰-۱۵۰۰	۳۷۲/۰	۱۴۴/۰	۴۸۳/۰	۸۵۶/۰
	۱۷۰۰-۱۶۰۰	۰۰۰/۰	۲۲۹/۰	۷۷۱/۰	۷۷۱/۰
	>۱۷۰۰	۰۰۰/۰	۲۰۳/۰	۷۹۷/۰	۷۹۷/۰

www.SID.ir

Archive of SID

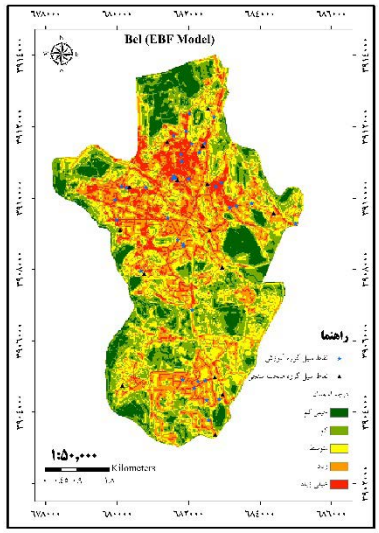
← ادامه جدول شماره ۳: تعداد پیکسل، تعداد نقاط سیل و امتیاز طبقات پارامترها در روش تابع شواهد قطعی

پارامتر	فاصله طبقات	Bel	Dis	Unc	Pluasibility
تجمع جریان	۵۰۰۰-۰	۰۰۰/۱	۰۰۰/۰	۰۰۰/۰	۰۰۰/۱
	۱۰۰۰۰-۵۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	۳۰۰۰۰-۲۰۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	>۳۰۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
فاصله از رودخانه	۵۰-۰	۴۷۸/۰	۱۲۴/۰	۳۹۹/۰	۸۷۶/۰
	۱۰۰-۵۰	۱۹۹/۰	۲۲۸/۰	۵۷۳/۰	۷۷۲/۰
	۱۵۰-۱۰۰	۳۲۴/۰	۱۹۹/۰	۴۷۷/۰	۸۰۱/۰
	۲۰۰-۱۵۰	۰۰۰/۰	۲۳۰/۰	۷۷۰/۰	۷۷۰/۰
	>۲۰۰	۰۰۰/۰	۲۱۹/۰	۷۸۱/۰	۷۸۱/۰
تراکم رودخانه	۰/۰۰۲۸-۰	۰۱۲/۰	۴۴۷/۰	۵۴۱/۰	۵۵۳/۰
	۰/۰۰۵۵-۰/۰۰۲۸	۵۱۹/۰	۰۸۶/۰	۳۹۶/۰	۹۱۴/۰
	۰/۰۰۸۳-۰/۰۰۵۵	۴۶۹/۰	۱۱۷/۰	۴۱۳/۰	۸۸۳/۰
	۰/۰۱۱-۰/۰۰۸۳	۰۰۰/۰	۱۸۰/۰	۸۲۰/۰	۸۲۰/۰
	۰/۰۱۴-۰/۰۱۱	۰۰۰/۰	۱۷۰/۰	۸۳۰/۰	۸۳۰/۰
کاربری	دیگر کاربری‌ها	۰۳۶/۰	۳۳۰/۰	۶۳۳/۰	۶۷۰/۰
	معابر شهری	۸۷۲/۰	۰۴۹/۰	۰۷۹/۰	۹۵۱/۰
	فضای سبز	۰۵۵/۰	۲۸۸/۰	۶۵۶/۰	۷۱۲/۰
	مسکونی	۰۳۶/۰	۳۳۲/۰	۶۳۲/۰	۶۶۸/۰
باران	۳۱۱-۲۸۲	۲۳۹/۰	۱۹۸/۰	۵۶۴/۰	۸۰۲/۰
	۳۳۰-۳۱۱	۱۸۲/۰	۲۱۲/۰	۶۰۵/۰	۷۸۸/۰
	۳۴۹-۳۳۰	۳۴۰/۰	۱۶۶/۰	۴۹۳/۰	۸۳۴/۰
	۳۶۹-۳۴۹	۲۳۹/۰	۱۹۸/۰	۵۶۴/۰	۸۰۲/۰
	۴۱۲-۳۶۹	۰۰۰/۰	۲۲۶/۰	۷۷۴/۰	۷۷۴/۰
انحنای شیب	مقعر	۳۸۲/۰	۳۱۳/۰	۳۰۵/۰	۶۸۷/۰
	فلات	۳۴۲/۰	۳۴۱/۰	۳۱۷/۰	۶۵۹/۰
	محدب	۲۷۶/۰	۳۴۶/۰	۳۷۸/۰	۶۵۴/۰
لیتولوژی	k۲sh	۵۰۴/۰	۲۲۷/۰	۲۶۹/۰	۷۷۳/۰
	Qt۲	۴۹۶/۰	۲۵۵/۰	۲۴۹/۰	۷۴۵/۰
	Kul	۰۰۰/۰	۲۶۱/۰	۷۳۹/۰	۷۳۹/۰
	Kvc	۰۰۰/۰	۲۵۸/۰	۷۴۲/۰	۷۴۲/۰
فاصله از معابر	۵۰-۰	۸۷۴/۰	۰۳۰/۰	۰۹۷/۰	۹۷۰/۰
	۱۰۰-۵۰	۱۲۶/۰	۲۶۵/۰	۶۰۹/۰	۷۳۵/۰
	۱۵۰-۱۰۰	۰۰۰/۰	۲۳۸/۰	۷۶۲/۰	۷۶۲/۰
	۲۰۰-۱۵۰	۰۰۰/۰	۲۳۴/۰	۷۶۶/۰	۷۶۶/۰
	>۲۰۰	۰۰۰/۰	۲۳۳/۰	۷۶۷/۰	۷۶۷/۰
تراکم معابر	۰/۰۰۷۲-۰	۰۸۱/۰	۲۱۸/۰	۷۰۲/۰	۷۸۲/۰
	۰/۰۱۴-۰/۰۰۷۲	۲۰۳/۰	۲۲۶/۰	۵۷۱/۰	۷۷۴/۰
	۰/۰۲۱-۰/۰۱۴	۳۴۶/۰	۱۵۸/۰	۴۹۶/۰	۸۴۲/۰
	۰/۰۲۹-۰/۰۲۱	۳۷۰/۰	۱۹۴/۰	۴۳۶/۰	۸۰۶/۰
	۰/۰۳۶-۰/۰۲۹	۰۰۰/۰	۲۰۴/۰	۷۹۶/۰	۷۹۶/۰
فاصله از ساختمان	۵۰-۰	۸۴۴/۰	۰۳۳/۰	۱۲۳/۰	۹۶۷/۰
	۱۰۰-۵۰	۱۵۶/۰	۲۶۱/۰	۵۸۳/۰	۷۳۹/۰
	۱۵۰-۱۰۰	۰۰۰/۰	۲۴۸/۰	۷۵۲/۰	۷۵۲/۰
	۲۰۰-۱۵۰	۰۰۰/۰	۲۳۲/۰	۷۶۸/۰	۷۶۸/۰
	>۲۰۰	۰۰۰/۰	۲۲۵/۰	۷۷۵/۰	۷۷۵/۰
تراکم ساختمان	۰/۰۳۶-۰	۰۱۱/۰	۵۴۶/۰	۴۴۳/۰	۴۵۴/۰
	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶	۲۳۰/۰	۰۸۹/۰	۶۸۰/۰	۹۱۱/۰
	۰/۱۰۸-۰/۰۷۲	۰۸۴/۰	۱۳۱/۰	۷۸۵/۰	۸۶۹/۰
	۰/۱۴۴-۰/۱۰۸	۳۴۱/۰	۱۰۴/۰	۵۵۶/۰	۸۹۶/۰
	۰/۱۸-۰/۱۴۴	۳۳۵/۰	۱۳۰/۰	۵۳۵/۰	۸۷۰/۰

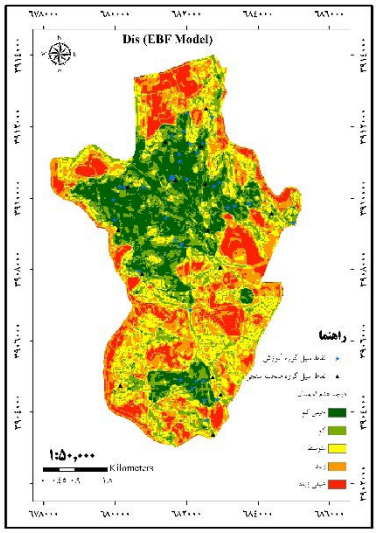
www.SID.ir

Archive of SID

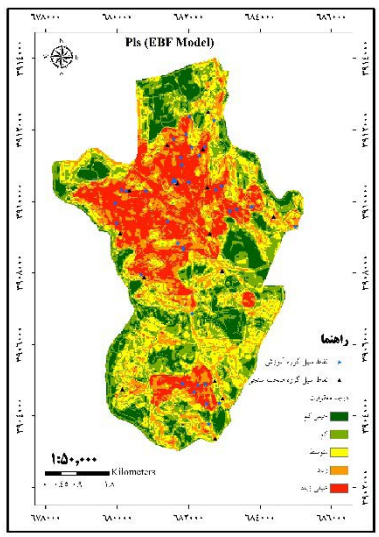
نقشه پتانسیل خطر سیل‌خیزی با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی در تصویر شماره ۴ ارائه شده است. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل سیل‌خیزی در جدول شماره ۴ ارائه شده است.



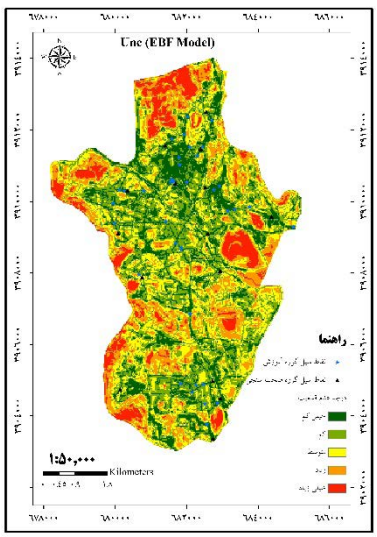
تابع قطعیت (نقشه خطرسیل)



تابع عدم قطعیت



تابع احتمال



تابع عدم اطمینان

تصویر شماره ۴: نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در شهر سنندج با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی

جدول شماره ۴: مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل و تعداد و درصد نقاط سیل در هر طبقه خطر

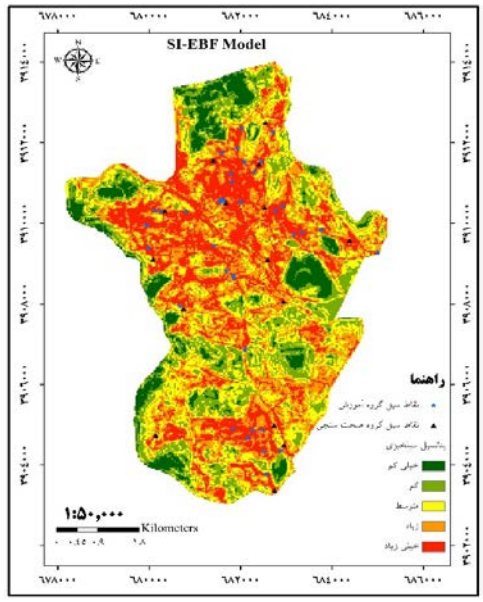
طبقات سیل	مساحت طبقات (هکتار)	درصد مساحت
خیلی زیاد	۴۵۶/۹	۱۰/۸
زیاد	۱۰۱۲/۵	۲۳/۹
متوسط	۱۱۳۶/۹	۲۶/۸
کم	۱۰۶۲/۹	۲۵/۱
خیلی کم	۵۶۵/۵	۱۳/۳

۴،۳. مدل ترکیبی SI-EBF

هنگامی که یک مدل به تنهایی استفاده می‌شود، محدودیت‌های بسیاری به دلیل فرضیات آماری وجود دارد. بنابراین روش ترکیبی به منظور کاهش محدودیت و افزایش کارایی مدل‌ها استفاده می‌شود. نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SI-EBF در تصویر شماره ۵ ارائه شده است. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل سیل‌خیزی در جدول شماره ۵ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، ۷۴ درصد از سطح منطقه در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی متوسط تا زیاد قرار دارند.

www.SID.ir

Archive of SID



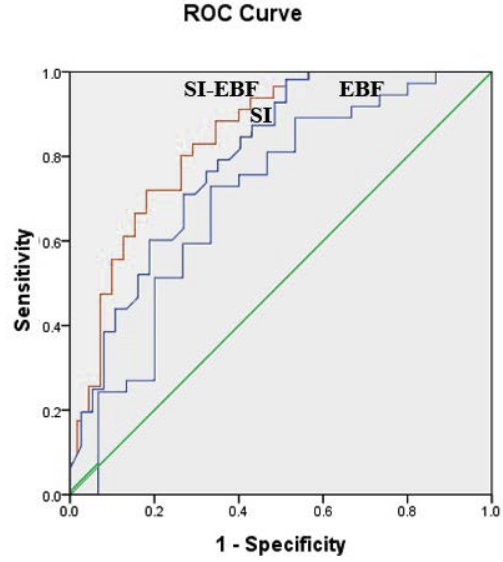
تصویر شماره ۵: نقشه خطر سیل در شهر سنندج با استفاده از مدل SI-EBF

جدول شماره ۵: مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل و تعداد و درصد نقاط سیل در هر طبقه خطر

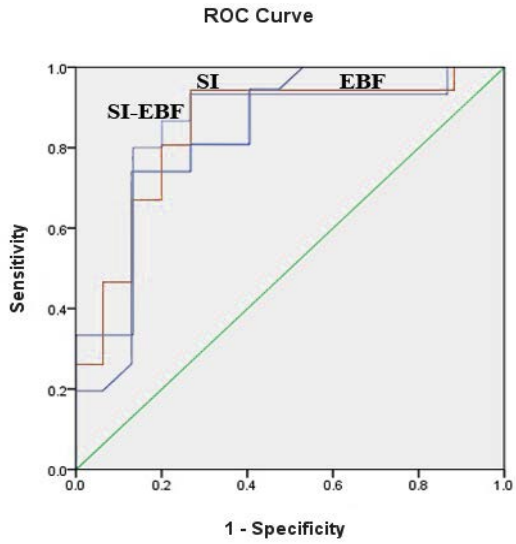
طبقات سیل	مساحت طبقات (هکتار)	درصد مساحت
خیلی زیاد	۹۶۹/۳	۲۲/۹
زیاد	۱۱۳۷/۴	۲۶/۸
متوسط	۱۰۰۰/۲	۲۳/۶
کم	۷۵۶/۴	۱۷/۸
خیلی کم	۳۷۱/۶	۸/۸

۴،٤. اعتبارسنجی مدل‌ها

به منظور اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل سیل‌خیزی، از منحنی ROC استفاده شد. مساحت زیر منحنی ROC که AUC نام دارد، در صورتی که کمتر از ۰/۵ باشد، نشان دهنده عدم صحت مدل است و از ۰/۵ تا ۱ نشان‌دهنده صحت مدل، برای پیش‌بینی وجود یا عدم وجود پتانسیل سیل‌خیزی است. منحنی ROC مدل‌های مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی و داده‌های آموزشی به ترتیب در تصاویر شماره‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. همچنین مقدار AUC برای مدل‌های مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی و آموزشی در جدول شماره ۶ ارائه شده است. از میان ۲ مدل منفرد شاخص آماری و تابع شواهد قطعی بیشترین تا کمترین صحت (با توجه به داده‌های اعتبارسنجی) به دست آمده به مدل‌های شاخص آماری (۰/۷۹۱) و تابع شواهد قطعی (۰/۷۰۳) اختصاص داشت. همچنین میزان صحت (با توجه به داده‌های اعتبارسنجی) در مدل ترکیبی SI-EBF (۰/۸۲۵) است.



تصویر شماره ٦ : منحنی ROC مدل‌های استفاده شده با توجه به داده‌های اعتبارسنجی



تصویر شماره ۷ : منحنی ROC مدل‌های استفاده شده با توجه به داده‌های آموزشی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۶: مقدار AUC مدل‌های پیش‌بینی خطر سیل‌خیزی

ردیف	مدل پیش‌بینی	مقدار AUC	
		داده‌های اعتبارسنجی	داده‌های آموزشی
۱	SI	۰/۷۹۱	۰/۸۳۱
۲	EBF	۰/۷۰۳	۰/۸۲۷
۶	SI-EBF	۰/۸۲۵	۰/۸۴۹

۵. بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاش دارد ابتدا معیارهای دخیل در پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سنندج به عنوان مرکز استان کردستان را شناسایی کند، سپس با کمک مدل ترکیبی و بهره جستن از توان محاسباتی موازی و قدرتمند آن به اولویت‌بندی معیارهای دخیل در رخداد سیلاب بپردازد و در پایان با بهره جستن از قابلیت‌های تحلیل مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی و نتایج حاصل از به کارگیری مدل ترکیبی به پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در محدوده مطالعاتی یادشده بپردازد. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه جزو اقلیم‌های نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در فصول پر بارش (عمدتاً بهار) به دلیل توپوگرافی دامنه‌ای و وجود مسیل‌های عبور جریان آب، امکان جذب و پذیرش حجم قابل‌توجهی از رواناب حاصل نمی‌شود بنابراین در بازه‌های زمانی کوتاه از دوران بارندگی امکان وقوع سیلاب وجود دارد.

در تحقیق حاضر، پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی با استفاده از دو مدل شاخص آماری و تابع شواهد قطعی هم به صورت منفرد و هم به صورت ترکیبی (SI-EBF) استفاده شد. برای پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در یک منطقه مشخص، تعداد عوامل دخیل بیش از مواردی است که در این پژوهش استفاده گردیده است که عدم وجود داده‌های مورد نیاز، یکی از دلایل است.

نتایج پیش‌بینی نشان داد که اگرچه پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، تجمع جریان، کاربری اراضی، باران، انحنای شیب، لیتولوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان و تراکم ساختمان بر پتانسیل سیل‌خیزی تأثیرگذار بوده‌اند، با این حال عوامل تراکم ساختمانی و معابر شهری از عوامل اصلی در وقوع سیلاب شهر سنندج هستند که براساس نقشه پهنه‌بندی خطر سیل ارائه شده می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی را برای کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد. این نتایج با یافته‌های تهرانی و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد(Tehrany et al., 2014a).

از آنجا که نمای شهر سنندج به شکل قیف است و به دلیل این که اطراف آن را کوه‌ها احاطه کرده و همچنین شیب زیاد است، رواناب به سرعت تشکیل شده، در مناطق کم شیب باعث ایجاد آب گرفتگی و وقوع سیل می‌شود. در این مطالعه شیب به پنج طبقه تقسیم گردید که نتایج مطالعه نشان داد طبقه نخست شیب (۱۰-۰ درجه) بسیار مستعد رخداد سیل است و هرچه به سمت شیب‌های بیشتر می‌رویم، مقدار احتمال وقوع سیل کمتر می‌شود. این یافته‌ها با نتایج مطالعه بویی و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد(Tien Bui et al., 2019).

از آنجا که استفاده از مدل‌های ترکیبی کمتر در مطالعات پهنه‌بندی سیلاب شهری انجام شده بنابراین هدف از انجام این پژوهش شناسایی مناطق با پتانسیل وقوع سیل‌خیزی بیشتر در شهر سنندج با استفاده از روش شاخص آماری و تابع شواهد قطعی هم به صورت منفرد و هم به صورت ترکیبی است. نتایج براساس منحنی‌های مشخصه عملکرد سیستم نشان دهنده این است که مدل ترکیبی استفاده شده نسبت به مدل‌های منفرد شامل مدل شاخص آماری و مدل توابع شواهد قطعی از قدرت پیش‌بینی بالاتری برای شناسایی مناطق مستعد به وقوع سیلاب برخوردارند. مدل‌های ترکیبی ضعف مدل‌های منفرد را پوشش داده و با کاهش مقدار خطا صحت پیش‌بینی بالاتری را دارند (Bui et al., 2018, Khosravi et al., 2019).

همچنین مناطقی که با استفاده از روش‌های منفرد و ترکیبی به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی سیلاب در شهر سنندج پرداختند، به پنج طبقه پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شدند که از این میان فقط مناطق با پتانسیل خیلی بالا مدنظر است. مناطقی که براساس نقشه نهایی از پتانسیل خیلی زیاد سیل‌خیزی برخوردارند، بایستی هنگام برنامه‌ریزی شهری بیشتر مورد توجه قرار گیرند. نتایج مطالعه نشان داد که سیل‌خیزی شهر سنندج ناشی از برآیند عوامل مختلف محیطی و انسانی است که براساس نقشه پهنه‌بندی خطر سیل ارائه شده می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی را برای کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل در آینده برای منطقه مورد مطالعه انجام داد. در پایان می‌توان گفت که دستیابی به یک نقشه پیش‌بینی مکانی دقیق و معقول می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان شهری در شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل برای مدیریت بحران نواحی مستعد در سطح شهر کمک شایانی بنماید.

References:

- Ahmadlou, M., Karimi, M., Alizadeh, S., Shirzadi, A., Parvinnejhad, D., Shahabi, H. and Panahi, M. (2019). Flood susceptibility assessment using integration of adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) and biogeography-based optimization (BBO) and BAT algorithms (BA). Geocarto International 34(11), 1252-1272.
- Bahrami, J., Farooghi, F. and Hosseini, S.A. (2017). Effects of Low-impact Development of Infiltration and Storage Facilities on Urban Runoff Management in City of Sanandaj. Ab wa Fazlab

www.SID.ir

Archive of SID

of Hydrology 573, 311-323.

- Kia, M.B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A.R., Sulaiman, W.N.A. and Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. Environmental earth sciences 67(1), 251-264.
- Mohammady, S., Delavar, M. and Pijanowski, B. (2013). Urban growth modeling using ANFIS algorithm :a case study for Sanandaj city, Iran. Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci 3, 493-498.
- Nampak, H., Pradhan, B. and Abd Manap, M. (2014). Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. Journal of Hydrology 513, 283-300.
- Shafapour Tehrany, M., Shabani, F., Neamah Jebur, M., Hong, H., Chen, W. and Xie, X. (2017). GIS-based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques. Geomatics, Natural Hazards and Risk 8(2), 1538-1561.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Valavi, R., Shahabi, H., Chapi, K. and Shirzadi, A. (2018). Novel forecasting approaches using combination of machine learning and statistical models for flood susceptibility mapping. Journal of environmental management 217, 1-11.
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ghaderi, K., Omidvar, E., Al-Ansari, N., Clague, J.J., Geertsema, M., Khosravi, K., Amini, A. and Bahrami, S. (2020). 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 Sensing 12(2), 266.
- Stefanidis, S. and Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). Natural hazards 68(2), 569-585.
- Tehrany, M.S., Lee, M.-J., Pradhan, B., Jebur, M.N. and Lee, S. (2014a). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. Environmental earth sciences 72(10), 4001-4015.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B. and Jebur, M.N. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using

Journal 28, 118- 124. [In Persian].

- Bui, D.T., Panahi, M., Shahabi, H., Singh, V.P., Shirzadi, A., Chapi, K., Khosravi, K., Chen, W., Panahi, S. and Li, S. (2018). Novel hybrid evolutionary algorithms for spatial prediction of floods. Scientific reports 8(1.1-14 ,(
- Chapi, K., Singh, V.P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D.T., Pham, B.T. and Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. Environmental modelling & software 95, 229-245.
- Chen, W., Li ,Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., Hong, H., Wang, X., Bian, H., Zhang, S. and Pradhan, B. (2020). Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. Science of the Total Environment 701, 134979.
- Darvishzadeh, A. (1991) geology of Iran, Sepehr Press. Tehran. [In Persian].
- Habibi, K. and Pourahmad, A. (2005). Physical-physical development of Sanandaj city. University of Kurdistan publisher, Kurdistan. [In Persian].
- Jebur, M.N., Pradhan, B. and Tehrany, M.S. (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(2), 674-690.
- Khosravi, K., Pham, B.T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I. and Bui, D.T. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. Science of the Total Environment 627, 744-755.
- Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K. and 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.
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B.T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., Dou, J., Ly, H.-B., Gróf, G. and Ho, H.L .(2019) .A comparative assessment of flood susceptibility modeling using Multi-Criteria Decision-Making Analysis and Machine Learning Methods. Journal

www.SID.ir

Archive of SID

rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. Journal of Hydrology 504, 69-79.

- Tehrany, M.S., Pradhan, B. and Jebur, M.N. (2014b). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology 512, 332-343.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, S. and Ahmad, N. (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. Catena 125, 91-101.
- Tien Bui, D., Khosravi, K., Shahabi, H., Daggupati ,P., Adamowski, J.F., Melesse, A.M., Thai Pham, B., Pourghasemi, H.R., Mahmoudi, M. and Bahrami, S. (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(13), 1589.
- Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Panahi, S. and Costache, R. (2019). Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography based optimization and imperialistic competitive algorithm. Journal of environmental management 247, 712-729.
- Wheater, H. and Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. Land use policy 26, S251-S264.
- Youssef, A.M., Pradhan, B. and Sefry, S.A. (2016). Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. Environmental earth sciences 75(1), 12.
- Zou, Q ,.Zhou, J., Zhou, C., Song, L. and Guo, J. (2013). Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 27(2), 525-546.

www.SID.ir