

پنهانی خطر سیلاب در شهر سنتندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی

مهناز آزاد طلب - کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه زئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
هیمن شهابی^۱ - * دانشیار و عضو هیات علمی گروه زئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
* گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زربیار، پژوهشکده کردستان شناسی، دانشگاه کردستان، سنتندج، ایران.
عطالله شیرزادی - گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
کامران چپی - دانشیار و عضو هیات علمی گروه مرتع و آبخیزداری، 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 سنتندج 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 سنتندج 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، لیتوژوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان، تراکم ساختمان و میزان بارندگی بود. پس از جمع آوری اطلاعات و لایه‌های مورد نیاز، نقشه پیش‌بینی مکانی حساسیت سیلاب در شهر سنتندج تهیه شد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از سطح زیرنومادر 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 پنهانی خطر سیل خیزی 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 سنتندج هستند که براساس نقشه پنهانی خطر سیل ارائه شده می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی را برای کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد.

وازگان کلیدی: مدل ترکیبی، پنهانی خطر، شاخص آماری، تابع شواهد قطعی، شهر سنتندج.

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

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

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 ۲۰۴۰ 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 آلدگی 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 تعذیه ناشی از بارش، تغییر حداکثر آبدی 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 فراخورشرايط طبیعی و محل استقرار شهرها، شدت و اندازه‌های مختلفی دارد (Chapi et al., 2017). در ایران نیز به دلیل شرايط اقلیمی، سیلاب‌ها از رخدادهای مکرر و آسیب بار محسوس 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 پیشنهادهای 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 کاربرده 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^۱ (Tehrany et al., 2013)، ماشین بردار پشتیبان^۲ (Tehrany et al., 2014b)، نسبت فراوانی^۳ (Tehrany et al., 2014a) (Nampak et al., 2014), Tien Bui et al., 2019^۴ (Shafapour Tehrany et al., 2017)، ترکیب رگرسیون لجستیک^۵ (Youssef et al., 2016)، آنتروپی شanon^۶ (Khosravi et al., 2016)، شبكه عصبی مصنوعی^۷ (Kia et al., 2012)، تحلیل سلسله مرتبی^۸ (Stefanidis et al., 2013) و سیستم استنتاج عصبی فازی^۹ (Zou et al., 2013) در بلای‌ای طبیعی به خصوص در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب انجام داده‌اند.

تهرانی و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۵) به وسیله تکنیک ماشین بردار پشتیبان^{۱۱} با چهارتابع مختلف شامل Linear, Polynomial, Sigmoid (RBF) Radial Basis Function 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، %۸۴/۹۳ است. آنها به وسیله شاخص Cohen's kappa^{۱۲} بیان کردند که کل فاکتورهای در نظر گرفته شده به جزو روابط سطحی (که باعث کاهش صحت نتایج نهایی می‌شود) دارای تأثیر مثبت در سیلاب هستند. طبق نتایج آنها شبی و طبقات ارتفاعی در همه انواع توابع از مؤثرترین فاکتورها بودند (Tehrany et al., 2015). همچنین خسروی و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۸) به مقایسه و کارایی روش‌های درخت تصمیم (Tehrany et al., 2015) 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

خاکستری متمایل به سبز و زرد نگ 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 پیمه‌ماهورهای پراکنده و گنبدی نشان می‌دهد. نهشته‌های کواتررنز این منطقه شامل تراس‌های رودخانه‌ای و نهشته‌های آبرفتی بسته و حاشیه رودخانه‌های منطقه است (Habibi & Pourahmad, 2005). از مهم‌ترین ویژگی‌های این منطقه می‌توان به وجود راندگی‌های طولی با راستای شمال غرب-جنوب شرق اشاره کرد (Darvishzadeh, 1991). راندگی‌های فوق به ویژه 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 مدهد.

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 خطرسیلان قرار گیرند. در شهر سنتنده محلات شریف‌آباد، اقازمان، بلوار پاسداران، فردوسی، گرباشان و ... در معرض خطر سیلان 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 واقعات بارندگی‌های متوسط نیز سیستم‌های مختلف شهری را مختلط سازند. تصویر شماره ۲ نمونه‌های از سیل‌های اتفاق افتاده در شهر سنتنده را نشان می‌دهد.

۳. مواد و روش‌ها

در این مطالعه با توجه به مطالعات قبلی و شرایط منطقه،
فاکتورهای درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه،
تراسکم رودخانه، تجمع جریان، کاربری اراضی، انحراف شیب،
سینولوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان، تراکم
ساختمان و میزان بارندگی برای پنهانی بندی خطر سیل در نظر
گرفته شدند. گفتنی است که طبقه بندی لایه ها با توجه به شرایط
منطقه و نظر کاشناسی انجام شده است.

نقشه رستري اين پaramترها با اندازه پикسل ۳۰ متر تهيه شدند.
نقشه طبقات ارتفاع زمين براساس مدل رقومي ارتفاع (DEM) (DEM) (با
قدرت تفکیک ۳۰ متر استخراج شده از ماهواره ASTER Global
https://gdex.cr.usgs.gov (ASTER GDEM) به آدرس DEM (ASTER GDEM)
تهيه شد. نقشه شبیب زمین به دلیل تأثیر مستقیم
بر نفوذ، یکی از عوامل مهم در وقوع سیل به شمار می رود. این
نقشه با تکیه بر مدل رقومی تهیه و به پنج کلاس طبقه بندی شد.
نقشه انحنای زمین براساس مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. نقشه
مزبور به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و تخت (بدون
انحنای) طبقه بندی گردید. نقشه جهت شبیب، یکی از عوامل مهم
در وقوع سیل به شمار می رود. این نقشه با تکیه بر مدل رقومی

بیان کردند که روش درخت تصمیم متناب (ADT) دارای کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های درخت تصمیم است (Khosravi et al., 2018). در پژوهش دیگری، تین بوی و همکاران (۲۰۱۹) به مدل سازی 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 EBF بیشترین دقت را در پیش‌بینی مکانی مخاطره سیلاب در حوضه مورد مطالعه داشته است (Tien Bui et al., 2019).

با نوجه به موقعیت جغرافیایی شهر سنتنچ 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 حمل و نقل شهری و خسارت‌هایی به اینها و مناطق مسکونی بافت فرسوده‌ترمی‌گردد.

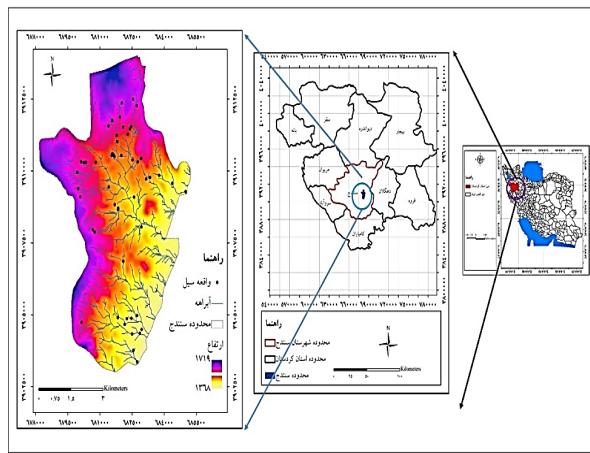
این موضوع مسئله سیلاب‌های شهری را به یکی از معضلات شهر سنتنچ تبدیل کرده که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که چالش اصلی محققان در ارتباط با سیلاب شهری، شناسایی دقیق مناطق حساس به وقوع سیل با استفاده از روش‌های مختلف آماری و غیر آماری است، این تحقیق در راستای برآورده این چالش انجام می‌گیرد. بنابراین هدف از این پژوهش شناسایی مناطق با پتانسیل وقوع سیل خیزی بیشتر در شهر سنتنچ با استفاده از روش شاخص آماری^۳ (SI) و تابع شواهد (EBF)، هم به صورت منفرد و هم به صورت ترکیبی است.

۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستندهای بین ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۰ دقیقه شمالي و ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۰ دقیقه طول جغرافياي شرقی در مرکز استان کرده است (غرب ايران) قرار گرفته است. شهر سنتدج محصور بین تپه ها و در يك چاله محصور به ارتفاعات قرار گرفته است. شهر با مساحت کوچک خود، جمعیت انبوهی را با تراکم نسبتاً زياد در خود اسکان داده که به اجبار از وجود تپه ها استفاده شده است. اين مسئله در زمينه ارائه خدمات، مشکلاتی را برای مردم فراهم ساخته و خواهد ساخت (Bahrami et al., 2017). ارتفاع متوسط شهر سنتدج از سطح دریا ۱۳۷۳ متر است. کوه ها و تپه های اطراف شهر در پاره ای از نقاط از جمله جنوب غربی و شمال شرقی، رشد و گسترش شهرها محدود کرده است. از لحاظ ژئومورفولوژی، کمربند سنتدج سیرجان از اين محدوده شروع می شود. ليتلولوزی غالب منطقه شامل سنگ های آهکی، دولومیتی، ماسه سنگ تریاس، آهک و ماسه سنگ همراه با لایه های زغال ژوراستیک، آهک، مارن، سنگ های آتشفسانی کرتاسه و سنگ های آهکی توأم با فلیش ها همراه با رادیولاریت دیده می شوند (Habibi & Pourahmad, 2005). شيل سنتدج از انشاهته های تخریبی ريزدانه شامل شيل تپه، سیاه،

1 Evidential belief function

2 Statistical Index



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



تصویر شماره ۲: نمونه‌هایی از مناطق سیل‌گیری شهر سنندج

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

تهیه و به نه 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 فرم DWG در محیط نرم‌افزاری اتوکد شهر سنندج پردازش شد. به منظور استخراج لایه لیتلولوژی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردید. نقشه بارندگی، براساس میانگین بارندگی سالیانه (۱۳۹۵-۱۳۷۵) ایستگاه‌های باران‌سنجدی داخل و خارج محدوده مطالعاتی با استفاده از روش درونیابی وزندگی براساس فاصله معکوس^۱ (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.

1 Inverse distance weighting

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 پنهان‌بندی 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 زیراست:

$$w_{SI} = \ln\left(\frac{E_u}{E}\right) = \ln\left(\frac{\frac{L_{ij}}{L_T}}{\frac{P_{ij}}{P_L}}\right) \quad \text{رابطه شماره ۱}$$

w_{SI} = وزن معین برای هر کلاس مشخص i از پارامتر j ; E_{ij} = تراکم سیل در داخل کلاس i پارامتر j ; E = تراکم کل سیل در داخل کل نقشه؛ L_{ij} = تعداد سیل در داخل کلاس i پارامتر j ; P_{ij} = تعداد کل سیل در کل نقشه و P_L = 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 پنهان‌بندی خطر

۳.۲.۲. تابع شواهد قطعی
این مدل شامل Bel' یا درجه اطمینان، Dis درجه عدم اطمینان^۲، Unc درجه عدم قطعیت^۳ و Pls درجه معقولیت^۴ 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 بزرگ‌تریا مساوی درجه اطمینان است. داده استخراج شده از EBFs نه تنها همبستگی مکانی بین فاکتورهای مؤثر و خداداد 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 می‌گردند. همچنین روابط شماره ۲ تا ۶ برای تعریف ادغام لایه‌های Bel, Dis, Pls و Unc تعریف می‌شوند.

$$Belief(Bel) = \frac{Bel_1 + Bel_2 + \dots + Bel_n}{\beta} \quad \text{رابطه شماره ۲}$$

$$Disbelief(Dis) = \frac{Dis_2 + Dis_3 + \dots + Dis_n}{\beta} \quad \text{رابطه شماره ۳}$$

Uncertainty(Unc)

$$= \frac{\sum_{i=2}^n (Unc_{i-1} Unc_i + Bel_{i-1} Unc_i + Bel_i Unc_{i-1} + Dis_{i-1} Unc_i + Dis_i Unc_{i-1})}{\beta} \quad \text{رابطه شماره ۴}$$

Plusibility(Pls)=Bel+Unc

$$\beta = 1 - \sum_{i=2}^n (Bel_{i-1} Dis_i - Dis_{i-1} Bel_i) \quad \text{رابطه شماره ۶}$$

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 سیل خیزی 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 شماره ۲ تا ۶ به هر معیار اعمال و نقشه نهایی پنهان‌بندی تهیه شد.

- 1 Belief
- 2 Disbelief
- 3 Uncertainty
- 4 Plausibility

۳.۲.۴ استانداردسازی لایه‌ها

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطرسیالاب، هر کدام از لایه‌های مؤثر در وقوع سیالاب 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 سیالاب به صورت دامنه‌ای از صرتاً یک داشته باشد.

$$X_{S\text{ standard}} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

رابطه شماره ۷

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 زیرنومودار AUC به دست آمده از منحنی ROC استفاده گردید. منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنۀ بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از پیش‌بینی هاست (Chen et al., 2020). مقدار سطح زیرمنحنی AUC، یک شاخص کمی برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل است (Shahabi et al., 2020). دامنه مقادیر مختلف سطح زیرمنحنی بین ۰/۵ و ۱ (پیش‌بینی تصادفی) تا حداقل ۱ (پیش‌بینی کاملاً صحیح) است. همبستگی کیفی-کمی سطح زیرمنحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۱-۹/۰٪ عالی، ۸-۰/۹٪ خوب، ۸/۰-۷/۰٪ خوب، ۷/۰-۶/۰٪ متوسط و ۶/۰-۵/۰٪ ضعیف) است (Wang et al., 2019).

۳۲

شماره سی و شش

۱۳۹۹ پاییز

فصلنامه

علمی-پژوهشی

مطالعات

پژوهشی تئوری تکنیکی شناختی و شهودی و تئوری تأثیر در ایجاد معابر شهری و تجمع جریان (۵۰۰۵-۰) دارای بیشترین تأثیر در ایجاد پتانسیل سیل خیزی هستند.

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

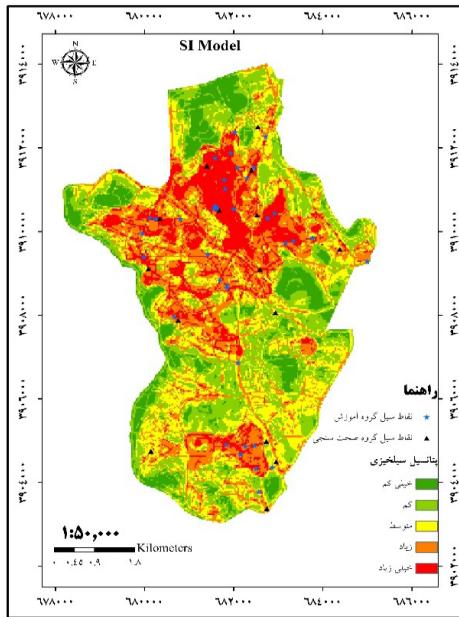
امتیاز	پیکسل	فارصله طبقات	پارامتر
۱/۲۳	۰/۹۴۵	۱۰-۵	۱/۲۳
۰/۱۵	۰/۰۵۴	۱۰-۲۰	۰/۱۵
۰	۰	۲۰-۳۰	۰
۰	۰	۳۰-۴۰	۰
۰	۰	۴۰<	۰
۰	۰	مسطح	۰
۰	۰	شمال	۰
۳۳۱/۰	۰۵۴۴/۰	شمال شرق	۳۳۱/۰
۲۹/۱	۳۲/۰	شرق	۲۹/۱
۳۲/۱	۲۷/۰	جنوب شرق	۳۲/۱
۱۴/۱	۱۶۲/۰	جنوب شرق	۱۴/۱
۷۶/۱	۱۶۲/۰	جنوب غرب	۷۶/۱
۴۹/۰	۰۲۷/۰	غرب	۴۹/۰
۰	۰	شمال غرب	۰
۱/۴۷	۰/۰۵۴	۱۴۰۰-۱۳۶۸	۱/۴۷
۰/۸۴	۰/۳۵	۱۵۰۰-۱۴۰۰	۰/۸۴
۱/۳۷	۰/۵۹۴	۱۶۰۰-۱۵۰۰	۱/۳۷
۰	۰	۱۷۰۰-۱۶۰۰	۰
۰	۰	۱۷۰۰<	۰
۱/۶۵۷	۰/۶۲۱	۵۰-۰	۱/۶۵۷
۰/۶۸۹	۰/۱۸۹	۱۰۰-۵۰	۰/۶۸۹
۱/۱۲۳	۰/۱۸۹	۱۵۰-۱۰۰	۱/۱۲۳
۰	۰	۲۰۰-۱۵۰	۰
۰	۰	۲۰۰<	۰

← ادادمه 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
بازه های نمونه	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
	5000-0	105638	0/99	37	1	1/004
	10000-5000	266	0/00	0	0	0
	20000-10000	165	0/00	0	0	0
	30000-20000	12	0/00	0	0	0
	3000<	115	0/00	0	0	0
کاربری اراضی	دیگر کاربری ها	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
	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
	مقرر	178611	0/42	17	0/459	1/092
بازه های زمانی	فلات	187779	0/44	16	0/432	0/977
	محدب	58151	0/14	4	0/108	0/789
	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
	50-0	83832	0/79	36	0/97	1/23
	100-50	16085	0/15	1	0/027	0/178
	150-100	3442	0/03	0	0	0
	200-150	1554	0/01	0	0	0
فاضله از میانگین	2000<	1252	0/01	0	0	0
	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
	50-0	67554	0/64	35	0/945	1/48
	100-50	20927	0/20	2	0/054	0/27
	150-100	11396	0/11	0	0	0
	200-150	4825	0/05	0	0	0
بازه های عرضی	2000<	1463	0/01	0	0	0
	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

سیل خیزی (تصویر شماره ۳) به دست آمد. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل سیل خیزی در هر طبقه خطر در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

درنهایت وزن های به دست آمده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه های مربوطه اعمال گردیده و با استفاده ازتابع روی هم گذاری Raster Calculator نقشه پتانسیل



تصویر شماره ۳: نقشه پنهانه بندي خطر سيل در شهر سنندج با استفاده از مدل شاخص آماری

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

درصد مساحت	مساحت طبقات (هکتار)	طبقات سيل
۱۴/۳	۶۰۵/۰۲	خیلی زياد
۲۳/۷	۱۰۰۵/۰۴	زياد
۲۵/۱	۱۵۶۱/۰۹	متوسط
۲۵/۵	۱۰۷۹	کم
۱۱/۴	۴۸۴/۰۴	خیلی کم

۳۴۰-۳۴۹)، کاربری معابر شهری، باران (۵۰-۵۵)، کاربری شبیب مقعر، لیتولوژی (k^2sh)، فاصله از معابر میلیمتر، انحنای شبیب مقعر، لیتولوژی (k^2sh)، فاصله از معابر و ساختمان ۵۰-۵۰ متر، تراکم معابر (۰-۰۲۱-۰-۰۲۹) و تراکم ساختمان (۰-۰۱۴-۰-۰۱۰-۰) دارای بیشترین تأثیر در ایجاد پتانسیل خطر سیل خیزی هستند.

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 می شود جهت جنوب غرب، شبیب ۱۰ درصد، ارتفاع از سطح دریای ۱۳۶۸-۱۴۰۰ متر، تجمع جریان (۰-۵۰۰۰)، فاصله از رودخانه (۰-۵۰)، تراکم رودخانه

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

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

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

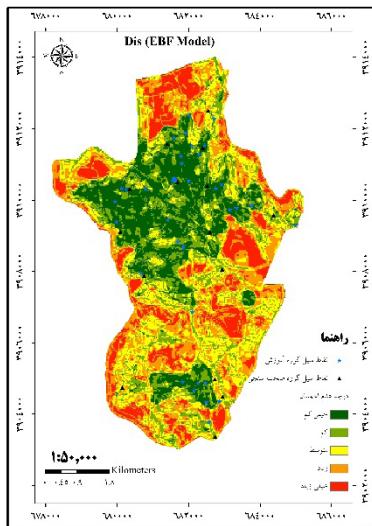
پارامتر	فاصله طبقات	Bel	Dis	Unc	Plausibility
تجمع جریان	۵۰۰۰-۰	۰۰۰/۱	۰۰۰/۰	۰۰۰/۰	۰۰۰/۱
	۱۰۰۰-۵۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	۳۰۰۰-۱۰۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	۳۰۰۰-۲۰۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	>۳۰۰۰	۰۰۰/۰	۲۵۰/۰	۷۵۰/۰	۷۵۰/۰
	۵۰-۰	۴۷۸/۰	۱۲۴/۰	۳۹۹/۰	۸۷۶/۰
	۱۰۰-۵۰	۱۹۹/۰	۲۲۸/۰	۵۷۳/۰	۷۷۲/۰
	۱۵۰-۱۰۰	۳۲۴/۰	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
فاصله از رویدخانه	۰/۰۰۲۸-۰	۰۱۲/۰	۴۴۷/۰	۵۴۱/۰	۵۵۳/۰
	۰/۰۰۵۷-۰/۰۰۲۸	۰۱۹/۰	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
	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
	۳۱۱-۲۸۲	۲۳۹/۰	۱۹۸/۰	۵۶۴/۰	۸۰۲/۰
تراکم رودخانه	۳۳۰-۳۱۱	۱۸۲/۰	۲۱۲/۰	۶۰۵/۰	۷۸۸/۰
	۳۴۹-۳۳۰	۲۴۰/۰	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
	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
	k ۲sh	۵۰۴/۰	۲۲۷/۰	۲۶۹/۰	۷۷۳/۰
	Q۱۲	۴۹۶/۰	۲۵۵/۰	۲۴۹/۰	۷۴۵/۰
	Kul	۰۰۰/۰	۲۶۱/۰	۷۳۹/۰	۷۳۹/۰
کاربری	Kvc	۰۰۰/۰	۲۵۸/۰	۷۴۲/۰	۷۴۲/۰
	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
	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
انحنای شیب	۰/۰۳۶-۰/۰۲۹	۰/۰۳۶-۰/۰۲۹	۰۰۰/۰	۷۹۶/۰	۹۶۷/۰
	۵۰-۰	۸۴۴/۰	۰۳۳/۰	۱۲۳/۰	۷۳۹/۰
	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
	۰/۰۳۶-۰	۰۱۱/۰	۵۴۶/۰	۴۴۳/۰	۴۵۴/۰
	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶	۳۳۰/۰	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
تراکم ساختمان	۰/۱۸-۰/۱۴۴	۳۳۵/۰	۱۳۰/۰	۵۳۵/۰	۸۷۰/۰
	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶	۰/۰۷۲-۰/۰۳۶
	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲
	۰/۰۱۴-۰/۱۰۸	۰/۰۱۴-۰/۱۰۸	۰/۰۱۴-۰/۱۰۸	۰/۰۱۴-۰/۱۰۸	۰/۰۱۴-۰/۱۰۸
	۰/۰۱۸-۰/۱۴۴	۰/۰۱۸-۰/۱۴۴	۰/۰۱۸-۰/۱۴۴	۰/۰۱۸-۰/۱۴۴	۰/۰۱۸-۰/۱۴۴
	۰/۰۲۰-۰/۰۷۲	۰/۰۲۰-۰/۰۷۲	۰/۰۲۰-۰/۰۷۲	۰/۰۲۰-۰/۰۷۲	۰/۰۲۰-۰/۰۷۲
	۰/۰۲۹-۰/۰۲۹	۰/۰۲۹-۰/۰۲۹	۰/۰۲۹-۰/۰۲۹	۰/۰۲۹-۰/۰۲۹	۰/۰۲۹-۰/۰۲۹
	۰/۰۳۶-۰/۰۳۶	۰/۰۳۶-۰/۰۳۶	۰/۰۳۶-۰/۰۳۶	۰/۰۳۶-۰/۰۳۶	۰/۰۳۶-۰/۰۳۶
	۰/۰۷۲-۰/۰۷۲	۰/۰۷۲-۰/۰۷۲	۰/۰۷۲-۰/۰۷۲	۰/۰۷۲-۰/۰۷۲	۰/۰۷۲-۰/۰۷۲
	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲	۰/۰۱۰-۰/۰۷۲

شماره سی و شش
پاپیز ۱۳۹۹
فصلنامه علمی-پژوهشی

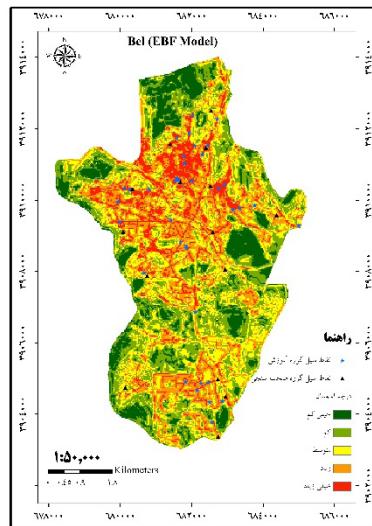
پنهان‌بندی خطر سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل های تئوریکی شاخص آماری و تابع مشاهد قطعی

مساحت طبقات پتانسیل سیل خیزی در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

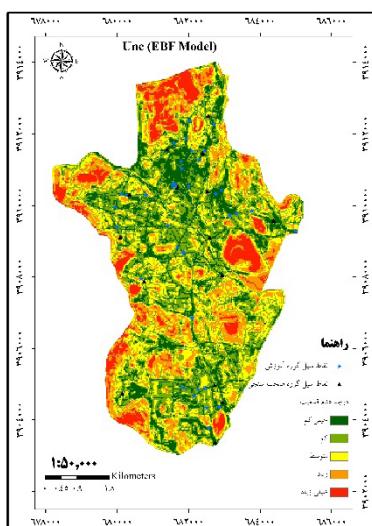
نقشه پتانسیل خطر سیل خیزی با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی در تصویر شماره ۴ ارائه شده است. مساحت و درصد



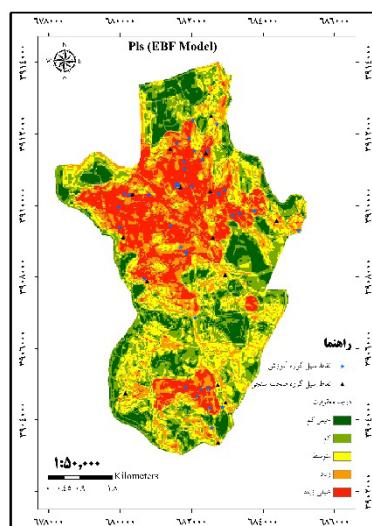
تابع عدم قطعیت



تابع قطعیت (نقشه خطرسیل)



تابع عدم اطمینان



تابع احتمال

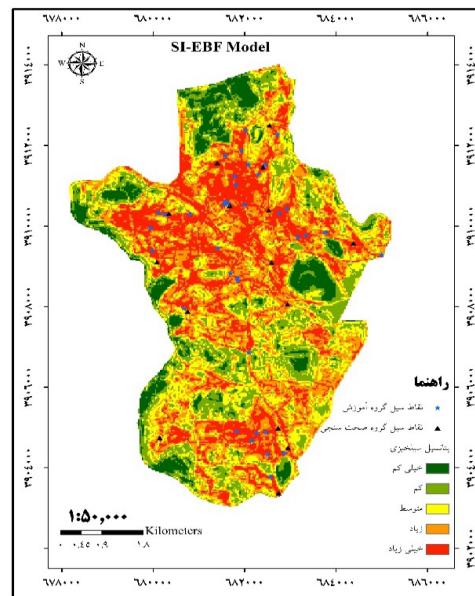
تصویر شماره ۴: نقشه پهن‌بندی خطرسیل در شهرستان‌ج با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی

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

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

SI-EBF در تصویر شماره ۵ ارائه شده است. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل سیل خیزی در جدول شماره ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ۷۴ درصد از سطح منطقه در طبقه پتانسیل سیل خیزی متوسط تا زیاد قرار دارد.

SI-EBF مدل ترکیبی هنگامی که یک مدل به تنها یک استفاده می‌شود، محدودیت‌های بسیاری به دلیل فرضیات آماری وجود دارد. بنابراین روش ترکیبی به منظور کاهش محدودیت و افزایش کارایی مدل‌ها استفاده می‌شود. نقشه پهن‌بندی خطر سیل خیزی با استفاده از مدل



تصویر شماره ۵: نقشه خطرسیل در شهر سنتنیج 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

درصد مساحت	مساحت طبقات (هكتار)	طبقات سيل
٢٢/٩	٩٦٩/٣	خيلي زياد
٢٦/٨	١١٣٧/٤	زياد
٢٣/٦	١٠٠٠/٢	متوسط
١٧/٨	٧٥٦/٤	كم
٨/٨	٣٧١/٦	خيلي كم

۳۷

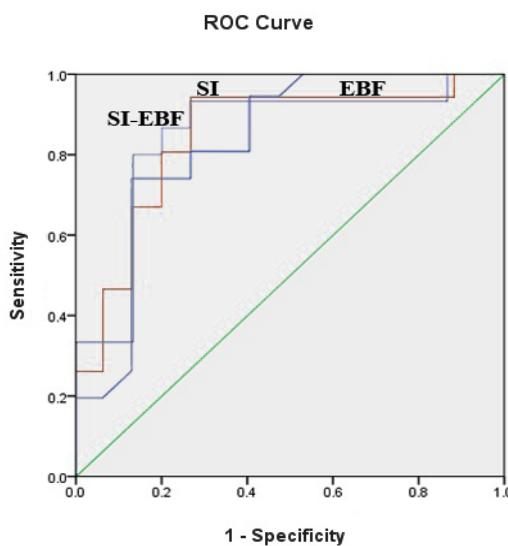
شماره سی و شش
پاپیز ۱۳۹۹
فصلنامه علمی-پژوهشی

بهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سندگان با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی

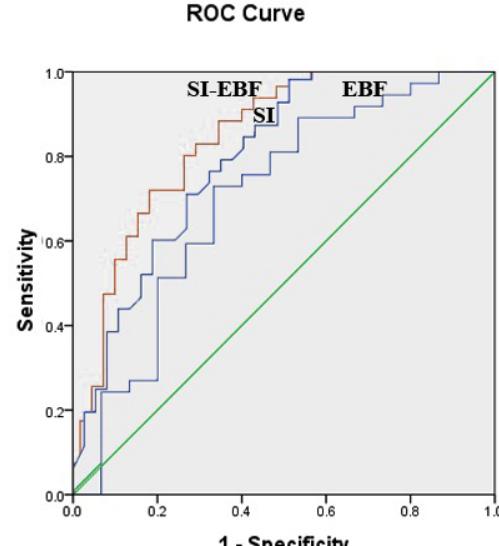
است. همچنین مقدار AUC برای مدل‌های مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی و آموزشی در جدول شماره ۶ رائے شده است. از میان ۲ مدل منفرد شاخص آماری وتابع شواهد قطعی بیشترین تا کمترین صحت (با توجه به داده‌های اعتبارسنجی) به دست آمده به مدل‌های شاخص آماری $(0/791)$ و تابع شواهد قطعی $(0/703)$ اختصاص داشت. همچنین میزان صحت (با توجه به داده‌های اعتبارسنجی) در مدل ترکیبی SI-EBF $(0/825)$ است.

۴. اعتیار سنجی مدل‌ها

به منظور اعتبار سنجی نقشه های پیش بینی پتانسیل سیل خیزی، ROC استفاده شد. مساحت زیر منحنی ROC که AUC نام دارد، در صورتی که کمتر از 50% باشد، نشان دهنده عدم صحت مدل است و از 50% تا 100% نشان دهنده صحت مدل، برای پیش بینی وجود یا عدم وجود پتانسیل سیل خیزی است. منحنی ROC مدل های مورد ارزیابی با توجه به داده های اعتبار سنجی و داده های آموخته، به ترتیب در تصاویر شماره های 7 و 6 ارائه شده



تصویر شماره ۷: منحنی ROC مدل های استفاده شده با توجه به داده های آموزشی



تصویر شماره ۶: منحنی ROC مدل های استفاده شده با توجه به داده های اعتعاب سینه.

جدول شماره ۶: مقدار AUC مدل‌های پیش‌بینی خطرسیل خیزی

ردیف	مدل پیش‌بینی	مقدار AUC	داده‌های اعتبارسنجی	داده‌های آموزشی
۱	SI	۰/۸۳۱	۰/۷۹۱	
۲	EBF	۰/۸۲۷	۰/۷۵۳	
۶	SI-EBF	۰/۸۴۹	۰/۸۲۵	

از آنجا که استفاده از مدل‌های ترکیبی کمتر در مطالعات پهنه‌بندی سیلاب شهری انجام شده بنا بر این هدف از انجام این پژوهش شناسایی مناطق با پتانسیل وقوع سیل خیزی بیشتر در شهر سنتنگ 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 خطأ 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 خطرسیل خیزی سیلاب در شهر سنتنگ 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 سیل خیزی برخوردارند، بایستی هنگام برنامه‌ریزی شهری بیشتر مورد توجه قرار گیرند. نتایج مطالعه نشان داد که سیل خیزی شهر سنتنگ ناشی از برآیند عوامل مختلف محیطی و انسانی است که براساس نقشه پهنه‌بندی خطرسیل 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 دستیاری 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., Parvinnejahad, 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

۵. بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاش دارد ابتدا معیارهای دخیل در پهنه‌بندی خطرسیلاب در محدوده شهر سنتنگ به عنوان مرکز استان کردستان را شناسایی کند، سپس با کمک مدل ترکیبی و بهره جستن از توان محاسباتی موازی و قدرتمند آن به اولویت بندی معیارهای دخیل در رخداد سیلاب پردازد 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 پردازد. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه جزو اقلیم‌های نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در فصول بارش (عمدتاً بهار) به دلیل توبوگرافی دامنه‌ای وجود مسیل‌های عبور جریان آب، امکان جذب و پذیرش حجم قابل توجهی از رواناب حاصل نمی‌شود بنا بر این در بازه‌های زمانی کوتاه از دوران بارندگی امکان وقوع سیلاب وجود دارد.

در تحقیق حاضر، پتانسیل یابی سیل خیزی 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 خطرسیل خیزی 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، شبیب، جهت شبیب، فاصله از رودخانه، تراکم روکانه، تجمع جریان، کاربری اراضی، باران، انحنای شبیب، لیتلولوژی، فاصله از معابر، تراکم معابر، فاصله از ساختمان و تراکم ساختمان بر پتانسیل سیل خیزی تأثیرگذار بوده‌اند، با این حال عوامل تراکم ساختمانی و معابر شهری از عوامل اصلی در وقوع سیلاب شهر سنتنگ هستند که براساس نقشه پهنه‌بندی خطرسیل 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 سنتنگ به شکل قیف است و به دلیل این که اطراف آن را کوه‌ها احاطه کرده و همچنین شبیب زیاد است، رواناب به سرعت تشکیل شده، در مناطق کم شبیب باعث ایجاد آب گرفتگی و وقوع سیل می‌شود. در این مطالعه شبیب به پنج طبقه تقسیم گردید که نتایج مطالعه نشان داد طبقه نخست شبیب (۵-۰ درجه) بسیار مستعد رخداد سیل است و هرچه به سمت شبیب‌های بیشتر می‌رویم، مقدار احتمال وقوع سیل کمتر می‌شود. این یافته‌ها با نتایج مطالعه بوبی و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد (Tien Bui et al., 2019).

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

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.