Archive of SID.ir

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰/ ص ۳۹۳-۳۷۱
DOI: 10.22059/jhsci.2022.335204.692

تحلیل تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیل برپایهٔ نوعی مدل ترکیبی نوین (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز الندچای، شهرستان خوی)

توحید رحیم‌پور
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
محمدحسین رضائی مقدم*
استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
سید اسدالله حجازی
دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
خلیل ولیزاده کامران
دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله ۱۴۰۰/۹/۱۵ – پذیرش مقاله ۱۴۰۰/۱۰/۲۹)

چکیده

تحقیق حاضر با هدف تهیهٔ نقشهٔ تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضهٔ آبریز الندچای در استان آذربایجان غربی و شهرستان خوی انجام گرفت. برای دستیابی به این هدف از سیزده پارامتر مؤثر در وقوع این پدیده استفاده شد. این پارامترها عبارت است از لیتولوژی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب. به‌منظور بررسی تأثیر هر یک از این پارامترها در وقوع سیل از مدل ترکیبی نوینی که براساس طبقه‌بندی فازی (FURIA)، الگوریتم ژنتیک (GA) و یک الگوریتم یادگیری ماشین (AdaBoost) توسعه‌یافته استفاده شد. برای اجرای مدل و پیش‌پردازش‌ها و تحلیل‌های لازم براساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی از نرم‌افزار داده‌کاوی WEKA استفاده شد. نتایج حاصل از اجرای مدل تحقیق نشان داد که پارامترهای شیب، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، ارتفاع و پوشش گیاهی تأثیر مهمی در وقوع سیل دارند. در نهایت نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل در پنج طبقه شامل حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. نتایج نشان داد مناطقی که حساسیت زیادی از نظر خطر وقوع سیل دارند، اغلب در پایین‌دست حوضه متمرکزند که مناطق مسطح و کم‌ارتفاع را شامل می‌شوند. میزان دقت نقشهٔ نهایی براساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی (۱۹۰ نقطهٔ سیل‌گیر و ۱۹۰ نقطهٔ بدون سیل) و با استفاده از منحنی ROC و سطح زیرمنحنی بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار سطح زیرمنحنی دارای ضریب ۰/۸۸۷ برای داده‌های آموزشی و ۰/۹۰۴ برای داده‌های اعتبارسنجی بوده است که بیانگر دقت خوب مدل ترکیبی در تهیهٔ نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل توزیع فضایی، حوضهٔ آبریز الندچای، سیل، مدل ترکیبی، FURIA.

* نویسندهٔ مسئول
Email: rezmogh@tabrizu.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

تحقیقات مختلفی در ایران و جهان دربارهٔ بررسی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با به‌کارگیری مدل‌های گوناگون صورت گرفته است. دارابی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی با استفاده از روش نسبت فراوانی، به تهیهٔ نقشه‌های خطر احتمال و حساسیت سیل در حوضهٔ آبریز پل دوآب شازند پرداختند [۳]. حلبیان و عسگری (۱۳۹۶) با استفاده از روش تحلیل عاملی- خوشه‌ای به پهنه‌بندی شدت سیل‌خیزی در حوضهٔ آبریز میشخاص واقع در ایلام پرداختند [۱]. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷)، سیلاب‌های رودخانهٔ قره‌سو در محدودهٔ روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانهٔ اهرچای را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS بررسی کردند [۴]. قضاوی و همکاران (۱۳۹۸)، زیرحوضه‌های شهری را از نظر خطر سیلاب با استفاده از روش PCA که از روش‌های جدید وزن‌دهی است اولویت‌بندی کردند [۷]. مختاری و همکاران (۱۳۹۹)، نقشهٔ خطر وقوع سیلاب در حوضهٔ آبریز گمناب‌چای را با استفاده از مد تحلیل شبکه‌ای و روش GIS تهیه کردند، در این تحقیق ده فاکتور مؤثر در وقوع سیل به‌کار گرفته شد [۹]. میرموسوی و اسمعیلی (۱۴۰۰)، در تحقیقی با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور نواحی سیل‌خیز شهرستان داراب را پهنه‌بندی کردند [۸]. کائو و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری، نقشهٔ حساسیت خطر سیل را در منطقهٔ کیگوگالی در چین تهیه کردند. در این تحقیق از ۸۵ نقطهٔ سیل‌خیز برای اجرای مدل‌ها و ارزیابی آنها استفاده شد [۱۷]. بیشت و همکاران (۲۰۱۸)، به پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل با استفاده از پارامترهای مورفومتریک در حوضهٔ آبریز هیماکال پرادش در هندوستان اقدام کردند. در این تحقیق از تصاویر لندست ۸ و مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر ASTER همراه با داده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور تخمین حساسیت خطر سیل در بیست زیرحوضه استفاده شد [۱۵]. داس (۲۰۱۹) در پژوهشی با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به تهیهٔ نقشهٔ حساسیت خطر سیل در حوضهٔ آبریز اولهاس در هندوستان پرداخت. [۲۳]. پانت و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نقشهٔ پهنه‌بندی خطر وقوع سیل و فرسایش خاک در حوضهٔ آبریز آلاک ناندا در هندوستان را تهیه کردند [۴۹]. توفیق‌لو اسلام و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با استفاده از مدل‌های پیشرفتهٔ یادگیری ماشین، حساسیت سیل در زیرحوضهٔ تیستا واقع در شمال بنگلادش را مدل‌سازی کردند [۵۹].

طغیان رودخانهٔ الندچای و وقوع سیلاب‌های متعدد در طول سال موجب خسارات جانی و مالی زیادی به مردم منطقه به‌خصوص کشاورزان می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شده

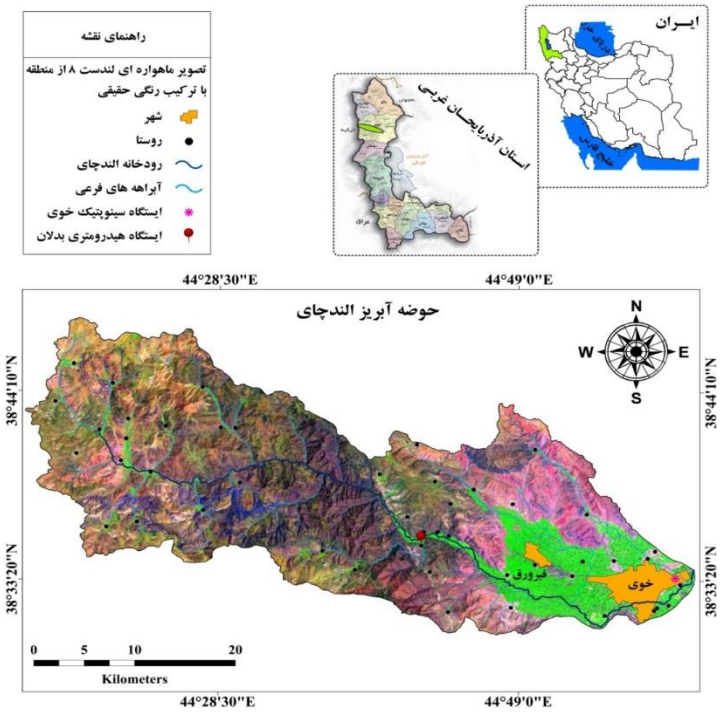
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

است که تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیلاب در سطح حوضهٔ آبریز الندچای برپایهٔ نوعی مدل ترکیبی نوین بررسی شود.

محدودهٔ پژوهش

حوضهٔ آبریز الندچای یک واحد فیزیوگرافیکی مهم در استان آذربایجان غربی و شهرستان خوی است که توسط رودخانهٔ الندچای و شاخه‌های فرعی آن زهکشی می‌شود (شکل ۱). مساحت حوضهٔ حدود ۱۱۴۷/۳۰ کیلومتر مربع است که از نظر موقعیت جغرافیایی در مختصات ″۱۴ ′۳۰ °۳۸ تا ″۲۲ ′۴۸ °۳۸ عرض شمالی و ″۱۳ ′۱۵ °۴۴ تا ″۰۲ ′۰۱ °۴۵ طول شرقی قرار گرفته است. دامنهٔ ارتفاع حوضه از ۱۰۹۳ متر در بستر رودخانهٔ الندچای در خروجی حوضه تا ۳۶۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا در کوه اورین است. این حوضهٔ آبریز از نظر آب‌وهوایی به‌طور معمول دارای زمستان‌های سرد و برفی و تابستان های معتدل و میانگین دمای سالانهٔ آن براساس آمار بلندمدت ایستگاه سینوپتیک خوی در پایین‌دست حوضه (۲۰۱۰- ۱۹۶۱)، ۱۲/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه در کشور و استان آذربایجان غربی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

روش تحقیق

الف) انتخاب پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

در این بخش از تحقیق با بهره‌گیری از پژوهش‌های پیشین در زمینهٔ عوامل مؤثر بر وقوع سیل و همچنین داده‌های موجود در منطقهٔ پژوهش، سیزده پارامتر مؤثر در حساسیت خطر وقوع سیل شناسایی شد. این پارامترها عبارت است از لیتولوژی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب‌اند.

ب) تحلیل هم‌خطی چندگانه

شاخص‌های عامل تورم واریانس (VIF[1]) و تولرانس (TOL[2]) به‌منظور برآورد همبستگی بین متغیرهای سیل استفاده شد. مقادیر VIF بزرگ‌تر از ۱۰ و مقادیر TOL کمتر از ۰/۱ نشان‌دهندهٔ هم‌خطی شدید است [۳۱، ۴۵].

$$TOL = 1 - R_v^2 \quad (۱)$$

$$VIF = 1/TOL \quad (۲)$$

که در آن R_v^2 مقدار ضریب تعیین چندگانه بین متغیرهاست. مقدار ضریب تولرانس بین ۰ و ۱ متغیر است. هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد (نزدیک به ۱)، همپوشی با متغیرهای دیگر و در نتیجه هم‌خطی کمتر است. عامل تورم واریانس با تولرانس نسبت معکوس دارد. یعنی با افزایش مقدار تولرانس، عامل تورم واریانس کاهش می‌یابد.

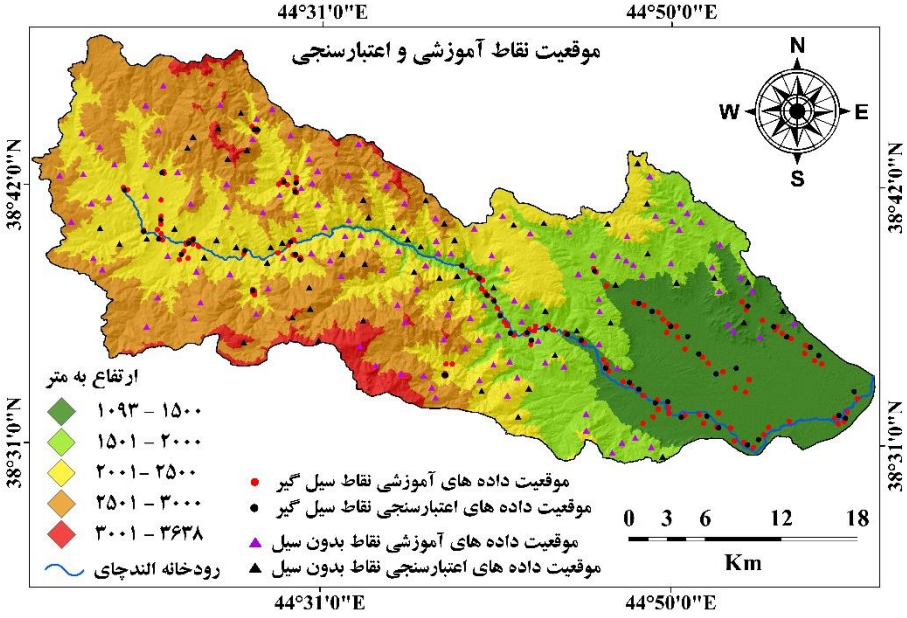
ج) ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

در این مرحله برای ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی از روش نمونه‌برداری استفاده شده است. با استفاده از دستگاه GPS و بازدیدهای میدانی و بهره‌گیری از امکانات نرم‌افزاری Google Earth و همچنین اطلاعات دبی و بارش شرکت مدیریت منابع آب ایران مناطق درگیر با خطر سیل‌گرفتگی (۱۹۰ نقطه) و مناطق بدون سیل (۱۹۰ نقطه) تهیه شده و وارد پایگاه داده در محیط نرم‌افزار ArcGIS شد. سپس از این مجموعه داده‌ها، ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی نتایج استفاده شد. برای انتخاب داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی به‌صورت تصادفی از ابزار Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

1. variance inflation factor
2. tolerance

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۲. موقعیت نقاط آموزشی و اعتبارسنجی

د) روش FURIA[1]

FURIA نوعی روش طبقه‌بندی فازی مبتنی بر قواعد است. این الگوریتم برمبنای RIPPER[2] که نوعی الگوریتم یادگیرندهٔ قواعد یقینی است توسعه یافته است [۲۰]. این روش توسط هان و هالرمیر در سال ۲۰۰۹ معرفی شد. FURIA قوانین فازی را به‌جای قوانین مرسوم و مجموعه قوانین بی‌نظم را به‌جای فهرست قوانین یاد می‌دهد. این مدل مدل طبقه‌بندی بسیار دقیقی به نظر می‌رسد که امکان تخمین مرزهای تصمیم‌گیری را به روشی انعطاف‌پذیرتر ایجاد می‌کند [۳۷]. الگوریتم RIPPER شامل دو مرحله رشد و هرس کردن است. هرس کردن تا زمانی که میزان خطا بیشتر از ۵۰ درصد باشد ادامه می‌یابد [۶۰]. به‌عبارت ساده‌تر قوانینی که تأثیری بر دقت مدل ندارند ضعیف شناخته شده و حذف می‌شوند. FURIA بازه‌های یقینی به‌دست‌آمده از الگوریتم RIPPER را به قوانین فازی که از توابع عضویت ذوزنقه‌ای استفاده می‌کنند، تبدیل می‌کند [۳۷]. در این تابع، هر بازهٔ فازی با چهار پارامتر مشخص شده و به‌صورت I = (T1, T2, T3, T4)نوشته می‌شود [۳۷].

1. Fuzzy Unordered Rules Induction Algorithm
2. Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$I(X)=\begin{cases}1 & \\ \dfrac{V-T_1}{T_2-T_1} & T_2 \le V \le T_3 \\ \dfrac{T_4-V}{T_4-T_2} & T_1 \le V \le T_2 \\ 0 & T_3 \le V \le T_4 \\ & \text{els.}\end{cases} \quad (۳)$$

برای مثال برای $V_i = (X_{i1}, \dots, X_{i13})$، تابع عضویت فازی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\mu(V_i)=\prod_{j=1}^{13} I_j(X_j) \quad (۴)$$

فازی‌سازی یک تک پیشین از یک قانون فقط مربوط به مجموعه $D_{ki} \in D$ است. سپس D_k به دو مجموعهٔ D_{k+} و D_{k-} تقسیم می‌شود. کیفیت فازی‌سازی برای انتخاب بهترین قانون با استفاده از معیار قانون خلوص از طریق رابطهٔ زیر بررسی می‌شود [۳۷].

$$pur=\frac{p_i}{p_i+n_i};\ p_i=\sum_{v\in D_{k+}}\mu A_i(V);\ n_i=\sum_{v\in D_{k-}}\mu A_i(V);\quad A_i \in I(X) \quad (۵)$$

در نتیجه قوانین فازی براساس بزرگ‌ترین مقدار V برای کلاس Y_i و درجهٔ اطمینان CD_i ساخته می‌شوند.

$$V=\sum_{i=1}^{m}\mu_{rule}(i)(V)\times CD_i \quad (۶)$$

در نهایت، روش تعمیم قوانین برای به‌دست آوردن فهرست نهایی قوانین فازی اجرا می‌شود.

ه) روش الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک نوعی روش فرااکتشافی است که توسط هالند در سال ۱۹۷۵ معرفی شد. GA فرایندی مشابه را برای انتخاب طبیعی به‌کار می‌گیرد و اغلب به‌عنوان نوعی روش جست‌وجو برای یافتن راه‌حل‌های بهینه از طریق نظرسنجی از راه‌حل‌های احتمالی استفاده می‌شود [۳۸]. انتخاب، تقاطع و جهش از عملگرهای پایه‌ای الگوریتم ژنتیک برای تکثیرند [۴۷]. از این فرایند تکثیر، بهترین اعضا که با عملگر هزینه ارزیابی می‌شوند، به نسل بعدی منتقل می‌شوند. این فرایند زمانی به پایان می‌رسد که آستانه‌های خاصی برای ارائهٔ بهترین راه‌حل به‌دست می‌آیند [۳۳].

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ی) روش الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری (LVQ[1])

برای بررسی رابطهٔ بین خطر سیل با متغیرهای انتخاب‌شده از الگوریتم یادگیری LVQ استفاده شد. LVQ یکی از انواع شبکه‌های عصبی با الگوی یادگیری نظارت‌شده است که در سال ۱۹۹۶ توسط کوهن معرفی شد. این روش، نوعی رویکرد یادگیری الگو را به‌کار می‌برد که در واقع فاصلهٔ اقلیدسی را قانون اساسی رقابت در نظر می‌گیرد. در فضای متغیر n بعدی فاصلهٔ بین بردار ورودی و بردارهای وزن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$ed_i = \sqrt{\sum_{j}^{n}\left(w_{ij} - x_j\right)^2} \qquad (۷)$$

که در آن ed_i فاصلهٔ اقلیدسی بردار ورودی x و بردار وزن i ام و n تعداد متغیرهاست.

خ) روش ترکیبی AdaBoost

AdaBoost یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است که توسط فروند و شاپیر در سال ۱۹۹۷ معرفی شد. AdaBoost نوعی متاالگوریتم است که به‌منظور ارتقای عملکرد و رفع مشکل رده‌های نامتوازن همراه دیگر الگوریتم‌های یادگیری استفاده می‌شود [۲۷].

بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

لیتولوژی: لیتولوژی متغیری مهم در زمینهٔ پتانسیل وقوع سیلاب است، زیرا شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مانند نفوذپذیری زمین و رواناب سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۴۶، ۵۴]. واحدهای مختلف لیتولوژی حساسیت‌های متفاوتی به وقوع سیل دارند [۴۳]. نقشهٔ لیتولوژی منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (برگه‌خوی و دیزج) و ۱:۲۵۰۰۰۰ برگه‌خوی برگرفته از سازمان زمین‌شناسی کشور و در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. بررسی نقشهٔ لیتولوژی نشان می‌دهد که مناطق کم‌ارتفاع در قسمت شرقی منطقه را بیشتر سازندهای جوان مثل پادگانه‌های آبرفتی مربوط به دورهٔ کواترنر و کنگلومرا تشکیل می‌دهد. بیشتر فعالیت‌های انسانی مانند شهرسازی و زمین‌های کشاورزی در این بخش از منطقه متمرکز شده‌اند. در مقابل ارتفاعات منطقه که بیشتر قسمت غربی منطقه را در بر گرفته‌اند از سنگ‌های آتشفشانی بازالتی و در بخش‌هایی همراه با سنگ آهک و شیل تشکیل شده‌اند.

خاک: این پارامتر کیفیت خاک را براساس حداقل میزان نفوذ آب نشان می‌دهد [۶۱]. گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به چهار گروه A، B، C و D طبقه‌بندی می‌شوند. خاک‌های گروه

1. Learning Vector Quantization

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

A دارای کمترین پتانسیل برای تولید رواناب و خاک‌های گروه D دارای بیشترین پتانسیل برای ایجاد رواناب هستند [۲۹]. برای تهیهٔ نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضهٔ آبریز الندچای از نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و همچنین داده‌های جهانی گروه‌های هیدرولوژیک خاک برگرفته از وب‌سایت ناسا استفاده شد. نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه در سه گروه B، C و D تهیه شد.

شاخص پوشش گیاهی: NDVI شاخصی است که خصوصیات پوشش گیاهی منطقه را توصیف می‌کند؛ خصوصیاتی که بر رواناب سطحی و قابلیت نفوذپذیری یک منطقه تأثیر می‌گذارد [۱۸، ۵۵]. مناطق دارای تراکم پوشش گیاهی کمتر بیشتر مستعد سیل هستند [۵۵]. در پژوهش حاضر، به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ تراکم پوشش گیاهی منطقه از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) استفاده شد. از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجندهٔ OLI (مربوط به بهار ۱۳۹۹؛ بیشتر سیلاب‌های منطقه در این فصل اتفاق می‌افتند) در قالب نرم‌افزار ENVI استفاده شد.

کاربری اراضی: بنا بر نظر گارسیا رویز و همکاران (۲۰۰۸)، کاربری اراضی هر منطقه اهمیت زیادی برای پاسخ‌های هیدرولوژیکی در دوره‌های زمانی مختلف دارد [۲۸]. بیکرز و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود نشان دادند که تغییرات در کاربری اراضی می‌تواند احتمال وقوع سیل در منطقه را افزایش دهد [۱۴]. در این تحقیق برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجندهٔ OLI مربوط به خرداد ۱۳۹۹ استفاده شد. به همین منظور ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم همچون تصحیح اتمسفری و رادیومتریکی روی تصویر اعمال شد. در مرحلهٔ بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال نقشهٔ کاربری اراضی در شش طبقهٔ اصلی تهیه شد.

طبقات ارتفاعی: به‌طور کلی رابطهٔ معکوسی بین خطر وقوع سیل و ارتفاع وجود دارد. فراوانی وقوع سیل با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد، در نتیجه ارتفاعات پست‌تر از حساسیت بیشتری برای وقوع سیل برخوردارند [۳۹]. نقشهٔ طبقات ارتفاعی منطقه با استفاده مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر در ۵ طبقه تهیه شد. مقادیر ارتفاعی منطقه بین ۱۰۹۳ تا ۳۶۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا متغیر است.

شیب: بین شیب منطقه و سرعت جریان سطحی همبستگی قوی مثبتی می‌توان یافت [۲۲، ۲۶]. مناطقی که با کاهش ناگهانی شیب مواجه‌اند، احتمال دارد با حجم عظیمی از آب روبه‌رو شوند که موجب سیل‌گیری شدید این نواحی می‌شود [۴۳، ۵۱]. نقشهٔ شیب منطقه با

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS و در پنج طبقه تهیه شد.

جهت شیب: یکی دیگر از پارامترهای اصلی مورفومتریک که با وقوع سیل رابطهٔ معکوس دارد جهت شیب است. جهت شیب می‌تواند شرایط هیدرولوژیکی منطقه را تحت تأثیر قرار دهد [۲۵، ۴۲]. نقشهٔ جهت شیب منطقه در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از لایهٔ DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه شد. نقشهٔ جهت شیب در نه طبقه تهیه شد.

فاصله از رودخانه: این پارامتر نوعی عامل مهم ژئومورفیک است که برای تهیهٔ دقیق نقشهٔ خطر وقوع سیل باید در نظر گرفته شود. با افزایش فاصله، شیب و ارتفاع بیشتر می‌شود. در نتیجه مناطق دور از کانال رودخانه آسیب‌پذیری کمتری از وقوع سیل دارند [۲۲]. در پژوهش حاضر، نقشهٔ فاصله از آبراهه با استفاده از ابزار فاصلهٔ اقلیدسی[1] در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. مقادیر این فاصله بین ۰ تا ۳۱۳۴ متر متغیر بوده است.

تراکم زهکشی: کومار و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود نشان دادند که در مناطق پرتراکم از نظر زهکشی در مقایسه با مناطق کم‌تراکم، رواناب سطحی بیشتری تشکیل می‌شود [۴۱]. بنابراین گسترش خطر وقوع سیل ممکن است به تراکم زهکشی وابسته باشد که متغیری مهم برای تولید رواناب است [۴۴، ۴۸]. نقشهٔ تراکم زهکشی منطقه با استفاده از ابزار تراکم خطی[2] در نرم‌افزار ArcGIS و در پنج طبقه تهیه شد. مقادیر تراکم زهکشی بین صفر تا ۴/۴ (کیلومتر در کیلومتر مربع) متغیر است که بیشترین مقادیر آن در ارتفاعات منطقه مشاهده می‌شود که بیانگر فراوانی تعداد آبراهه‌ها در این مناطق است.

بارش: بارندگی رابطهٔ معنی‌داری با دبی رودخانه دارد و به‌طور مستقیم وقوع سیل را کنترل می‌کند. بارش‌های غیرمنتظره در مناطق نیمه‌خشک می‌توانند وضعیت سیلابی ایجاد کنند [۲۲]. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ بارش منطقه از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی (رازی، چکمه زر الند، قشلاق فیرورق، زرآباد، بدلان و پل یزدکان) برای سال‌های دارای اطلاعات بارش و ایستگاه سینوپتیک خوی برای یک دورهٔ سی‌ساله (۱۳۹۹-۱۳۷۰) استفاده شد.

شاخص رطوبت توپوگرافیک: این پارامتر در سال ۱۹۷۹ توسط بیون و کرکبی معرفی شد و نشان‌دهندهٔ تغییرات فضایی رطوبت در حوضهٔ آبریز است [۵۲]. شاخص رطوبت توپوگرافیک مقدار انباشت آب در هر پیکسل از حوضهٔ آبریز را نشان می‌دهد [۳۰]. به‌طور کلی

1. Euclidean distance
2. line density

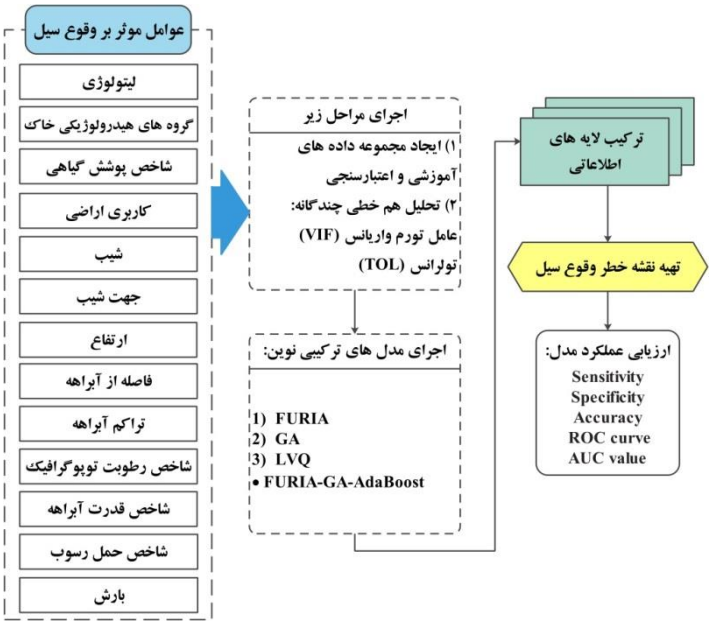
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقادیر زیاد شاخص رطوبت توپوگرافیک و وقوع سیل همبستگی قوی با یکدیگر دارند [۵۳]. مقادیر این پارامتر در منطقهٔ پژوهش بین ۲/۶ تا ۷/۳ متغیر است که کمترین مقادیر در مناطق پست و کم‌ارتفاع پایین‌دست حوضه مشاهده می‌شوند.

شاخص قدرت آبراهه: براساس نظر نایتون (۱۹۹۹)، شاخص قدرت آبراهه برای بسیاری از فرایندها در محیط‌های رودخانه‌ای از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. این شاخص را می‌توان عملکردی شایان توجه در فرسایش کانال رودخانه و حمل رسوب توصیف کرد [۱۳، ۳۵]. در پژوهش حاضر، محاسبهٔ مقادیر شاخص قدرت آبراهه و تهیهٔ نقشهٔ آن به‌طور مستقیم در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از لایهٔ DEM انجام گرفت.

شاخص حمل رسوب: این پارامتر نشان‌دهندهٔ قدرت جریان آب از نظر فرسایش است که بر شرایط هیدرولوژیکی اثر می‌گذارد [۳۶، ۵۶]. هانگ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که مناطق دارای مقادیر STI کمتر، اغلب در زمین‌های مسطح قرار داشته و بنابراین پتانسیل زیادی برای وقوع سیل دارند [۳۶]. برای محاسبهٔ مقادیر این شاخص و تهیهٔ نقشهٔ آن از ابزار محاسبات رستری[1] در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.



شکل ۳. نمودار مراحل تهیهٔ نقشهٔ خطر وقوع سیل با استفاده از مدل ترکیبی

1. Raster Calculator

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

داده‌ها و تحلیل

متغیرهایی که ممکن است همبستگی داخلی زیادی داشته باشند باید به‌منظور بهبود عملکرد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده از فرایند تحلیل حذف شوند [۵۰]. بنابراین در این بخش از تحقیق تجزیه‌وتحلیل هم‌خطی چندگانه انجام گرفت که نتایج آن نشان می‌دهد بین هیچ یک از پارامترهای مرتبط با سیل هم‌خطی چندگانهٔ جدی وجود ندارد (جدول ۱). پارامتر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک کمترین مقدار تولرانس را داشته است (۰/۱۳۹) که بیشتر از مقدار بحرانی نظری (۰/۱۰۰) است. همچنین برای هر یک از پارامترها مقدار عامل تورم واریانس نیز محاسبه شد که کمتر از حد آستانهٔ نظری برای هم‌خطی چندگانه است (بیشتر از ۱۰). بنابراین همهٔ پارامترها در ارتباط با خطر وقوع سیل در نظر گرفته شده و در گام بعدی تجزیه‌وتحلیل شده‌اند.

جدول ۱. نتایج تحلیل هم‌خطی چندگانه

پارامترهای مرتبط با سیل	Tolerance (TOL)	Variance IF (VIF)
لیتولوژی	۰/۷۰۱	۱/۴۲
گروه‌های هیدرولوژیکی خاک	۰/۱۳۹	۷/۱۹
پوشش گیاهی	۰/۲۱۳	۴/۶۹
کاربری اراضی	۰/۲۳۱	۴/۳۲
ارتفاع	۰/۳۳۲	۳/۰۱
شیب	۰/۲۰۴	۴/۹۰
جهت شیب	۰/۹۱۱	۱/۰۹
فاصله از آبراهه	۰/۳۳۲	۳/۰۱
تراکم آبراهه	۰/۸۹۰	۱/۱۲
بارش	۰/۳۶۲	۲/۷۶
شاخص رطوبت توپوگرافیک	۰/۹۱۹	۱/۰۸
شاخص قدرت آبراهه	۰/۳۰۹	۳/۲۳
شاخص حمل رسوب	۰/۱۸۹	۵/۲۹

اجرای الگوریتم FURIA-GA

برای اجرای الگوریتم FURIA-GA، خصوصیات زیر تعیین شدند. این خصوصیات پس از آزمون و خطای گسترده به‌دست آمده‌اند. برای GA، احتمال هم‌گذری[1] بر روی ۰/۲، احتمال جهش[2] بر روی ۰/۰۳۵، اندازهٔ جمعیت[3] ۲۵۰ و تعداد نسل‌ها[4] بر روی ۵۰ تنظیم شد. برای ارزیاب

1. crossover probability
2. mutation probability
3. population size
4. number of generations

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

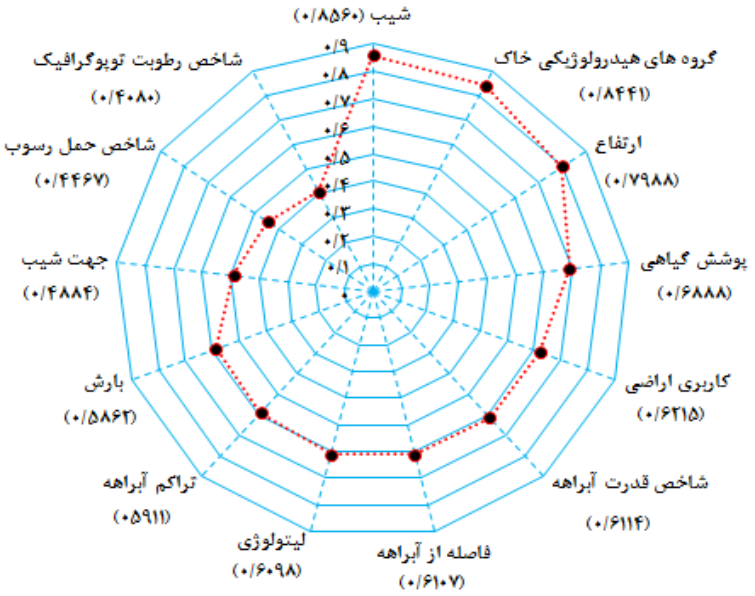
FURIA نوعی روش اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری[1] با product T-Norm به‌عنوان عملگر اجتماع فازی به‌منظور ترکیب قوانین پیشین آموزش داده شد. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی FURIA-GA با مقدار ۸۶/۴۵درصد دقت خیلی خوبی داشته است (جدول ۲).

جدول ۲. پارامترهای استفاده‌شده برای الگوریتم FURIA-GA و دقت طبقه‌بندی

Base classifier: decision stumps, attribute evaluator: FURIA, search method: GA, classification accuracy: 86.40%

تعیین اهمیت متغیرها

در این بخش از تحقیق از روش LVQ برای تعیین اهمیت پارامترهای مرتبط با سیل که توسط الگوریتم FURIA-GA انتخاب شده‌اند استفاده شد. برای اجرای روش LVQ از نرم‌افزار WEKA استفاده شد. مقادیر LVQ بین ۰/۴۰۸۰ تا ۰/۸۵۶۰ متغیر بوده است. بیشترین مقدار مربوط به شیب و کمترین مقدار نیز مربوط به شاخص رطوبت توپوگرافیک است (شکل ۴). گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و ارتفاع نیز به‌ترتیب با مقادیر ۰/۸۴۴۱ و ۰/۷۹۸۸ در مرتبهٔ بعدی قرار دارند.



شکل ۴. اهمیت پارامترهای مرتبط با سیل براساس روش LVQ

1. 10-fold cross-validation technique

Archive of SID.ir

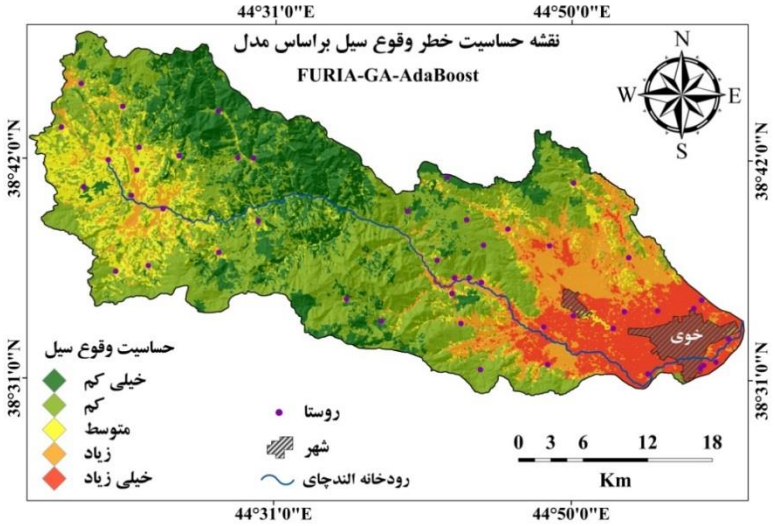
Archive of SID.ir

اجرای روش ترکیبی AdaBoost

در این بخش آموزش مدل ترکیبی AdaBoost براساس مجموعه داده‌های آموزشی و ارزیابی عملکرد این مدل براساس مجموعه داده‌های اعتبارسنجی در بستهٔ نرم‌افزاری WEKA انجام گرفت. برای اجرای الگوریتم AdaBoost از تنظیمات زیر استفاده شد: اندازهٔ بسته[1]، ۱۰۰؛ تعداد تکرار[2]، ۱۲؛ تعداد بذر یا دانه[3]، ۱. همچنین درخت تصمیم‌گیری C4.5 به‌عنوان طبقه‌بندی‌کنندهٔ پایه[4] انتخاب شد. با توجه به اینکه فرمت اصلی داده‌های WEKA به‌صورت ARFF است، به‌منظور انتقال لایه‌های اطلاعاتی به محیط نرم‌افزار WEKA و اجرای هر یک از مراحل یادشده، ابتدا این لایه‌ها به فرمت ASCII تبدیل شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS در محیط WEKA بارگذاری شدند.

تهیهٔ نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل

پس از اجرای همهٔ مراحل یادشده روی لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار WEKA، به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل، نتایج این مراحل برای تبدیل به نقشهٔ مصور به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شد. نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل با استفاده از روش Natural Break در پنج طبقه با عناوین حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۵).



شکل ۵. نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل با استفاده از مدل FURIA-GA-AdaBoost

1. Batchsize
2. number of iterations
3. seed
4. base classifier

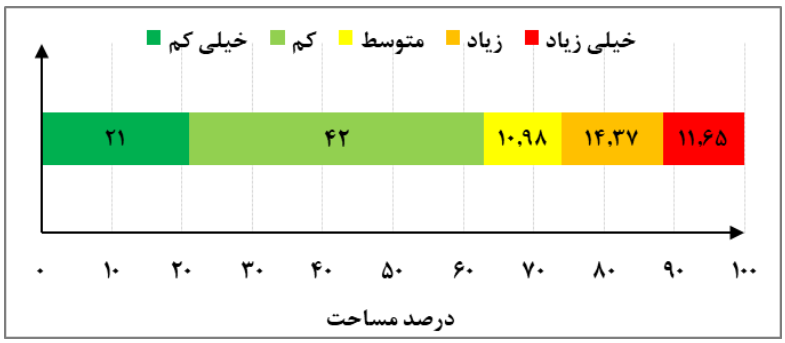
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

براساس شکل ۵ پهنه‌هایی که بیشترین حساسیت را از نظر خطر وقوع سیل نشان می‌دهند اغلب در قسمت شرقی و جنوب شرقی حوضه قرار دارند. این قسمت‌ها اغلب مناطق پایین‌دست حوضه را شامل می‌شوند که هم ارتفاع خیلی کم و هم شیب کمی نسبت به ناهمواری‌های اطراف خود دارند. بنابراین رواناب‌هایی که پس از هر بارندگی یا با ذوب برف‌ها شکل می‌گیرند در این مناطق متمرکز می‌شوند که سبب سیل‌گرفتگی مناطق شهری و روستایی و زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها می‌شود. مهم‌ترین مرکز جمعیتی حوضه یعنی شهر خوی نیز در این قسمت جای گرفته است که آسیب‌پذیری زیاد زیرساخت‌های شهری را هنگام وقوع سیلاب‌های ناگهانی نشان می‌دهد. جدول ۳ مساحت و شکل ۶ درصد مساحت هر یک از طبقات خطر وقوع سیل را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مساحت هر یک از طبقات خطر وقوع سیل

طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)
خیلی کم	۲۴۱/۱۰
کم	۴۸۱/۸۰
متوسط	۱۲۵/۹۴
زیاد	۱۶۴/۷۵
خیلی زیاد	۱۳۳/۷۱



شکل ۶. توزیع گرافیکی درصد مساحت هر یک از طبقات حساسیت خطر وقوع سیل

ارزیابی عملکرد مدل FURIA-GA-AdaBoost

به‌منظور بررسی و ارزیابی عملکرد مدل استفاده‌شده در تحقیق از سه شاخص آماری Sensitivity، Specificity و Accuracy برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی استفاده شد. برای محاسبهٔ این شاخص‌ها از رابطه‌های زیر استفاده شد:

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$\text{specificity} = \frac{TN}{FP + TN} \quad (۸)$$

$$\text{sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۹)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (۱۰)$$

که در آن TN تعداد مناطق بدون سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ FP تعداد نقاط سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند؛TP تعداد نقاط سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ و FN تعداد نقاط بدون سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند است. نتایج بررسی این شاخص‌ها نشان می‌دهد که مدل FURIA-GA-AdaBoost با ضریب ۸۹/۰۹ دقت خوبی را از نظر داده‌های آموزشی داشته است. براساس مجموعه داده‌های اعتبار سنجی نیز نتایج نشان می‌دهد که این مدل از نظر سه شاخص آماری ضرایب زیادی را نشان می‌دهد که بیانگر عملکرد خوب این مدل است (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج عملکرد مدل ترکیبی براساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

شاخص آماری	داده‌های آموزشی	داده‌های اعتبارسنجی
True positive	۱۲۱	۵۳
True negative	۱۱۶	۵۰
False positive	۱۲	۴
False negative	۱۷	۷
Sensitivity (%)	۸۷/۶۸	۸۸/۳۳
Specificity (%)	۹۰/۶۲	۹۲/۵۹
Accuracy (%)	۸۹/۰۹	۹۰/۳۵

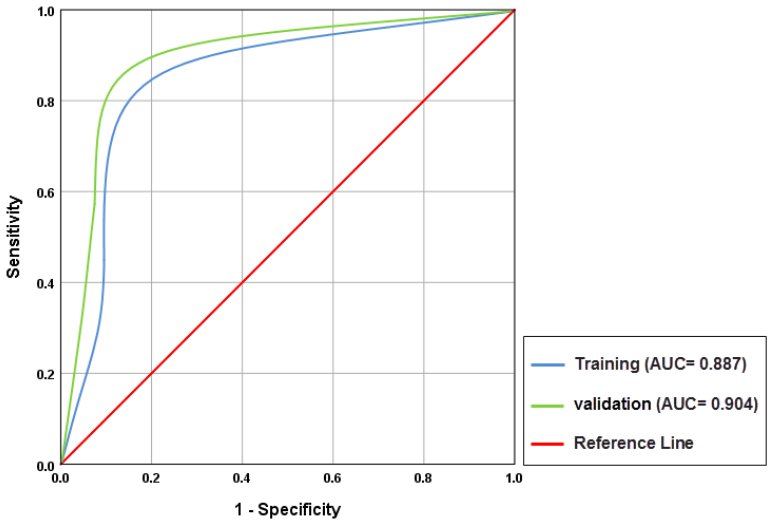
ارزیابی دقت نقشه حساسیت خطر وقوع سیل با استفاده از منحنی ROC

در این بخش از تحقیق برای ارزیابی دقت نقشهٔ نهایی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضهٔ آبریز الندچای از منحنی ROC و سطح زیرمنحنی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد (شکل ۷). منحنی ROC نمایشی گرافیکی از موازنهٔ بین نرخ مثبت صحیح و نرخ مثبت غلط برای هر مقدار احتمالی از خطای برش‌هاست. سطح زیرمنحنی ROC که به اختصار AUC نامیده

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

می‌شود بیانگر توانایی یک مدل برای پیش‌بینی پیکسل‌های سیل و بدون سیل است. مدلی که بیشترین مقدار سطح زیرمنحنی را داشته باشد بهترین مدل انتخاب می‌شود. یاسلینسار (۲۰۰۵) دقت مقادیر سطح زیر منحنی را برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها به‌صورت زیر طبقه‌بندی کرده است: ۰/۵ تا ۰/۶ ضعیف، ۰/۶ تا ۰/۷ متوسط، ۰/۷ تا ۰/۸ خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ خیلی خوب و ۰/۹ تا ۱ عالی [۶۲]. منحنی ROC برای دو نوع داده‌های آموزشی (۱۳۳ نقطهٔ سیل‌گیر و ۱۳۳ نقطهٔ نبود سیل) و اعتبارسنجی (۵۷ نقطهٔ سیل‌گیر و ۵۷ نقطهٔ نبود سیل) ترسیم شد. نتایج نشان داد که در مورد داده‌های آموزشی، مدل FURIA-GA-AdaBoost با سطح زیرمنحنی برابر با ۰/۸۸۷ از دقت خوبی برخوردار است. برای داده‌های اعتبارسنجی نیز این مقدار برابر با ۰/۹۰۴ است که نشان‌دهندهٔ عملکرد خوب این مدل در تهیهٔ نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل است.



شکل ۷. منحنی ROC براساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

نتیجه‌گیری

حوضهٔ آبریز الندچای به‌دلیل موقعیت توپوگرافی خاص خود و دریافت بارش مناسب در طول سال و به‌خصوص در فصل بهار، از حوضه‌های با حساسیت سیل‌خیزی زیاد محسوب می‌شود. پژوهش حاضر تلاشی به‌منظور بررسی حساسیت خطر وقوع سیل در این حوضه بوده است. بنابراین از ۳۸۰ نقطهٔ مشاهداتی و میدانی در ارتباط با مناطق سیل‌گیر و بدون سیل و همچنین ۱۳ پارامتر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مؤثر در وقوع سیل استفاده شد. برای داده‌کاوی و تحلیل تأثیر هر یک از پارامترها در وقوع سیل از مدلی ترکیبی برپایهٔ طبقه‌بندی فازی و الگوریتم ژنتیک همراه با یک الگوریتم یادگیری ماشین (AdaBoost) در نرم‌افزار WEKA استفاده شد. عملکرد تحلیل پارامترها با استفاده از ترکیب مدل‌های FURIA-GA نشان داد که مدل ترکیبی با ضریب دقت ۸۶/۴۰ درصد عملکرد خوبی داشت. بررسی اهمیت پارامترها در وقوع سیل با استفاده از الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری نیز نشان داد که پارامتر شیب با ضریب وزن ۰/۸۵۶۰ از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. با تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی و محاسبهٔ طبقات هر یک از کلاس‌های خطر وقوع سیل مشخص شد که ۲۹۸/۴۶ کیلومترمربع از کل مساحت حوضهٔ آبریز (۲۶/۰۲ درصد مساحت) در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر حساسیت وقوع سیل قرار دارند. این پهنه‌ها بیشتر در مناطق پایین‌دست حوضه متمرکزند. تحلیل تغییرات فضایی پهنه‌های خطر وقوع سیل در سطح حوضهٔ آبریز الندچای نشان می‌دهد که وقوع سیل در منطقه تابع وضعیت توپوگرافی و شیب است. وضعیت عمومی شیب منطقه که از غرب به شرق است، مسیر عمدهٔ جریان آبراهه‌های منطقه را مشخص می‌کند. بدین صورت که رواناب‌های شکل‌گرفته در ارتفاعات و دامنه‌های پرشیب به‌سمت قسمت‌های شرقی که مناطق هموار و جلگه‌ای را شامل می‌شوند، جریان پیدا می‌کنند و سبب سیل گرفتگی این مناطق می‌شوند. به‌طور کلی می‌توان گفت وجود آبراهه‌های فراوان در بالادست حوضه و تزریق آب‌های سطحی این مناطق به رودخانهٔ الندچای موجب افزایش ناگهانی دبی این رودخانه می‌شود و خطر وقوع سیل را در پایین‌دست حوضه و همچنین زمین‌های اطراف این رودخانه به‌دلیل طغیانی شدن آن افزایش می‌دهد. نتیجهٔ بررسی میزان دقت و کارایی مدل FURIA-GA-AdaBoost نیز نشان داد که این مدل به‌ترتیب با ضرایب ۰/۸۸۷ و ۰/۹۰۴ برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی عملکرد خوبی در تهیهٔ نقشهٔ حساسیت خطر وقوع سیل داشته است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی مثل تین بوی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. محققان مذکور استفاده از مدل‌های ترکیبی نوین را برای مدل‌سازی و تهیهٔ نقشه‌های حساسیت خطر وقوع سیل با دقت زیاد به‌عنوان روشی مناسب پیشنهاد کرده‌اند که نتایج تحقیق حاضر نیز تأییدکنندهٔ یافته‌های آنان است.

تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر برگرفته از نتایج رسالهٔ دکتری در دانشگاه تبریز است و از طرف صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation: INSF) با کد ۹۸۰۲۷۶۵۲ حمایت مالی شده است که بدین وسیله از آنها قدردانی می‌شود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

منابع

[۱]. حلبیان، امیرحسین؛ و عسگری، شمس‌الله (۱۳۹۶). «پهنه‌بندی شدت سیل‌خیزی در حوضهٔ آبریز میشخاص به کمک تحلیل عاملی- خوشه‌ای»، *هیدروژئومورفولوژی*، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱۲، ص ۱۷۷-۱۵۳.

[۲]. خسروشاهی، محمد؛ و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴). «تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبریز با استفاده از تحلیل هیدروگراف خروجی حوضه و کاربرد مدل HEC-HMS»، *جنگل و مرتع*، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۶۷، ص ۳۷-۲۸.

[۳]. دارابی، حمید؛ شاهدی، کاکا؛ و مردیان، مهدی (۱۳۹۵). «تهیهٔ نقشه‌های خطر احتمال و حساسیت سیل با استفاده از روش نسبت فراوانی در حوزهٔ آبریز پل دوآب شازند»، *مهندسی و مدیریت آبریز*، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱، ص ۷۹-۶۸.

[۴]. رضایی مقدم، محمدحسین؛ یاسی، مهدی؛ نیکجو، محمدرضا؛ و رحیمی، مسعود (۱۳۹۷). «پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانهٔ قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانهٔ اهر چای)»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۲۵، ص ۱۵-۱.

[۵]. رضایی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). «تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضهٔ آبریز الندچای به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شمارهٔ ۳۳، ص ۸۳-۶۱.

[۶]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). «بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز الندچای، شمال غرب ایران)»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۲، ص ۲۱۴-۱۹۵.

[۷]. قضاوی، رضا؛ بابایی حصار، سحر؛ و عرفانیان، مهدی (۱۳۹۸). «اولویت‌بندی زیرحوزه‌های شهری مستعد سیلاب با استفاده از تکنیک PCA به‌عنوان یک روش جدید وزن‌دهی»، *مخاطرات محیط طبیعی*، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲۰، ص ۱۰۰-۸۳.

[۸]. میرموسوی، سیدحسین؛ و اسمعیلی، حسین (۱۴۰۰). «پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، مطالعهٔ موردی: شهرستان داراب»، *مخاطرات محیط طبیعی*، دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲۷، ص ۴۶-۲۱.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[۹]. مختاری، داود؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید؛ و معزز، سمیه (۱۳۹۹). «تهیهٔ نقشهٔ خطر وقوع سیلاب در حوضهٔ آبریز گمناب‌چای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS»، *اکوهیدرولوژی*، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۲، ص ۵۰۹-۴۹۷.

[10]. Ahmadisharaf, E.; Tajrishy, M.; & Alamdari, N. (2016). "Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making", *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(8): 1397–1417. https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1077104.

[11]. Alexander, M.; Viavattene, C.; Faulkner, H.; & Priest, S. (2011). "A GIS-based Flood Risk Assessment Tool: Supporting Flood Incident Management at the Local Scale", *Flood risk management research consortium*. Middlesex University.

[12]. Alfieri, L.; Bisselink, B.; Dottori, F.; Naumann, G.; Roo, A.; Salamon, P.; Wyser, K.; & Feyen, L. (2017). "Global projections of river flood risk in a warmer world", *Earths Future*, 5(2): 171-182. https://doi.org/10.1002/2016EF000485.

[13]. Barker, D.M.; Lawler, D.M.; Knight, D.W.; Morris, D.G.; Davies, H.N.; & Stewart, E.J. (2009). "Longitudinal distributions of river flood power: the combined automated flood, elevation and stream power (CAFES) methodology", *Earth Surf. Process Landf*. 34, 280–290.

[14]. Beckers, A.; Dew'als, B.; Erpicum, S.; Dujardin, S.; Detrembleur, S.; & Teller, J. (2013). "Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 13, 2301–2318.

[15]. Bisht, S.; Chaudhry, S.; Sharma, S.; & Soni, S. (2018). "Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 35-47. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001.

[16]. Borga, M.; Gaume, E.; Creutin, J.D.; & Marchi, L. (2008). "Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes", *Hydrological Processes*. 22(18): 3883–3885. https://doi.org/10.1002/hyp.7111.

[17]. Cao, C.; Xu, P.; Wang, Y.; Chen, J.; Zheng, L.; & Niu, C. (2016). "Flash Flood Hazard Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Methods in Coalmine Subsidence Areas", *Sustainability*, 8(9): 948. https://doi.org/10.3390/su8090948.

[18]. Cevik, E.; & Topal, T. (2003). "GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey)", Environ. Geol. 44 (8), 949–962.

[19]. Cloke, H.L.; & Pappenberger, F. (2009). "Ensemble flood forecasting: a review", *Journal of Hydrology*, 375(3): 613–626. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005.

[20]. Cohen, W.W. (1995). "Fast effective rule induction", In: Prieditis, A.; Russell, S. (Eds.), Proceedings of the 12th International Conference on Machine

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Learning, 115–123. Morgan Kaufmann. http://citeseer.ist.psu.edu/cohen95fast.html.

[21]. Costache, R.; Hong, H.; & Bao Pham, Q. (2020). "Comparative assessment of the flash-flood potential within small mountain catchments using bivariate statistics and their novel hybrid integration with machine learning models", *Science of The Total Environment*, 711, 134514. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134514.

[22]. Das, S. (2018). "Geomorphic characteristics of a bedrock river inferred from drainage quantification, longitudinal profile, knickzone identification and concavity analysis: a DEM-based study". *Arab J. Geosci*. 11 (21), 680. https://doi.org/10.1007/s12517- 018-4039-8.

[23]. Das, S. (2019). "Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 60-74. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006.

[24]. Doocy, S.; Daniels, A.; Packer, C.; Dick, A.; & Kirsch, T.D. (2013). "The human impact of earthquakes: a historical review of events 1980– 2009 and systematic literature review". PLoS Curr. 5.

[25]. Ercanoglu, M.; & Gokceoglu, C. (2002). "Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach". *Environ. Geol*. 41, 720–730.

[26]. Fernandez, D.S.; & Lutz, M.A. (2010). "Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis", *Eng. Geol*. 111, 90–98.

[27]. Freund, Y.; & Schapire, R. (1997). "A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting", *Journal of Computer and System Sciences*, 55(1): 119-139. https://doi.org/10.1006/jcss.1997.1504.

[28]. García-Ruiz, J.M.; Regüés, D.; Alvera, B.; Lana-Renault, N.; Serrano-Muela, P.; & NadalRomero, E. (2008). "Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees", *J. Hydrol*. 356, 245–260.

[29]. Gittleman, M.; Farmer, C.J.; Kremer, P.; & McPhearson, T. (2017). "Estimating stormwater runoff for community gardens in New York City", *Urban Ecosyst*. 20 (1), 129–139.

[30]. Gokceoglu, C.; Sonmez, H.; Nefeslioglu, H.A.; Duman, T.Y.; & Can, T. (2005). "The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity", *Eng. Geol*. 81, 65–83.

[31]. Hair, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; & Anderson, R.E. (2009). "Multivariate data analysis", Prentice Hall, New York.

[32]. Han, J.; Kamber, M.; & Jian, P. (2011). "Data mining: concepts and techniques", *Morgan Kaufmann*, Elsevier.

[33]. Haupt, L.R.; & Haupt, S.E. (2004), Practical Genetic Algorithms. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[34]. Holland, J.H. (1975). "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, Ann Arbor.
[35]. Hong, H.; Panahi, M.; Shirzadi, A.; Ma, T.; Liu, J.; Zhu, A.; Chen, W.; Kougias, I.; & Kazakis, N. (2018). "Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neurofuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution", *Sci. Total Environ*. 621, 1124–1141.
[36]. Hong, H.; Tsangaratos, P.; Ilia, I.; Liu, J.; Zhu, A.; & 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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.256.
[37]. Hühn, J.; & Hüllermeier, E. (2009). "FURIA: an algorithm for unordered fuzzy rule induction", *Data Mining and Knowledge Discovery*, 19(3): 293–319. https://doi.org/10.1007/s10618-009-0131-8.
[38]. Kavzoglu, T.; Sahin, E.K.; & Colkesen, I. (2015). "Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm", Engineering Geology, 192, 101–112. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.04.004.
[39]. Khosravi, K.; Nohani, E.; Maroufinia, E.; & Pourghasemi, H.R. (2016). "A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique", *Nat. Hazards*, 83 (2), 947–987.
[40]. Kourgialas, N.N.; Karatzas, & G.P. (2011). "Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study", *Hydrological Sciences Journal*, 56(2): 212–225. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836.
[41]. Kumar Rai, P.; Narayan Mishra, V.; & Mohan, K. (2017). "A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 7: 9-20. http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001.
[42]. Kwak, Y.; & Kondoh, A. (2008). "A Study on the Extraction of Multi-Factor Influencing Floods from Remote Sensing Images and GIS Data: A Case Study in Nackdong Basin, South Korea. Centre for Remote Sensing, Chiba", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing 2008.
[43]. Li, K.; Wu, S.; Dai, E.; & Xu, Z. (2012). "Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China", *Nat. Hazards*, 63, 737–760.
[44]. Mahmoud, S.H.; & Gan, T.Y. (2018). "Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East", *J. Clean. Prod*. 196, 216–229.
[45]. Menard, S. (2001). "Applied Logistic Regression Analysis", 2nd ed. Sage Publication, Thousand Oaks, CA, USA.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[46]. Miller, J.R.; Ritter, D.F.; Kochel, & R.C. (1990). "Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford upland, south-central Indiana. Am", *J. Sci*. 290, 569–599

[47]. Mitchell, M. (1996). "An Introduction to Genetic Algorithms", MIT Press, Cambridge, MA 9780585030944.

[48]. Ogden, F.L.; Raj Pradhan, N.; Downer, C.W.; & Zahner, J.A. (2011). "Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment", *Water Resour. Res*. 47 (12).

[49]. Pant, N.; Kumar Dubey, R.; Bhatt, A.; Prakash Rai, S.; Semwal, P.; & Mishra, S. (2020). "Soil erosion and food hazard zonation using morphometric and morphotectonic parameters in Upper Alaknanda river basin", *Natural Hazards*, 103, 3263–3301. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04129-y.

[50]. Pham, B.T.; Tien Bui, D.; Prakash, I.; Nguyen, L.H.; & Dholakia, M.B. (2017). "A comparative study of sequential minimal optimization-based support vector machines, vote feature intervals, and logistic regression in landslide susceptibility assessment using GIS", *Environ. Earth Sci*. 76, 371.

[51]. Pradhan, B. (2009). "Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing", *J. Spat. Hydrol*. 9, 1–18.

[52]. Rahmati, O.; Pourghasemi, H.R.; & Zeinivand, H. (2016). "Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran", *Geocarto Int*. 31 (1), 42–70.

[53]. Shit, P. K.; Bhunia, G. S.; & Pourghasemi, H. R. (2020). "Gully Erosion Susceptibility Mapping Based on Bayesian Weight of Evidence", In Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions (pp. 133-146). Springer, Cham.

[54]. Siahkamari, S.; Haghizadeh, A.; Zeinivand, H.; Tahmasebipour, N.; & Rhamti, O. (2018). "Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models", *Geocarto International*. 33 (9), 927–941.

[55]. Tehrany, M.S.; Pradhan, B.; & Jebur, M.N. (2013). "Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS", *J. Hydrol*. 504, 69–79.

[56]. Tehrany, M.S.; Pradhan, B.; Mansor, S.; & Ahmad, N. (2015). "Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types", *Catena*. 125, 91–101.

[57]. Termeh, S.V.R.; Kornejady, A.; Pourghasemi, H.R.; & Keesstra, S. (2018). "Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms", *Sci. Total Environ*, 615, 438–451.

[58]. Tien Bui, D.; Tsangaratos, P.; Thi Ngo, P. T.; Dat Pham, T.; & Thai Pham, B. (2019). "Flash flood susceptibility modeling using an optimized fuzzy rule based feature selection technique and tree based ensemble methods", *Science of the Total Environment*. 668, 1038–1054. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.422.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[59]. Towfiqul Islam, A.B.; Talukdar, S.; Mahato, S.; Kundu, S.; UddinEibek, K.; BaoPham, Q.; Kuriqi, A.; & ThuyLinh, N.T. (2021). "Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models", *Geoscience Frontiers*. 12(3): 101075. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006.

[60]. Trawinski, K.; Cordon, O.; & Quirin, A. (2011). "On designing fuzzy rule-based multiclassification systems by combining furia with bagging and feature selection", International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 19(4): 589–633. https://doi.org/10.1142/S0218488511007155.

[61]. USDA, S.C.S. (1986). "Urban hydrology for small watersheds", *Technical Release*. 55, pp. 2–6.

[62]. Yesilnacar, E, & Topla, T. (2005). "Landslide Susceptibility Mapping a Comparison of Logistic Regression and Neural Networks Methods in A Medium Scale (Turkey)", *Engineering Geology*. Vol. 79, Pp 251–266.

Archive of SID.ir