

صص: ۱۰۷-۱۲۵

ارزیابی و پتانسیل سنجی خطر وقوع سیل در شهر جناح با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان SVM

علی راستگو^۱

دانشجوی دکتری جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

عبدالرسول قنبری*

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

احمد انصاری لاری

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۳۰

چکیده

یکی از انواع فرآیندهای دامنه‌ای که هر ساله موجب آسیب‌های جانی و مالی فراوان در بسیاری از نقاط ایران و جهان می‌شود وقوع سیل است. شناسایی مناطق مستعد وقوع سیل از طریق پهنه‌بندی خطر، یکی از اقدام‌های مؤثر و ضروری در کاهش خطرهای احتمالی و مدیریت آن می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی وقوع سیل در شهر جناح واقع در استان هرمزگان، با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان است. به این منظور، نقشه DEM محدوده مورد مطالعه را تهیه و سپس اطلاعات را به صورت تصادفی به نسبت ۷۰ به ۳۰ برای ساخت مدل و اعتبار سنجی آن تقسیم شدند. اعتبار سنجی و صحت سنجی توسط نه عامل میزان شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، کاربری اراضی، انحنای طولی شیب، انحنای عرضی شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه و زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مدل SVM عملکرد خوبی جهت ارزیابی وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه دارد و نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی، کاهش خطرات وقوع سیل و تصمیم‌گیری در مناطق مستعد مفید واقع شود.

واژگان کلیدی: سیل، پهنه‌بندی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، شهر جناح.

مقدمه

سیلاب‌ها پدیده‌های طبیعی هستند که از جنبه‌های هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی اهمیت دارند (بنیتو، ۲۰۱۳: ۲۴۴). اصطلاح سیلاب در ابتدا به‌وسیله شورای تحقیقات ملی آمریکا مطرح شد و فقط به نوع خاصی از سیلاب که فقط بر روی مخروط افکنه‌ها رخ می‌دهد اطلاق می‌شود (وطن فدا، ۱۳۸۹). بیشتر سیلاب‌ها به علت رگبارهای شدید

^۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری آقای علی راستگو با عنوان "کاربرد مطالعات جغرافیایی در توسعه شهری با تأکید بر ژئومورفولوژی و اقلیم (مطالعه موردی شهر جناح)" بارهنمایی آقای دکتر عبدالرسول قنبری و مشاوره دکتر احمد انصاری لاری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان است.

تابستانی ایجاد می‌شوند (امیری صفاری و همکاران، ۱۳۹۰). این سیلاب‌ها با ویژگی‌های چون سرعت جریان بالا، مسیرهای جریانی مختلف و فرآیندهای بسیار فعال فرسایشی، حمل و رسوب‌گذاری همراه هستند (مقصودی و محمد نژاد، ۱۳۹۰: ۱۷۵). سیلاب‌ها با توجه به درجه اهمیت؛ توسط کارشناسان و مؤسسات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- سانتانگلو و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از آنالیز ژئومورفولوژیکی، مخروط‌های آبرفتی فعال را در جنوب ایتالیا شناسایی نموده و بر اساس مورفومتریک شیب کانال اصلی حوضه و طول کانال و هم‌چنین شواهد رسوب‌شناسی مورد بررسی قرار دادند. سانتو و همکاران (۲۰۱۵) وقوع سیلاب‌های ناگهانی را ماسیف مارزانو (آپتین جنوبی در ایتالیا) مورد مطالعه قرار دادند. لین و همکاران (۲۰۰۶) اقدام به پیش‌بینی جریان طولانی مدت رودخانه لان کانگ واقع در کشور چین با استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل سری زمانی ARMA کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان دارای دقت بالاتری بود. کائن و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مورفومتری حوضه، تصاویر هوایی، تهیه نقشه از لیدار و مدل‌سازی هیدرولیکی دو بعدی اثرات سیل و رسوب‌گذاری را در منطقه کاوساید تاسمانی بررسی کردند. نتیجه کار آن‌ها نشان می‌دهد که ترکیب مدل‌سازی هیدرولیکی و تحلیل‌های ژئومورفیک می‌تواند به‌عنوان ابزار مناسبی برای مدیریت خطر سیل در نظر گرفته می‌شود.

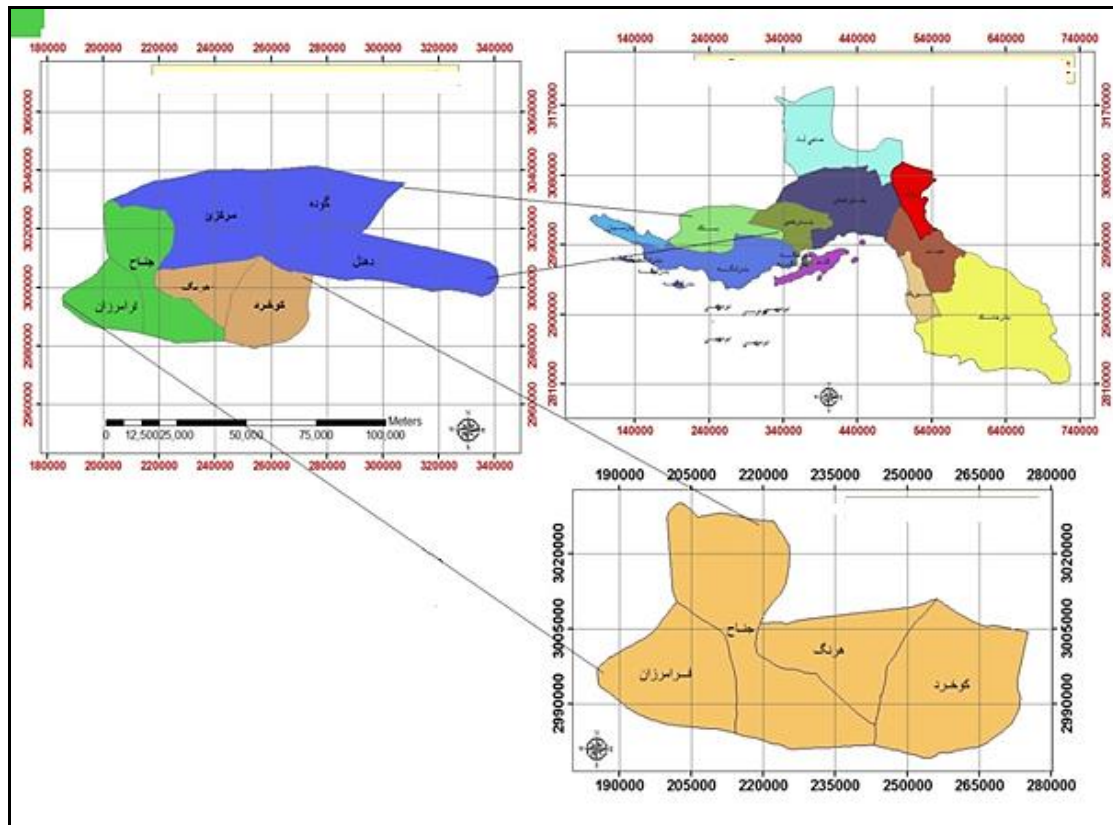
- بهرامی (۱۳۹۰) قسمت‌های فعال و غیرفعال در زاگرس چین‌خورده از نظر سیل‌خیزی مورد مطالعه قرار دادند. قهرودی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شهری مانند تهران با تغییرات زیاد سطح اجتماعی - اقتصادی و کیفی زندگی در نواحی مختلف و نیز تفاوت‌های ساختاری در بافت فیزیکی و کالبدی شهر، آسیب‌پذیری‌های جانی و خسارات مالی متفاوتی را در برابر سیلاب‌های شهری تجربه می‌کند. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) به مقایسه روش‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه باراندوزچای ارومیه پرداخته و روش SVM را به‌مراتب ساده‌تر از روش GP ارزیابی کرده است. دهقانی و همکاران (۱۳۹۴) به مقایسه و ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی و ماشین بردار ورگرسیون خطی در تخمین بده جریان در حوضه صوفی‌چای پراخته و نتیجه گرفته‌اند که شبکه عصبی مصنوعی بیزین بهترین تخمین را از داده‌های جریان رودخانه؛ داشته است. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از AHP پرداختند که نقشه ریز پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد که حدود ۳/۳۴ درصد از محدوده نقشه در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۹/۵۹ درصد در پهنه کم خطر از لحاظ سیل‌گیری قرار دارد. مطوف و همکاران (۱۳۹۵) ارزیابی خطر سیل ناشی از عوامل انسانی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی تهران به این نتیجه رسیدند که درصد قابل توجهی از مساحت تهران در پهنه احتمال وقوع سیل زیاد و بسیار زیاد قرار دارند. حاتمی نژاد و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چند معیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایذه پرداختند که نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب نشان داد که حدود ۴۳ درصد از شهرستان در پهنه خطر خیلی زیاد و ۳ / ۸ درصد خیلی کم از

لحاظ سیل‌گیری قرار دارد. طبق نقشه ارزیابی آسیب، بیشترین آسیب مربوط به مناطق شهر ایذه، سوسن شرقی و غربی و روستاهای دنباله رود جنوبی است. کریمی فیروزجانی (۱۳۹۷) به بررسی و پهنه‌بندی ریسک پذیری سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر استدلال شهودی دمپستر - شافر درحوزه آبخیز نکا پرداختند که بر اساس نتایج بدست آمده از بررسی طبقات مختلف ریسک پذیری زیر حوزه پایاب نکا و سراب نکا به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت مربوط به طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد را به خود اختصاص داده‌اند. حسام و همکاران (۱۳۹۸) به پتانسیل سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعه شهری ایمن شهر گنبد کاووس پرداختند که نتایج حاصل از نقشه حاصل از خطر پذیری شهرستان گنبد کاووس که با استفاده از ۹ پارامتر تعیین شد بیانگر قرار گیری این شهر در پهنه با پتانسیل خطر زیاد است که نتایج حاصل و اتفاقات سیل اخیر گنبد کاووس ناشی از ریسک بیرونی سیلاب است. تعداد زیادی از مناطق روستایی و شهری کشور ایران در مناطق کوهپایه قرار گرفته‌اند و بالقوه مورد تهدید خطر سیلاب هستند و لذا شناسایی مناطق پرخطر سیل در مقیاس‌های مختلف می‌تواند در مدیریت این مناطق کارساز باشد. این پژوهش با هدف تخمین سیلاب در شهر جناح استان هرمزگان و شناسایی مناطق بلقوه خطرناک از نظر سیل‌گیری و اولویت بندی آن‌ها جهت امور مدیریتی انجام شده است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر جناح با مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی؛ در ۱۵۰ کیلومتری جنوب لارستان و ۳۳ کیلومتری جنوب بستک هرمزگان قرار دارد. از نظر سیاسی جزء از شهرستان بستک هرمزگان است؛ که از شمال به بخش مرکزی، از جنوب به بخش شیبکوه، از شرق و جنوب شرق به شهرستان بندرلنگه، از غرب به پارسیان و از شمال غرب به استان فارس محدود می‌شود و با ارتفاع متوسط ۳۰۰ متر از سطح دریا در دشتی هموار قرار گرفته است (راستگو، ۱۳۹۰). جمعیت شهرجناح بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، حدود ۶۹۱۰ نفر بوده است (شکل ۱).

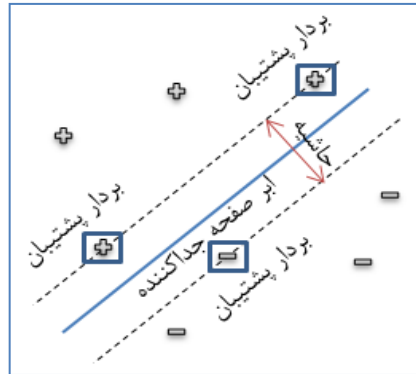


مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر جناح در استان و شهرستان

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM):

ماشین‌های بردار پشتیبان SVM یکی از روش‌های دسته‌بندی کننده دو کلاسه با یادگیری ناظر است که توسط واپینک (۲۰۰۰) توسعه یافت. می‌توان از SVM برای مسائل دسته‌بندی (که خروجی یک دسته است) یا مسائل رگرسیون (که خروجی یک مقدار عددی است) استفاده کرد. این روش، داده‌ها را با یافتن بهترین ابر صفحه‌هایی که تمامی داده‌های یک کلاس را از کلاس دیگر مجزا می‌کند؛ دسته‌بندی می‌کند. در واقع ایده اصلی ماشین بردار پشتیبان ترسیم ابر صفحه‌هایی در فضا است که عمل تمایز نمونه‌های مختلف داده را به‌طور بهینه انجام دهند. بهترین ابر صفحه، به معنای صفحه‌ای است که دارای بیشترین حاشیه از دو کلاس است. حاشیه به معنای ورقه‌ای است که بیشترین عرض موازات ابر صفحه جداکننده را داراست؛ به نحوی که درون آن هیچ داده‌ای واقع نشده باشد. بردارهای پشتیبان به نقاطی گفته می‌شود که دارای کمترین فاصله با ابر صفحه جدا کننده هستند. این نقاط روی مرز ورقه واقع شده‌اند نمودار یک بیانگر این تعریف است. داده‌های نشان داده شده با کاراکتر (+) و (-) به ترتیب مشخص کننده دسته یک و دسته منفی یک هستند. (شکل ۲). جزئیات روش SVM بطور کامل می‌توان در (Schol kopf and Smola (2002) و Schol kopf (1999) یافت.



شکل ۲: مفاهیم ماشین‌های بردار پشتیبان

مفاهیم ماشین‌های بردار پشتیبان

در ماشین بردار پشتیبان؛ بردارهای X_i برای $1 \leq i \leq N_x$ به‌عنوان ورودی؛ و بردارهای $y_i \in \{-1, 1\}$ به‌عنوان خروجی متناظر با آن در نظر گرفته می‌شوند (بنابر این مقدار y_i وقتی که X_i در کلاس یک واقع باشد؛ برابر یک؛ و وقتی که X_i در کلاس ۲ واقع باشد؛ برابر -۱ است). N_x تعداد نمونه‌ها است. $Q(X_i)$ به‌عنوان بردارهای تشابه در فضای ویژگی و $Q(X_i) \cdot Q(X_j) \cdot k(X_i, X_j)$ به‌عنوان تابع کرنل که دلالت بر ضرب داخلی در فضای ویژگی دارد؛ تعریف می‌شوند.

مساله بهینه‌سازی در SVM برای یک مساله حاشیه هموار نسبت به ξ_i ، $y_i(w \cdot x + b) = 1 - \xi_i$ به صورت رابطه (۱)

تعریف می‌شود (Vapnik, 2000):

$$\text{Min}_{w,b} = \{0.5 \|w\|^2 + C \sum \xi_i\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که w بردار نرمال ابر صفحه جداکننده در فضای ویژگی و $C > 0$ یک پارامتر تنظیم کننده است؛ که وظیفه کنترل کردن دسته بندی ناصحیح را برعهده دارد. با استفاده از لاگرانژین رابطه یک فرم دوگانه حاصل می‌شود (Vapnik, 2000):

$$W(a) = \max_a \{ \sum a_i - 0.5 \sum a_i a_j I_{y_j k}(x_i, x_j) \} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن $0 \leq a_i \leq C$ است. این یک مساله بهینه‌سازی درجه دوم است که می‌توان آن را به خوبی با الگوریتم‌هایی مثل بهینه‌سازی کمینه‌ترتیبی حل کرد (۹). در واقع حین بهینه‌سازی بسیاری از a_i ها به سمت صفر میل می‌کنند و X_i های باقی مانده متعلق به بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند. در اینجا برای سادگی فرض می‌کنیم تمامی داده‌های غیر بردار پشتیبان حذف شده‌اند. بنابر این اکنون N_x بیانگر تعداد بردارهای پشتیبان و برای تمامی i ها $a_i > 0$ است. در نتیجه؛ بردار نرمال صفحه جداکننده w به صورت رابطه (۳) می‌شود:

$$\sum a_i y_i x_i \quad W = \quad \text{رابطه (۳)}$$

چون $Q(X_i)$ به صورت ضمنی تعریف شد؛ w فقط در فضای ویژگی وجود دارد و نمی‌تواند به صورت مستقیم محاسبه شود. در عوض، دسته بندی $f(q)$ برای یک بردار نمونه جدید q فقط می‌تواند بوسیله محاسبه تابع کرنل q با هر بردار پشتیبان صورت گیرد (رابطه ۴).

$$\sum a_i y_i \cdot k(q, X_i) + d \quad f(q) = \text{Sign}[\quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه پارامتر d انحراف ابر صفحه در طول بردار نرمال خود است که در طی فرایند آموزش تعیین می‌شود. یکی از مراحل مهم در تعیین عملکرد ماشین بردار پشتیبان برای دست یابی به یک دسته بندی هرچه صحیح‌تر؛ انتخاب مناسب تابع کرنل است. این تابع با توجه به ماهیت داده‌های مورد مطالعه انتخاب می‌شود. لذا درک درست از داده‌ها می‌تواند به انتخاب صحیح تابع کرنل کمک کند. زمانی که کاربر شناخت کافی از داده‌ها نداشته و قادر به انتخاب مناسب تابع کرنل نباشد؛ استفاده از روش‌های خودکار مثل اعتبار سنجی متقابل و یا استفاده ترکیبی از دسته بندی کننده‌ها با کرنل‌های مختلف می‌تواند راهگشا باشد. SVM برای تفکیک داده‌های غیر خطی از کرنل‌های مختلف استفاده می‌کند. با استفاده از این کرنل‌ها، داده‌ها به فضایی با ابعاد بیشتر نگاشته می‌شوند تا بتوان آن‌ها را در این فضای جدید در SVM وجود دارد. توابع پایه‌ای شعاعی گوس و چند جمله‌ای‌ها دو تابع معروف و پرکاربر در SVM به شمار می‌آیند. کرنل‌های به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند. کرنل‌های خطی داده‌ها را در فضای اصلی به صورت خطی، و کرنل‌های غیرخطی داده‌ها را با استفاده از مرزهای غیرخطی می‌کنند. آموزش مدل با استفاده از کرنل‌های خطی سریعتر از کرنل‌های غیرخطی انجام می‌شود. همچنین استفاده از کرنل‌های غیر خطی احتمال بیش برآزش مدل‌های ایجاد شده را کاهش می‌دهد. کرنل گوسی یکی از محبوب‌ترین کرنل‌های مورد استفاده در SVM است که بینهایت مشتق پذیر بوده؛ در نتیجه می‌توان داده‌ها را به یک فضای ویژگی با ابعاد بینهایت نگاشته کرد. در این پژوهش از کرنل تابع شعاعی گوس (رابطه ۵) استفاده شده است (Taylor and Cristianini, 2004).

$$\text{RBF}(x,z) = \exp(-\gamma \|x-z\|^2) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه پارامتر γ مقدار مثبت بوده که کنترل کننده شعاع است. در صورتی که مقدار γ بزرگ انتخاب شود، مدل دچار بیش برآزش می‌شود.

در روش ماشین‌های بردار پشتیبان نیز همانند هر مدلی یادگیری با ناظر، ابتدا باید مدل را با استفاده از داده‌های آموزشی، آموزش داد. پس از آموزش می‌توان آن برای دسته بندی نمونه‌های جدید استفاده کرد. برای دست یابی به بهترین مدل (بالاترین دقت)، می‌توان از کرنل‌های مختلف استفاده کرد؛ و با انتخاب مناسب پارامترهای آنها دقت را افزایش داد. در این پژوهش براب بررسی عملکرد مدل‌های ماشین بردار پشتیبان ایجاد شده از معیارهای زیر استفاده شده است:

* **جزر میانگین مربعات خطا RMSE:**

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_i - \hat{X}_i)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه X_i داده‌های اندازه گیری شده (مقادیر واقعی)، \hat{X}_i داده‌های پیش‌بینی شده (خروجی‌های شبکه) و n تعداد داده‌هاست.

* ماتریس در هم ریختگی:

این ماتریس یکی از روش‌های رایج بررسی صحت عملکرد الگوریتم‌هایی است که از یادگیری نظارت شده استفاده می‌کنند. ماتریس در هم ریختگی یک ماتریس مربعی $N \times N$ است که N بیانگر تعداد کلاس‌ها است. در این ماتریس روی محور افقی کلاس‌های واقعی، و روی محور عمودی کلاس‌های تخمینی الگوریتم نشان داده می‌شود. اعداد روی قطر اصلی ماتریس نشان دهنده تعداد کلاس بندی‌های انجام شده به صورت صحیح است. لذا در صورتی که تمام اعداد قرار گرفته روی درایه‌های غیر قطر اصلی صفر باشند، الگوریتم دارای دقت حداکثر است

* دقت:

پارامتر دقت به صورت نسبت تعداد نمونه‌های کلاس بندی شده به صورت صحیح بر تعداد کل نمونه‌های مجموعه داده تعریف می‌شود.

* منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic)

ارزیابی عملکرد الگوریتم‌هایی است که از یادگیری نظارت شده و یادگیری بدون ناظر استفاده می‌کنند. در این نمودار هرچه نقاط به سمت بالا و چپ نزدیک تر باشد، مدل ایجاد شده دارای دقت بیشتری و به حالت ایده آل خود نزدیک تر است. مختصات نقطه‌ای (۰ و ۱) حالت ایده آل است. این نقطه بدین معنا است که خروجی‌های مدل با مقادیر واقعی تطابق کامل دارد. هرچه مساحت زیر نمودار منحنی‌های ROC بیشتر باشد، مدل ایجاد شده دارای عملکرد بهتری است.

روش و یافته‌های پژوهش

الگوریتم SVM تحت عنوان ماشین بردار توسط واپنیک بر پایه تئوری یادگیری آماری است که از حداقل ریسک ساختاری تبعیت می‌کند و برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس این نظریه یادگیری آماری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده به عنوان نرخ خطای تعمیم یافته در نظر گرفت (یائو و همکاران، ۲۰۰۸). این کران‌ها به عنوان تابعی از مجموعه نرخ خطاهای آموزش هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها را نشان می‌دهند. این الگوریتم در سال‌های اخیر توجه زیادی را به دلیل عملکرد خوب طبقه‌بندی و قابلیت تعمیم مناسب به خود جلب کرده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

انتخاب توابع مختلف کرنل در مدل SVM خیلی مهم است اگر چه توابع هسته‌ای $K(X_i, X_j)$ زیادی قبلاً پیشنهاد و

استفاده شده‌اند. تنها بعضی از آن‌ها برای کار در طیف گسترده‌ای از کاربردها مفید شناخته می‌شوند. آن‌هایی که این

مهارت‌ها را نشان می‌دهند عبارتند از:

$$K(X_i, X_j) = X_i^t \cdot X_j \quad \text{تابع خطی}$$

$$K(X_i, X_j) = (Y \cdot X_i^t \cdot X_j + r)^d, d > 0 \quad \text{تابع چند جمله‌ای}$$

$$K(X_i, X_j) = e^{-(\gamma \|X_i - X_j\|)^2}, \gamma > 0 \quad \text{تابع پایه شعاعی}$$

$$\text{Tan } h = (Y \cdot X_i^t \cdot X_i + r)$$

تابع حلقوی

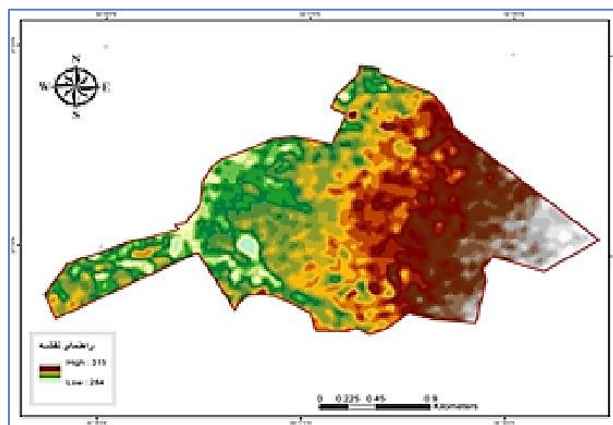
که r, y, d پارامترهای توابع هسته‌ای هستند و به صورت دستی وارد می‌شوند. در پژوهش حاضر کرنل پایه شعاعی از مدل ماشین پشتیبان بردار مورد استفاده شده است که مقادیر هر یک از فاکتورها با استفاده از ماشین‌های پشتیبان بردار محاسبه گردیده است (کاوازاگلو و همکاران، ۲۰۱۴).

مرحله اول ارزیابی و پتانسیل سنجی وقوع سیل جمع آوری همه اطلاعات قابل دسترس برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس این پژوهش و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه ده متغیر برای ارزیابی خطر وقوع سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه‌های عوامل مؤثر در وقوع پدیده سیلاب شامل نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه و زمین‌شناسی مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. از آنجایی که روش‌های کمی در پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب نتایج مطمئن‌تری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهند، لذا استفاده از این روش‌ها از اعتبار علمی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند. لذا در پژوهش حاضر جهت ارزیابی خطر وقوع سیلاب با مدل ماشین پشتیبان بردار، لایه‌های تهیه شده توسط نرم افزار ARC GIS ترسیم شدند و جهت تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده گردید و در نهایت نقشه نهایی خطر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه ترسیم شد.

عوامل مؤثر بر وقوع سیل

ارتفاع از سطح دریا

نقشه ارتفاع محدوده منطقه مورد مطالعه حوضه نسبت به سطح دریا نشان دهنده موقعیت اقلیمی آن حوضه است و ارتفاع متوسط حوضه نقش مهمی در پراکنش بارندگی و همچنین وضعیت کمی و کیفی پوشش گیاهی حوضه داشته و از این طریق می‌توان بر مقدار رواناب حاصل مؤثر واقع شد. با استفاده از تحلیل‌های GIS ارتفاع متوسط نقشه ارتفاعی برابر ۳۰۰ متر می‌باشد و همچنین حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه مورد نظر از ۲۸۴ متر شروع تا ۳۱۵ متر می‌باشد (شکل ۳).



مآخذ: نگارندگان

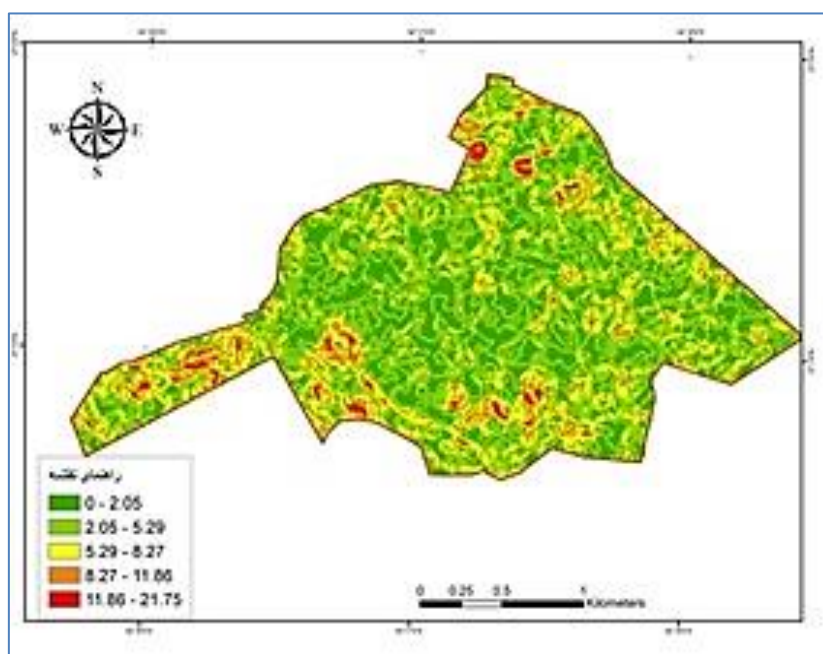
شکل ۳: نقشه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

درجه شیب

درجه شیب یک پارامتر کنترل کننده ضروری در ارزیابی پایداری شیب است به طور کلی با افزایش زاویه شیب، خطر سیل نیز افزایش می‌یابد و انتظار می‌رود میزان وقوع سیل در دامنه‌های پرشیب بیشتر از دامنه‌های با شیب ملایم باشد. نقشه شیب در محیط Arc Map، از روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در ۵ طبقه برای منطقه مطالعاتی ترسیم گردید. توزیع پراکنش بر روی نقشه شیب منطقه مطالعاتی نشان دهنده آن است که کلاس ۰ - ۲,۰۵ درجه با بیشترین مساحت، ۲۰۹ هکتار در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. (شکل ۴).

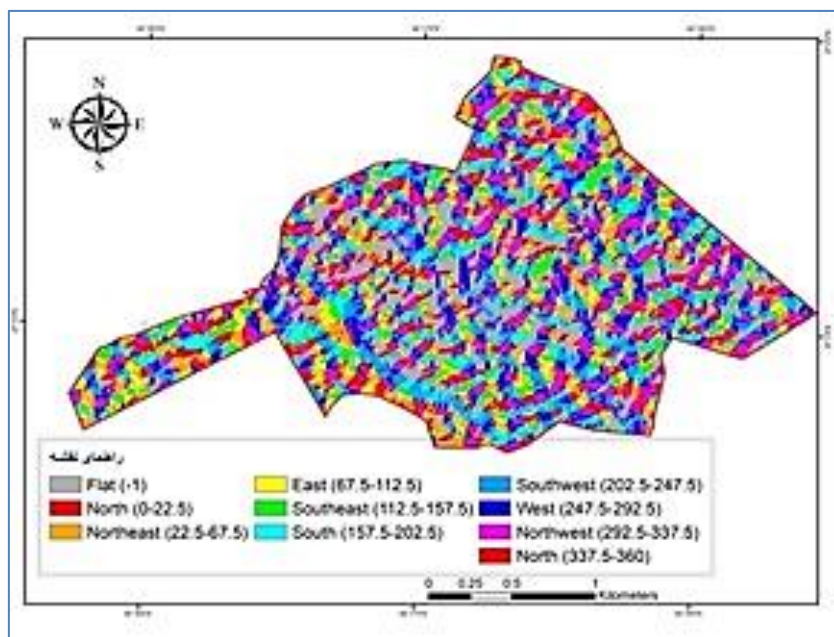
جهت شیب

حداکثر جهت شیب از سطح زمین با توجه به شمال جهت شیب نامیده می‌شود. اثرات جهت شیب در بی ثباتی شیب از طریق تأثیر در روند هیدرولوژیکی از طریق تبخیر و تعرق، تأثیر بر روند هوازدگی، پوشش گیاهی و رشد ریشه می‌باشد. شکل (۵) جهت شیب با استفاده از Arc GIS از روی مدل رقومی ارتفاعی در ۱۰ کلاس ترسیم شده است. بررسی‌ها نشان دهنده آن است که به ترتیب جهات مسطح (۰-)، شمالی (۲۲/۵ - ۰)، شمال شرقی (۶۷/۵ - ۲۲/۵)، شرقی (۱۱۲/۵ - ۶۷/۵)، جنوب شرقی (۱۵۷/۵ - ۱۱۲/۵)، جنوبی (۲۰۲/۵ - ۱۵۷/۵)، جنوب غربی (۲۴۷/۵ - ۲۰۲/۵)، غربی (۲۹۲/۵ - ۲۴۷/۵)، شمال غربی (۳۳۷/۵ - ۲۹۲/۵) می‌باشد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



مآخذ: نگارندگان

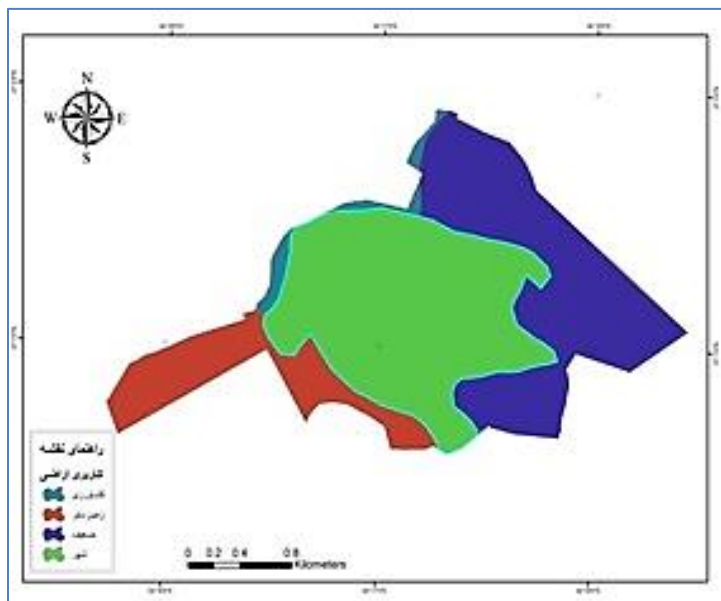
شکل ۵: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

کاربری اراضی

کاربری اراضی به عنوان یک عامل مهم در ارزیابی حساسیت زمین در نظر گرفته می‌شود. این عامل ویژگی‌های زمین را تحت تأثیر قرار داده و سبب رفتار آن می‌شود. در این پژوهش لایه کاربری اراضی با توجه به نقشه‌های قابلیت اراضی تحقیقات منابع آب و خاک، اطلاعات سازمان جنگلها و مراتع کشور و مطالعات میدانی در ۴ کلاس طبقه‌بندی شد. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که کلاس شهر، بیشترین پتانسیل سیل را دارا می‌باشد و مساحت کلاس شهر ۲۳۵ هکتار می‌باشد (شکل ۶).

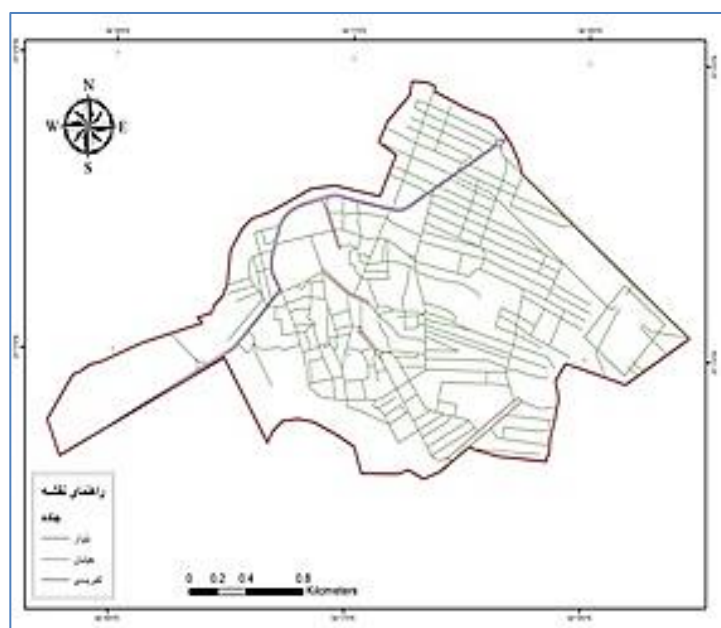
فاصله از جاده

این عامل نیز یکی از عوامل تاثیرگذار در ارزیابی خطر سیل در نظر گرفته شده است چنانچه ساخت و سازهای جاده‌ای در نزدیکی دامنه ممکن است شرایط شیبی را که قبل از شروع ساخت و ساز متعادل بوده کاملاً تغییر دهد (یالسن، ۲۰۰۸، ۶). این لایه در پژوهش حاضر در سه کلاس تقسیم شده است (شکل ۷).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



مآخذ: نگارندگان

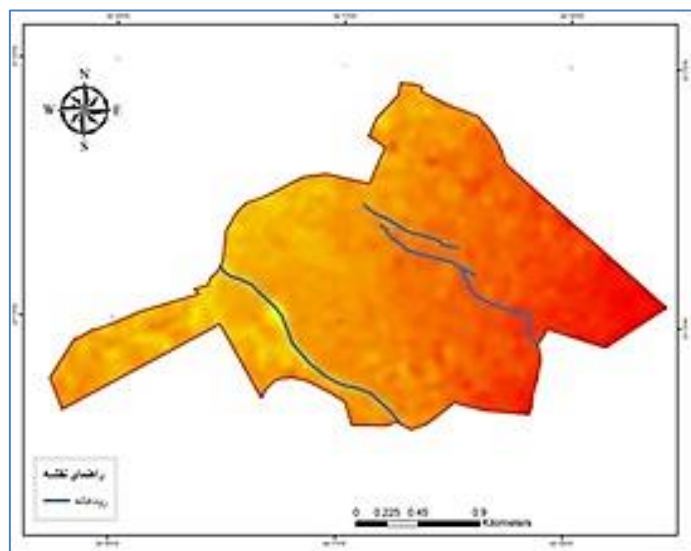
شکل ۷: نقشه فاصله از جاده منطقه مورد مطالعه

فاصله از آبراهه

این عامل به عنوان یکی از عوامل مهم در ارزیابی خطر سیل بسیار حائز اهمیت است. آبهای جاری می‌تواند از طریق فرسایش یا اشباع مواد در پای دامنه، شکست‌های شیب را تحت تأثیر قرار دهد. در واقع به عنوان یک اصل شناخته شده با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها پتانسیل وقوع سیل کاهش می‌یابد. در این پژوهش شکل (۸) فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

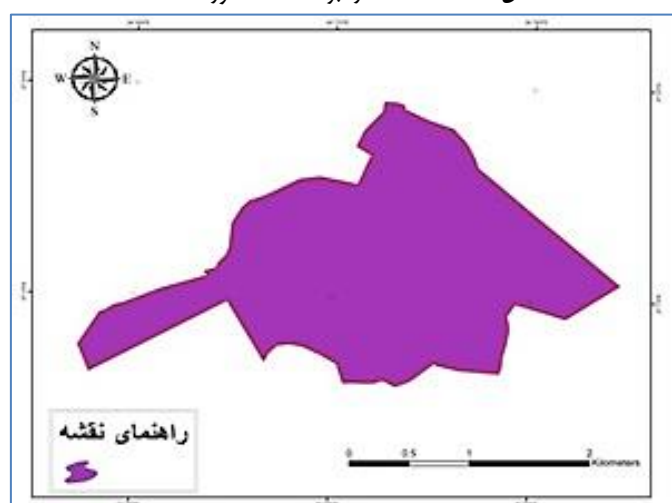
زمین‌شناسی

با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در بخش انتهایی زاگرس، فعالیت‌های تکتونیکی، چین‌خوردگی‌های آرامی را در منطقه پدید آورده است. تنها به هم ریختگی‌های موضعی در بعضی نقاط به چشم می‌خورد که نتیجه فعالیت‌های گنبد‌های نمکی، گسل‌های موضعی و ادامه فشارهای ناشی از صفحه عربستان است. لذا ساختمان‌های زمین‌شناسی منطقه حالت کلاسیک خود را حفظ کرده‌اند. آنتی‌کلینال‌هایی با ارتفاع متوسط ۱۰۰۰ متر و عمدتاً نامتقارن با محور شمال غربی، جنوب شرقی و یا سطح محوری که معمولاً قائم است وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد، نشانه جوان بودن منطقه از نظر فعالیت تکتونیکی است. طبق نقشه‌های موجود محدوده مورد مطالعه کل محدوده دارای یک نوع از زمین‌شناسی QF می‌باشد (شکل ۹).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه



مأخذ: نگارندگان

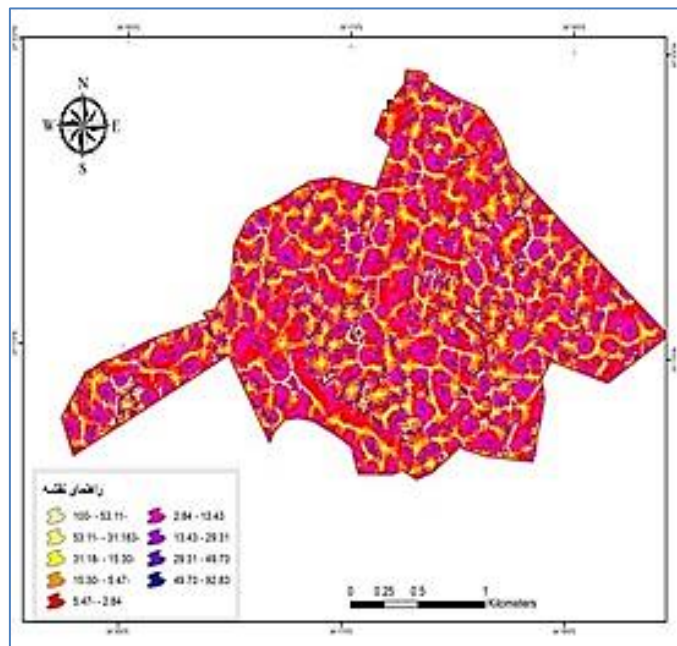
شکل ۹: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

انحنای طولی شیب

انحنای طولی شیب بیانگر تغییرات جهت در طول یک منحنی می‌باشد و نشان‌دهنده واگرایی و همگرایی توپوگرافیکی است. نقشه انحنای طولی شیب از DEM منطقه استخراج و در ۹ طبقه، کلاس اول با ۱۰۰- الی ۵۳/۱۱، کلاس دوم ۵۳/۱۱- الی ۳۱/۱۸، کلاس سوم ۳۱/۱۸- الی ۱۵/۳۰، کلاس چهارم ۱۵/۳۰- الی ۵/۴۷، کلاس پنجم ۵/۴۷- الی ۲/۸۴، کلاس ششم ۲/۸۴- الی ۱۳/۴۳، کلاس هفتم ۱۳/۴۳- الی ۲۹/۳۱، کلاس هشتم ۲۹/۳۱- الی ۴۹/۷۳، کلاس نهم ۴۹/۷۳- الی ۹۲/۸۳ می‌باشد (شکل ۱۰).

انحنای عرضی شیب

پروفیل شیب معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است، انحنای عرضی شیب، یک فاکتور مهم و نشان‌دهنده شدت جریان آب و فرآیندهای حمل خاک است. چنانچه ارزش‌های مثبت در انحنای عرضی شیب نشانگر تقعر بودن و ارزش‌های منفی نشانگر محدب بودن می‌باشد نقشه انحنای شیب عرضی از نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه استخراج شده و ارزش‌های این فاکتور از ۰/۰۱۹- الی ۰/۰۱۰+ که در ۵ کلاس طبقه شده است (شکل ۱۱).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: نقشه انحنای طولی شیب منطقه



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۱: نقشه انحنای عرضی شیب منطقه

تعیین قابلیت پیش‌بینی عوامل مؤثر بر وقوع سیل منطقه مورد مطالعه

ارزیابی خطر سیل بر اساس عوامل مؤثر در آن است. جهت تعیین توانایی پیش‌بینی عوامل مؤثر بر وقوع سیل روش‌های متعددی وجود دارد از جمله Chi-squares در پژوهش حاضر از شاخص Information Gain Ratio (IGR) جهت تشخیص قابلیت پیش‌بینی کمی عوامل مؤثر استفاده شد. مقادیر IGR بالاتر نشان‌دهنده توانایی پیش‌بینی بالاتر آن عامل مؤثر برای مدل‌سازی است. جهت شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل در منطقه مطالعاتی، از بین هشت عامل مؤثر به کار رفته از آزمون IGR استفاده شده است.

اگر F داده‌های آموزشی با n نمونه ورودی و (M_i, f) تعداد نمونه‌ها در داده‌های آموزشی F متعلق به کلاس M_i

باشد در این صورت در رابطه زیر داریم:

$$\text{Info}(F) = - \sum_{i=1}^2 \frac{n(M_i, F)}{|F|} \log_2 \frac{n(M_i, F)}{|F|}$$

با توجه به عوامل مؤثر بر وقوع سیل مقدار اطلاعات مورد نیاز برای تقسیم F به مجموعه F_1, F_2, \dots, F_m از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$\text{Info}(F, E) = \sum_{j=1}^m \frac{F_j}{|F|} \text{Info}(F)$$

شاخص IGR برای یک عامل مؤثر خاص مثل عامل S (مثال: شیب) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Information Gain Ratio}(F, S) = \frac{\text{Info}(F) - \text{Info}(F, S)}{\text{Split Info}(F, S)}$$

که در آن Split info نشان دهنده اطلاعات تولید شده توسط تقسیم F داده‌های آموزشی به L زیر مجموعه است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{SplitInfo}(F, E) = \sum_{j=1}^l \frac{F_j}{|F|} \log_2 \frac{F_j}{|F|}$$

شاخص IGR برای نه عامل مؤثر انتخاب شده برای وقوع سیل سطحی منطقه مورد مطالعه جهت ارزیابی توانایی پیش‌بینی مدل آمده است. این نتایج بیانگر آن است که بیشترین مقادیر به ترتیب انحنای طولی شیب، ارتفاع از سطح دریا، انحنای عرضی شیب، کاربری اراضی، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی اختصاص یافته‌اند.

جدول ۱: تعیین مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه

عوامل مؤثر	میانگین IGR
درجه شیب	۰/۰۳۶
انحنای طولی شیب	۰/۰۳۱
ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۳
انحنای عرضی شیب	۰/۰۲۵
کاربری اراضی	۰/۰۲۱
جهت شیب	۰/۰۱۲
فاصله از جاده	۰/۰۰۵
فاصله از رودخانه	۰/۰۰۲
زمین‌شناسی	۰/۰۰۱

مأخذ: نگارندگان

عملکرد مدل‌ها و اعتبار سنجی آن‌ها بر اساس داده‌های تعلیمی و داده‌های صحت سنجی ارزیابی عملکرد مدل ماشین بردار پشتیبان جهت پیش‌بینی حساسیت سیل در منطقه مطالعاتی توسط معیارهای Sensitivity، Specificity، Accuracy مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس در مدلی که مقادیر معیارهای Sensitivity، Specificity، Accuracy به سمت یک تمایل داشته باشند مدل مناسبی شناخته می‌شود.

جدول ۲: شرح معیارهای آماری بکار رفته بر اساس الگوریتم SVM در منطقه مورد مطالعه

True Positive	-	مقادیری که به درستی به عنوان سیل طبقه‌بندی شده‌اند
True Negative	-	مقادیری که عدم درستی به عنوان سیل طبقه‌بندی شده‌اند
False Positive	-	مقادیری که به اشتباه طبقه شده‌اند
False Negative	-	مقادیری که به اشتباه عدم حضور طبقه‌بندی شده‌اند
Sensitivity	$SST = \frac{TP}{TP + FN}$	حساسیت: مقادیر به درستی شناسایی شده‌اند و بیانگر قابلیت پیش‌بینی خوب مدل است
Specificity	$SPF = \frac{TN}{FP + TN}$	شفافیت: درستی مقادیری که طبقه‌بندی شده‌اند و بیانگر قابلیت پیش‌بینی خوب برای مقادیر نادرست است.
Accuracy	$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP}$	صحت: نسبت مقادیر درست و اشتباه که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و بیانگر چگونگی عملکرد خوب مدل است

مأخذ: نگارندگان

ارزیابی صحت نقشه‌های پیش‌بینی مکانی خطر سیل سطحی در منطقه مورد مطالعه

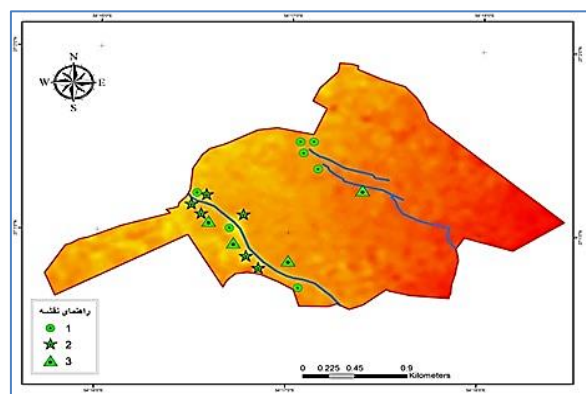
اعتبارسنجی یک بخش ضروری از خطر سیل به شمار می‌رود و نقشه‌ها بدون اعتبار سنجی فاقد ارزش می‌باشند. در پژوهش حاضر ارزیابی خطر با داده‌های تعلیمی و صحت سنجی با استفاده از شاخص‌های نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است.

جدول ۳: ارزیابی مدل‌سازی داده‌های تعلیمی و صحت سنجی با استفاده از الگوریتم SVM

شاخص	داده‌های تعلیمی	داده‌های صحت سنجی
True Positive	۳۳	۱۳
True Negative	۲۷	۱۳
False Positive	۵	۶
False Negative	۵	۵
Sensitivity(%)	۰/۷۸	۰/۶۷
Specificity(%)	۰/۷۹	۰/۶۸
Accuracy(%)	۰/۷۸	۰/۶۷

مأخذ: نگارندگان

در حال حاضر قابلیت پیش‌بینی خطر سیل منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. در موضوع صحت سنجی استفاده می‌گردد. وقوع سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات محتمل در مناطق است و متغیرهای مختلفی در تأثیرگذاری آن نقش دارند. هدف این پژوهش شناسایی مکان‌های تحت تأثیر سیل در شهر جناح است که برای رسیدن به آن از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شده است در محدوده مورد مطالعه مناطقی که احتمال خطر آب‌گرفتگی یا سیل را دارد مشخص شده است. با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان با در نظر گرفتن متغیرهای تأثیرگذار، می‌توان خطر سیل را پیش‌بینی کرد و مناطق خطر را نشان داد که منطقه خطر با کدهای ۱، ۲، ۳ علامت‌گذاری شده است و در هر منطقه که کد پایین‌تر باشد خطر وقوع سیل در آنجا بیشتر می‌باشد و در صورت ضرورت به مطالعات ژئومورفولوژیکی تفصیلی و مطالعات میدانی دقیق‌تر نیاز خواهد بود. (شکل ۱۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۲: نقشه نهایی ماشین بردار پشتیبان منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع سیل موجود در یک منطقه و پهنه‌بندی خطر آن یکی از فاکتورهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه مؤثر می‌باشد. ارزیابی خطر سیل یک فرایند پیچیده و چند مرحله‌ای است که توسط بسیاری از پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است و تا به امروز روش‌های مختلفی جهت برآورد خطر پدیده سیل و عملکرد آن‌ها بر اساس اندازه‌گیری‌های مختلف آماری مطرح شده است. در این پژوهش روش SVM جهت ارزیابی خطر وقوع سیل در شهر جناح از توابع استان هرمزگان مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش با استفاده از نه فاکتور شامل درجه شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که شهر جناح با توجه به شرایط زمین‌شناسی و میزان بارش و دامنه‌های ناپایدار تحت تأثیر فعالیت‌های ژئومورفولوژیکی و آب و هوایی متعدد است و عوامل انسانی نیز در تشدید ناپایداری و حرکت‌های توده‌ای (مانند جاده‌سازی و از بین بردن تکیه‌گاه) نقش دارند، نتایج بررسی مهم‌ترین عوامل اثرگذاری از میان هشت پارامتر عامل مؤثر شناخته شده بر روی وقوع سیل منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل SVM و مشاهده نقشه‌های دیگر الگوریتم نشان می‌دهد که عامل درجه شیب و انحنای طولی شیب بیشترین تأثیر را در وقوع سیل منطقه مطالعاتی داشته است، همچنین سیل بیشتر در مناطق کاربری اراضی و جاهایی که دامنه‌ها نزدیک به محل اتصال آبراهه‌ها واقع می‌گردد اتفاق می‌افتد. شاید دلیل این امر حرکت آب‌های زیرسطحی از طرف آبراهه‌ها به سمت دامنه‌های اطراف و ایجاد یک جبهه رطوبتی و کاهش مقاومت خاک در این ناحیه باشد که وقوع سیل با عمق کمتر را فراهم آورده است.

پیشنهادها

- وضع قوانین و اجرای آن برای جلوگیری از ساخت و ساز در حریم رودخانه و مسیل؛
- وضع قوانین و اجرای آن برای انتقال مراکز قابل جابجایی به مکان‌های امن؛
- تبیین سیاست‌های تنبیه و تشویقی برای جابه‌جایی مراکز به نقاط امن؛
- کاشت گیاهان دوره‌ای برای تثبیت خاک در زمین‌های زراعی در حریم رودخانه؛
- استفاده از استانداردهای کشاورزی، ایجاد بستر خاکی مقاوم و با قابلیت نفوذ بسیار بالای آب و کنترل فرسایش خاک در زمین‌های زراعی حریم رودخانه نقاط روستایی که با فرسایش بالای خاک مواجه می‌باشند؛
- در محدوده مورد مطالعه به دلیل عدم اطلاعات دقیق از نوع خاک و نوع زمین‌شناسی پیشنهاد می‌شود که نمونه‌برداری از خاک و از کارشناس زمین‌شناسی در این مورد استفاده شود تا اطلاعات درست و دقیق تهیه شود تا در نتیجه از صحت آن مطمئن شد و از مدل‌های دیگر مانند تاپ سیس، AHP و ... استفاده شود و نتیجه را با مدل SVM مقایسه کرد.

منابع

- ۱- احمدی، فرشاد. رادمنش، فریدون. میر عباسی نجف‌آبادی، رسول (۱۳۹۳): مقایسه روش‌های برنامه‌ریزی در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه. نشریه آب‌و‌خاک دانشگاه فردوسی مشهد. جلد ۲۸- شماره ۶
- ۲- بهرامی، شهرام و کاظم بهرامی (۱۳۹۰): ارزیابی تکنیک‌های ژئومورفولوژی جهت شناسایی مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید به منظور تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی در چهار مخروط افکنه در زاگرس چین‌خورده، جغرافیا و توسعه، دوره ۹ شماره ۲۲، صص ۱۰۶-۸۹. ۳.
- ۳- حاتمی نژاد، ح. آتش‌افروز، ن. آروین، م (۱۳۹۶): پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چند معیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایذه، فصل‌نامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۷، شماره ۲، صص ۵۷-۴۴.
- ۴- حسام، ر. ضرابی، ا. تقوایی، م (۱۳۹۸): پتانسیل سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعه شهری ایمن شهر گنبد کاووس، فصلنامه مدیریت مخاطرات طبیعی، دوره ۶، شماره ۱، صص ۳۲.
- ۵- دهقانی، رضا. قربانی، محمدعلی. تشنه لب، محمد. ریخته‌گر، امیر. اسدی، اسماعیل. (۱۳۹۴): مقایسه و ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی بیزین، برنامه‌ریزی بیان ژن، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون خطی در تخمین بده جریان. فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال پنجم. شماره ۲۰.
- ۶- راستگو، علی (۱۳۹۰) نقش اقلیم در بیابان‌زایی منطقه جناح، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد لارستان، استاد راهنما دکتر پرویز کردوانی.
- ۷- صفاری، ا. ساسان پور، ف. موسی وند، ج (۱۳۹۰): ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی منطقه ۳ تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۲۰، صص ۱۵۰-۱۲۹.
- ۸- قهرودی تالی، م (۱۳۹۱): ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران. فصلنامه علمی امداد و نجات. سال چهارم. شماره ۳.
- ۹- کریمی فیروز جانی، م. نیسانی سامانی، ن (۱۳۹۷): پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل با استفاده از روس تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر استدلال شهودی دمپستر - شافر در حوزه آبخیز نکا، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۱، صص ۱۹۴-۷۷.
- ۱۰- محمود زاده، حسن. امامی کیا، وحید. رسولی، علی‌اکبر (۱۳۹۴): ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از AHP، فصل‌نامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، جلد ۳۰، شماره ۱، صص ۱۸۰-۱۶۷.
- ۱۱- مطوف، شریف. مهدی پور، هاله. اصلانی، فرشته (۱۳۹۴): ارزیابی خطر سیل ناشی از عوامل انسانی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مورد استان تهران، پژوهش‌های منظر شهر، سال دوم، شماره ۴، صص ۹۵-۶۹.
- ۱۲- مقصودی، مهران؛ یمانی، مجتبی؛ محمدرضا و وحید محمد نژاد (۱۳۹۰): شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط افکنه‌های شمال دامغان، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی (پژوهش جغرافیایی)، دوره ۴۴، شماره ۲، صص ۱۸-۱.
- ۱۳- وطن فدا، ج (۱۳۸۹): مدیریت ریسک سیلاب شهری، انتشارات وزارت نیرو.
- ۱۴- یمانی، م. مقامی مقیم، عرب عامری، ع، (شیرانی، کوروش ۱۳۹۶): ارائه مدل ترکیبی نوین به‌منظور افزایش دقت تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با تأکید بر مدل رگرسیون وزنی (مطالعه موردی حوضه دز علیا اصفهان) پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم شماره ۴، صص ۴۰-۱۵.

15- Benito, G. (2013), Hazardous Processes: Flooding, Treatise On Geomorphology, No.13, PP. 243-261.

16- Kain, C.L. Rigby, E.H. And Mazengarb, C. (2018): A Combined Morphometric, Sedimentary, GIS And Modelling Analysis Of Flooding And Debris Flow Hazard On A Composite Alluvial Fan, Caveside, Tasmania, Sedimentary Geology, Vol. 64, PP. 286-301.

- 17- Kavzoglu, T. Sahin, E.K. Colkesen, I. (2014): Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis, Support Vector Machines, And Logistic Regression. *Landslides* 11 (3), 425e439.
- 18- Lin, J.Y. C.T. Cheng And K.W. Chau. (2006): Using Support Vector Machines For Long Term Discharge Prediction. *Hydrological Sciences Journal*, 51(4): 599–612
- 19- Santangelo, N. And Santo, A. (2011), Multiscale Map Analysis In Alluvial Fan Flood-Prone Areas, *Journal Of Maps*, Vol. 12, No. 2, PP. 382–393.
- 20- Santo, A. Santangelo, N. Crescenzo, G.D. Scorpio, V. Falco, M.D. And Chirico, G.B. (2015): Flash Hood Occurrence And Magnitude Assessment In An Alluvial Fan Context: The October 2011 Event In The Southern Apennines, *Natural Hazards*, DOI 10.1007/S11069-015-17284.
- 21- Scholkopf, B. Mika, C.J. Burges, C. Knirsch, RR. And Muier, KG. (1999): "Input Space Versus Feature Space In Kernel –Baswd Methods", *IEEE Trans Neural Network*, 10(5):1000-1017.
- 22 Scholkopf, B. Burges, C. And Smola, Aj. (2002): "Learning With Kernels". Cambridge, MA: The MIT Press.
- 23- Taylor, SJ. And Cristianini, N. (2004): "Kernel Methods For Pattern Analysis", Cambridge University
- 24- Vapnik, VN. (2000): "The Nature Of Statistical Learning Theory", 2nd Ed. NY (USA): Springer- Verlag; 2000, P. 131.
- 25- Yalcin, A. 2008. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process And Bivariate Statistics In Ardesen (Turkey): Comparisons Of Results And Confirmations, V. 72, P.1-15
- 26- Yao A, X. L.G. Tham B, F.C. Dai, (2008): Landslide Susceptibility Mapping Based On Support Vector Machine: A Case Study On Natural Slopes Of Hong Kong, China, *Geomorphology* 101,572–582.