Archive of SID.ir

Vol.12, No.1, Spring 2023, pp.1-24 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.74170.1141 Open access

# Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost)

**Tohid Rahimpour[a*], Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam[b], S. Asedolah Hejazi[b], Khalil Valizadeh Kamran[d]**

[a] *PhD in Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[b] *Professor in Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[c] *Associate Professor in Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[d] *Professor in RS and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

***Received: 13 December 2021*** ***Revised: 19 February 2022*** ***Accepted: 27 February 2022***

## Abstract

In the beginning of spring, floods are the most important geomorphic hazards in Iran, destructing propertiesas and human lives. Aland Chai basin, located in Khoy County (northwest Iran), is also known as one of the basins with high potential for flood hazard due to its special geographical situation. This study tried to model spatial variation in flood hazard susceptibility in this basin using the ensemble model, FURIA-GA-LogitBoost. For this purpose, 13 effective parameters of flooding including lithology, soil hydrological groups, NDVI, land use, slope, aspect, elevation, distance to the river, river density, precipitation, topographic wetness index, stream power index, and sediment transport index were used. WEKA software was used to implement the research model and the final flood hazard susceptibility map was prepared. The study found that downstream areas of the basin have a high flood hazard susceptibility. These areas contain the most important human settlements (Khoy city) and agricultural lands and flood as a geomorphic hazard can seriously damage them. Considering the ROC curve and area under the curve (AUC), it was found that the FURIA-GA-LogitBoost model performed well in the preparation of flood hazard susceptibility map with coefficients of 0.861 and 0.895, respectively, in training and validation data.

**Keywords**: Flood, FURIA, Genetic Algorithm, LogitBoost Model, Aland Chai Basin

[*] Corresponding author: Tohid Rahimpour E-mail: Rahimpour1990@gmail.com Tel: + 989362849982

**How to cite this Article:** Rahimpour, T., Rezaei Moghaddam, M. H., Hejazi, S. A., & Valizadeh Kamran, K. (2023). Flood susceptibility modeling in the Aland Chai Basin based on a new ensemble classification approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(1), 1-24.
**DOI:10.22067/geoeh.2022.74170.1141**

Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards
**Volume 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141

**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۴-۱**

**مقاله پژوهشی**

# مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost)

توحید رحیم‌پور[1] – دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمدحسین رضائی مقدم – استاد گروه ژئوموفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
سید اسداله حجازی – دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
خلیل ولیزاده کامران – استاد گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۸**

## چکیده

با شروع فصل بهار سیلاب‌ها به عنوان مهم‌ترین مخاطره ژئومورفیک در سطح کشور مطرح می‌شوند که خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند. حوضه آبریز الندچای واقع در شهرستان خوی و شمال غرب کشور نیز به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی جزو حوضه‌های با پتانسیل بالای خطر وقوع سیل شناخته می‌شود. هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیل در این حوضه با استفاده از مدل ترکیبی نوین FURIA-GA-LogitBoost می‌باشد. به همین منظور از ۱۳ پارامتر مؤثر در وقوع سیل شامل لیتولوژی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب استفاده شده است. جهت اجرای مدل تحقیق از نرم‌افزار WEKA استفاده شده و نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل تهیه گردید. یافته‌های پژوهش نشان

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۶۲۸۴۹۹۸۲
Email: Rahimpour1990@gmail.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

رحیم پور، توحید؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل. ۱۴۰۲. مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۱). صص ۲۴-۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



می‌دهد مناطق پایین‌دست حوضه حساسیت بالایی را از نظر خطر وقوع سیل دارند. این مناطق محل تمرکز مهم‌ترین اجتماعات انسانی حوضه آبریز (شهر خوی) و زمین‌های کشاورزی و باغات است که سیلاب به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک، تهدید جدی برای این مناطق محسوب می‌شود. بررسی میزان دقت نقشه نهایی با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که مدل به کار رفته در تحقیق به ترتیب با ضرایب ۰/۸۶۱ و ۰/۸۹۵ از نظر داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی از عملکرد خوبی در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل برخوردار بوده است.

**کلیدواژه‌ها:** سیلاب، FURIA، الگوریتم ژنتیک، مدل LogitBoost، حوضه آبریز الندچای.

**۱- مقدمه**

ارائه تعریفی از سیل با توجه به ماهیت پیچیده آن، کار دشواری است و به همین دلیل تعاریف مختلفی از این پدیده ارائه شده است. چارلتون[1] در کتاب خود تحت عنوان *مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای* تعریف خود از سیل را به این صورت بیان می‌کند؛ سیل عبارت است از جریان نسبتاً زیادی که بیش از ظرفیت کانال رودخانه است. درحالی‌که جریان‌های عادی درون کانال اتفاق می‌افتند، جریان‌های تند دوره‌ای از سواحل کانال جریان می‌گذرند و روی دشت‌های سیلابی اطراف جریان پیدا می‌کنند (ثقفی و رضائی‌مقدم، ۱۳۹۶). در سرتاسر جهان، بیش از یک‌سوم سطح زمین در معرض سیلاب‌ها قرار دارد، جایی که بیش از ۷۰ درصد از جمعیت در آن سکونت دارند (آکسوی و همکاران[2]، ۲۰۱۶). به‌طورکلی سیلاب‌ها بر اساس وقوعشان به ٤ نوع طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: سیلاب‌های ناگهانی، سیلاب‌های رودخانه‌ای، سیلاب‌های ساحلی و سیلاب‌های شهری (تین بوی و همکاران[3]، ۲۰۱۹؛ کاستاچ و همکاران[4]، ۲۰۲۰). در این طبقه‌بندی سیل‌های ناگهانی از مخرب‌ترین نوع سیلاب‌ها محسوب می‌شوند که خسارات جانی و مالی زیادی را به دنبال دارند. سیلاب‌ها می‌توانند تأثیر عمیقی بر روی اکوسیستم‌ها و زندگی انسان‌ها بگذارند (الکساندر[5] و همکاران، ۲۰۱۱)؛ به‌طوری‌که بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۵ حدود ۱۰۹ میلیون نفر از سیلاب‌ها متأثر شده‌اند (آلفیری[6] و همکاران، ۲۰۱۷). روش‌های کمی و کیفی متعددی در ادبیات علمی برای مدل‌سازی سیلاب در داخل حوضه آبریز وجود دارد (محمود و رحمان، ۲۰۱۹). توفیق‌لو اسلام[7] و همکاران (۲۰۲۱) مدل‌های به کار رفته جهت تهیه نقشه‌های حساسیت سیل‌خیزی را با بررسی تحقیقات مرتبط با سیل به ٤ دسته طبقه‌بندی کرده‌اند که شامل ۱- مدل‌های مبتنی بر دانش کارشناس مثل مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۲- مدل‌های مبتنی بر آمار

1 Charlton
2 Aksoy et al
3 Tien Bui et al
4 Costache et al
5 Alexander
6 Alfieri
7 Towfiqul Islam

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



از قبیل نسبت فراوانی (FR)، ارزش اطلاعات، ضریب اطمینان، رگرسیون لجستیک، وزن شواهد، منطق فازی، منطق فازی عصبی ۳- الگوریتم‌های یادگیری ماشین و ٤- مدل‌های هیدرولوژیکی از قبیل SWAT و HEC-RAS هستند.

تحقیقات خوبی در زمینه مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است که از جمله تازه‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: روستایی و همکاران (۱۳۹٦)، در تحقیقی به تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبریز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RS پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که نواحی با پوشش گیاهی کم همراه با شیب بالا و کاربری اراضی کشاورزی در دامنه‌های حوضه آبریز، جزو مناطق با سیل‌خیزی خیلی زیاد و زیاد را در بر می‌گیرد. میرموسوی و اسمعیلی (۱٤۰۰)، در تحقیقی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور نواحی سیل‌خیز شهرستان داراب را پهنه‌بندی کردند. در این تحقیق از ۱۲ پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی شامل شیب، جهت شیب، بارش، ارتفاع رواناب، وضعیت شماره منحنی (CN)، جهت جریان تجمعی، وضعیت گروه‌های هیدرلوژیکی خاک، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، تراکم شبکه زهکشی، وضعیت ارتفاعی حوضه و فاصله از آبراهه‌ها استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که بر اساس نقشه‌های نهایی خطر وقوع سیل با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۵، ۲۵ و ۵۰ ساله، به ترتیب ۹/۲٤، ۱۰/٦٤، ۱۱/۹۰ و ۸/٦۵ درصد از مساحت شهرستان دارای خطر سیل‌خیزی خیلی زیاد می‌باشد. پانت[1] و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل و فرسایش خاک در حوضه آبریز آلاک نانـدا واقع در کشور هندوستان را تهیه نمودند. در این تحقیق حوضه آبریز به ۱۰ زیرحوضه تقسیم شده و تعداد ۵۰ پارامتر مورفومتریک و ٦ پارامتر مورفوتکتونیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل آماری پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نشان داد که منطقه از نظر تکتونیک فعال بوده و بسیار مستعد وقوع سیل و متعاقب آن فرسایش خاک می‌باشد. توفیق‌لو اسلام و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین اقدام به مدل‌سازی حساسیت سیل در زیرحوضه تیستا واقع در شمال بنگلادش نمودند. در این تحقیق از دو مدل ترکیبی جدید Dagging و Random Subspace همراه با مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبانی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل Dagging نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است.

بنابراین در تحقیق حاضر تلاش شده است با استفاده از مدل ترکیبی نوین FURIA-GA-LogitBoost نقشه حساسیت خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز الندچای واقع در استان آذربایجان غربی تهیه گردد.

**منطقه مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه این تحقیق حوضه آبریز الندچای می‌باشد که ازنظر موقعیت سیاسی در استان آذربایجان غربی و در شمال غرب ایران واقع شده است. این حوضه با مساحت ۱۱٤۷/۳۰ کیلومترمربع از نظر موقعیت جغرافیایی بین

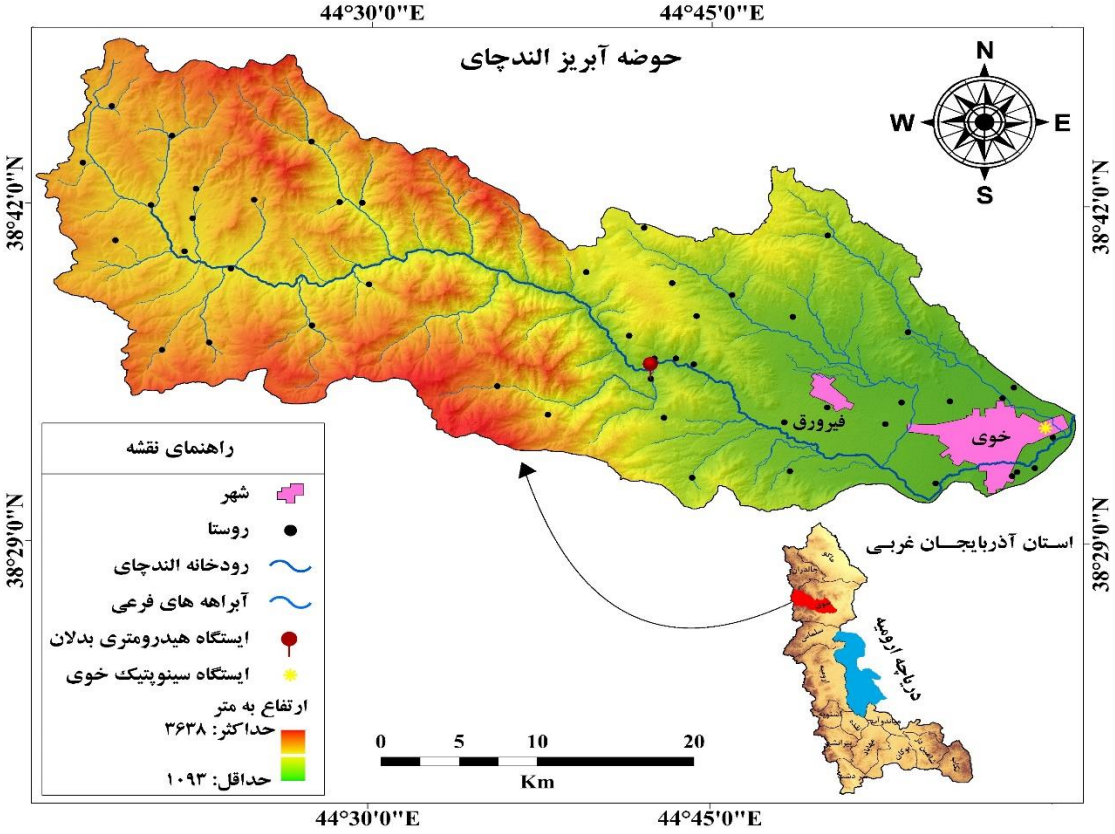
1 Pant

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



مختصات ″١٤ ′٣٠ °٣٨ تا ″٢٢ ′٤٨ °٣٨ عرض شمالی و ″١٣ ′١٥ °٤٤ تا ″٠٢ ′٠١ °٤٥ طول شرقی واقع شده است (شکل ١). تغییرات ارتفاعی حوضه از ١٠٩٣ متر در بستر رودخانه الندچای در خروجی حوضه تا ٣٦٣٨ متر ارتفاع از سطح دریا در کوه اورین می‌باشد. این حوضه یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز رود ارس محسوب می‌شود که آب‌های سطحی آن پس از پیوستن به رودخانه بزرگ قطورچای به رود ارس می‌ریزد (رضائی‌مقدم و همکاران، ١٣٩٩). حوضه آبریز الندچای ساختاری کوهستانی دارد، به‌طوری‌که بیش از ٦٠ درصد مساحت آن را نواحی کوهستانی و مرتفع تشکیل می‌دهد. کوه اورین با ارتفاعی نزدیک به ٣٦٣٨ متر مهم‌ترین عارضه توپوگرافی در سیمای ناهمواری‌های داخل حوضه آبریز الندچای می‌باشد. آب‌وهوای این حوضه بیشتر تحت تأثیر توده‌های هوای غربی قرار دارد که منشأ رطوبت و بارش در فصول پاییز، زمستان و بهار است.




**شکل ١ – موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی**

## ٢- مواد و روش‌ها

به‌منظور مدل‌سازی و تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای گام‌های زیر طی شده است که در ادامه به توضیح هر یک از مراحل پرداخته می‌شود:

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



### گام اول: تعیین پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

در گام نخست ابتدا با بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با موضوع تحقیق و همچنین داده‌های موجود در منطقه موردمطالعه، ۱۳ پارامتر مؤثر در حساسیت خطر وقوع سیل انتخاب شد. پارامترهای مورداستفاده در این تحقیق شامل 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 می‌باشند.

### گام دوم: برآورد همبستگی بین متغیرهای سیل

شاخص‌های عامل تورم واریانس (VIF[1]) و تولرانس (TOL[2]) به‌منظور برآورد همبستگی بین متغیرهای سیل استفاده گردید. مقادیر VIF بزرگ‌تر از ۱۰ و مقادیر TOL کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده هم خطی شدید است (منارد[3]، ۲۰۰۱؛ هایر[4] و همکاران، ۲۰۰۹).

$$TOL = 1 - R_v^2$$ رابطه (۱)

$$VIF = 1/TOL$$ رابطه (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)، میزان همپوشی با متغیرهای دیگر و در نتیجه هم خطی کمتر است. عامل تورم واریانس با تولرانس نسبت معکوس دارد.

### گام سوم: ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

در این مرحله به‌منظور ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی از روش نمونه‌برداری استفاده گردید. بدین ترتیب با استفاده از دستگاه GPS و بازدیدهای میدانی و بهره‌گیری از امکانات سامانه 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 شدند. سپس از این مجموعه داده‌ها، ۷۰ درصد برای آموزش (۱۳۳ نقطه برای سیل‌گرفتگی و ۱۳۳ مورد برای نقاط بدون سیل) و ۳۰ درصد (۵۷ نقطه برای سیل گرفتگی و ۵۷ مورد برای نقاط بدون سیل) جهت اعتبارسنجی نتایج مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

1 variance inflation factor
2 tolerance
3 Menard
4 Hair

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



### گام چهارم: مدل FURIA

FURIA یک روش طبقه‌بندی فازی مبتنی بر قواعد است. این الگوریتم بر مبنای RIPPER که یک الگوریتم یادگیرنده قواعد یقینی است (کوهن[1]، ۱۹۹۵)، توسعه یافته است. این روش توسط هان و هالرمیر[2] در سال ۲۰۰۹ معرفی شده است. FURIA قوانین فازی را به جای قوانین مرسوم و مجموعه قوانین بی‌نظم را به جای فهرست قوانین یاد می‌دهد. این مدل به‌عنوان یک مدل طبقه‌بندی بسیار دقیق به نظر می‌رسد، که امکان تخمین مرزهای تصمیم‌گیری را به روشی انعطاف‌پذیرتر ایجاد می‌کند (هان و هالرمیر، ۲۰۰۹). الگوریتم RIPPER شامل دو مرحله رشد و هرس کردن است. هرس کردن تا زمانی که میزان خطا بیشتر از ۵۰ درصد باشد ادامه می‌یابد (تراوینسکی[3] و همکاران، ۲۰۱۱). به عبارت ساده‌تر قوانینی که تأثیری بر روی دقت مدل ندارد ضعیف شناخته شده و حذف می‌شوند. FURIA بازه‌های یقینی به دست آمده از الگوریتم RIPPER را به قوانین فازی که از توابع عضویت ذوزنقه‌ای استفاده می‌کنند، تبدیل می‌کند (هان و هالرمیر، ۲۰۰۹). در نتیجه قوانین فازی بر اساس بزرگ‌ترین مقدار V برای کلاس $Y_i$ و درجه اطمینان $CD_i$ ساخته می‌شوند:

$$V = \sum_{i=1}^{m} \mu_{rule}\,(i)(V) \times CD_i \qquad \text{رابطه (۳)}$$

### گام پنجم: الگوریتم ژنتیک

برای روش جستجوی استفاده شده توسط ارزیاب کننده FURIA، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک یک روش فرا اکتشافی است که توسط هالند در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است. GA یک فرآیند مشابه برای انتخاب طبیعی به کار می‌گیرد و عمدتاً به‌عنوان یک روش جستجو برای یافتن راه‌حل‌های بهینه از طریق نظرسنجی از راه‌حل‌های احتمالی استفاده می‌شود (کازوقلو[4] و همکاران، ۲۰۱۵). انتخاب، تقاطع و جهش از عملگرهای پایه‌ای الگویتم ژنتیک برای تکثیر هستند (میشل[5]، ۱۹۹۶). از این فرآیند تکثیر بهترین اعضا، که با عملگر هزینه ارزیابی می‌شوند، به نسل بعدی منتقل می‌شوند. این فرآیند زمانی به پایان می‌رسد که آستانه‌های خاصی برای ارائه بهترین راه‌حل به دست می‌آیند (هاپت و هاپت[6]، ۲۰۰۴).

1 Cohen
2 Hühn and Hüllermeier
3 Trawinski
4 Kavzoglu
5 Mitchell
6 Haupt and Haupt

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



### گام ششم: الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری (LVQ[1])

بعد از انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده، جهت بررسی رابطه بین خطر سیل با متغیرهای انتخاب شده از روش الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری (LVQ) استفاده گردید. LVQ یکی از انواع شبکه‌های عصبی با الگوی یادگیری نظارت‌شده است که در سال ۱۹۹۶ برای اولین بار توسط کوهن ارائه شده است. این روش یک رویکرد یادگیری الگو را به کار می‌برد که در واقع فاصله اقلیدسی را به‌عنوان یک قانون اساسی رقابت در نظر می‌گیرد.

### گام هفتم: روش ترکیبی LogitBoost

این روش را فریدمان و همکاران در سال ۲۰۰۰ معرفی کردند (فریدمان[2] و همکاران، ۲۰۰۰). این الگوریتم، طبقه‌بندی را با استفاده از یک برنامه رگرسیون به عنوان یادگیرنده پایه انجام می‌دهد و می‌تواند مشکلات چند کلاسه را مدیریت کند (weka.classifiers.meta.LogitBoost). در تحقیق حاضر درخت تصمیم‌گیری به‌عنوان طبقه‌بندی کننده پایه استفاده شده است (ایبا و لانگلی[3]، ۱۹۹۲). در این پژوهش به‌منظور اجرای مدل ترکیبی از نرم‌افزار داده‌کاوی WEKA استفاده شده است. نرم‌افزار WEKA به عنوان یک نرم‌افزار یادگیری ماشین برای نخستین بار در کشور نیوزیلند و در دانشگاه Waikato معرفی شده است. نام این نرم‌افزار از حروف اول عبارت Waikato Environment for Knowledge Analysis گرفته شده است. این نرم‌افزار مجموعه‌ای از به‌روزترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین را جهت انجام داده‌کاوی ارائه می‌دهد. WEKA شامل ابزارهایی برای آماده‌سازی داده‌ها، طبقه‌بندی، رگرسیون، خوشه‌بندی، ایجاد قوانین انجمنی و تصویرسازی (کار با نمودارهای مختلف) است.

### گام هشتم: ارزیابی دقت نقشه حساسیت خطر وقوع سیل

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی دقت نقشه حساسیت خطر وقوع سیل از منحنی مشخصه عملیاتی دریافت‌کننده یا منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC[4]) و سطح زیر منحنی (AUC[5]) استفاده شده است. در منحنی ROC روی محور X مقدار تشخیص‌پذیری یا ویژگی Specificity (نسبت پیکسل‌های بدون سیل که به درستی به‌عنوان بدون سیل طبقه‌بندی شده‌اند) و روی محور Y مقدار حساسیت Sensitivity (نسبت پیکسل‌های سیل که به درستی به‌عنوان سیل طبقه‌بندی شده‌اند) مشخص می‌باشد. مقادیر Specificity و Sensitivity با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

1 Learning Vector Quantization
2 Friedman
3 Iba and Langley
4 Receiver Operating Characteristics
5 Area under the ROC curve

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



$$\text{specificity} = \frac{\text{TN}}{\text{FP} + \text{TN}}$$ رابطه (٤)

$$\text{sensitivity} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$$ رابطه (٥)

که در آن TN[1] تعداد مناطق بدون سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ FP[2] تعداد نقاط سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند؛ TP[3] تعداد نقاط سیل که درست تشخیص داده شده‌اند و FN[4] تعداد نقاط بدون سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند. جهت نشان دادن عملکرد هر یک از مدل‌های ترکیبی از شاخص آماری صحت (Accuracy) نیز استفاده شده است. این شاخص نسبت نقاط سیل‌گیر و بدون سیل که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}$$ رابطه (٦)

منحنی ROC در زمینه‌های مختلفی از جمله مهندسی، پزشکی و فیزیک به کار برده شده، اما به طور عمده برای ارزیابی نقشه‌های پیش‌بینی مخاطرات طبیعی استفاده می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرادهان و همکاران، ۲۰۱٤؛ روی و ساها[5]؛ ۲۰۱۹). سطح زیر منحنی ROC نشان‌دهنده توانایی یک مدل برای پیش‌بینی پیکسل‌های سیل و بدون سیل می‌باشد. مقدار AUC صفر بیانگر این است که مدل غیرواقعی می‌باشد و هر چقدر مقدار AUC بیشتر باشد عملکرد مدل در پیش‌بینی بهتر خواهد بود (تین بوی و همکاران، ۲۰۱٦).

### ۳- بحث و نتایج

به‌منظور تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز الندچای ۱۳ پارامتر هیدروژئومورفیک مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

**لیتولوژی:** خاک یا سنگ قابل‌نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه آن را به داخل آبراهه اصلی به تأخیر می‌اندازد؛ ازاین‌رو رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ بستر یا خاک به نسبت غیرقابل نفوذ، حجم بالایی از رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (گرید[6]، ۲۰۰٦). نقشه لیتولوژی منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (برگه خوی و دیزج) و ۱:۲۵۰۰۰۰ برگه خوی برگرفته از سازمان زمین‌شناسی کشور و در

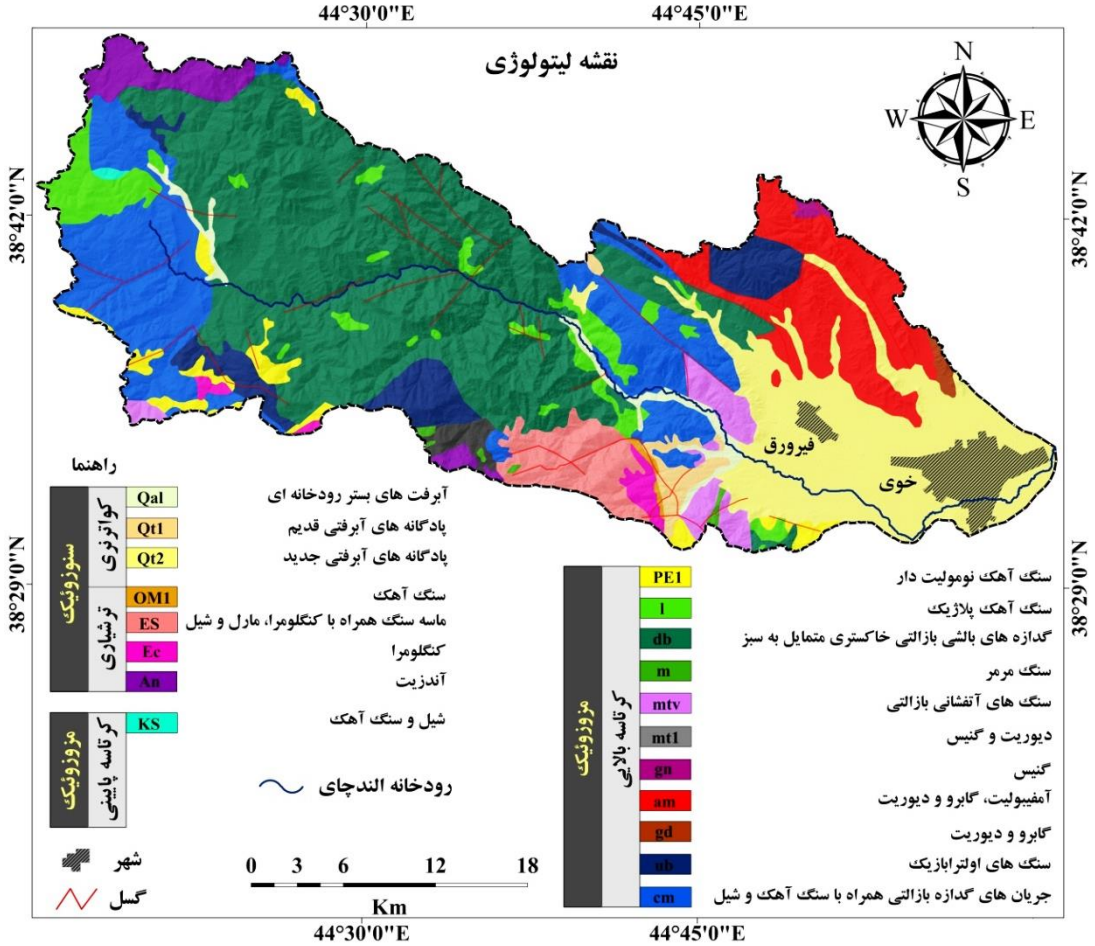
1 True Negative
2 False Positive
3 True Positive
4 False Negative
5 Roy and Saha
6 Garde

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. بررسی نقشه لیتولوژی نشان می‌دهد که مناطق کم ارتفاع در قسمت شرقی منطقه را بیشتر سازندهای جوان مثل پادگانه‌های آبرفتی مربوط به دوره کواترنر و کنگلومرا تشکیل می‌دهد. عمده فعالیت‌های انسانی از قبیل شهرسازی و زمین‌های کشاورزی در این بخش از منطقه متمرکز شده‌اند. در مقابل ارتفاعات منطقه که بیشتر قسمت غرب و شمال غرب منطقه را دربرگرفته‌اند از سنگ‌های آتشفشانی بازالتی و در بخش‌هایی همراه با سنگ آهک و شیل تشکیل شده‌اند. به دلیل شیب تقریباً زیاد این بخش‌ها و نفوذپذیری پایین سازندها، آب‌های حاصل از بارندگی به‌صورت رواناب‌های متعدد شکل گرفته و باعث افزایش ناگهانی دبی رودخانه الندچای می‌شوند و در نتیجه در پایین‌دست حوضه، سیل‌گیری زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی را به همراه دارد.




**شکل ۲– نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه**

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



**گروه‌های هیدرولوژیکی خاک**: این پارامتر کیفیت خاک را بر اساس حداقل میزان نفوذ آب نشان می‌دهند (دپارتمان کشاورزی ایالات متحده، ۱۹۸٦). گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به چهار گروه A، B، C و D طبقه‌بندی می‌شوند. خاک‌های گروه A دارای حداقل پتانسیل جهت تولید رواناب هستند؛ درحالی‌که خاک‌های گروه D دارای حداکثر پتانسیل برای ایجاد رواناب می‌باشند (گیتلمان و همکاران[1]، ۲۰۱۷). جهت تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه آبریز الندچای از نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و همچنین داده‌های جهانی گروه‌های هیدرلوژیک خاک برگرفته از وبسایت ناسا استفاده گردید. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه در سه گروه B، C و D تهیه شده است. گروه B زمین‌هایی را شامل می‌شود که از پادگانه‌ها و آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده‌اند که به جهت نفوذپذیری نسبتاً خوب از پتانسیل کمی جهت تولید رواناب برخوردارند. گروه C که بخش عمده‌ای از منطقه را شامل می‌شود اکثراً زمین‌های مرتفع و کوهستانی را در بر گرفته است. این مناطق به دلیل داشتن سازندهای نفوذناپذیر و همچنین رخنمون‌های سنگی از پتانسیل نسبتاً بالایی جهت تولید رواناب نسبت به گروه B برخوردار می‌باشند. گروه D که پتانسیل بالایی را جهت تولید رواناب نشان می‌دهد، مناطق شهری و روستایی را شامل می‌شود. این مناطق به دلیل داشتن پوشش غیرقابل نفوذ از قبیل آسفالت و بتن شرایط مناسبی را جهت تولید رواناب فراهم می‌آورند.

**شاخص پوشش گیاهی**: NDVI شاخصی است که خصوصیات پوشش گیاهی یک منطقه را توصیف می‌کند. خصوصیاتی که بر رواناب سطحی و قابلیت نفوذپذیری یک منطقه تأثیر می‌گذارد (سویک و توپال[2]، ۲۰۰۳؛ تهرانی، ۲۰۱۳). مقدار آب و بار رسوب، پیک‌های سیلاب و زمان وقوع آن‌ها، و سرعت انتقال پیک جریان به‌شدت توسط ماهیت و گسترش پوشش گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (گرید، ۲۰۰٦). به‌منظور تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده استفاده شده است.

**کاربری اراضی**: فراوانی وقوع سیل در یک منطقه می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر الگوهای کاربری زمین و سیر تحول زمانی آن قرار گیرد (بنیتو و همکاران[3]، ۲۰۱۰؛ گارسیا رویز و همکاران[4]، ۲۰۰۸). بیکرز و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیق خود نشان دادند که تغییرات در کاربری اراضی می‌تواند احتمال وقوع سیل در یک منطقه را سرعت بخشد. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به خرداد سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. به همین منظور ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم همچون تصحیح اتمسفری و رادیومتریکی روی تصویر اعمال شد. در مرحله بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی در ٦ کلاس اصلی تهیه شد.

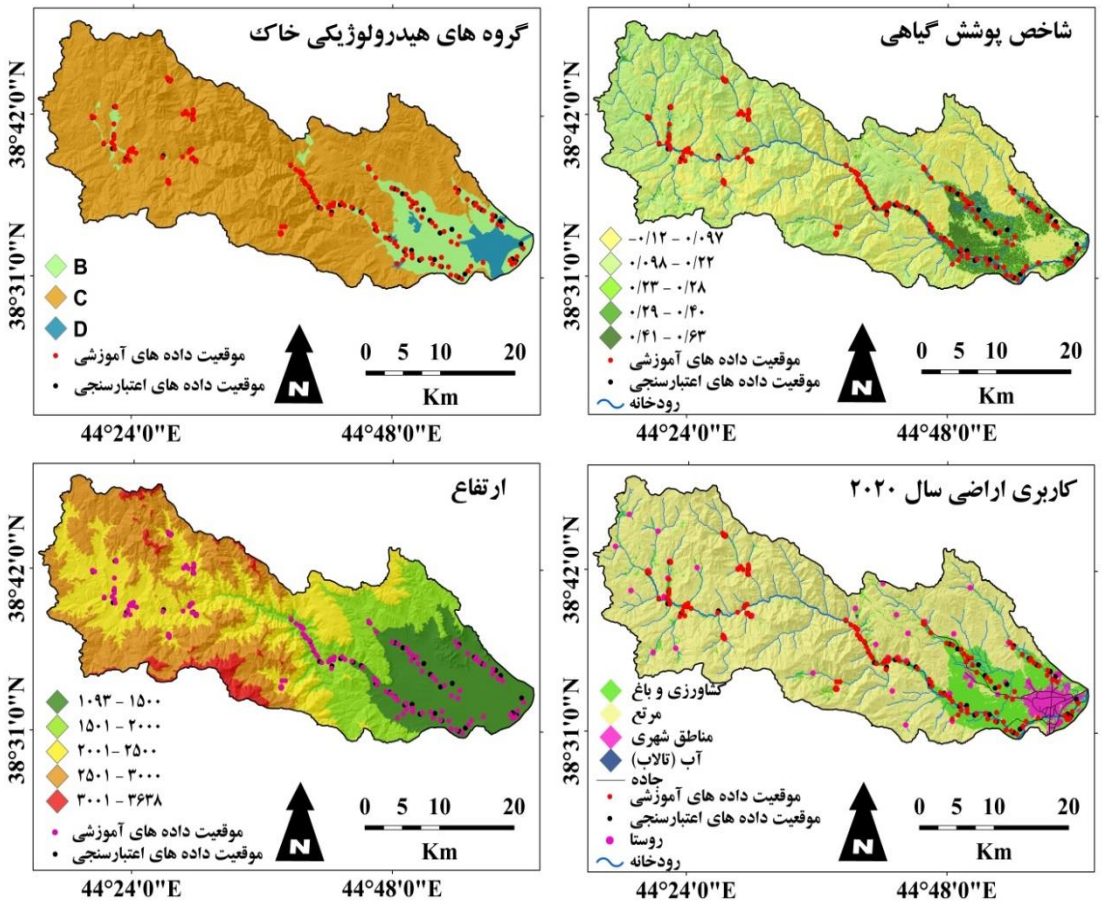
1 Gittleman et al
2 Cevik and Topal
3 Benito et al
4 García-Ruiz et al

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



**ارتفاع:** ارتفاع یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر روی سیل می‌باشد (تهرانی و همکاران، ۲۰۱٤؛ بوی و همکاران[1]، ۲۰۱٦). به‌طورکلی رابطه 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 برخوردار هستند (خسروی و همکاران، ۲۰۱٦). نقشه طبقات ارتفاعی منطقه با استفاده مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر در ۵ کلاس تهیه شده است. مقادیر ارتفاعی منطقه بین ۱۰۹۳ تا ۳٦۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا متغیر است. با توجه به اینکه بیش از ٦۰ درصد از کل مساحت منطقه را نواحی کوهستانی و ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر تشکیل می‌دهد، سرعت شکل‌گیری رواناب در این بخش‌ها بالا بوده و در نتیجه احتمال خطر سیل‌گیری مناطق پایین‌دست حوضه بعد از هر بارندگی افزایش می‌یابد.




**شکل ۳- نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، ارتفاع و کاربری اراضی**

1 Bui et al

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



**شیب:** بین شیب یک منطقه و سرعت جریان سطحی یک همبستگی قوی مثبت می‌توان یافت (فرناندز و لوتز[1]، ۲۰۱۰؛ داس، ۲۰۱۸). علاوه بر این، شیب فرآیند نفوذ را کنترل می‌کند. رواناب سطحی با افزایش شیب به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نفوذ کاهش می‌یابد (داس و پردشی[2]، ۲۰۱۸).

**جهت شیب:** یکی دیگر از پارامترهای اصلی مورفومتریک که با رابطه معکوس در ارتباط با وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود، جهت شیب است. دلیل آن این است که جهت شیب می‌تواند شرایط هیدرولوژیکی یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهد (ارکان اوغلو و گوکچوغلو[3]، ۲۰۰۲؛ کاواک و کوندو[4]، ۲۰۰۸). جهت شیب به‌طور غیرمستقیم در وقوع سیل تأثیر دارد. به‌عنوان مثال مناطق شیب‌دار یک منطقه که در قسمت سایه قرار دارند، رطوبت خاک نسبتاً بالایی داشته و در نتیجه با رواناب زیاد همراه هستند (توفیق لو اسلام و همکاران، ۲۰۲۱). نقشه جهت شیب منطقه در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از لایه DEM تهیه شده است.

**فاصله از آبراهه:** جریان‌های رودخانه‌ای مسیرهای اصلی برای دبی سیلاب هستند و مناطقی که نزدیک رودخانه‌ها قرار دارند مستعد سیل‌گیری هستند (آپرمان و همکاران[5]، ۲۰۰۹). فاصله از رودخانه یک عامل مهم ژئومورفیک است که جهت تهیه دقیق نقشه 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 (داس، ۲۰۱۸).

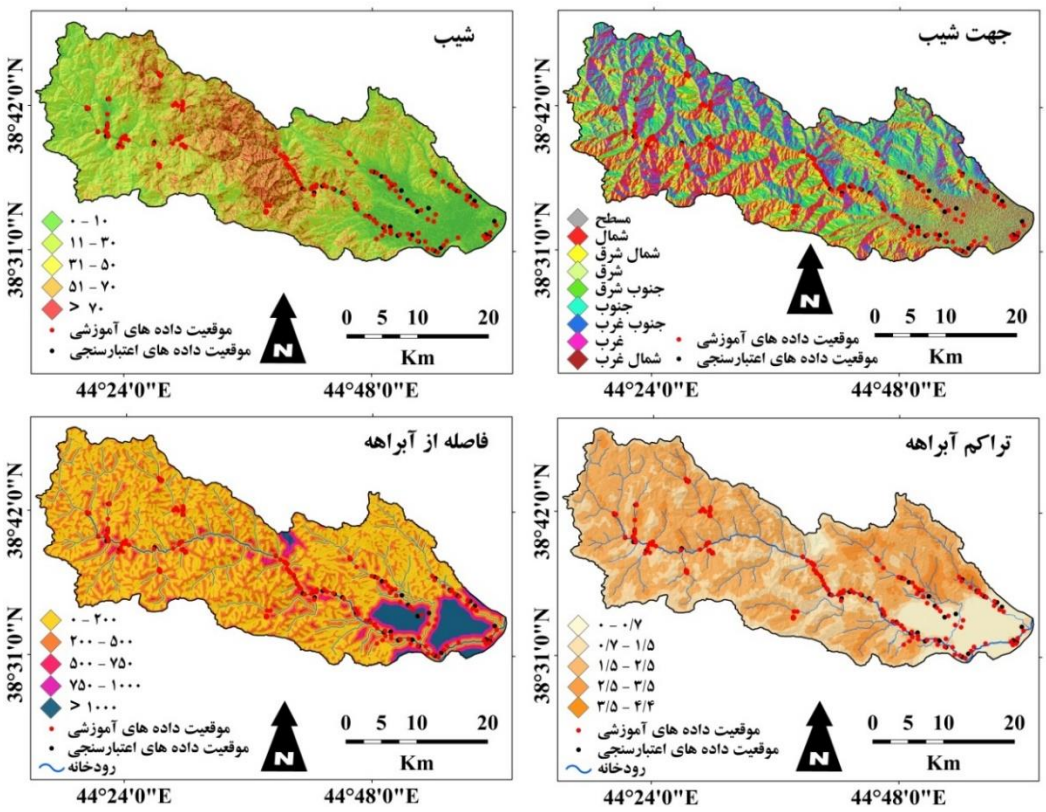
**تراکم آبراهه:** زمانی که در یک حوضه آبریز بارندگی اتفاق می‌افتد، تراکم زهکشی بر روی جریان‌های اوج تأثیر می‌گذارد (چوبین و همکاران، ۲۰۱۹). کومار و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود نشان دادند که در مناطق با تراکم زهکشی بالا در مقایسه با مناطقی که از تراکم زهکشی پایینی برخوردار هستند، رواناب سطحی بالاتری تشکیل می‌شود.

1 Fernandez and Lutz
2 Das and Pardeshi
3 Ercanoglu and Gokceoglu
4 Kwak and Kondoh
5 Opperman et al

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir






**شکل ٤- نقشه‌های شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه**

**بارش:** بارندگی رابطه معنی‌داری با دبی رودخانه داشته و به‌طور مستقیم وقوع سیل را کنترل می‌کند. بارش‌های غیرمنتظره در مناطق نیمه‌خشک می‌توانند وضعیت سیلابی ایجاد کنند (داس، ۲۰۱۸). بنابراین می‌توان گفت که یک بارندگی شدید در بازه زمانی کوتاه می‌تواند باعث وقوع سیل گردد. به‌منظور تهیه نقشه بارش منطقه از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی برای سال‌های دارای اطلاعات بارش و ایستگاه سینوپتیک خوی برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۹) استفاده شده است.

**شاخص رطوبت توپوگرافیک:** این پارامتر در سال ۱۹۷۹ توسط بیون و کرکبی ارائه شده است و نشان‌دهنده تغییرات فضایی رطوبت در حوضه آبریز است (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶). به عبارت دیگر، شاخص رطوبت توپوگرافیک مقدار انباشت آب در هر پیکسل از حوضه آبریز را نشان می‌دهد (گوکچوغلو و همکاران، ۲۰۰۵). به‌طورکلی مقادیر بالای شاخص رطوبت توپوگرافیک و وقوع سیل همبستگی قوی با یکدیگر دارند (شیت و همکاران[1]، ۲۰۲۰). برعکس، مناطقی که مقادیر کمتری از این شاخص را نشان می‌دهند از آسیب‌پذیری کمتری در برابر سیل برخوردار هستند.

1 Shit et al

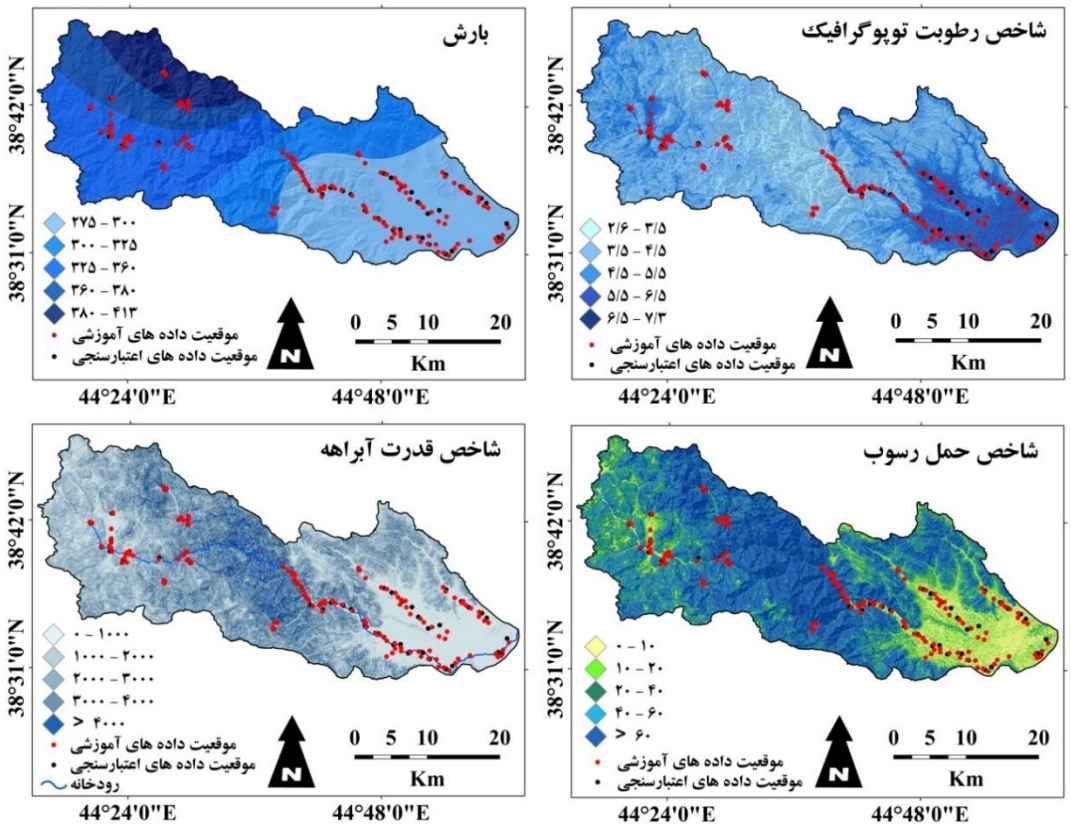
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



**شاخص قدرت آبراهه:** طبق نظر نایتون[1] (۱۹۹۹)، شاخص قدرت آبراهه برای بسیاری از فرآیندها در محیط‌های رودخانه‌ای از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. این شاخص را می‌توان به‌عنوان یک عملکرد قابل توجه در فرسایش کانال رودخانه و حمل رسوب توصیف کرد (برکر و همکاران[2]، ۲۰۰۹؛ هانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

**شاخص حمل رسوب: این** شاخص نشان‌دهنده قدرت جریان آب از نظر فرسایش است که بر روی شرایط هیدرولوژیکی اثر می‌گذارد (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۵). هانگ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود به این نتیجه رسیده‌اند مناطقی که مقادیر STI کمتری دارند اکثراً در زمین‌های مسطح قرار دارند و بنابراین پتانسیل بالایی برای وقوع سیل دارند.




**شکل ۵- نقشه‌های بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب**

1 Knighton
2 Barker et al

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



### تحلیل عوامل هم خطی سیلاب

در این بخش از تحقیق تجزیه‌وتحلیل هم خطی چندگانه به‌منظور بررسی همبستگی داخلی متغیرها انجام شده است که نتایج آن نشان می‌دهد تقریباً بین هیچ یک از پارامترهای مرتبط با سیل هم خطی چندگانه 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) می‌باشد. پارامترهای شاخص حمل رسوب و شیب در رتبه بعدی قرار دارند. همچنین برای هر یک از پارامترها مقدار عامل تورم واریانس نیز محاسبه گردید که نتایج آن نشان داد پارامتر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با وجود داشتن بالاترین مقدار یعنی ۷/۱۹، از حد آستانه نظری برای هم خطی چندگانه خیلی فاصله دارد (بیشتر از ۱۰). سایر پارامترها مقادیر پایین‌تری را نسبت به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نشان می‌دهند. بنابراین همه پارامترها در ارتباط با حساسیت خطر وقوع سیل در نظر گرفته شده و در گام بعدی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌اند.

**جدول ۱- نتایج تحلیل هم خطی چندگانه**

| پارامترهای مرتبط با سیل | Tolerance (TOL) | Variance IF (VIF) |
|---|---|---|
| لیتولوژی | ۰/۷۰۱ | ۱/٤۲ |
| گروه‌های هیدرولوژیکی خاک | ۰/۱۳۹ | ۷/۱۹ |
| پوشش گیاهی | ۰/۲۱۳ | ٤/٦۹ |
| کاربری اراضی | ۰/۲۳۱ | ٤/۳۲ |
| ارتفاع | ۰/۳۳۲ | ۳/۰۱ |
| شیب | ۰/۲۰٤ | ٤/۹۰ |
| جهت شیب | ۰/۹۱۱ | ۱/۰۹ |
| فاصله از آبراهه | ۰/۳۳۲ | ۳/۰۱ |
| تراکم آبراهه | ۰/۸۹۰ | ۱/۱۲ |
| بارش | ۰/۳٦۲ | ۲/۷٦ |
| شاخص رطوبت توپوگرافیک | ۰/۹۱۹ | ۱/۰۸ |
| شاخص قدرت آبراهه | ۰/۳۰۹ | ۳/۲۳ |
| شاخص حمل رسوب | ۰/۱۸۹ | ۵/۲۹ |

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

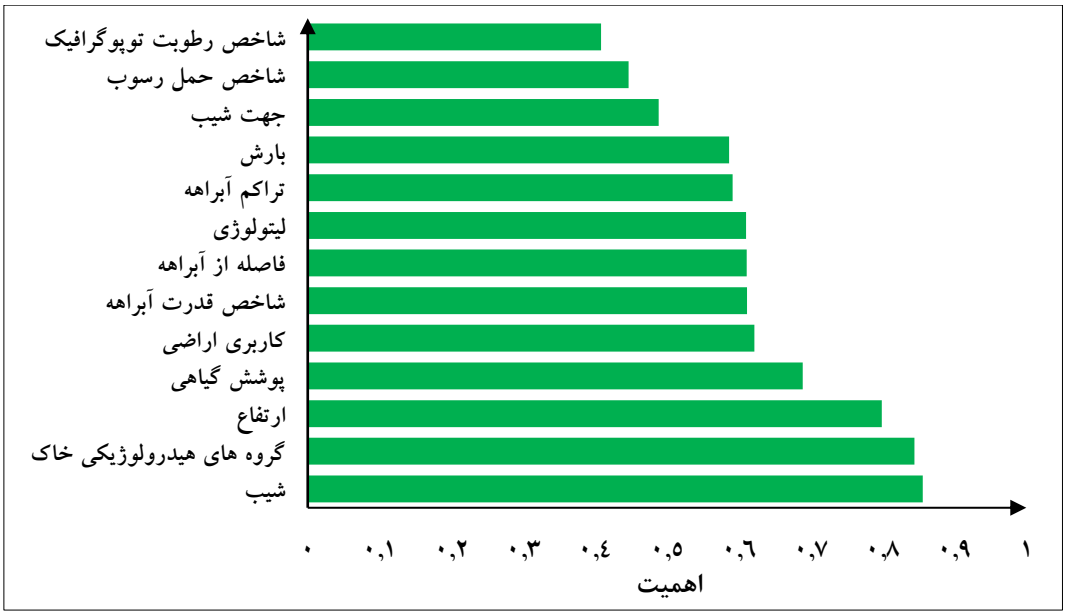


### اجرای الگوریتم FURIA-GA

جهت اجرای الگوریتم FURIA-GA، خصوصیات زیر کـه پـس از انجـام آزمـون و خطـای گسـترده بـه دسـت آمده‌اند، تعیین شدند. برای GA، احتمال هم‌گذری[1] بر روی ۰/۲، احتمـال جهـش[2] بـر روی ۰/۰۳۵، انـدازه جمعیـت[3] ۲۵۰ و تعداد نسل‌ها[4] بر روی ۵۰ تنظـیم شـد. بـرای ارزیـاب کننـده FURIA یـک تکنیـک اعتبارسـنجی متقـاطع ۱۰ برابری[5] با product T-Norm به‌عنوان عملگر اجتماع فازی به‌منظور ترکیـب قـوانین پیشـین آمـوزش داده شـد. نتـایج نشان داد که طبقه‌بندی FURIA-GA با مقدار ۸٦/٤٥ ٪ دقت خیلی خوبی را داشته است.

### تعیین اهمیت متغیرها

از روش LVQ جهت تعیین اهمیت پارامترهای مرتبط با سیل که در مرحله قبل بـا اسـتفاده از الگـوریتم FURIA-GA انتخاب شده‌اند، در نرم‌افزار WEKA استفاده گردید. مقادیر LVQ بین ۰/٤۰۸۰ تا ۰/۸٥٦۰ متغیـر بـوده اسـت کـه بالاترین مقدار مربوط به شیب و کمترین مقدار نیز مربوط به شاخص رطوبت توپوگرافیک می‌باشد (شکل ٦).




**شکل ٦- اهمیت پارامترهای مرتبط با سیل بر اساس روش LVQ**

1 crossover probability
2 mutation probability
3 population size
4 number of generations
5 fold cross-validation technique

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

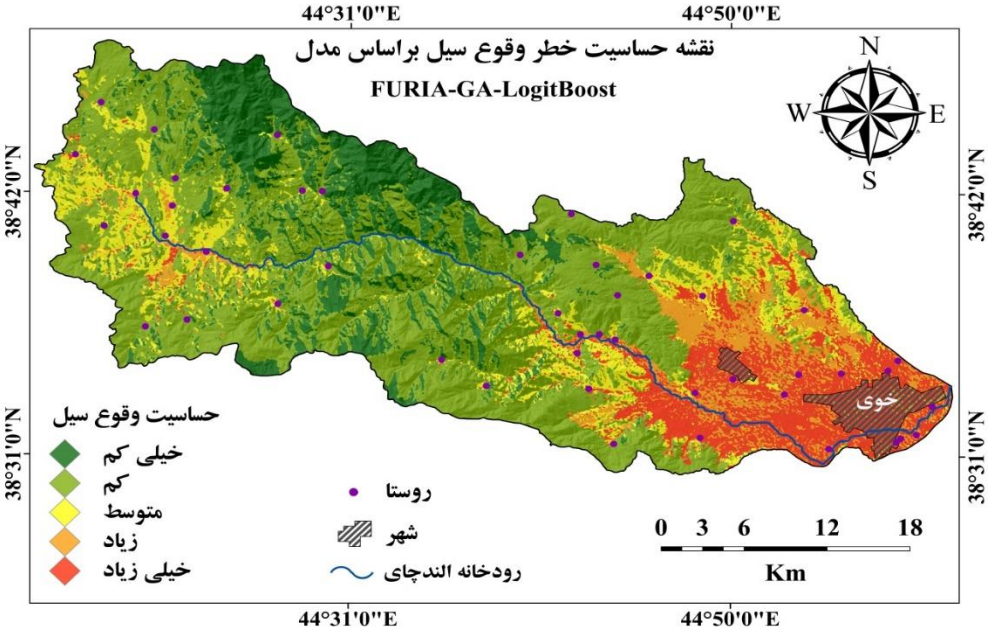


### اجرای روش ترکیبی LogitBoost

به‌منظور اجرای الگوریتم LogitBoost در نرم‌افزار WEKA تنظیمات زیر استفاده شد: اندازه بسته[1]، ۱۰۰؛ تعداد تکرار[2]، ۱۲؛ تعداد بذر یا دانه[3]، ۱. همچنین decision stump tree به‌عنوان طبقه‌بندی کننده پایه[4] انتخاب گردید. با توجه به اینکه فرمت اصلی داده‌های WEKA به‌صورت ARFF می‌باشد، به‌منظور انتقال لایه‌های اطلاعاتی به محیط نرم‌افزار WEKA و اجرای هر یک از مراحل فوق، ابتدا این لایه‌ها به فرمت ASCII تبدیل شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS در محیط WEKA بارگذاری شدند.

### تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل

در این بخش از تحقیق به‌منظور تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل، نتایج حاصل از اجرای مراحل ذکر شده در روش تحقیق در نرم‌افزار WEKA، جهت تبدیل به نقشه مصور به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شدند. نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز الندچای با استفاده از روش Natural Break در ۵ کلاس تحت عنوان حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید (شکل ۷). نقشه نهایی به‌صورت پیکسل پایه بوده و حساسیت هر پیکسل را نسبت به خطر وقوع سیل نشان می‌دهد.




شکل ۷- نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای

1 Batchsize
2 number of iterations
3 seed
4 base classifier

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



بررسی نقشه نهایی نشان می‌دهد مناطقی که از نظر خطر وقوع سیل حساسیت بالایی را نشان می‌دهند عمدتاً قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی حوضه را شامل می‌شوند. این قسمت‌ها عمدتاً در مناطق پایین‌دست حوضه قرار گرفته‌اند 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 باعث سیل‌گرفتگی مناطق شهری و روستایی و زمین‌های کشاورزی و باغات می‌شود. مهم‌ترین مرکز جمعیتی حوضه یعنی شهر خوی نیز در این قسمت جای گرفته است که آسیب‌پذیری بالای تأسیسات شهری را هنگام وقوع سیلاب‌های شدید و ناگهانی نشان می‌دهد. به‌طورکلی روستاهایی که در مسیر رودخانه الندچای شکل گرفته‌اند از آسیب‌پذیری بالایی هنگام وقوع سیل برخوردار هستند. پهنه‌هایی که در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر حساسیت خطر وقوع سیل قرار دارند بیش از ۲۰ درصد از کل مساحت منطقه را شامل می‌شوند. بیشترین مساحت نیز مربوط به کلاس کم می‌باشد که با مقدار ۵۷۳/۱۲ کیلومترمربع نزدیک به ۵۰ درصد از مساحت کل منطقه را پوشش داده است. مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر وقوع سیل در جدول ۲ ارائه شده است.

**جدول ۲- مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر وقوع سیل**

| کلاس | مساحت (کیلومترمربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|
| خیلی کم | ۲۰۲/۷۸ | ۱۷/۶۸ |
| کم | ۵۷۳/۱۲ | ٤۹/۹۵ |
| متوسط | ۱۳۸/۸٦ | ۱۲/۱ |
| زیاد | ۸۸/۷۰ | ۷/۷۳ |
| خیلی زیاد | ۱٤۳/۸٤ | ۱۲/۵۳ |

### ارزیابی عملکرد و دقت مدل

هدف نهایی در تهیه نقشه‌های حساسیت خطر وقوع سیل، پیش‌بینی مناطقی هست که احتمال دارد در آینده با وقوع بارش‌های شدید تحت تأثیر سیل قرار بگیرند. بنابراین بدون توجه به میزان دقت نقشه‌های نهایی تهیه شده با مدل‌ها و الگوریتم‌های متخلف، استناد به این نقشه‌ها از اعتبار علمی لازم برخوردار نخواهد بود. لذا در این بخش از تحقیق به‌منظور ارزیابی عملکرد و دقت مدل مورد استفاده در تهیه نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز الندچای از ۳ شاخص آماری Sensitivity، Specificity، Accuracy، منحنی ROC و همچنین سطح زیر منحنی در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. نتایج بررسی ۳ شاخص آماری نشان می‌دهد که مدل FURIA-GA-LogitBoost با ضریب ۸٦۷۰۹ از دقت خوبی بر اساس داده‌های آموزشی برخوردار می‌باشد (جدول ۳). منحنی

Archive of SID.ir

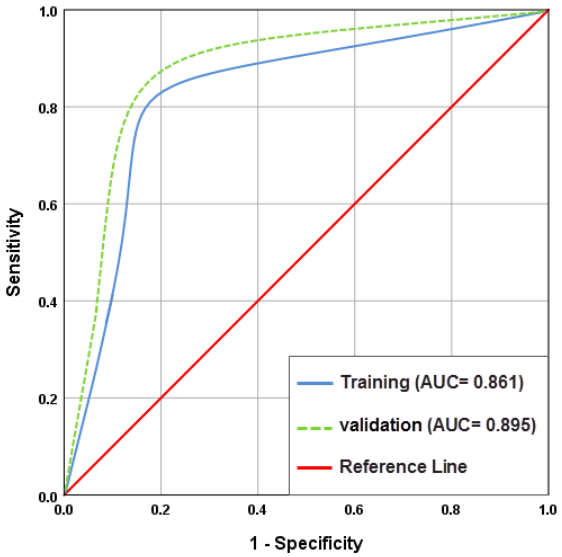
Archive of SID.ir



ROC نیز برای دو گروه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی ترسیم شد. نتایج نشان داد کـه در مـورد داده‌هـای آموزشـی، مدل FURIA-GA-LogitBoost با سطح زیر منحنی برابر با ۰/۸٦۱ از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

**جدول ۳- نتایج عملکرد مدل ترکیبی بر اساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی**

| شاخص آماری | داده‌های آموزشی | داده‌های اعتبارسنجی |
|---|---|---|
| True positive | ۱۱۵ | ۵۲ |
| True negative | ۱۱٤ | ۵۰ |
| False positive | ۱۸ | ۵ |
| False negative | ۱۹ | ۷ |
| Sensitivity (%) | ۸۵/۸۲ | ۸۸/۱۳ |
| Specificity (%) | ۸٦/۳٦ | ۹۰/۹۰ |
| Accuracy (%) | ۸٦/۰۹ | ۸۹/٤۷ |




**شکل ۸- منحنی ROC بر اساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی**

## ٤- جمع‌بندی

در تحقیق حاضر تلاش شد با استفاده از یک مدل ترکیبی نـوین بـه مدل‌سـازی حساسـیت خطـر وقـوع سـیل در حوضه آبریز الندچای پرداخته شود؛ بنابراین ابتدا ۱۳ پارامتر مؤثر جهت تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سـیل انتخـاب گردید. بررسی اهمیت پارامترها با استفاده از الگوریتم یادگیری کوانتیزاسـیون بـرداری نشـان داد کـه پـارامتر شـیب بـا ضریب ۰/۸٥٦۰ بیشترین اهمیت را نسبت به سایر پارامترها در وقوع سیل در منطقه دارد. نقشه نهایی حساسـیت خطـر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



وقوع سیل در سطح حوضه آبریز الندچای در ۵ کلاس از خطر خیلی کم تا خیلی زیاد تهیه گردید که بررسی مساحت هر یک از کلاس‌ها نشان داد بیش از ۲۰ درصد از کل مساحت منطقه در پهنه‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. این پهنه‌ها که عمدتاً در پایین‌دست حوضه قرار دارند، محل شکل‌گیری اجتماعات انسانی و زمین‌های کشاورزی هستند که با طغیانی شدن رودخانه الندچای خسارات زیادی به آن‌ها وارد می‌شود. در گام نهایی تحقیق میزان دقت و عملکرد مدل مورد استفاده در تحقیق با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن بیانگر عملکرد خوب مدل FURIA-GA-LogitBoost در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج محققینی مثل تین بوی و همکاران (۲۰۱۹) در استان لائو سای واقع در کشور ویتنام مطابقت دارد. محققین مذکور در تحقیق خود به عملکرد خوب مدل‌های ترکیبی نوین جهت مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های حساسیت خطر وقوع سیل اشاره می‌کنند که نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نیز بیانگر تأیید نتایج این محققین است.

**قدردانی**

تحقیق حاضر برگرفته از نتایج رساله 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.

**کتابنامه**

ثقفی، مهدی؛ رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ ۱۳۹۶. *مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای*. رو چارلتون. تهران: انتشارات سمت. https://samta.samt.ac.ir/product/14908

رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ رحیم‌پور، توحید؛ ۱۳۹۹. تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضه آبریز الندچای به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل خیزی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳۳. ۸۳-۶۱. https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.84675

روستایی، شهرام؛ موسوی، رمضان؛ علیزاده گرجی، غلامرضا؛ ۱۳۹۶. تهیه نقشه سیلاب حوضه آبریز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RS. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. شماره ۱. ۱۱۸-۱۰۸. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78078.html

میرموسوی، سید حسین؛ اسمعیلی، حسین؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور (RS)، مطالعه موردی: شهرستان داراب. *مخاطرات محیط طبیعی*. دوره ۱۰. شماره ۲۷. ۲۱-۴۶. https://jneh.usb.ac.ir/article_5799.html

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., Kellecioglu, D. 2016., Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas, The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS, 373, 137–141. https://doi.org/10.5194/piahs-373-137-2016

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 Hazard Research Centre, Middlesex University, London. www.floodrisk.org.uk

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

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 Surface Processes and Landforms. 34, 280–290. https://doi.org/10.1002/esp.1723

Beckers, A., Dewals, 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. Natural Hazards and Earth System Sciences. 13, 2301–2318. https://doi.org/10.5194/nhess-13-2301-2013

Benito, G., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopeña, A., Thorndycraft, V.R., Barriendos, M., 2010. The impact of late Holocene climatic variability and land use change on the flood hydrology of the Guadalentín River, southeast Spain. Global and Planetary Change. 70, 53–63. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.11.007

Bui, D.T., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q.T., Tran, Q.A., Nguyen, Q.P., 2016. Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS. Journal of Hydrology. 540, 317–330. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027

Cevik, E., Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). Environmental Geology. 44 (8), 949–962. https://doi.org/10.1007/s00254-003-0838-6

Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., Mosavi, A., 2019. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. Science of the Total Environment, 651, 2087-2096. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.064

Cohen, W.W., 1995. Fast effective rule induction. In: Prieditis, A., Russell, S. (Eds.), Proceedings of the 12th International Conference on Machine Learning, 115–123. Morgan Kaufmann. http://citeseer.ist.psu.edu/cohen95fast.html

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

Das, S., 2018. Geographic information system and AHP based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India, Arab. J. Geosci, 11(19): 576. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4

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

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



Das, S., Pardeshi, S.D., 2018. Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. Applied Water Science. 8(7), 197. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0848-x

Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology. 41, 720–730. https://doi.org/10.1007/s00254-001-0454-2

Fernandez, D.S., Lutz, M.A., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology. 111, 90–98. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006

Friedman, J.H., Hastie, T.J., Tibshirani, R., 2000. Additive logistic regression: a statistical view of boosting (With discussion and a rejoinder by the authors), The Annals of Statistics, 28(2): 337-407. https://doi.org/10.1214/aos/1016120463

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. Journal of Hydrology. 356, 245–260. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.04.013

Garde R. J., 2006. River Morphology. New Delhi: Published by New Age International (P) Ltd.

Gittleman, M., Farmer, C.J., Kremer, P., McPhearson, T., 2017. Estimating stormwater runoff for community gardens in New York City, Urban Ecosystems. 20(1), 129–139. https://doi.org/10.1007/s11252-016-0575-8

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. Engineering Geology. 81, 65–83. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.011

Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., 2009. Multivariate data analysis. Prentice Hall, New York.

Haupt, L.R., Haupt, S.E., 2004. Practical Genetic Algorithms. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. https:// www.wiley.com/ en-ie/ Practical+ Genetic+ Algorithms% 2C+2nd+ Edition -p-9780471455653

Holland, J.H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor. https://mitpress.mit.edu/9780262581110/adaptation-in-natural-and-artificial-systems/

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. Science of The Total Environment. 621, 1124–1141. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.114

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

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

Iba, W., Langley, P., 1992. Induction of one-level decision trees. In ML92: Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning, Aberdeen, Scotland, 1–3 July 1992, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 233–240. https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-247-2.50035-8

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



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

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. Natural Hazards. 83(2), 947–987. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2

Knighton, A.D., 1999. Downstream variation in stream power. Geomorphology 29,293–306. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00015-X

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

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.

Lee, M.J., Kang, J.E., Jeon, S., 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International, 895–898. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351414

Lee, S., Kim, J.-C., Jung, H.-S., Lee, M.J., Lee, S., 2017. Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8(2): 1185–1203. https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1308971

Mahmood, Sh., Rahman, A., 2019. Flash flood susceptibility modeling using geo-morphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan. Environmental Earth Sciences, 78(43): 1-16, https://doi.org/10.1007/s12665-018-8041-y

Menard, S., 2001. Applied Logistic Regression Analysis. 2nd ed. Sage Publication, Thousand Oaks, CA, USA. https://methods.sagepub.com/book/applied-logistic-regression-analysis

Mitchell, M. 1996. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, Cambridge, 221pp. https://mitpress.mit.edu/9780262631853/an-introduction-to-genetic-algorithms

Opperman, J.J., Galloway, G.E., Fargione, J., Mount, J.F., Richter, B.D., Secchi, S., 2009. Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. Science. 326(5959), 1487–1488. https://doi.org/10.1126/science.1178256

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

Pradhan, B., Abokharima, M.H., Jebur, M.N., Tehrany, M.S., 2014. Land subsidence susceptibility mapping at Kinta Valley (Malaysia) using the evidential belief function model in GIS. Natural Hazards. 73(2), 1019–1042. http://dx.doi.org/10.1007/s11069-014-1128-1

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 International. 31(1), 42–70. https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559

Roy, J., Saha, S., 2019. GIS-based gully erosion susceptibility evaluation using frequency ratio, cosine amplitude and logistic regression ensembled with fuzzy logic in Hinglo River basin,

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



India. Remote Sensing Applications: Society and Environment 15, 100247. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100247

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. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_8

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 model in GIS. Journal of Hydrology. 504, 69–79. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034

Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology. 512, 332–343. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.017

Tien Bui, D., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q.T., Tran, Q.A., Nguyen, Q.P., 2016. Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS, Journal of Hydrology, 540, 317–330. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027

Tien Bui, D., Shirzad, A., Shahabi, H., Chapi, K., Omidvar, E., Thai Pham, B., Talebpour Asl, D., Khaledian, H., Pradhan, B., Panahi, M., Bin Ahmad, B., Rahmani, H., Grof, G., Kee, S., 2019. A Novel Ensemble Artificial Intelligence Approachfor Gully Erosion Mapping in a Semi-AridWatershed (Iran), Sensors, 19(11): 2444. https://doi.org/10.3390/s19112444

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

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

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

USDA, S.C.S., 1986. Urban hydrology for small watersheds. Technical Release. 55, pp. 2–6.

Archive of SID.ir