

ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دو متغیره (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای)

محمدحسین رضائی مقدم* - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
توحید رحیم‌پور - پژوهشگر پسادکتری گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

چکیده

حوضه آبریز آجی چای واقع در استان آذربایجان شرقی به دلیل برخورداری از شرایط خاص توپوگرافیکی مستعد وقوع سیلاب‌های مخرب می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از روش آماری وزن شواهد (WOE) می‌باشد. جهت نیل به این هدف ۱۸ پارامتر مؤثر در وقوع سیل بررسی شدند. پارامترهای مورد بررسی عبارت بودند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص حمل رسوب، شاخص قدرت آبراهه، انحنا، زمین، بارش، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از سد، فاصله از پل، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، بافت زهکشی، ژئومورفولوژی و لیتولوژی. از مجموع ۲۷۴ نقطه سیلابی، ۷۰ درصد به عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد به عنوان داده‌های اعتبار سنجی انتخاب شدند. نقشه نهایی با استفاده از ابزار Raster Calculator و حاصل ضرب وزن طبقات پارامترها در لایه‌های اطلاعاتی خود به دست آمد. نتایج نشان داد که بیش از ۳۰ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. کلان‌شهر تبریز نیز به عنوان مهم‌ترین مرکز جمعیتی داخل حوضه به دلیل قرارگیری در مسیر رودخانه‌های آجی چای و مهران رود در پهنه‌های پرخطر قرار دارد که آسیب‌پذیری آن را در هنگام وقوع سیلاب‌های مخرب نشان می‌دهد. ارزیابی دقت مدل بر اساس منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که دقت مدل از نظر داده‌های آموزشی با ضریب ۰/۸۹۸ از عملکرد خوبی برخوردار بوده است.

واژگان کلیدی: سیل، تحلیل آماری، مدل وزن شواهد، حوضه آبریز آجی چای.

مقدمه

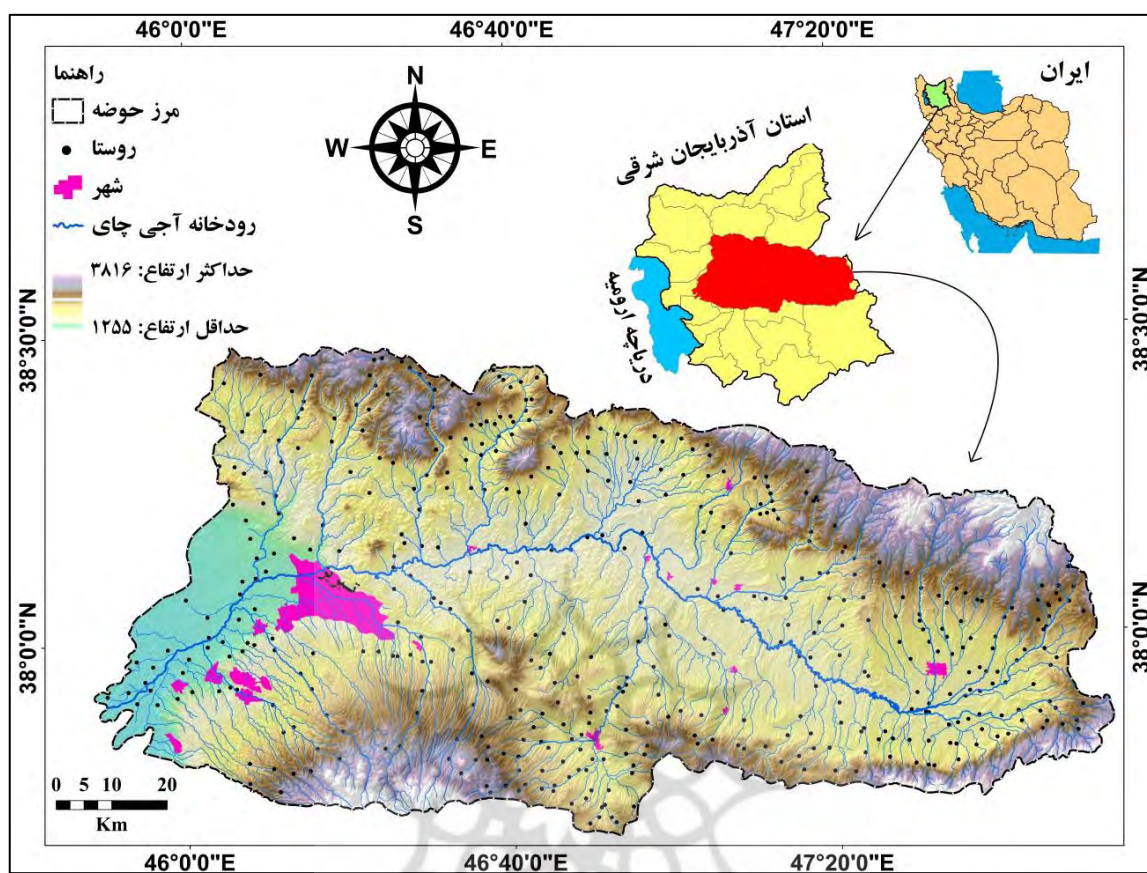
آب مهم‌ترین عنصر حیاتی در این گیتی می‌باشد که زندگی انسان‌ها و سایر موجودات زنده (حیوان و گیاه) به آن وابسته است. بستر توسعه هر سرزمینی آب می‌باشد، به‌طوری‌که اولین تمدن‌های بشری در کنار آب به وجود آمده‌اند. در سطح حوضه آبریز، مدیریت صحیح آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند منجر به پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی شده و درنهایت به توسعه پایدار منطقه کمک نماید. اما سوءاستفاده و عدم مدیریت صحیح این منبع ارزشمند می‌تواند باعث وقوع مهم‌ترین مخاطره ژئومورفیک یعنی سیل شود. از زمان پیدایش انسان بر روی زمین، خشکسالی و وقوع سیلاب بر فعالیت‌های او در سرتاسر جهان تأثیر گذاشته است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۹). سیل به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک افزایش ناگهانی در میزان آب است که مقدار آن بیش از ظرفیت کانال رودخانه می‌باشد. این افزایش ناگهانی در مقدار آب، طغیانی شدن رودخانه را به دنبال دارد که باعث می‌شود آب از بستر اصلی خود خارج شده و در دشت‌های سیلابی و زمین‌های اطراف رودخانه جریان پیدا کند. خروج آب از بستر اصلی و جریان یافتن آن در زمین‌های اطراف باعث وارد آمدن خسارات زیادی به مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی شده و سلامت مردم را به خطر می‌اندازد. در شمال غرب ایران با شروع فصل بهار و آغاز بارندگی‌های بهاره سیلاب‌های متعددی اتفاق می‌افتد که در بیشتر موارد با خسارت‌های سنگینی همراه می‌شود (رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). حوضه آبریز آجی چای نیز به دلیل برخورداری از عوامل ایجادکننده سیل (از قبیل شرایط اقلیمی، توپوگرافی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و...) همه‌ساله با شروع فصل بهار درگیر سیلاب‌های مخرب می‌باشد. بنابراین ضرورت انجام تحقیقی جهت بررسی پتانسیل خطر وقوع سیل در این حوضه بیش‌ازپیش احساس می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق به مدیران و مسئولان منطقه جهت مدیریت هر چه بهتر سیلاب و ارائه تمهیدات لازم به‌منظور کاهش خسارات ناشی از این مخاطره کمک شایانی می‌نماید.

تحقیقات خوبی در زمینه مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های پتانسیل خطر وقوع سیل در داخل و خارج از کشور توسط محققان مختلف انجام گرفته، که به برخی از تازه‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. عقیقی (۱۳۹۸)، در پژوهشی به ارزیابی عوامل مؤثر بر مخاطرات سیلاب حوضه آبریز رودخانه فیروزآباد و تهیه نقشه حساسیت سیل و احتمال وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون اقدام نمود. در این پژوهش ابتدا ۳۴ نقطه سیلابی حوضه آبریز جهت آموزش و مدل‌سازی و همچنین اعتبارسنجی نتایج انتخاب شد. سپس از ۱۰ عامل مؤثر در وقوع سیلاب شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، NDVI، SPI، TWI، طبقات ارتفاعی، بارندگی و فاصله از رودخانه استفاده گردید. نتایج وزن دهی عوامل با استفاده از شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه‌های NDVI، بارندگی، فاصله از رودخانه و SPI بیشترین تأثیر را بر وقوع سیل دارند. همچنین نتایج نشان داد که مناطق اطراف رودخانه فیروزآباد حساسیت زیادی نسبت به وقوع سیل دارند. آزادی و همکاران (۱۳۹۹)، اقدام به پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل در حوضه آبریز رودخانه کشکان با استفاده از دو مدل EBF و WOE نمودند. در این تحقیق از موقعیت جغرافیایی ۲۶۰ نقطه سیل‌گیر جهت اجرای مدل‌ها استفاده شد. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، جنس خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی، توان آبراهه، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، پوشش گیاهی، انحنای شیب، تراکم آبراهه و مدل رقومی ارتفاعی. نتایج تحقیق نشان داد که بر اساس مدل EBF، ۴۷/۳۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد و بر اساس مدل WOE حدود ۵۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نیز نشان داد که مدل EBF با ضریب ۰/۸۷۵ عملکرد بهتری نسبت به مدل WOE داشته است. سعیدی‌مفرد و همکاران (۱۴۰۱)، در تحقیقی اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان تربت‌حیدریه با استفاده از عملگرهای فازی نمودند. در این پژوهش از ۸ معیار شامل شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، تراکم زهکشی و پوشش گیاهی استفاده شد. جهت وزن دهی معیارها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. نتایج وزن دهی معیارها نشان داد که متغیرهای شیب و بارش با ضرایب ۰/۳۰۶ و ۰/۱۷۵ بیشترین تأثیر را در وقوع سیل دارند.

همچنین نتایج نشان داد که شهر تربت حیدریه در محدوده خطر خیلی کم و به لحاظ سکونتگاه‌های روستایی نیز اکثر آبادی‌های این شهرستان در پهنه با خطر آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. رحیم‌پور و همکاران (۱۴۰۲)، بر پایه یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی نوین به مدل‌سازی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آندچای واقع در استان آذربایجان غربی پرداختند. در این تحقیق از ۱۳ پارامتر مؤثر در وقوع سیل استفاده گردید. مدل ترکیبی مورد استفاده در این پژوهش جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل FURIA-GA-LogitBoost بوده است. یافته‌های پژوهش نشان داد که مناطق پایین‌دست حوضه حساسیت بالایی را از نظر خطر وقوع سیل دارا می‌باشند. همچنین شهر خوی نیز که در قسمت خروجی حوضه قرار دارد جزو مناطق با خطر سیل‌گیری بالا شناسایی گردید. ارزیابی مدل تحقیق با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که مدل تحقیق عملکرد بهتری در تهیه نقشه خطر وقوع سیل داشته است. یاریان و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و مدل‌های آماری اقدام به تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در شهرستان سقز واقع در استان کردستان کردند. روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: نسبت فراوانی (FR)، تابع شواهد قطعی (EBF) و میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA). جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل از ۱۰ پارامتر مؤثر در وقوع این پدیده شامل شیب، بارش، طول شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، جهت شیب، ارتفاع، انحناء، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی و کاربری اراضی استفاده شد. نتایج بررسی دقت مدل‌ها با استفاده از منحنی ROC نشان داد که مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای همراه با مدل تابع شواهد قطعی از دقت بیشتری نسبت به دو مدل دیگر برخوردار می‌باشد. آلدیانسیا و والدانی (۲۰۲۳)، در پژوهشی به ارزیابی خطر وقوع سیل بر اساس الگوریتم‌های یادگیری ماشین نمودند. منطقه مورد مطالعه این تحقیق شهر کندی واقع در کشور اندونزی بود. در این تحقیق ۱۷ پارامتر مؤثر در وقوع سیل مورد استفاده قرار گرفت. این پارامترها عبارت بودند از: جهت شیب، انحناء، ارتفاع، جریان تجمعی، جهت جریان، زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی، بارش، فاصله از رودخانه، خاک، شاخص قدرت آبراهه، شاخص حمل رسوب، شاخص زبری زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی و باد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل جنگل تصادفی عملکرد بهتری در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل داشته است. همچنین نتایج نشان داد که بیش از ۳۲ درصد از مساحت منطقه پتانسیل بالایی را از نظر وقوع سیل دارا می‌باشد. از بین ۱۷ پارامتر مورد بررسی نیز شاخص پوشش گیاهی و شاخص زبری زمین بیشترین تأثیر را بر وقوع سیل در منطقه داشته‌اند.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر حوضه آبریز آجی چای می‌باشد که از نظر تقسیمات سیاسی در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این حوضه از نظر مختصات جغرافیایی بین $37^{\circ} 41' 03''$ تا $38^{\circ} 29' 07''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 48' 07''$ تا $48^{\circ} 53' 48''$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه حدود $10985/9$ کیلومتر مربع بوده و تغییرات ارتفاعی آن از 1255 متر در خروجی حوضه تا 3816 متر در دامنه‌های کوهستان سیلان می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه‌ای که آب‌های سطحی این حوضه را زهکشی می‌کند آجی چای نام دارد. این حوضه یکی از بزرگ‌ترین زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌شود. این حوضه از دامنه‌های جنوب و جنوب غربی کوهستان سیلان با ارتفاع بالغ بر 3800 متر شروع شده و با عبور از قسمت شمالی کلان‌شهر تبریز در قسمت شمال غربی آذرشهر به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. میانگین بارش سالانه منطقه بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی موجود در داخل حوضه 315 میلی‌متر می‌باشد. میانگین دمای آن نیز بر اساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک $11/08$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: تصاویری از طغیانی شدن رودخانه‌ها و وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در پژوهش حاضر جهت تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در سطح حوزه آبریز آجی چای از روش آماری وزن شواهد (WOE^1) استفاده شده است. اساس این مدل تعیین وزن مثبت (W^+) و وزن منفی (W^-) است. در این روش وزن هر طبقه از پارامتر بر اساس وجود یا عدم وجود سیل در طبقه مورد نظر محاسبه می‌شود. جهت محاسبه وزن هر یک از کلاس‌های پارامترها از روابط زیر استفاده می‌گردد:

$$W_i^+ = \log_e \left[\frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1}+N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3}+N_{pix4}}} \right] \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$W_i^- = \log_e \left[\frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1}+N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3}+N_{pix4}}} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط N_{pix1} ، تعداد نقاط سیل در هر کلاس N_{pix2} ، (تعداد کل نقاط سیل در محدوده مورد مطالعه - تعداد نقاط سیل در هر کلاس) N_{pix3} ، (تعداد پیکسل‌های هر کلاس - تعداد نقاط سیل در هر کلاس) N_{pix4} ، (تعداد کل پیکسل‌های محدوده مورد مطالعه) - (تعداد کل نقاط سیل در محدوده مورد مطالعه) - (تعداد پیکسل‌های هر کلاس) + (تعداد نقاط سیل در هر کلاس). وزن مثبت نشان می‌دهد که پارامتر مورد نظر در وقوع سیل نقش دارد، اما وزن منفی بیانگر عدم تأثیر پارامتر مورد نظر در وقوع سیل می‌باشد. در ادامه به منظور تعیین وزن نهایی هر کلاس از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$C = [(W_i^+) - (W_i^-)] \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$W_{final} = C / S_c \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن W_{final} ، وزن نهایی استاندارد شده؛ C ، تفاضل وزن‌های مثبت و منفی و S_c ، انحراف استاندارد هست که برابر با جذر واریانس مجموع هر یک از وزن‌های مثبت و منفی می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). برای محاسبه واریانس وزن‌های مثبت و منفی از روابط زیر استفاده می‌گردد:

$$Sw^+ = 1 / \text{تعداد نقاط سیل در هر کلاس} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Sw^- = 1 / \text{تعداد نقاط سیل در هر کلاس} - \text{تعداد کل نقاط سیل در منطقه} \quad \text{رابطه (۶)}$$

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

سیلاب‌ها معمولاً به‌طور ناگهانی شروع می‌شوند و در مدت زمان اندکی خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارند

¹: Weight of Evidence

(رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). پارامترهای زیادی در وقوع سیل نقش دارند. لذا در این بخش با بررسی پیشینه تحقیق از ۱۸ پارامتر مؤثر در وقوع سیل جهت تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز جی چای استفاده گردید. به‌منظور تهیه نقشه‌های طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت آبراهه، شاخص حمل رسوب و انحناى زمین از مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۲۸ متر استفاده شد. رواناب‌های سطحی همیشه از نواحی با ارتفاع بالا به سمت مناطق کم ارتفاع جریان پیدا می‌کنند. بنابراین مناطق کم ارتفاع راحت‌تر و سریع‌تر دچار سیل گرفتگی می‌شوند (دهری و آبیدا^۱، ۲۰۱۷). به‌طور کلی در مناطق با شیب کم (زمین‌های هموار) به دلیل انباشت حجم زیاد آب که منجر به سیلاب‌های شدید می‌شود، احتمال وقوع سیلاب زیاد است (پرادهان^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ لی^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). بارش یک متغیر یا عامل شرطی اصلی برای پیش‌بینی سیلاب‌های ناگهانی است، زیرا سیل‌های ناگهانی معمولاً با طوفان‌های شدید و کوتاه همراه هستند (بوی^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهش حاضر جهت تهیه نقشه بارش منطقه از داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (۴ ایستگاه) و باران‌سنجی (۲۴ ایستگاه) موجود در داخل محدوده حوضه آبریز آجی چای استفاده شده است. نقشه نهایی بارش از طریق درون‌یابی و با روش IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. جهت تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با ردیف و گذرهای ۳۳-۱۶۸، ۱۶۸-۳۴، ۳۴-۱۶۷ و مربوط به سال ۲۰۲۲ استفاده گردید. همچنین از نقشه کاربری اراضی که توسط شرکت Esri از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و مربوط به سال ۲۰۲۲ استخراج شده است، استفاده گردید. جهت تعیین موقعیت پل‌ها و سدها در منطقه از امکانات سامانه Google Earth استفاده شده و لایه پل‌ها و سدها با فرمت وکتوری تهیه و سپس وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS گردید. نقشه نهایی این دو پارامتر با استفاده از ابزار فاصله اقلیدسی^۵ و در پنج کلاس تهیه شدند. شبکه زهکشی منطقه از طریق لایه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۲۸ متر استخراج و سپس نقشه فاصله از آبراهه با استفاده از ابزار فاصله اقلیدسی و تراکم زهکشی با ابزار تراکم خطی تهیه گردید. به‌منظور تهیه نقشه لیتولوژی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ (برگه‌های تبریز، سراب، بستان‌آباد، هریس، اسکو و خوجا) برگرفته از سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه از طریق داده‌های جهانی گروه‌های هیدرولوژیک خاک برگرفته از وب‌سایت ناسا، نقشه‌های زمین‌شناسی و لایه کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. بررسی و شناسایی لندفرم‌های سطح زمین و فرآیندهایی که باعث شکل‌گیری آن‌ها شده‌اند، در حیطه دانش ژئومورفولوژی می‌باشد (رحیم‌پور، ۱۴۰۰). در پژوهش حاضر جهت شناسایی لندفرم‌های اصلی حوضه آبریز آجی چای از تلفیق عوامل جغرافیایی از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، شیب و شبکه آبراهه‌ای به همراه تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده است.

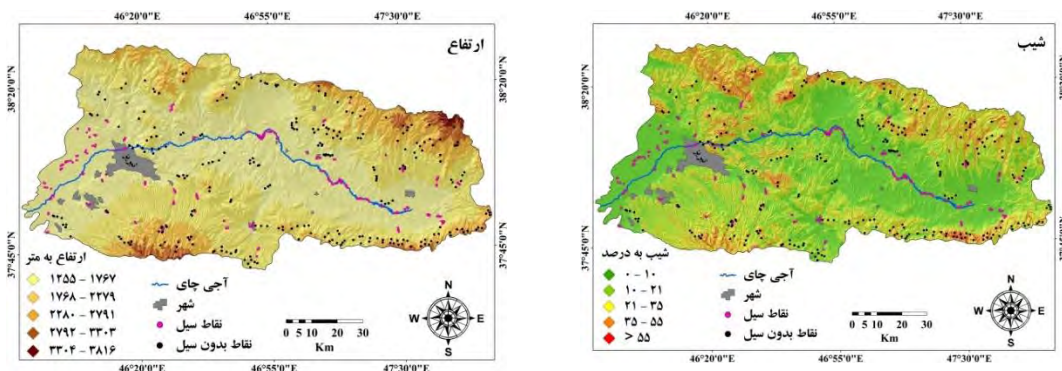
1. Dahri and Abida

2. Pradhan

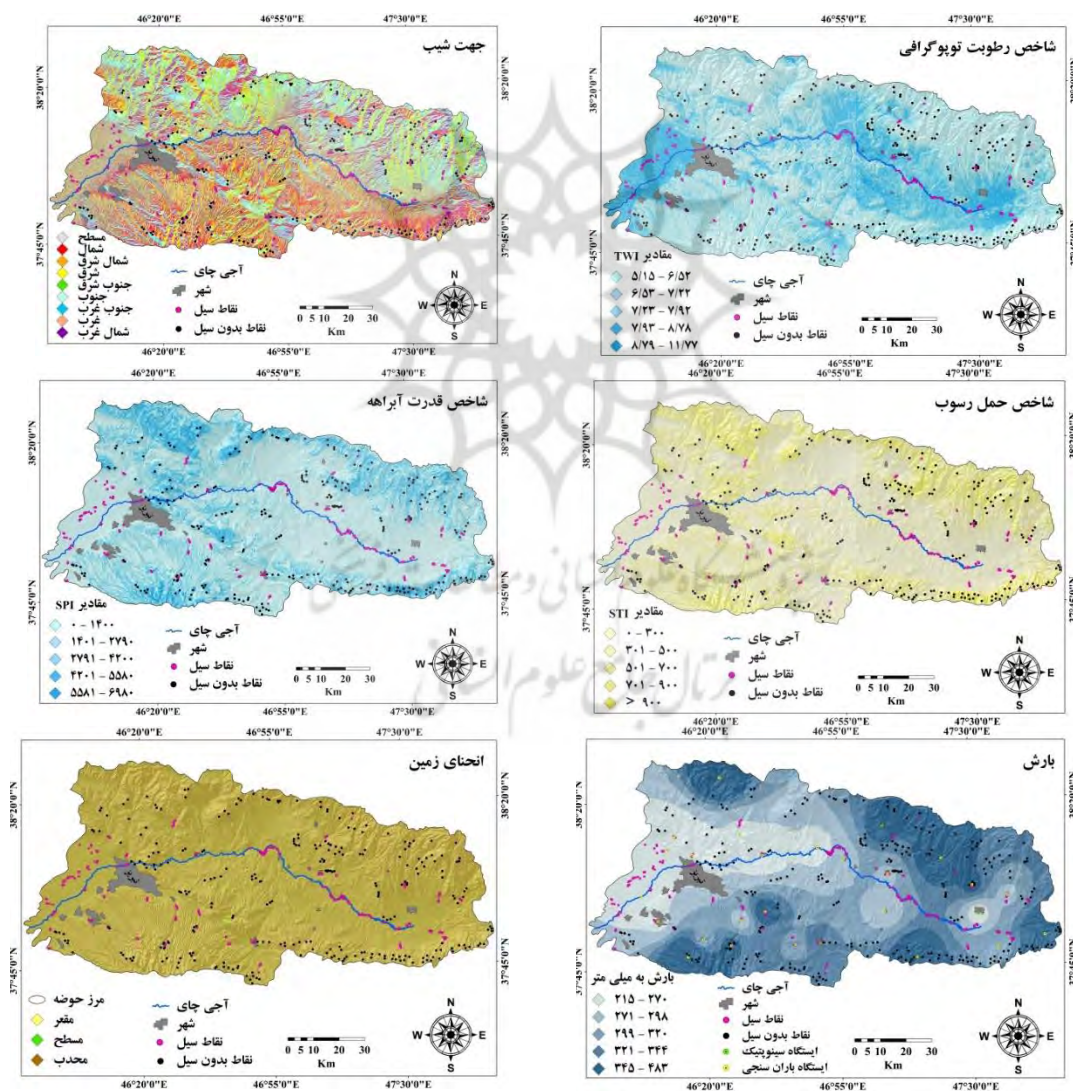
3. Li

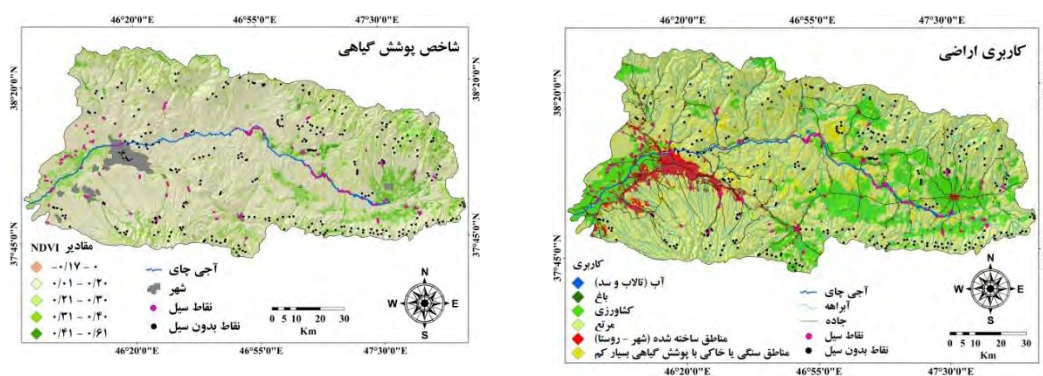
4. Bui

5. Euclidean Distance

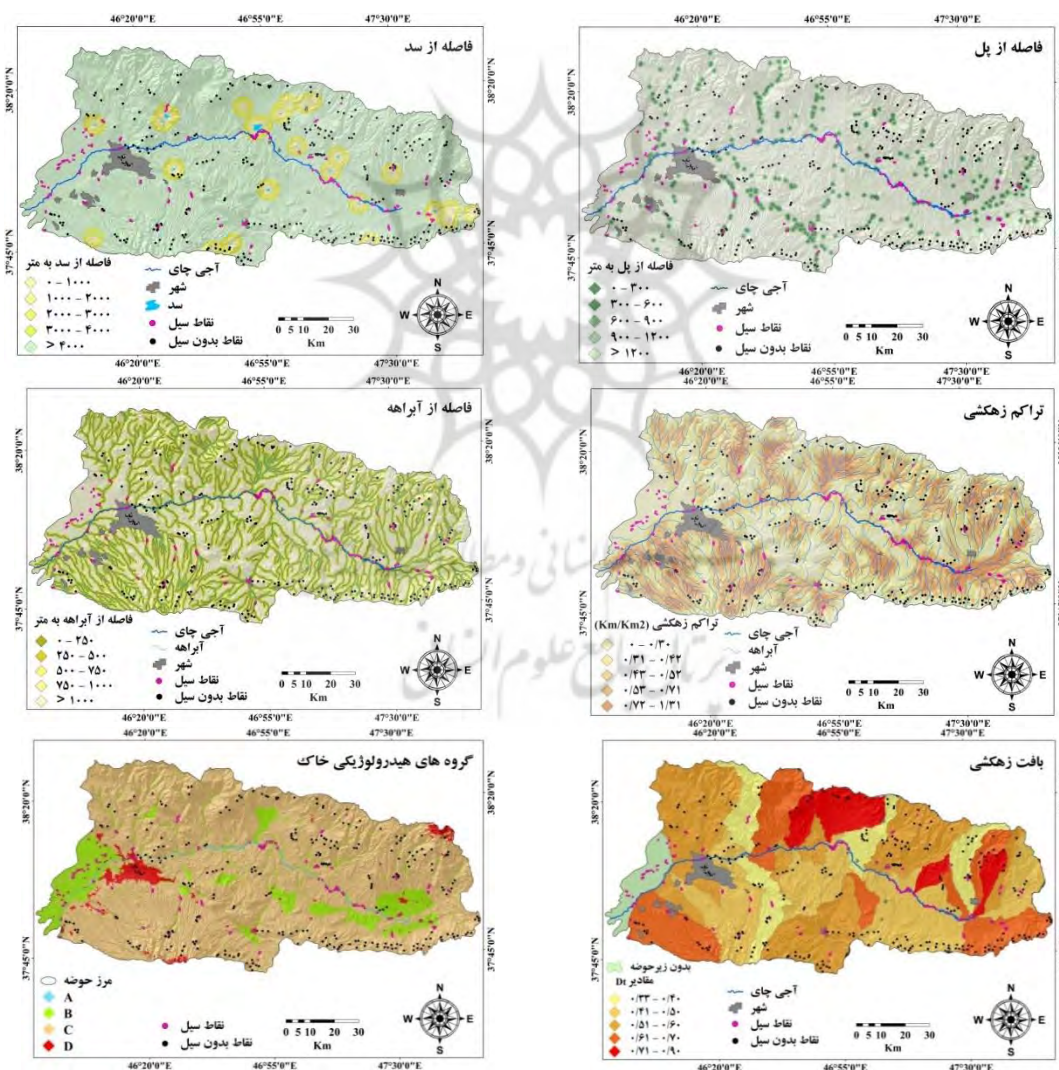


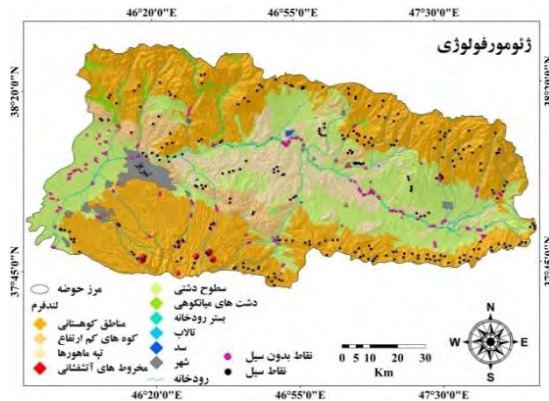
شکل ۳: نقشه پارامترهای مورد استفاده در تحقیق



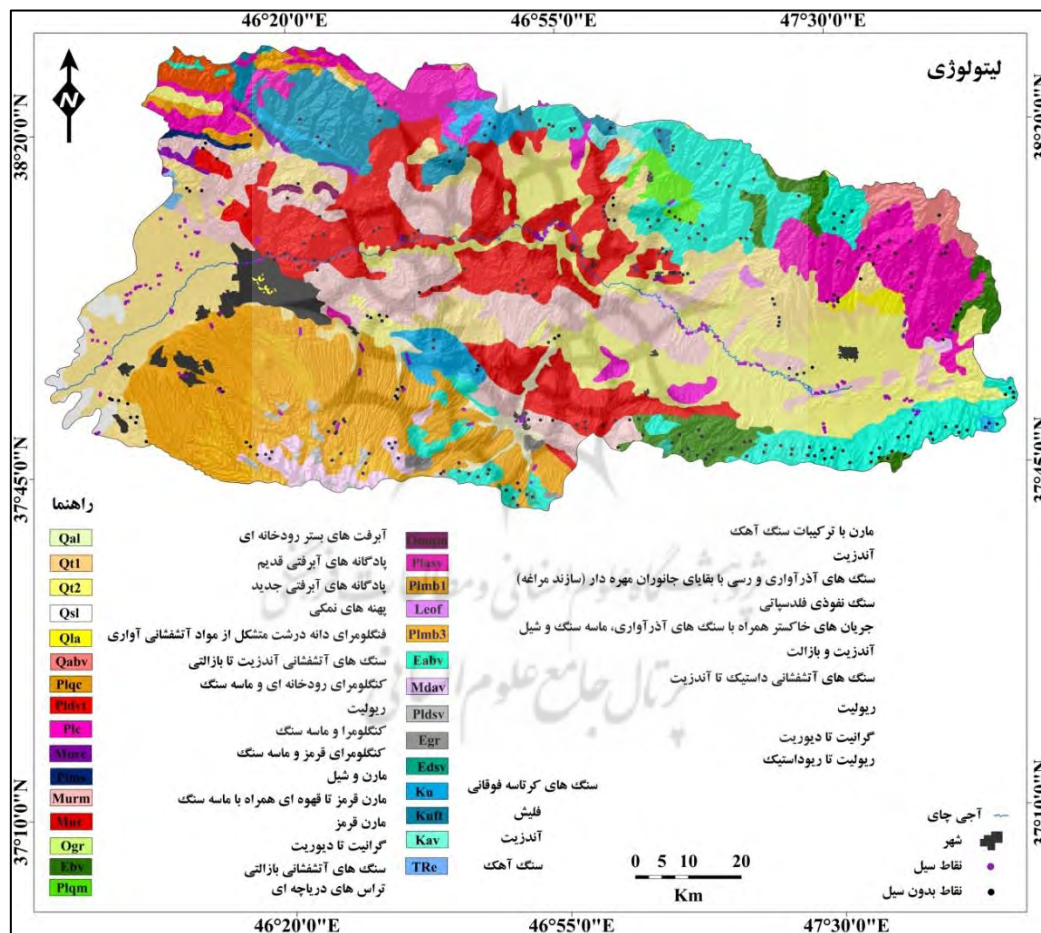


ادامه شکل ۳: نقشه پارامترهای مورد استفاده در تحقیق





ادامه شکل ۳: نقشه پارامترهای مورد استفاده در تحقیق



شکل ۴: نقشه لیتولوژی حوضه آبریز آجی جای

بحث و یافته‌ها

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر یک از پارامترها و محاسبه تعداد پیکسل‌های هر کلاس، اقدام به محاسبه وزن هر یک از کلاس‌های لایه‌ها با استفاده از روش آماری وزن شواهد گردید. جهت محاسبه وزن هر یک از طبقات لایه‌ها با این روش از موقعیت نقاط سیلاب‌های رخ داده در منطقه استفاده گردید. موقعیت نقاط سیلابی از طریق اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی (بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۹)، بازدیدهای میدانی و همچنین تصویر ماهواره‌ای لندست

۸ سنجنده OLI-TIRS مربوط به تاریخ ۲۷ فروردین ۱۳۹۶ که یک روز بعد از وقوع سیل بزرگ در منطقه تصویربرداری شده بود، تهیه گردید. نتایج این بخش به صورت جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: وزن کلاس‌های هر یک از پارامترها

پارامتر	طبقه	تعداد پیکسل‌ها	تعداد نقاط سیل	W_i^+	W_i^-	C	Sw^+	Sw^-	Sc	W_{final}
ارتفاع	۱۷۶۷ - ۱۲۵۵	۶۴۲۰۰۱۸	۱۴۳	۰/۴۸۶	-۰/۷۵۳	۱/۲۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲۰	۰/۱۶۵	۷/۴۸
	۲۲۷۹ - ۱۷۶۸	۵۲۸۱۴۷۴	۴۹	-۰/۳۸۹	۰/۱۷۸	-۰/۵۶۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۶	۰/۱۶۵	-۳/۴۳
	۲۲۸۰ - ۲۷۹۱	۱۸۶۳۷۸۱	۰	۰	۰/۱۴۲	۰	۰	۰/۰۰۵۲	۰	۰
	۲۷۹۲ - ۳۳۰۳	۳۹۸۷۲۸	۰	۰	۰/۰۲۸	۰	۰	۰/۰۰۵۲	۰	۰
	۳۳۰۴ - ۳۸۱۶	۵۳۰۸۱	۰	۰	-۰/۰۳۷	۰	۰	۰/۰۰۵۲	۰	۰

ادامه جدول ۱: وزن کلاس‌های هر یک از پارامترها

پارامتر	طبقه	تعداد پیکسل‌ها	تعداد نقاط سیل	W_i^+	W_i^-	C	Sw^+	Sw^-	Sc	W_{final}
شیب	۰ - ۱۰	۵۸۹۷۱۸۲	۱۵۸	۰/۶۷۰	-۱/۱۸۴	۱/۸۵۵	۰/۰۰۶	۰/۰۲۹	۰/۱۸۹	۹/۸۱
	۱۰ - ۲۱	۳۸۷۹۰۹۲	۳۱	-۰/۵۳۹	۰/۱۴۸	-۰/۶۸۷	۰/۰۳۲	۰/۰۰۶	۰/۱۹۶	-۳/۵۰
	۲۱ - ۳۵	۲۳۷۹۳۴۲	۲	-۲/۷۹۱	۰/۱۷۵	-۲/۹۶	۰/۵	۰/۰۰۵	۰/۷۱۰	-۴/۱۷
	۳۵ - ۵۵	۱۳۹۸۳۳۲	۱	-۲/۹۵۲	۰/۰۹۹	-۳/۰۵	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۰۲	-۳/۰۴
	> ۵۵	۴۵۷۷۵۱	۰	۰	-۰/۰۳۳	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
جهت	مسطح	۱۸۳۰۵۷	۴	۱/۵۹۴	۰/۹۹۲	۰/۴۷۴	۰/۲۵	۰/۰۰۵	۰/۵۰۵	۰/۹۳۹
	شمال	۲۰۱۹۰۲۶	۳۸	۱/۳۷۳	۰/۹۳۷	۰/۳۸۲	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۱۸۱	۲/۱۱
	شمال شرق	۱۴۸۰۵۵۶	۱۶	۰/۷۸۸	۱/۰۲۴	-۰/۲۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۰۵	۰/۲۶۱	-۱
	شرق	۱۳۰۶۰۹۷	۲۳	۱/۲۸۵	۰/۹۷۰	۰/۲۸۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۵	۰/۲۲۲	۱/۲۶
	جنوب شرق	۱۶۲۳۷۰۲	۲۴	۱/۰۷۸	۰/۹۸۹	۰/۰۸۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵	۰/۲۱۸	۰/۳۹۵
	جنوب	۲۰۴۱۱۴۵	۲۴	۰/۸۵۸	۰/۰۲۴	-۰/۱۷۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵	۰/۲۱۸	-۰/۱۱۰
	جنوب غرب	۱۸۰۹۵۵۳	۲۵	۱/۰۰۸	۰/۹۹۸	۰/۰۰۹	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۲۱۴	۰/۰۴۴
	غرب	۱۵۷۱۱۱۸	۱۷	۰/۷۸۹	۱/۰۲۶	-۰/۲۶۲	۰/۰۵۸	۰/۰۰۵	۰/۲۵۴	-۱/۰۳۲
	شمال غرب	۱۹۷۸۵۲۳	۲۱	۰/۷۷۴	۱/۰۳۷	-۰/۲۹۱	۰/۰۴۷	۰/۰۰۵	۰/۳۳۱	-۱/۲۶۱
بافت	۲۱۵ - ۲۷۰	۲۳۸۲۶۹۱	۵۹	۱/۵۷۴	۰/۸۶۰	۰/۶۰۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۱۵۶	۳/۸۵
	۲۷۱ - ۲۹۸	۲۴۵۱۴۲۶	۵۳	۱/۳۷۴	۰/۹۰۵	۰/۴۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	۰/۱۶۱	۲/۵۸
	۲۹۹ - ۳۲۰	۲۵۳۸۱۷۷۵	۳۸	۰/۹۵۱	۱/۰۱۲	-۰/۰۶۲	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۱۸۱	-۰/۳۴
	۳۲۱ - ۳۴۴	۲۴۹۳۲۱۵	۲۳	۰/۵۸۶	۱/۱۰۶	-۰/۶۳۴	۰/۰۴۳	۰/۰۰۵	۰/۲۲۲	-۲/۸۵
	۳۴۵ - ۴۸۳	۲۳۴۰۴۹۱	۱۹	۰/۵۱۶	۱/۱۱۴	-۰/۷۷۰	۰/۰۵۲	۰/۰۰۵	۰/۳۴۱	-۳/۱۸
فاصله از آبراهه	۰ - ۲۵۰	۲۹۳۵۰۸۵	۱۴۸	۱/۱۶۴	-۰/۱۹۸	۲/۳۶۳	۰/۰۰۶	۰/۰۲۲	۰/۱۷۱	۱۳/۷۶
	۲۵۰ - ۵۰۰	۲۴۷۲۸۶۶	۱۷	-۰/۸۲۷	۰/۱۳۳	-۰/۹۶۱	۰/۰۵۸	۰/۰۰۵	۰/۲۵۴	-۳/۷۸
	۵۰۰ - ۷۵۰	۲۰۲۴۳۵۹	۵	-۱/۸۵	۰/۱۵۴	-۲	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۴۵۳	-۴/۴۲
	۷۵۰ - ۱۰۰۰	۱۵۵۷۶۹۹	۳	-۲/۱۰	۰/۱۲۰	-۲/۲۲	۰/۳۳	۰/۰۰۵	۰/۵۸۱	-۳/۸۱
	> ۱۰۰۰	۳۲۱۶۵۱۰	۱۹	-۰/۹۷۹	۰/۲۰۱	-۱/۱۸۱	۰/۰۵۲	۰/۰۰۵	۰/۳۴۱	-۴/۸۸
تراکم آبراهه	۰ - ۰/۳۰	۲۲۵۴۸۹۳	۳۰	-۰/۱۶۷	۰/۰۳۴	-۰/۲۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۰۶	۰/۱۹۸	-۱/۰۱
	۰/۳۱ - ۰/۴۲	۲۳۸۱۲۹۰	۲۴	-۰/۴۴۵	۰/۰۸۳	-۰/۵۲۸	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵	۰/۲۱۸	-۲/۴۲
	۰/۴۳ - ۰/۵۲	۲۶۱۷۶۴۸	۲۰	-۰/۷۲۲	۰/۱۳۱	-۰/۸۵۳	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۲۳۶	-۳/۶۱
	۰/۵۳ - ۰/۷۱	۳۶۵۹۵۵۱	۸۵	۰/۳۸۹	-۰/۲۲۸	۰/۶۱۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۱۴۵	۴/۲۵

۲/۹۳	۰/۱۹۱	۰/۰۰۶	۰/۰۳۰	۰/۵۶۰	۰/۰۷۶	۰/۴۸۳	۳۳	۱۲۹۳۱۳۷	۰/۷۲ - ۱/۳۱	شاخص پوشش گیاهی
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۱۵۳۳۹	۰/۱۷ - ۰	
-۱۰/۴۵	۰/۱۴۶	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	-۱/۵۳	۰/۹۱۳	-۰/۶۱۸	۷۹	۹۳۲۶۰۷۴	۰/۰۱ - ۰/۲۰	
۳/۴۹	۰/۱۶۶	۰/۰۰۶	۰/۰۲۰	۰/۵۸۱	-۰/۱۱۶	۰/۴۶۴	۴۸	۱۹۱۷۱۴۶	۰/۲۱ - ۰/۳۰	
۸/۹۱	۰/۱۷۶	۰/۰۰۶	۰/۰۲۴	۱/۵۶	-۰/۱۸۵	۱/۳۸۳	۴۱	۶۵۳۱۹۴	۰/۳۱ - ۰/۴۰	
۸/۰۳	۰/۲۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۴۱	۱/۷۵	-۰/۱۰۹	۱/۶۴۳	۲۴	۲۹۴۹۰۰	۰/۴۱ - ۰/۶۱	کاربری اراضی
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۱۱۴۸۶۴	آب (تالاب و سد)	
۶/۶۴	۰/۳۶۱	۰/۰۰۵	۰/۱۲۵	۲/۳۹۹	-۰/۰۳۸	۲/۳۶۱	۸	۴۳۱۶۷۱	باغ	
۱۰/۱۵	۰/۱۴۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱	۱/۴۶۷	-۰/۵۱۲	۰/۹۵۵	۱۰۰	۲۲۰۱۰۱۵۴	کشاورزی	
-۱۰/۹۱	۰/۱۶۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۹	-۱/۷۷۲	۰/۸۴۲	-۰/۹۲۹	۵۲	۷۵۳۶۹۴۸۳	مرتع	
۶/۷۱	۰/۱۹۸	۰/۰۰۶	۰/۰۳۳	۱/۳۳۴	-۰/۱۲۲	۱/۲۱۲	۳۰	۵۱۰۷۵۲۳	مناطق ساخته شده	
-۲/۵۸	۰/۷۱۰	۰/۰۰۵	۰/۵	-۱/۸۳۹	۰/۰۵۳	-۱/۷۸۵	۲	۶۸۲۶۱۵۸	مناطق سنگی یا خاکی	

ادامه جدول ۱: وزن کلاس‌های هر یک از پارامترها

پارامتر	طبقه	تعداد پیکسل‌ها	تعداد نقاط سیل	W_i^+	W_i^-	C	Sw^+	Sw^-	Sc	W_{final}
فاصله از سد	۱۰۰۰ -	۱۵۷۹۵۰	۰	۰	۰/۰۱۳	۰	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۰ - ۱۰۰۰	۲۹۲۶۷۸	۱۳	۱/۰۳۸	-۰/۰۴۵	۱/۰۸۳	۰/۰۷۶	۰/۰۰۵	۰/۲۸۷	۳/۷۷
	۳۰۰۰ - ۲۰۰۰	۴۱۹۴۶۳	۳۰	۱/۵۱۴	-۰/۱۳۴	۱/۶۴۹	۰/۰۳۳	۰/۰۰۶	۰/۱۹۸	۸/۲۹
	۴۰۰۰ - ۳۰۰۰	۵۱۰۶۳۷	۱۹	۰/۸۶۱	-۰/۰۶۱	۰/۹۲۲	۰/۰۵۲	۰/۰۰۵	۰/۲۴۱	۳/۸۱
	> ۴۰۰۰	۱۰۸۲۵۸۸۰	۱۳۰	-۰/۲۶۹	۱/۰۴۹	-۱/۳۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۶	۱/۵۴	-۸/۵۴
فاصله از پل	۰ - ۳۰۰	۱۴۹۶۳۱	۳۲	۲/۶۰	-۰/۱۶۹	۲/۷۷۹	۰/۰۳۱	۰/۰۰۶	۰/۱۹۳	۱۴/۳۵
	۳۰۰ - ۶۰۰	۳۴۴۵۳۹	۱۸	۱/۲۰۰	-۰/۰۶۹	۱/۲۷۰	۰/۰۵۵	۰/۰۰۵	۰/۲۴۷	۵/۱۳
	۶۰۰ - ۹۰۰	۴۸۷۲۴۴	۲۵	۱/۱۸۲	-۰/۰۹۸	۱/۲۸۱	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۲۱۴	۵/۹۷
	۹۰۰ - ۱۲۰۰	۵۸۸۵۱۱	۱۶	۰/۵۴۷	-۰/۰۳۷	۰/۵۸۴	۰/۰۶۲	۰/۰۰۵	۰/۲۶۱	۲/۲۳
	> ۱۲۰۰	۱۰۶۳۶۶۷۳	۱۰۱	-۰/۵۰۴	۱/۳۰۴	-۱/۸۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۱۴۴	-۱۲/۵۱
گروه‌های هیدرولوژیکی خاک	A	۷۰۷۶۴	۳۸	۳/۵۳۱	-۰/۲۱۴	۳/۷۴۵	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۱۸۱	۲۰/۶۷
	B	۱۶۵۱۰۲۳	۷۳	۱/۰۳۳	-۰/۳۳۳	۱/۳۶۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۱۴۸	۲۰/۱۹
	C	۱۰۱۸۹۰۰۸	۷۸	-۰/۷۲۰	۱/۲۷۸	-۱/۹۹۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۱۴۶	-۱۳/۶۰
	D	۲۹۵۹۲۷	۳	-۰/۴۳۹	۰/۰۰۸	-۰/۴۴۸	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	۰/۵۸۱	-۰/۷۶۹
شاخص رطوبت توپوگرافی	۵/۱۵ - ۶/۵۲	۲۶۴۴۹۲۰	۱	-۳/۵۹	۰/۲۰۳	-۳/۷۹۴	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۰۲	-۳/۷۸
	۶/۵۳ - ۷/۲۲	۳۵۹۰۷۴۸	۹	-۱/۶۹۸	۰/۲۴۸	-۱/۹۴۶	۰/۱۱۱	۰/۰۰۵	۰/۳۴۱	-۵/۷۰
	۷/۲۳ - ۸/۹۲	۳۶۲۳۳۰۲	۵۲	۰/۰۴۶	-۰/۰۱۶	۰/۰۶۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۷	۰/۱۶۲	۰/۳۸۸
	۸/۹۳ - ۱۱/۷۷	۲۹۴۹۸۷۰	۸۵	۰/۷۴۳	-۰/۳۴۸	۱/۰۹۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۱۴۵	۷/۵۱
	۱۲/۷۸ - ۱۵/۷۷	۱۲۰۳۹۶۸	۴۵	۱	-۰/۱۷۷	۱/۱۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۰/۱۷۰	۶/۹۳
شاخص حمل رسوب	۰ - ۳۰۰	۵۶۹۹۴۸۴	۱۵۶	۰/۶۹۱	-۱/۱۵۱	۱/۸۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۱۸۴	۹/۹۷
	۳۰۱ - ۵۰۰	۳۸۱۶۷۲۳	۳۰	-۰/۵۵۵	۰/۱۴۸	-۰/۷۰۳	۰/۰۳۳	۰/۰۰۶	۰/۱۹۸	-۳/۵۴
	۵۰۱ - ۷۰۰	۲۳۹۸۴۴۲	۵	-۱/۸۸	۰/۱۶۱	-۲/۰۴۴	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۴۵۳	-۴/۵۱
	۷۰۱ - ۹۰۰	۱۴۸۵۲۴۹	۱	-۳/۰۱	۰/۱۰۶	-۳/۱۲۰	۱	۰/۰۰۵	۱	-۳/۱۱
	> ۹۰۰	۶۱۱۷۱۱	۰	۰	۰/۰۴۴	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
شاخص آب‌دهی قدرت	۰ - ۱۴۰۰	۵۸۱۱۳۰۷	۱۵۷	۰/۶۷۸	-۱/۱۶۶	۱/۸۴۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۱۸۶	۹/۸۷
	۱۴۰۱ - ۲۷۹۰	۳۶۵۳۸۷۳	۲۹	-۰/۵۴۶	۰/۱۳۸	-۰/۶۸۴	۰/۰۳۴	۰/۰۰۶	۰/۲۰۱	-۳/۳۹۶
	۲۷۹۱ - ۴۲۰۰	۲۳۸۹۳۰۱	۵	-۱/۸۷۹	۰/۱۶۰	-۲/۰۳۹	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۴۵۳	-۴/۵۰

۱۵۲۹۸۴۹	۴۲۰۱ - ۵۵۸۰	۱	-۳/۰۴۲	۰/۱۱۰	-۲/۱۵۳	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۰۲	-۳/۱۴
۶۲۷۲۵۹	۵۵۸۱ - ۶۹۸۰	۰	۰	۰/۰۴۵	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
۱۴۱۹۳۲۰	۰/۳۳ - ۰/۴۰	۲۵	-۰/۰۷۱	-۰/۰۱۰	۰/۰۸۱	-۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۲۱۴	۰/۳۸۰
۳۲۶۲۹۹۲	۰/۴۱ - ۰/۵۰	۷۴	۰/۳۲۴	-۰/۱۶۰	۰/۴۸۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۱۴۸	۳/۲۶
۳۷۷۹۰۲۴	۰/۵۱ - ۰/۶۰	۴۷	-۰/۲۷۶	-۰/۱۰۹	-۰/۳۸۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	۰/۱۶۷	-۲/۲۹
۲۲۵۶۹۵۷	۰/۶۱ - ۰/۷۰	۲۸	-۰/۲۷۹	۰/۰۵۶	-۰/۳۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۰۶	۰/۲۰۴	-۱/۶۴
۹۸۷۴۸۶	۰/۷۱ - ۰/۹۰	۱	-۲/۷۸	۰/۰۸۲	-۰/۸۶۷	۱	۰/۰۰۵	۱	-۲/۸۶
۶۶۰۹۹۱۵	مقعر	۹۷	۰/۰۶۸	-۰/۰۶۵	۰/۱۳۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۱۴۴	۰/۹۳۰
۹۸۵۲۷۱	مسطح	۴۶	۱/۲۲۶	-۰/۲۰۰	۱/۴۲۷	۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	۰/۱۶۹	۸/۴۴
۶۴۱۸۶۳۷	محدب	۴۹	-۰/۵۸۴	۰/۳۱۷	-۰/۹۰۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۶	۰/۱۶۵	-۵/۴۵

نقشه زمین

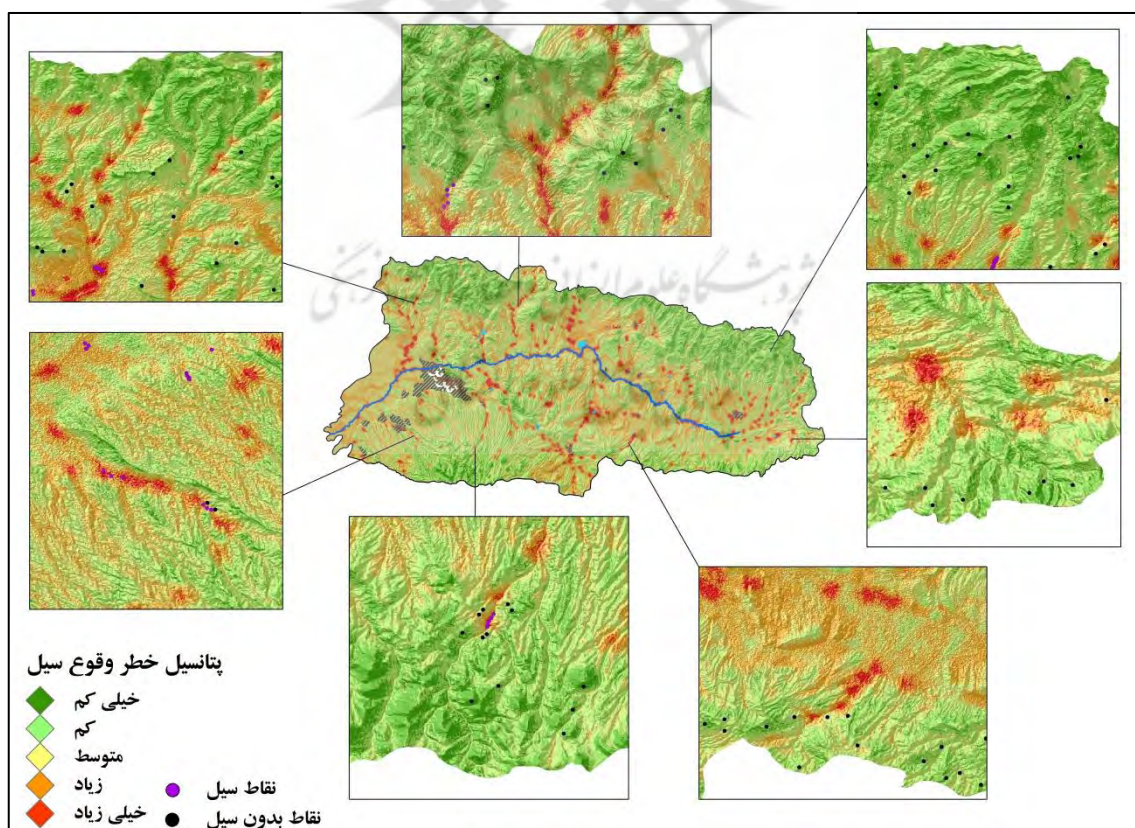
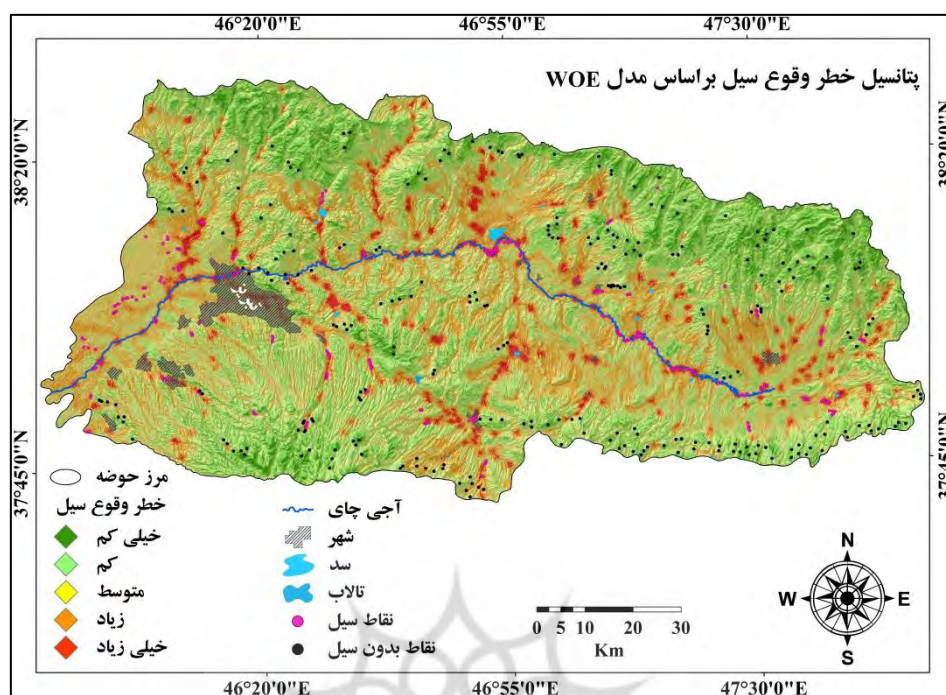
انحنای زمین

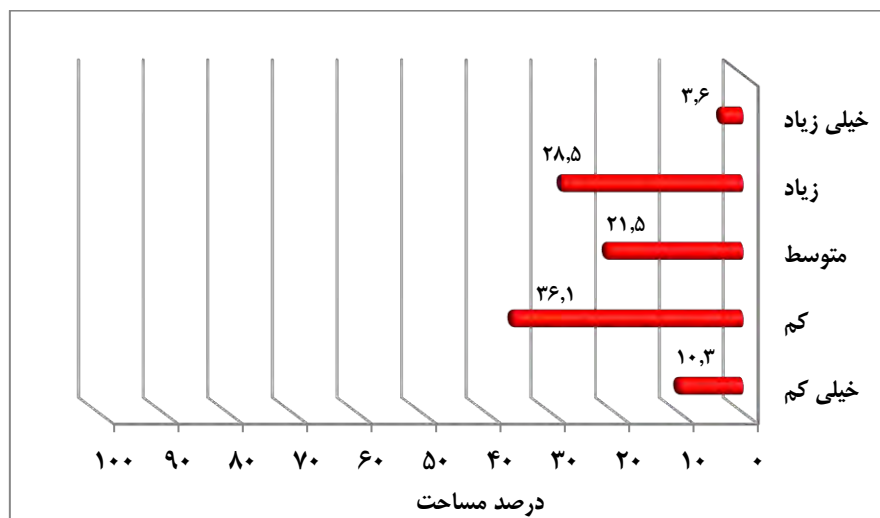
ادامه جدول ۱: وزن کلاس‌های هر یک از پارامترها

پارامتر	طبقه	تعداد پیکسل‌ها	تعداد نقاط سیل	W_i^+	W_i^-	C	Sw^+	Sw^-	Sc	W_{final}
ژئومورفولوژی	مناطق کوهستانی	۶۱۶۰۸۳۲	۰	۰	۰/۷۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
	کوه‌های کم ارتفاع	۷۶۳۶۷۰	۰	۰	۰/۰۶۴	۰	۰	۰	۰	۰
	تپه‌ماهورها	۱۲۱۷۷۱۴	۷	-۱/۰۰۶	۰/۰۶۷	-۱/۰۷۴	-۱/۴۲	۰/۰۰۵	۰/۳۸۵	-۲/۷۹
	مخروط‌های آتشفشانی	۲۶۶۲۲	۰	۰	۰/۰۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
	سطوح دشتی	۳۴۶۵۴۳۰	۱۲۴	۰/۸۲۱	-۰/۷۰۴	۱/۵۲	-۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	۰/۱۵۰	۱۰/۱۱
	دشت‌های میانکوهی	۱۹۵۸۱۵	۱۹	۱/۸۱	-۰/۰۸۸	۱/۹۰	-۰/۰۵۲	۰/۰۰۵	۰/۲۴۱	۷/۸۹
	بستر رودخانه	۷۲۹۸۰	۳۵	۳/۴۱	-۰/۱۹۵	۳/۶۱	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۶	۰/۱۸۶	۱۹/۳۲
	تالاب	۱۴۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	سد	۱۳۹۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	شهر	۲۸۷۴۱۳	۷	-۰/۴۳۷	-۰/۰۱۳	۰/۴۵۰	-۱/۴۲	۰/۰۰۵	۳۸۵	۱/۱۶
لیتولوژی	Qal	۸۶۱۴۶	۱	-۰/۳۰۳	-۰/۰۰۱	-۰/۳۰۵	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۰۲	-۰/۳۰۴
	Qt1	۱۶۱۲۷۵۵	۲۸	۰/۰۹۸	-۰/۰۱۵	۰/۱۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۰۶	۰/۲۰۴	۰/۵۶۱
	Qt2	۱۶۱۰۲۳۳	۶۷	۰/۹۷۲	-۰/۲۸۷	۱/۲۶۰	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۱۵۱	۸/۳۲
	Qsl	۹۲۱۷۳	۳	۰/۷۲۷	-۰/۰۰۸	۰/۷۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	۰/۵۸۱	۱/۲۶
	Qla	۴۹۰۷۳	۱	۰/۲۵۸	-۰/۰۰۱	۰/۲۶۰	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۰۲	۰/۲۵۹
	Qabv	۱۳۷۲۴۱	۰	۰	۰/۰۱۱	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Plqc	۱۰۰۷۸۶	۰	۰	۰/۰۰۸	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Pldvt	۸۲۴۸۱	۰	۰	۰/۰۰۶	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Plc	۱۲۸۶۶۹	۰	۰	۰/۰۱۰	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Mure	۴۰۴۴۶	۲	۱/۱۴۵	-۰/۰۰۷	۱/۱۵۲	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۷۱۰	۱/۶۲
	Plms	۱۹۵۴۹	۰	۰	-۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Murm	۱۲۹۹۸۲۶	۱۶	-۰/۲۴۵	-۰/۰۲۵	-۰/۲۷۰	-۰/۰۶۲	۰/۰۰۵	۰/۲۶۱	-۱/۰۳
	Mur	۱۶۶۱۹۹۸	۲۳	-۰/۱۲۷	-۰/۰۱۸	-۰/۱۴۶	-۰/۰۴۳	۰/۰۰۵	۰/۲۲۲	-۰/۶۶
	Ogr	۲۲۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Ebv	۳۲۶۷۲۳	۰	۰	۰/۰۲۷	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Plqm	۱۰۳۳۰۸	۲	۰/۲۰۷	-۰/۰۰۱	۰/۲۰۹	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۷۱۰	۰/۲۹۵
	Omqm	۱۷۶۴۳	۰	۰	-۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰
	Plasv	۹۱۵۵۰۸	۶	-۰/۸۷۵	۰/۰۴۶	-۰/۹۲۱	-۰/۱۶۶	۰/۰۰۵	۰/۴۱۴	-۲/۲۲
	Plmb1	۱۵۳۶۵۲۲	۳۰	۰/۲۱۶	-۰/۰۳۵	۰/۲۵۱	-۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	۰/۱۹۸	۱/۲۶

۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۶۸۳	Leof
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۱۷	۰	۰	۲۰۸۶۲۴	Plmb3
-۲/۶۶	۰/۳۸۵	۰/۰۰۵	۰/۱۴۲	-۱/۰۲	۰/۰۶۳	-۰/۹۶۲	۷	۱۱۶۴۸۷۴	Eabv
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۱۱	۰	۰	۱۴۰۲۷۹	Mdav
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۴	۰	۰	۴۹۶۸۵	Pldsv
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۲	۰	۰	۲۷۶۹۷	Egr
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۱۵۸۳۹	Edsv
۰/۷۵۲	۰/۴۵۳	۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۳۴۱	-۰/۰۰۷	۰/۳۳۳	۵	۲۳۷۷۱۷	Ku
-۲/۰۶	۱/۰۰۲	۰/۰۰۵	۱	-۲/۰۶	۰/۰۳۵	-۲/۰۳۰	۱	۴۸۴۵۰۷	Kuft
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۴۲۳۹۳	Kav
۰	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۷۵۷	TRe

نتایج وزن دهی کلاس‌های مختلف برای هر یک از لایه‌ها نشان می‌دهد که در ارتباط با لایه شیب، طبقه ۱۰-۰ درصد دارای بیشترین وزن بوده است (۹/۸۱). کلاس ارتفاعی ۱۷۶۷-۱۲۵۵ با وزن ۷/۴۸ بیشترین پتانسیل وقوع سیل را در سطح منطقه نشان می‌دهد. دامنه‌های شمالی به دلیل داشتن رطوبت بیشتر، بالاترین وزن را از لحاظ پتانسیل وقوع سیل به خود اختصاص داده‌اند. در رابطه با پارامتر فاصله از آبراهه، همان‌طور که انتظار می‌رفت در محدوده‌های اطراف آبراهه‌ها وقوع سیلاب به مراتب بیشتر از سایر قسمت‌های بوده است. بنابراین کلاس ۰-۲۵۰ متر بیشترین وزن را داشته است. در بررسی پارامتر تراکم آبراهه مشخص شد مناطقی که بیشترین تراکم زهکشی را داشته‌اند، مستعدترین پهنه‌ها برای وقوع سیل می‌باشند. نتایج محاسبه وزن برای کلاس‌های لایه کاربری اراضی نشان داد که کاربری‌های کشاورزی، باغ و مناطق ساخته‌شده بیشترین وزن در وقوع سیلاب در منطقه را دارند. در ارتباط با پارامتر فاصله از پل، مناطق اطراف پل‌ها به دلیل دست‌کاری‌های انسان از پتانسیل بالایی در وقوع سیل برخوردار هستند. در پژوهش حاضر نیز نتایج بررسی این پارامتر نشان داد که کلاس ۰-۳۰۰ متر بیشترین وزن را داشته است. در ارزیابی پارامتر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک مشاهده گردید که بیشتر سیلاب‌های منطقه در کلاس B و C اتفاق افتاده‌اند. بررسی لایه شاخص رطوبت توپوگرافی نشان داد مناطقی که مقادیر بالاتری از این شاخص را نشان می‌دهند از پتانسیل بالایی جهت وقوع سیل برخوردار هستند. در ارتباط با پارامتر انحنا زمین مشاهده گردید که سطوح مقعر و مسطح نقش مهمی در وقوع سیلاب‌های منطقه داشته‌اند. بررسی نقشه ژئومورفولوژی نشان داد که بیشتر سیلاب‌های منطقه در سطوح دشتی، دشت‌های میانکوهی و بستر رودخانه‌ها رخ داده‌اند. نتایج محاسبه وزن پارامتر لیتولوژی نشان داد پادگانه‌های آبرفتی که مناطق هموار و دشتی منطقه را در بر گرفته‌اند، بیشترین وزن را داشته‌اند. در ادامه نقشه نهایی پتانسیل وقوع سیل در منطقه با اعمال ضرایب وزنی هر یک از کلاس‌های پارامترها در لایه‌های اطلاعاتی خود در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. نقشه نهایی با استفاده از دستور شکست طبیعی در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۵). بررسی مساحت هر یک از کلاس‌های خطر نشان داد که ۳۲ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع سیل قرار دارد (شکل ۷).



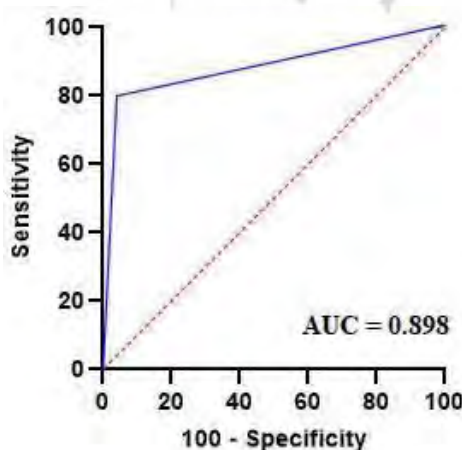


شکل ۷: درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر

به منظور ارزیابی دقت مدل WOE در تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل از سه شاخص آماری Sensitivity، Specificity و Accuracy و همچنین منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) استفاده گردید. بر اساس نتایج منحنی ROC، مقدار سطح زیر منحنی ۰/۸۹۸ برآورد گردید که بیانگر عملکرد خوب مدل WOE در شناسایی پهنه‌های پرخطر می‌باشد.

جدول ۲. ارزیابی دقت مدل تحقیق بر اساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

مدل	مدل WOE	
شاخص آماری	داده‌های آموزشی	داده‌های اعتبارسنجی
True positive	۱۵۳	۶۸
True negative	۱۷۷	۷۲
False positive	۳۹	۱۰
False negative	۱۵	۱۴
Sensitivity (%)	۰/۹۱	۰/۸۷
Specificity (%)	۰/۸۲	۰/۸۳
Accuracy (%)	۰/۸۶	۰/۸۵



شکل ۸: منحنی ROC و سطح زیر منحنی بر اساس داده‌های آموزشی

نتیجه‌گیری

سیلاب‌ها مهم‌ترین و فراوان‌ترین مخاطرات محیطی هستند که همه‌ساله خسارت‌های جانی و مالی زیادی را بر جای می‌گذارند. در پژوهش حاضر تلاش شد تا با استفاده از روش آماری وزن شواهد (WOE) نقشه پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز آجی چای تهیه گردد. به همین منظور از ۱۸ پارامتر مؤثر در وقوع این پدیده استفاده گردید. لایه‌های اطلاعاتی همه پارامترها به فرمت رستری در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. وزن دهی کلاس‌های هر یک از لایه‌ها با استفاده از موقعیت مکانی سیلاب‌های رخ داده در سطح منطقه انجام گردید. بررسی نقش لایه‌ها در وقوع سیلاب‌های منطقه نشان داد که سطوح هموار و دشتی، مناطق اطراف آبراهه‌های اصلی حوضه، دامنه‌های شمالی و اطراف پل‌های ساخته‌شده بر روی رودخانه‌ها بیشترین وزن را داشته‌اند. نقشه نهایی از حاصل ضرب وزن طبقات پارامترها در لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها و در ۵ طبقه تهیه گردید. بررسی نقشه نهایی نشان داد که مناطق پایین‌دست حوضه از پتانسیل بالایی جهت وقوع سیل برخوردار هستند. این قسمت‌ها عمدتاً سطوح کم ارتفاع، مسطح و کم شیب را شامل می‌شوند که محل تمرکز تمامی رواناب‌های شکل‌گرفته در ارتفاعات منطقه هستند. لذا با وقوع بارش‌های شدید و ذوب ناگهانی برف‌های ارتفاعات منطقه، این مناطق همیشه دچار سیل گرفتگی می‌شوند. شهرهای مهم حوضه از قبیل تبریز، سراب و بستان‌آباد که در امتداد آبراهه‌های اصلی شکل گرفته‌اند نیز در پهنه‌های پرخطر قرار دارند که آسیب‌پذیری این شهرها هنگام وقوع مخاطره سیلاب را نشان می‌دهد. محاسبه مساحت هر یک از کلاس‌های خطر نشان داد که ۳۲ درصد از مساحت منطقه در طبقات زیاد و خیلی زیاد، ۲۱/۵ درصد در طبقه متوسط و بیش از ۴۶ درصد از مساحت منطقه در طبقات کم و خیلی کم از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. ارزیابی دقت نقشه نهایی با استفاده از شاخص Accuracy نشان داد که مدل WOE با ضریب ۰/۸۶ از نظر داده‌های آموزشی و ۰/۸۵ از نظر داده‌های اعتبارسنجی از دقت خوبی در تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیلاب برخوردار بوده است.

سیاس‌گذاری

تحقیق حاضر بخشی از نتایج طرح پژوهشی دوره پسادکتری در دانشگاه تبریز می‌باشد که با حمایت بنیاد ملی نخبگان در قالب طرح شهید دکتر چمران انجام گرفته است. بدین‌وسیله از آن‌ها قدردانی می‌شود.

منابع

- آزادی، ف.، صدوق، س.ح.، قهرودی، م.، شهابی، ه.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل در حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از دو مدل WOE و EBF، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۳، صص ۴۵-۶۰.
- پورقاسمی، ح.ر.، مرادی، ح.ر.، محمدی، مجید.، ۱۳۹۲. پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه، نشریه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دوره ۱، شماره ۲، صص ۶۹-۸۰.
- رحیم‌پور، ت.، ۱۴۰۰. تحلیل تغییرات فضایی حساسیت خطر سیل و فرسایش خاک بر پایه رویکردهای هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شمال غرب ایران)، رساله دکتری، استاد راهنما: دکتر محمدحسین رضائی‌مقدم، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ۱۶۷ صفحه.
- رحیم‌پور، ت.، رضائی‌مقدم، م.ح.، حجازی، س.ا.، ولیزاده کامران، خ.، ۱۴۰۲. مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۲، شماره ۱، صص ۲۴-۱. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141>
- رضائی‌مقدم، م.ح.، حجازی، س.ا.، ولیزاده کامران، خ.، رحیم‌پور، ت.، ۱۳۹۹. تحلیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بر پایه‌ی مدل WASPAS، هیدروژئومورفولوژی، سال ۶، شماره ۲۴، صص ۸۳-۱۰۶.

<https://doi.org/10.22034/hyd.2020.39815.1534>

- رضائی مقدم، م.ح.، حجازی، س.ا.، ولیزاده کامران، خ.، رحیم پور، ت.، ۱۳۹۹، بررسی حساسیت سیل خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شمال غرب ایران)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۹، شماره ۲، صص ۱۹۵-۲۱۴. [10.22034/gmpj.2020.118241](https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.118241)
- روستایی، ش.، ایاسه، ف.، رضایی مقدم، م.ح.، ۱۳۹۹. شبیه سازی شبه دو بعدی جریان سیلاب رودخانه ليقوان با تأکید بر دشت سیلابی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۹، شماره ۱، صص ۲۸-۴۱.
- سعیدی مفرد، س.، آسیایی، م.، گهرخواه، ف.، ۱۴۰۱. پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان تربت حیدریه با استفاده از عملگرهای فازی، جغرافیا و توسعه، دوره ۲۰، شماره ۶۶، صص ۸۱-۱۰۶.
- عقیفی، م.ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی عوامل مؤثر بر مخاطرات سیلاب و تهیه نقشه حساسیت و احتمال وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد)، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۶۷-۱۴۹.
- Aldiansyah, S., Wardani, F., 2023. Evaluation of flood susceptibility prediction based on a resampling method using machine learning. *Journal of Water and Climate Change*, 14(3), pp. 937-961. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.494>.
- Bui, D.T., Tsangaratos, P., Ngo, P.-T.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, pp. 1038–1054. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.422>.
- Dahri, N., Abida, H., 2017. Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). *Environmental Earth Sciences*, 76(7), 302. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6619-4>.
- Li, K., Wu, S., Dai, E., Xu, Z., 2012. Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China. *J Natural hazards*, 63(2), pp. 737-760. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0180-y>.
- Pradhan, B., Shafiee, M., Pirasteh, S., 2009. Maximum flood prone area mapping using RADARSAT images and GIS: Kelantan river basin. *International Journal of Geoinformatics*, 5(2), pp. 11-23.
- Yariyan, P., Avand, M., Abbaspour, R.A., Torabi Haghighi, A., Costache, R., Ghorbanzadeh, O., Janizadeh, S., Blaschke, T., 2020. Flood susceptibility mapping using an improved analytic network process with statistical models. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), pp. 2282–2314. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1836036>.