

## پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز آجرلو چای با استفاده از روش L-THIA و منطق فازی

فریبا اسفندیاری دارآباد\* - استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.  
مسعود رحیمی - دانش آموخته دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.  
غلامرضا پور مرتضی - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۵/۲۴

### چکیده

امروزه سیل یکی از رایج‌ترین و پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی جهان است که خسارات و تلفات انسانی و مادی زیادی را بر جوامع انسانی وارد می‌سازد. برای پیشگیری و کاهش اثرات سیل، اجتناب از قرار گرفتن در معرض این مخاطرات از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی یکی از روش‌هایی است که جهت کاهش خطرات ناشی از سیل می‌توان اتخاذ نمود. در این پژوهش با استفاده از روش L-THIA و مدل منطق فازی اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آجرلو چای شده است. جهت انجام این کار از نه فاکتور طبیعی (ارتفاع، اقلیم، واحد اراضی، شیب، لیتولوژی، تراکم زهکشی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، رواناب و کاربری زمین) استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی سیل‌خیزی در منطقه نشان می‌دهد که بیشتر مساحت حوضه (حدود ۶۵/۶ درصد) دارای پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متوسط قرار دارد. این مناطق بیشتر در بخش‌های غربی و پست حوضه قرار گرفته‌اند. بیشتر مناطق سیل‌خیز حوضه در نیمه شرقی و شمال شرقی حوضه قرار گرفته است. در این مناطق زمین‌ها از نظر تراکم شبکه زهکشی در کلاس بالاتری قرار دارند که خود عاملی برای سیل‌خیز بودن حوضه می‌باشد. درصد زمین‌های سیل‌خیز حوضه در دو کلاس پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در حدود ۳۴/۴ درصد از کل مساحت حوضه می‌باشد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، مدل L-THIA، مخاطرات سیلابی، منطق فازی، حوضه آبریز آجرلو چای.

## مقدمه

سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده می‌باشد که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب همراه با زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۷). عوامل زیادی در وقوع سیلاب دخیل می‌باشند. به‌طور کلی عوامل اقلیمی، عوامل حوضه‌ای و عوامل انسانی در ایجاد سیل نقش دارند. از عوامل اقلیمی می‌توان به خشک بودن منطقه، بارش رگباری با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه اشاره کرد (کاله، ۲۰۰۲: ۳۳). از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به وضعیت زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، مساحت حوضه، شکل و فرم حوضه، شیب حوضه و نقطه تمرکز اشاره کرد (استرومبِرگ<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۱۱۸). فعالیت بشر احتمال وقوع سیل را افزایش می‌دهد که از آن جمله می‌توان به ساختمان‌سازی در دشت سیلابی اشاره کرد. شهرسازی و حذف گیاهان، باعث کاهش مقدار آب نفوذی و افزایش آب سطحی می‌گردد (وطن‌فدا، ۱۳۸۱: ۲۳). راه‌های زیادی به جهت مبارزه با مخاطرات و به‌ویژه سیل وجود دارد؛ پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در یک حوضه از جمله اقدامات مفید و سودمندی است که می‌تواند جهت بهبود اقدامات مدیریتی و آبخیزداری حوضه‌های سیل‌خیز کمک نماید. در این تحقیق بر اساس پارامترهایی نظیر (شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، اقلیم، رواناب، تراکم زهکشی، واحد اراضی، لیتولوژی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک) پهنه‌هایی باقابلیت تولید رواناب بالا و سیل‌خیز حوضه رودخانه آجرلوچای تعیین می‌گردد. در این پژوهش با استفاده از مدل L-THIA و منطق فازی، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آجرلوچای انجام می‌گیرد. محققین خارجی متعددی در مورد پهنه‌بندی سیلاب تحقیقاتی انجام داده‌اند که به برخی از این مطالعات اشاره می‌گردد: یانگ و تسای<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) سیستمی را برای شبیه‌سازی پهنه‌ی سیلابی، محاسبات خسارات سیل و نشان دادن خصوصیات سیل در کشور تایوان طراحی کردند و از این طریق توانستند میزان خسارات زیاد سیل را کاهش دهند. ریکو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۱) به ارزیابی رواناب بارندگی در سیلاب‌های کوهستانی پرداخته و به بررسی مقایسه‌ای هیدرولوژی قدیمی و کیفیت تخمین سیلاب در پیرنس در مرکز اسپانیا پرداخته و بر اساس هیدروگراف‌های واحد، عکس‌های هوایی، نقشه‌های تاریخی، بازدید منطقه‌ای، اطلاعات مردم محلی و تغییرات کانال جریان به محاسبه مقدار دبی پرداخته‌اند. هوریت و بتیز<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) در بازه‌ای به طول ۶ کیلومتر از رودخانه‌ی سورن واقع در مرکز انگلستان با استفاده از روش CN و مدل SCS و تصاویر ماهواره‌ای اقدام به تعیین سطح تراز آب و پیش‌بینی نواحی سیل‌گیر حاشیه رودخانه نمودند. ونگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) مدل ارزیابی اثرات آب‌شناختی بلندمدت L-THIA را به‌کاربرده و تغییرات رواناب و بار آلودگی در کلان‌شهر لوویزیانا کشور آمریکا را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تغییر کاربری اراضی موجب عمیق شدن رواناب و افزایش حجم رواناب گردیده است. چن و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) با روش تحلیل خوشه‌ای فازی و شاخص‌های مساحت تحت تأثیر قرارگرفته، تعداد تلفات جانی، خانه‌های ویران‌شده و میزان خسارت اقتصادی مستقیم را در پهنه‌بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان کشور چین به‌کاربردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش فازی، روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب می‌باشد. در ایران نیز محققین و هیدرولوژیست‌های زیادی در مورد پهنه‌بندی سیلاب مطالعات گسترده‌ای انجام داده‌اند که نمونه‌هایی از این مطالعات عبارت‌اند از: پوررضا و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-Geo-HMS به برآورد و پهنه‌بندی سیلاب در قسمتی از رودخانه‌ی قره‌آغاج در استان فارس

<sup>1</sup> Estromberg

<sup>2</sup> Yang & Tsai

<sup>3</sup> Rico et al

<sup>4</sup> Horritt MS, Bates PD

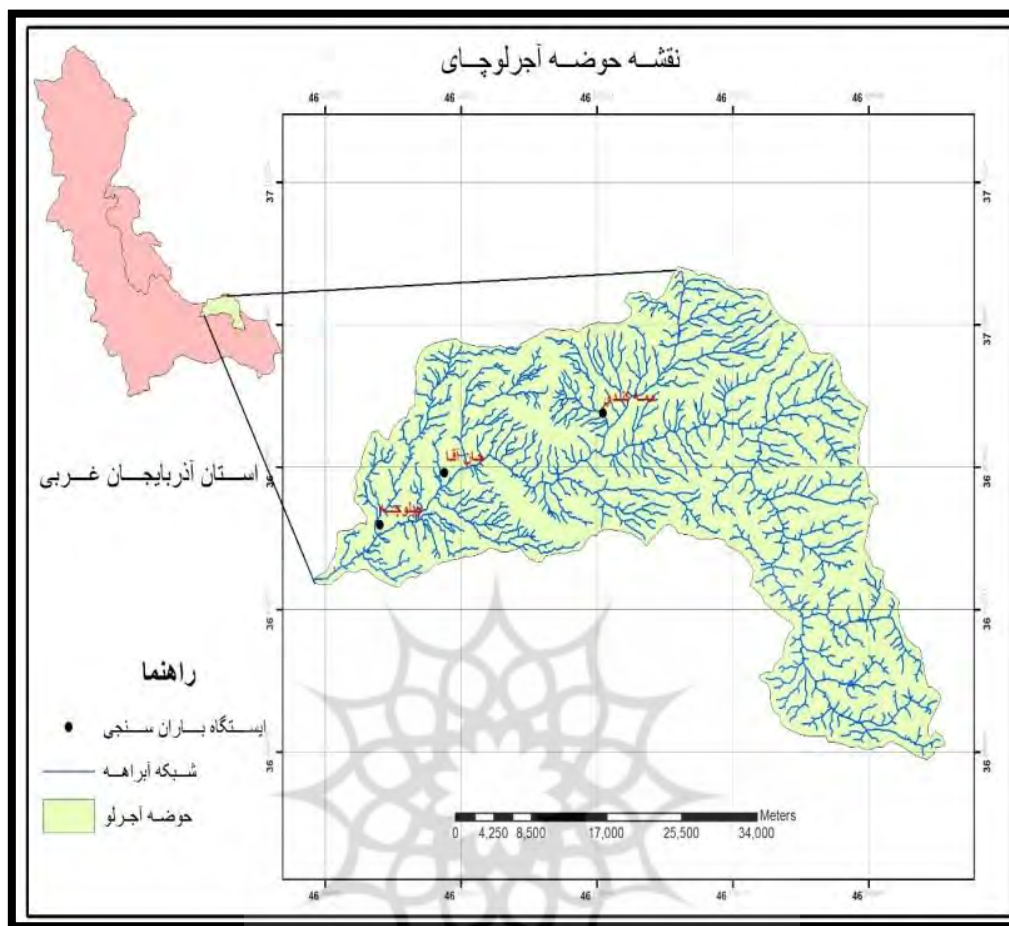
<sup>5</sup> Wang et al

<sup>6</sup> Chen

پرداختند و منطقه را به ۴ دسته‌ی سیل‌خیزی با خطر بسیار زیاد ۱۵ درصد، با خطر زیاد ۲۵ درصد، با خطر متوسط ۴۵ درصد و کم‌خطر ۱۵ درصد تقسیم‌بندی کردند. شعبانلو و همکاران (۱۳۸۷) به پهنه‌بندی سیلاب در شبکه‌ی رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از روش CN در GIS پرداختند. در این تحقیق آن‌ها از روی آمار بارش و مدل CN، پهنه‌بندی سیلاب برای رودخانه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه انجام داده و مناطق مورد تهدید سیل را مشخص کردند. آقاعلیخانی (۱۳۸۸)، با استفاده از مدل منطق‌فازی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری را برای حوضه فرحزاد تهران انجام داد و نتیجه گرفت که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بالادست حوضه واقع گردیده‌اند، این سطوح اغلب ستیغ‌ها و خط‌الرأس‌ها با دامنه‌های محدب و شیب بالای ۴۰ درصد را تشکیل می‌دهند. علایی طالقانی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مؤلفه‌های ژئومورفولوژی مؤثر در تولید رواناب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی برای حوضه دینور را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ۳۵ درصد حوضه استعداد بالا و خیلی بالا، ۵۰ درصد استعداد متوسط و ۱۵ درصد استعداد کم و خیلی کم برای سیل‌خیزی دارند. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-Geo-RAS طی عملیات میدانی، اطلاعات و آمار جمع‌آوری شده را در نرم‌افزار مورد تحلیل قرار داده و نتایج تحلیل را به محیط GIS برده و نقشه پهنه‌بندی سیلاب را به دست آوردند. نتایج آن‌ها نشان داد که از کل مساحت حوضه بالادست سد طالقان، حدود ۸۸/۱۶ درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌هایی با دوره بازگشت ۲۵ سال و کمتر از آن است. ثروتی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل SCS و CN حوضه آبخیز سراب دره شهر را از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی به چهار منطقه تقسیم کردند که بر اساس آن ۹/۱ کیلومتر مربع دارای سیل‌خیزی بسیار بالا، ۷/۸ کیلومتر مربع دارای سیل‌خیزی نسبتاً بالا، ۱۳ کیلومتر مربع دارای سیل‌خیزی متوسط و ۶/۶ کیلومتر مربع دارای سیل‌خیزی ضعیف می‌باشد. قنواتی (۱۳۹۲) با استفاده از منطق‌فازی به پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر کرج پرداخته و به این نتیجه رسیده است که خطر سیل‌خیزی با شدت بسیار زیاد در بخش‌های شمالی، شمال شرقی و شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

### منطقه مورد مطالعه

رودخانه آجرلوچای در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی به طول ۶۵ کیلومتر جریان دارد و یکی از زیرشاخه‌های اصلی رودخانه زربینه‌رود از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. رودخانه آجرلو چای در ۲۰ کیلومتری شهر میاندوآب در مقابل روستای کانی گوزله به زربینه‌رود می‌ریزد. بیشتر حوضه آجرلو چای در ارتفاعات واقع شده و توپوگرافی کوهستانی و خشنی دارد. آجرلوچای در عرض جغرافیایی "۳۳' ۴۱' ۳۶" تا "۰۹' ۰۵' ۳۷" شمالی و در طول جغرافیایی "۵۹' ۱۹' ۴۶" تا "۲۹' ۵۸' ۴۶" شرقی واقع گردیده است. وسعت محدوده مورد مطالعه ۱۰۹۸ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱). حداقل ارتفاع حوضه ۱۳۰۸ متر و حداکثر ارتفاع آن ۲۹۱۲ متر است. میانگین بارش سالانه حوضه ۴۳۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حوضه ۹/۵ درجه می‌باشد.



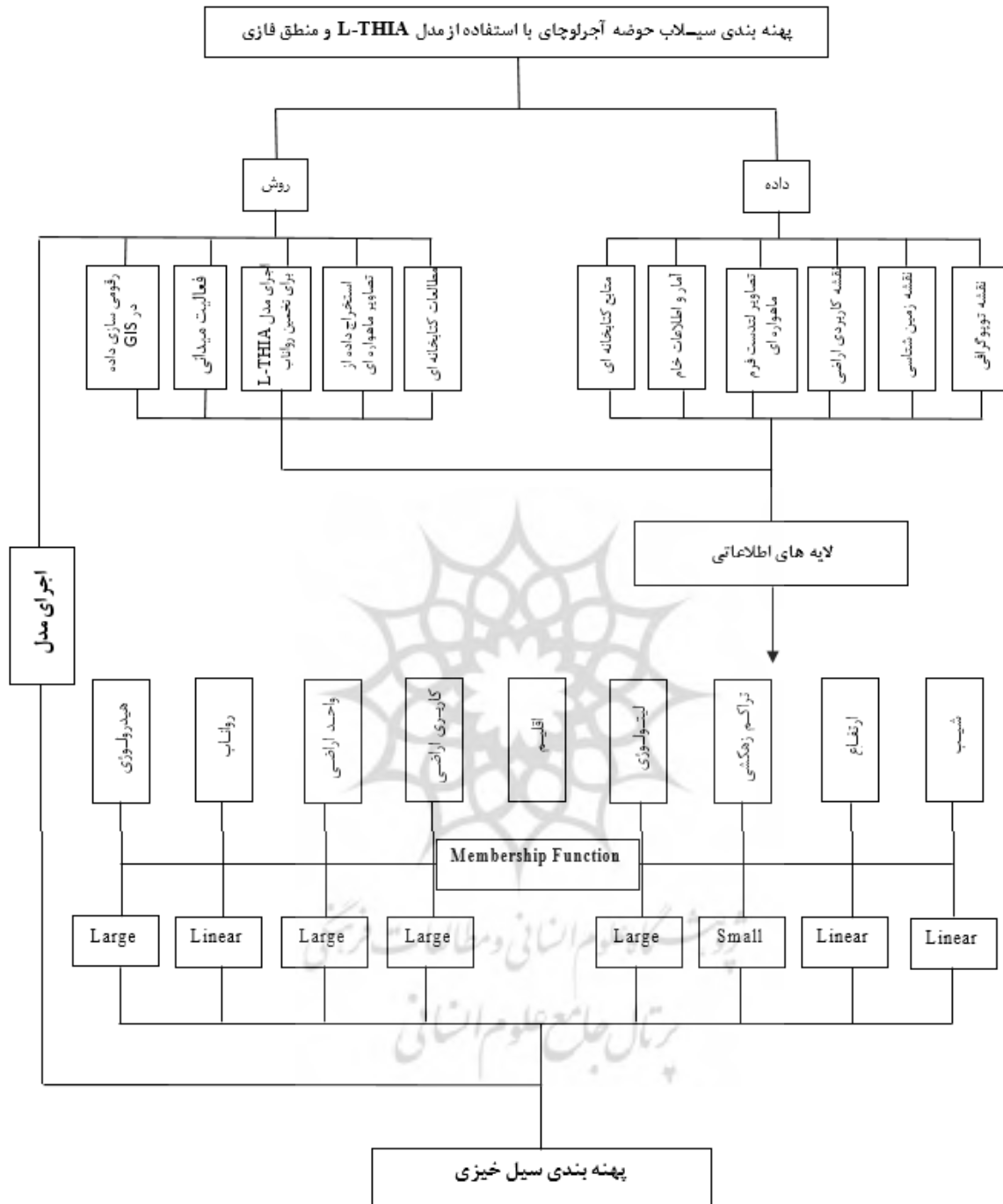
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز آجرلوچای

اقلیم یکی از مهم‌ترین ساختارهای محیطی را تشکیل می‌دهد که بر روی پدیده‌ها، فرایندها و تحولات ژئومورفولوژیکی تأثیرگذار می‌باشد (آقا علیخانی ۱۳۸۸: ۴۲). نوع آب‌وهوای منطقه با توجه به اقلیم نمای آمبرژه و دمارتون، نیمه‌خشک سرد می‌باشد. حوضه بزرگ آجرلوچای به‌عنوان زیر حوضه‌ای از زربینه‌رود، در سه واحد از دوازده واحد بزرگ شکل زمین‌ساختی (مورفوتکتونیک<sup>۱</sup>) ایران قرار گرفته است که شامل بخش جنوب غربی واحد البرز - آذربایجان و بخش شمالی واحد سنندج - سیرجان و بخش شرقی واحد خوی - مهاباد می‌شود. این قرار گرفتن در محل اتصال سه واحد ساختمانی بر موقعیت زمین‌شناسی این حوضه نیز تأثیر زیادی داشته و سبب پیچیدگی مسائل زمین‌شناسی آن شده است. سنگ‌های این منطقه بیشتر از نوع شیل، مرمر، آهک، گرانیت، آندزیت، کوارتز و ماسه‌سنگ می‌باشد (نبوی، ۱۳۵۵: ۴۶).

#### روش‌شناسی تحقیق

با توجه به موضوع و هدف تحقیق که پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌ی آجرلوچای می‌باشد، مطالعات مربوط به این تحقیق شامل مطالعات کتابخانه‌ای و کارهای میدانی می‌باشد. در این تحقیق برای پهنه‌بندی سیلاب حوضه آجرلوچای از لایه‌های شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی، اقلیم، لیتولوژی، کاربری اراضی، واحد اراضی، رواناب و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک استفاده شده است. برای تهیه داده‌ها و لایه‌ها از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۳ و ۴ سال ۲۰۱۳، نرم‌افزار Arc GIS و الحاقی L-THIA استفاده شده است (شکل ۲).

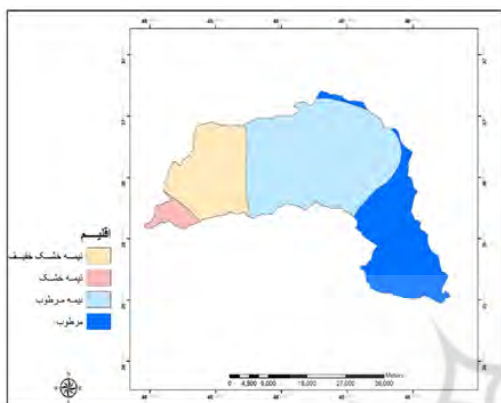
<sup>1</sup> Morphotectonic



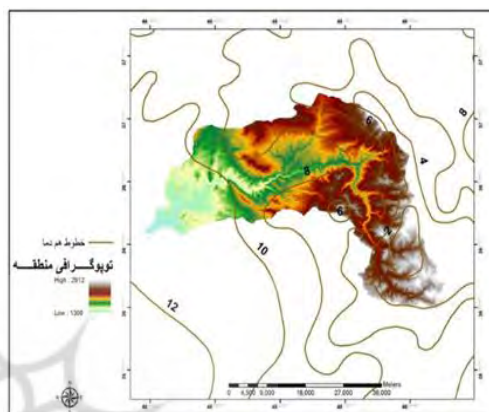
شکل ۲. داده‌ها، روش و مراحل اجرای تحقیق

ابتدا لایه‌ی DEM حوضه، بر اساس نقشه‌ی توپوگرافی حوضه توسط نویسنده تهیه گردید، سپس با کمک این لایه، لایه‌ی شیب و ارتفاع حوضه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. لایه‌ی تراکم زهکشی بر مبنای لایه‌ی آبراهه‌ها استخراج گردید و لایه‌ی اقلیم حوضه با توجه به داده‌های بارش ۳۰ ساله (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳) منطقه، ترسیم شد. لایه‌ی واحد اراضی منطقه، از سازمان جنگل‌ها و مراتع استان آذربایجان غربی تهیه شد. همچنین لایه‌ی سنگ‌شناسی و لیتولوژی حوضه از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه استخراج گردید. در ادامه لایه‌ی رواناب حوضه از طریق داده‌های بارش ۳۰ ساله (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳) منطقه، نقشه‌ی کاربری اراضی، لایه‌ی

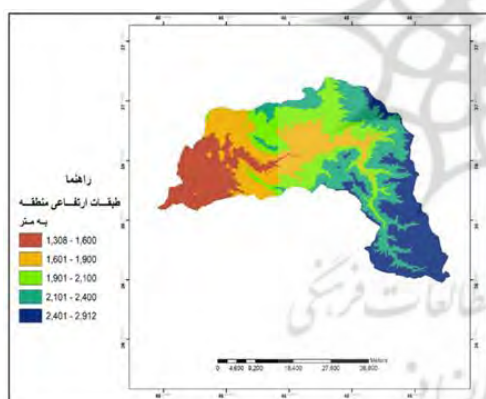
رقومی ارتفاع و لایه‌ی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز از طریق الحاقی L-THIA در نرم‌افزار Arc GIS به دست آمد. لایه هیدرولوژیکی خاک با توجه به لایه‌های واحد اراضی و خاک‌شناسی حوضه تهیه شده است. لایه کاربری اراضی حوضه نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۳ و ۴ سال ۲۰۱۳ و لایه ENVI تهیه گردید. جهت استخراج کاربری‌های محدوده مورد مطالعه از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از نمونه‌های تعلیمی جمع‌آوری شده و تصاویر ماهواره‌ای به روش حداکثر احتمال، طبقه‌بندی انجام شد. نقشه لایه‌های به دست آمده در زیر ارائه می‌گردد:



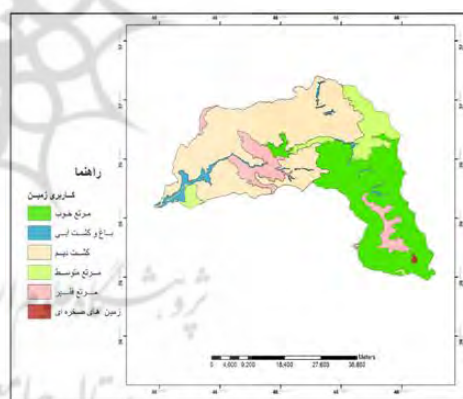
شکل ۴. نقشه اقلیم حوضه آجرلو چای



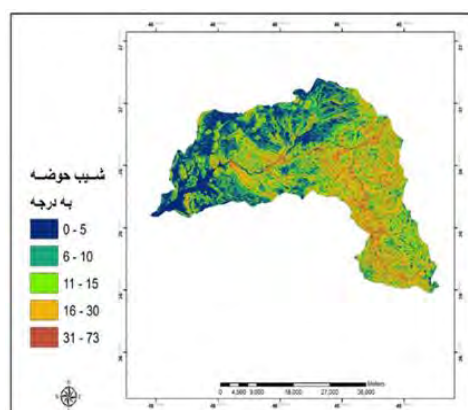
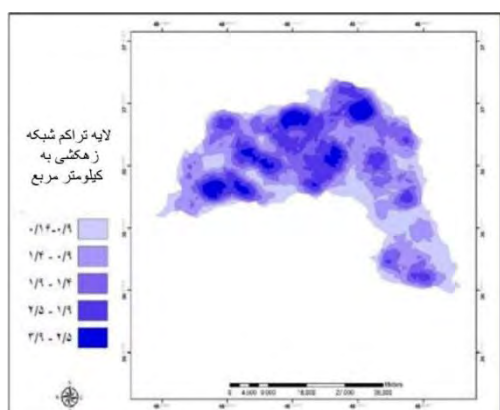
شکل ۳. نقشه توپوگرافی حوضه آجرلو چای



شکل ۶. نقشه توزیع ارتفاعی حوضه آجرلو چای



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی حوضه آجرلو چای



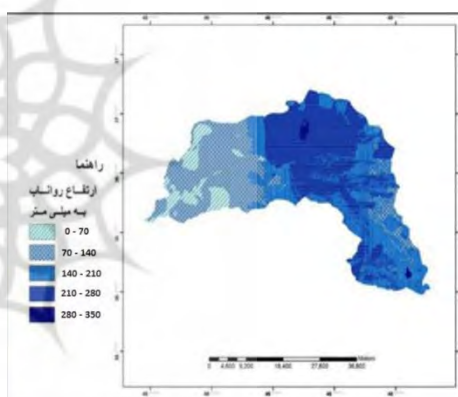
شکل ۷. نقشه شیب حوضه آجرلو چای



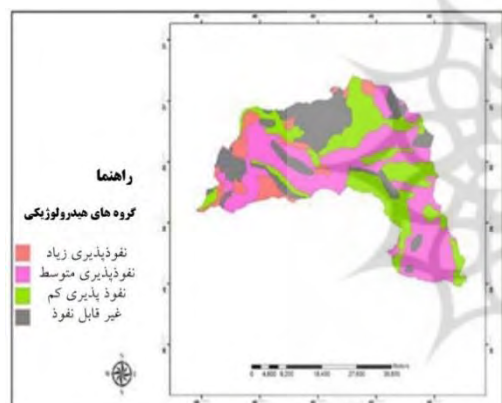
شکل ۸. نقشه تراکم شبکه زهکشی حوضه آجرلو چای



شکل ۹. نقشه واحد اراضی حوضه آجرلو چای



شکل ۱۰. نقشه لیتولوژی حوضه آجرلو چای



شکل ۱۱. نقشه ارتفاع رواناب حوضه آجرلو چای



شکل ۱۲. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه آجرلو چای



## تحلیل نتایج

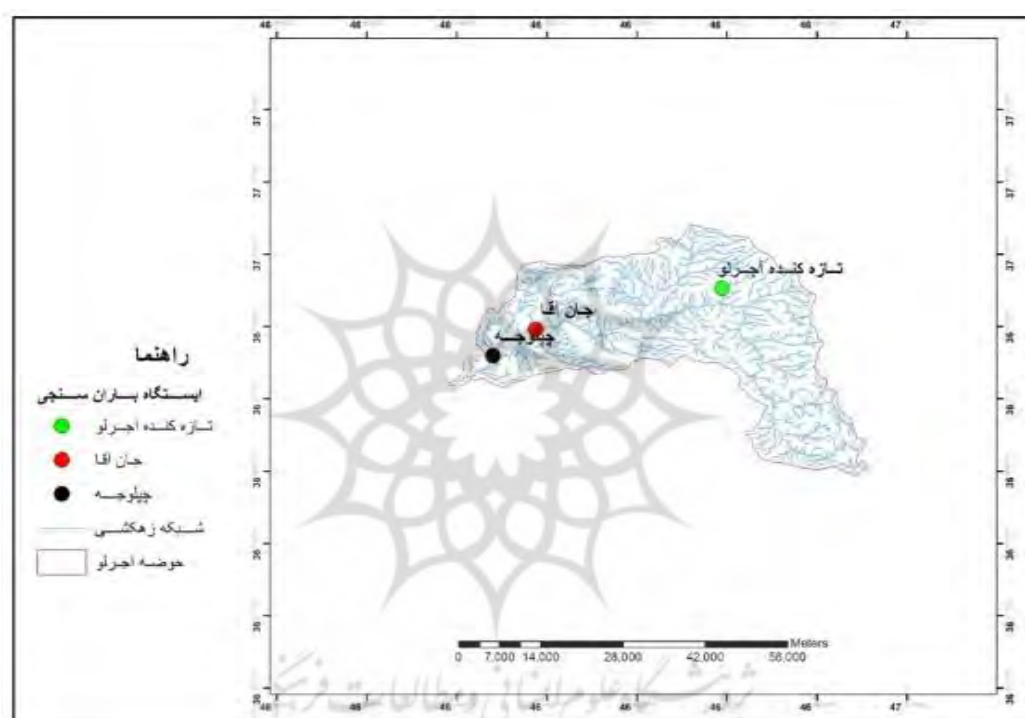
### اجرای مدل L-THIA و تهیه لایه رواناب

برای اینکه بتوانیم لایه رواناب منطقه را تهیه کنیم از مدل L-THIA استفاده شده است. این مدل در واقع بر اساس معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا و روش شماره منحنی (CN) طراحی شده است. با این تفاوت که روش شماره منحنی CN برای بارش‌های ۲۴ ساعته ۳۰ ساله (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳) و مجزایی که در یک منطقه رخ می‌دهد، بکار می‌رود اما با استفاده از مدل L-THIA می‌توان رواناب سالانه را با توجه به تک‌تک بارش‌های مجزای رخ داده محاسبه کرد و در نتیجه به کل رواناب سالانه رسید. الحاقی L-THIA مجموعه‌ای از ابزارها را در نرم‌افزار Arc GIS فراهم می‌سازد که قادر است تا با وارد کردن داده‌های بارش ایستگاه‌های موردنظر، نقشه کاربری اراضی، لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، رواناب تولیدی هر منطقه را با توجه به ویژگی که هر منطقه دارد را تهیه نماید. برای تهیه نقشه رواناب، داده‌های بارش روزانه یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در این زمینه می‌باشد. برای تهیه این اطلاعات از آمار بارشی سه ایستگاه موجود در منطقه که آمار مناسبی برای استفاده در تحقیق داشتند، استفاده شد. در جدول ۱، اطلاعات هر یک از ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق آورده شده است. شکل ۱۳، نقشه مربوط به موقعیت هر یک از ایستگاه‌ها را در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



جدول ۱: اطلاعات ایستگاه‌ها

شماره	نام ایستگاه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارش متوسط	ارتفاع
۱	چوپلوجه	۱۳۸۱	۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه	۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه	۴۳۵	۱۳۷۰
۲	جان آقا	۱۳۸۱	۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه	۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه	۴۰۵	۱۴۱۰
۳	تازه کند آجرلو	۱۳	۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه	۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه	۴۵۶	۱۸۵۰



شکل ۱۳: نقشه مربوط به موقعیت هر یک از ایستگاه‌ها

مدل L-THIA با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه و مقدار CN، رواناب روزانه را جمع زده و رواناب سالانه را ارائه می‌نماید. بدین ترتیب که تعداد بارش‌های روزانه در یک سال برحسب میزان بارشی که انجام یافته جمع گشته و میزان بارش در طول یک سال بر مجموع روزهای بارانی میانگین گرفته می‌شود و سپس تمام ۳۰ سال بارش بدین گونه محاسبه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در الحاقی L-THIA مقادیر CN پیش فرض برای کاربری‌ها و ترکیب گروه‌های هیدرولوژیکی خاک آماده شده است که با معرفی لایه‌های مورد نیاز مقدار رواناب را برای بخش‌های مختلف حوضه محاسبه می‌نماید. بعد از اینکه هر یک از لایه‌های فوق آماده شدند اطلاعات در محیط نرم افزار Arc Map وارد الحاقی L-THIA شدند و نقشه رواناب منطقه بدست آمد. در شکل ۱۱، لایه رواناب سالانه حوضه نشان داده شده است.

#### اجرای روش منطق فازی در پهنه‌بندی سیلاب

منطق فازی در برابر منطق «باینری» یا «ارسطویی» که همه چیز را فقط به دو شکل بلی و خیر، صفر و یک می‌بیند، قرار دارد. این منطق در بازه بین صفر و یک قرار داشته و با دوری از مطلق گویی (فقط صفر یا یک) از مقدار تعلق عضوی به مجموعه بحث می‌کند (قیومی، ۱۳۸۱: ۴۴). منطق فازی در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار در مقاله‌ای به همین نام، توسط پروفیسور «لطفی عسگرزاده» ارائه شد و در حال حاضر کاربردهای فراوانی دارد. این منطق برای سنجش مسائل و الگوهای کیفی، کاربرد



فراوان دارد و پاسخگوی مسائل زیادی در رشته‌های علوم انسانی به‌ویژه مدیریت است. برخلاف دیگران که معتقدند باید تقریب‌ها را دقیق‌تر کرد تا بهره‌وری افزایش یابد، لطفی‌زاده معتقد است باید به دنبال ساختن مدل‌هایی بود که ابهام را به‌عنوان بخشی از سیستم، مدل کند (قیومی، ۱۳۸۱: ۴۵). با توجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به‌جای استفاده از مدل بولین که لازمه آن داده‌های دقیق و کمی است از مدل فازی استفاده شود. با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد، در مدل فازی هر عضو همزمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و خود این دو حد را می‌پذیرد. در تئوری مجموعه‌های دقیق اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست یا نیست و می‌توان برای هر مجموعه  $A$  تابع زیر را تعریف کرد (مومنی، ۱۳۸۷: ۱۹۷).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & , \text{If } x \in A \\ 0 & , \text{If } x \notin A \end{cases}$$

رابطه (۱)

این تابع به هر عضو مجموعه  $A$  عدد (۱) و به هر عضو خارج از مجموعه  $A$  عدد (۰) نسبت می‌دهد. برای اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر OR (اجتماع)، AND (اشتراک) Product (ضرب جبری) Sum (جمع جبری) Gamma (گاما) نیاز می‌باشد. عملگر OR فازی همانند OR بولین (اجتماع منطقی<sup>۱</sup>) که در آن مقادیر عضویت خروجی به‌وسیله مقادیر حداکثر هر نقشه ورودی تعیین می‌شود می‌باشد. این عملگر، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در پهنه‌بندی برخوردار نمی‌باشد. عملگر AND فازی معادل با عملیات AND بولین (اشتراک منطقی<sup>۲</sup>) در مقادیر مجموعه کلاسیک می‌باشد. بدین صورت که حداقل درجه عضویت را استخراج می‌کند. بنابراین، در بین تمامی لایه‌های موضوعی، حداقل ارزش هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگر Sum، برخلاف عملگر Product موجب می‌گردد تا اعداد به سمت یک میل نمایند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum عملگر دیگری به نام Gamma تعریف شده است. مقدار گاما تعدیل‌کننده بین صفر و یک است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (دادرسی سبزواری، ۱۳۸۷: ۸۷). در این مطالعه از عملگر Sum، Product و Gamma استفاده شده است.

#### تعیین عضویت لایه‌ها در مدل

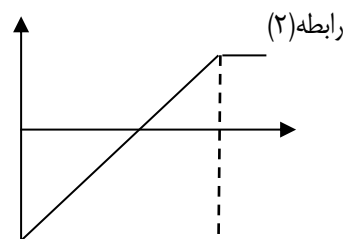
شیب: با توجه به رابطه مستقیم این پارامتر با سیل‌خیزی از یک رابطه خطی افزایشی جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است.

Membership Function: Linear

Maximum: 70

Minimum:

5



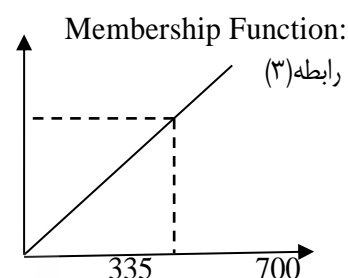
<sup>1</sup> logical union

<sup>2</sup> logical intersection

5 70 90

**رواناب:** لایه رواناب به دلیل رابطه مستقیم با سیل خیزی با استفاده از رابطه خطی افزایش یافته و کامل فازی سازی شده است. طبق این رابطه با افزایش بارندگی رواناب میزان سیل خیزی نیز بیشتر می‌شود.

Linear  
Maximum: 335  
Minimum: 19

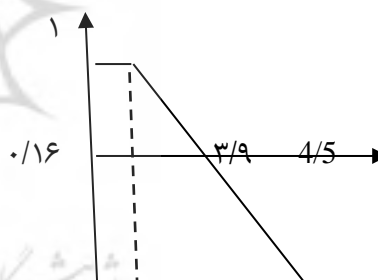


**تراکم زهکشی:** این پارامتر با سیل خیزی رابطه معکوس دارد. بنابراین از رابطه خطی کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است.

Membership Function: Small

رابطه (۴)

Midpoint: 0/16  
Spread: 3/9

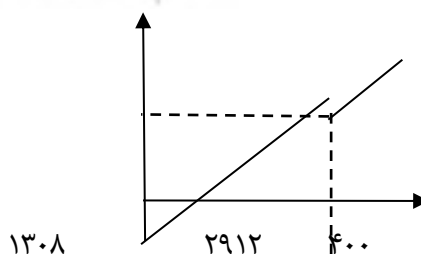


**ارتفاع:** با افزایش ارتفاع پتانسیل سیل خیزی افزایش می‌یابد بنابراین یک رابطه خطی افزایشی جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است.

رابطه (۵)

Membership Function:

Linear  
Maximum: 2912  
Minimum: 1308



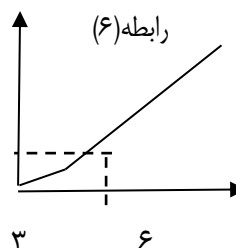
**لایه کاربری اراضی:** در منطقه مورد مطالعه ۶ نوع کاربری اراضی تعیین شده است. کاربری‌هایی که دارای مرتع خوب و یا به صورت باغ و مزارع کشاورزی بوده به علت نفوذ بیشتر، رواناب کمتری تولید نموده و در نتیجه امتیاز کمتری از نظر سیل خیزی می‌گیرد. ولی کاربری‌هایی که از نظر مرتع و پوشش گیاهی فقیر هستند به علت نفوذپذیری کمتر، رواناب بیشتری تولید می‌کنند و امتیاز بیشتری از لحاظ سیل خیزی دارد.

Membership Function: ۱

Large

Midpoint: 2

Spread: 2



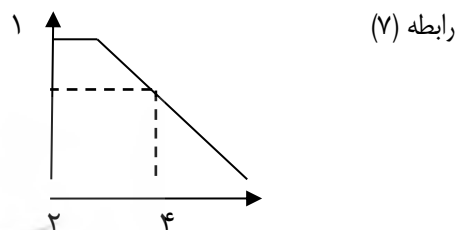
لایه لیتولوژی: طبق نقشه سنگ‌شناسی، ۲۳ نوع واحد سنگ‌شناسی در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. واحدهای سنگ‌شناسی از لحاظ مقاومت آن‌ها به ۴ دسته طبقه‌بندی شده است. واحدهایی با مقاومت کم، میزان نفوذپذیری زیاد و رواناب کمتری تولید کرده و امتیاز کمتری می‌گیرد ولی واحدهایی با مقاومت بیشتر، میزان نفوذپذیری کمتر و رواناب زیادی تولید کرده و امتیاز بیشتری می‌گیرد.

Membership Function: Large

Midpoint:

3

Spread: 1



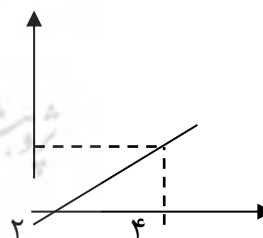
لایه واحد اراضی: این لایه با توجه به نقشه واحد اراضی که از سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه شده است به چهار منطقه تقسیم شده است. مناطق کوهستانی به علت شیب زیاد و ارتفاع بالا از نظر سیل‌خیزی رواناب زیادی تولید کرده و امتیاز بیشتری می‌گیرد، مناطق دشتی به علت شیب کم و ارتفاع پایین از نظر سیل‌خیزی رواناب کمتری تولید کرده و امتیاز کمتری می‌گیرد.

Membership Function: Large

(۸)

midpoint: 3

Spread: 1



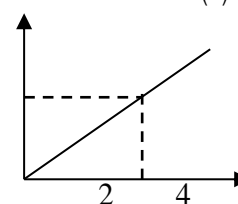
لایه هیدرولوژی: از نظر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌های حوضه به ۴ دسته تقسیم می‌شود. خاک‌هایی که میزان نفوذپذیری آن‌ها کمتر است رواناب زیادی تولید کرده و امتیاز بیشتری می‌گیرد. خاک‌هایی که میزان نفوذپذیری آن‌ها بیشتر است رواناب کمتری تولید کرده و امتیاز کمتری می‌گیرد.

Membership Function:

Large

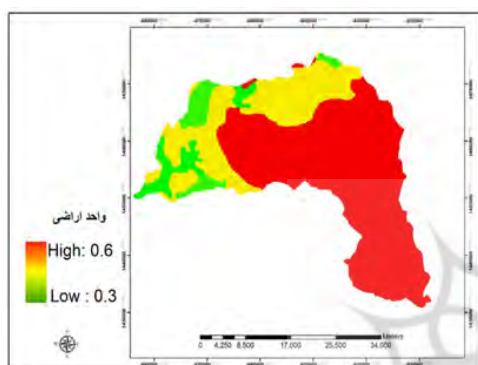
Midpoint: 2

Spread: 2

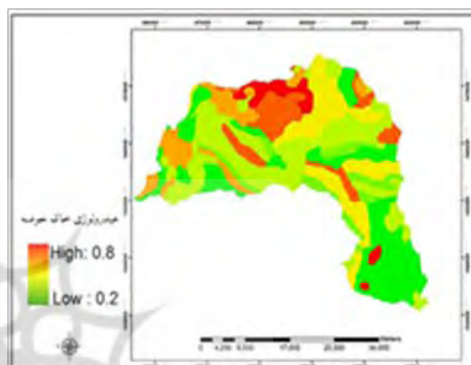


لایه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی به صورت کیفی می‌باشند. بنابراین قبل از فازی‌سازی باید تبدیل به لایه‌های موضوعی کمی شوند. در این تحقیق، کاربری اراضی شامل شش نوع کاربری مختلف و لایه لیتولوژی دارای چهار واحد سنگ‌شناسی می‌باشد. جهت کمی‌سازی لایه کاربری اراضی کد ۱ به کاربری باغات و اراضی کشاورزی (به دلیل نفوذ پذیری بیشتر) و کد ۶ به اراضی بایر (به دلیل کمترین میزان نفوذپذیری) اختصاص یافت. همچنین در لایه لیتولوژی به نفوذپذیرترین واحد سنگ‌شناسی کد ۱ (کمترین میزان اهمیت در رابطه با سیل‌خیزی) و به نفوذ ناپذیرترین واحد سنگ‌شناسی کد ۴ (بیشترین میزان اهمیت در رابطه با سیل‌خیزی) اختصاص یافت. به همین دلیل، جهت فازی‌سازی لایه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی از تابع عضویت فازی Large استفاده شد.

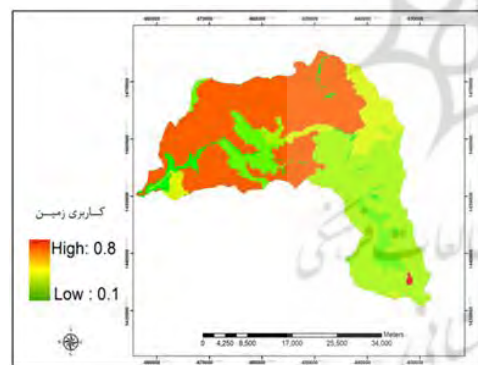
نقشه‌های لایه‌های فازی شده مورد استفاده در تحقیق، در زیر نشان داده می‌شود:



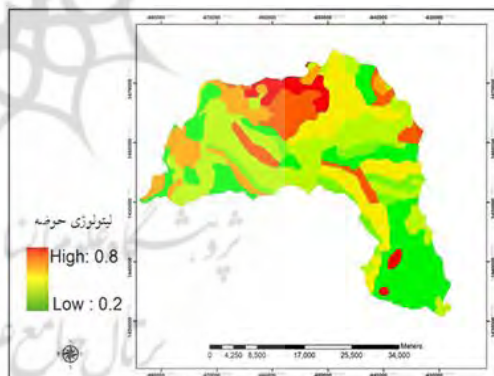
شکل ۱۵. نقشه واحد اراضی حوضه



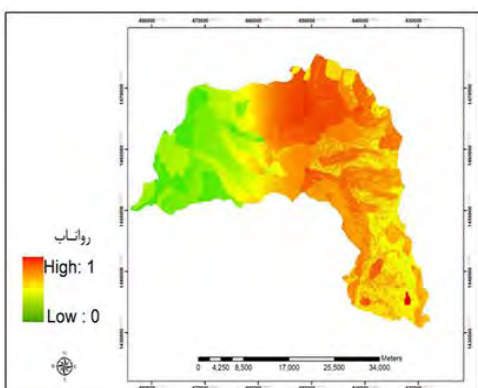
شکل ۱۴. نقشه هیدرولوژی حوضه



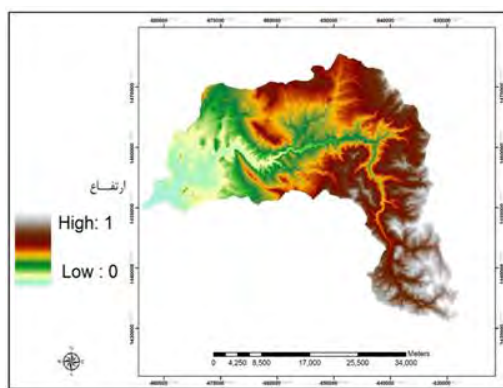
شکل ۱۷. نقشه کاربری زمین



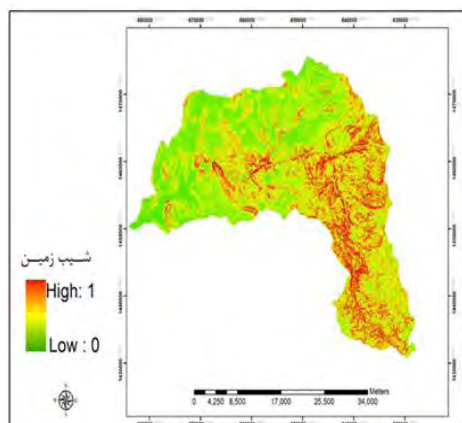
شکل ۱۶. نقشه لیتولوژی حوضه



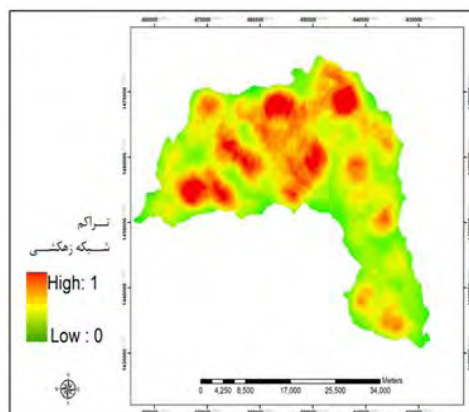
شکل ۱۹. نقشه لایه رواناب حوضه



شکل ۱۸. نقشه لایه ارتفاع حوضه



شکل ۲۱. نقشه لایه شیب حوضه



شکل ۲۰. نقشه لایه تراکم شبکه زهکشی

پس از آماده‌سازی، لایه‌های فازی با استفاده از عملگر مناسب لایه‌ها هم‌پوشی شوند. در این پژوهش از عملگر گامای فازی استفاده شده است که نقش تعدیلی نسبت به نتیجه جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی بالایی عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. این عملگر برحسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه (۱۰) تعریف می‌شود.

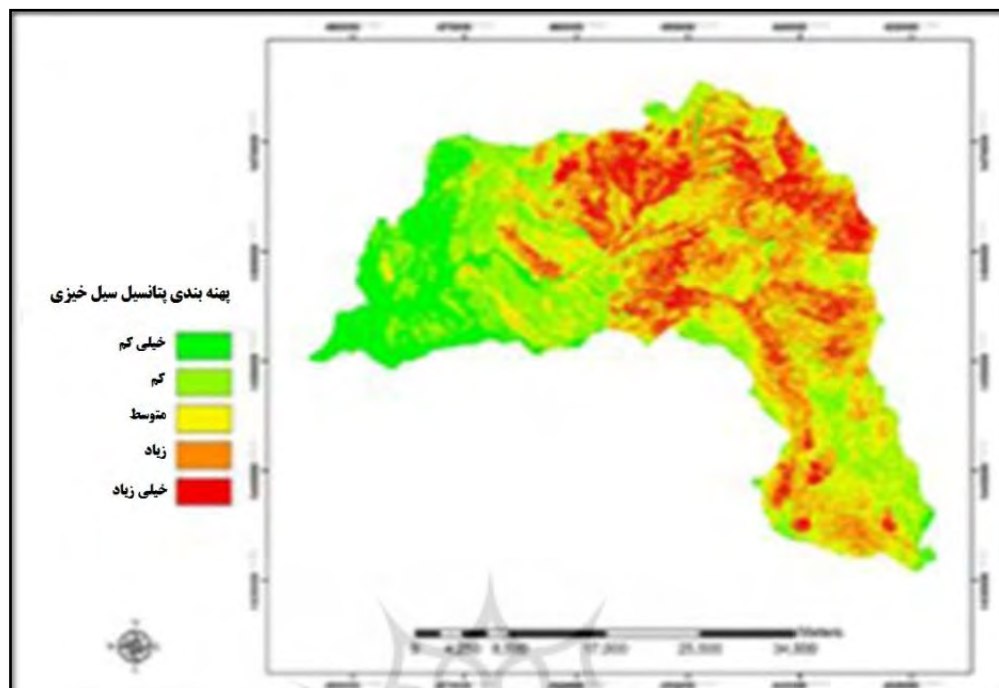
$$\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma} * (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

پس از تعیین عضویت برای هر یک لایه‌های وابسته به پارامترهای مؤثر بر روی سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه و اجرای مدل سیل‌خیزی منطقه، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی بر گامای ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ به دست آمده است. جهت تعیین مناسب‌ترین گاما در پهنه‌بندی سیل‌خیزی مقدار همبستگی بین لایه‌های اولیه و نقشه‌های نهایی گاماهای مختلف در محیط Arc GIS بدست آمد.

جدول ۲. نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی گاما (۰/۸، ۰/۶ و ۰/۴)

گاما	شیب	رواناب	تراکم زهکشی	ارتفاع	کاربری اراضی	لیتولوژی	واحد اراضی	هیدرولوژی
۰/۸	۰/۶۵	۰/۷۱	-۰/۱۴	۰/۷۱	۰/۱	-۰/۶۴	۰/۰۷	۰/۰۶
۰/۶	۰/۵۷	۰/۶۶	-۰/۱۹	۰/۶۴	۰/۱۱	-۰/۶۳	۰/۰۹	۰/۰۴
۰/۴	۰/۴۹	۰/۶۱	-۰/۲۱	۰/۵۸	۰/۱۳	-۰/۶۲	۰/۱۱	۰/۰۳

با توجه به داده‌های جدول ۲ نقشه گامای ۰/۸ بالاترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه داشته است. بنابراین گامای ۰/۸ به عنوان نقشه نهایی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی انتخاب گردید.



شکل ۲۲. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آجرلوچای برحسب منطق‌فازی

جدول ۳. مساحت کلاس‌های نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی به کیلومتر مربع و درصد

پهنه‌های سیل‌خیز به درصد	پهنه‌های سیل‌خیز به کیلومتر مربع (نیمه شرق حوضه)	پهنه‌های سیل‌خیز به کیلومتر مربع (کل حوضه)	لایه / کلاس
۱۲/۷	۳	۱۴۸	پتانسیل خیلی کم
۲۴	۳۷	۲۶۸	پتانسیل کم
۲۸/۹	۹۷	۳۰۷	پتانسیل متوسط
۲۴/۶	۱۴۳	۲۶۵	پتانسیل زیاد
۹/۸	۵۵	۱۰۳	پتانسیل خیلی زیاد

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از روش L-THIA و مدل منطق‌فازی اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آجرلوچای شده است. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی، حوضه مورد مطالعه بر اساس شدت سیل‌خیزی به پنج کلاس با سیل‌خیزی بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم‌بندی شد. نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی سیل‌خیزی در منطقه نشان می‌دهد که بیشتر مساحت حوضه (حدود ۶۵/۶ درصد) طبقات با پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متوسط قرار دارد. این مناطق بیشتر در بخش‌های غربی و پست حوضه قرار گرفته‌اند که علت آن را می‌توان بر اساس فعالیت‌های انسانی نیز مورد نظر قرارداد، بدین صورت که بخش غربی حوضه به علت شیب کم و وجود نفوذپذیری متوسط و خوب خاک مورد توجه ساکنین منطقه قرار گرفته و به عنوان مزارع از آن استفاده می‌شود و هرچند پوشش گیاهی در این بخش به صورت طبیعی نبوده و عامل انسانی به وجود آورنده این پوشش گیاهی می‌باشد ولی باز تا حدودی قوام‌دهنده‌ی نسبی



بخش غربی حوضه گردیده و میزان فرسایش را تعدیل می‌بخشد. در جنوب شرق حوضه نیز علی‌رغم کوهستانی و پرشیب بودن می‌توان پراکندگی این طبقات را مشاهده کرد. بررسی لایه‌های به‌کاررفته در پژوهش نشان می‌دهد که این منطقه از حوضه به دلیل برخورداری از گروه هیدرولوژیکی A، جنس سازندهای سست‌تر و نفوذپذیرتر، کاربری مرتعی و شیب کم از نظر پتانسیل سیل‌خیزی در کلاس پایین قرار گرفته است. بیشتر مناطق سیل‌خیز حوضه در نیمه شرقی و شمال شرقی قرار دارند. این مناطق از نظر کاربری زمین اغلب از نوع زمین‌هایی کشت دیم و یا مرتع فقیر می‌باشند که نبود پوشش گیاهی مناسب در این بخش میزان فرسایش خاک و نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی را افزایش می‌دهد و از طرف دیگر استفاده بیش‌ازحد مراتع فقیر بخش شرقی حوضه و عدم رسیدگی و کنترل و نظارت از طرف مسئولین امر مربوطه، میزان فرسایش و سیل‌خیزی حوضه در بالادست افزایش می‌یابد و بالطبع بخش‌های پایین‌دست حوضه (بخش غربی حوضه) را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. تمرکز لحظه‌ای رواناب در حوضه آبریز آجرلوچای در بخش شرقی و در قسمت میان دست تا بالادست حوضه حاصل می‌شود بدین ترتیب عوامل طبیعی مانند شیب زیاد و ارتفاع بالا و پوشش گیاهی فقیر باعث تشدید در سیل‌خیزی بخش شرقی حوضه گردیده و میزان سیل‌خیزی را در این قسمت از حوضه افزایش می‌دهد. در صد زمین‌های سیل‌خیز حوضه در دو کلاس پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در حدود ۳۴/۴ درصد از کل مساحت حوضه می‌باشد. در جدول ۳، مساحت هر یک از پهنه‌بندی دارای پتانسیل سیل‌خیزی به کیلومتر مربع و نیز به درصد ارائه گردیده است.

#### منابع

- آذری، محمود، صادقی، سیدحمیدرضا و تلوری، عبدالرسول، ۱۳۹۰، ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیل با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جاجرقل)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری، ۵(۱۵)، صص ۶۹-۷۲.
- آقاعلیخانی، مرضیه ۱۳۸۸، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه فرحزاد تهران با استفاده از مدل منطق‌فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران.
- افتخاری امیرحسین، سلاجقه علی، حسینی سیداحمد ۱۳۹۰، ارزیابی پهنه‌بندی سیل با تغییرات ضریب زبری مطالعه موردی: رودخانه اترک، جغرافیای طبیعی: تابستان ۱۳۹۰، دوره ۴، شماره ۱۲، صص ۹۱-۱۰۶.
- امیدوار، کمال و کیانفر، آمنه، ۱۳۸۹، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کنجانچم، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲، تابستان ۱۳۸۹، صص ۷۳-۹۰.
- امیراحمدی، ابوالقاسم و آب‌باریکی، زکیه، ۱۳۹۱، ریز پهنه‌بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، جغرافیا و توسعه: تابستان ۱۳۹۳، دوره ۱۲، شماره ۳۵، صص ۱۳۳-۱۵۱.
- بهشتی جاوید، ابراهیم، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه رودخانه بالخلوچای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران.
- بهشتی، مسعود، فیض‌نیا، سادات، سلاجقه، علی، احمدی، حسن. ۱۳۸۸، بررسی کارایی پهنه‌بندی زمین لغزش فاکتور اطمینان: مطالعه موردی حوزه آبخیز معلم کلاویه. فصل‌نامه جغرافیایی طبیعی، سال دوم، شماره ۵، صص ۲۰-۳۲.
- پوررضا، م، ۱۳۸۶، پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از سیستم ساماندهی جغرافیایی (GIS) طرح مطالعاتی: قسمتی از رودخانه قره‌آجاج در استان فارس، همایش GIS تهران، صص ۲۴.

- ثروتی، محمدرضا، احمدی، محمود و نصرتی، کاظم، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز سراب دره شهر، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، شماره ۳۶ بهار سال ۱۳۹۲.
- علایی طالقانی، محمود و همایونی، صدیقه، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی حوضه دینور از نظر تولید سیلاب به مؤلفه‌های ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه، جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیا)، سال ۱۳۹۰.
- شعبانلو، س، صدقی، ح، تقفیان، ب، موسوی جهرمی، ح، ۱۳۸۷، پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS، سال دوم، شماره ۱ سوم، صص ۱۱-۲۲
- قنوتی عزت اله، کرم، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در شهر کرج با استفاده از مدل فازی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هشتم، زمستان ۱۳۹۱، صص ۱۱۳-۱۳۱
- قیومی، صادق، منطق فازی و مبانی فلسفی آن، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فلسفه، دانشگاه تربیت مدرس تهران، سال ۱۳۸۱
- نبوی، محمدحسن، ۱۳۵۵: دیباچه ای بر زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ص ۱۰۹
- وطن فدا، جبار، ۱۳۸۱: بررسی وضعیت سیل کشور، مشکلات و تنگناها. سازمان تمارب، گزارش منتشر نشده.
- یمانی، مجتبی و نورانی، مریم، (۱۳۹۱): تعیین پهنه های سیل گیر با استفاده از مدل HEC-RAS در بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، بهار ۱۳۹۱
  - Calea, G.Barbet, (2002), *Influence of vegetation cover on flood hydrology in experimental basins if mt. lozere*, *Hydrology Continental*, 7:1, 33-49.
  - - Choi W, Deal BM. (2008). *Assessing hydrological impact of potential land use change through hydrological and land use change modeling for the Kishwaukee River basin (USA)*. *J Environ Manage*. 2008 Sep; 88(4):1119-30. Epub 2007 Aug 8.
  - -Chen J., Shufang Zhao, Huimin Wang, (2011), "Risk Analysis of Flood Disaster Based on Fuzzy Clustering Method" *Energy Procedia*, Volume 5.1915-1919.
  - Hagen E., J.F. Shrodr Jr., X.X.Lu, John F.Teufert.2010. *Reverse engineered flood hazard mapping in Afghanistan: A parsimonious flood map model for developing Countries*. *Quaternary International XXX*, Pages 1-10.
  - Horritt MS, Bates PD, 2002, *Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation*. *J Hydrol* 268. pp.87-99.
  - R.K.Sahu, S.K.Mishra, T.I.Eldho.2010, *Comparative evaluation of SCS-CN-inspired models in applications to classiiyed datasets*. *Agricultural Water Management*, vol1970., pp.749-756.
  - Natale I., F. Savi (2007). *Mont Carlo analysis of probability of inundation of rom*, *Environmental modeling & software* 22.
  - Rico M., G. Benito, A. Barnolas (2001). *Combined palaeoflood&rainfall runoff assessment of mountain floods Spanish Pyreness*, *Journal of hydrology* 245.
  - Stromberg.j.C,Richter,B.D,Patten,D.T,Wolden,L.G(1999); *Response,of a Sanoran riparian forest to a10 year return flood*. *Naturalist*, 53, 2,118-139.

- Wang, Y., C. Woonsup, and M. D. Brian, 2005. Long-term impacts of land-use change on non-point source pollutant loads for the St. Louis metropolitan area, USA, *Environmental Management*, 35(2): 194-205.
- Yang, C.R. and C.T. Tsai. 2000. Development of a GIS-Based Flood Information System for Floodplain Management and Damage Calculation. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(3), PP.567-577.
- Yang, L.; Ma, K. M.; Quo, Q. H.; Bai, X. ,2008, Evaluating Long-term Hydrological Impacts of Regional Urbanization in Hanyang, China, Using a GIS.Model and Remote Sensing. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 15 (4), 350–356.

