پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هشتم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۸
صص. ۱۷۱-۱۵۵

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 تائید 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 آجرلوچای 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) استفاده‌شده 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 قرارگرفته‌اند. بیشتر مناطق سیل‌خیز حوضه در نیمه شرقی و شمال شرقی حوضه قرارگرفته است. در این مناطق زمین‌ها ازنظر 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.

* نویسنده مسئول: E-mail: Fariba_darabad@gmail.com

مقدمه

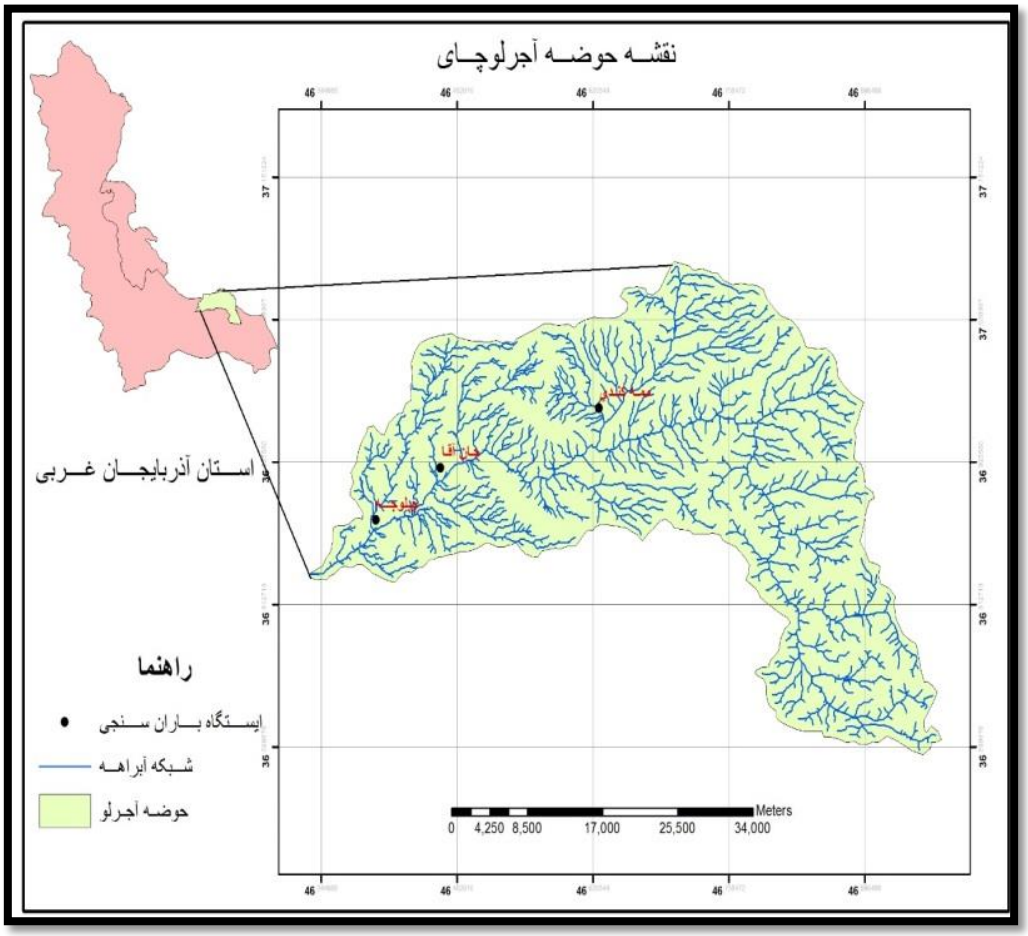
سیلاب ازجمله بلایای طبیعی شناخته‌شده می‌باشد که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب همراه با زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را ازلحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی و دیگران،۱۳۸۸: ۲۷). عوامل زیادی در وقوع سیلاب دخیل می‌باشند. به‌طورکلی عوامل اقلیمی، عوامل حوضه‌ای 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(استرومبرج[1]، 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(وطن فدا،۱۳۸۱ :۲۳). راه‌های زیادی به جهت مبارزه با مخاطرات و به‌ویژه سیل وجود دارد؛ پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در یک حوضه ازجمله 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[2] (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[3] (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 هیدروگراف های واحد، عکس‌های هوایی، نقشه‌های تاریخی، بازدید منطقه‌ای، اطلاعات مردم محلی و تغییرات کانال جریان به محاسبه مقدار دبی پرداخته‌اند. هوریت و بتیز[4](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 سیل گیر حاشیه رودخانه نمودند. ونگ و همکاران[5] (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[6]و همکاران(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 به کاربردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش فازی، روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب می‌باشد. در ایران نیز محققین و هیدرولوژیست های 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

[1] Estromberg
[2] Yang & Tsai
[3] Rico et al
[4] Horritt MS, Bates PD
[5] Wang et al
[6] 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 موردمطالعه انجام داده و مناطق مورد تهدید سیل را مشخص کردند. آقاعلیخانی(۱۳۸۸)، با استفاده از مدل منطق فازی 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 موثّر در تولید رواناب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی برای حوضه دینور را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ۳۵درصد حوضه استعداد بالا و خیلی بالا، ۵۰ درصد استعداد متوسّط و ۱۵ درصد استعداد کم و خیلی کم برای سیل‌خیزی دارند. یمانی و همکاران(۱۳۹۱) با استفاده از مدلHEC-RAS و الحاقیّهHEC-Geo-RAS طی عملیات میدانی، اطلاعات و آمار جمع‌آوری‌شده را در نرم‌افزار مورد تحلیل قرارداده و نتایج تحلیل را به محیطGIS 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 سیل گیری 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 ازلحاظ پتانسیل سیل‌خیزی به چهار منطقه تقسیم کردند که بر اساس آن ۹/۱ کیلومترمربع دارای سیل‌خیزی بسیار بالا، ۷/۸ کیلومترمربع دارای سیل‌خیزی نسبتاً بالا، ۱۳ کیلومترمربع دارای سیل‌خیزی متوسّط و ۶/۶ کیلومترمربع دارای سیل‌خیزی ضعیف می‌باشد. قنواتی(۱۳۹۲) با استفاده از منطق فازی به پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر کرج پرداخته و به این نتیجه رسیده است که خطر سیل‌خیزی با شدّت بسیار زیاد در بخش‌های شمالی، شمال شرقی و شرق منطقه موردمطالعه قرار دارد.

منطقه موردمطالعه

رودخانه آجرلوچای در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی به طول ۶۵ کیلومتر جریان دارد و یکی از زیرشاخه‌های اصلی رودخانه زرینه‌رود از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. رودخانه آجرلو چای در ۲۰ کیلومتری شهر میاندوآب در مقابل روستای کانی گوزله به زرینه‌رود می‌ریزد. بیشتر حوضه آجرلو چای در ارتفاعات واقع‌شده 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 موردمطالعه ۱۰۹۸ کیلومترمربع می‌باشد (شکل۱). 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.



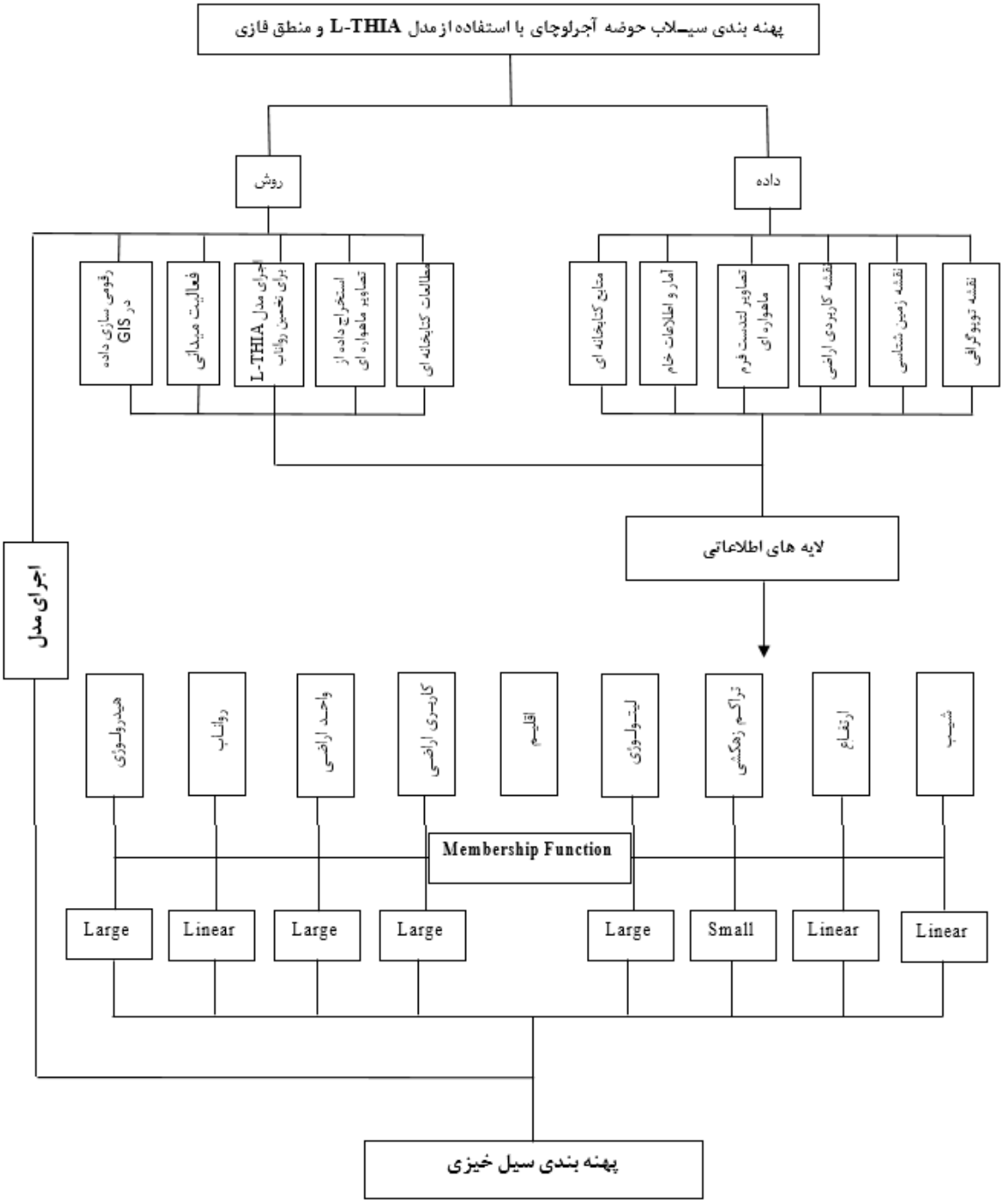
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز آجرلو چای

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 زرینه‌رود، در سه واحد از دوازده واحد بزرگ شکل زمین ساختی (مورفوتکتونیکی[1]) ایران قرارگرفته 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 سیل‌خیزی حوضه آجرلو چای از لایه‌های شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی، اقلیم، لیتولوژی، کاربری اراضی، واحد اراضی، رواناب و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک استفاده‌شده است. برای تهیه‌ی داده‌ها و لایه‌ها از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست۳ و۴ سال ۲۰۱۳، نرم‌افزار Arc GIS و الحاقی L-THIA استفاده‌شده است(شکل۲).

[1] Morphotectonic

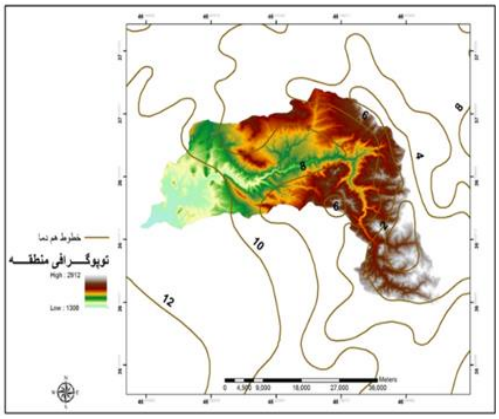


شکل۲. داده‌ها، روش و مراحل اجرای تحقیق

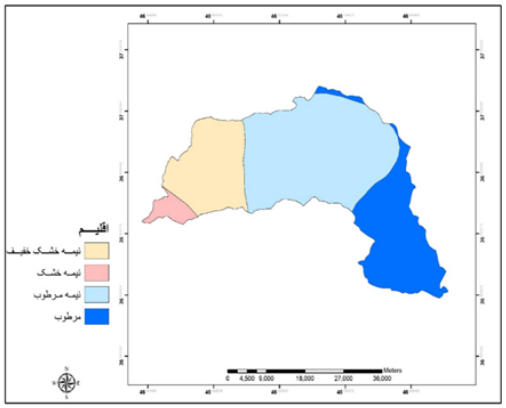
ابتدا لایه‌ی DEM حوضه، بر اساس نقشه‌ی توپوگرافی حوضه توسط نویسنده تهیه گردید، سپس با کمک این لایه، لایه‌ی شیب و ارتفاع حوضه با استفاده از نرم‌افزارArc GIS تهیه شد. لایه‌ی تراکم زهکشی بر مبنای لایه‌ی آبراهه‌ها استخراج گردید و لایه‌ی اقلیم حوضه با توجه به داده‌های بارش ۳۰ ساله (۱۳۶۳تا۱۳۹۳) منطقه، ترسیم 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 (۱۳۶۳تا۱۳۹۳) منطقه، نقشه‌ی کاربری اراضی، لایه‌ی

رقومی ارتفاع و لایه‌ی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز از طریق الحاقی L-THIA در نرم‌افزارArc GIS به دست آمد. لایه هیدرولوژیکی خاک با توجه به لایه‌های واحد اراضی و خاک‌شناسی حوضه تهیه‌شده است. لایه کاربری اراضی حوضه نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۳ و ۴ سال۲۰۱۳ و لایه ENVI تهیه گردید. جهت استخراج کاربری‌های محدوده موردمطالعه از طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از نمونه‌های تعلیمی جمع‌آوری‌شده و تصاویر ماهواره‌ای به روش حداکثر احتمال، طبقه‌بندی انجام شد.

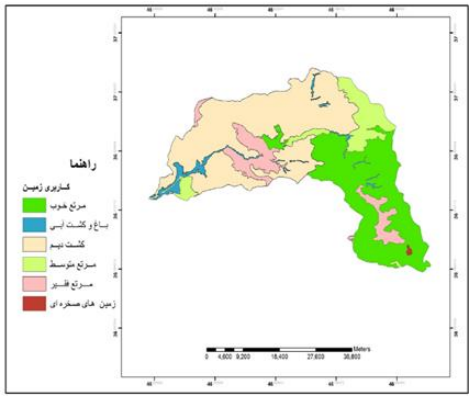
نقشه لایه‌های به‌دست‌آمده در زیر ارائه می‌گردد:



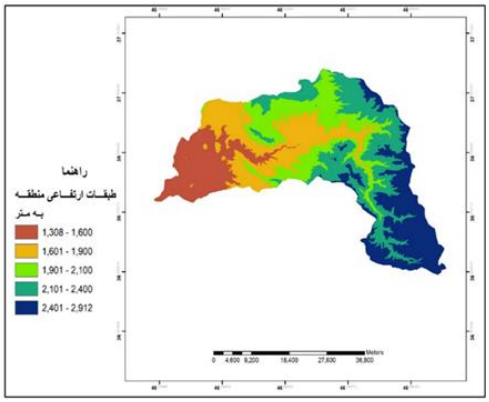
شکل۳. نقشه توپوگرافی حوضه آجرلو چای



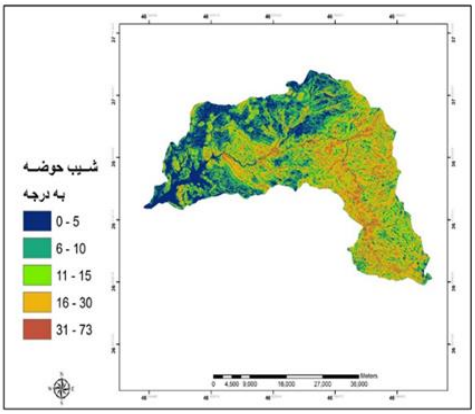
شکل۴. نقشه اقلیم حوضه آجرلو چای

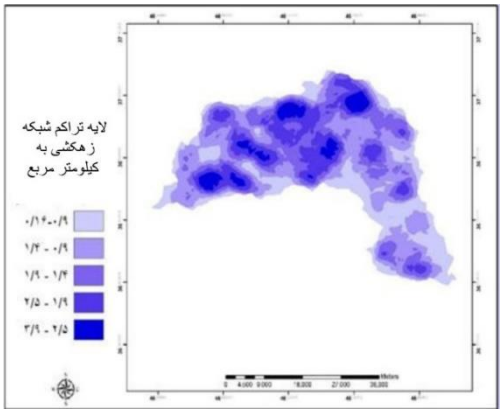


شکل۵. نقشه کاربری اراضی آجرلو چای

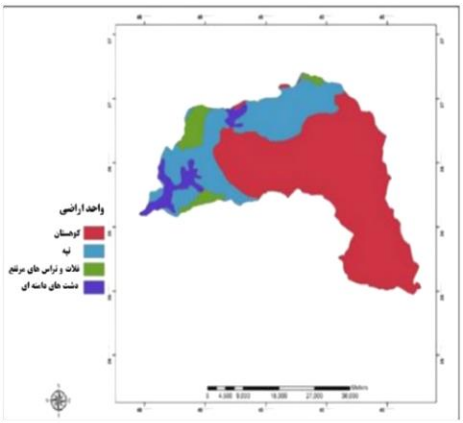


شکل۶. نقشه توزیع ارتفاعی حوضه آجرلو چای

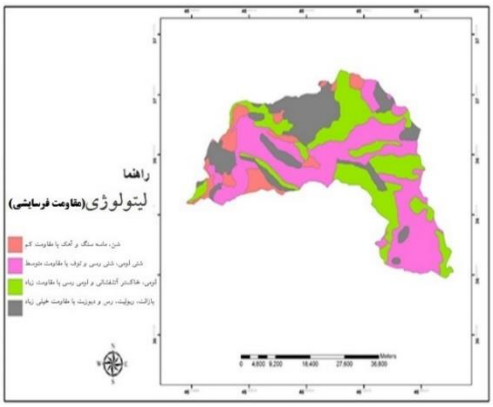




شکل۷. نقشه شیب حوضه آجرلو چای

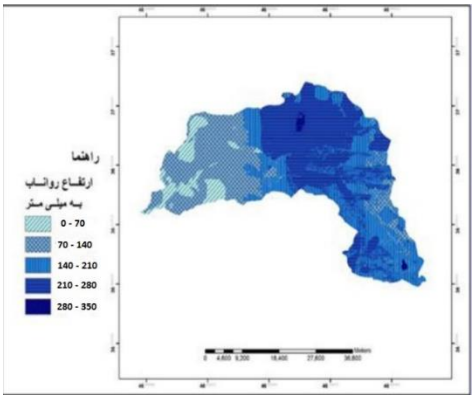


شکل۸. نقشه تراکم شبکه زهکشی حوضه آجرلو چای

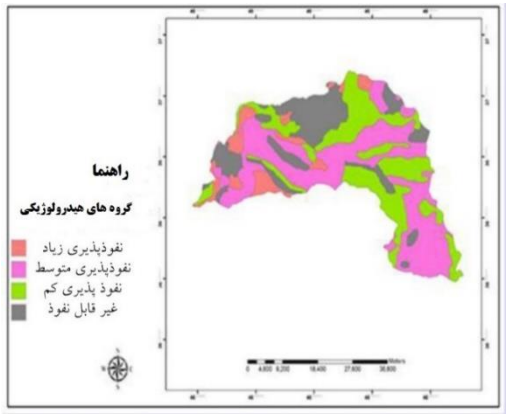


شکل۹. نقشه واحد اراضی حوضه آجرلو چای

شکل۱۰. نقشه لیتولوژی حوضه آجرلو چای



شکل۱۱. نقشه ارتفاع رواناب حوضه آجرلو چای



شکل۱۲. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه آجرلو چای

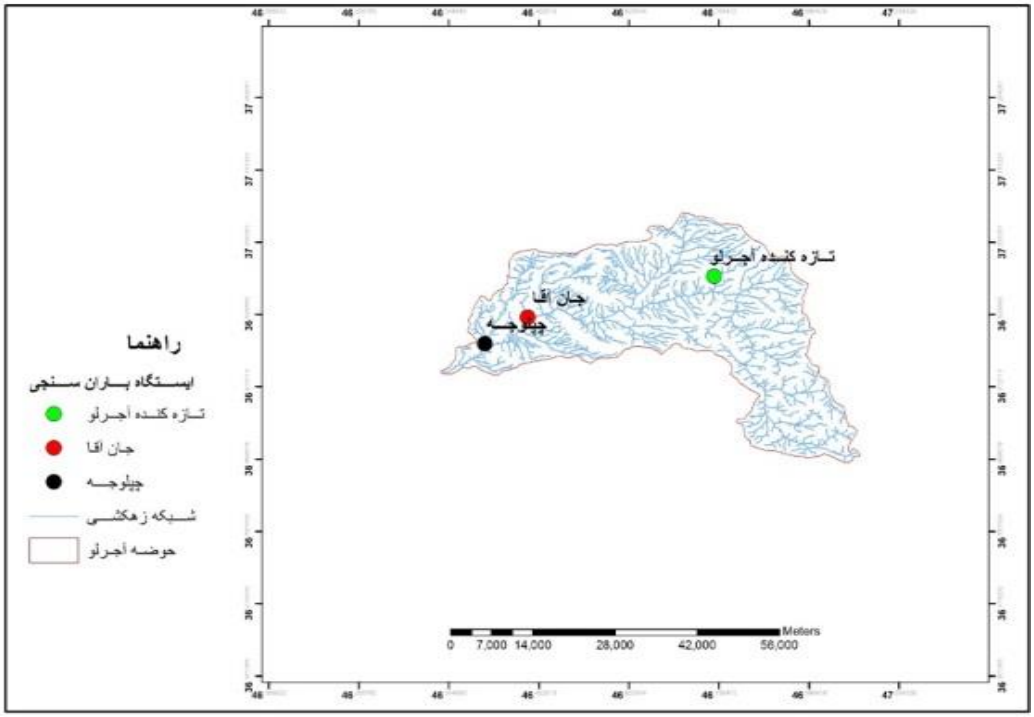
تحلیل نتایج

اجرای مدل L-THIA و تهیه لایه رواناب

برای اینکه بتوانیم لایه رواناب منطقه را تهیه کنیم از مدلL-THIA استفاده‌شده است. این مدل درواقع بر اساس معادله سازمان حفاظت خاک امریکا و روش شماره منحنی(CN) طراحی‌شده است. با این تفاوت که روش شماره منحنیCN برای بارش‌های ۲۴ ساعته ۳۰ ساله(۱۳۶۳تا۱۳۹۳) 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 رخداده محاسبه کرد و درنتیجه به‌کل رواناب سالانه رسید. الحاقی L-THIA مجموعه‌ای از ابزارها را در نرم‌افزارArc GIS فراهم می‌سازد که قادر است تا با واردکردن 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 مورداستفاده 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 جدول۱، اطلاعات هر یک از ایستگاه‌های مورداستفاده در تحقیق آورده شده است. شکل۱۳، نقشه مربوط به موقعیت هر یک از ایستگاه‌ها را در حوضه موردمطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱: اطلاعات ایستگاه‌ها

شماره	نام ایستگاه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارش متوسط	ارتفاع
۱	چوپلوجه	۱۳۸۱	۴۶درجه 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



شکل۱۳: 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 انجام‌یافته جمع گشته و میزان بارش در طول یک سال بر مجموع روزهای بارانی میانگین گرفته می‌شود و سپس تمام ۳۰ سال بارش بدین گونه محاسبه‌شده و مورداستفاده قرار می‌گیرد. در الحاقی L-THIA مقادیر CN پیش‌فرض برای کاربری‌ها و ترکیب گروه‌های هیدرولوژیکی خاک آماده‌شده است که با معرفی لایه‌های موردنیاز مقدار رواناب را برای بخش‌های مختلف حوضه محاسبه می‌نماید. بعدازاینکه هر یک از لایه‌های فوق آماده شدند اطلاعات در محیط نرم‌افزار Arc Map وارد الحاقی L-THIA شدند و نقشه رواناب منطقه بدست آمد. در شکل۱۱، لایه رواناب سالانه حوضه نشان داده‌شده است.

اجرای روش منطق فازی در پهنه‌بندی سیلاب

منطق فازی در برابر منطق «باینری» یا «ارسطویی» که همه‌چیز 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 مطلق‌گویی (فقط صفر یا یک) از مقدار تعلق عضوی به مجموعه بحث می‌کند (قیّومی،۱۳۸۱:۴۴). منطق فازی در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار در مقاله‌ای به همین نام، توسط پروفسور «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 متغیّرهای 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).

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

رابطه(۱)

این تابع به هر عضو مجموعه A عدد (۱) و به هر عضو خارج از مجموعه A عدد (۰) نسبت می‌دهد.

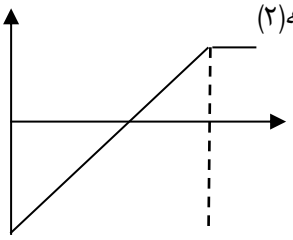
بـر ای اجـرای تکنیـک فـازی بـه عملگرهـــایی نظیـرOR (اجتمـاع)، AND (اشـتراک) Product (ضرب جبری) Sum (جمع جبری) Gamma (گاما) نیاز می‌باشد. عملگر OR فازی همانند OR بولین (اجتماع منطقی[1] که در آن مقادیر عضویت خروجی به‌وسیله مقادیر حداکثر هر نقشه ورودی تعیین می‌شود) می‌باشد. این عملگر، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در پهنه‌بندی برخوردار نمی‌باشد. عملگرAND فازی معادل با عملیات AND بولین (اشتراک منطقی[2]) در مقادیر مجموعه کلاسیک می‌باشد. بدین‌صورت 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. عملگـر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگـر Sum برخلاف عملگـر Product موجب می‌گردد تا اعداد به سمت یک میل نمایند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بـالای عملگـر Productو دقت خیلی کم عملگر Sum عملگر دیگری به نام Gamma تعریف‌شده است. مقدار گاما تعدیل‌کننده بـین صـفر و یک است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معـادل ضـرب فـازی و گامـای یـک معـادل جمع فازی است (دادرسی سبزوار،۱۳۸۷: ۸۷). در ایـن مطالعـه از عملگرSum ،Product و Gamma استفاده‌شده است.

تعیین عضویت لایه‌ها در مدل

شیب: با توجه به رابطه مستقیم این پارامتر با سیل‌خیزی از یک رابطه خطی افزاینده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده‌شده است.

رابطه(۲)

Membership Function: Linear
Maximum: 70
Minimum:
5



[1] logical union

[2] logical intersection

5 70 90

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

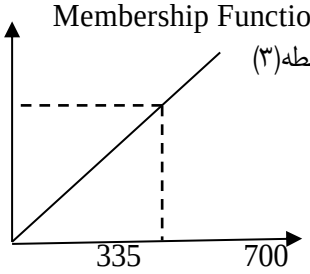
Membership Function:

Linear

Maximum: 335

Minimum: 19

رابطه(۳)



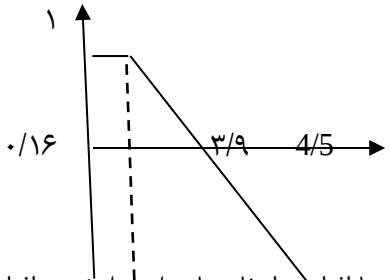
تراکم زهکشی: این پارامتر با سیل‌خیزی رابطه معکوس دارد. بنابراین از رابطه خطی کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده‌شده است.

Membership Function: Small

رابطه(۴)

Midpoint: 0/16

Spread: 3/9



ارتفاع: با افزایش ارتفاع پتانسیل سیل‌خیزی افزایش می‌یابد بنابراین یک رابطه خطی افزاینده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده‌شده است.

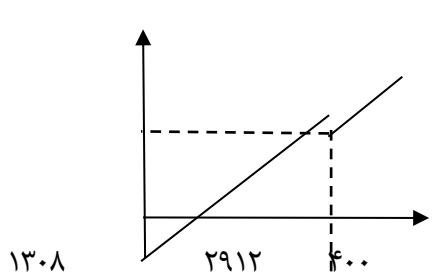
رابطه(۵)

Membership Function:

Linear

Maximum: 2912

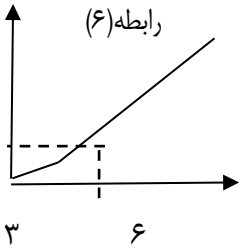
Minimum: 1308



لایه کاربری اراضی: در منطقه موردمطالعه ۶ نوع کاربری اراضی تعیین‌شده است. کاربری‌هایی که دارای مرتع خوب و یا به‌صورت باغ و مزارع کشاورزی بوده به علّت نفوذ بیشتر، رواناب کمتری تولید نموده و درنتیجه امتیاز کمتری ازنظر سیل‌خیزی می‌گیرد. ولی کاربری‌هایی که ازنظر مرتع و پوشش گیاهی فقیر هستند به علّت نفوذپذیری کمتر، رواناب بیشتری تولید می‌کنند و امتیاز بیشتری ازلحاظ سیل‌خیزی دارد.

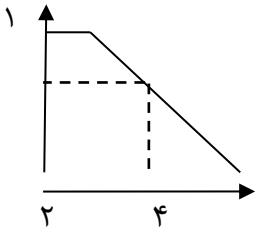
Membership Function: ۱
Large
Midpoint: 2
Spread: 2

رابطه(۶)



لایه لیتولوژی: طبق نقشه سنگ‌شناسی،۲۳ نوع واحد سنگ‌شناسی در حوضه موردمطالعه وجود دارد. واحدهای سنگ‌شناسی ازلحاظ مقاومت آن‌ها به ۴ دسته طبقه‌بندی‌شده 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.

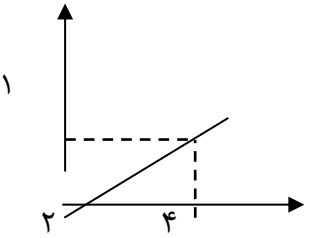
رابطه (۷)



Mimbership Function: Large
Midpoint:
3
Spread: 1

لایه واحد اراضی: این لایه با توجه به نقشه واحد اراضی که از سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه‌شده است به چهار منطقه تقسیم‌شده است. مناطق کوهستانی به علّت شیب زیاد و ارتفاع بالا ازنظر سیل‌خیزی رواناب زیادی تولید کرده و امتیازی بیشتری می‌گیرد، مناطق دشتی به علّت شیب کم و ارتفاع پایین ازنظر سیل‌خیزی رواناب کمتری تولید کرده و امتیاز کمتری می‌گیرد.

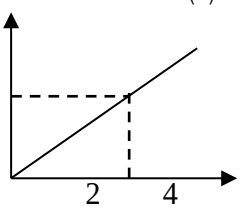
رابطه (۸)



Mimbership Function: Large
midpoint: 3
Spread: 1

لایه هیدرولوژی: ازنظر 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.

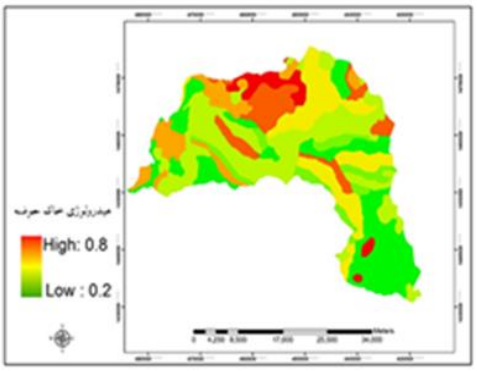
رابطه(۹)



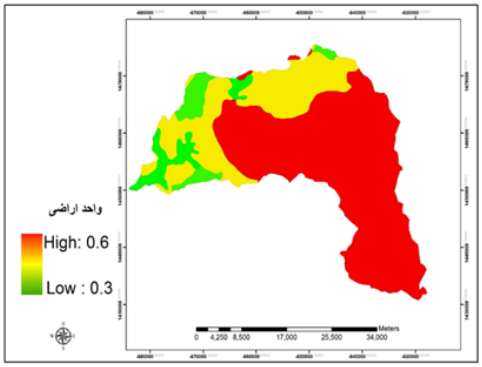
Mimbership Function: ۱
Large
Midpoint: 2
Spread: 2

لایه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی به صورت کیفی می‌باشند. بنابراین قبل از فازی‌سازی باید تبدیل به لایه‌های موضوعی کمّی شوند. در این تحقیق، کاربری اراضی شامل شش نوع کاربری مختلف و لایه لیتولوژی دارای چهار واحد سنگ‌شناسی می‌باشد. جهت کمّی‌سازی 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 سیل خیزی) اختصاص یافت. به همین دلیل، جهت فازی‌سازی لایه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی از تابع عضویت فازی Large استفاده شد.

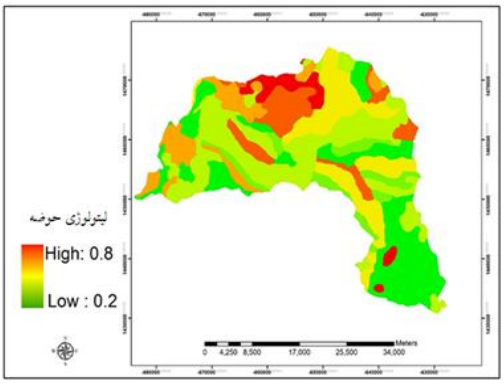
نقشه‌های لایه‌های فازی شده مورد استفاده در تحقیق، در زیر نشان داده می‌شود:



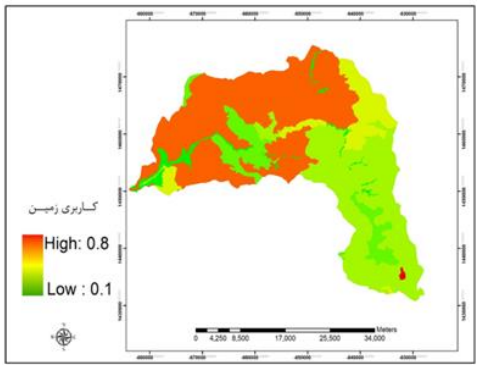
شکل۱۴. نقشه هیدرولوژی حوضه



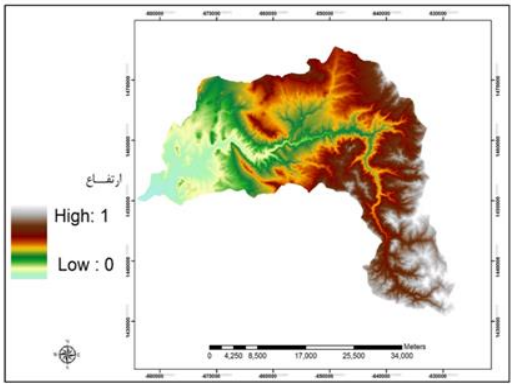
شکل۱۵. نقشه واحد اراضی حوضه



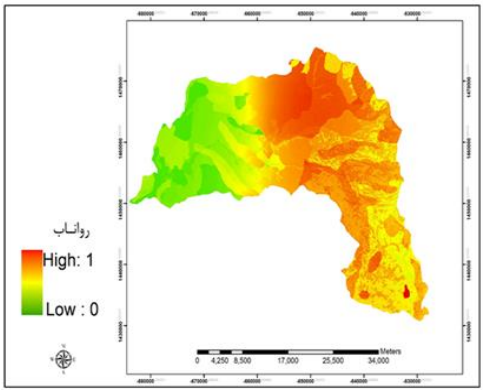
شکل۱۶. نقشه لیتولوژی حوضه



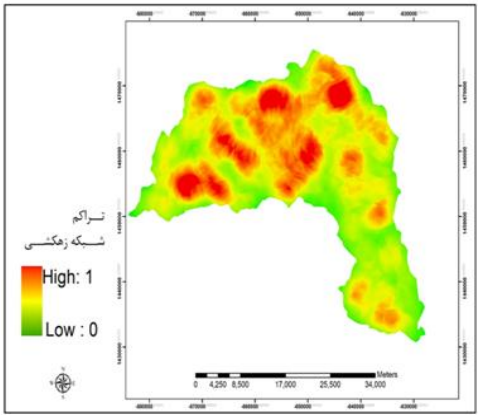
شکل۱۷. نقشه کاربری زمین



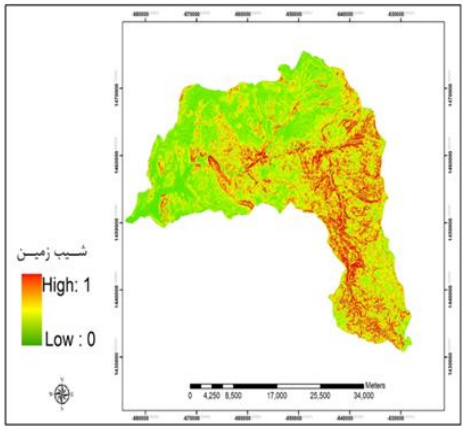
شکل ۱۸. نقشه لایه ارتفاع حوضه



شکل۱۹. نقشه لایه رواناب حوضه



شکل ۲۰. نقشه لایه تراکم شبکه زهکشی



شکل ۲۱. نقشه لایه شیب حوضه

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

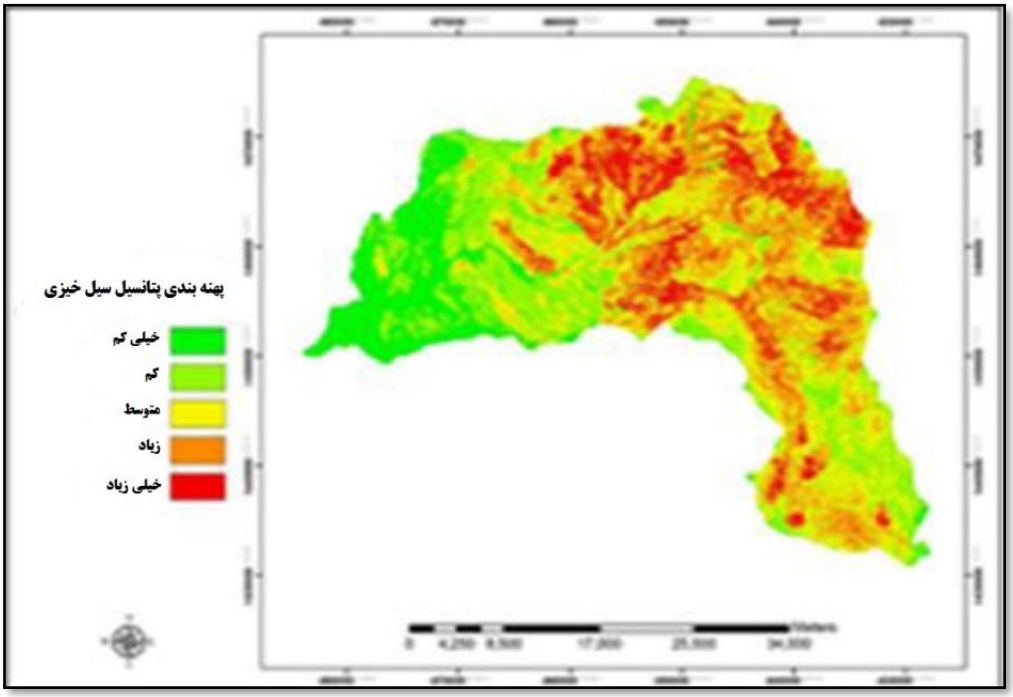
$$\mu_{combination}=(\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma}*(\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

پس از تعیین عضویت برای هر یک لایه‌های وابسته به پارامترهای موثّر بر روی سیل‌خیزی در منطقه موردمطالعه و اجرای مدل سیل‌خیزی منطقه، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی بر گامای ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ به‌دست‌آمده 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 توجّه به داده‌های جدول ۲ نقشه گامای ۰/۸ بالاترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه داشته است. بنابراین گامای ۰/۸ به‌عنوان نقشه نهایی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی انتخاب گردید.



شکل۲۲. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آجرلوچای برحسب منطق فازی

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

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

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با اســتفاده از روش L-THIA و مدل منطق فازی اقدام به پهنه‌بندی پتانســیل ســیل‌خیزی در حوضــه آجرلوچای شده ا ست. پس از تهیه نق شه پهنه‌بندی، حو ضه موردمطالعه بر ا ساس 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 حو ضه (حدود ۶۵/۶ درصد) طبقات با پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متو سط قرار دارد. این مناطق بیشــتر در بخش‌های غربی و پســت حوضــه قرارگرفته‌اند که علت آن را می‌توان بر اســاس فعالیت‌های ان سانی نیز موردنظر قرارداد، بدین صورت که بخش غربی حو ضه به علت شیب کم و وجود نفوذپذیری متو سط و خوب خاک موردتوجه ساکنین منطقه قرارگرفته و به‌عنوان مزارع از آن ا ستفاده می شود و هرچند پو شش گیاهی در این بخش به‌صورت طبیعی نبوده و عامل انسانی به وجود آورنده این پوشش گیاهی می‌باشد ولی باز تا حدودی قوام دهنده‌ی 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 ازنظر پتانسیل سیل‌خیزی در کلاس‌پایین قرارگرفته است. بیشتر مناطق سیل‌خیز حوضه در نیمه شرقی و شمال شرقی قرار دارند. این مناطق ازنظر 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. درصد زمین‌های سیل خیز حوضه در دو کلاس پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در حدود ۳۴/۴ درصد از کل مساحت حوضه می‌باشد. در جدول۳، مساحت هر یک از پهنه‌بندی دارای پتانسیل سیل‌خیزی به کیلومترمربع و نیز به درصد ارائه گردیده است.

منابع

- آذری، محمود، صادقی، سیدحمیدرضا و تلوری، عبدالرسول،۱۳۹۰، ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر ویژگی های سیل با استفاده از تلفیق مدل های *HEC-HMS* و *HEC-RAS* در محیط *GIS* (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز جاغرق)، مجلهٔ علوم و مهندسی آبخیزداری، ۵(۱۵)، صص ۶۹-۷۲.
- آقاعلیخانی، مرضیه ۱۳۸۸، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل گیری حوضه فرحزاد تهران با استفاده از مدل منطق فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران.
- افتخاری امیرحسین, سلاجقه علی, حسینی سیداحمد۱۳۹۰، ارزیابی پهنه‌بندی سیل با تغییرات ضریب زبری مطالعه موردی: رودخانه اترک، جغرافیای طبیعی : تابستان ۱۳۹۰, دوره ۴, شماره ۱۲ ، صص۹۱ - ۱۰۶.
- امیدوار،کمال و کیانفر، آمنه، ۱۳۸۹، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کنجانچم، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲،تابستان ۱۳۸۹صص۷۳-۹۰.
- امیراحمدی، ابوالقاسم و آب باریکی، زکیه، ۱۳۹۱، ریز پهنه‌بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، جغرافیا و توسعه : تابستان ۱۳۹۳, دوره۱۲, شماره ۳۵، صص ۱۳۳- ۱۵۱.
- بهشتی جاوید، ابراهیم،۱۳۹۰، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه رودخانه بالخلوچای ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران.
- بهشتی، مسعود، فیض نیا، سادات، سلاجقه، علی، احمدی، حسن. ۱۳۸۸، بررسی کارایی پهنه‌بندی زمین لغزش فاکتور اطمینان: مطالعه موردی حوزه آبخیز معلم کلایه. فصل نامه جغرافیایی طبیعی، سال دوم، شماره ۵، ص۲۰-۳۲.
- پوررضا، م، ۱۳۸۶، پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از سیستم ساماندهی جغرافیایی (GIS) طرح مطالعاتی: قسمتی از رودخانه قره‌آغاج در استان فارس، همایش GIS تهران ، ص 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 سال۱۳۹۲.
- علایی طالقانی، محمود و همایونی، صدیقه، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی حوضه دینور ازنظر تولید سیلاب به مؤلفه‌های ژئومورفولوژی،گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه، جغرافیا و پایداری محیط(پژوهشنامه جغرافیا)، سال۱۳۹۰.
- شعبانلو، س، صدقی، ح، ثقفیان، ب، موسوی جهرمی، ح، ۱۳۸۷، پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS، سال دوم، شماره ی سوم، صص ۲۲-۱۱
- قنواتی عزت اله, کرم، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در شهر کرج با استفاده از مدل فازی، جغرافیا و مخاطرات محیطی, شماره هشتم , زمستان ۱۳۹۱, صص۱۳۱-۱۱۳
- قیّومی,صادق، منطق فازی و مبانی فلسفی آن ، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فلسفه، دانشگاه تربیت مدرّس 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 تماب،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، بهار۱۳۹۱

- *Calea, G.Barbet, (2002), Influnce of vegetion 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 classified datasets. Agricultural Water Management, vol970, pp.749–756.*
- *Natale l., 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.*