پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹٤
صص. ۲٤٥-۲۳۱

پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان‌چای با استفاده از مدل ویکور

صیاد اصغری سراسکانرود* – استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه
الناز پیروزی– کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی
بتول زینالی– استادیار جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۲۰

چکیده

سیلاب، از خطرات اصلی در مناطق کوهستانی می‌باشد. حوضه آبخیز آق لاقان چای با داشتن چهره کوهستانی و با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، لیتولوژی و اقلیمی، عمده شرایط لازم جهت شکل‌گیری خطر سیلاب را دارد. این پدیده همه‌ساله موجب خسارت به مناطق مسکونی، تخریب راه ارتباطی و رسوب‌زایی گسترده و پر شدن مخزن سد یامچی و بستر رودخانه از رسوب می‌شود. هدف این تحقیق پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آق لاقان چای می‌باشد. برای رسیدن به این هدف با بررسی‌های میدانی و مطالعه منابع، ابتدا ۹ عامل مؤثر وقوع سیلاب منطقه شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، ارتفاع، فاصله از آبراهه، بارش، دما، کاربری اراضی و خاک شناسایی شدند. سپس لایه‌ها اطلاعاتی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های معیار،در نرم‌افزار IDRISIبه‌صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام گرفت. در مرحله بعد عوامل موردبررسی به‌صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است، در نرم‌افزار Expert Choice ارائه شد. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش ویکور به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد.طبق نتایج به‌دست‌آمده، عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از شبکه آبراهه، بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی آق لاقان چای دارند. به‌طور عمده مناطق بسیار پرخطر در قسمت پرشیب شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. به‌طورکلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق لاقان چای دارای توان بسیار بالا ازلحاظ رخداد سیلاب می‌باشد، لذا انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه‌ی مطالعات ضروری می‌باشد.

واژگان کلیدی: *آق لاقان چای، پهنه‌بندی، سیلاب، مدل ویکور.*

* نویسنده مسئول: E-mail:S.asghari@urmia.ac.ir

مقدمه

سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به‌صورت غیرمنتظره افزایش پیداکرده و باعث خسارات مالی و جانی گردد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۸۳).در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، سیلاب‌ها با فراوانی زیاد و در فضایی گسترده اتفاق می‌افتند (گرین[1] و همکاران، ۲۰۱۴: ۳؛ وارد[2] و همکاران، ۲۰۱۴: ۱). بررسی آمار و اطلاعات خسارت ناشی از وقوع سیلاب در ایران و جهان، بیان‌گر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد (وهابی، ۱۳۸۵: ۳۴).). این پدیده نه‌تنها در کشورهای درحال‌توسعه، بلکه در تمام جهان شایع‌ترین مخاطره طبیعی است (لسکنز[3] و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۳). طبق آمار سازمان‌های تخصصی ملل متحد در یک دهه در ۱۳۰ مورد رخداد سیلاب‌های بزرگ بیش از ۶۴۱۰۳ نفر تلفات انسانی و ۹/۰۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی محسوس به همراه داشته است (امیدوار،۱۳۹۰:۱۸۱).

سیل ترکیبی از جریان‌های کوتاه‌مدت در محل ویژه‌ای با شیب تند است که معمولاً در سنگ‌ها و سازندهای غیرقابل‌نفوذ و کم‌مقاوم ایجاد می‌شود و از سه بخش اصلی تشکیل می‌یابد: حوضه‌ی آبگیر، آبراهه و مخروط افکنه. تمامی بارندگی‌ها در حوضه‌ی‌آبگیر به‌صورت آبراهه‌های کوچک به هم می‌رسند تا دبی قابل‌ملاحظه‌ی جریان را در آبراهه‌ی بزرگ که به شکل کشیده، باریک و تا حدودی طولانی است تأمین نمایند. اساس تشکیل سیل‌ها، دبی‌های نامنظم، ناشی از بارش-های ناگهانی و شدید (اکثراً به‌صورت رگباری) است که در جریان‌های بسیار ضعیف و متناوب به وجود می‌آید (رجائی، ۱۳۸۲: ۲۹۳).برخی از علل وقوع انواع سیل را می‌توان، ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد و لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، شرایط قبلی رودخانه، زهکشی حوضه، کاربری‌های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد (کلائول[4]، ۲۰۱۱: ۱۸؛ تاین‌سنچلی[5]، ۲۰۱۲: ۱).پدیده‌ی سیل علیرغم همه‌ی پیچیدگی‌هایش قابل‌بررسی و مطالعه می‌باشد. یکی از روش‌های مدیریتی مواجهه باسیل، پهنه‌بندی سیل می‌باشد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی عبارت از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل ازنظر رواناب‌های سطحی است. این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات مناطق موردبررسی صورت گرفته و از این طریق امکانات استفاده از پتانسیل هر زون مشخص و ارزیابی می‌شود (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۸). کاربردهای نقشه-های پهنه‌بندی در مدیریت سیلاب عبارت‌اند از: ۱) تعیین حریم و بستر رودخانه‌ها ۲) مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی ۳) پیش‌بینی، هشدار و عملیات امداد و نجات ۴) بیمه‌ی سیل(رکن‌الدین افتخاری و همکاران،۱۳۸۸: ۱۷۳).

حوضه آبخیز آق لاقان چای که در استان اردبیل و در دامنه‌ی جنوب شرقی رشته‌کوه سبلان قرارگرفته است، به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی (کوهستانی بودن حوضه)، شیب زیاد، وضعیت لیتولوژی (وجود سازندهایی با نفوذ-پذیری کم) و شرایط اقلیمی (بارش‌های ناگهانی و رگباری بهاری،ذوب برف‌ها، طغیان رودخانه‌ها در بهار)، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار می‌باشد. از آن نظر که وقوع سیلاب‌ها، منجر به آسیب‌ها و خسارات متعدد، ازجمله تخریب راه‌های ارتباطی، پر شدن مخزن سد یامچی واقع در پایین‌دست حوضه و هدر رفتن منابع باارزش خاک در حوضه آق لاقان چای می‌گردد، پهنه‌بندی سطح حوضه ازلحاظ حساسیت به وقوع خطر سیلاب بسیار حائز اهمیت است.

پژوهش‌های ارزنده‌ای، به‌ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلفی، به‌منظور بررسی و مطالعه سیلاب در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. برای مثال، امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۰)، درمطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر

---

[1]-Green

[2] - Ward

[3]- Leskens

[4]-Kolawole

[5]-Tingsanchali

سیلاب در محدوده‌ی شهر سبزوار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حدود ۱۵ درصد از محدوده در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد، ۴۵ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد و ۲۵ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط و ۱۵ درصد در پهنه‌ی کم‌خطر ازلحاظ سیل-گیری قرار دارد. قنواتی و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه‌ی فرحزاد تهران با استفاده از منطق فازی پرداختند که در این زمینه اقدام به تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی همچون شیب، انحناء پروفیل، پلانیمتریک، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، لندفرم‌ها و کاربری اراضی کردند. درنهایت دریافتند که نواحی با خطر سیل بسیار بالا در پایین‌دست حوضه و منطبق بر درّه‌ی اصلی فرحزاد هستند که این نواحی شیب‌های ۲۰-۴۰ درصد را شامل می‌شود. پرستار (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز بالخلی‌چای در بالادست سد یامچی، با استفاده از مدل ANP پرداخته است. درنهایت، نقشه‌ی حاصله در پنج رده‌ی با خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی‌شده است. طبق نتایج حاصل از این تحقیق، عامل شیب، تراکم شبکه‌ی زهکشی و ارتفاع به ترتیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل دارند و در قسمت‌های مرتفع بیشترین سیل‌ها به وقوع می‌پیوندد.مجیدی هروی و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب را در شهر تهران انجام دادند. در این مطالعه از مدل AHP و Hydro استفاده‌شده است و نتایج مطالعه نشان داده است که مناطق بالادست منطقه و پیرامون مسیل‌های پایین‌دست بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب دارند. خالد[1] و همکاران (۲۰۱۰)، به ارزیابی رشد شهری و مخاطرات سیلاب در شهرمکه، با استفاده از GISپرداختند. نقشه توپوگرافی شهر مکه، نقشه‌های کاداستر و نقشه کاربری اراضی، سپس مدل رقومی ارتفاع منطقه و دو نقشه شیب فایل برای مناطق مسکونی و جاده‌ها در محیط GIS ایجاد شد و با مشخص کردن ضریب CN برای هر منطقه و به‌کارگیری روش SCS و درنهایت انجام محاسبات آماری و تجزیه‌وتحلیل مکانی، برآورد سیل امکان‌پذیر شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌داد که به دلیل ایجاد مناطق مسکونی جدید و شهرک‌ها در مناطق دارای خاک قابل‌نفوذ، مناطق مسکونی شهرستان مکه ۱۹۷٪ افزایش‌یافته است.رونالد کلیمنت[2](۲۰۱۳)، در شهر Makurdi نیجریه با استفاده از نرم‌افزارGIS و داده‌های رقومی توپوگرافی، خاک، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم، جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل پرداخت. نقشه طبقه-بندی خطر سیل‌خیزی نشان داد که به‌طورکلی شهر پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب دارد. لاول[3] و همکاران (۲۰۱۴)، در شهر Perlise مالزی، مطالعه‌ای به‌منظور تجزیه‌وتحلیل مدل استخراج میزان سیلاب و عوامل مؤثر بر سیلاب انجام دادند. درنهایت با ترکیب داده‌های سنجش‌ازدور و GIS، سه عامل زمین‌شناسی، کاربری زمین و شیب به‌عنوان عوامل مهم در سیل‌خیزی ذکر شد. ینان[4] و همکاران (۲۰۱۵)، در حوضه رودخانه Huaihe، با استفاده از روش AHP و GIS، پهنه‌بندی خطر سیلاب را انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل AHP، در ارزیابی خطر سیلاب-های حوضه در سال‌های ۱۹۶۰ تا۲۰۱۰، بسیار سازگاربوده است.

با توجه به پیشینه تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره و استفاده از GIS، از استقبال بالایی برخوردار بوده است، در این بررسی نیز درنهایت از روش ویکور، که بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه‌ریزی گردیده است، به‌عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاری، جهت پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آق لاقان چای استفاده‌شده است.

شناخت محدوده موردمطالعه

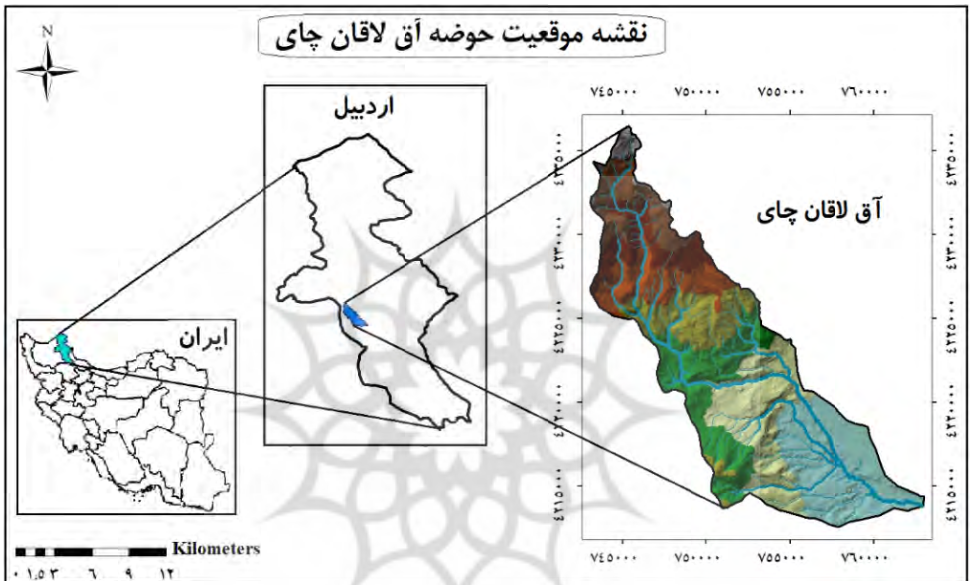
[1]-Khalid

[2] -Roland Clement

[3]-Lawal et al

[4]- Yen an et al

حوضه آبخیز آق لاقان چای با وسعت ۱۶۶ کیلومترمربع درمختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه طول شرقی قرارگرفته است و از زیر حوضه‌های بالیخلوچای اردبیل محسوب می‌شود. این حوضه درشمال غرب ایران و در دامنه جنوب شرقی کوه سبلان واقع‌شده است (شکل ۱). حوضه موردمطالعه از شمال با قله سبلان، از جنوب با حوضه امام چای، از شرق با جوراب چای و سرعین و از غرب با حوضه بیوک و گردنه صایین هم‌جوار می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوضه ۴۳۸۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۶۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط حوضه نیز ۳۸ درصد است. با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد می‌باشد. ازنظر زمین ساختی منطقه موردمطالعه در زون زمین ساختی البرز غربی–آذربایجان قرار دارد(بر اساس تقسیم‌بندی نبوی (۱۳۵۵)، افتخارنژاد (۱۳۵۹) و درویش‌زاده (۱۳۷۰)).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آق لاقان چای در ایران و اردبیل

مواد و روش

به‌منظور دستیابی به هدف تحقیق از مواد و روش‌های زیر استفاده‌شده است:

۱- مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع تحقیق از طریق مطالعه اسناد و مدارک کتابخانه‌ای،جهت شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب.

۲- تهیه لایه‌های اطلاعاتی شامل: تهیه نقشه‌ی شبکه آبراهه، منحنی‌های میزان (خطوط تراز)، طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی نقشه توپوگرافی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تهیه لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی و لیتولوژی حوضه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، تهیه نقشه‌ی دما و بارش منطقه موردمطالعه را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در داخل حوضه و هم‌چنین ایستگاه‌های مجاور (آمارهای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، ایستگاه‌های اردبیل، سرعین، نیر و لای) و با به دست آوردن معادله گرادیان دما (P=- 0.003 H+14.45) و گرادیان بارش حوضه (P= 0.228 H-86.64) و نیز استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، تهیه لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی حوضه با استفاده از نقشه کاربری شهرستان نیر، تهیه نقشه خاک حوضه از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه خاکی که سبحانی با پیمایش میدانی از حوضه آق لاقان چای تهیه‌کرده‌اند، استفاده کردیم(سبحانی، ۱۱۳:۱۳۷۶).

۳- واردکردن لایه‌ها به محیطIDRISIو ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های معیار، در نرم‌افزار IDRISI به‌صورت توأم با استفاده از روش فازی.

۴- مقایسه زوجی و وزن‌دهی هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است، در نرم‌افزار Expert Choice.
۵- درنهایت، جهت پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب در حوضه آق لاقان چای، مدل‌سازی نهایی، با استفاده از روش VIKOR، انجام‌شده است.

- تشریح مدل VIKOR

این روش مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است (چن و وانگ[1]،۲۲۴:۲۰۰۹). در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسئله در زمان شروع و طراحی آن نیست، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود (عطائی،۸۷:۱۳۸۹). اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره، nمعیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل الگوریتم پیاده‌سازی فازی ویکور دارای گام‌های زیر است (آپرویج و تزنگ[2]،۲:۲۰۰۶).

مرحله اول: اولین قدم در ارزیابی چند معیاری، تعریف معیارها و ایجاد ماتریس به‌صورت (رابطه۱) است. یک مجموعه معیارها باید دارای آن دسته از خصوصیاتی باشند که به‌اندازه کافی معرف طبیعت چند معیاری یک مسئله ارزیابی به‌حساب آیند (مالچفسکی[3]،۱۳۸۵: ۱۵۵).

$$X_{ij}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{22} & \cdots x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots x_{mn} \end{bmatrix}$$

رابطه (۱)

مرحله دوم: استانداردسازی ماتریس تصمیم می‌باشد (رابطه۲). ازآنجایی‌که در اندازه‌گیری معیارها دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند، لذا لازم است که معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد گردد (سلمان ماهینی،۱۹۰:۱۳۸۷). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر (مانند ۰ الی ۲۵۵) است (آشور،۱۳۱:۱۳۹۰). در این مطالعه،مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به‌صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی در نظر گرفته‌شده است. ارزش عضویت یا درجه تعلق در یک مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه آن بین مقادیری چون ۰ تا ۱ یا ۰ تا ۲۵۵ قرار دارد، تعیین کرد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه می‌باشد (افروز، ۱۳۹۰: ۱۰۸).در تحقیق حاضر با استفاده از امکاناتی که در تابع FUZZY از نرم‌افزار IDRISI وجود دارد. برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به‌صورت نقشه‌های معیار تهیه‌شده‌اند، استفاده به‌عمل‌آمده است. در رابطه با هر معیار، دامنه‌ای از مقادیر در نظر گرفته‌شده است که اگر مقادیر ثبت‌شده از معیار در پیکسل‌ها بیشتر یا کمتر از مقادیر تعیین‌شده در دامنه باشد به‌منزله درجه عضویت صفر در دامنه تعیین‌شده تلقی می‌گردد و درنتیجه میزان مطلوبیت برابر با صفر می‌شود. از سوی دیگر اگر مقادیر اندازه‌گیری شده از معیار در پیکسل‌ها با درجه کامل عضویت در دامنه تعیین‌شده منطبق باشد، به معنای مطلوبیت حداکثر در آن معیار است. سایر سطوح مطلوبیت نیز در حدفاصل درجه عضویت صفر و درجه عضویت حداکثر (۱) قرار دارد.

F

رابطه (۲)

[1]- Chen & Wang
[2]- Opricovic & Tzeng
[3] - Malchefeski

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{in} \\ \vdots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}$$ رابطه (۲)

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیار است. در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$ رابطه (۳)

در تحقیق حاضر برای تعیین وزن معیارها ، از روش مقایسه‌ای دوبه‌دو که در ذیل روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)مورداستفاده قرار می‌گیرد، استفاده‌شده است. در این روش، تا اندازه زیادی از پیچیدگی مفهومی مطرح در تصمیم‌گیری کاسته می‌شود، زیرا در هر زمان معین تنها دو مؤلفه، موردتوجه قرار می‌گیرند. یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام‌شده برای تعیین اهمیت معیارها و زیرمعیارها می‌باشد به‌عبارت‌دیگر در تشکیل ماتریس مقایسه دودویی معیارها، مقدارسازگاری در قضاوت ها رعایت شده است. چون وقتی‌که اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شوند، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. پس سنجه‌ای را باید یافت که میزان ناهماهنگی‌ها را مشخص سازد. چنانچه مقدار ضریب سازگاری[1] CR مساوی یا کوچک‌تر از ۰/۱باشد نشان‌دهنده این است که سازگاری لازم در قضاوت ها رعایت شده است (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۱۸). محاسبه ضریب پایندگی در کار تحقیقی حاضر نشان داد که این ضریب در مطالعه حاضر کمتر از ۰/۱ و در حد قابل‌قبول می‌باشد.

مرحله چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار می‌باشد. بهترین مقدار (f_j^*) و بدترین مقدار(f_j^-) برای معیارها به ترتیب از روابط (۴ و ۵) محاسبه می‌شوند. در این مطالعه بهترین مقدار برای معیارها با توجه به نقشه استانداردشده فازی ۱ و بدترین مقدار صفر در نظر گرفته شد.

$$f_j^* = \max_i f_{ij}$$ رابطه (٤)

$$f_j^- = \min_i f_{ij}$$ رابطه (٥)

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسف (R) می‌باشد. در این مرحله مقدار S با توجه به رابطه (۶) و R با توجه به رابطه (۷) محاسبه می‌شوند:

$$S_i = \sum_{i=1}^{n} wi \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$ رابطه (٦)

$$R_i = \max\left\{ wi \frac{f_{j-}^* f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\}$$ رابطه (۷)

که wj مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشه معیار می‌باشد.

مرحله ششم: محاسبه شاخص VIKOR (مقدارQ)می‌باشد. مقدارQ با توجه به رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-}\right] + (1 - v)\left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}\right]$$ رابطه (۸)

در معادله فوق $S^- = \min S_i$ ،$S^* = \max S_i$ ،$R^- = \min R_i$ ، $R^* = \max R_i$می‌باشد.

مرحله هفتم: مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر R، S و Q است. در این مرحله با توجه به مقادیر R، S و Q گزینه‌ها در سه گروه از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند و درنهایت گزینه‌ای به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به‌عنوان گزینه برتر شناخته شود.

[1] Consistency Index

بحث

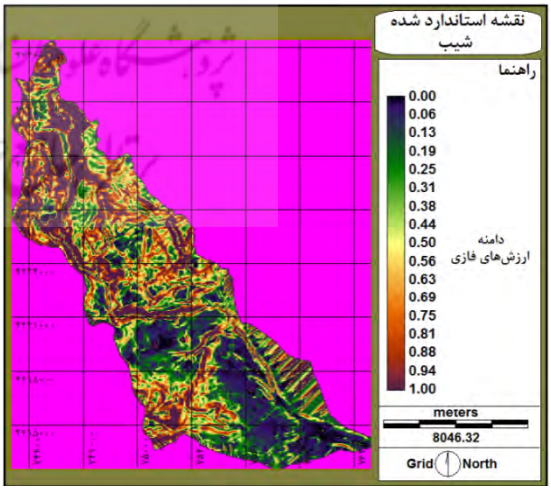
- تشریح عوامل مؤثر در سیل‌خیزی حوضه

شیب: شیب اراضی، تعیین‌کننده نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب می‌باشد. به‌این‌ترتیب که در اراضی با شیب شدید، تحت تأثیر نیروی ثقل آب دارای سرعت زیادی می‌شود (اصغری مقدم، ۱۳۷۸: ۴۵). در حوضه موردمطالعه، متوسط مقدار شیب ۳۸ درصد می‌باشد و در برخی نقاط کوهستانی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز می‌باشد. در این مطالعه، شیب‌بر مبنای درجه عضویت فازی در حدفاصل ۱-۰ ارزش‌گذاری شده است (شکل ۲). در این نقشه هرچه به دامنه ارزش ۱ نزدیک می‌شویم، پتانسیل سیل‌خیزی نیز بیشتر می‌باشد.

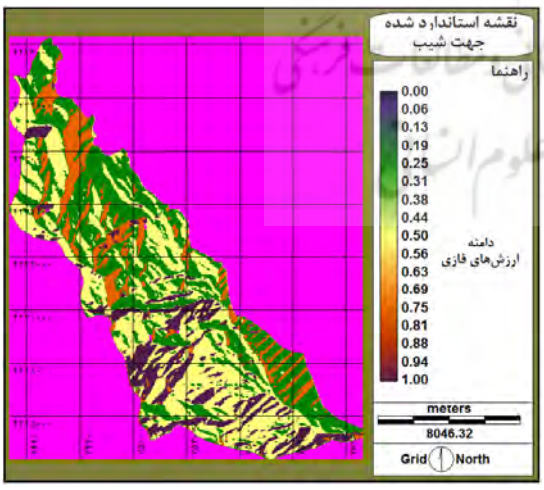
جهت شیب: در مطالعات آبخیزداری ازنظر تأثیری که جهت دامنه‌های حوضه بر نوع فرسایش و همچنین میزان سیلاب دارد لازم است، نقشه‌ی جهت شیب نیز تهیه شود (علیزاده، ۱۳۹۰: ۵۱۳). به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب، در سطح حوضه آق لاقان چای به ترتیب دامنه‌های شمالی، شمال غربی و غربی به دلیل دریافت بارش زیاد، ماندگاری طولانی‌مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر، ارزش بالا دریافت کردند (شکل ۳).

ارتفاع حوضه: پستی‌وبلندی حوضه عاملی است که نقش مهمی در مقدار و نوع ویژگی‌های جوی، وضعیت پوشش گیاهی ، تبخیر و تعرق، میزان رواناب و درنهایت ایجاد سیلاب حوضه دارد. شکل (۴)، نقشه استانداردشده ارتفاع حوضه بر مبنای درجه عضویت فازی در حدفاصل بین ۱ – ۰ می‌باشد. هر چه به‌طرف عدد ۱ نزدیک می‌شویم، درجه مطلوبیت برای ایجاد سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.

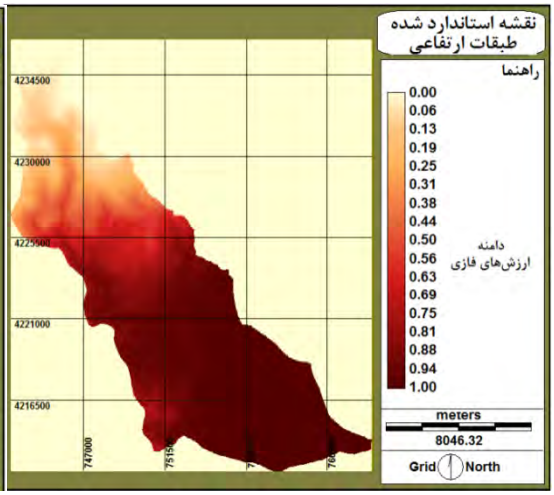
فاصله از آبراهه: ازجمله‌ی مهم‌ترین عوامل افزایش خسارات سیل استفاده‌ی نامعقول از حریم مسیل‌های به‌ظاهر مساعد و بالقوه خطرناک است که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار دارند (غیور، ۱۳۷۵: ۱۸). در حوضه‌ی آق لاقان چای با توجه به تراکم زیاد شبکه آبراهه و نیز دائمی بودن رود آق لاقان چای، فواصل نزدیک به رودخانه عمدتاً در معرض سیل-خیزی قرار دارد. بنابراین، در ارزش‌گذاری نقشه‌ی فاصله از آبراهه (شکل ۵)، که بین ۰ و ۱ صورت گرفته است، هر چه به مناطق اطراف آبراهه‌ها نزدیک‌تر می‌شویم، ارزش فازی بیشتر می‌شود.



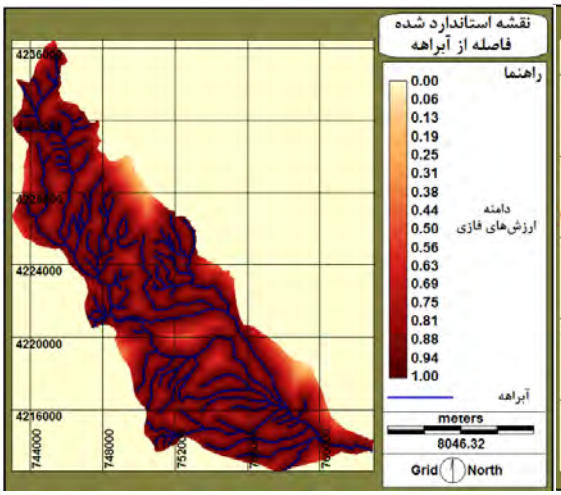
شکل۲: نقشه استانداردشده فازی شیب



شکل۳: نقشه استانداردشده فازی جهت شیب



شکل٤: نقشه استانداردشده فازی طبقات ارتفاعی



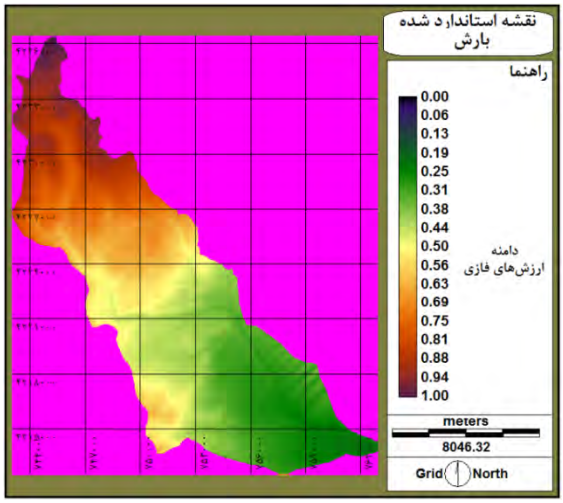
شکل٥: نقشه استانداردشده فازی فاصله از آبراهه

بارندگی: بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به‌طور مستقیم در چرخه‌ی هیدرولوژی دخالت دارد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۱۵۶). قطعاً اگر بارندگی اتفاق نیفتد، سیل ایجاد نمی‌شود. در حوضه مطالعاتی فصل بهار، فصل بارش‌های ناگهانی،ذوب برف‌ها، فصل طغیان رودخانه و جاری شدن سیلاب‌های شدید در منطقه می‌باشد. در نقشه‌ی فازی شده‌ی بارش (شکل ۶)، مناطق با میانگین بارشی زیاد، ارزش بالا دریافت کردند.

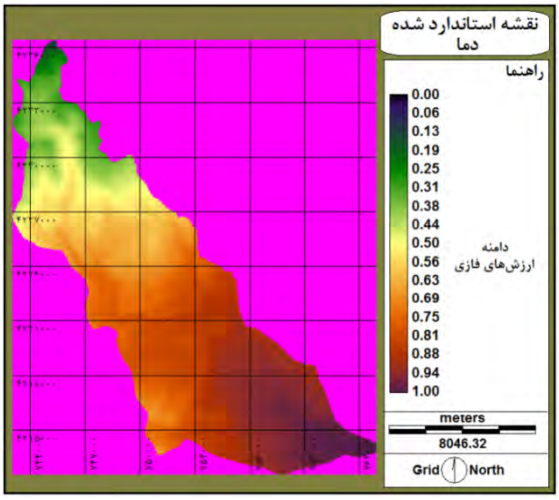
دما: مطالعات هیدرولوژیکی یک حوضه‌ی آبریز باید شامل بیلان حرارتی آن نیز باشد، در این بیلان نه‌تنها حرارت حاصله از تشعشعات خورشید مداخله می‌کند، بلکه تبادل حرارتی بین خاک – هوا، سفره‌های آب و توده‌های یخ موردبحث قرار می‌گیرد (رمینراس، ۱۳۶۳: ۲۱۹). در حوضه‌ی مطالعاتی، بالاترین درجه‌حرارت، مربوط به قسمت‌های پایین‌دست حوضه می‌باشد. شکل (۷)، نقشه استانداردشده‌ی دمای حوضه می‌باشد.

خاک: خاک‌ها بانفوذپذیری مناسب به میزان زیادی، آب‌های حاصل از بارندگی را به زمین نفوذ داده و باعث تغذیه‌ی سفره‌های زیرزمینی می‌گردد. درحالی‌که اراضی با بافت ریز و فشرده باعث می‌گردد که آب نتواند در زمین نفوذ نموده، بلکه قسمت‌های زیادی از آب به‌صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌گردد (اصغری مقدم، ۱۳۷۸: ۲۸۳). خاک‌های حوضه آق لاقان چای، شامل چهار نوع خاک: براوون- کالوویال، کالوویال، لیتوسول و لیتوسول – کالوویال می‌باشد (سبحانی،۱۱۳:۱۳۷۶). در نقشه استانداردشده‌ی خاک (شکل ۸)، به ترتیب خاک‌های لیتوسول و لیتوسول- کالوویال با نفوذپذیری کم، ارزش زیاد به خود اختصاص دادند.

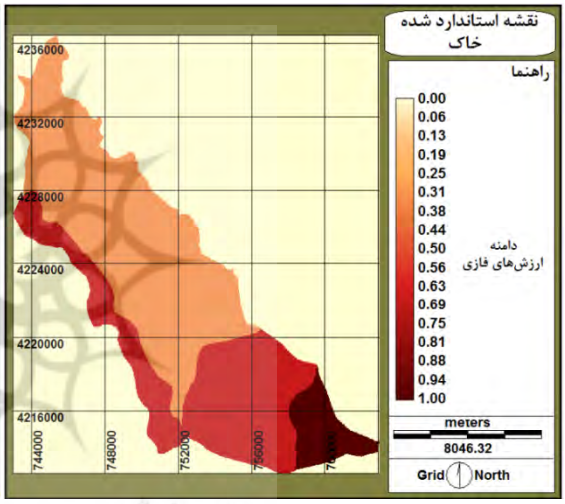
لیتولوژی: ویژگی‌های سنگ‌شناسی به‌طور غیرمستقیم بر روی مشخصات حوضه تأثیرگذار است (یمانی و عنایتی، ۱۳۸۴: ۴۹). در حوضه‌ی آق لاقان چای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی منطقه به‌صورت آتش‌فشانی و رسوبی گسترده شده است. در نقشه‌های استانداردشده لیتولوژی (شکل ۹)، هرچه به‌طرف یک حرکت می‌کنیم، میزان نفوذپذیری کمتر و میزان ایجاد پتانسیل رواناب و سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.



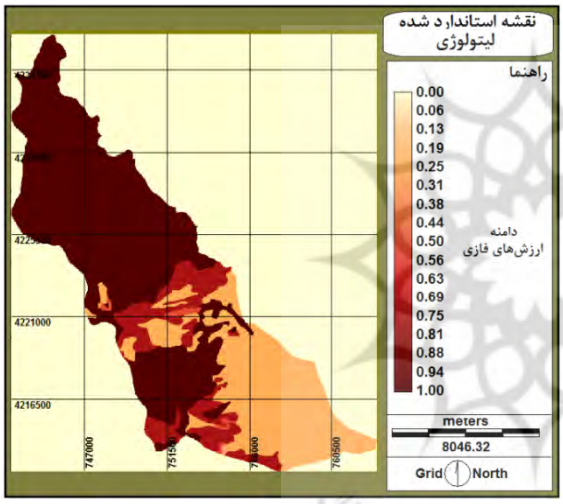
شکل٦: نقشه استانداردشده فازی بارش



شکل۷: نقشه استانداردشده فازی دما

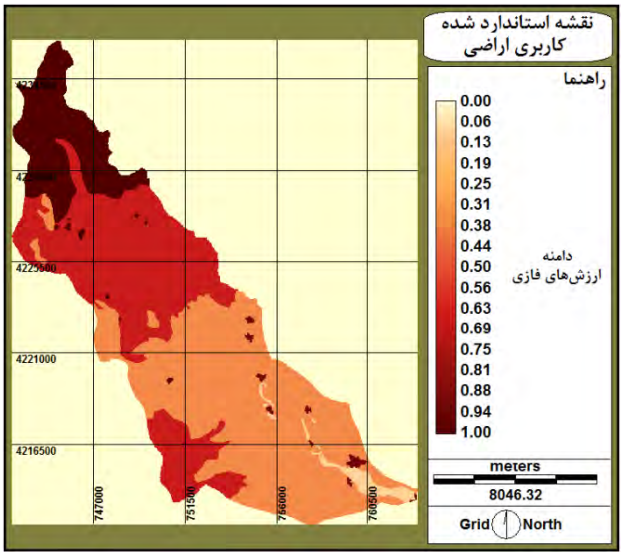


شکل۸: نقشه استانداردشده فازی خاک



شکل۹: نقشه استانداردشده فازی لیتولوژی

کاربری اراضی: کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره‌ی رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری گردد، موجب افزایش بده‌ی سیلابی می‌گردد (مهدی‌زاده، ۱۳۹۱: ۹۷). نوع کاربری اراضی در سطح حوضه به شش نوع کاربری زراعی، مرتع، بوته‌زار، مسکونی، باغ و رخنمون‌های سنگی تقسیم می‌گردد. در نقشه‌های استانداردشده کاربری (شکل ۱۰)، هرچه به‌طرف یک حرکت می‌کنیم (کاربری با رخنمون سنگی، مرتع، مناطق مسکونی و زراعی)، پتانسیل رواناب و سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.



شکل ۱۰: نقشه استانداردشده فازی کاربری اراضی

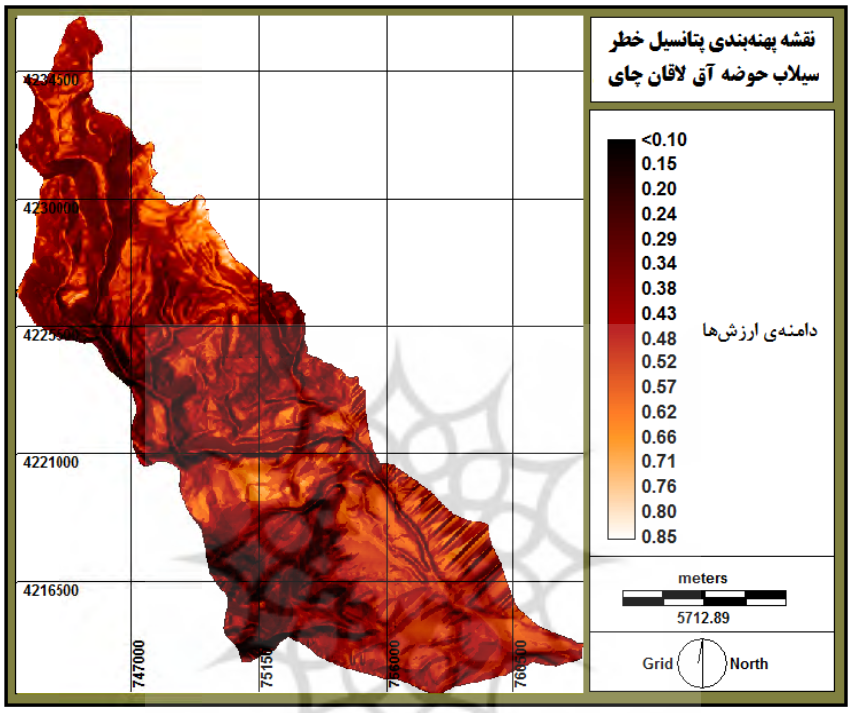
- خروجی حاصل از به‌کارگیری مدلVIKOR:

پس از تهیه نقشه‌های استانداردشده در رابطه با هر یک از معیارهای مطرح در نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب حوضه آق لاقان چایو اعمال کردن وزن‌های مربوطه (جدول۱)، نقشه‌های حاصله وارد مدل VIKOR شده و با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، خروجی نهایی (شکل ۱۱)، به دست آمد. همان‌گونه که در نقشه نهایی حاصل از روش تحقیق نشان داده‌شده است، دامنه‌ی ارزشی حاصل از مدل در پهنه‌بندی سیلاب حوضه مطالعاتی بین ۰/۱۰ و ۰/۸۵ می‌باشد، که دارای ماهیت فازی می‌باشد و هرچه مقدار ارزش یک پیکسل به سمت عدد ۰/۱۰ نزدیک باشد، بیانگر میزان خطر زیاد جهت شکل‌گیری سیلاب می‌باشد و هرچه میزان مقدار ارزش دریافت پیکسلی به سمت ۰/۸۵ میل نماید، گویای پتانسیل کم‌تر آن پیکسل جهت ایجاد سیلاب است.در ادامه با توجه به دامنه‌ی مقادیر حاصل از مدل در پهنه‌بندی سیلاب، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را در محیط ادریسی و با استفاده از دستورReclass، در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا به سیارکم خطر طبقه‌بندی کردیم (شکل۱۲).

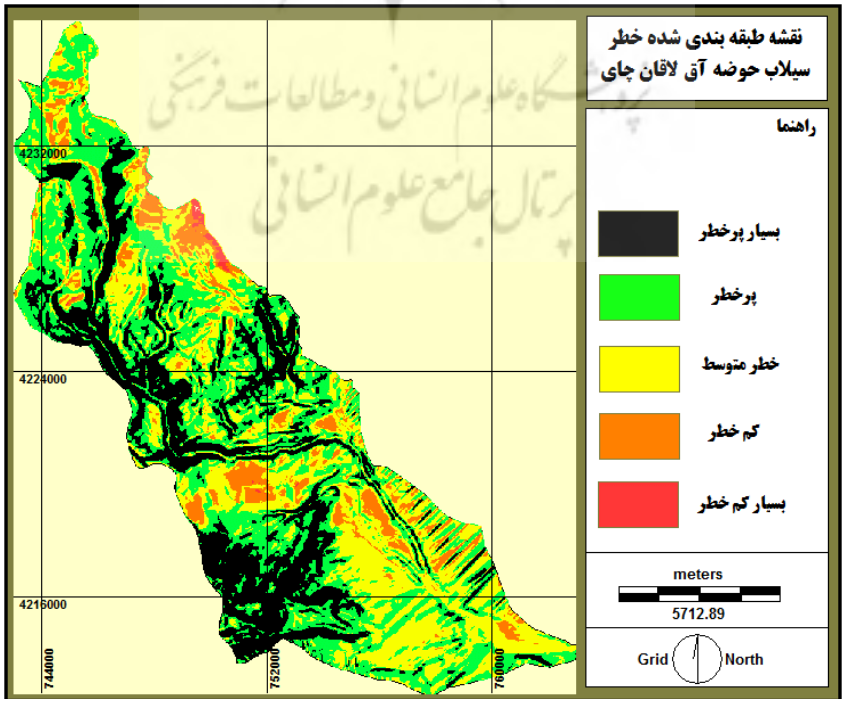
با بررسی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی و مقایسه آن‌ها با نقشه‌های معیار، به این نتیجه رسیدیم که مناطقی بسیار پرخطر ازلحاظ پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه‌ی آق لاقان چای، به‌طور عمده در واحدهای کوهستانی و پرشیب شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. این مناطق پرخطر به‌طور عمده دارای لیتولوژی بسیار مقاوم و مقاوم به همراه خاک‌های نفوذناپذیر می‌باشند و اغلب کاربری‌های این مناطق،به‌صورت رخنمون سنگی، مرتع و زراعی می‌باشد. همچنین مناطق پرخطر در طبقات ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متر (به‌ویژه در ارتفاعات ۳۵۰۰-۲۰۰۰ متری) و درشیب‌های۶۰-۳۰ درصد قرارگرفته‌اند. هم‌چنین این مناطق در دامنه‌های شمالی و غربی که از رطوبت بیشتری و تابش انرژی خورشیدی کم‌تری برخوردارند، واقع‌شده‌اند. ازنظر بارندگی این مناطق از مقدار بارش بالا (۵۵۰-۳۵۰ میلی‌متر) برخوردارند و میزان درجه حرارت این مناطق بین ۹-۳ درجه سانتی گراد می‌باشد. همچنین مناطق بسیار پرخطر در فواصل نزدیک به آبراهه (فاصله ۲۰۰-۰ متری از آبراهه) قرار دارند.

جدول ۱: وزن حاصل از مقایسه زوجی معیارهای مطرح

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از آبراهه	دما	بارش	کاربری اراضی	خاک	لیتولوژی
وزن نهایی	۰/۱۸۷	۰/۱۲۳	۰/۱۷۳	۰/۱۴۹	۰/۰۴۳	۰/۰۷۳	۰/۰۵۵	۰/۱۰۵	۰/۰۹۲



شکل ۱۱ : نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه‌ی آق لاقان چای



شکل ۱۲ : نقشه طبقه‌بندی‌شده‌ی خطر سیلاب حوضه‌ی آق لاقان چای

نتیجه‌گیری

سیلاب پدیده‌ای است که انسان از دیرباز همواره با آن روبه‌رو بوده است و باعث خسارات جانی و مالی فراوانی برای ساکنان مناطق سیل‌زده می‌شود. لذا، شناسایی اراضی مستعد به وقوع سیلاب، جهت اجرای روش‌های پیش‌گیری و کنترل‌کننده از ضروریات مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی می‌باشد.در این پژوهش سعی شد، در چهارچوب مدل ویکور که به‌عنوان یکی از فنون برجسته تحلیل چند معیاری محسوب می‌شود، تأثیر مؤلفه‌های دخیل در شکل‌گیری پتانسیل سیل‌خیزی موردتوجه قرار گیرد و در برآیند استفاده عملیاتی از روش مذکور در محیط GIS و IDRISI، به ارائه چارچوب قاعده‌مندی در تعیین و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در سطح حوضه آبخیزآقلاقان چای اقدام شود. با توجه به نقشه نهایی، مناطق پرخطر (دامنه‌ی ارزشی متمایل به سمت ۰/۱۰)، به‌طورعمده در مناطق پرشیب واقع در قسمت شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند و هر چه به مناطق با دامنه‌ی ارزشی متمایل به سمت ۰/۸۶ نزدیک می‌شویم، از میزان پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه کاسته می‌شود.

همچنین، بنابر نتایج حاصل از مطالعه، از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب حوضه،عامل شیب با ضریب وزنی (۰/۱۸۷)، ارتفاع با ضریب وزنی (۰/۱۷۳) و فاصله از آبراهه با وزن (۰/۱۴۹)،به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه می‌باشند. بدیهی است هراندازه شیب دامنه‌ها زیاد باشد توان فرسایش و بده‌ی رودخانه نیز زیاد می‌شود.در حوضه‌ی آق لاقان چای مقدار شیب متوسط حوضه ۳۸ درصد است که این مقدار شیب نقش بسیار مهمی را در بروز سیلاب در حوضه دارد.علاوه بر شیب رودخانه‌ی اصلی، شیب اراضی حوضه نیز در بروز سیلاب و شدت آن نقش اساسی دارد؛ زیرا در حوضه‌ی موردمطالعه، رودها و سرشاخه‌های فرعی آن تا رسیدن به رودخانه‌ی اصلی مسیری را بر روی دامنه‌ها طی می‌کنند. همچنین، مناطق دارای پتانسیل زیاد، ازلحاظ سیل‌خیزی حوضه‌ی آق لاقان چای در واحد کوهستانی حوضه قرار دارند. در نواحی کوهستانی حوضه آق لاقان چای، پرتگاه‌های مشرف‌به درّه‌ها فراوان است و درّه‌های محدوده به‌صورت V شکل و عمیق می‌باشد و رودها برای رسیدن به تعادل اقدام به حفر بستر و عمیق‌تر کردن بستر خود می‌کنند. لذا میزان فرسایش و حمل مواد آبرفتی و رسوبی و پتانسیل سیل‌خیزی نیز در این قسمت از حوضه بسیار بالاست. ازلحاظ معیار فاصله از شبکه آبراهه، فواصل نزدیک به آبراهه به لحاظ دائمی و پرآب بودن آق لاقان چای و نیز به دلیل طغیانی بودن رودخانه به‌ویژه در فصل بهار که هنگام بارش‌های ناگهانی و نیز ذوب برف‌ها می‌باشد، از احتمال خطر بالایی برخوردارند. همچنین مشخص شد که مناطقی از حوضه که ازنظر زمین‌شناسی و لیتولوژی دارای سازندهای سطحی مقاوم بوده و ضریب نفوذپذیری آن‌ها بسیار کم و پوشش گیاهی ناچیز می‌باشد و به‌طور عمده قسمت‌های شمالی و جنوب غربی حوضه قرار دارند از پتانسیل بیشتری برای بروز سیلاب برخوردار هستند. می‌توان گفت، با توجه به نوع سازندهای سطحی موجود در سطح حوضه، براثر وقوع سیلاب‌ها، سالانه حجم قابل‌توجهی از رسوبات آبرفتی درشت‌دانه و ریزدانه براثر فرسایش به همراه سیلاب‌ها وارد بستر رودخانه می‌شوند و رسوبات مذکور نهایتاً به سمت مخزن سد یامچی زهکشی و هدایت می‌شوند که این مسئله منجر به کاهش عمر مفید سد می‌گردد.

نتایج حاصل از این مطالعه، همچنین حاکی از توان بالای حوضه ازلحاظ ایجاد خطر سیلاب می‌باشد، لذا اراضی با احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد، اراضی هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری (مانند: جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک، کاهش بار رسوبی آب، کاهش سرعت و شدت‌جریان رواناب، افزایش زمان تمرکز سیلاب، ایجاد فرصت برای نفوذ آب در لایه‌های زیرین حوضه و تغذیه آبخوان‌ها، کشت گیاهان مناسب با شرایط جغرافیایی دامنه‌ها و احیاء مراتع و ایجاد عرصه‌های فضای سبز) در حوضه صورت بگیرد. نقشه‌ی پتانسیل سیل‌خیزی مستخرج از مدل ویکور در پژوهش حاضر، می‌تواند در تعیین مناطق مناسب برای انتخاب مکان مناسب برای ساخت‌وسازها، در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت‌وسازها و فعالیت‌های زیربنایی در حوضه‌ی آق لاقان چای، به‌منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق پرخطر، مورداستفاده قرار گیرد.

متأسفانه تاکنون مطالعه‌ای در سطح حوضه آقلاقان چای به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب صورت نگرفته است. در این راستا فقط، پرستار (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی خطر سیلاب را دربالادست سد یامچی، با استفاده از مدل ANP، به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل چند معیاری،انجام داده است و در این مطالعه حوضه‌ی آق لاقان چای نیز به‌عنوان یکی از زیر حوضه-های بالیخلی چای بررسی‌شده است. در این مطالعه عامل شیب، تراکم شبکه‌ی زهکشی و ارتفاع به ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد سیلاب در منطقه شناسایی شدند. می‌توان گفت نتایج مطالعه حاضر، با نتیجه حاصل از مطالعه پرستار (۱۳۹۳)، همخوانی بسیار بالایی دارد. لذا،نتایج حاصل از پژوهش حاضر که به‌صورت نتایج حاصل از تحلیل چندمعیاری، با استفاده محوری از روش (VIKOR) منعکس‌شده است، نشانگر توانمندی‌های این فنون و ابزارها در نقش‌آفرینی به‌عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS)، برای انتخاب گزینه‌های مناسب است. بااین‌حال نباید ازنظر دور داشت که فنون مذکور و نرم‌افزارهای GIS، را باید در حد ابزار کار در نظر گرفت. هر چه قدر قدرت کارشناسی پژوهشگران قوی‌تر باشد به همان نسبت انتظار می‌رود که استفاده از این فنون و ابزار با نتایج مثبت و برجسته‌تری همراه باشد.

منابع

- آشور، ح، ۱۳۹۰،بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه‌های شهرک صنعتی آمل در مکان‌گزینی واحدهای صنعتی، استاد راهنما: عطاغفاری گیلانده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- اصغری مقدم، م .ر، ۱۳۷۸، جغرافیای طبیعی شهر ۲ (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر)، چاپ اول، انتشارات مسعی، ص ۲۹.
- افروز، ب، ۱۳۹۰، ارائه الگوی مناسب در سطح‌بندی عملکرد مدیریت شهری در بسترسازی برای توسعه کارآفرینی (مطالعه موردی شهری اردبیل)، استاد راهنما:عطاغفاری گیلانده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- افتخارنژاد، ج، ۱۳۵۹، تفکیک بخش‌های مختلف ایران ازنظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره۸۲، صص ۲۸-۱۹.
- امیدوار، ک، ۱۳۹۰، مخاطرات طبیعی، چاپ اوّل، انتشارات دانشگاه یزد، ص ۱۸۱.
- امیراحمدی،الف، بهنیافر،الف، ابراهیمی،م،۱۳۹۰،ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۱۶، صص ۳۲-۱۷.
- پرستار، س، ۱۳۹۳، پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز بالخلی‌چای (مطالعه‌ی موردی: بالادست سد یامچی) با استفاده از مدل *ANP*، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی جغرافیا ، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ۱۴۶ صفحه.
- ثروتی، م.ر، رستمی، الف، خدادادی، ف، ۱۳۹۰، امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان چای (مراغه) به روش *CN*، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال هشتم، شماره ۲۲، صص۸۱-۶۷.
- درویش‌زاده، ع، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران، نشر دانش‌آموز (وابسته به انتشارات امیرکبیر)، ۹۰۱ صفحه.
- رجائی، ع.الف، ۱۳۸۲، *کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستایی*، چاپ اوّل، تهران، انتشارات سمت، صفحه‌ی ۲۹۳.
- رکن‌الدین افتخاری، ع.ر، صادق لو، ط، احمدآبادی، ع، سجاسی قیداری، ح.الف، ۱۳۸۸، ارزیابی پهنه‌بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل *Hec- Geo RAS* در محیط *GIS* (مطالعه‌ی موردی:روستاهای حوضه‌ی گرگان رود)، مجله‌ی توسعه‌ی روستایی، دوره‌ی اول، شماره‌ی ۱، ص ۱۷۳.

- رمینراس، ژ، ۱۹۷۳، اصول مهندسی هیدرولوژی، جلد دوم آب‌های سطحی، ترجمه‌ی حسین صدقی، ۱۳۶۳، انتشارات وزارت نیرو، چاپ سوم، ص ۲۱۹.
- سبحانی، ب، ۱۳۷۶، تجزیه‌وتحلیل قابلیت رسوب‌دهی حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، استاد راهنما: منوچهر فرجزاده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۱۰ صفحه.
- سلمان ماهینی، ع. الف، ریاضی، ب، نعیمی، ب، بابایی کفکایی، س،جوادی لاریجانی، ع، ۱۳۸۷، ارزیابی توان طبیعت-گردی شهرستان بهشهر بر مبنای روش ارزیابی چند معیاره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره یازدهم، شماره یک، ص ۱۸۹-۱۷۸.
- عطایی، م، ۱۳۸۹، تصمیم‌گیری چند معیاره، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۴۸ صفحه.
- علیزاده، الف، ۱۳۸۷، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ص ۷۸۳.
- علیزاده، الف، ۱۳۹۰، اصول هیدرلوژی کاربردی، چاپ سی و سوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ۹۹۰ صفحه.
- غیور، ح.ع .۱۳۷۵. سیل و مناطق سیل‌خیز در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۵۴، صص ۱۲۰-۱۰۰.
- قنواتی، ع، کرم، الف، آقاعلیخانی، م، ۱۳۹۱، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه‌ی فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و سوم، پیاپی ۴۸، شماره‌ی ۴، صص ۱۳۸-۱۲۱.
- مالچفسکی، ی، ۱۳۸۵، ترجمه‌ی اکبر پرهیزگار، عطا غفاری، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، چاپ اول، انتشارات سمت،۵۹۷ صفحه.
- مجیدی هروی، الف، قهرودی هروی، م، حکمت‌نیا، ح، فرهودی، ر، ۱۳۹۴، پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر شهری در برابر سیلاب، کنفرانس سالانه تحقیقات در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و محیط‌زیست پایدار، تهران،صص ۹-۱.
- مهدی‌زاده، ج، ۱۳۹۱، تحلیل مخاطرات اقلیمی در شهر تبریز با استفاده از منطق فازی و مدل *ANP*، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی جغرافیا ، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ۱۵۲ صفحه.
- نبوی، م.ح، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- یمانی، م؛ عنایتی، م، ۱۳۸۴، ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه‌وتحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشند و بهجت آباد)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۵۷-۴۷.
- وهابی، ج، ۱۳۸۵، پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در منطقه‌ی طالقان رود، مجله‌ی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره‌ی ۵، ۸۷-۳۴.
- *-Chen, L.Y., Wang, T.C., 2009. Optimizing partners choice in IS/IT outsourcing projects: Thestrategicdecision of fuzzyVIKOR, InternationalJournal of .Production Economics, Volume 120,Issue 1.*
- *Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Pettersson, M., Priest, S., Tapsell, S. 2014. Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions. Star flood. 1-250.*
- *Kolawole, O.M., Olayami, A.B., Ajayi, K.T., 2011. Managing Flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and Adaptation Options-Ilorin City as a Case Study. Scholars Research Library, 3(1): 17-24.*
- *Khalid, A., AL-Ghamdi, M., Mirza, R A. Elzahrany., Gomaa, M. Dawood. 2010. GIS Evaluation of Urban Growth and Flood Hazards: A Case Studi of Makkah City, Saudi Arabia, Knowing to Manag the Territory, Protect the Environment, Evaluate the Cultural Heritage. Rom, Italy.*
- *Lawal, D. U., Matori, A. N., Yusuf, K.W., Hashim, A.M., Balogun, A.L. 2014. Analysis of the flood extent extraction model and natural flood influencing factors: A GIS-based*

and remot sensing analysis. 8th Internatinal symposium of the Digital Earth (ISDE8). Earth and Envirnoment Science 18.

- *Leskens, J.G., Brugnach, M., Hoekstra, A.Y., Schuurmans, W. 2014. Why are decision flood disaster management so poorly supported by information from flood models?. Environmental Modeling & Software. 53:53-61.*
- *Opricovic, S., Tzeng, G., 2006. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research. , European Journal of Operational Research, pp 514-529.*
- *Ronald Clement, A. 2013. An application of Geographic Information Sysem in mapping flood risk zones in a north centeral city in Nigeria. African Journal of Environmental Science and Technology, 6: 365-371.*
- *Tingsanchali, T., 2012. Urban flood disaster management. Procedia Engineering. Volume 32: 25-37.*
- *Ward, P. J., Eisner, S., Florke, M., Dettinger, M. D., Kummu, M. 2014. Annual flood sensitivities to EL Nino- Southern Oscillation at the global scal. Hydrology and Earth System Sciences. 18: 47-66*
- *Yen an Wu, Ping-an Zhong, Yu Zhang, Biao Ma, Kun Yan, 2015, Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China, Natural Hazards, Issue 1, pp 635-651*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی