پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹٤
صص. ۱۹٦-۱۸۱

کاربرد روش بازنمونه‌گیری بوت استرپ و تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی

حامد روحانی* – استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبدکاووس
امین محمدی استاد کلایه– استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبدکاووس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۰۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

چکیده

جامعه انسانی و گستره طبیعی به‌طور فزاینده‌ای به مناطق آسیب‌پذیر در مقابل بلایای طبیعی مانند سیل تبدیل‌شده‌اند. این وضعیت در دو دهه گذشته به‌ویژه در استان گلستان به‌خصوص حوضه آبخیز قورچای که یکی از مهم‌ترین مناطق سیل‌خیز استان که در چند سال گذشته سیل‌های مخرب و ویرانگری به وقوع پیوسته است، تشدید شده است. با توجه به منابع محدود مالی، اولویت‌بندی مکانی اجرای پروژه‌های آبخیزداری در مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالاتر سبب افزایش حداکثری نتایج می‌شود. ازآنجاکه پارامترهای متعدد کمی و کیفی بر پتانسیل سیل‌خیزی تأثیرگذار هستند و بعضاً متضاد با یکدیگر، انتخاب مناطق حساس دشوار و پیچیده می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به عدم قطعیت در تصمیم‌گیری به دلیل خطای موجود در دقت داده‌های پایه و نظرات متضاد کارشناسی، برای بررسی اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها یک فرایند دومرحله‌ای برای حل مسئله ارائه‌شده است. در الگوریتم پیشنهادی ابتدا با روش بردار ویژه و آنتروپی اهمیت نسبی معیارها تعیین سپس روش بازنمونه‌گیری بوت استرپ به‌منظور به‌روزرسانی ماتریس اولیه با توجه به وزن‌های اولیه محاسبه‌شده استفاده گردید. سپس ماتریس تشکیل‌شده با روش ویکور بی‌وزن شده و مناطق بحرانی ازنظر پتانسیل سیل‌خیزی اولویت‌بندی شد. مزیت روش ویکور نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره استفاده از داده‌های خام در سطح زیر معیارها و بدون در نظر گرفتن نظرات کارشناسی است.

واژگان کلیدی: *آنتروپی، پتانسیل سیل‌خیزی، حوضه آبخیز قورچای، ویکور.*

* نویسنده مسئول: E-mail: Rouhani.hamed@yahoo.com

مقدمه

آب در هسته اصلی توسعه پایدار قرار داشته که به‌طور تنگاتنگ با بعضی از چالش‌های مهم جهانی در ارتباط است. اما امروزه رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های انسان، کاربری نامناسب اراضی و بهره‌برداری بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب، خاک و پوشش گیاهی، عرصه‌های وسیعی از کشور را در معرض سیل و تخریب اراضی قرار داده است. با توجه به تأثیر تغییر اقلیم و عوامل انسانی برافزایش پتانسیل سیل‌خیزی، عدم رعایت حریم و بستر رودخانه، عامل تبدیل سیل از پدیده‌ای طبیعی به بلایی طبیعی است. حفاظت از سیل تقریباً یک شاخص مهم در همه پروژه‌های توسعه‌ای (مانند: جاده، راه‌آهن، مناطق مسکونی و صنعتی) است. خطرات مرتبط با جاری شدن سیل را می‌توان به سه گروه که شامل: خطرات اصلی که به‌دلیل تماس آب، اثرات ثانویه که به‌دلیل جاری شدن سیل که سبب اختلال در خدمات، اثر بر سلامت، قحطی و بیماری شده و سومین اثر آن تغییر در بسترکانال‌های رودخانه، تقسیم‌بندی کرد. آمار و ارقام نشان‌دهنده‌ی آن است که حوضه‌های آبخیز ایران، ازلحاظ سیل‌خیزی در شرایط بحرانی قرار دارند (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۲، ۷۴). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار بوده که حدود ۴۶ درصد آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد هستند (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۲). با توجه به اینکه سیلاب به‌عنوان مهیب‌ترین بلایای طبیعی در جهان محسوب می‌گردد، شناخت سطوحی از یک حوضه آبخیز که پتانسیل سیل‌خیزی بالاتری دارند و درنهایت تعیین اولویت زمانی و مکانی جهت اقدامات آبخیزداری یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز می‌باشد. به‌هرحال، فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه‌ها ازنظر پتانسیل سیل‌خیزی شامل یک تجزیه‌وتحلیل جامع از جنبه‌های مختلف پارامترهای مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی است. این فرایند اگرچه یک مسأله تصمیم‌گیری چالش‌برانگیز است ولی یک رویکرد مهم و کلیدی برای مدیران آبخیز جهت به دست آوردن دانش مفید در مورد مناطق دارای اولویت بیشتر ازنظر ریسک خطر سیل می‌باشد که درنهایت منجر به کاهش خسارت ناشی از این پدیده با حداقل نمودن هزینه‌ها خواهد شد. علاوه بر نکات ذکرشده، مدیران و سیاست‌گذاران حوضه‌های آبخیز می‌توانند دید وسیع‌تری از آینده داشته باشند و بهتر خود را برای استفاده از تهدیدها و فرصت‌های غیرمنتظره‌ای که پیشرو دارند آماده کنند.

در دهه‌های اخیر تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، راهکار مناسبی برای انتخاب دقیق‌تر گزینه‌ها، تحلیل مشخصه‌های کمی و کیفی مؤثر و بررسی اثرات متقابل آن‌ها را فراهم کرده است. پیچیدگی مسئلهٔ تصمیم‌گیری به دلیل وجود معیارها و گزینه‌های متعدد، وجود محدودیت‌های متعدد نظیر زمان و منابع موجود در یک فرآیند تصمیم‌گیری، دشواری یافتن جواب بهینه‌ای که برای همه راضی‌کننده است و درنهایت تضاد بسیاری از معیارها با یکدیگر همه از دلایل گرایش به این روش‌ها محسوب می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۵). تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و چندهدفه در علوم آب و حفاظت خاک انجام‌شده است. ازجمله‌ی این تحقیقات اولویت‌بندی مدیریت جامع حوضه آبخیز با روش فرایند تحلیل شبکه (رضوی، طوسی و ولی سامانی، ۱۳۹۲)، استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در آسیب‌پذیری خطر سیل و مدیریت ریسک شهری (اوما و تاتیشی[1]، ۲۰۱۴)، اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش TOPSIS (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ احمدی شرف و همکاران، ۲۰۱۵)، استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب (بنی حبیب و دوست آرایی، ۱۳۹۲)، استفاده از تحلیل شبکه برای مدیریت ریسک سیل (لوی[2]، ۲۰۰۵)، تجزیه تحلیل

[1] **Ouma and Tateishi**
[2] Levy

ریسک سیل برای زیرساخت ساختمان‌های ساحلی با استفاده از روش TOPSIS (مجتهدی و او[1]، ۲۰۱۴) ترکیب روش چند معیاره برای آسیب‌پذیری سیل با استفاده از فازی TOPSIS و روش دلفی (لی[2] و همکاران، ۲۰۱۳) می‌باشد.

استان گلستان به لحاظ موقعیت خاص جغرافیایی، شرایط فیزیوگرافی و اقلیمی دارای پتانسیل سیل‌خیزی و سیل گیری بالایی می‌باشد (بهرامی، ۱۳۹۰، ۱۲) و این حادثه در استان گلستان امری متواتر محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات انجام‌گرفته توسط جمعیت هلال‌احمر، استان گلستان چهارمین استان حادثه‌خیز در سال ۱۳۷۹ در کل کشور بوده‌است و در سال ۱۳۸۰ نیز بعد از وقوع سیلاب‌های متعدد به‌ویژه سیل مردادماه که ازنظر تلفات انسانی در جهان کم‌نظیر بوده، مقام اول حادثه‌خیزی را در کشور داشته است. متأسفانه سیلاب‌های مخرب در سال‌های بعد نیز با شدت و ضعف تکرار شده است. از طرف دیگر بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب، تجاوز به حریم آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و احداث سازه‌های نامناسب در محدوده آن‌ها نیز باعث تشدید خسارات سیل گشته به‌طوری‌که این خطر طبیعی در مواردی به یک فاجعه ملی تبدیل‌شده است (مساعدی و غریب، ۱۳۸۵) که سیل‌های سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ در این استان از آن جمله می‌باشند (مهدوی، ۱۳۸۲، ۱۰۱). همچنین خسارت سیل خرداد ۱۳۹۳ در منطقه رامیان که حوضه آبخیز قورچای بخشی از آن می‌باشد، بالغبر ۹۵۰ میلیارد ریال برآورد شد.

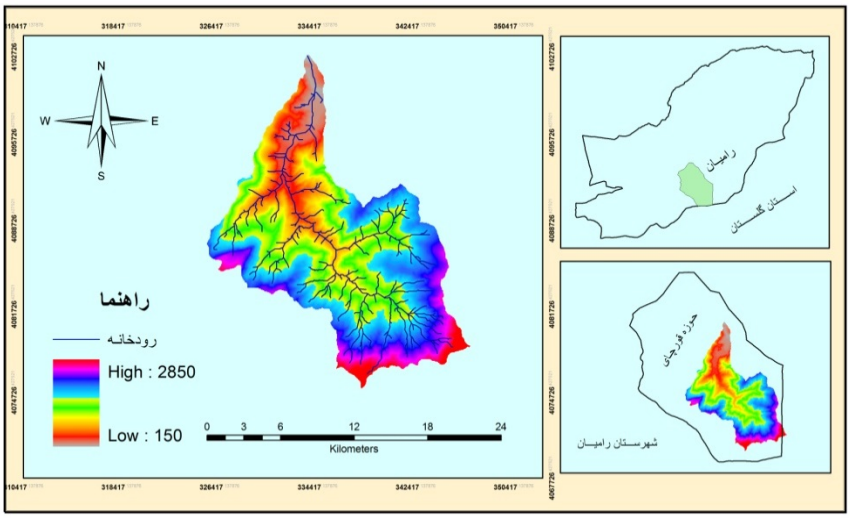
درروش ترکیبی پیشنهادی، در اولین گام به شناسایی معیارها و زیرمعیارها، جمع‌آوری و همگرایی نظرات کارشناسان ادارات مربوطه (سازمان منابع طبیعی و آب منطقه‌ای استان گلستان) و اساتید و دانش‌آموختگان دوره تحصیلات تکمیلی دانشگاه در قالب ماتریس تصمیم‌گیری پرداخته شد. در گام دوم، با توجه به اینکه توزیع داده‌های سیل ناشناخته هستند (مجتهدی و او، ۲۰۱۴، ۲)؛ علاوه بر این منابع داده به‌دلیل مشکلات مواجه شده در فرایند جمع‌آوری داده ناقص می‌باشد، همچنین ازآنجاکه تمامی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به وزن معیارها حساس می‌باشند و تأثیر غیرقابل‌انکاری بر رتبه‌های حاصل دارند (لی و همکاران، ۲۰۱۳، ۸۶۴) و از طرف دیگر عدم قطعیت در قضاوت‌ها (لی و همکاران، ۲۰۱۳،۱۲۹۴) در این تحقیق درروشی جدید برای کاهش عدم قطعیت وزن معیارها و زیر معیارها قطعیت از روش غیرپارامتری نمونه‌برداری بوت استرپ به‌طور جداگانه از دو گروه از پرسشنامه‌های تکمیل‌شده با استفاده از روش بردار ویژه و تکنیک آنتروپی شانون استفاده شد. در مرحله آخر زیرحوضه‌های حوضه آبخیز قورچای واقع در حوضه آبخیز گرگانرود ازنظر خطر سیل با روش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور اولویت‌بندی شد، تا ازیک‌طرف هزینه‌های اجرایی کاهش یابد و از طرف دیگر برنامه‌ریزی و مدیریت آبخیز در زیرحوضه‌هایی که در معرض خطر سیل هستند شناسایی‌شده و مدیریت آن‌ها امکان‌پذیر باشد. روش ویکور مبتنی بر تکنیک بوت استرپ و آنتروپی جهت بررسی تضاد بین مجموعه‌ی داده‌ها بسیار مفید است. مجموعه‌ی داده‌ها را می‌توان مجموعه‌ای از راه‌حل‌های جایگزین در ماتریس نهایی در نظر گرفت که در آن هر راه‌حل جایگزین با توجه به نتیجه‌اش ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه موردمطالعه از زیرشاخه‌های رودخانه گرگانرود در جنوب شرقی استان گلستان می‌باشد. این حوضه در طول جغرافیایی ″۲۴ ′۰۲ °۵۵ تا ″۴۷ ′۱۶ °۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی ″۲۶ ′۴۸ °۳۶ تا ″۰۵ ′۰۳ °۳۷ شمالی واقع‌شده است و مساحت کل آن بالغبر ۲۴۸/۱۶ کیلومترمربع و شیب متوسط وزنی آن ۳۶/۰۴ درصد می‌باشد، به‌طوری‌که ۲۵ درصد اراضی حوضه دارای شیبی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد است (شکل ۱).

[1] Oo
[2] Lee



شکل ۱: موقعیت زیر حوضه قورچای در حوضه آبخیز گرگانرود

میانگین بارش سالانه ۶۸۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه مرطوب می‌باشد. رودخانه قورچای در محدوده مطالعاتی با طولی بالغبر۳۵/۸ کیلومتر از قسمت‌های کوهستانی جنوب حوضه سرچشمه گرفته و از شمال حوضه خارج می‌گردد. ساختار زمین‌شناسی این حوضه عمدتاً سازند شمشک و خوش ییلاق می‌باشد. در این منطقه هرچند کاربری جنگل (حدوداً ۸۰ درصد) بیش‌ترین سطح کاربری را دارد ولی به دلیل ضخامت کم خاک و ساختار زمین‌شناسی سیل‌های مهیبی را در سال‌های گذشته تجربه کرده است. سنگ‌شناسی منطقه تا حدود زیادی تعیین‌کننده شدت و ظرفیت نفوذپذیری بوده و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شهرستان رامیان در محل خروجی حوضه قرار داشته و تنها شهر مهم منطقه موردمطالعه می‌باشد. از روستاهای مهم حوضه می‌توان به ملچ آرام، شش آب، ویرو، قورچای، پاقعله و ... اشاره نمود. پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۵۰ متر در منتهی الیه شمال حوضه و بلندترین نقطه آن با ارتفاع ۲۸۵۰ متر در جنوب حوضه واقع‌شده‌اند. باتوجه به شرایط فیزیوگرافی و توپوگرافی و همچنین با در نظر گرفتن هدف مطالعه حوضه آبخیز قورچای به ۱۶ واحد کاری یا زیر حوضه و چهار میان حوضه تقسیم گردید.

روش تحقیق

محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در ارتباط با معیارهایی قرار دارند که از اهمیت متفاوتی برای تصمیم‌گیران برخوردارند درنتیجه لازم است که در رابطه بااهمیت نسبی معیارها اطلاعاتی وجود داشته باشد که این مهم با تعیین وزن برای هر معیار قابل حصول خواهد بود. استخراج وزن‌ها اقدامی کلیدی در درک اولویت‌های تصمیم‌گیران است و برای ارزیابی اوزان شاخص‌ها در تصمیم‌گیری چهار روش آنتروپی شانون، لین‌مپ، کمترین مجذوارت وزین شده، و بردار ویژه موجود می‌باشد (میرکتولی و کنعانی، ۱۳۹۰، ۸۰). در این تحقیق از دو روش بردار ویژه و آنتروپی شانون برای تعیین اهمیت نسبی معیارها در دو گروه از پرسشنامه‌ها (کارشناسان ادارات مربوطه و صاحب‌نظران دانشگاه) استفاده شد. لازم به ذکر است برای پر کردن ماتریس مقایسات زوجی از مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی استفاده شد تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر، در رابطه با آن شاخص مشخص گردد (قدوسی، ۱۳۸۶).

آنتروپی شانون تکنیکی است که عدم قطعیت‌هایی که با پدیده‌های تصادفی از اطلاعات همراه است را با یک توزیع احتمال گسسته مدل می‌کند و وزن معیارهای مختلف را درزمانی که دسته‌ای از داده‌ها همانند ماتریس‌های تصمیم‌گیری

وجود دارد تخمین می‌زند (غیاثی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۸). مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های استخراج وزن اهمیت این است که یک روش کاملاً عینی است و سوگیری نظرهای خبرگان در آن وجود ندارد؛ بنابراین اگر شرایط به‌گونه‌ای باشد که احتمال خطا در قضاوت خبرگان وجود داشته باشد، استفاده از این روش می‌تواند جایگزین خوب و قابل قبولی باشد (محمدی و مولایی، ۱۳۸۹، ۱۳۳). آنتروپی معیاری برای مقدار عدم اطمینان بیان‌شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (p) ،است، که در یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره به‌صورت ذیل تشریح می‌شود (سینگ[1]، ۲۰۰۰ برگرفته از غیاثی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۸):

تصمیم‌گیری A_iها گزینه‌های مختلف،r_jها معیارهای مختلف و $i\in I=\{1,2,..,m\}$ ، $j\in J=\{1,2,\dots,n\}$ ،r_{ij} مقادیر ماتریس تصمیم هستند. ابتدا با استفاده از فرمول زیر محتوی اطلاعاتی موجود در این ماتریس را به‌صورت نرمالیزه شده (p_{ij}) محاسبه می‌کنیم:

$$p_{ij}=\frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}},\ \forall i,j$$

و برای E_j از مجموعهp_{ij} به ازای هر مشخصه خواهیم داشت:

$$E_j=-k\sum_{i=1}^{n}\left[p_{ij}.Lnp_{ij}\right],\ \forall i,j$$

به‌طوری‌که k یک ثابت مثبت است که برای تأمین شرط $0\leq E\leq 1$ اعمال می‌شود و m تعداد معیارها است.سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j)از اطلاعات ایجادشده و وزن (W_j)مربوط به هر شاخص j به ترتیب عبارت است از:

در این مرحله وزن هر معیار از ماتریس‌های تکمیل‌شده با استفاده از روش آنتروپی به دست می‌آید و نتایج نرمالیزه می‌شوند به صورتی که مجموع وزن‌های نهایی معیارها مساوی ۱ می‌شود.

روش غیر پارامتری باز نمونه‌گیر بوت استرپ

همان‌طور که گفته شد روش‌های مختلفی برای تعیین وزن معیارها ارائه‌شده است. ولی باید توجه داشت که تعداد نمونه و نوع توزیع آماری ضروری است. براساس فرض مشخص نبودن توزیع داده‌ها و کامل نبودن داده‌ها در این تحقیق یک روش غیر پارامتری باز نمونه‌گیر بوت استرپ بر پایه داده‌های نمونه در دست بررسی درروش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور برای تولید وزن معیارها بکار برده شد. افرون[2] در سال ۱۹۷۹ روش بوت استرپ را برای فواصل اطمینان یک آماره ارائه کرد و در مقایسه با دیگر روش‌های نمونه‌برداری نتایج دقیق‌تری می‌دهد (ساویر[3]، ۴، ۲۰۰۵). افرون و تیبشیرانی[4](۱۹۹۳) انتخاب این نام برای این فرآیند را به این دلیل می‌داند که "آخرین چیزی که یک سرباز می‌تواند از آن کمک بگیرد، بند پوتین (بوت استرپ) است!" بوت استرپ در شرایط کاملاً پیچیده بدون تحمیل هیچ‌گونه فرضی و به روش کاملاً طبیعی اقدام به تولید داده کرده، توزیع تجربی این داده‌ها را به‌عنوان برآوردی از توزیع اصلی و ناشناخته در نظر می‌گیرد. بوت استرپ فرآیندی است که ابتدا با تولید نمونه‌های ساختگی مشابه با نمونه اصلی و در مرحله بعد با برآورد مقدار اریبی، ارائه برآوردگر اریب- اصلاح‌شده و ساخت بازه‌های اطمینان به ارزیابی عدم قطعیت مقدار کارایی

[1] **Singh**
[2] **Efron**
[3] **Sawyer**
[4] **Tibshirani**

به‌دست‌آمده از نمونه اصلی می‌پردازد. روش ناپارامتری باز نمونه‌گیر بوت استرپ که در این مطالعه استفاده‌شده، به‌صورت مراحل زیر می‌باشد (مجتهدی و او، ۲۰۱۴،۳):

گام اول: اگر $X_n=(x_1,x_2,\ldots, x_n)$ به‌عنوان داده‌های اصلی باشد.

گام دوم: انتخاب یک نمونه x_i از X_n به‌طور تصادفی N بار با جایگزینی آن

گام سوم: محاسبه نمونه بوت استرپ $x_i^* = \sum_{i=1}^{N} w_i \times x_i$ که در اینجا $w_i = \frac{\emptyset}{\sum_{i=1}^{N} \emptyset}$, 0≤i≤N که $\emptyset$ از توزیع یکنواخت انتخاب‌شده (۰،۱). که البته $\sum_{i=2}^{N} w_i = 1$

گام چهارم: تکرار گام‌های ۱، ۲ و ۳، B بار. B تعداد تکرار نمونه‌برداری بوت استرپ است

گام پنجم: ساختار $X^* = (x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^*)$ به‌عنوان نمونه بوت استرپ است

روش ویکور

ویکور یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره توافقی است که توسط آپریکوویچ و تزنگ[1](۲۰۰۶) برای حل این مسائل با معیارهای ناسازگار و دارای واحدهای متفاوت توسعه یافت. راه‌حل توافقی، راه‌حلی موجه را که به راه‌حل ایده‌آل نزدیک بوده، به‌عنوان توافق ایجادشده توسط اعتبارات ویژه تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌کند (بدری و همکاران، ۱۳۹۱، ۷). هدف این روش تمرکز بر رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه از گزینه‌ها درمساله‌ای با معیارهای متعارض است که برگرفته از روش برنامه‌ریزی سازشی است. مزیت این روش بر سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، استفاده از نرمال‌سازی خطی و مقدار نرمال شده به واحد اندازه‌گیری معیارها وابسته نیست، درحالی‌که برای مثال روش TOPSIS از نرمال‌سازی برداری استفاده می‌کند و مقدار نرمال شده ممکن است به واحد اندازه‌گیری معیارها وابسته باشد. از طرف دیگر در ارزیابی همه معیارها به بررسی کارشناسی نیاز ندارد بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده کرد. در این روش با فرض اینکه هر گزینه با توجه به هر تابع معیار ارزیابی، رتبه‌بندی توافق یا سازش می‌تواند با مقایسه اندازه‌گیری تأسف (به‌عنوان‌مثال، نزدیکی به جایگزین ایده‌ال) انجام شود. منظور از توافق یا سازش، جوابی است که بر اساس توافق متقابل بین معیارها حاصل می‌شود. گزینه‌های متعدد J به‌عنوان $a_1, a_2, ..a_J$ نشان داده‌شده است. برای گزینه a_j، رتبه معیار i ام به‌وسیله f_{ji} یعنی مقدارi ام تابع معیار برای گزینه a_j و n تعداد معیار است. سطح تأسف در این روش براساس معادله زیر تعریف می‌شود به‌طوری‌که (آپریکوویچ و تزنگ، ۲۰۰۶):

$$L_{p,j} = \left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\omega_j\,(f_j^* - f_{ji})/(f_i^* - f_i^-)\right]^p\right\},\quad 1\leq p\leq +\infty;\ j = 1, 2, \ldots, J$$

که $L_{1,j}$ معرف حداکثر بهره‌وری گروه "اکثریت"و حداقل تأسف فردی "مخالف" است. راه‌حل توافقی به‌دست‌آمده می‌تواند به‌راحتی توسط تصمیم‌گیرندگان پذیرفته شود. مبنای روش برنامه‌ریزی سازشی حداقل نمودن بردار ارزیابی گزینه‌ها از نقطه ایده‌آل مثبت است.

گام‌های رویکرد ویکور در یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، با n معیار و m آلترناتیو در ادامه تشریح شده است (آپریکوویچ و تزنگ، ۲۰۰۶).

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم و نرمال‌سازی آن: با توجه به ارزیابی همه آلترناتیوها برای معیارهای مختلف ماتریس تصمیم به‌صورت زیر تشکیل می‌شود :

[1] *Opricovic, and Tzeng*

$$X=\begin{pmatrix} X11 & x12\ldots\ldots & x1n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Xm1 & xm2\ldots\ldots & xmm \end{pmatrix}$$

x_{ij}عملکرد آلترناتیو i–ام در رابطه با معیار j– ام است.

گام دوم: جهت نرمال‌سازی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$f_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad i=1,2,\ldots,m,\ j=1,2,\ldots,n$$

گام سوم: وزن‌دار کردن ماتریس نرمال. ماتریس نرمال وزن‌دار به‌وسیله ضرب مقادیر ماتریس نرمال f_{ij} بر وزن معیارها x_j^* محاسبه می‌شود. مقدار وزن نرمال شده با معادله زیر محاسبه می‌شود:

که در اینجا x_j^* وزن هر معیار که به به‌وسیله روش نمونه‌برداری ناپارمتری بوت استرپ محاسبه‌شده، به‌طوری‌که $\sum_{j=1}^{n} x_j^* = 1$

گام چهارم: تعیین بهترین مقدار f_i^* و بدترین f_i^- تمام توابع معیار، به صورتی که i= 1,2,…,n . اگر i امین بیانگر تابع سود باشد سپس:

$$f_i^* = \max_j v_{ji},\ f_i^- = \min_j v_{ji},$$

گام پنجم: محاسبه مقدار S_j[1] (حداکثر مطلوبیت گروهی) و مقدار R_j[2] (حداقل تأثر فردی از حریف)، j=12,…,J با استفاده از روابط:

$$S_j = L_{1,j} = \sum_{i=1}^{n} w_i (f_i^* - v_{ji}) / (f_i^* - f_i^-),$$

$$R_j = L_{\infty,j} = \max_i [w_i (f_i^* - v_{ji}) / (f_i^* - f_i^-)],$$

به‌طوری‌که w_i ، وزن i –ام معیاری است که اهمیت نسبی معیار را بیان می‌کند.

گام ششم: محاسبه مقدار Q_j، J ,…, 2, 1=j با استفاده از رابطه:

$$Q_i = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

به‌طوری‌که v به معنای وزن استراتژی S_j و R_j است. وقتی v>0.5، تصمیم تمایل دارد به سمت قانون اکثریت حداکثر و وقتی v=0.5 باشد، تصمیم تمایل دارد به انصراف فرد مخالف پیش رود.

در این معادله همچنین $S^* = \min_j S_j$,$S^- = \max_j S_j$,$R^* = \min_j R_j$ $R^- = \max_j R_j$ است.

[1]The maximum group utility

[2]The minimum individual regret of the opponent

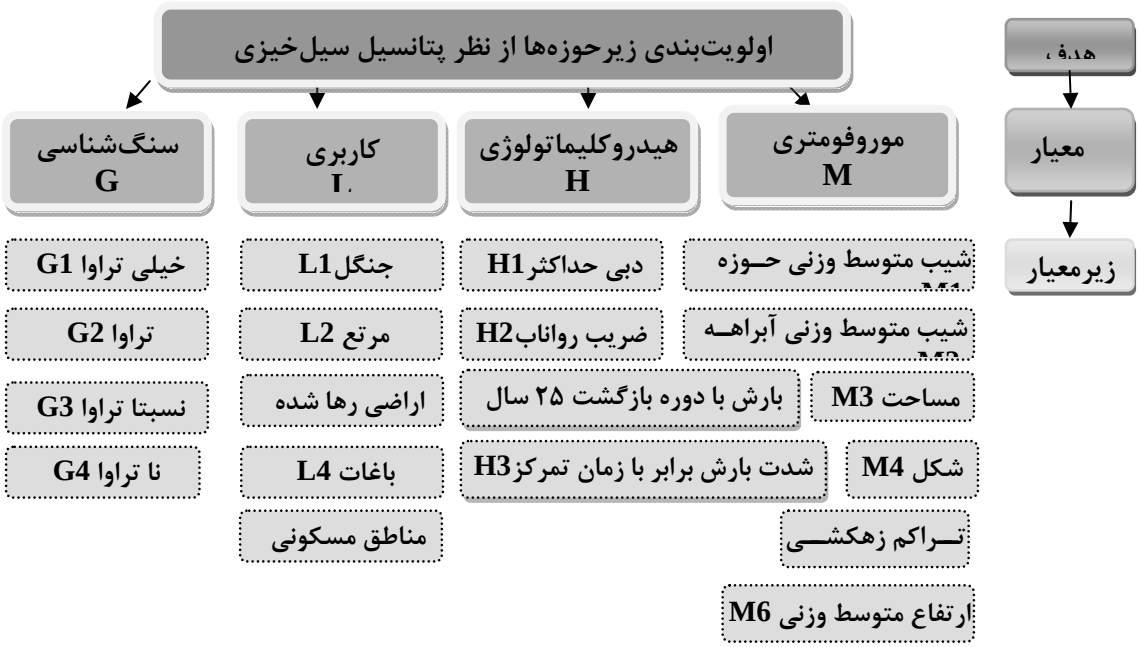
گام هفتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها و مرتب کردن براساس مقادیر Q_R و S به‌صورت کاهشی.

شناسایی معیارهای مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی

رویکرد کلی پژوهش از نوع پژوهش‌های کمی و ازنظر شیوه گردآوری داده‌ها مبتنی بر داده‌های کتابخانه‌ای- گزارش‌ها و پیمایش میدانی است. در گام اول برای شناسایی معیارهای مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی با تأکید بر حوضه آبخیز از مطالعات مرتبط با حوضه تخصصی (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ دهقان و همکارن، ۱۳۹۲؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۳ و رادمهر و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۳) و استفاده از دانش کارشناسی بهره‌گیری شد. پس از بازبینی پرسشنامه‌ها چهار معیار مرتبط در این زمینه شناسایی گردید. با توجه به معیارها و زیرمعیارها، نمایش گرافیکی مسأله تصمیم‌گیری مطابق شکل (۲) است. سطح اول شامل هدف اصلی، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز قورچای رامیان ازلحاظ پتانسیل سیل‌خیزی است. سطح دوم دربرگیرنده‌ی معیارهای اساسی تأثیرگذار روی وقوع سیل است که در این تحقیق چهار معیار مورفومتری، هیدروکلیماتولوژی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی در نظر گرفته شد. سطح سوم زیرمعیارهایی که روی هر معیار تأثیر دارند. معیار مورفومتری شامل زیر معیارهای شیب متوسط زیرحوضه، شیب متوسط آبراهه اصلی، مساحت، شکل (روش هورتون)، تراکم زهکشی و ارتفاع متوسط وزنی زیرحوضه که از نقشه DEM باقدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و نقشه آبراهه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استخراج شدند.

معیار هیدروکلیماتولوژی شامل زیرمعیارهای دبی حداکثر لحظه‌ای، ضریب رواناب، شدت بارش برابر با زمان تمرکز و شدت بارش با دوره بازگشت ۲۵ ساله است. برای محاسبه دبی حداکثر در هر یک از زیرحوضه‌ها از رابطه فولر استفاده شد (فولر، ۱۹۱۴). ابتدا ضرایب ثابت رابطه فولر (ضریب منطقه‌ای و ضریب طغیان) با توجه به آمار دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری رامیان در خروجی حوضه موردمطالعه محاسبه شد. سپس با توجه به مساحت هر یک از زیرحوضه‌ها و ضرایب ثابت محاسباتی رابطه فولر، دبی حداکثر لحظه‌ای هر یک از زیرحوضه‌ها برآورد شد. برای محاسبه زیر معیار ضریب رواناب ابتدا بارش متوسط در هر یک از زیرحوضه‌ها با توجه به نقشه هم‌بارش میانابی شده با روش کریجینگ استخراج شد. سپس ارتفاع رواناب با توجه به نقشه شماره منحنی و میزان نفوذپذیری برای زیرحوضه‌های موردمطالعه، با استفاده از روش SCS در هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد. درنهایت از تقسیم بارش متوسط سالانه هر زیر حوضه بر ارتفاع متوسط سالانه آن زیر حوضه ضریب رواناب محاسبه شد. برای محاسبه معیارهای شدت بارش برابر با زمان تمرکز و شدت بارش با دوره بازگشت ۲۵ سال، نقشه میان‌یابی شده حداکثر بارش با روش کریجینگ با استفاده از روش وزیری (وزیری، ۱۳۷۱) بارش با دوره بازگشت ۲۵ ساله و شدت بارش برابر با زمان تمرکز محاسبه شد. درنهایت مقادیر متوسط این دو پارامتر برای هر زیر حوضه در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استخراج گردید.

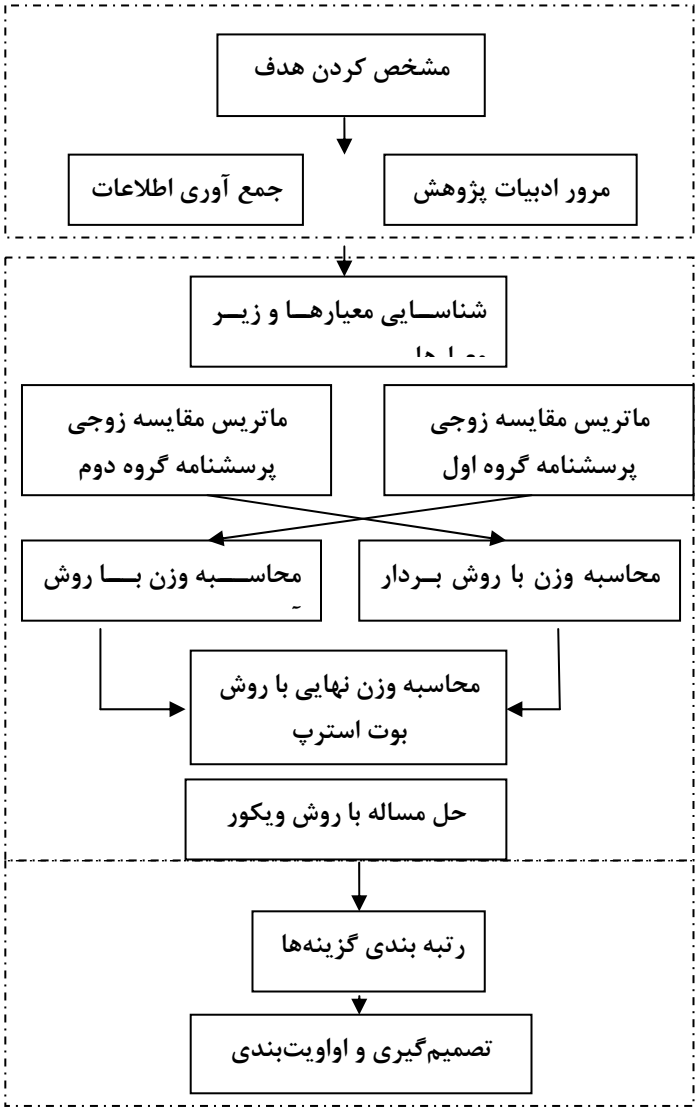
زیرمعیارهای معیار کاربری اراضی با توجه به نقشه پوشش گیاهی (مهندسین مشاور شمال ، ۱۳۸۵) به پنج زیر معیار (شکل ۲) تقسیم شد. در مورد معیار سنگ‌شناسی در گام اول برای اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری ابتدا سازندهای منطقه شناسایی (مهندسین مشاور شمال، ۱۳۸۵) و ازنظر میزان نفوذپذیری به چهار طبقه شامل خیلی تراوا، تراوا، نسبتاً تراوا، و ناتراوا طبقه‌بندی شد. از پارامتر اول روش پسیاک برای سنجش مقاومت سنگ‌های منطقه استفاده شد. درروش پسیاک با توجه به نفوذپذیری سنگ، نمره بین صفر تا ده در نظر گرفته می‌شود و سپس با توجه به مساحت گسترش آن، میانگین وزنی گرفته شد و نمره‌ی متوسط مربوط به این عامل تعیین شد (احمدی، ۱۳۹۰).



شکل ۲: چارچوب سلسله مراتبی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها ازنظر پتانسیل سیل‌خیزی.

زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبخیز قورچای نیز به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری معرفی‌شده‌اند. سپس ساختار سلسله مراتبی مسئله در چهار سطح هدف، معیارهای اصلی، زیرمعیارها و گزینه‌ها تشکیل شد. لازم به ذکر است که در سطح معیارها و زیر معیارها مقایسه زوجی انجام شد. سپس برای تهیه ماتریس اولیه معیارها، پرسش‌نامه‌ای طراحی و در میان دو گروه متخصص در حوضه مربوطه (کارشناسان ادارات مربوطه به زمینه تحقیق و اساتید و دانش‌آموختگان تحصیلات تکمیلی دانشگاه) توزیع شد. در این پژوهش از دو روش بردار ویژه و آنتروپی شانون برای به‌دست آوردن ضریب اهمیت شاخص‌های تشکیل‌دهنده در دو گروه از پرسشنامه‌ها به‌طور جداگانه استفاده شد.

پس از جمع‌آوری، تصحیح، و تعدیل قضاوت‌ها و سلایق شخصی کارشناسان در وزن‌دهی معیارها، براساس میزان ناسازگاری قضاوت‌ها (کمتر از ۰/۱)، ماتریس مقایسه گروهی با میانگین هندسی پاسخ‌های فردی به دست آمد. سپس با توجه به وزن اهمیت نسبی معیارها و زیر معیارها با دو روش بردار ویژه و آنتروپی شانون، اهمیت نسبی نهایی با روش باز نمونه‌گیر بوت استرپ با تعداد تکرارهای مختلف تا ثابت شدن انحراف معیار محاسبه شد. در گام نهایی براساس وزن‌دهی معیارهای ارزیابی محاسبه‌شده بر مبنای باز نمونه‌گیر بوت استرپ، از تحلیل ویکور برای رتبه‌بندی زیرحوضه‌های براساس پتانسیل سیل‌خیزی استفاده شد. تمامی مراحل محاسباتی در نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل انجام شد. چارچوب ارزیابی عملکرد تحقیق پیشنهادی در شکل (۳) نمایش داده‌شده است.



شکل ۳: الگوریتم پیشنهادی ارزیابی عملکرد تحقیق

نتایج

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و تبدیل آن به داده‌های کمی از روش مقیاس دوقطبی و ترکیب آن‌ها، ماتریس داده‌های خام هر یک از معیارها و زیر معیارها در محدوده موردمطالعه تعریف شد. لازم به‌ذکر است که ماتریس تصمیم‌گیری در سطح معیار از میانگین هندسی ترکیب این ماتریس‌های تصمیم‌گیری که کارشناسان مختلف در دو گروه جداگانه تکمیل نموده‌اند، به دو روش بردار ویژه و آنتروپی شانون برای محاسبه وزن معیارها استفاده شد، که برای نمونه در جدول (۱) برای گروه اول پرسشنامه‌ها نشان داده‌شده است.

سپس براساس الگوریتم پیشنهادی با روش ناپارامتری باز نمونه‌گیر بوت استرپ با اجراهای مختلف نمونه‌برداریB بار (B=300, B=400, B=500, B=800, B=1000) از وزن‌های محاسبه‌شده از دو روش بردار ویژه و آنتروپی شانون در دو گروه پرسشنامه انجام شد؛ که میزان تغییر در پراکندگی وزن‌های شبیه‌سازی‌شده در بررسی معیارها در تکرارهای بالای ۸۰۰، تقریباً ثابت شد (انحراف معیار ثابت شد). لذا ۸۰۰ بار نمونه‌برداری به‌عنوان تعداد تکرار برای محاسبه وزن اصلاح‌شده معیارها در نظر گرفته شد. در جدول (۲) نتایج اهمیت نسبی محاسبات با روش بوت استرپ در سطح معیارها

آورده شده است. براساس مقایسه اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی‌شده، معیار سنگ‌شناسی (۰/۴۲۷=وزن) و سپس معیار مورفومتری (۰/۲۶۰= وزن) در حوضه موردمطالعه بیشترین وزن را داشتند. وزن پیشنهادی دو معیار کاربری اراضی و هیدروکلیماتولوژی به‌ترتیب ۰/۲۰۷ و ۰/۱۰۶ می‌باشد. با توجه به ساختار زمین‌شناسی حوضه و پوشش گیاهی جنگلی در بیشتر بخش‌های حوضه و عمق کم خاک در سطح منطقه مورد مطالعاتی و از طرف دیگر سیل‌خیزی بالا منطقه موردمطالعه به نظر کارشناسان در این تحقیق معیار سنگ‌شناسی نسبت به معیارهای دیگر اهمیت بیشتری دارد. در گام بعدی برای بیان اهمیت نسبی زیرمعیارها نیز به همین روش ماتریس‌های تصمیم‌گیری این محاسبات انجام شد و نتایج آن در جدول (۳) به‌صورت کامل برای زیر معیار مورفومتری و در جدول (۴) نتیجه نهایی محاسبه اهمیت نسبی با روش باز نمونه‌گیر بوت استرپ برای همه‌ی زیرمعیارها آورده شده است. لازم به ذکر است برای زیر معیارهای سنگ‌شناسی از روش وزن‌دهی مستقیم استفاده شد.

جدول ۱: مقایسه زوجی معیارها و محاسبه وزن از دو روش بردار ویژه و آنتروپی در گروه اول پرسشنامه‌ها

معیار	سنگ‌شناسی	کاربری	هیدرو اقلیم	مورفومتری	وزن آنتروپی	وزن بردار ویژه
مورفومتری	۰/۵	۳	۲	۱	۰/۲۴۳	۰/۲۷۷
هیدرو اقلیم	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۱۱۹	۰/۰۹۹
کاربری	۰/۳۳	۱	۳	۰/۳۳	۰/۲۷۰	۰/۱۷۱
سنگ‌شناسی	۱	۳	۴	۲	۰/۳۶۸	۰/۴۵۳

جدول ۲: وزن نهایی معیارها با روش باز نمونه‌گیر بوت استرپ

معیار	پرسشنامه گروه اول		پرسشنامه گروه دوم		بوت استرپ (B=800)
	بردار ویژه	آنتروپی	بردار ویژه	آنتروپی	وزن نهایی(WB)
مورفومتری	۰/۲۷۷	۰/۲۴۳	۰/۲۳۴	۰/۲۹۴	۰/۲۶۰
هیدرو اقلیم	۰/۰۹۹	۰/۱۱۹	۰/۰۸۷	۰/۱۲۴	۰/۱۰۶
کاربری	۰/۱۷۱	۰/۲۷۰	۰/۱۵۰	۰/۲۴۱	۰/۲۰۷
سنگ‌شناسی	۰/۴۵۳	۰/۳۶۸	۰/۵۲۹	۰/۳۴۲	۰/۴۲۷

جدول ۳: وزن نهایی زیرمعیار مورفومتری با روش باز نمونه‌گیر بوت استرپ

زیر معیار مورفومتری	پرسشنامه گروه اول		پرسشنامه گروه دوم		بوت استرپ (B=1000)
	بردار ویژه	آنتروپی	بردار ویژه	آنتروپی	وزن نهایی(WB)
M1	۰/۲۳۱	۰/۲۸۹	۰/۲۴۴	۰/۲۹۲	۰/۲۶۴
M2	۰/۲۰۸	۰/۲۰۵	۰/۲۴۳	۰/۲۱۰	۰/۲۱۶
M3	۰/۱۲۸	۰/۰۹۶	۰/۱۴۲	۰/۱۱۰	۰/۱۱۹
M4	۰/۱۹۷	۰/۱۵۰	۰/۱۲۶	۰/۱۴۷	۰/۱۵۵
M5	۰/۱۷۲	۰/۲۱۹	۰/۱۷۱	۰/۱۹۹	۰/۱۹۲
M6	۰/۰۶۵	۰/۰۴۰	۰/۰۷۵	۰/۰۴۲	۰/۰۵۶

جدول ٤: وزن نهایی زیرمعیارهای برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها ازنظر پتانسیل سیل‌خیزی

M	WB	H	WB	L	WB	G	W
M1	۰/۲۶۴	H1	۰/۱۵۸	L1	۰/۰۳۶	G1	۰/۴۳۷
M2	۰/۲۱۶	H2	۰/۱۱۱	L2	۰/۰۹۷	G2	۰/۳۱۲
M3	۰/۱۱۹	H3	۰/۲۱۲	L3	۰/۳۲۰	G3	۰/۱۸۷
M4	۰/۱۵۵	H4	۰/۴۹۹	L4	۰/۱۱۵	G4	۰/۰۶۲
M5	۰/۱۹۲			L5	۰/۲۸۰		
M6	۰/۰۵۶						

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری در سطح زیرمعیارها، نرمال‌سازی وزن زیر معیارها با استفاده از رویکرد ویکور انجام شد. با توجه وجود شاخص‌های مثبت و منفی باهم در یک ماتریس به‌منظور تطبیق مقیاس‌های گوناگون اندازه‌گیری از بی‌مقیاس‌سازی استفاده شد. برای نمونه ماتریس نرمال شده زیرمعیار هیدروکلیماتولوژی در جدول (۵) ارائه‌شده است. سپس مقادیر ماتریس نرمال هر یک از گزینه‌ها بر وزن زیر معیارها ضرب می‌شود و درنهایت ماتریس نرمال وزن‌دار حاصل می‌شود. برای زیر معیار هیدروکلیماتولوژی برای نمونه در جدول (۵) ارائه‌شده است.

در مرحله بعد ماتریس نرمال وزن‌دار شده هر زیرمعیار جمع شده و نقطه ایده‌آل مثبت و منفی هر زیر معیار تعیین شد (جدول۶). بعد از تفاضل بهترین مقدار هر معیار از مقادیر ماتریس نرمال وزن‌دار شده سپس مقادیر ماتریس محاسباتی بر مقدار تفاضل مقادیر بهترین مقدار معیار و بدترین مقدار معیار تقسیم می‌شود تا مقادیر فاصله‌ی گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها) از راه‌حل ایده‌آل (حداکثر مطلوبیت گروهی) و ایده‌آل منفی (حداقل تأثر فردی از حریف) و درنهایت شاخص ویکور (Q) محاسبه شد (جدول ۷).

گزینه‌هایی که مقدار Qj در آن‌ها بیش‌تر باشد، در اولویت بالاتر قرار می‌گیرند که بیانگر پتانسیل سیل‌خیزی بالاتری هستند. درنهایت مدل‌سازی فضایی و پهنه‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از GIS انجام شد (شکل ۴). نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی درواقع نشان‌دهنده‌ی پخش منطقه‌ای رواناب در درون حوضه‌ی آبخیز می‌باشد. در این نقشه مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی زیاد و کم به سهولت قابل‌تشخیص است.

جدول ۵: مقادیر نرمال شده و وزن‌دار شده زیرمعیار هیدروکلیماتولوژی

شماره زیر حوضه	مقادیر نرمال شده زیرمعیار				ماتریس نرمال وزن‌دار شده			
	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4
۱	۰/۱۱۹	۰/۰۲۵	۰/۲۲۲	۰/۲۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۱۱۲
۲	۰/۱۵۱	۰/۰۳۳	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۴۵	۰/۱۰۶
۳	۰/۴۳۱	۰/۲۵۸	۰/۳۱۲	۰/۲۹۶	۰/۰۷۷	۰/۰۲۹	۰/۰۶۶	۰/۱۴۸
۴	۰/۳۳۶	۰/۱۶۳	۰/۲۷۱	۰/۲۷۴	۰/۰۶۰	۰/۰۱۸	۰/۰۵۸	۰/۱۳۷
۵	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۰/۲۱۱	۰/۲۱۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۲	۰/۰۴۵	۰/۱۰۶
۶	۰/۲۱۳	۰/۰۳۳	۰/۲۳۲	۰/۲۳۴	۰/۰۳۸	۰/۰۰۴	۰/۰۴۹	۰/۱۱۷
۷	۰/۱۲۰	۰/۰۷۱	۰/۲۴۸	۰/۲۵۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸	۰/۰۵۳	۰/۱۲۵
۸	۰/۲۹۲	۰/۲۷۱	۰/۲۷۱	۰/۲۷۳	۰/۰۵۲	۰/۰۳۰	۰/۰۵۷	۰/۱۳۶
۹	۰/۱۹۳	۰/۳۲۰	۰/۲۹۶	۰/۲۸۵	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵	۰/۰۶۳	۰/۱۴۲
۱۰	۰/۳۹۶	۰/۲۸۰	۰/۲۷۴	۰/۲۷۷	۰/۰۷۰	۰/۰۳۱	۰/۰۵۸	۰/۱۳۸

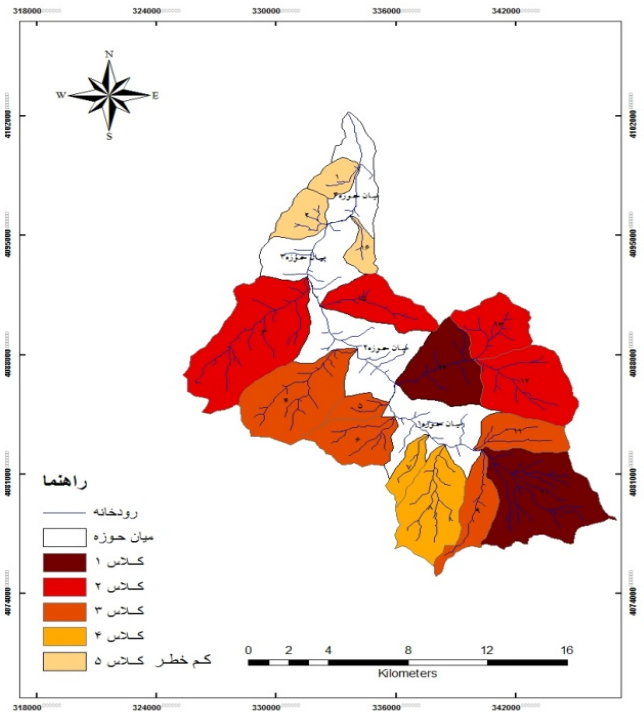
۱۱	۰/۱۹۱	۰/۱۷۷	۰/۲۵۱	۰/۲۵۳	۰/۰۳۴	۰/۰۲۰	۰/۰۵۳	۰/۱۲۶
۱۲	۰/۳۰۴	۰/۳۷۳	۰/۲۵۹	۰/۲۶۲	۰/۰۵۴	۰/۰۴۱	۰/۰۵۵	۰/۱۳۰
۱۳	۰/۲۲۰	۰/۲۹۶	۰/۲۳۸	۰/۲۴۰	۰/۰۳۹	۰/۰۳۳	۰/۰۵۱	۰/۱۲۰
۱۴	۰/۲۷۲	۰/۴۴۸	۰/۲۶۲	۰/۲۶۵	۰/۰۴۸	۰/۰۵۰	۰/۰۵۶	۰/۱۳۲
۱۵	۰/۲۲۶	۰/۴۱۷	۰/۲۴۶	۰/۲۴۸	۰/۰۴۰	۰/۰۴۶	۰/۰۵۲	۰/۲۴
۱۶	۰/۱۰۳	۰/۰۱۲	۰/۱۵۵	۰/۱۵۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۷۸

جدول ٦: بهترین و بدترین مقدار برای همه توابع معیارها

معیار	M	H	L	G
f_i^*	۰/۰۷۵	۰/۰۳۴	۰/۰۶۸	۰/۱۴۵
f_i^-	۰/۰۴۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۷

جدول ۷: مقادیر Sj، Rj و Qj برای تمامی زیرحوضه‌ها

زیر حوضه	Sj	Rj	Qj	زیر حوضه	Sj	Rj	Qj
۱	۳/۱۴	۱/۰۰	۰/۴۷	۹	۱/۵۷	۰/۷۲	۰/۷۶
۲	۳/۶۴	۱/۰۰	۰/۳۹	۱۰	۰/۶۹	۰/۳۷	۰/۹۵
۳	۱/۰۷	۰/۶۰	۰/۸۶	۱۱	۱/۷۹	۰/۹۸	۰/۶۹
۴	۱/۵۷	۰/۵۹	۰/۷۸	۱۲	۱/۱۸	۰/۵۲	۰/۸۵
۵	۱/۸۶	۰/۷۴	۰/۷۱	۱۳	۱/۱۵	۰/۴۷	۰/۸۶
۶	۱/۶۸	۰/۹۸	۰/۷۰	۱۴	۰/۴۷	۰/۲۷	۱/۰۰
۷	۱/۹۶	۱/۰۰	۰/۶۶	۱۵	۱/۵۱	۰/۴۷	۰/۸۱
۸	۱/۹۶	۱/۰۰	۰/۶۶	۱۶	۳/۱۲	۱/۰۰	۰/۴۷



شکل٤: نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز قورچای رامیان

بحث و نتیجه‌گیری

در مدیریت حوضه آبخیز اولویت‌بندی حوضه‌ها ازلحاظ پتانسیل سیل‌خیزی از اهمیت بالایی برخوردار است (مرید و همکاران، ۱۳۷۵) که این مهم بدون شناخت عوامل مؤثر در بروز سیلاب میسر نیست. لذا شناسائی عوامل مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها و پهنه‌بندی آن ازنظر قابلیت تولید رواناب جهت مکان‌یابی صحیح اجرای پروژه‌های کنترل سیلاب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از طرف دیگر در مدیریت حوضه‌های آبخیز باید در انتخاب بهترین طرح همه‌ی عوامل در تصمیم‌گیری دخالت داده شود و چه‌بسا با نادیده‌گرفتن برخی عوامل مهم در بررسی‌های کارشناسی، اولویت‌های برنامه را با تغییرات اساسی مواجه کنند. در چنین شرایطی با تصمیم‌گیری‌هایی مواجه خواهیم بود که تحت تأثیر معیارهای متعددی هستند. ازآنجایی‌که هدف پژوهش حاضر اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز قورچای برای اجرای عملیات کنترل سیل بود، توجه به عوامل مورفومتری، هیدروکلیماتولوژی، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی از معیارهای اساسی برای رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها ازلحاظ پتانسیل سیل‌خیزی در نظر گرفته شد. برای دستیابی به این هدف درروش پیشنهادی برای کاهش عدم قطعیت، اهمیت نسبی معیارها و زیر معیارها با دو روش بردار ویژه و آنتروپی شانون برآورد شد و در گام بعدی وزن نهایی با روش نمونه‌برداری بوت استرپ محاسبه شد. سپس با روش ویکور رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها ازنظر پتانسیل سیل‌خیزی انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر، از بین چهار معیار موردبررسی، معیار سنگ‌شناسی و مورفومتری به‌ترتیب با وزن برابر ۰/۴۲۷ و ۰/۲۶۰ به‌عنوان مهم‌ترین معیارها شناخته شدند. در بخش‌های کوهستانی حوضه سازندهای سخت ازجمله سازند خوش ییلاق، سازند مبارک برونزد دارند و ازآنجاکه این سازندها از سنگ‌های نسبتاً مقاوم تشکیل‌شده‌اند، دارای مورفولوژی بلند و صخره‌ساز هستند؛ بنابراین، موجب افزایش نسبی شاخص شیب (۱/۷۳) در این ناحیه شده‌اند. این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه از سنگ‌های سخت عبور می‌کند، افزایش می‌یابد و به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳، ۴۹). از بین زیر معیارهای مورفومتریکی شیب متوسط وزنی کل زیرحوضه‌ها و شیب متوسط وزنی آبراهه به ترتیب بااهمیت نسبی ۰/۲۶۴ و ۰/۲۱۶ بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی حوضه دارد. حوضه‌های با شیب زیاد نسبت به حوضه‌های با شیب کم، زمان تمرکز کوتاه‌تری دارند و اگر بارش مازاد در آن‌ها یکسان باشد، حوضه با شیب بیشتر، سریع‌تر به دبی اوج می‌رسد و دبی پیک آن بیشتر است. از بین معیارهای هیدروکلیماتولوژی و کاربری اراضی به‌ترتیب شدت بارش برابر با زمان تمرکز با وزن ۰/۴۹۹ و برون‌زد سنگی با وزن ۰/۳۲۰ بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی حوضه دارند. درنهایت براساس شاخص ویکور هر چه مقدار عددی آن بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده پتانسیل سیل‌خیزی و اهمیت بالاتری برای انجام اقدامات حفاظتی دارد. بنابراین زیرحوضه‌های ۱۴ و ۱۰ پتانسیل بیشتری برای وقوع سیل دارند که این امر به دلیل نوع سازندهای این دو زیرحوضه و بیشتر بودن درصد برونزد سنگی نسبت به سایر زیرحوضه‌ها و همچنین بالا بودن شدت بارش برابر با زمان تمرکز زیرحوضه است. قسمت اعظم مساحت این دو زیر حوضه را سازند شمشک که دارای نفوذپذیری خیلی کم است تشکیل داده است. این دو زیر حوضه با پوشش حدود ۱۵ درصد کل مساحت منطقه توان زیادی در تولید رواناب دارند، بنابراین اولویت اول برای اجرای اقدامات حفاظتی می‌باشند. اگرچه بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که عملیات آبخیزداری در حوضه‌های آبخیز بدون توجه به تأثیر مکانی (اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها)، انجام می‌شود؛ لیکن در صورت اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها، حجم عملیات سازه‌ای و غیر سازه‌ای و درنتیجه هزینه‌های سرسام‌آور حاصل از آن در حوضه‌های آبخیز به میزان قابل‌توجهی کاهش خواهد یافت (روغنی و همکاران، ۱۳۸۹، ۵۸). زیرحوضه‌های شماره‌ی ۲ و ۱ در قسمت خروجی حوضه قرار دارد و به دلیل وجود رسوبات رودخانه‌ای فراوان در این زیرحوضه که دارای نفوذپذیری خیلی خوب است، کمترین وزن و کمترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارند؛ که با نتایج درخشان (۱۳۸۹) که بیان کردند زیر حوضه‌های با پوشش جنگلی دارای کمترین میزان رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشند و به‌خصوص زیر حوضه‌های جنگلی که خاک آن‌ها دارای نفوذپذیری خوب و یا نسبتاً خوب می‌باشد،

همخوانی دارد. درنهایت مشخص شد که مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای تصمیم‌گیری درزمینه‌ی اولویت‌بندی کردن زیرحوضه‌ها ازنظر خطر سیل چارچوب مناسبی فراهم می‌سازد، زیرا این مدل‌ها ذاتاً قاعده‌ای مناسب برای ارتباط بین معیارهای کیفی و کمی ارائه می‌دهند که بر اساس آن ارزش و جایگاه هر معیار در تصمیم‌گیری مشخص می‌شود. به‌طورکلی روش ویکور، یک روش توانمند برای رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از رویکرد سیستماتیک است، که این روش به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، دارای قابلیت تئوری مطلوبیت چند خصیصه و روش‌های بی‌رتبه‌ای است.

منابع

- بدری، سید علی. فرجی سبکبار، حسنعلی. جاودان، مجتبی و حجت اله شرفی، ۱۳۹۱، رتبه‌بندی سطح پایداری نقاط روستایی براساس مدل ویکور، مطالعه موردی: روستاهای شهرستان فسا–استان فارس، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶، صص. ۲۰–۱
- بنی حبیب، محمدابراهیم و ابولفضل لقب‌دوست‌آرانی، ۱۳۹۲، رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره ۱۴، صص.۸۲–۷۲.
- بهرامی، سید علیرضا. اونق، مجید و حسن فرازجو، ۱۳۹۰، نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد بوستان ازنظر سیل‌خیزی و ارائه راهکارهای مدیریتی، مجله حفاظت منابع آب‌وخاک، سال اول، شماره ۱، صص. ۲۷–۱۱.
- دهقانی، مرتضی. قاسمی، حسین و آرش ملکیان، ۱۳۹۲، اولویت‌بندی مکانی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز فورگ)، نشریه مرتع و آبخیزداری، سال شصت و ششم، شماره ۱، صص. ۸۸–۷۳.
- رادمهر، احمد و شهاب عراقی‌نژاد، ۱۳۹۳، کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری تهران)، نشریه دانش آب‌وخاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صص. ۱۲۸–۱۱۵.
- رضوی طوسی، سیده لیلا و جمال محمد ولی سمانی، ۱۳۹۳، اولویت‌بندی مدیریتی تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور با استفاده از روش‌های فرایند تحلیل شبکه‌ای *(ANP)* و الگوریتم ترکیبی جدید بر اساس فازی*TOPSIS-ANP* ، دوره سه، شماره ۲، صص. ۹۰–۷۵.
- روغنی، محمد. طباطبایی، سید محمود رضا و صمد شادفر، ۱۳۸۹، ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۳، صص. ۶۰–۵۱.
- شعبانلو، سعید. صدقی، حسین. ثقفیان، بهرام و حبیب موسوی جهرمی، ۱۳۸۷، پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از*GIS* ، سال دوم، شماره ۳، صص. ۲۲–۱۱.
- غیاثی، محمد ایمان. شمس، محمدحسین و محسن کیا، ۱۳۹۱، روش جدید جهت مدیریت سرمایه‌گذاری و تخصیص منابع مالی به تولیدات پراکنده انرژی الکتریکی در کشور با استفاده از تکنیک آنتروپی و روش*AHP*، دو فصلنامه توسعه و تکنولوژی صنعت، شماره ۱۹، صص. ۲۶–۱۶.
- قدسی پور، سید حسن، ۱۳۸۵، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی*AHP* ، چاپ پنجم: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، تهران.
- محمدی، علی و نبی مولایی، ۱۳۸۹، کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری در ارزیابی عملکرد شرکت‌ها، مدیریت صنعتی، دوره دو، شماره ۴، صص. ۱۴۲–۱۲۵.
- مرید، سعید.قائمی، هوشنگ و ابوالقاسم شمس، ۱۳۷۵، مدل سیل‌خیزی زیر حوضه‌های کرخه، مجله نیوار، سال جدید ، شماره ۳۰، صص. ۲۷–۱۰.

- مساعدی، ابوالفضل و معصومه غریب، ۱۳۸۶، بررسی خصوصیات سیل در رودخانه قره‌چای رامیان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره ۶، صص ۲۱۴-۲۰۳.
- مقصودی، مهران. جوان، حسین. رحیمی، مجتبی و صمد عظیمی‌راد، ۱۳۹۳، تعیین مناطق مستعد سیل با استفاده از پتانسیل‌سنجی عوامل مؤثر (مطالعه موردی: رود شاهرود). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره دوم. شماره ۲. صص. ۱۸۶-۱۷۵.
- ملکیان، آرش. افتادگان خورانی، اصغر و غدیر عشورنژاد، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره چهل و چهارم، شماره ۴، صص. ۱۵۲-۱۳۱.
- مهدوی، محمد، ۱۳۸۲، سیل در ایران، چکیده‌ای از سمینار پیشگیری از سیل، صص ۱۰۱.
- مهندسین مشاور شمال، ۱۳۸۵، گزارش نهایی مطالعات پایه و اجرایی حوضه آبخیز قورچای، کارفرما منابع طبیعی استان گلستان، ۴۵۰ صفحه.
- میرکتولی، جعفر و سید محمدحسن حسینی، ۱۳۹۲، ارزیابی تناسب اراضی میان بافتی شهر گرگان برای توسعه میان افزا با استفاده ترکیبی از *AHP* و*GIS*، شماره ۹، صص. ۸۰-۶۹.
- میرکتولی، جعفر و محمدرضا کنعانی، ۱۳۹۰، ارزیابی توان اکولوژیک کاربری توسعه‌ی شهری با مدل تصمیم‌گیری چندمعیاری *MCDM* و*GIS*، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۷، صص. ۸۸-۷۵.
- وزیری، ف، ،۱۳۷۱، تعیین روابط منطقه‌ای بارندگی‌های کوتاه‌مدت در ایران، طرح پژوهشی دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی. صص ۲۸.
- *Efron, B. and R.J. Tibshirani, 1993, An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, New York.*
- *Fuller, W.E. 1914. Flood flows, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 77.*
- *Lee, G., K.S. Jun and E.S. Chung, 2015. Group decision-making approach for flood vulnerability identification using the fuzzy VIKOR method. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., No. 15, pp. 863–874.*
- *Levy, J.K. 2005, Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management, Stoch Environ Res Risk Assess, No. 19, pp. 438–447.*
- *Mojtahedi, S.M.H. and B.L. Oo, 2014, Coastal buildings and infrastructure flood risk analysis using multi-attribute decision-making, Journal of Flood Risk Management. DOI: 10.1111/jfr3.12120.*
- *Opricovic, S. and G. Tzeng, 2006, Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research, No. 178, Vol. 2, pp 514-529.*
- *Ouma, Y.O. and R. Tateishi, 2014, Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment, Water, No. 6, Vol. 6, pp. 1515-1545.*
- *Sawyer, S. 2005, Resampling Data: Using Bootstraps. Handout, Washington University, 6 pages.*
- *Singh, V.P. 2000, The entropy theory as a tool for modelling and decision making in environmental and water resources, Water Research Commission Journal, No. 26, Vol. 1, pp. 1-12.*
- *Ahmadisharaf, E., M. Tajrishy and N. Alamdari, 2015, Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. Journal of Environmental Planning and Management, DOI: 10.1080/09640568.2015.1077104.*