نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

صفحات ۱۳۵ – ۱۵۰

پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC

فریبا اسفندیاری درآباد؛ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

صدیقه لایقی؛ دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

رئوف مصطفی‌زاده[1]؛ دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

خدیجه حاجی؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۹/۲۳ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۳/۰۸

چکیده

پهنه‌بندی خطر سیل در واقع ابزار اساسی برای مدیریت کاهش خطرات سیل است و وسیله‌ای قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه هم‌زمان با کاهش خطرهای سیل و حفاظت محیط‌زیست است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر تعیین پهنه‌های خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز قطورچای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌باشد. سپس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ایستگاه سینوپتیک، فرآیند تحلیل شبکه و روش تلفیق لایه‌ها، پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز قطورچای مدل‌سازی شده است. نقشه نهایی خطر سیل‌خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل و عناصر اقلیمی و فیزیکی شامل عوامل کاربری اراضی، زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، توپوگرافی، شیب و قابلیت اراضی تهیه شد. وزن هر یک از معیارها با روش ANP و جهت مدل‌سازی فضایی و تلفیق لایه‌ها برای تهیه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی از روش WLC استفاده گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ریسک سیل‌خیزی نشان داد که لایه Qal از زمین‌شناسی، شیب‌های کم‌تر از ۳ درصد، واحد تیپ‌های اراضی خاک ۵، ۶ و۷ و هم‌چنین فقر پوشش‌گیاهی به‌عنوان پهنه‌های سیلابی شناسایی شدند. نتایج به‌دست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای بیانگر این واقعیت است که بخشی از حوضه تحت‌تأثیر خطر وقوع سیلاب با پتانسیل بسیار بالا قرار دارد، که به‌طور عمده در پایین‌دست حوضه واقع شده است. بدین سبب شبکه‌های رتبه ۳ و ۴ به‌عنوان پهنه‌های سیل‌خیز و نواحی هدایت کننده سیلاب به نواحی پایین‌دست می‌باشند. هم‌چنین شبکه‌های رودخانه‌ای رتبه ۵ و بالاتر در محدوده سیلاب‌دشت‌ها و یا پایاب رودخانه‌ای قرار دارند و معمولاً دارای سیلاب‌های سطحی و گسترده هستند. لذا نواحی مستعد سیلاب و ارائه راهکارهای مؤثر به‌منظور مدیریت سیلاب یکی از اقدامات اساسی در کاهش خسارت ناشی از سیلاب است.

واژه های کلیدی: ارزیابی خطر سیل، حفاظت بیولوژیکی، سیلاب‌دشت، فرآیند تحلیل شبکه، قطورچای.

۱ نویسنده مسئول: Email:raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

مقدمه

سیل یکی از بلایای مهم طبیعی می‌باشد که بسیاری از نقاط جهان از جمله کشورهای توسعه یافته را تحت‌تأثیر قرار داده است. علاوه بر خسارات مالی، تعداد زیادی از مردم نیز هر سال زندگی خود را در اثر سیل از دست می‌دهند (Yang et al., ۲۰۱۳؛ سلیمانی و درویشی، ۱۳۹۹). در کشور ایران بارندگی‌های بهاری ممتدی اواخر سال ۱۳۹۷ و اوایل ۱۳۹۸ در چندین استان رخ داد که سیل‌های شدید و خسارت‌های زیان‌باری به‌همراه داشت. برخی از این سیلاب‌ها منشأ طبیعی داشتند، اما زیان‌بارترین آن‌ها دارای منشأ انسانی و نیز حاصل فعالیت‌ها و اقدامات سازه‌ای غیراصولی و ضعف در برنامه‌ریزی و مدیریت سیلاب بوده‌اند (رجبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین خسارت ناشی از وقوع سیلاب در ایران و جهان، بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد (اصغری سرکانسرود و همکاران، ۱۳۹۴). پدیده سیل نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در تمام جهان شایع‌ترین مخاطره طبیعی است (Leskens et al., ۲۰۱٤). بدیهی است که عوامل اقلیمی و حوضه‌ای در بروز سیلاب‌ها تأثیر دارند، اما برای جلوگیری از آثار زیان‌بار سیل نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود. بنابراین هر گونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه‌های آبخیز جستجو کرد. در این ارتباط، اولین اقدامی که برای کاهش خطر سیل مطرح می‌شود، مهار سیل در سرچشمه آن یعنی زیرحوضه‌های آبخیز است (Hammami et al., ۲۰۱۹؛ حسن‌زاده نفوتی و خواجه بافقی، ۱۳۹۵). لذا از طریق تجزیه و تحلیل مناطق سیل‌خیز و مدیریت اصولی، می‌توان میزان وقوع سیلاب و نیز خطرات و آسیب‌های جانی و مالی حاصل از آن در مناطق مستعد سیلاب را کاهش داد (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۴). ارزیابی خطرات سیلاب به‌منظور مدیریت مناسب ریسک سیل و تأثیرات بالقوه آن‌ها بر روی انسان، اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی بسیار مهم است. مدیریت مخاطره سیل شامل تمامی اقدامات برنامه‌ریزی شده جهت اجرا در حوضه بالادست و دشت سیلابی به‌منظور کاهش سیل می‌باشد و معمولاً شامل تعدیل و تغییر فیزیکی دشت سیلابی و مجرای رودخانه است (Ahamed and Bolten, ۲۰۱۷). یکی از روش‌های مدیریتی مواجهه با سیل، پهنه‌بندی سیل می‌باشد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی شامل تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی است. این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات مناطق مورد بررسی صورت گرفته و از این طریق امکانات استفاده از پتانسیل هر زون مشخص و ارزیابی می‌شود (Zhang et al., ۲۰۲۰؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۵). در زمینه پهنه‌بندی سیلاب می‌توان به کارهایی اشاره کرد که پژوهش‌گران مختلف با روش‌های گوناگون انجام داده‌اند. در این راستا، خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۱) به پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز مردق‌چای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای[۱] (ANP) پرداختند. نتایج نشان داد که عامل شیب با میزان ۰/۳۰ در رابطه با رخداد سیلاب، از بیش‌ترین میزان اهمیت و عوامل پوشش‌گیاهی و سنگ‌شناسی، به ترتیب با ۰/۰۶ و ۰/۰۷ از کم‌ترین میزان اهمیت برخوردار هستند. کما بیش در ۳۲ درصد از سطح حوضه، خطر وقوع سیلاب بسیار زیاد و زیاد است که بیش‌تر در قسمت‌هایی از پایین‌دست حوضه واقع شده‌اند. در پژوهشی عابدینی و فتحی (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از ANP در حوضه آبخیز خیاوچای را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج به‌دست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای بیانگر این واقعیت است که بیش از ۱۵ درصد از حوضه تحت‌تأثیر خطر وقوع سیلاب با پتانسیل بسیار بالا قرار دارد، که به‌طور عمده در پایین‌دست حوضه واقع شده است. تحلیل وزن نهایی

۱. Analytical Network Process (ANP)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

منتج از مدل ANP نشان داد که در ارتباط با خطر وقوع سیلاب، عامل شیب با مقدار ۹۹ درصد و سنگ‌شناسی با مقدار ۰/۸۲ با توجه به کنترل زیادی که بر میزان و چگونگی نفوذ و تخلیه رواناب از سطح حوضه دارند، از بیش‌ترین میزان اهمیت و تأثیر برخوردار هستند. هم‌چنین فتحعلی‌زاد و همکاران (۱۳۹۹) علل وقوع سیلاب و مخاطرات آن در حوضه آبخیز زنوزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و منطق فازی را بررسی نمودند. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای رویکرد مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر می‌باشد. مناطق سیل‌خیز منطبق بر زیرحوضه‌های بخش میانی حوضه آبخیز زنوزچای است. وجود سازندهای زمین‌شناسی و خاک‌های با نفوذپذیری اندک، شیب زیاد، فقدان یا ضعف پوشش‌گیاهی، زمان تمرکز و زمان تأخیر اندک از جمله مهم‌ترین دلایل بالا بودن رواناب و هدایت سریع رواناب‌های ناشی از بارش در این زیرحوضه‌هاست. پهنه‌های سیل‌گیر منطقه مطالعاتی عمدتاً منطبق بر دشت‌های سیلابی مجاور آبراهه‌های اصلی و رأس مخروط افکنه زنوزچای می‌باشند.

وو و همکاران (Wu et al., ۲۰۱۵) نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز رودخانه هوایهی در چین را تهیه نمودند. نتایج نشان داد که نقشه پهنه‌بندی ریسک سیل چند ساله از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ با توزیع تاریخی سیلاب سازگار است که کاربرد این روش را در ارزیابی خطر سیلاب تأیید می‌کند. داس (Das, ۲۰۱۸) در پژوهشی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP به پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز ماهاراشترا در هند پرداخت. نتایج نقشه پهنه‌بندی نشان داد که حدود ۲۰ درصد کل حوضه مستعد سیل است و باید این نواحی بایر مورد توجه جدی سازمان‌های مربوطه قرار گیرد. هم‌چنین میشرا و سینها (Mishra and Sinha, ۲۰۲۰) به ارزیابی خطر سیل در ناحیه کیسی در هند با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱] (MCDM) پرداختند. نتایج نشان داد این ناحیه یکی از نواحی مستعد سیل در کشور هند است و به برنامه‌ریزی صحیح نیاز دارد. در ادامه اوگاتو و همکاران (Ogato et al., ۲۰۲۰) خطر سیل حوضه آبخیز شهر اموا در کشور اتیوپی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تحلیل کردند. نتایج نشان داد که خطر آبگرفتگی در حوضه آبخیز زیاد است. هم‌چنین این منطقه با احتمال ۴۱/۷۶ درصد یکی از مناطق مستعد سیلاب است.

با توجه به مرور منابع و توجه به اهمیت مطالعه خطر احتمال وقوع سیلاب و از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره در دو دهه اخیر از استقبال بالایی برخوردار بوده و هم‌چنین داده‌ها و روش‌های RS و GIS به پایش، ارزیابی و تهیه نقشه‌های مناطق سیل‌گیر کمک کرده و در نتیجه داده‌های مطمئنی برای انجام فعالیت‌های مربوطه می‌باشند. اگر چه حوضه آبخیز قطورچای هم‌چون بسیاری از نقاط کشور ایران در زمره نواحی پرخطر و دارای پتانسل بالا در ریسک‌پذیری مخاطرات طبیعی قرار دارد. در واقع این حوضه به سبب موقعیت طبیعی که در مرز بلوکات بزرگ تکتونیکی و زمین‌ساختی قرار دارد و هم‌چنین به‌دلیل ویژگی‌های هیدرواقلیمی و ساختمان مورفولوژی در معرض تهدیدات طبیعی مختلفی قرار دارد که برخی منشأ زمین محوری و اقلیم محوری دارند. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، پهنه‌بندی سطح حوضه آبخیز قطورچای از لحاظ احتمال وقوع سیلاب و شناسایی مناطق با پتانسیل‌های مختلف سیلابی شدن و ارائه راهکارهای مناسب جهت کنترل و کاهش اثرات ناشی از آن است.

۱. Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

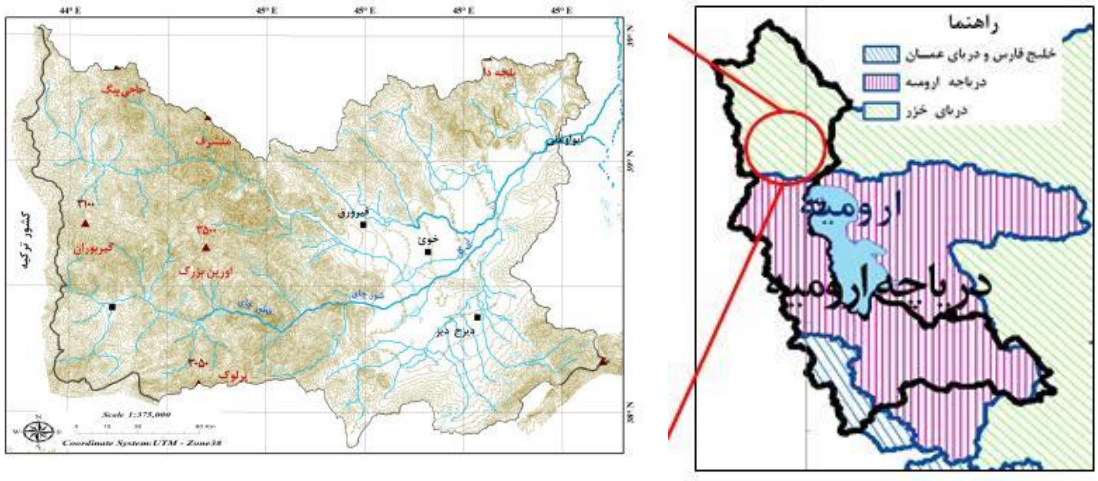
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

داده‌ها و روش‌ها

الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز قطورچای با وسعت ۳۳۶۳ کیلومترمربع در استان آذربایجان‌غربی در محدوده جغرافیایی ′۴۰ °۴۳ تا ′۳۰ °۴۵ طول شرقی و ′۴۵ °۳۷ تا ′۱۰ °۳۹ عرض شمالی واقع شده است. رودخانه قطورچای از شاخه‌های مهم رودخانه ارس در خاک ایران است و عمدتاً در حوضه آبریز خوی (قطورچای) جریان دارد. رودخانه قطورچای از دامنه‌های شمال و شمال غربی کوه‌های منگنه و میرعمر و دامنه‌های شرقی کوه‌های بایزدآگا در خاک ترکیه سرچشمه می‌گیرد. دامنه نوسان سالانه دما در آن‌ها ۶۰ درجه سلسیوس است. از نظر زمین‌شناسی واحدهای سنگی از قدیمی‌ترین دوره زمین‌شناسی تا عهد حاضر در مناطق مختلف حوضه بیرون‌زدگی دارد و ارتفاعات حاشیه دشت در بخش‌های شمالی و غربی عمدتاً از سنگ آذرین و در نواحی جنوبی ماسه‌سنگ و کنگلومرا، در نواحی شمال شرقی حوضه سنگ آهک دوره پرمین مشاهده می‌شود (مؤمنیان و همکاران، ۱۳۹۷). موقعیت حوضه آبخیز قطورچای در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز قطورچای در استان آذربایجان غربی و حوضه‌های درجه یک کشور

ب) روش پژوهش

در این پژوهش بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و بازدید میدانی، عوامل مؤثر در طغیان و سیلاب در منطقه شناسایی شد. هم‌چنین پس از مشخص کردن متغیرهای مورد بررسی شامل شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و قابلیت اراضی، اقدام به گردآوری داده‌ها شده است، ابتدا لایه اطلاعاتی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و سپس لایه‌های مورد بررسی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) وزن‌دهی گردید و مدل‌سازی نهایی با روش ترکیب خطی وزنی[۱] (WLC) انجام شد و در نهایت با هم‌پوشانی در محیط ArcGIS پهنه‌های سیلابی به‌دست آمد.

- **شیب**

شیب حوضه به‌دلیل رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای که با مقدار نفوذ آب و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک دارد، انتخاب شده است (یمانی و عنایتی، ۱۳۸۴). در واقع شیب حوضه شاید اصلی‌ترین عامل در بروز یا عدم بروز سیلاب در یک حوضه باشد و تأثیر عمده‌ای بر زمان تمرکز، مقدار جریان، نفوذ آب و نحوه تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان

۱. Weighted Linear Composition (WLC)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

رطوبت خاک دارد. در حوضه‌هایی که از شیب بالایی برخوردار هستند، هیدروگراف مربوط به سیلاب دارای دامنه کم (مدت پایه هیدروگراف کم) و نقطه اوج بالایی است. یعنی حجم زیاد آب در مدت کوتاهی از یک مقطع عبور می‌کند (رستمی و کاظمی، ۱۳۹۸). بنابراین نقشه شیب حوضه مورد مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی حوضه و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است.

- **کاربری اراضی**

تغییرات کاربری و پوشش اراضی تأثیر مستقیمی بر تغییر رژیم هیدرولوژیکی حوضه دارد. به‌عبارتی می‌تواند با افزایش سطوح زمین‌های بایر و کاربری‌های مشابه آن باعث سیل‌خیزی حوضه شده، با افزایش سطوح کاربری باغ و کاربری‌های مشابه آن باعث مصرف و نفوذ بیش‌تر آب شود و بر کاهش دبی، نقش مؤثری داشته باشد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۳). هم‌چنین نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۸ از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی اخذ و اصلاح و به‌روز رسانی آن در نرم‌افزار Google Earth مشخص و سپس نقشه آن نهایی گردید.

- **زمین‌شناسی**

عوامل اصلی زمین شناسی که رواناب سطحی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به دو گروه سنگ‌شناسی و ساختار زمین‌شناسی طبقه‌بندی شده‌اند. تأثیرات سنگ‌شناسی در ارتباط با ترکیب، بافت و لایه‌بندی سنگ‌ها است. در صورتی‌که ساختار زمین‌شناسی در ارتباط با عدم پیوستگی مثل گسل‌ها و نیز چین‌خوردگی‌ها می‌باشد (یمانی و عنایتی، ۱۳۸۴). سنگ‌شناسی منطقه و خاک حاصل از آن تا حدود زیادی تعیین کننده شدت و ظرفیت نفوذپذیری بوده و رواناب را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که سنگ‌ها قابلیت نفوذ کمی داشته باشند به‌طور مستقیم باعث گسترش سیستم آبراهه‌ای می‌شوند و مقدار زیادی جریان سطحی ایجاد می‌کنند. ویژگی‌های سنگ‌شناسی به‌طور غیرمستقیم بر روی مشخصات حوضه تأثیرگذار است.

- **قابلیت اراضی**

در بررسی قابلیت اراضی جهت استفاده بهینه و حفظ منابع منطقه مورد مطالعه ابتدا لایه‌های توپوگرافی، پوشش‌گیاهی و خصوصیات سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه در محیط ArcGIS تهیه شده و با مطالعات میدانی اصلاح شد. سپس بر اساس استانداردها و دستورالعمل مؤسسه تحقیقات آب و خاک تیپ‌ها و واحدهای مختلف اراضی تفکیک گردید، که این مطالعات منجر به تعیین ۱۰ واحد کاری همگن شد.

- **فرآیند تحلیل شبکه (ANP)**

روش ANP شکل توسعه یافته‌ای از روش تحلیل سلسله مراتبی[۱] (AHP) است که همبستگی و بازخوردهای موجود بین عناصر در یک تصمیم‌گیری را مدل‌سازی می‌نماید و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات می‌کند. مدل ANP را می‌توان کامل‌ترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نامید که تاکنون ارائه شده است ماچادو

۱. Analytical Hierarchy Process (AHP)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

و همکاران (Machado et al., ۲۰۱٤). به‌طور کلی، روش ANP دارای مراحل زیر است (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۱؛ فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۹۳):

۱. تعیین معیارها و شاخص‌ها
۲. تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها: هر شبکه از مجموعه‌ای از خوشه‌ها تشکیل شده است که هر خوشه شامل مجموعه ای از عناصر می‌باشد. به‌طور کلی، دو نوع وابستگی اصلی در هر شبکه می‌تواند وجود داشته باشد:
۳. الف) وابستگی میان خوشه‌ها: به گونه‌ای که هر خوشه می‌تواند با خوشه دیگر در هر سطح تصمیم‌گیری دارای ارتباط متقابل و بازخوردی باشد.
٤. ب) وابستگی میان عناصر خوشه‌ها: به گونه‌ای که هر عنصر در هر خوشه می‌تواند با تمامی عناصر موجود در دیگرخوشه‌ها وابستگی داخلی داشته باشد و حتی عناصر درون یک خوشه نیز می‌توانند با یکدیگر وابستگی داشته باشند.
٥. مقایسات زوجی بین عناصر و خوشه‌ها: ماتریس‌های مقایسات زوجی مشابه با روش AHP می‌باشد و زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه می‌شوند، خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی می‌شوند، به علاوه وابستگی‌های درونی بین عناصر یک خوشه نیز باید طوری جفتی مورد آزمون قرار گیرند و تأثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر توسط یک بردار ویژه نمایش داده شود.
٦. تشکیل سوپرماتریس‌ها: تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی عناصر ANP با یک‌دیگر در تعامل قرار دارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس بر اساس مقایسه زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود، وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند.

تشکیل سوپرماتریس وزنی: در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هر کدام از بردارها برابر یک است، بنابراین این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردارهای ویژه‌ای که در هر ستون وجود دارند). برای آن که از عناصر ستون متناسب با وزن نسبی‌شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود، در نتیجه ماتریس جدیدی به‌دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود، این موضوع شبیه زنجیره مارکوف است که جمع احتمال همه وضعیت‌ها معادل است، ماتریس جدید، ماتریس وزنی یا ماتریس استوکاستیک گفته می‌شود.

تشکیل سوپرماتریس حدی: سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. ماتریسی که در نتیجه به توان رسیدن ماتریس وزنی به‌دست می‌آید، ماتریس حدی می‌باشد.

۷. نتایج ماتریس خوشه‌ها: پس از محاسبه سوپرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر، محاسبه نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی ضریب عناصر در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می‌باشد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

۸. نتیجه نهایی عناصر: ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می‌گردد.

برای به‌دست آوردن میزان اهمیت هر یک از عوامل (معیارها) در رابطه با رخداد سیل و هم‌چنین وزن‌دهی به متغیرهای اصلی و طبقه‌های فرعی متغیرها، از مدل ANP بهره برده شده است. ابتدا باید شبکه‌ای از هدف، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها و روابط بین آن‌ها شناسایی و رسم شود. در گام بعدی همه مقایسه‌های زوجی انجام شد. معیاری که مقایسه‌های زوجی نسبت به آن انجام می‌شود، به معیار کنترلی معروف است. وزن معیارها و وزن گزینه‌ها، در سوپرماتریسی که سطرها به مقدار ثابتی میل کنند، به‌دست خواهد آمد (مؤمنی و شریفی‌سلیم، ۱۳۹۰). در مدل ANP اندازه‌گیری مقادیر اهمیت نسبی همانند AHP با مقایسه‌های زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌شود. عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان بین دو عامل و عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت شدید یک عامل نسبت به عامل دیگر است. برای محاسبه وزن‌های نهایی هر معیار و زیرمعیار (با توجه ارتباطات درونی) از نرم‌افزار Super Decisionsاستفاده شد. این نرم‌افزار را ساعتی و وارگاس (Saaty and Vargas, ۲۰۰۶) برای پشتیبانی از روش ANP ارائه کرده‌اند، که توانایی ساخت مدل‌های تصمیم‌گیری به‌همراه وابستگی‌ها و بازخورد و محاسبه سوپرماتریس را دارد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۱).

- **فرآیند روش ترکیب خطی وزنی (WLC)**

در روش حاضر با در نظر گرفتن نقش فاکتورها در پهنه‌بندی خطر سیلاب و تعیین نوع و شکل تابع عضویت، در مقیاس پیوسته مطلوبیت (صفر تا ۲۵۵) نرمال شدند. به‌منظور انجام فرآیند ارزیابی با این روش بر اساس رابطه (۱) ابتدا هر یک از عوامل در وزن متناظر خود ضرب می‌شود، سپس با جمع نتایج حاصل و ضرب آن‌ها در حاصل ضرب محدودیت‌ها، مناطق نامناسب حذف می‌گردند و نقشه تناسب برای هدف مورد نظر تهیه شد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$S = \sum W_i X_i \prod C_i$$ رابطه (۱)

که در آن، S مطلوبیت، W_i وزن عامل، X_i ارزش فازی عامل i، C_i امتیاز معیار محدودیت j و $\prod$ نمایه حاصل‌ضرب است. به‌طوری‌که مجموع وزن‌ها برابر یک است. بدین ترتیب هر چه مقدار وزن هر پیکسل، بیش‌تر باشد مقدار خط سیل‌خیزی آن پیکسل بالاتر خواهد بود.

شرح و تفسیر نتایج

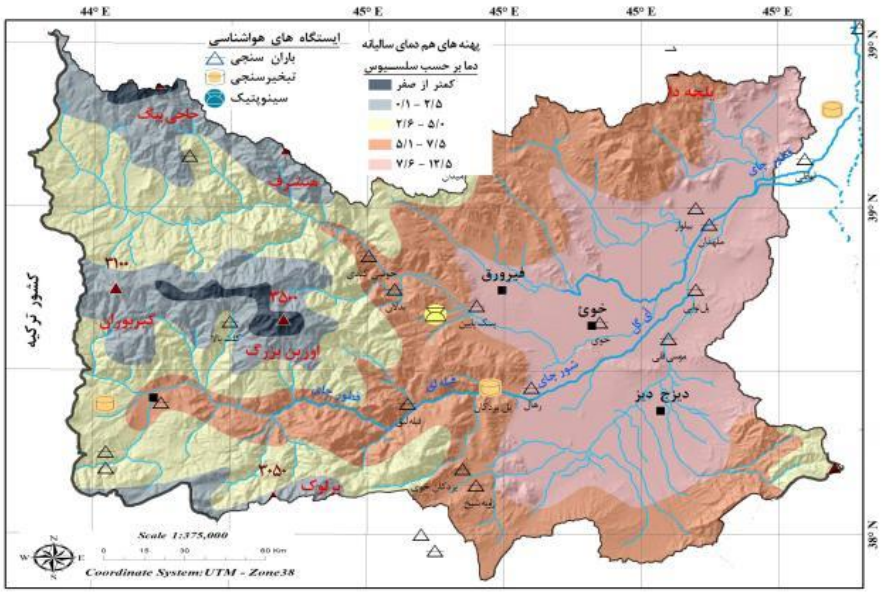
رتبه‌بندی و طول شبکه‌های آبراهه حوضه آبخیز قطورچای در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود رودخانه‌های حوضه آبخیز قطورچای به روش استراهلر به ۵ طبقه رتبه‌بندی شد. شبکه هیدروگرافی در رتبه‌های ۱ و ۲ به‌صورت شبکه آبراهه است و رتبه‌های ۳ و ۴ مسیل‌های بزرگ و فصلی و گاه دائمی هستند و به‌طور معمول از رتبه ۴ به بالا بسترهای مشخص رودخانه‌ای با جریان آب سالانه و بسترهای سیلابی و طغیانی هستند. شبکه‌های رتبه ۱ و ۲ قدرت تخریب و یا سیل‌خیزی نداشته و معمولاً از ابتدای شبکه‌های رتبه ۳ به بالا احتمال خطر سیل افزایش می‌یابد. شبکه‌های رتبه ۴ عمدتاً در پایین‌دست ناحیه کوهستانی قرار دارند و یا در موقعیت خروج

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

رودخانه از کوهستان هستند. بدین سبب شبکه‌های رتبه ۳ و ۴ به‌عنوان پهنه‌های سیل‌خیـز و نواحی هدایت کننده سیلاب به نواحی پایین‌دست می‌باشند. هم‌چنین شبکه‌های رودخـانه‌ای رتبه ۵ و بالاتر در محـدوده سیلاب‌دشت‌ها و یا پایاب رودخـانه‌ای قرار دارند و معمولاً دارای سیلاب‌های سطحی و گسترده هستند. در شکل (۲) پهنه‌های هم دمای سالانه حوضه آبخیز قطورچای نشان داده شده است.

جدول ۱. رتبه‌بندی و طول مسیر شبکه‌های آبراهه حوضه آبخیز قطورچای

رتبه	تعداد شبکه آبراهه	طول مسیر شبکه آبراهه (کیلومتر)
۱	۱۱۷	۴۲۶۲۹۲
۲	۵۴	۲۲۰۳۸۰
۳	۴۵	۱۱۷۷۰۱
۴	۱۵	۷۲۱۶۶
۵	۹	۱۹۴۲۴



شکل ۲. پهنه های هم دمای سالیانه حوضه قطورچای

بررسی آورد سالانه رودخانه‌ها نشان می‌دهد که حوضه خوی از منابع آب سطحی مناسبی بهره‌مند است. به‌طوری‌که رودخانه قطور در حدود ۳۸۷ میلیون مترمکعب برآورد سالانه دارد. جدول (۲) شاخص‌های آماری بلندمدت (۴۵ ساله) ایستگاه‌های واقع در حوضه را نشان می‌دهد و هم‌چنین مقدار جریان سطحی تولید شده در حوضه به تفکیک کوه و دشت در جدول (۳) ارائه شده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

جدول ۲. شاخص‌های جریان سطحی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه قطورچای

رودخانه	ایستگاه	حداکثر جریان سطحی (مترمکعب بر ثانیه)	متوسط جریان سطحی (مترمکعب بر ثانیه)	حداقل جریان سطحی (مترمکعب بر ثانیه)	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	حجم متناظر متوسط جریان (میلیون مترمکعب)
قطورچای	میله مرزی	۳/۵۲	۱/۴۳	۰/۳۴	۰/۷	۴۸	۴۵
	رازی	۴/۰۲	۱/۵۸	۰/۳۶	۰/۸	۵۰	۴۹/۷
	ترس‌آباد	۲/۸۱	۰/۷۲	۰/۲۹	۰/۵	۶۹	۲۲/۶
	قطور	۵/۹۷	۲/۵۶	۰/۸۷	۱/۱	۴۱	۸۰/۷
	پل‌یزدکان	۱۲/۷۹	۵/۶۵	۲/۲۵	۲/۵	۴۴	۱۷۸/۳
	پل‌نوایی	۷/۶۲	۳/۴۲	۱/۳۷	۱/۶	۴۷	۱۰۷/۹

جدول۳. محاسبه حجم جریان سطحی تولید شده به تفکیک دشت و ارتفاعات در محدوده حوضه آبخیز قطورچای

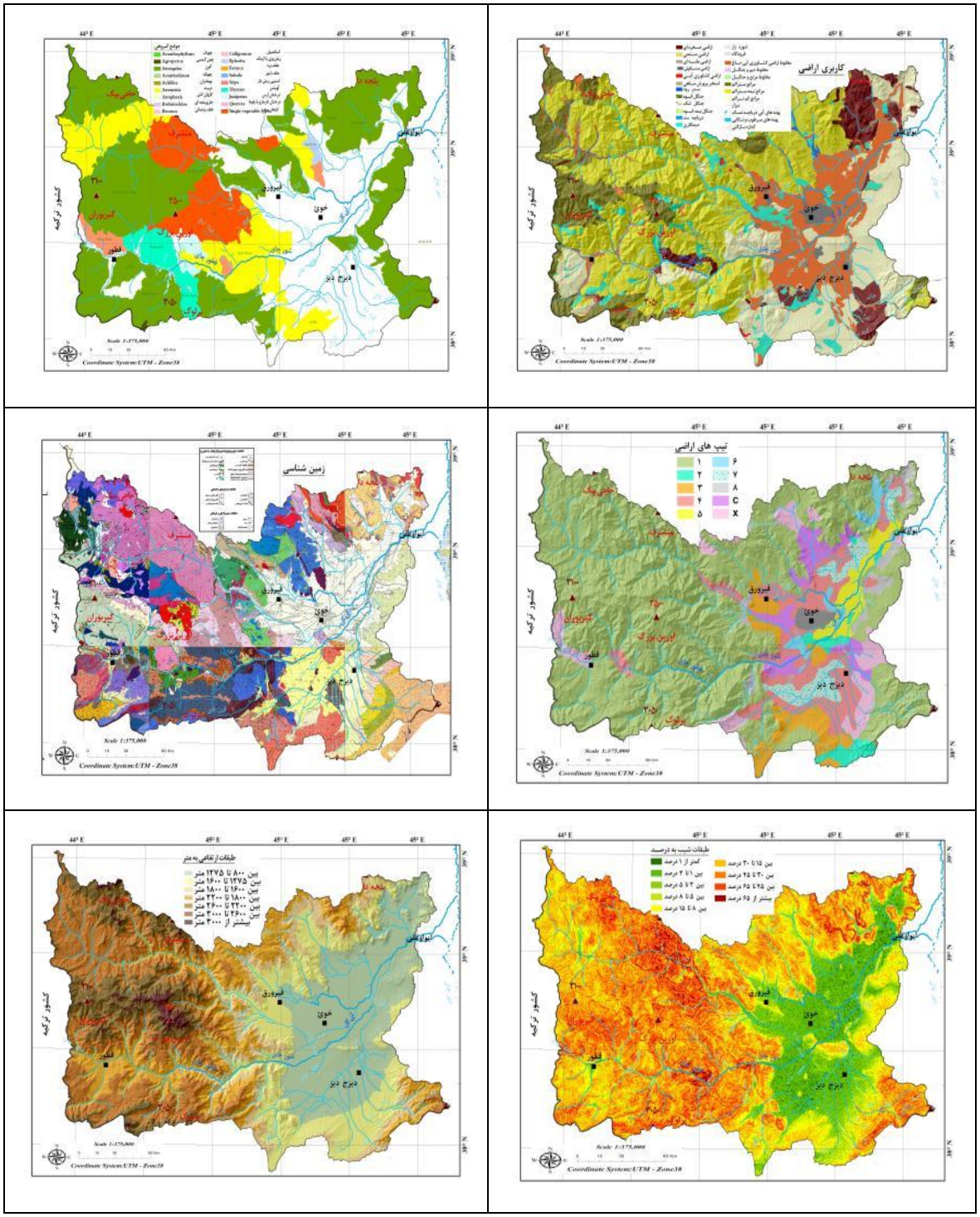
نام محدوده مطالعاتی	دشت			ارتفاعات		
	مساحت (کیلومترمربع)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	حجم (میلیون مترمکعب)	مساحت (کیلومترمربع)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	حجم (میلیون مترمکعب)
خوی	۶۶۰/۵۷	۰/۶۰	۱۸/۹۲	۲۷۰۷/۸۸	۷/۳۲	۲۳۰/۸۷

بر اساس جدول (۲) مشاهده می‌شود که حداکثر حجم جریان سطحی سالانه و حجم متناظر متوسط جریان در ایستگاه پل‌یزدکان به‌ترتیب برابر با ۱۲/۷۹ مترمکعب بر ثانیه و ۱۷۸/۳ میلیون مترمکعب است، در حالی‌که بیش‌ترین ضریب تغییرات در ایستگاه ترس‌آباد با ۶۹ درصد می‌باشد. هم‌چنین در جدول (۳) نشان داده شده است که بیش‌ترین حجم جریان سطحی در ارتفاعات حوضه برابر با ۲۳۰/۸۷ میلیون مترمکعب برآورد شد. بنابراین نواحی رود دره‌های قطورچای در بخش‌های میانی رودخانه بسترهای آبرفتی بزرگی تشکیل داده‌اند که حاوی سفره‌های آب زیرزمینی و آبخوان‌های کم ضخامتی هستند که در حال حاضر از این منابع برداشت به روش‌های چاه و قنات صورت می‌گیرد. به‌دلیل برونزد روانه‌های بازالتی و پوشش سطحی غیرقابل نفوذ، تراکم شبکه آبراهه زیاد است و یکی از دلایل سیل‌خیزی و یا افزایش ضریب رواناب در این ناحیه وجود سازند نفوذناپذیر روانه‌های بازالتی است.

نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، توپوگرافی، شیب و قابلیت اراضی در شکل (۳) ارائه شده است و با هم‌پوشانی آن‌ها و وزن‌دهی، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب به‌دست آمد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]



شکل ۳. نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، توپوگرافی، شیب و قابلیت اراضی در حوضه آبخیز قطورچای

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، لایه Qal از زمین‌شناسی به‌عنوان بستر سیلابی و هم‌چنین شیب‌های کم‌تر از ۳ درصد که در لبه‌های کناری و حاشیه‌ای این بسترها قرار داشته‌اند به عنوان بستر سیلابی مشخص شده‌اند. پهنه‌هایی با احتمال وقوع زیاد عموماً شیب‌های بالای ۳۰ درصد را در حوضه شامل می‌گردد. این پهنه‌ها معمولاً پوشیده از سنگ‌هایی با نفوذپذیری کم، سطوح عاری از پوشش‌گیاهی و سطوح فاقد پوشش خاکی را تشکیل می‌دهد. تیپ‌های اراضی خاک واحد ۵،

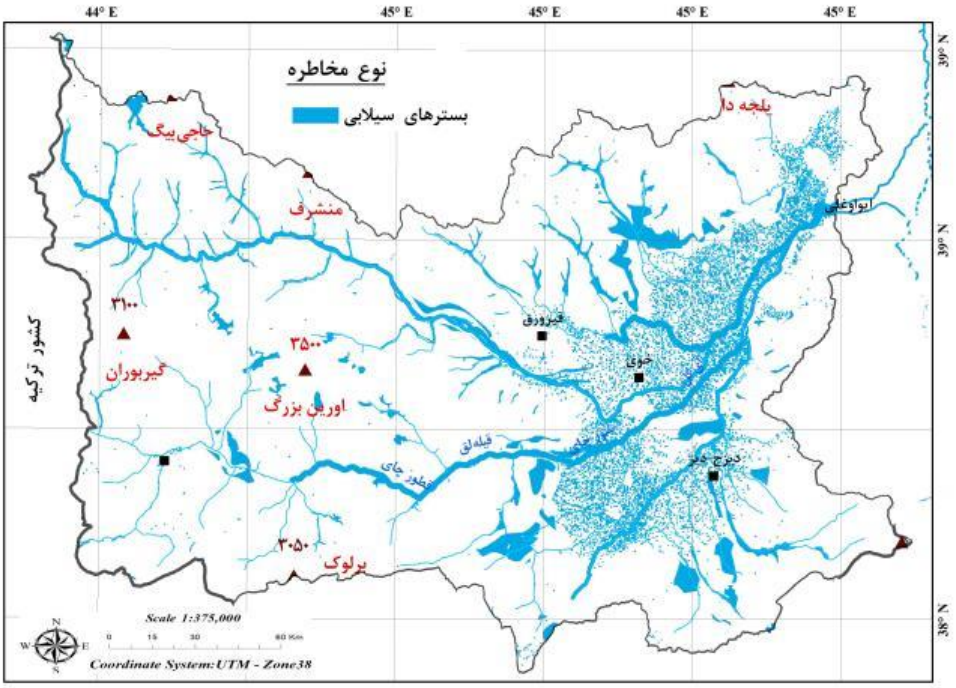
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

۶ و۷ که به‌ترتیب شامل دشت‌های آبرفتی و رسوبی، اراضی پست و شور و دشت‌های سیلابی است به‌عنوان پهنه‌های سیل‌گیر در مرحله اول شناسایی شده و بر اساس هم‌پوشانی با سایر نقشه‌های کاربری اراضی و زمین‌شناسی، فقط آن دسته از اراضی که کفه‌های رسوبی و شور یا باتلاق‌ها و اراضی پست و مرطوب را تشکیل داده‌اند به‌عنوان اراضی سیل‌گیر مشخص شده‌اند. وقوع سیل رابطه معکوسی با تراکم پوشش‌گیاهی دارد. بدین معنی که با افزایش پوشش‌گیاهی شدت رواناب کاهش یافته و بر عکس. در نواحی که تراکم پوشش‌گیاهی بالاست و یا مناطق جنگلی، آب حاصل از بارش زمان کافی برای نفوذ دارد ولی در مناطق فاقد پوشش‌گیاهی آب حاصل از بارش، بلافاصله بر روی زمین جاری شده و رواناب شکل می‌گیرد. بنابراین شاخص پوشش‌گیاهی یک عامل مهم در سیل‌خیزی حوضه آبریز می‌باشد و با یافته‌های فتحعلی‌زاد و همکاران (۱۳۹۹) مبنی بر وجود سازندهای زمین‌شناسی و خاک‌هایی با نفوذپذیری اندک، شیب زیاد، فقدان یا ضعف پوشش‌گیاهی مطابقت دارد. هم‌چنین واحدهای اراضی ۱.۴، ۲.۴ و ۳.۴ که اراضی فرسایش یافته و یا اشکال هزار دره‌ای هستند و شبکه‌های آبراهه در این واحدها با شیب‌های کم‌تر از ۳ درصد به‌عنوان کانون‌های سیل‌خیز در واحد کوهستان مشخص شده و هم‌چنین شیب‌های پایین‌تر از یک درصد در سطح دشت‌ها که بر روی واحدهای کواترنری و تیپ اراضی سیلابی یا کفه‌های نمکی و پست و شور واقع شده‌اند به‌عنوان بستر سیلابی شناسایی شده‌اند. در نتیجه پهنه‌هایی که دارای سطوح آبگیر هستند از قبیل باتلاق‌ها، تالاب‌ها و اراضی پست و بسترهای رودخانه‌ای به‌عنوان پهنه سیل‌گیر مشخص شده است که با نتایج میشرا و سینها (Mishra and Sinha, ۲۰۲۰) و اوگاتو و همکاران (Ogato et al., ۲۰۲۰) هم‌خوانی دارد.

پس از مشخص نمودن متغیرهای مؤثر بر سیلاب و تهیه نقشه‌های مربوط به هر یک از متغیرها در محیط نرم‌افزار ArcGIS، به هر یک از متغیرها بر اساس درجه اهمیت آن‌ها امتیازی داده شد. با استفاده از روش ANP پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز قطورچای پهنه‌بندی شد. سپس بر اساس درجه اهمیت و امتیاز تعلق گرفته اقدام به تلفیق لایه‌های شش متغیر ذکر شده با روش ترکیب خطی وزنی WLC گردید. بدین ترتیب نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی از طریق هم‌پوشانی معیارهای مؤثر به‌دست آمد (شکل ۴).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]



شکل ۴. پهنه‌های سیلابی در حوضه آبخیز قطورچای

با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در شکل (۴) نشان داده شده است که حوضه‌های رودخانه‌ای هر یک با توجه به موقعیت و ویژگی‌های اقلیمی، شدت سیل‌خیزی متفاوتی داشته و بر اساس سایر ویژگی‌های جغرافیایی دارای قسمت‌های سیل‌خیز یا پهنه‌های سیل‌گیر هستند. پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها زیاد است، تفکیک و با یک‌دیگر تلفیق شده‌اند. در لایه تلفیق شده محدوده‌هایی وجود دارد که پارامترهای مذکور در آن حضور دارد. پایین‌ترین امتیاز مربوط به مناطقی است که تنها یکی از پارامترها در آن لایه وجود دارد. حوضه‌های رودخانه‌های کوچک از فراوانی سیل‌خیزی بالاتری برخوردارند، اما شدت سیلاب‌های آن‌ها کم‌تر است. سیلاب‌های ناحیه کوهستانی از قدرت تخریب بالایی برخوردارند با این حال به‌دلیل نبود سکونتگاه بزرگ در این نواحی، خسارت‌ها عمدتاً متوجه باغات و اراضی کشاورزی و یا سکونتگاه‌های روستایی است که با نتایج خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر افزایش سیلاب در پایین‌دست در یک راستا می‌باشد. سیلاب در نواحی سیلاب‌دشتی مانند دشت خوی خسارت‌های گسترده‌تری را به‌وجود می‌آورد. بخش عمده‌ای از سیلاب‌ها در نواحی کوهپایه و دشت‌ها بر اثر تغییرات کاربری اراضی و دخالت‌های انسانی اتفاق افتاده است. روند تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که علی‌رغم کاهش میزان بارش‌ها از میزان سیل‌ها کاسته نشده و حتی برعکس در برخی از موارد بر فراوانی سیلاب‌ها افزوده شده است. این خود نشان می‌دهد که سیل تنها بر اثر شدت بارش‌ها به‌وجود نیامده و نوسان شاخص‌های اقلیمی و کاهش ضـریب برفی و روند بیابانی شـدن اقلیم نقش بیش‌تری در تواتر سیلاب‌ها داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

برای دست‌یابی به نتیجه نهایی، چهار لایه پهنه‌بندی مورد تلفیق با یک‌دیگر انطباق داده شد و سرانجام نقشه نهایی پهنه‌بندی تهیه گردید. با توجه به این‌که رویکرد سیل در طول آبراهه اصلی از دامنه و فراوانی بیش‌تری برخوردار است،

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

بنابراین با دخالت متغیر رتبه‌بندی آبراهه‌ها اقدام به طبقه‌بندی و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل در حوضه مورد مطالعه گردید. روش‌های پهنه‌بندی به‌کار رفته در حوضه آبخیز قطورچای نتایج درستی ارائه داده‌اند و عوامل طبیعی به نسبت عوامل انسانی منطقه در تشدید پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبخیز قطورچای نقش بیش‌تری دارند. از دیگر عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب در حوضه مورد مطالعه می‌توان به شیب نسبتاً زیاد، بارش شدید و رگباری در حوضه‌های کوچک کوهستانی مانند اورین بزرگ و منشرف، تجاوز به حریم و بستر رودخانه‌ها و عدم رعایت حرایم فنی و کیفی رودخانه‌ها به‌ویژه در حاشیه نواحی سکونتگاهی خوی، وجود رسوبات نفوذناپذیر و سازندهای نرم و فرسایش‌پذیر، از بین بردن پوشش‌گیاهی و بهره‌برداری از اراضی، ریختن زباله در آبراهه‌ها و مسیل‌ها و هم‌چنین بارش‌های خارج از فصل بارندگی (تابستان) و تولید سیلاب‌های گل‌آلوده همراه با بار رسوبی سنگین اشاره کرد که منجر به افزایش احتمال سیل‌خیزی و بروز خطرات در در پیرامون شهر خوی می‌شود. پهنه‌بندی سطح حوضه آبخیز قطورچای به لحاظ احتمال وقوع سیلاب و شناسایی مناطق با پتانسیل‌های مختلف سیلابی شدن انجام گرفت و راهکارها و سیاست‌های اجرایی مناسبی در جلوگیری از بروز سیلاب و مهار آن در حوضه آبخیز قطورچای می‌تواند اجرا شود که می‌توان به ایجاد و ساخت سدها و آب‌بندها برای کم کردن سرعت حرکت آب‌های جاری و ذخیره و انباشت آب، رعایت اصول و ضوابط مهندسی رودخانه در احداث پل‌ها مطابق شرایط استاندارد و پخش سیلاب در زمین‌های پیرامون قابل نفوذ برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی به‌صورت طبیعی اشاره کرد. هم‌چنین امتیازبندی لایه‌های اطلاعاتی در پهنه‌بندی خطر و قوع سیل، این قابلیت را در اختیار می‌گذارد که ارزش هر واحد و هر لایه در تلفیق دخالت داده شود و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در قالب مدل‌های مختلف انجام پذیرد. اما در تمامی موارد نمی‌تواند به‌طور کامل با واقعیت منطبق باشد. بنابراین آگاهی از میزان پتانسیل سیل حوضه‌های آبخیز می‌تواند در تدوین برنامه‌های مختلف برای مدیریت بحران، اختصاص بودجه لازم، مدیریت منابع آب، آبخیزداری و برنامه‌های مقابله با فرسایش بسیار مفید باشد.

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ الناز پیروزی و بتول زینالی. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوزه آبخیز آق‌لاقان‌چای با استفاده از مدل ویکور. *ژئومورفولوژی کمی*، **۴(۳)**: ۲۴۵-۲۳۱.

حسن‌زاده نفوتی، محمد و حبیب‌الله خواجه بافقی. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطور بافق). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، **۷(۱۴)**: ۳۷-۲۹.

خیری‌زاده آروق، منصور؛ جبرائیل ملکی و حمید عمونیا. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوزه آبریز مردق‌چای با استفاده از مدل ANP. *ژئومورفولوژی کمی*، **۳**: ۵۶-۳۹.

دهقانی، مژگان؛ احمد عباس‌نژاد و حسین نگارش. ۱۳۹۵. بررسی خطر سیل و پهنه‌بندی آن در دشت بافت، جنوب شرقی ایران. *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، **۲۰**: ۱۵۲-۱۴۱.

رجبی‌زاده، یوسف؛ سید علی ایوب‌زاده و عبدالرضا ظهیری. ۱۳۹۸. بررسی سیل استان گلستان در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ارائه راهکارهای کنترل و مدیریت آن در آینده. *اکوهیدرولوژی*، ۶(۴): ۹۴۲-۹۲۱.

رحمانی، محمد؛ مهدی عبوری و ساره مال آقاجانزاده. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از روش‌های هم‌پوشانی ترکیب خطی وزنی (WLC) و سناریوهای میانگین وزنی مرتب شده (OWA) (مطالعه موردی: شهر ساری/مازندران/ایران). *کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم کشاورزی و محیط‌زیست*، ۱۹-۱.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

رستمی، نورالدین و یونس کاظمی. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۶(۱)**: ۱۹۳-۱۷۹.

رضایی‌مقدم، محمد؛ اندریانی، صغری؛ الماس‌پور، فرهاد، خلیل ولی‌زاده کامران و ابوالفضل مختاری اصل. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر کاربری و پوشش اراضی بر روی سیل‌خیزی و دبی رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد علویان). *هیدروژئومورفولوژی*، **۱(۱)**: ۵۷-۴۱.

سلیمانی، کریم و شادمان درویشی. ۱۳۹۹. پهنه‌بندی و پایش خطر سیل بهار ۱۳۹۸ خوزستان با استفاده از داده‌های لندست ۸. *اکوهیدرولوژی*، **۷(۳)**: ۶۶۲-۶۴۷.

عابدینی، موسی و محمدحسین فتحی. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز خیاوچای). *هیدروژئومورفولوژی*، **۱(۳)**: ۱۲۰-۹۹.

فتحعلی‌زاد، بیوک؛ موسی عابدینی و معصومه رجبی. ۱۳۹۹. بررسی علل وقوع سیلاب و مخاطرات آن در حوزه آبریز زنوزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و منطق فازی. *ژئومورفولوژی کمی*، **۹(۱)**: ۱۵۵-۱۳۴.

فرجی سبکبار، حسن علی؛ سیروس حسن‌پور، آرش ملکیان و هایده کیانی‌آلرد. ۱۳۹۳. مقایسه کارایی مدل‌های MCDM در مکان‌یابی پخش سیلاب در محیط GIS مطالعه موردی: حوزه آبریز گربایگان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تبریز*، **۱۸(۴۹)**: ۱۹۰-۱۶۷.

مؤمنی، منصور و علیرضا شریفی سلیم. ۱۳۹۰. *مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه*، چاپ اول، نشر مؤلفین، تهران. ۲۲۴.

مؤمنیان، پروین؛ حبیب نظرنژاد، میرحسن میریعقوب‌زاده و رئوف مصطفی‌زاده. ۱۳۹۷. ارزیابی و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز قطورچای بر اساس درجه سلامت آبخیز (مطالعه موردی: قطورچای، خوی، آذربایجان غربی). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، **۹(۱۷)**: ۱۳-۱.

یمانی، مجتبی و مریم عنایتی. ۱۳۸۴. ارتباط ویژگی‌های ژئومرفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومرفولوژیک حوضه‌های فشند و بهجت‌آباد). *پژوهش‌های جغرافیای*، **۵۴**: ۵۷-۴۷.

Ahamed, A.; and J.D. Bolten. ۲۰۱۷. A MODIS-based automated flood monitoring system for southeast asia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ٦١: ١٠٤-١١٧.

Das, S. ۲۰۱۸. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, ١١: ٥٧٦.

Hammami, S.; L. Zouhri, D. Souissi, A. Souei, A. Zghibi, A. Marzougui, and M. Dlala. ٢٠١٩. Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, ١٢: ٦٥٣.

Leskens, J.G.; M. Brugnach, A.Y. Hoekstra, and W. Schuurmans. ٢٠١٤. Why are decision flood disaster management so poorly supported by information from flood models? *Environmental Modeling & Software*, **٥٣**: ٥٣-٦١.

Machado, V.H.; A.P. Barroso, and V.C. Machado. ٢٠١٤. An analytic network process model to support decision making in a pharmaceutical supply Chain. *In: 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, ١٦١٢-١٦١٦.

Mishra, K.; and R. Sinha. ٢٠٢٠. Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. *Geomorphology*, **٣٥٠**:١-١٣.

Ogato, G.S.; A. Bantider, K. Abebe, and D. Geneletti. ٢٠٢٠. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, ٢٧: ١-١٨.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

Saaty, T.; and L. Vargas. ۲۰۰۶. Decision making with the analytic network process, Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks, Springer, New York.

Wu, Y.; P. Zhong, Y. Zhang, B. Xu, B. Ma, and K. Yan. ۲۰۱۵. Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, ۷۸(۱): ۶۳۵-۶۵۱.

Yang, X.; J. Ding, and H. Hou. ۲۰۱۳. Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. *Natural hazards*, ۶۸: ۶۵۷-۶۷٤.

Zhang, D.; X. Shi, H. Xu, Q. Jing, X. Pan, T. Liu, H. Wang, and H. Hou. ۲۰۲۰. A GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*, ۸۳:۱-۱۳.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.135]