نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری، دوره یازدهم، شماره ۴، خرداد ماه ۱۴۰۱ - مقاله پژوهشی

مکانیابی مراکز اسکان موقت سیل‌زدگان مبتنی بر تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و الگوریتم بهینه‌سازی (مطالعه موردی: مازندران)

رحمت الله صادقی پالند[۱]، یاسر ابراهیمیان قاجاری[۲*]

[۱] کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
rahmat.sadeghi1992@gmail.com

[۲] استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
y.ebrahimian@nit.ac.ir

(تاریخ دریافت آذر ۱۴۰۰، تاریخ تصویب بهمن ۱۴۰۰)

چکیده

انتخاب مکان بهینه و مناسب برای اسکان موقت آسیب‌دیدگان ناشی از سوانح طبیعی نظیر سیل، از دیرباز مورد توجه برنامه‌ریزان و متولیان مدیریت بحران بوده است. در صورت عدم مکانیابی صحیح این مراکز، ممکن است خسارت‌های سنگینی به دنبال داشته باشد. از طریق تهیه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی می‌توان مناطقی که احتمال خسارت زیادی دارند را شناسایی نمود و در مناطق با ریسک پایین سیلاب، اقدام به احداث مراکز اسکان موقت کرد. هدف از این پژوهش، تعیین مکان‌های مناسب به منظور استقرار مراکز اسکان موقت پس از وقوع سیل در استان مازندران می‌باشد. برای تحقق این هدف، ابتدا با استفاده از نظرات کارشناسان متخصص در حوزه‌های مهندسی آب، ژئوتکنیک، مدیریت بحران و زمین شناسی تحقیقات گذشته، تعداد ۹ معیار موثر در مکانیابی اسکان موقت استخراج و نقشه‌های معیار تهیه و نرمال سازی شده است. این معیارها بوسیله‌ی نرم افزار SAGA GIS آماده سازی شدند و برای وزن‌دهی به این معیارها نیز با استفاده از نظرات کارشناسان و تحقیقات پیشین، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. در گام بعد، جهت تلفیق معیارها با توجه به وزن‌های محاسبه شده از روش AHP، استفاده شده است و نقشه‌ی نهایی در چهار کلاس "بسیار مناسب"، "مناسب"، "نامناسب" و "بسیار نامناسب" طبقه‌بندی شده است. با استفاده از نقشه خروجیِ حاصل از هم‌پوشانی لایه‌ها، نواحی منتخب برای مکانیابی اسکان موقت پس از وقوع سیل، مشخص می‌شود. در نهایت با استفاده از یکی از مدل‌های مکانیابی، مکان دقیق و بهینه‌ی اسکان موقت با توجه به هدف مورد نظر تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر در دو کلاس "بسیار مناسب" و "مناسب" حاصل از مرحله قبل، با استفاده از تابع P_Median در الگوریتم ژنتیک، به مکانیابی مراکز اسکان موقت پس از سیلاب با توجه به نقاط جمعیتی پرداخته شده است. الگوریتم به جستجوی ۱۵ مکان از میان نقاط کاندیدا برای اسکان موقت می‌پردازد که در نتیجه مراکز در مناطق با جمعیت بالا در دو کلاس مطلوب‌تر نسبت به سایر کلاس‌ها مکانیابی شده‌اند.

واژگان کلیدی: اسکان موقت، سیلاب، سیستم اطلاعات مکانی، تحلیل سلسله مراتبی، استان مازندران، p-median

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

سیل به معنای طغیان ناگهانی آب ناشی از برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و آب و هوایی در یک منطقه می‌باشد. در هنگام یا پس از یک بارنگی شدید و یا با آب شدن برف‌ها و تکه‌های بزرگ، مقدار دبی رودخانه‌ها به سرعت افزایش می‌یابد و مقدار آب جاری در حوضه از ظرفیت نگهداری آب در یک آبخیز تجاوز می‌نماید که در نتیجه‌ی آن آب از بستر عادی خود به صورت رواناب سرریز کرده و به مناطق پایین دست انتقال می‌یابد و زمین‌های پست و مناطق اطراف را در بر می‌گیرد که به این جریان عظیم سیل گفته می‌شود. به عبارت دیگر سیل جریانی است که نسبت به میانگین حجم آب در طول رودخانه بالاتر باشد [۱]. حوادث طبیعی از دیرباز به عنوان مخرب‌ترین عامل آسیب‌رسان به انسان، جامعه و زیست‌گاهش مطرح شده است. همه ساله در نقاط مختلف جهان افراد زیادی بر اثر وقوع سوانح طبیعی نظیر سیلاب جان و مال خویش را از دست می‌دهند [۲و۳]. از جمله مسائل مهم و اساسی در مدیریت بحرانِ بلایای طبیعی، تعیین مکان مناسب و امن برای اسکان جمعیت آسیب‌دیده پس از وقوع بحران می‌باشد. سیلاب به عنوان مخرب‌ترین فاجعه‌ی طبیعی در جهان، حدود یک سوم خطرات ژئوفیزیکی جهانی را تشکیل می‌دهد که بر اثر رواناب اضافی بوجود می‌آیند [۴]. بسته به عوامل مختلفی نظیر شدت بارش، نوع و رطوبت خاک، پوشش زمین و کاربری اراضی می‌تواند افزایش یا کاهش یابند و زندگی انسانی و حیوانات را به خطر بیاندازند. به عبار ت دیگر، اندازه و شدت سیل در هر منطقه به عوامل متعددی همچون حجم و زمان طغیان رواناب سطحی بستگی دارد. ویژگی‌های فیزیکی حوضه نظیر سطح ناهمواری و توپوگرافی زمین، جنبه‌های هیدرولوژی مانند جلوگیری توسط گیاهان، تبخیر، تعرق، نفوذپذیری و اقدامات ناشی از فعالیت‌های بشری در بروز و تشدید و کاهش یا افزایش میزان خسارت وارده دخالت دارند.

کشور ایران نیز از جزء مناطق سیل‌خیز می‌باشد و از این امر مستثنا نیست و هر ساله در مناطق مختلف کشور سیلاب‌های بزرگ رخ می‌دهد. در سال‌های اخیروقوع سیلاب به صورت مکرر در کشور موجب کشته و مجروح و مفقود شدن هموطنان و از بین رفتن منابع طبیعی، شهرها و تاسیسات زیربنایی و مزارع و زیرساخت‌ها می‌شود. آمارهای هواشناسی در ۵۰ سال اخیر مبین روند افزایشی دمای سالانه کشور از سال ۴۷ تا ۹۷ می‌باشد که طبق آمار در هر دهه حدود ۰/۴ درجه سیلسیوس افزایش دما در کشور داشته‌ایم [۵]. یکی از مشخصات گرم شدن زمین و تغییرات اقلیمی، وقوع مخاطرات طبیعی به صورت سیل و طوفان با دوره تناوب کوتاه و مکرر است. در وقوع سیلاب البته دخالت انسان و تجاوز به حریم رودخانه‌ها، نابودی جنگل‌ها و از بین بردن منابع طبیعی در دهه‌های اخیر، نقش اساسی بازی کرده است. همچنین با افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی، عدم توجه به ظرفیت‌های محیطی و استفاده نامناسب از منابع، باعث افزایش خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به جوامع شده است [۶].

از اواخر اسفندماه سال ۹۷ با افزایش بارش‌ها در شمال کشور، استان مازندران درگیر طغیان رودها و سیلابی شدن آن‌ها شده است و تقریبا تمام شهرهای این استان درگیر آب‌گرفتگی شدند. آب‌گرفتگی در برخی مناطق بیشتر رخ داده که این امر باعث تخلیه‌ی ساکنان مناطق درگیر شد. حدود ۶۵۰۰ واحد مسکونی از صفر تا صد درصد تخریب شده است که این موضوع، اهمیت اسکان موقت سیل زدگان را نشان می‌دهد. با توجه به آسیب دیدن و آب گرفتگی منازل و سرپناه‌های افراد در جریان سیل، باید جهت انتقال افراد از نواحی آسیب‌دیده به مکان‌های امن و از پیش تعیین شده چاره‌ای اندیشید. حال باید ببینیم که معیارها و فاکتورهای موثر در مکانیابی سایت اسکان موقت چیست؟ منطقه مورد مطالعه پتانسیل لازم برای اسکان سیل‌زدگان را دارد؟

مطالعه سیلاب در یک حوضه، مستلزم بکارگیری حجم بالایی از اطلاعات و داده‌های متنوع در مورد ویژگی‌های منطقه، شامل شبکه‌های آبریز، شیب منطقه، نوع خاک و غیره می‌باشد [۷]. بر این اساس برنامه‌ریزی و انجام اقدامات جامع جهت پیشگیری و کاهش خسارات ناشی از سیلاب در قالب طرح‌های مطالعاتی و اجرایی از اهمیت بسزایی در راستای دستیابی به اهداف توسعه‌ی پایدار برخوردار می‌باشند.

با درنظر گرفتن فاکتورهای مهم در جاری شدن سیل، می‌توان مناطق با پتانسیل بالای سیل‌خیزی را مشخص نمود تا مسیرهای مطمئن برای امدادرسانی و مکان‌های امن برای اسکان سیل‌زدگان را شناسایی کرد [۸].

مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی معمولاً شامل مجموعه‌ای از موقعیت‌های مکانی است که باید بر اساس چندین معیار مختلف ارزیابی شوند. پردازش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در GIS[1] را می‌توان به منزله‌ی فرآیندی در نظر گرفت که در آن داده‌های مکانی (نقشه‌ها) و مقادیر ارزیابی‌ها (اولویت‌ها و معیارهای تحلیل‌گران) باهم ترکیب می‌شوند [۹]. به عبارتی GIS-MCDM مدلی مشخص برای بهینه‌سازی تصمصم‌گیری‌های مکانی ارائه می‌کند. سیستم اطلاعات مکانی با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی[2] و با بکارگیری مدل‌های مکانیابی، ابزارهایی هستند که در یافتن مکان مناسب و ایمن برای اسکان موقت سیل‌زدگان مفید خواهند بود. ارزیابی ریسک سیلاب با استفاده از روش چندمعیاره مبتنی بر GIS یک رویکرد نسبتا جدیدی است که بطور فزاینده‌ای در این حوضه استفاده می‌شود [۱۰].

هدف تحقیق حاضر، مکانیابی بهینه اسکان موقت پس از سیل برای جمعیت آسیب‌دیده با تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی[3] و سیستم اطلاعات مکانی می‌باشد. در گام بعد با بهره‌گیری از یکی از مدل‌های مکانیابی در الگوریتم ژنتیک به جستجوی مکان بهینه در کلاس‌های امن‌تر برای اسکان موقت پرداخته خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه بسیاری از شاخص‌ها ماهیت مکانی دارند، می‌توان گفت سامانه اطلاعات مکانی با قابلیت‌های بسیار بالا در اخذ، ذخیره، ویرایش و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی نقش بسزایی در مدلسازی آسیب‌پذیری و مکانیابی مراکز اسکان موقت دارد. با توجه به ماهیت چندمعیاره بودن مسئله، بدیهی است GIS به تنهایی قادر به درنظر گرفتن همزمان معیارها و وزن آن‌ها و ترکیب آن‌ها نبوده. لذا در اینگونه تحقیقات باید از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS استفاده کرد [۱۱]. در این تحقیق ابتدا داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری و تولید شده است و تبدیل به نقشه‌های معیار شدند. سپس با استفاده از مدل AHP معیارها دو به دو توسط کارشناسان مربوطه با هم مقایسه شده‌اند و وزن نهایی آن‌ها محاسبه شده است. در گام بعد روی نقشه‌های معیار بر اساس وزن تعیین شده هم‌پوشانی صورت گرفته و نقشه‌ی مکانیابی اسکان موقت در ۴ کلاس خطرپذیری تولید شده است. در ادامه، با استفاده از نقشه خروجیِ حاصل از هم‌پوشانی لایه‌ها، نواحی منتخب برای مکانیابی اسکان موقت پس از وقوع سیل، مشخص می‌شود. در نهایت با استفاده از یکی از مدل‌های مکانیابی، مکان دقیق و بهینه‌ی اسکان موقت با توجه به هدف مورد نظر تعیین می‌گردد. یکی از تفاوت‌های تحقیقات پیشین انجام شده با روشی که در این مقاله ارائه شده است در این است که ابتدا با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و در نظر گرفتن معیارهای مکانی مهم، به تعیین مکان‌های مناسب برای مکانیابی اسکان موقت پس از سیلاب می‌پردازیم و سپس از میان مکان های منتخب، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مکان مناسب برای اسکان موقت سیل‌زدگان انجام می شود.

۲-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از تکنیک‌های قدرتمند تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ساعتی ارائه شده است [۱۲]. به عبارت دیگر، AHP یک روش ارزیابی چندمعیاره ریاضی در تصمیم‌گیری است که معیارهای کمی و کیفی را در تصمیم‌گیری ادغام می‌کند [۱۳]. این مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر مقایسه زوجی بین معیارها می‌باشد که اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌شود [۱۴]. مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی تقسیم مسئله‌ی تصمیم‌گیری به بخش‌های کوچک‌تر است که تصمیم‌گیرندگان به سوی مقایسه زوجی بین معیارهای مؤثر در مسئله تصمیم‌گیری هدایت می‌کند تا میزان اهمیت هر یک از معیارها توسط کارشناسان در سلسله مراتب بیان شود. با توجه به اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها، مقادیر عددی اختصاص داده می‌شود. در نهایت معیارهایی که دارای بیشترین اهمیت باشند، مشخص می‌شود و ترتیب اولویت معیارها تعیین می‌شود [۱۵]. تکنیک تحلیل سلسله مراتبی به طور کلی شامل سه گام اساسی می‌باشد: اولین مرحله در این مدل، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که معمولا در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. گام بعدی شامل تشکیل ماتریس

[1] Geospatial Information System
[2] Spatial Multi Criteria Decision Making
[3] Analytical Hierarchy Process (AHP)

مقایسه‌های زوجی می‌باشد. و در نهایت محاسبه وزن معیارها و بررسی نرخ ناسازگاری است. به‌منظور بررسی اعتبار قضاوت‌ها باید شاخص ناسازگاری برای هر ماتریس بوسیله رابطه (۱) محاسبه شود. شاخص ناسازگاری کمتر از ۰/۱ بیان‌کننده‌ی مقبولیت تصمیم‌گیری می‌باشد. در رابطه (۱)، CI شاخص ناسازگاری، $\lambda_{\max}$ بزرگترین مقدار ویژه ماتریس اولویت‌بندی و n، مرتبه ماتریس می‌باشند. مبنای وزن‌دهی به معیارها در روش AHP در جدول (۱) آمده است [۱۲و۱۶].

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \qquad (۱)$$

جدول ۱- طبقه‌بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فاصله‌های بالا	۲، ۴، ۶ و ۸

۲-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار(موجودات زنده) است. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است و اصول اولیهٔ آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است و با تقلید از تعدادی از فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی اختراع شده است. الگوریتم ژنتیک در هر تکرار محاسباتی (نسل) روی جمعیتی از کروموزوم‌ها عمل کرده و تغییرات تصادفی روی مجموعه کروموزوم‌ها از طریق اعمال عملگرهای ژنتیکی (جهش و ادغام) روی کروموزوم‌ها انجام می‌دهد. پس از اعمال این عملگرها دنباله کروموزوم‌ها رمزگشایی شده و جواب‌های مختلف به‌دست آمده از نظر عملکرد بر اساس تابع هدف ارزیابی شده و انتخاب برای نسل بعدی بر مبنای این ارزیابی انجام می‌شود [۱۷]. این الگوریتم در مسائل متنوعی نظیر بهینه‌سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسایل ترکیبی، تعین توپولوژی و آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های مبتنی بر تصمیم و قاعده به کار می‌رود [۱۸]. این الگوریتم دارای سه عملگر مهم زیر می‌باشد که هر کدام به طور خلاصه توضیح داده می‌شود [۱۹].

انتخاب: انتخاب عملی است که در آن کروموزوم‌های نسل بعدی از جمعیت فعلی تعیین می‌شوند این عمل مهم ترین مرحله در الگوریتم ژنتیک بوده و نقش بسیار مهمی را در این فرایند ایفا می‌کند. روش‌های مختلفی برای این عمل وجود دارد که می‌توان به روش‌های انتخاب بر اساس چرخ رولت، انتخاب نخبگان، انتخاب بولتزمن، انتخاب رتبه‌بندی و انتخاب تورنمنت اشاره کرد.

ادغام: ترکیب یا تولید مثل عملی است که بر روی دو کروموزوم از جمعیت موجود عمل کرده و خصوصیات آن دو را به طور تصادفی از نقطه تقاطع تعویض می‌کند. نقطه تقاطع بصورت تصادفی انتخاب می‌شود و می‌تواند تک نقطه، دو نقطه و یا چندین نقطه باشد. سرعت ترکیب توسط کاربر تعیین می‌شود. افزایش سرعت ترکیب باعث افزایش تولید مثل جمعیت شده، اما در عوض احتمال از دست دادن کروموزوم‌های با برازندگی بالا وجود دارد.

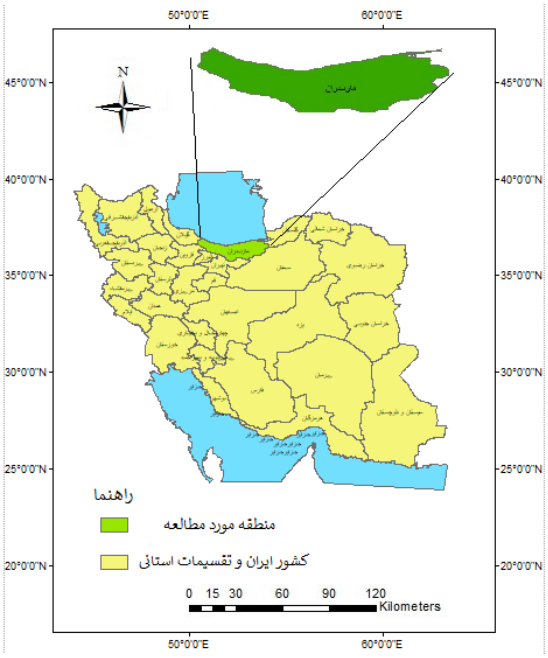
جهش: جهش عملگری است که بر روی یکی از کروموزوم‌های جمعیت عمل می‌کند و خصوصیات آن را فقط در نقطه جهش تغییر می‌دهد. از دیدگاه الگوریتم ژنتیک باینری این امر به معنی تغییر ژن موجود در نقطه جهش روی کروموزوم‌هایی است که برای عمل جهش انتخاب می‌شوند. احتمال جهش توسط کاربرد تعیین می شود که عموما در حدود ۰/۰۱ می‌باشد. اگر تعداد جمعیت اولیه کم باشد الگوریتم باید دارای سرعت جهش بالایی باشند و برعکس، در لحظاتی که مساله به جواب نزدیک می‌شود تاثیر عملگر جهش بیشتر از عملگر تولید مثل می باشد. در واقع این عملگر از حرکت تابع بهینه شونده به سمت نقاط بهینه محلی جلوگیری می‌کند.

۳- پیاده‌سازی و ارائه نتایج

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با مساحت ۲۳۸۳۳ کیلومتر مربع و اختصاص دادن ۱/۴۶ درصد از مساحت کشور به خود، بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان در قسمت شمال مرکزی کشور واقع و از شمال به دریای مازندران ، از

جنوب به استانهای تهران و سمنان ، از غرب و جنوب غرب به گیلان و قزوین و از شرق به استان گلستان محدود است. در سرشماری عمومی سال ۱۳۹۰، جمعیت استان برابر ۳۲۸۳۵۸۲ نفر می‌باشد. در حالت کلی، استان مازندران از نظر طبیعی به دو قسمت جلگه ساحلی و کوهستانی تقسیم می‌شود. میانگین بارندگی سالیانه حدود ۶۳۰ میلی‌متر می‌باشد. در این استان به دلیل بارش‌های شدید باران و برف، سیلاب‌هایی رخ داده است که می‌توان به سیلاب تیر ماه سال ۱۳۹۴، مهرماه ۱۳۹۱، اسفندماه ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ اشاره کرد که خسارت‌های جانی و مالی زیادی را به همراه داشته است. در شکل (۱) موقعیت استان مازندران در کشور نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (استان مازندران)

۳-۲- آماده سازی نقشه‌های معیار

به منظور مکانیابی اسکان موقت پس از وقوع سیل نیاز به معیارهایی است که بر اساس آن‌ها اقدام به مکانیابی شود. بدین منظور پس از بررسی منابع و استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصین، نه معیار که نقش اساسی در انتخاب مکان مناسب و ایمن برای اسکان موقت دارند، بکارگیری شده‌اند. تمامی معیارها با فرمت رستر و با اندازه پیکسل ۳۰ متر تهیه شده‌اند. با توجه به ناهمگنی معیارها و همچنین تفاوت در ماهیت آن‌ها نقشه‌های تولید شده نرمال می‌شوند. فرایند نرمال‌سازی استقلال روش از نوع و واحد داده را افزایش می‌دهد. بنابراین برای این منظور لایه‌هایی که بالا بودن مقدار آن‌ها با خطر بیشتر سیلاب همراه است با استفاده از معادله ۲ و لایه‌هایی که پایین بودن مقدار آن‌ها خطر بیشتری به دنبال دارد با معادله ۳ نرمال می‌شوند.

$$Y = \frac{X - X^{\min}}{X^{\max} - X^{\min}} \quad (۲)$$

$$Y = \frac{X^{\max} - X}{X^{\max} - X^{\min}} \quad (۳)$$

در این معادلات X لایه نرمال نشده و Y لایه نرمال شده می‌باشد. Xmin و Xmax به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار از لایه است. معیارهای انتخاب شده عبارتند از: فاصله از شبکه راه، فاصله از گسل‌های فعال، فاصله از مراکز جمعیتی شهری، فاصله از مراکز جمعیتی روستایی، شیب، فاصله از بیمارستان، فاصله از شبکه آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)[۱] و شماره منحنی(CN)[۲].

شاخص رطوبت توپوگرافی: این شاخص ابزاری مفید برای توصیف شرایط رطوبتی خاک می‌باشد. بنابراین از این شاخص برای توصیف الگوی مکانی رطوبت خاک استفاده می‌شود [۲۰و۲۱]. شاخص رطوبت توپوگرافی یک پارامتر ساده ریاضی از وضعیت رطوبت خاک است و به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود که α مساحت بالادست در واحد طول خط تراز (یا مساحت حوضه) و $\tan\beta$ زاویه شیب می‌باشد [۲۲]. برای محاسبه‌ی این لایه از نرم‌افزار SAGA GIS استفاده شده است. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، پتانسیل وقوع سیل در آن منطقه بیشتر است و آن ناحیه مکان مناسبی برای اسکان آسیب‌دیدگان نمی‌باشد.

$$TWI = \ln\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right) \quad (۴)$$

شیب: برای محاسبه شیب از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. شیب نقش مهمی در مطالعه خطرات سیل بازی می‌کند؛ زیرا سرعت جریان آب و نفوذ رواناب سطح را کنترل می‌کند [۲۳]. شیب محصول اصلی ارتفاع است. لایه ورودی برای محاسبه شیب، DEM می‌باشد. مناطقی که دارای شیب کمتری باشند، برای مکانیابی

۱ Topographic Wetness Index
۲ Curve Number

اسکان موقت مناسب‌تر می‌باشند؛ چرا که هر چه شیب منطقه کمتر باشد، فرصت بیشتری برای نفوذ در خاک فراهم می‌شود.

شماره منحنی: CN یک پارامتر تجربی است که در هیدرولوژی برای پیش‌بینی رواناب مستقیم حاصل از بارش استفاده می‌شود. رواناب یکی از متغیرهای هیدرولوژیکی بسیار مهم و مورد استفاده در اکثر تحقیقات مرتبط با آب است [۲۴و۲۵]. پیش‌بینی قابل اطمینان از کیفیت و نسبت رواناب سطح زمین در داخل جریان‌های رودخانه سخت می‌باشد و برای حوضه‌های آبریز فاقد داده‌های اندازه‌گیری شده، زمان زیادی باید صرف شود تا این پیش‌بینی بدست آید[۲۶]. این روش توسط سرویس حفاظت از خاک (Soil Conservation Service) وزارت کشاورزی ایالت متحده ایجاد شده است. مقدار CN به گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه، کاربری زمین و شرایط رطوبت خاک بستگی دارد. مقدار این شاخص در بازه ۳۰ تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد و هرچه این مقدار بزرگ‌تر باشد، پتانسیل آن منطقه برای وقوع سیلاب بیشتر است[۲۷]. در این تحقیق لایه CN از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شده است.

فاصله از مراکز جمعیتی شهری و روستایی: لایه مراکز جمعیتی از طریق آمار و اطلاعات سالنامه آماری سال ۱۳۹۰ تهیه شده و سپس شیپ فایل آن‌ها ساخته شده است.

فاصله از مراکز درمانی (بیمارستان): لایه بیمارستان، از طریق لیست بیمارستان‌های دولتی و تامین اجتماعی ارائه شده‌ی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در محیط Arc GIS تولید شده است.

فاصله از گسل‌های فعال: لایه گسل‌های فعال نیز از سازمان مدیریت بحران تهیه شده است که هر چه فاصله از آن بیشتر باشد پتانسیل تولید رواناب کمتر است.

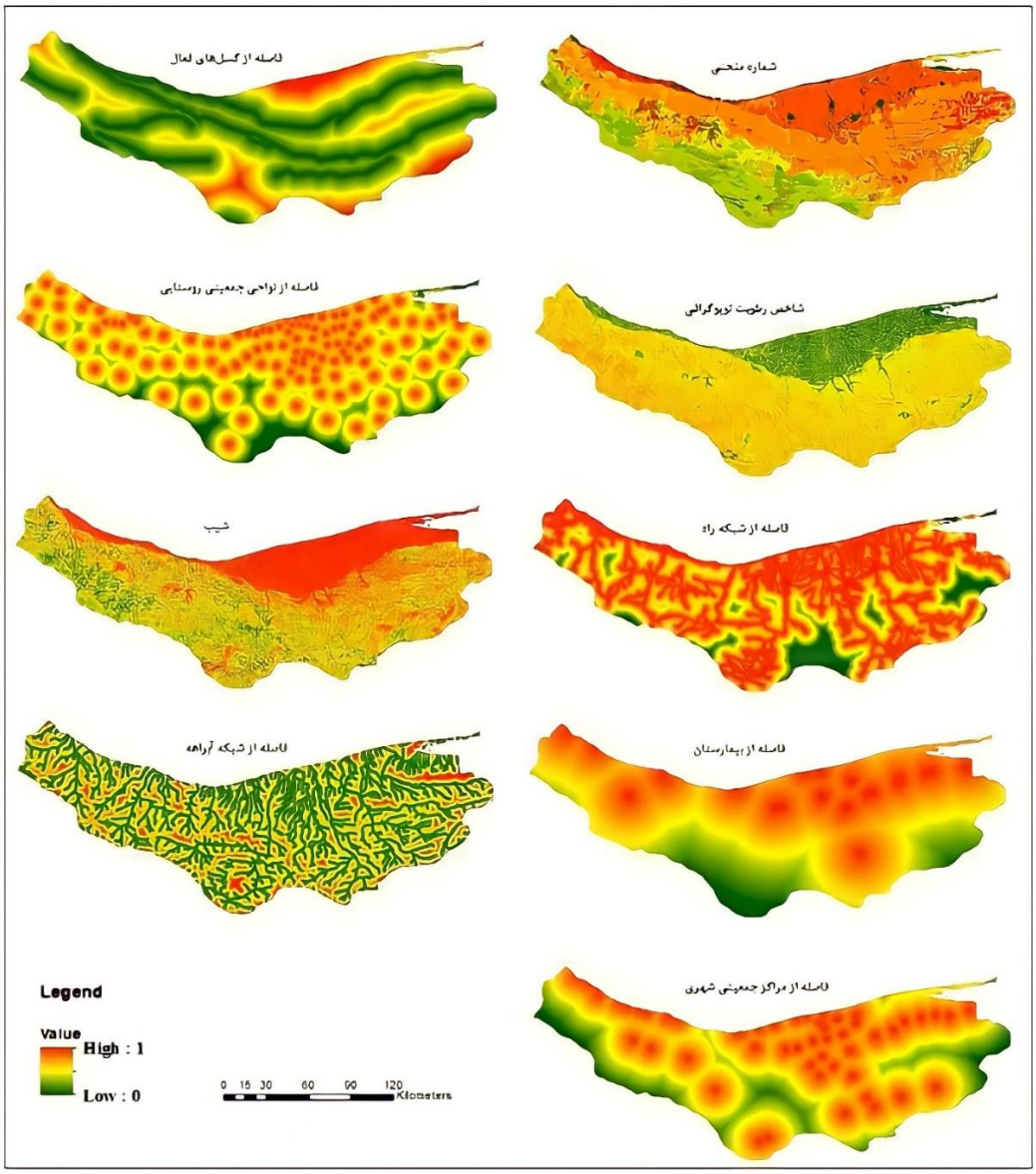
فاصله از شبکه آبراه: مناطقی که در نزدیکی آبراه‌ها قرار دارد، پتانسیل تولید سیلاب بیشتری دارد. بنابراین هرچقدر فاصله از آبراه بیشتر باشد، مکان ایمن‌تری برای اسکان سیل‌زدگان می‌باشد.

فاصله از شبکه راه: همچنین لایه شبکه راه‌های ارتباطی از سایت Open Street Map اخذ شده است. در شکل (۲) نقشه‌های معیار نرمال شده نشان داده شده است.

تمامی معیارها با فرمت رستر و با تفکیک‌پذیری مکانی ۳۰ متری تهیه شدند. با توجه به ناهمگنی معیارها و همچنین تفاوت در ماهیت آن‌ها، نقشه‌های تولید شده نرمال می‌شوند. فرایند نرمال‌سازی، استقلال روش از نوع و واحد داده را افزایش می‌دهد. بنابراین کلیه‌ی نقشه‌های معیار بین صفر تا یک نرمال شده‌اند و هر چه به عدد یک نزدیک‌تر می‌شویم، پتانسیل منطقه از منظر معیار مور نظر برای اسکان موقت افراد بی خانمان افزایش می‌یابد.

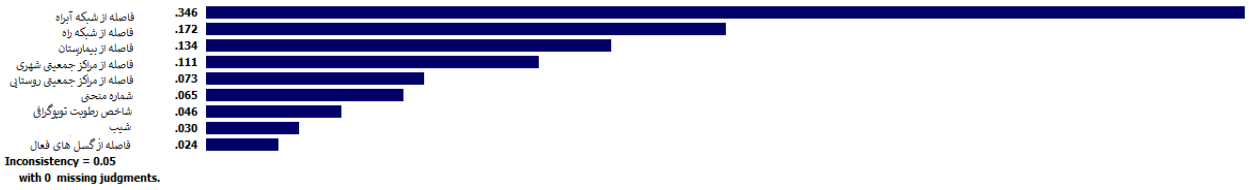
پس از مشخص شدن معیارها برای مکانیابی اسکان موقت، معیارها توسط کارشناسان مربوطه دو به دو با یکدیگر مقایسه شده‌اند (جدول (۲)) و درنهایت وزن هر کدام از معیارها تعیین شده است. هر یک از معیارها با توجه به استانداردهای موجود و بر اساس نظرات کارشناسانِ حوزه‌های هیدرولوژی، زمین‌شناسی، مدیریت بحران و GIS، به ترتیب با اعداد ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ وزن‌دهی شدند که به ترتیب بیانگر "اهمیت یکسان"، "اهمیت ضعیف"، " اهمیت قوی"، " اهمیت خیلی قوی" و " اهمیت مطلق" برای مکانیابی مراکز اسکان موقت بعد از سیلاب می‌باشند. سایر اوزان ۲، ۴، ۶ و ۸ شامل ترجیحات فواصل اعداد قبلی می‌باشند. همانطور که از جدول (۲) مشخص است در مکانیابی اسکان موقت بعد از سیل مهمترین معیار، فاصله از شبکه آبراه می‌باشد که در مقایسه دودویی نسبت به بقیه‌ی معیارها ارجحیت دارد؛ چرا که هدف این تحقیق مکانیابی مراکز اسکان موقت بعد از سیل می‌باشد و مراکز انتخابی در درجه اول باید از مسیر آبراه‌ها دور باشند. معیار دوم که ارزش و اولویت بالاتری برای اسکان موقت دارد، نزدیکی به شبکه جاده‌ای است؛ زیرا مهمترین زیرساخت برای ارائه خدمات به سیل‌زدگان ، دسترسی به راه ارتباطی می‌باشد. به عبارتی برای دسترسی به غذا، مراکز درمانی و ... شبکه راه نقش اساسی را ایفا می‌کند. شاخص دیگری که در مقایسات زوجی عدد بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد، دسترسی به بیمارستان‌ها می‌باشد. با وقوع سیلاب معمولا بیماری‌های مختلف از جمله بیماری‌های مشترک میان انسان و حیوان شیوع پیدا کرده و دسترسی به موقع به مراکز درمانی اهمیت پیدا می‌کند. مراکز اسکان موقت حدالامکان باید در نزدیکی مراکز شهری و روستایی

پر جمعیت احداث شوند تا جابجایی افراد بی‌خانمان به این مراکز به حداقل برسد. بنابراین شاخص نزدیکی به مراکز جمعیتی شهری و روستایی در اولویتی بعد از معیار دسترسی به بیمارستان قرار می‌گیرد. معیار CN که به گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه، کاربری زمین و شرایط رطوبت خاک بستگی دارد و در خود سه پارامتر را دارد، از معیار رطوبت توپوگرافی باید وزن و ارزش بیشتری داشته باشد. به همین دلیل در مقایسه‌ی زوجی معیار شماره منحنی عدد بیشتری را نسبت به شاخص رطوبت توپوگرافی به خود اختصاص می‌دهد. معیارهای شیب منطقه و فاصله از گسل با توجه به ارزش و اهمیتی که در مکانیابی اسکان موقت بعد از سیل دارند در رده‌های آخر اهمیت‌دهی قرار می‌گیرند.

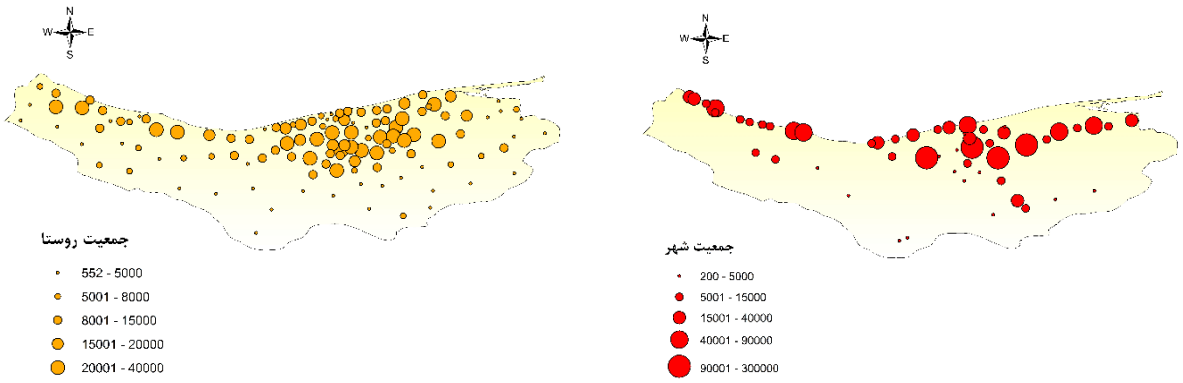


شکل ۲- نقشه‌های معیار مورد استفاده در تحقیق

پتانسیل تولید رواناب تابعی است از چندین معیار که هر معیار با یک وزن نسبی در تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب موثر است. بنابراین محاسبه وزن معیارها از این لحاظ بسیار مهم است [۷]. در این تحقیق برای وزن‌دهی به معیارها از نرم‌افزار Expert choice بهره گرفته شده است. در شکل (۳) وزن هر معیار نشان داده شده است. با توجه به نظرات کارشناسان، لایه شبکه آبراهه و شبکه راه‌های ارتباطی به ترتیب بیشترین وزن و لایه فاصله از گسل نیز کم‌ترین وزن را به خود اختصاص دادند. همچنین نرخ ناسازگاری برابر ۰/۰۵ می‌باشد که در محدوده قابل قبولی قرار دارد.



شکل ۳- وزن معیارهای مورد استفاده



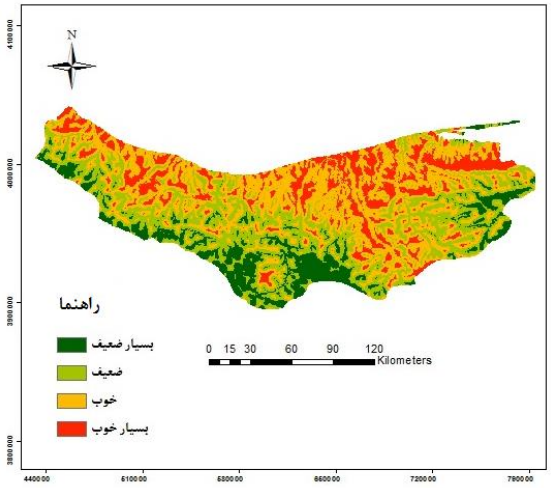
شکل۴- تراکم جمعیتی در نواحی شهری و روستایی

جدول ۲- مقایسه زوجی معیارها

معیار	شماره منحنی	شاخص رطوبت توپوگرافی	فاصله از گسل	فاصله از شبکه راه	فاصله از مراکز جمعیتی شهری	فاصله از شبکه آبراه	فاصله از بیمارستان	شیب	فاصله از مراکز جمعیتی روستایی
شماره منحنی	۱	۳	۴	۱/۴	۱/۳	۱/۷	۱/۳	۴	۱/۲
شاخص رطوبت توپوگرافی	۱/۳	۱	۳	۱/۳	۱/۳	۱/۸	۱/۳	۳	۱/۲
فاصله از گسل	۱/۴	۱/۳	۱	۱/۶	۱/۵	۱/۷	۱/۴	۱/۲	۱/۳
فاصله از شبکه راه	۴	۳	۶	۱	۲	۱/۳	۲	۴	۳
فاصله از مراکز جمعیتی شهری	۳	۳	۵	۱/۲	۱	۱/۴	۱/۲	۴	۲
فاصله از شبکه آبراه	۷	۸	۷	۳	۴	۱	۴	۷	۴
فاصله از بیمارستان	۳	۳	۴	۱/۲	۲	۱/۴	۱	۴	۳
شیب	۱/۴	۱/۳	۲	۱/۴	۱/۴	۱/۷	۱/۴	۱	۱/۳
فاصله از مراکز جمعیتی روستایی	۲	۲	۳	۱/۳	۱/۲	۱/۴	۱/۳	۳	۱

۳-۳- تعیین مراکز کاندیدا

پس از تهیه‌ی نقشه‌های معیار و تعیین وزن آن‌ها، هم‌پوشانی این لایه‌ها صورت گرفته است. نقشه‌ی نهایی در چهار کلاس "بسیار خوب"، "خوب"، "ضعیف" و "بسیار ضعیف" طبقه‌بندی شده است. در شکل (۴) نقشه نهایی کلاسه‌بندی شده برای اسکان موقت بعد از سیل نشان داده شده است. برای پیدا کردن نقاط کاندید برای ورود به الگوریتم بهینه‌سازی، از دو کلاس "بسیار مناسب" و "مناسب" استفاده شده است.



شکل۵- نقشه نهایی اسکان موقت بعد از سیل در چهار کلاس

دو کلاس "بسیار نامناسب" و "نامناسب" در تعیین مراکز اسکان موقت حذف گردیده‌اند. در واقع هدف از پیاده‌سازی فرایند تحلیل سلسله مراتبی این است که مکان‌های کاندید از نظر تناسب فیزیکی برای اسکان موقت مناسب باشند و مکان‌های نامناسب حذف شوند. در نهایت با استفاده از آنالیز Create Point در نرم‌افزار ArcGIS10.6.1 مکان‌های کاندید استخراج شده‌اند. به این صورت که ۹۸۰ مکان به‌عنوان مراکز کاندید برای اسکان موقت وارد بخش بهینه‌سازی شده‌اند.

۴-۳- تابع هدف

در این تحقیق از تابع هدف میانه برای پیدا کردن سایت‌های مناسب برای اسکان موقت استفاده شده است. در مسئله میانه، هدف یافتن P مرکز مناسب به منظور ارائه خدمات بوده، به طوری‌که مجموع فواصل لازم برای انتقال خدمات از مراکز به نقاط تقاضا، کمینه شود [۲۸و۲۹]. برای فرمول‌سازی مسأله P- میانه، ابتدا باید متغیرهای تصمیم‌گیری معرفی شوند. اگر در نقطه j مرکز خدماتی وجود داشته باشد، Xj برابر با یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود. همچنین اگر نقطه تقاضا i توسط مرکز خدماتی j خدمات‌دهی شود، Yij برابر با یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود. در این روابط i اندیس نقطه تقاضا و j اندیس مکان مستعد برای ساخت مرکز خدماتی است. حال با استفاده از دو تعریف فوق، مسئله P- میانه را می‌توان با استفاده از روابط (۵) تا (۱۰) فرمول‌بندی کرده و به یک مسئله بهینه‌سازی تبدیل نمود [۳۰].

$$objective\ Function = Minimize \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} D_{ij}\, Y_{ij} \qquad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_j = P \qquad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{m} Y_{ij} = 1 \qquad \forall_i \qquad (۷)$$

$$Y_{ij} - X_j \le 0 \qquad \forall_{i.j} \qquad (۸)$$

$$X_j \epsilon \{0.1\} \qquad \forall_i \qquad (۹)$$

$$Y_{ij}\ \epsilon \{0.1\} \qquad \forall_{i.j} \qquad (۱۰)$$

که در آن Dij فاصله بین مراکز و بلوک‌های اختصاص داده شده به آن‌ها می‌باشد. رابطه (۵) برای کمینه‌سازی فاصله بین نقاط تقاضا و مراکز خدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه (۶) کنترل می‌کند که دقیقاً تعداد p مرکز خدماتی تأسیس شود. رابطه (۷) تضمین می‌کند که تمامی تقاضاها به مراکز خدماتی ارجاع داده شده‌اند. رابطه (۸) کنترل می‌کند که نقاط تقاضا فقط به مراکز انتخاب شده برای احداث ارجاع شده باشد.

۵-۳- مدلسازی مسئله در قالب GA

تعریف یک راه‌حل در قالب کروموزوم یکی از مراحل اصلی در بهینه‌سازی با استفاده از روش GA می‌باشد. در این تحقیق، تعداد ژن در هر کروموزوم، بیان‌گر تعداد سایت‌های مورد نیاز می‌باشد. تعداد مراکز اسکان موقت موردنیاز لازم است بر اساس تحلیل عواملی مانند جمعیت، مساحت و میزان بودجه تعریف شود. در این مطالعه بدون انجام چنین مطالعاتی، تعداد ۱۵ مرکز جدید در نظر گرفته شده است. بنابراین یک کروموزوم به‌عنوان یک آرایه پانزده‌تایی متشکل از مراکز نامزد (۹۸۰ مرکز کاندید) بدون هیچ تکراری تعریف شده است (شکل (۵)).

یک کروموزوم	۴۵۰	۸۷۱	۶۶۶	۶۹	۵۶۱	۱۲	۲۱۴	۷۵۴	۵۸	۶۳۰	۵۰۷	۳۵۰	۴۰۰	۱۱	۱۲۰

شکل۶- کدگذاری یک جواب مسئله در قالب یک کروموزوم

برای تولید جمعیت اولیه، تعدادی از کروموزوم‌ها به‌صورت تصادفی تولید می‌شوند. برای انتخاب والدین هر نسل، از روش چرخ گردان استفاده شده است. طبق رابطه (۱۱) کروموزومی که تابع بهینگی بهتری دارد، شانس بیشتری برای انتخاب دارد[۳۱].

$$P_r = \frac{F(X_r)}{\sum_{k=1}^{n} F(X_k)} \qquad (۱۱)$$

که در آن، Pr احتمال انتخاب کروموزوم r، F(Xr) تابع بهینگی کروموزوم r و n تعداد کل کروموزوم‌ها می‌باشد. پس از انتخاب دو والد، ابتدا بر اساس نرخ ترکیب، احتمال اجرای عمل ترکیب بررسی می‌شود و سپس همانند شکل (۶) فرایند ترکیب تک نقطه‌ای صورت می‌گیرد.

والد اول	۴۵۰	۸۷۱	۶۶۶	۶۹	۵۶۱	۱۲	۲۱۴	۷۵۴	۵۸	۶۳۰	۵۰۷	۳۵۰	۴۰۰	۱۱	۱۲۰
والد دوم	۱۲۸	۷۸۸	۴۸	۸۷۶	۵۷۸	۳	۶۹۲	۲۱۷	۱۸	۹۰۰	۸۹۴	۴۶۷	۱۶	۱۴۰	۱۳

فرزند اول	۱۲۸	۷۸۸	۴۸	۸۷۶	۵۷۸	۳	۶۹۲	۷۵۴	۵۸	۶۳۰	۵۰۷	۳۵۰	۴۰۰	۱۱	۱۲۰
فرزند دوم	۴۵۰	۸۷۱	۶۶۶	۶۹	۵۶۱	۱۲	۲۱۴	۲۱۷	۱۸	۹۰۰	۸۹۴	۴۶۷	۱۶	۱۴۰	۱۳

شکل۷- نمونه‌ای از ترکیب تک‌نقطه‌ای

برای هر کروموزوم حاصل از یک تقاطع (فرزندان تولید شده)، یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده و اگر این عدد کوچک‌تر از نرخ جهش باشد، تعداد ۳ ژن در فرزند به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و با یک مرکز از مراکز کاندید که در کروموزوم مربوطه نیست، تعویض خواهند شد. در شکل (۷) نمونه‌ای از فرایند جهش نشان داده شده است.

فرزند	۴۵۰	۸۷۱	۶۶۶	۶۹	۵۶۱	۱۲	۲۱۴	۷۵۴	۵۸	۶۳۰	۵۰۷	۳۵۰	۴۰۰	۱۱	۱۴۰
جهش یافته	۴۵۰	۸۱	۶۶۶	۶۹	۵۶۱	۱۲	۲۱۴	۹۱۳	۵۸	۶۳۰	۵۰۷	۳۵۰	۳۴۱	۱۱	۱۴۰

شکل۸- نمونه‌ای از عمل جهش

تکمیل مراحل فوق، یک اجرای کامل از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. کروموزوم با بهترین تابع بهینگی به‌عنوان بهترین جواب ذخیره می‌شود. هم‌چنین تعدادی کروموزوم به‌عنوان جواب‌های نخبه وارد نسل بعدی می‌شوند. شرط پایان حلقه نیز تعداد اجرای مشخص می‌باشد.

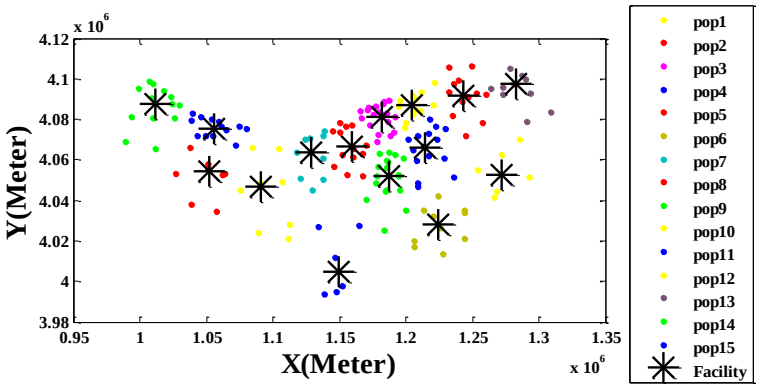
جدول۳- پارامترهای کالیبراسیون الگوریتم ژنتیک باینری

جمعیت اولیه	۴۰۰ کروموزوم
نرخ ترکیب	۰/۸۸
نرخ جهش	۰/۱۶
درصد نخبه‌گرایی	۸ درصد
تعداد تکرار (شرط خاتمه)	۲۰۰۰ تکرار

۳-۶- نتایج حاصل از GA

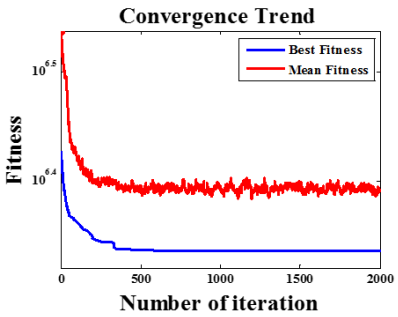
همان‌طور که در بخش مقدمه ذکر شده است، هدف از این مطالعه تعیین مکان مناسب برای اسکان موقت بعد از وقوع سیل و تخصیص مراکز جمعیتی به این مراکز می‌باشد. برای این منظور الگوریتم ژنتیک در محیط MATLAB پیاده‌سازی شده است. الگوریتم با پارامترهای کالیبره شده ارائه شده در جدول (۳) به تعداد ۳۰ بار در استان مازندران اجرا شده است.

شکل (۹) ترکیب بهینه مراکز و تخصیص آن‌ها به مراکز جمعیتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، تعداد ۱۵ مرکز جدید (*) برای اسکان موقت پس از سیل انتخاب شده‌اند که مجموع فواصل نقاط جمعیتی از آن‌ها کمترین مقدار می‌باشد. بهترین مقدار تابع برازندگی (پس از اجراهای مختلف و با تکرار پذیری بالا) برابر با ۲۱۶۳۲۲ متر بوده است. مراکز با شماره‌های {۵۴، ۱۷۴، ۲۷۵، ۳۰۶، ۳۶۵، ۳۶۹، ۳۸۱، ۴۲۱، ۵۰۳، ۵۱۳، ۵۷۷، ۶۲۰، ۷۸۸، ۸۷۵ و ۹۲۴}، پایگاه‌های بهینه‌ای می‌باشند که توسط الگوریتم یافت شده‌اند.

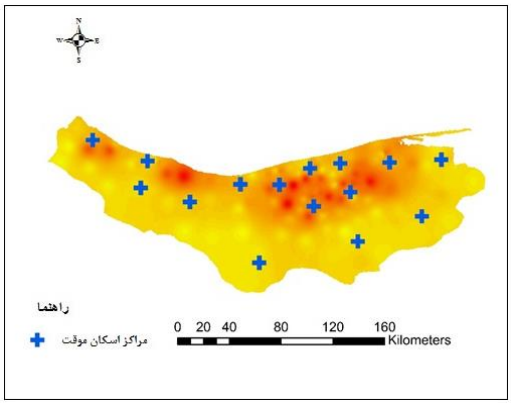


شکل۹- مراکز بهینه اسکان موقت و تخصیص مراکز جمعیتی به آن‌ها در الگوریتم GA

همچنین شکل (۹) روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در یک اجرای خاص را نشان می‌دهد. همان‌طور ک مشاهده می‌شود، نمودار آبی رنگ بهترین مقدار تابع بهینگی کروموزوم‌ها در هر نسل را نشان می‌دهد که در نهایت در تکرار ۱۲۰۰ به جواب بهینه دست یافته است. نمودار قرمز رنگ نیز میانگین تابع بهینگی تمامی کروموزوم‌های یک نسل (یک تکرار) را نشان می‌دهد. از آن‌جایی که کروموزوم‌های موجود در یک نسل مقادیر تابع بهینگی متفاوتی دارند، لذا روند میانگین تابع بهینگی به صورت نوسانی تغییر می‌کند. در شکل (۱۰) جواب‌های بهینه به دست آمده از الگوریتم ژنتیک در نرم افزار ArcGIS 10.6.1 نمایش داده شده است.



شکل۱۰- روند همگرایی الگوریتم ژنتیک



شکل۱۱- مراکز بهینه اسکان موقت در منطقه مورد مطالعه

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مکانیابی بهینه و ایمن مراکز اسکان موقت پس از وقوع بحران‌های طبیعی نظیر سیلاب‌ها نقش برجسته و مهم در افزایش کیفیت خدمت‌رسانی به آسیب دیدگان دارد. از جمله وظایف مهم برنامه‌ریزان شهری مکانیابی بهینه‌ی مراکز اسکان موقت پس از بحران می‌باشد. به دلیل خسارات جانی و مالی فراوانی که پدیده سیلاب به همراه دارد، در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش تعداد نه معیار در مکانیابی مراکز اسکان موقت بعد از سیل در نظر گرفته شده و به کمک روش تحلیل سلسه مراتبی وزن‌دهی و اولویت‌بندی شده‌اند که معیار " فاصله از شبکه آبراه" و " فاصله از گسل" به ترتیب بیشترین (۰,۳۴۶) و کمترین وزن (۰,۰۲۴) در مکانیابی را به خود اختصاص داده‌اند. در گام بعد نقشه‌های معیار تولید شده با توجه به وزنی که از مقایسه‌ی دو دویی معیارها توسط کارشناسان خبره بدست آمده، با هم تلفیق شدند و نقشه‌ی نهایی مکانیابی در چهار کلاس "بسیار مناسب"، "مناسب"، "نامناسب" و "بسیار نامناسب" طبقه‌بندی تهیه شده است. در نهایت در دو کلاس "بسیار مناسب" و "مناسب" الگوریتم تحت تابع P-Median به جستجوی ۱۵ مرکز از میان مراکز کاندید پرداخته است؛ به نحوی که مجموع فواصل نقاط جمعیتی از این مراکز کمینه شود. الگوریتم با پارامترهای کالیبره شده به تعداد ۳۰ بار در استان مازندران اجرا شده است.

همانطور که در نقشه نهایی مکانیابی با استفاده از الگوریتم مشاهده می‌شود، مراکز اسکان موقت در نواحی با جمعیت بالا و کم خطر مکانیابی شده‌اند؛ به طوری که تعداد ۶ مرکز از ۱۵ مرکزاسکان موقت در نواحی شمالی و مرکزی

منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در نواحی جنوبی به دلیل تراکم پایین جمعیت و تلفیق آن با سایر معیارهای موثر، تعداد ۳ مرکز اسکان موقت بعد از سیل درنظر گرفته شده است. این مراکز در مرکز استان در این تحقیق از دو جهت مکان‌های ایمن برای مراکز اسکان موقت پس از سیل انتخاب شدند؛ از یک سو با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در GIS مکان‌هایی با پتانسیل سیل‌خیزی پایین‌تر نسبت به سایر کلاس‌ها به عنوان پلیگون‌های کاندید برای احداث مراکز در این محدوده‌ها تعیین شده‌اند. از سوی دیگر در این پلیگون‌ها نقاط کاندیدی قرار داده شدند تا بر اساس مدل میانه، مراکز طوری انتخاب می‌شوند که جمعیت بیشتری را با طی مسافت کمتر در این پلیگون‌ها تحت پوشش قرار دهند.

از ویژگی‌های این تحقیق که آن را از سایر کارهای انجام شده متمایز می‌کند این است که ابتدا پولیگون‌های مناسب برای احداث مراکز اسکان موقت با درنظر گرفتن معیارهای اساسی به روش AHP انتخاب شده‌اند؛ سپس در این نواحی با توجه به جمعیت مناطق مختلف، مکانیابی بهینه‌ی این مراکز صورت گرفته است. این امر باعث می‌شود که مدت زمان رسیدن به جواب در الگوریتم ژنتیک کمتر شود و نیازی به جستجو برای یافتن مکان بهینه در کل منطقه‌ی مورد مطالعه نباشد. همچنین برخی از معیارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل CN و TWI و تلفیق همزمان این شاخص‌ها با سایر شاخص‌ها، در تحقیقات قبلی کمتر دیده شده یا دیده نشده است. به عبارت دیگر، در مقدمه و گزارش اکثر پژوهش‌های پیشین به جنس و رطوبت خاک و همچنین کاربری زمین اشاره می‌شد، اما در محاسبات و پیاده‌سازی از آن‌ها به ندرت استفاده می‌شد که در این تحقیق از این معیارها بهره برده شده است.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی روش‌های مختلف وزن‌دهی در مکانیابی مراکز اسکان موقت پس از سیلاب، مقایسه و بکار برده شوند و برای مکانیابی بهینه از سایر مدل‌های مکانیابی نظیر مدل پوشش حداکثر و در سایر الگوریتم‌های پیاده‌سازی و اجرا شوند. همچنین مدلسازی و نتایج تحقیق با آنچه که در دنیای واقعی رخ داده است، مقایسه و ارزیابی شود. در آخر پیشنهاد می‌شود که تحقیق حاضر برای منطقه‌ای که در کلاس خطر سیل‌خیزی پایین‌تری قرار دارد، در استان مازندران پیاده و اجرا شود.

مراجع

[1] Wohl, E. E. (Ed.). (2000). Inland flood hazards: human, riparian, and aquatic communities. Cambridge University Press.

[2] Zehra, S., & Afsar, S. (2016). Flood Hazard Mapping of Lower Indus Basin Using Multi-Criteria Analysis. Journal of Geoscience and Environment Protection, 4(04), 54.

[3] Foudi, S., Osés-Eraso, N., & Tamayo, I. (2015). Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. Land Use Policy, 42, 278-292.

[4] Matheswaran, K., Alahacoon, N., Pandey, R., & Amarnath, G. (2019). Flood risk assessment in South Asia to prioritize flood index insurance applications in Bihar, India. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10(1), 26-48.

[5] Zahedi, R., Ghorbani, M., Daneshgar, S., Gitifar, S., & Qezelbigloo, S. (2022). Potential measurement of Iran's western regional wind energy using GIS. Journal of Cleaner Production, 330, 129883.

[6] Hussain, A., Weisaeth, L., & Heir, T. (2011). Psychiatric disorders and functional impairment among disaster victims after exposure to a natural disaster: a population based study. Journal of Affective Disorders, 128(1-2), 135-141.

[7] Ebrahimian Ghajari Y, Barari Siavoshkolaei M. Runoff Production Potential Zoning Using Fuzzy GIS-MCDA Models (Case Study: Tajan River Basin). JGST. 2019; 9 (1) :1-14

[8] Wheater, H., & Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. Land use policy, 26, S251-S264.

[9] Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International journal of geographical information science, 20(7), 703-726.

[10] Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. Geosciences, 8(8), 275.

[11] Ebrahimian Ghajari Y, .(2020). Designing and implementing a GIS-based model for temporary accommodation planning in the management of earthquake crisis in Babol City, Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR) 29 (113), 29-41.

[12] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: New York, NY, McGraw Hill, reprinted by RWS Publication, Pittsburgh.

[13] Zhijun tong, Zhang Jiquan E Lin Xingpeng (2009), GIS-based risk assessment of grassland fire disaster in western in Jilin province, China, Stoch Environ Res Risk Assess, vol: 23, pp: 463 – 47

[14] Naderi, N., & Mohammadi, J. (2015). Locating Temporary Housing after the Earthquake, Using GIS and AHP Techniques (A Case Study: 15 Districts of Isfahan City). Journal of Social Issues & Humanities, 2345-2633

[15] Y Ebrahimian GhaJary, AA Alesheikh, M Modiri, R Hosnavi, M Abbasi, (2014). Modelling the vulnerability of urban buildings Using Delphi and AHP methods in GIS-Case study: Region 6 of Tehran municipality, Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR) 23 (91), 5-20.

[16] Dey, P. Kumar, Ramcharan, Eugene K. (2008),"Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados", Environmental Management, 88(4):1384–1395.

[17] Kaveh, M., Kaveh, M., Mesgari, M. S., & Paland, R. S. (2020). Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. Applied Geomatics, 1-16.

[18] Tseng, M. H., Chen, S. J., Hwang, G. H., & Shen, M. Y. (2008). A genetic algorithm rule-based approach for land-cover classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 63(2), 202-212.

[19] Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. Statistics and computing, 4(2), 65-85.

[20] Sörensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 10(1), 101-112.

[21] Lucà, F., Conforti, M., & Robustelli, G. (2011). Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. Geomorphology, 134(3-4), 297-308.

[22] Qin, C. Z., Zhu, A. X., Pei, T., Li, B. L., Scholten, T., Behrens, T., & Zhou, C. H. (2011). An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. Precision Agriculture, 12(1), 32-43.

[23] Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2019). GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. Geocarto International, 1-27.

[24] Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., & Nasseri, M. (2019). A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. Journal of hydrology, 572, 17-31.

[25] Feloni, E., Mousadis, I., & Baltas, E. (2020). Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. Journal of Flood Risk Management, 13, e12563.

[26] Nayak, T. R., & Jaiswal, R. K. (2003). Rainfall-runoff modelling using satellite data and GIS for Bebas river in Madhya Pradesh. Journal of the Institution of Engineers. India. Civil Engineering Division, 84(mai), 47-50.

[27] Ponce, V. M., & Hawkins, R. H. (1996). Runoff curve number: Has it reached maturity?. Journal of hydrologic engineering, 1(1), 11-19.

[28] Arifin, M. S. (2011). Location Allocation Problem Using Algorithm and Simulated Annealing: A Case Study Based on School in Enschede. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC).

[29] Dantrakul, S., Likasiri, C., & Pongvuthithum, R. (2014). Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems. Expert Systems with Applications, 41(8), 3596-3604

[30] ReVelle, C. S., & Swain, R. W. (1970). Central facilities location. Geographical analysis, 2(1), 30-42.

[31] Saeidian, B., Mesgari, M. S., & Ghodousi, M. (2016). Evaluation and comparison of Genetic Algorithm and Bees Algorithm for location–allocation of earthquake relief centers. International Journal of Disaster Risk Reduction, 15, 94-107.