اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴۲-۱۲۷

شناسایی محل اسکان اضطراری در زمان وقوع سیلاب با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی: استان چهارمحال و بختیاری)

ابوالفضل ذوالفقاری[۱]، زهرا عزیزی[۲*]، حسین آقامحمدی[۲]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۵/۱۵، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۱۱/۱۲)

چکیده

بحران‌های طبیعی قابل پیشگیری نیستند، اما می‌توان با تکیه بر فنون مهندسی و نوآوری‌های علمی، میزان خسارت‌های به‌وجودآمده در بخش مالی و جانی آن را به‌شدت کاهش داد. بخش‌های زیادی از ایران از جمله مناطق حادثه‌خیز در جهان محسوب می‌شود که نیازمند توجه خاص قبل از وقوع بحران است. استان چهارمحال و بختیاری با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص آن از جملهٔ این مناطق است که مکان‌یابی اسکان اضطراری وقوع سیلاب در این استان را بااهمیت می‌کند. در تحقیق حاضر از روش مبتنی بر تدوین پرسشنامهٔ محقق‌ساخته و بررسی اسناد کتابخانه‌ای و مدل‌های آماری استفاده شده است. بنابراین، با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مکان‌های ایمن هنگام وقوع سیلاب و آماده‌سازی معیارها و زیرمعیارهای موجود شناسایی شد. سپس، با استفاده از اطلاعات آماری فازی- سلسله‌مراتبی (FAHP) مقادیر ارزش هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص شده و وزن نهایی محاسبه شده و نقشه‌های مربوطه در محیط GIS برای نمایش هرچه بهتر تهیه و تدوین شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد شهرکرد کمترین میزان خطرپذیری را در بین شهرستان‌های استان در اختیار دارد و به‌ترتیب، شمال و شمال شرق بروجن، اردل و قسمت‌های مرکزی و جنوب کوهرنگ و قسمت‌های شمالی لردگان ایمنی بیشتری نسبت به قسمت‌های شمالی شهرستان دارند.

کلیدواژگان: اسکان اضطراری، سیلاب، مدیریت بحران، GIS، AHP.

* نویسندهٔ مسئول

Email: zazizi@srbiau.ac.ir

مقدمه

بلای طبیعی سیلاب مضرات بسیار زیادی در تخریب زیرساخت‌ها، سامانه‌های ارتباطاتی، محصولات زراعی و دام‌ها، املاک و دارایی‌های مردم دارد. بر اساس یافته‌های موجود، بیش از ۵ هزار مرگ‌ومیر در جهان بر اثر سیلاب‌های رخداده در جهان بوده است. قرن بیست و یکم از منظر بسیاری از صاحب‌نظران قرن بحران‌ها نامیده می‌شود [۱]. مشکلات زیست‌محیطی، حوادث صنعتی، حوادث طبیعی، معضلات اجتماعی و آشوب‌های سیاسی ویژگی‌های پایدار حیات جمعی بشر در این قرن را تشکیل داده است. بلایای طبیعی و عدم توانایی مناسب دولت‌ها در مقابله با این‌گونه حوادث طبیعی و ارائهٔ خدمات لازم به مردم، موجب شده است شهروندان در معرض این آسیب‌ها و آثار مخرب آنها قرار گیرند [۲]. هر چند در دهه‌های گذشته با پیشرفت دانش بشری، دانشمندان به چگونگی پیدایش این پدیده‌ها به صورت علمی پی برده‌اند و چگونگی وقوع آنها و پیامدهای ناشی از آن را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما هنوز هم بشر قادر به جلوگیری و مقاومت در برابر این‌گونه رخدادهای طبیعی نیست [۳]. در بسیاری از موارد دانش کافی به منظور پیش‌بینی دقیق و علمی از لحظهٔ وقوع و قدرت این وقایع را ندارد و فقط پس از وقوع این‌گونه بلایا، با استفاده از روش‌های علمی اقدام به تجزیه‌وتحلیل آنها می‌کند [۴]. شهرها نیز به عنوان یک مکان تجمع برای جمعیت انسانی از وقوع این بلایای طبیعی جدا نیستند و باید چاره‌اندیشی‌های جدی برای کاهش آسیب‌پذیری این سکونتگاه‌ها در برابر بلایای طبیعی صورت پذیرد. امروزه نیازهای شهری و تقاضای مسکن و مهاجرت روستاییان به شهرها باعث رشد و توسعهٔ بیش از حد شهرها به‌خصوص شهرهای بزرگ شده است. بی‌توجهی به مکان‌یابی صحیح شهرها، رشد و توسعهٔ شهرها و همچنین، عدم برنامه‌ریزی لازم برای جلوگیری از رشد لجام‌گسیختهٔ شهرها، مسائل و مشکلات فراوانی از نظر مصونیت شهرها به بار آورده است. این روند سبب شده است شهرها روی مسیل‌های اصلی گسل‌ها و یا در حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها گسترش یابند [۵]. این امر خود می‌تواند موجب تشدید آسیب‌پذیری و افزایش زیان‌های مالی و جانی ناشی از این وقایع باشد. حقیقت این است که بازتاب‌های سکونتگاه‌های انسانی در مقابل این سوانح طبیعی است که فاجعه می‌آفریند [۶]. کاهش آسیب‌پذیری محیط‌های شهری که از افزایش جمعیت نیز برخوردارند نیاز به مطالعه دارد، بنابراین باید برنامه‌ریزی‌های لازم انجام شود و مدیران تدابیری را اتخاذ کنند [۷]. به همین منظور، تحقیق کنونی در مقیاس محلی و در سطح استان چهارمحال و بختیاری با هدف مکان‌یابی محل اسکان اضطرای در زمان سیلاب انجام شده است.

پیشینهٔ پژوهش

به طور کلی، پژوهش‌های با موضوع تخلیه در شرایط اضطراری به چهار جنبهٔ اصلی با عناوین تئوری، مدل‌سازی، تصمیم‌گیری و ارزیابی ریسک تقسیم می‌شود. یکی از اهداف نقشه‌برداری خطر سیلاب، ارتقای اقدامات تخلیهٔ اضطراری مناسب و سریع برای ساکنان است. مدل تخلیهٔ اضطراری سیل برای بررسی زمان در دسترس برای تخلیه، به منظور کاهش خطر یا حتی از دست دادن زندگی، آزمایش شده است. تهیهٔ برنامهٔ عملیاتی شرایط اضطرار (EAP) یکی از ابزار مهم و مؤثر در برنامه‌های مدیریتی ایمنی سیلاب ها هستند، چرا که موقعیت‌های اضطراری به‌وجودآمده را به بهترین شکل مدیریت می‌کنند. در واقع، برنامهٔ عملیاتی شرایط اضطرار دستورالعملی است که شامل مجموعه اقدامات آمادگی در برابر بحران، اقدامات طی بحران و اقدامات پس از بحران است. در صورتی که این برنامه‌ها اجرا شوند، خسارت‌ها را به حداقل رسانده و آثار ناشی از خطرات مرتبط با جان انسان‌ها و شرایط منطقهٔ بحران‌زده را کاهش می‌دهند. ابتدا جمع‌بندی برای مطالعات انجام‌شده روی تخلیهٔ اضطراری آورده شده است. پس از آن، مطالعات انجام‌شده روی تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شده است. در تحقیقی که موحدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۴) انجام دادند، تهیهٔ برنامهٔ عملیاتی شرایط اضطرار در ایران برای نخستین‌بار در مورد سد گلستان بررسی شد و برنامهٔ اعلام هشدار، تخلیه، کنترل خطر و امدادرسانی برای این سد آماده و ارائه شده است [۸]. گنجه‌ای و همکاران (۱۳۹۱) به تعیین شاخص‌های مؤثر بر تعیین مسیرهای امداد و نجات و تخلیهٔ اضطراری در مناطق شهری از دیدگاه مدیریت بحران پرداختند [۹].

کارنما و حسن‌زاده به پژوهش در مورد ارزیابی زیرساخت‌های مدیریت بحران و راه‌های اضطراری شهر کرمان پرداختند. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های طراحی و برنامه‌ریزی شهری منطقه‌ای ایجاد و توزیع مناسب زیرساخت‌های مدیریت بحران (شامل راه‌های اضطراری، مراکز جست‌وجو و

نجات، مراکز امداد و پزشکی اضطراری، فضای تخلیه و اسکان و نیز تأمین آب و آذوقهٔ اضطراری) است [۱۰]. هدف از پژوهشی که ابراهیمیان و عنایتی نوآبادی در این زمینه انجام دادند، ارائهٔ یک مدل بر پایهٔ الگوریتم مورچگان به منظور پاسخ‌گویی به مسئلهٔ جست‌وجوی مسیر بهینه برای تخلیه و انتقال سریع آسیب‌دیدگان حوادث ناگهانی به مناطق امن ازپیش‌تعیین‌شده بوده است [۱۱]. خیرطال و همکاران (۱۳۹۳) مطالعهٔ برنامهٔ تخلیهٔ ایمن محله‌ای را به منظور کاهش اثرپذیری از سانحه برای محلهٔ پارک لاله تهران انجام دادند. نتایج قابل استنادی از پژوهش آنها به دست آمد [۱۲]. فرقانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی آسیب‌پذیری شبکهٔ معابر در زمان تخلیهٔ اضطراری در زلزله‌های احتمالی منطقهٔ ثامن مشهد پرداختند [۱۳]. پژوهش صورت‌گرفته توسط حسین‌زاده خانه‌سر و محمدی به منظور تبیین برنامهٔ تخلیهٔ اضطراری EEP در معابر چهارسوق بزرگ بازار تهران نیز از دیگر پژوهش‌هایی است که در این خصوص انجام شده است. تحقیق آسیب‌شناسی مبلمان شهری در تخلیهٔ اضطراری جمعیت در سال ۱۳۹۵ توسط مرعشی شوشتری و همکاران صورت پذیرفته است [۱۴].

دوناماه و همکاران (۲۰۱۶) طی مطالعه‌ای اقدام به شناسایی مناطق ریسک سیلاب در منطقهٔ ابیدجان کردند. این کار بر مبنای ادغام داده‌های چندمعیاره از جمله شیب، تراکم زهکشی، نوع خاک، چگالی جمعیت، تراکم زمین و سیستم فاضلاب در برنامهٔ ArcGIS بوده است. نقشهٔ ریسک سیلاب نشان می‌دهد مناطق تحت خطر زیاد و بسیار زیاد سیل ۳۴ درصد از منطقهٔ مطالعه‌شده را تحت پوشش قرار می‌دهد. روش تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP) که به عنوان یک تجزیه‌وتحلیل چندمعیاره استفاده شد، امکان ادغام چندین عنصر را با دو معیار خطرات و آسیب‌پذیری برای ارزیابی و نقشه‌برداری سیل فراهم کرد. نتایج نشان داد منطقهٔ ابیدجان به‌شدت در معرض خطر سیل قرار دارد [۱۵].

مسیریابی تخلیهٔ اضطراری یکی از ابزارهای اساسی برای کاهش خطر سیل است. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۷ توسط مانلیگوئز و همکاران انجام گرفت، ویژگی‌های استخراج‌شده از داده‌های LIDAR برای ایجاد شبکهٔ دینامیکی متشکل از ساختمان‌ها و جاده‌ها استفاده شده است [۱۶].

جامروسی و تودا (۲۰۱۸) مطالعاتی در مورد ریسک انجام دادند. اطلاعات در مورد ریسک برای طراحی برنامه‌های مدیریت ریسک سیل ضروری است. این مطالعه از اولین تلاش‌ها برای ایجاد یک طرح تخلیهٔ اضطراری سیل بر اساس ارزیابی خطر سیل است. ارزیابی ریسک سیلاب در حوضهٔ رودخانه چائو فرایا (CPRB) به طور هم‌زمان به عنوان نتیجه‌ای از خطر سیل و نقشه‌های آسیب‌پذیری اجتماعی تولیدشده توسط فرایند سلسله‌مراتب تحلیلی- فازی (FAHP) و منطق فازی، تجزیه‌وتحلیل شده است [۱۷].

روش کار

منطقهٔ مطالعه‌شده

محدودهٔ مطالعه‌شده در پژوهش حاضر، استان چهارمحال و بختیاری است. این استان از جمله بخش‌های کوهستانی فلات مرکزی ایران محسوب می‌شود و در محدودهٔ جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقهٔ طول شرقی گرینویچ قرار دارد. این استان با وسعتی معادل ۱۶/۵۳۳ کیلومتر مربع (۱ درصد از کل وسعت ایران) به عنوان بیست و دومین استان کشور از نظر پهناوری است. جمعیت آن برابر ۹۴۷،۷۶۳ نفر بوده که یکی از استان‌های مرتفع کشور در قلب رشته‌کوه زاگرس است. همسایگان این استان از شمال و شرق به استان اصفهان، از شمال غربی به استان لرستان، از غرب به استان خوزستان و از جنوب به استان کهگیلویه و بویر احمد محدود می‌شوند. شکل ۱ بخش‌های این استان را هرچه بهتر به نمایش می‌گذارد. این استان به ۶ شهرستان: شهرکرد (مرکز استان)، اردل، بروجن، فارسان، کوهرنگ و لردگان، ۱۷ بخش، ۲۶ شهر و ۳۹ دهستان تقسیم شده است. ارتفاع شهرکرد (مرکز استان) از سطح دریا به ۲۰۶۰ متر می‌رسد که تقریباً کمترین ارتفاع را در مدار جغرافیایی خود در این قسمت دارد، هر چه به طرف شرق منطقه حرکت کنیم، ارتفاع منطقه کاهش می‌یابد.

روش تحقیق

داده‌ها و اطلاعات مقالهٔ حاضر مبتنی بر اطلاعات سازمان نقشه‌برداری تحت shape file و آمار و اطلاعات دریافتی از مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ است که پس از جمع‌آوری و

مرتب‌سازی داده‌ها، محقق ابتدا اقدام به آماده‌سازی معیارها و زیرمعیارهای موجود برای به دست آوردن مکان‌های ایمن کرده است. پس از آن، با استفاده از روش فازی-سلسله‌مراتبی (FAHP) و تهیهٔ پرسش‌نامه و نظرخواهی از خبرگان، مقادیر ارزش هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص و وزن نهایی محاسبه شده و در انتها، با ترکیب نقشه‌های تمامی معیارها نقشهٔ مناطق ایمن در برابر سیلاب به دست آمده است. در ادامه، نقشه‌های آبراهه‌ها، راه‌ها، کاربری اراضی، لندفرم، مدل رقومی ارتفاعی، شیب و بارش در استان چهارمحال و بختیاری نمایش داده شده است. به این منظور، با استفاده از نقشهٔ مدل رقومی ارتفاعی منطقه و فایل رودخانه‌ها اقدام به استخراج آبراهه‌های استان چهارمحال و بختیاری کرده که در شکل ۲ نمایش داده شده است.

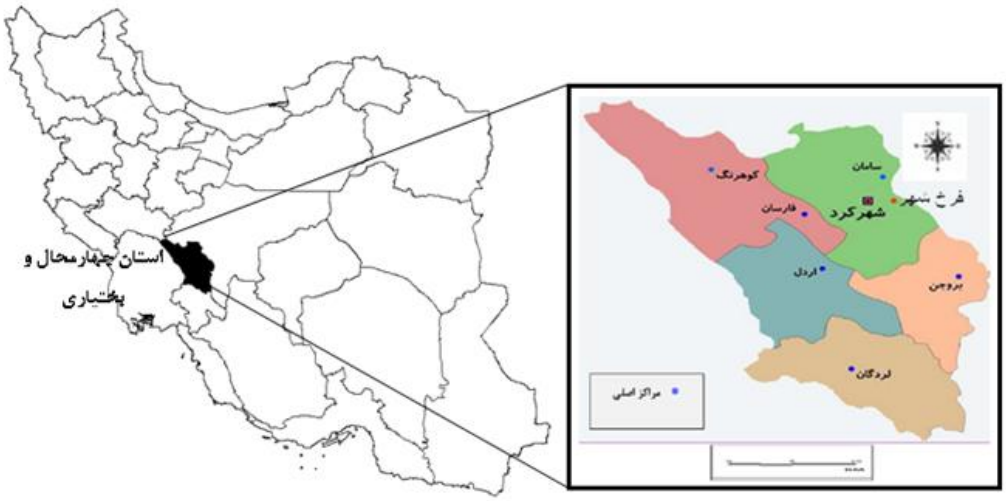
در شکل ۳ کاربری اراضی موجود در استان نمایش داده شده است.

در شکل ۴ نقشهٔ لندفرم استان با توجه به اطلاعات گرفته‌شده نشان داده شده است.

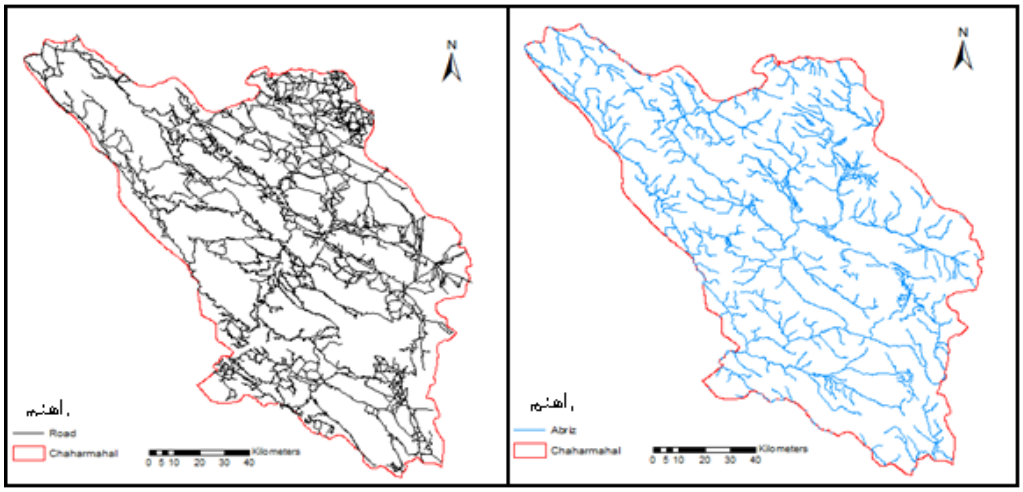
نقشهٔ مدل رقومی ارتفاعی منطقه که بر اساس آن نقشه‌های آبراهه‌ها و شیب به‌دست آمده است، در شکل ۵ نشان داده شده است.

با استفاده از نقشهٔ مدل رقومی ارتفاعی منطقه، اقدام به محاسبهٔ شیب استان با کمک نرم‌افزار GIS شده است.

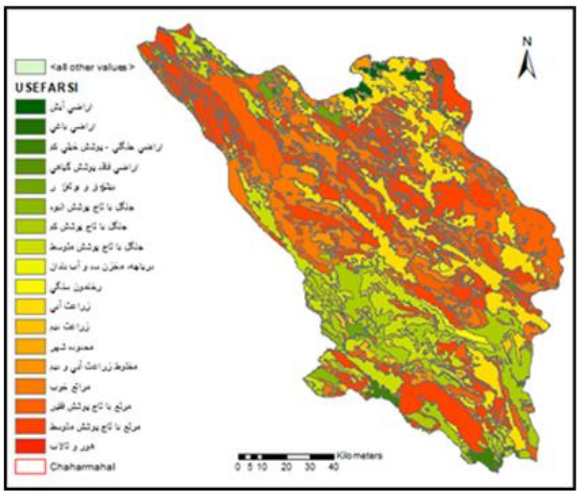
نقشهٔ بارش استان با استفاده از بیشترین بارش سالیانه در هر ایستگاه و با استفاده از تکنیک درون‌یابی IDW به دست آمده است (شکل ۷).



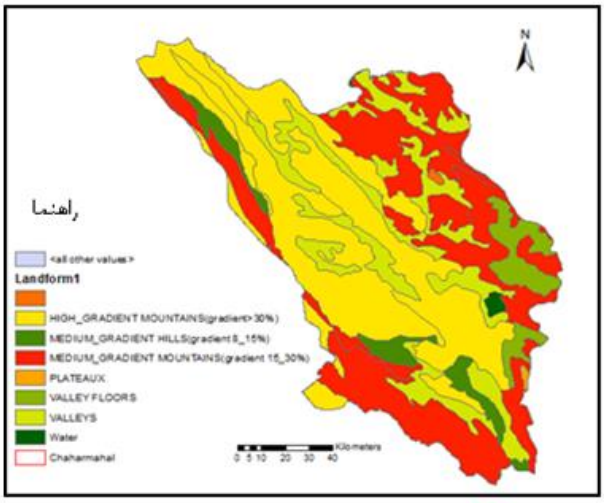
شکل ۱. نقشهٔ بخش‌های مختلف محدودهٔ مطالعه‌شده



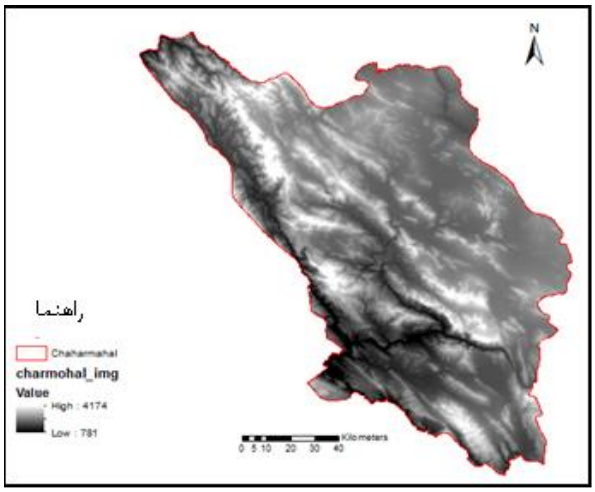
شکل ۲. نقشهٔ آبراهه‌ها و راه‌های استان چهارمحال و بختیاری



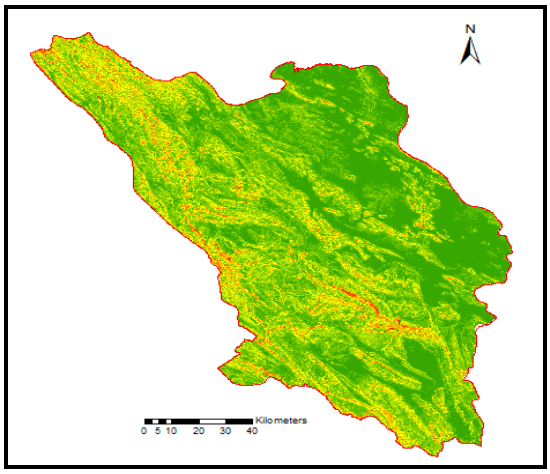
شکل ۳. نقشهٔ کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری



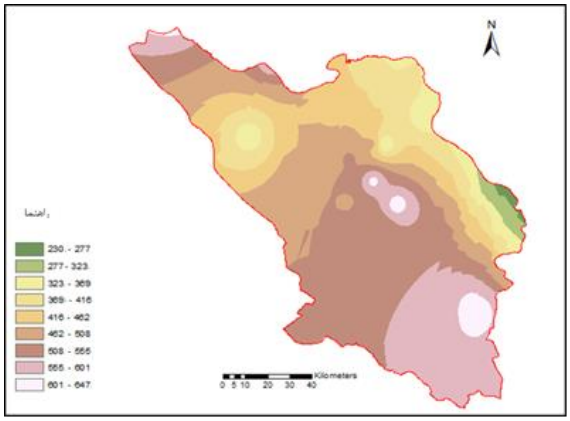
شکل ۴. نقشهٔ لندفرم استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۵. نقشهٔ مدل رقومی ارتفاعی استان چهارمحال و بختیاری



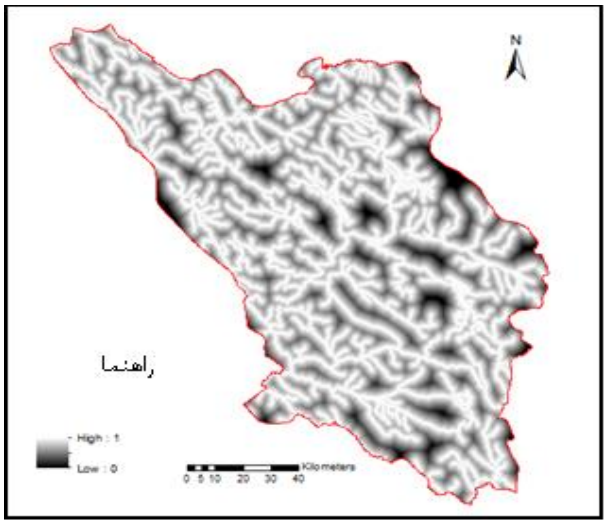
شکل ۶. نقشهٔ شیب استان چهارمحال و بختیاری



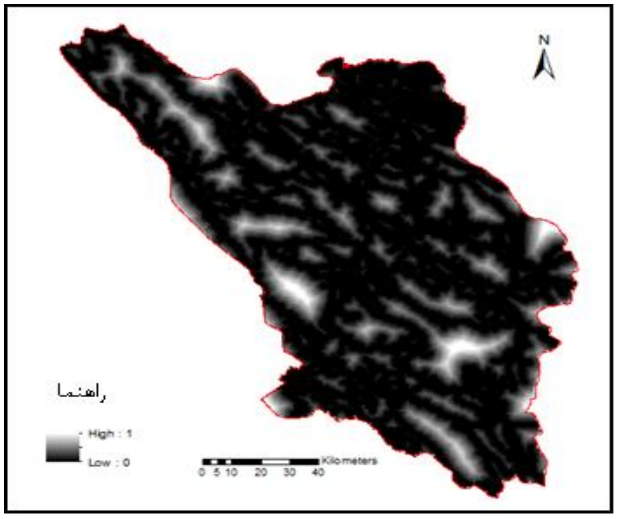
شکل ۷. نقشهٔ بارش استان چهارمحال و بختیاری

روش IDW درون‌یابی یک پارامتر مثل ارتفاع در مناطقی است که نمونه‌برداری نشده است. این کار با توجه به نقاط همسایه و با میانگین‌گیری از نقاط نمونه که در همسایگی هر نقطهٔ مجهول قرار دارد، انجام می‌شود. در روش IDW فرض ما بر این است که تأثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصلهٔ آن است. بنابراین، تأثیر پدیدهٔ مورد نظر با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد و هرچه این عدد کوچک‌تر باشد، تأثیر فاصله برداشته می‌شود. از ابزارهای درون‌یابی IDW (وزنی با فاصلهٔ معکوس) و Splineبه عنوان روش‌های درون‌یابی قطعی یاد می‌شود، زیرا آنها مستقیم بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ اطراف یا بر اساس فرمول‌های ریاضی مشخص‌شده‌ای هستند که صاف بودن سطح حاصل را تعیین می‌کنند. پس از آنکه اطلاعات اولیهٔ تهیه شد، باید نقشهٔ تابع فازی هر یک از معیارها نیز آماده شود. به این منظور، ابتدا نقشهٔ تابع فازی فاصله از آبراهه‌های استان کشیده شده که در شکل ۸ به نمایش درآمده است. با توجه به اینکه در نزدیکی رودخانه‌ها احتمال وقوع سیلاب بیشتر است، برای تابع فازی معیار فاصله از آبراهه‌ها از تابع خطی (Linear) استفاده شده است و رودخانه‌ها عدد ۱ که بیشترین عدد است و بیشترین خطر را دارد، به خود می‌پذیرد.

در گام بعدی، اقدام به فازی‌سازی و رسم تابع فازی فاصله از راه‌های استان شده است. به این منظور نیز از تابع خطی استفاده شده است، ولی به دلیل ذات مثبت آن در دسترسی به مکان‌های ایمن، از تابع خطی منفی برای فازی‌سازی این معیار استفاده شده است. ذات مثبت در این پارامتر به این معنا است که هرچقدر به راه‌های اصلی استان نزدیک‌تر باشیم، عدد فازی کوچک‌تری به آن نقطه داده شده و با دور شدن از راه‌ها، عدد فازی به عدد ۱ نزدیک می‌شود (شکل ۹).



شکل ۸. نقشهٔ تابع فازی فاصله از آبراهه‌های استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۹. نقشهٔ تابع فازی فاصله از راه‌های استان چهارمحال و بختیاری

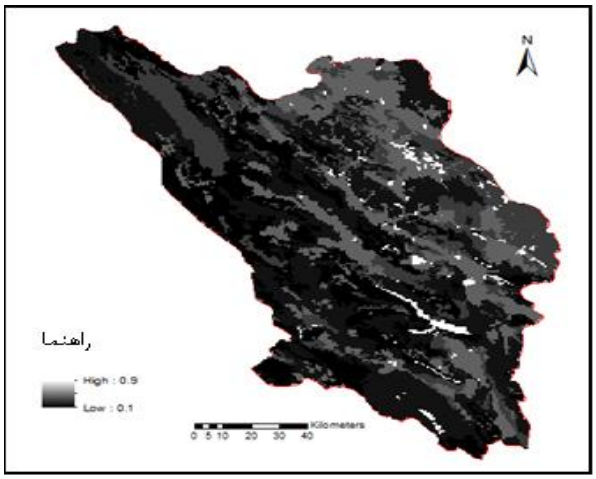
در مرحلهٔ بعد، نوبت به فازی‌سازی کاربری اراضی است که این فازی‌سازی با استفاده از اعداد به‌دست‌آمده از پرسش از خبرگان و میانگین‌گیری دیدگاه‌های آنها به دست آمده است (شکل ۱۰).

در گام بعدی باز هم با استفاده از نظر خبرگان میزان فازی‌سازی هر یک از شاخه‌های لندفرم محاسبه شده و نقشهٔ آن تهیه شده است (شکل ۱۱).

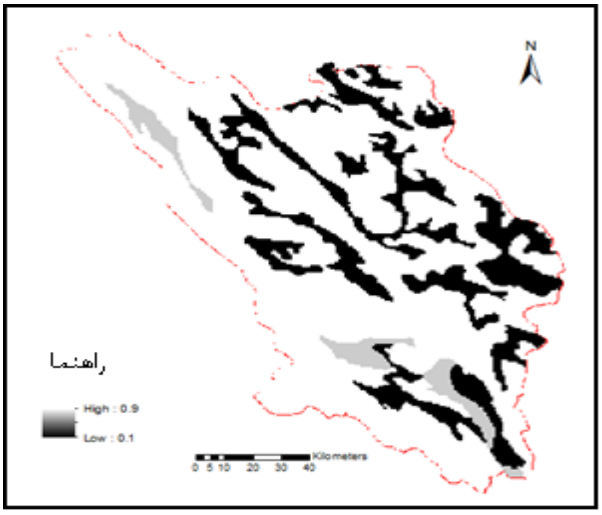
در این مرحله اقدام به محاسبهٔ نقشهٔ تابع فازی مدل رقومی ارتفاعی استان چهارمحال و بختیاری شده است. به این منظور و با توجه به مطالعات پیشین می‌توان بیان کرد که افزایش ارتفاع موجب افزایش سیل‌خیزی می‌شود و این افزایش تقریباً از رابطه‌ای خطی پیروی می‌کند، بنابراین برای فازی‌سازی این پارامتر از تابع خطی مستقیم استفاده شده است (شکل ۱۲).

در مرحلهٔ بعدی، به فازی‌سازی نقشهٔ شیب استان پرداخته شده و با در نظر گرفتن این نکته که افزایش شیب موجب افزایش سیل‌خیزی می‌شود، از تابع خطی برای فازی‌سازی این نقشه استفاده شده است (شکل ۱۳).

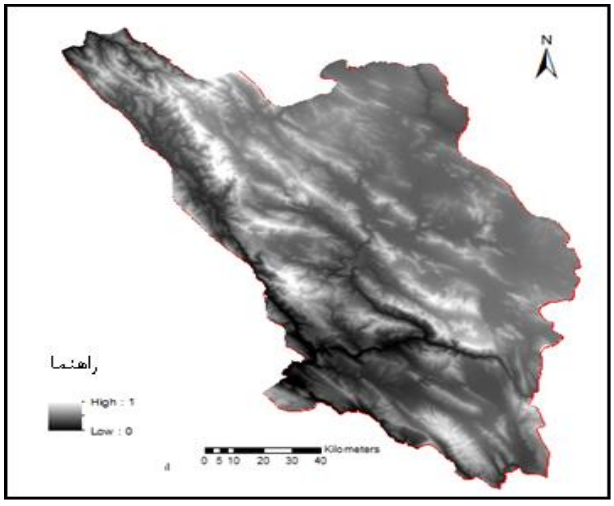
برای تهیهٔ آخرین معیار، نقشهٔ بارش استان بررسی شده و به این منظور، برای فازی‌سازی این نقشه و خطی نبودن آن و در نظر گرفتن مطالعات پیشین صورت‌پذیرفته از تابع Large برای فازی‌سازی آن بهره گرفته شده است (شکل ۱۴).



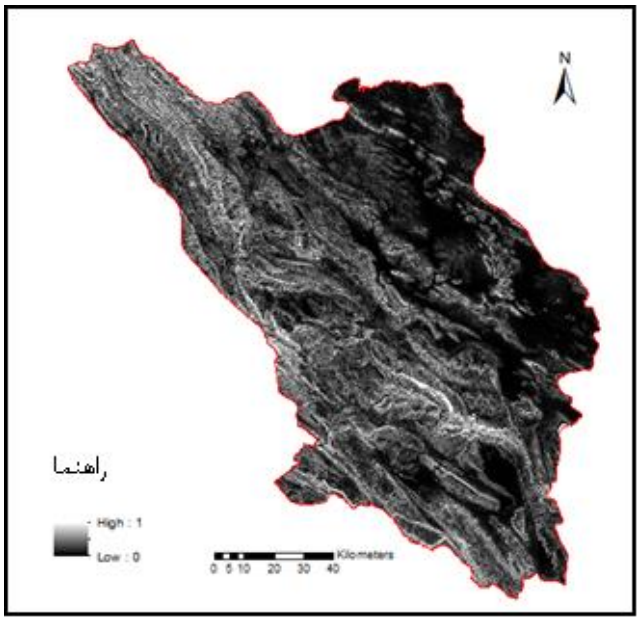
شکل ۱۰. نقشهٔ تابع فازی کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری



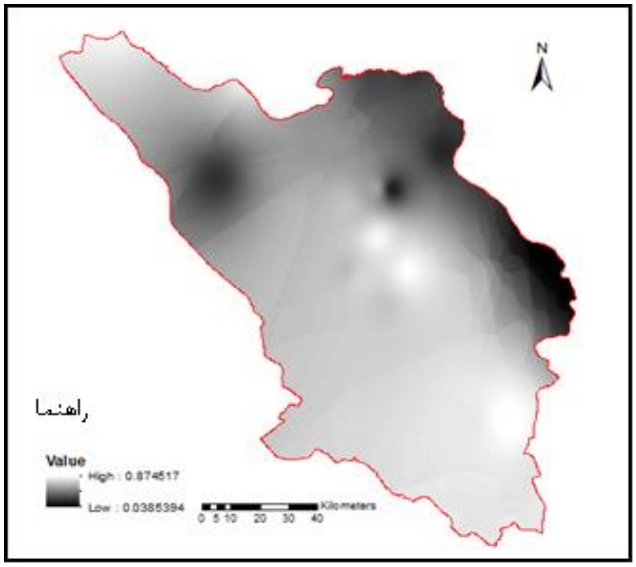
شکل ۱۱. نقشهٔ تابع فازی لندفرم استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۱۲. نقشهٔ تابع فازی مدل رقومی ارتفاعی استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۱۳. نقشهٔ تابع فازی شیب استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۱۴. نقشهٔ تابع فازی بارش استان چهارمحال و بختیاری

محاسبات روش AHP

روش حاضر مبتنی بر شش مرحله است؛ در مرحلهٔ نخست پرسشنامهٔ محقق‌ساخته تهیه و تدوین شده و روایی آن مورد سنجش قرار گرفته است. در مرحلهٔ دوم به سنجش مقادیر بر اساس مقایسه‌های زوجی در پنج طیف (برابر و مساوی، کم تا متوسط، متوسط، متوسط تا زیاد، خیلی زیاد) پرداخته شده و در مرحلهٔ سوم توزیع پرسشنامه صورت پذیرفته و نتایج حاصله مورد سنجش و آمارگیری دقیق قرار گرفت. در مرحلهٔ چهارم محقق به محاسبهٔ ماتریس S برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسهٔ زوجی بر اساس فرمول ذیل پرداخته است.

در رابطهٔ یادشده، M اعداد فازی مثلثی داخل ماتریس مقایسه‌های زوجی هستند. در حقیقت، هنگام محاسبهٔ ماتریس S، هر یک از اجزای اعداد فازی را نظیربه‌نظیر جمع می‌زنیم و در معکوس فازی مجموع کل ضرب می‌کنیم. این مرحله شبیه محاسبهٔ وزن‌های نرمال‌شده در روش AHP

معمولی، ولی با اعداد فازی است. مرحلهٔ پنجم از محاسبه اختصاص به محاسبهٔ درجه بزرگی Sها نسبت به همدیگر دارد که از فرمول ۱ برای دستیابی به آن محقق بهره برده است.

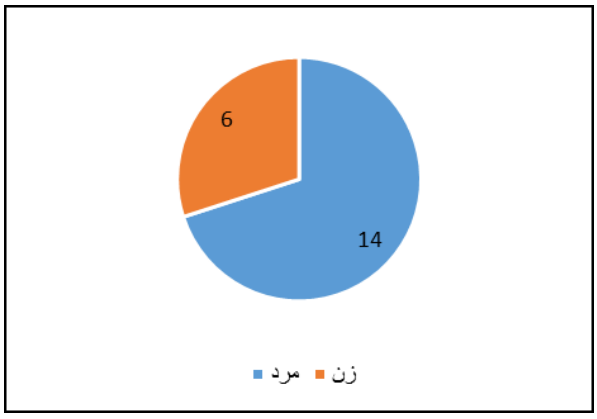
$$V(S_i > S_k) = \begin{cases} 1 & m_i \geq m_k \\ 0 & l_k \geq u_i \\ \dfrac{l_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - l_k)} & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = (V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \dots, (S, S_k)) = \min (V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \dots, (S, S_k)) = minV(S \geq S_i) \qquad i = 1,2, \dots, k$$

پس از دستیابی به نتایج در مرحلهٔ ششم، نوبت به محاسبهٔ وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی می‌رسد. این بخش از فرمول ۲ تبعیت می‌کند.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (2)$$

در نهایت، در مرحلهٔ هفتم محقق بردار وزن به‌دست‌آمده از مرحلهٔ قبل که نرمال نشده بود، را نرمالایز کرده تا بردار وزن نهایی که هدف نهایی ما از محاسبات فازی است، حاصل شود. درخور یادآوری است که جدول‌های ذیل از پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده بر اساس دیدگاه‌های ۲۰ نفر از نخبگان طراحی شده که شش نفر از داوطلبان خانم و باقی ۱۴ نفر مرد بوده‌اند. در رابطه با مدرک تحصیلی ایشان نیز می‌توان بیان کرد که ۵ نفر دارای مدرک لیسانس، ۹ نفر دارای مدرک فوق لیسانس و شش نفر دارای مدرک دکتری بوده‌اند. در این بین، ۱۲ نفر سابقهٔ کاری بین ۱۰ تا ۲۰ سال داشته‌اند، دو نفر بیش از ۲۰ سال سابقهٔ کاری داشته‌اند و ۵ نفر بین ۵ تا ۱۰ سال سابقه داشته و یک نفر کمتر از ۵ سال سابقه داشته است.

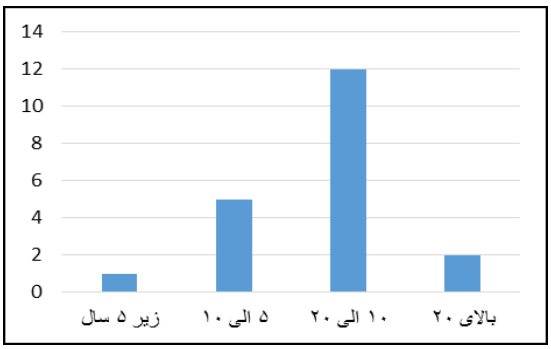


شکل ۱۵. جنسیت داوطلبان

اولویت‌ها		معادل فازی اولویت‌ها		
		حد پایین (L)	حد وسط (M)	حد بالا (U)
اهمیت یکسان	۱	۱	۱	۱
یکسان تا نسبتاً مهم‌تر	۲	۱	۲	۳
نسبتاً مهم‌تر	۳	۲	۳	۴
نسبتاً مهم‌تر تا اهمیت زیاد	۴	۳	۴	۵
اهمیت زیاد	۵	۴	۵	۶
اهمیت زیاد تا بسیار زیاد	۶	۵	۶	۷
اهمیت بسیار زیاد	۷	۶	۷	۸
بسیار زیاد تا کاملاً مهم‌تر	۸	۷	۸	۹
کاملاً مهم‌تر	۹	۸	۹	۱۰

شکل ۱۶. چگونگی امتیاز دادن به اولویت‌ها

شکل ۱۷. مدرک تحصیلی داوطلبان



شکل ۱۸. سابقهٔ کاری داوطلبان

جدول‌ها و شکل های پیوست ذیل به‌ترتیب مراحل را به نمایش می‌گذارد.

در جدول ۱ ارزش‌گذاری فازی همهٔ معیارها ارائه شده است.

در جدول‌های ۲ و۳ ارزش‌گذاری زیرمعیارهای توپوگرافی و هیدرواقلیم محدودهٔ مطالعه‌شده مورد سنجش قرار گرفته است.

و در نهایت، با استفاده از روابط FAHP مقادیر وزن هر معیار و زیرمعیار در جدول ۴ مشخص شد.

جدول ۱. ارزش‌گذاری فازی معیارها

عناوین	توپوگرافی			هیدرواقلیم			پوشش زمین (کاربری اراضی)			جاده (دسترسی)		
توپوگرافی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۳	۱	۲	۳
هیدرواقلیم	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۳	۱	۲	۳
پوشش زمین (کاربری اراضی)	۰,۳	۰,۵	۱	۰,۳	۰,۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
جاده (دسترسی)	۰,۳	۰,۵	۱	۰,۳	۰,۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۲. ارزش‌گذاری فازی زیرمعیارها توپوگرافی

عناوین	مدل رقومی ارتفاع			شیب			لندفرم		
مدل رقومی ارتفاع	۱	۱	۱	۰,۳۳	۰,۵	۱	۰,۳۳	۰,۵	۱
شیب	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱
لندفرم	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۳. ارزش‌گذاری فازی زیرمعیارهای هیدرواقلیم

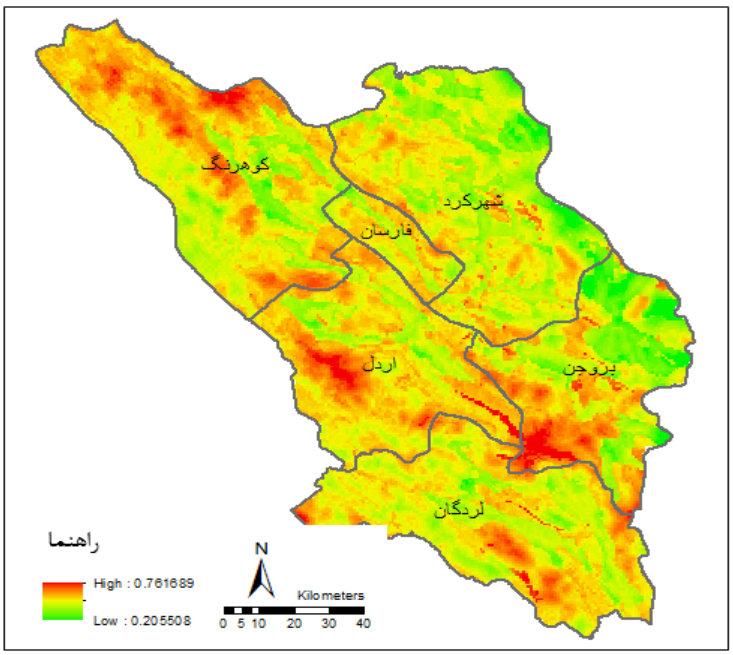
عناوین	فاصله از رودخانه			بارش		
فاصله از رودخانه	۱	۱	۱	۱	۲	۳
بارش	۰,۳۳	۰,۵	۱	۱	۱	۱

جدول ۴. مقادیر وزنی هر معیار و زیرمعیار

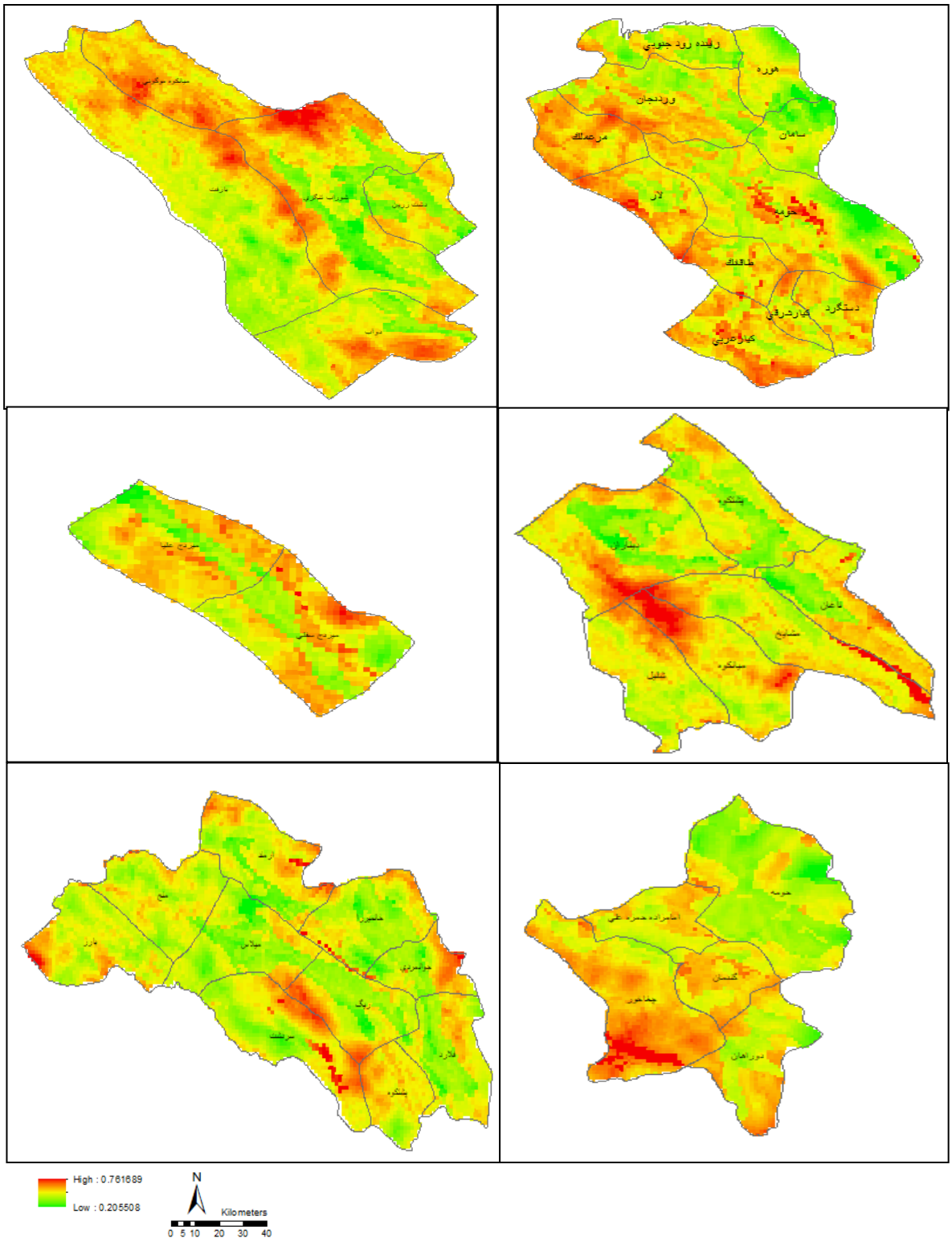
معیار	وزن معیار	زیرمعیار	وزن نهایی
توپوگرافی	۰,۳۴۶	مدل رقومی ارتفاع	۰,۰۶۳
		شیب	۰,۱۴۲
		لندفرم	۰,۱۴۲
هیدرواقلیم	۰,۳۴۶	فاصله از رودخانه	۰,۲۴۰
		بارش	۰,۱۰۷
پوشش زمین	۰,۱۵۴	کاربری اراضی	۰,۱۵۴
دسترسی	۰,۱۵۴	فاصله از جاده	۰,۱۵۴

یافته‌ها

نقشهٔ مناطق ایمن در برابر سیلاب استان چهارمحال و بختیاری بر اساس روش FAHP به‌دست آمده است. شایان یادآوری است محقق به علل سهولت بهره‌گیری، تحلیل آسان و کاربردی و قابل تعمیم بودن از این روش در پژوهش حاضر بهره برده است. همچنین، یکی از سیستم‌های جامع طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه به شمار می‌آید، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم آورده است. همچنین، معیارهای مختلف کمی و کیفی را در نظر گرفته و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. هرچند از معایب آن می‌توان به میزان و درصد خطای پژوهشگر اشاره کرد، همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، شهرکرد کمترین میزان خطرپذیری را در بین شهرستان‌های استان در اختیار دارد. برای شهرستان بروجن قسمت‌های شمالی و شمال شرقی استان ایمن‌ترین مکان‌ها در شهرستان است. همچنین، همین روند در شهرستان اردل نیز قابل یادآوری است و شمال و شمال شرق این شهرستان ایمن‌ترین قسمت‌های آن را تشکیل می‌دهد. برای شهرستان کوهرنگ قسمت‌های مرکزی آن و جنوب آن از ایمنی بیشتری نسبت به قسمت‌های شمالی شهرستان برخوردارند. در شهرستان شهرکرد قسمت‌های شرقی این شهرستان ایمن‌ترین نقاط را تشکیل داده و برای لردگان قسمت‌های شمالی این شهرستان ایمن‌ترین قسمت‌ها هستند.



شکل ۱۹. نقشهٔ مناطق ایمن در برابر سیلاب استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۲۰. اولویت محل اسکان بر اساس دهستان

بحث

الگوی مناسب برای تخلیه در حادثهٔ سیلاب شناسایی مکان‌هایی با سیل‌پذیری کم و دسترسی به این مکان‌ها قبل از وقوع حادثه است که آمادگی برای برخورد مناسب را در اختیار افراد قرار می‌دهد. به این منظور، باید تا سیل‌خیزی مناطق مدل‌سازی‌شده و با ترکیب پارامترهای آن با

پارامترهای سهولت دسترسی به مکان‌های مورد نظر بهترین مکان‌ها برای تخلیه و اسکان موقت انتخاب شود. بنابراین، ابتدا معیارها شناسایی شده و با توجه به اینکه توان معیارهای مختلف را با یکدیگر ارتباط داد اقدام به فازی‌سازی آنها شده است. برای به دست آوردن سیل‌خیزی منطقه از پارامترهای نزدیکی به رودخانه‌ها، کاربری اراضی، لندفرم، مدل رقومی ارتفاعی، شیب و بارش استفاده شده است. به‌طبع، با افزایش بارش احتمال سیل‌خیزی افزایش پیدا می‌کند، اما این افزایش به صورت خطی صورت نمی‌پذیرد. بنابراین، با استفاده از روابط دیگری برای فازی‌سازی این پارامتر استفاده شده است. یکی دیگر از پارامترها، نزدیکی به رودخانه است که هرچه به رودخانه نزدیک‌تر شویم احتمال سیل‌خیزی بیشتر می‌شود. بنابراین، برای بی‌بعدسازی این پارامتر از روش خطی استفاده شده است. کاربری اراضی یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در سیلاب است که هر چقدر میزان پوشش گیاهی در منطقه‌ای بیشتر باشد، خطر سیل‌پذیری کمتری دارد. با توجه به اینکه افزایش ارتفاع موجب افزایش سیل‌خیزی می‌شود از مدل رقومی ارتفاعی استان چهارمحال و بختیاری استفاده که برای فازی‌سازی آن نیز از روابط خطی استفاده شده است. در مرحلهٔ بعدی نقشهٔ شیب استان بررسی شده که با در نظر گرفتن این نکته که افزایش شیب موجب افزایش سیل‌خیزی می‌شود از تابع خطی برای فازی‌سازی این نقشه استفادهٔ آخرین پارامتر در سیل‌خیز نقشهٔ لندفرم بوده است.

در گام بعدی، پارامتر سهولت دسترسی به مکان‌های مورد نظر بررسی شده است. به این منظور، از نسبت فاصله به راه‌های استان استفاده شده است. در این مرحله باید نقشهٔ سیل‌خیزی با نقشهٔ فاصله از راه‌ها ترکیب شود. هرچه فاصله از راه‌های اصلی کمتر باشد سهولت دسترسی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، برای ترکیب این نقشه با نقشه‌های فازی‌شده باید از تابع خطی منفی برای فازی‌سازی این معیار استفاده شود. این موضوع بیانگر آن است که هرچقدر به راه‌های اصلی نزدیک‌تر باشیم، مقدار عدد فازی متناظر با آن عدد کوچک‌تری خواهد بود که با ترکیب نقشهٔ پارامترهای سیل‌خیزی و با استفاده از روش FAHP هرچقدر وزن مجموع کمتر باشد، مکان ایمنی بیشتری در برابر سیلاب خواهد داشت که می‌توان با شناسایی این مناطق اقدام به برنامه‌ریزی برای تخلیهٔ مناسب در حادثهٔ سیلاب کرد.

در ادامه، با توجه به هر شهرستان موجود در استان، منطقه‌ای در دهستان به عنوان مکان ایمن شناسایی شده است. در گام بعدی، برای دقیق‌تر شدن محل مکان ایمن، باید با بازدیدهای میدانی در هر دهستان به صورت دقیق مشخص شود. بنابراین، با توجه به راه‌های موجود برای رسیدن به مکان مشخص شده اقدام به فراهم کردن شرایط از جمله ایجاد راه‌های دسترسی مناسب برای رسیدن به مکان ایمن و یا بهبود شرایط موجود بررسی شود. با توجه به قرارگیری هر منطقه که نیاز به تخلیهٔ آن است، نسبت به انتخاب کوتاه‌ترین زمان برای رسیدن به مکان ایمن لحاظ می‌شود.

نقشهٔ مناطق ایمن در برابر سیلاب استان چهارمحال و بختیاری بر اساس روش FAHP به دست آمده است. بر اساس نقشه‌های به‌دست‌آمده و با توجه به ایمن بودن مناطق مختلف در هر یک از شهرستان‌های استان اقدام به اولویت‌بندی مناطق ایمن در هر شهرستان بر اساس‌دهستان‌های استان شده است. به طور کلی، می‌توان بیان کرد که شهرکرد کمترین میزان خطرپذیری را در بین شهرستان‌های استان در اختیار دارد. در این شهرستان قسمت‌های شرقی دارای ایمنی بیشتر با پوشش گیاهی مرتع زیاد و متوسط، و در غرب نیز با پوشش سنگی، مخزن و سد و آب‌بندان که ایمنی کمتری دارند. بنابراین، دو دهستان سامان و هوره وضعیت مناسبی از نظر اسکان موقت در بین کلیهٔ دهستان‌های شهر شهرکرد برخوردارند. به این ترتیب، می‌توان گفت که برای شهرستان بروجن دهستان حومه ایمن‌ترین مکان در شهرستان است، چرا که پوشش گیاهی آن از مرتع با پوشش متوسط و مخلوط زراعت آب و دیم است. برای شهرستان کوهرنگ قسمت‌های مرکزی و جنوب آن ایمنی بیشتری نسبت به قسمت‌های شمالی شهرستان دارد. ولی در مجموع دهستان دشت‌زرین بهترین منطقه برای اسکان موقت بوده، چرا که در آن منطقه پوشش گیاهی از مراتع انبوه و متوسط برخوردار و کاربری آن در محدودهٔ شهری است. همچنین، در قسمت‌های شمالی و غربی این شهرستان جنگل با تاج پوشش متوسط و کم به همراه هور و تالاب قرار گرفته است. برای شهرستان اردل هر چند دو دهستان میزدج سفلی و علیا قرار گرفته‌اند، ولی با توجه به نزدیک بودن دهستان دشت زرین به این منطقه بهتر است برای این شهرستان نیز محل اسکان در این منطقه در نظر گرفته شود. برای شهرستان لردگان که دهستان منج

دارای منطقه ایمن در بین دهستان‌های آن شهر است، پوشش گیاهی جنگل انبوه و متوسط و در قسمت‌های جنوبی که ایمنی کمتری دارد از هور و تالاب تشکیل شده است. در نهایت، اولویت استفاده از هر مکان بر اساس کوتاه‌ترین زمان رسیدن به منطقهٔ ایمن خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، سعی بر آن بود که راهی برای حفظ جان افراد حادثه‌دیده یک منطقه در مواقع اضطراری ارائه شود. گاهی اوقات حوادث، شرایطی را در یک منطقه ایجاد می‌کنند که هیچ استراتژی‌ای پاسخ‌گوی نیازهای افراد حادثه‌دیده نیست؛ بنابراین تخلیهٔ منطقه تنها راه کمک به این افراد است. به این منظور، در مطالعهٔ حاضر ابتدا ادبیات تحقیق شامل مروری بر مطالعات پیشین انجام‌شده روی تخلیهٔ اضطراری و همچنین، تصمیم‌گیری چندمعیاره مطالعه شده است. پس از آن، مدل و موقعیت فعلی منطقه بررسی شده و سپس، مبانی تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز انجام شده است. با توجه به اینکه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) از قابلیت‌ها و توانایی‌های زیادی برخوردار است، از این ابزار می‌توان در برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌ریزی‌های شهرسازی به طور گسترده بهره گرفت. شهر و شبکهٔ ارتباطی آن نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت روزانه دارد که باید با در نظر گرفتن تمام شرایط موجود برای شهر برنامهٔ متناسب با نیاز شهر را ارائه کرد. بنابراین، با کمک گرفتن از سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های آبراهه‌ها، راه‌ها، کاربری اراضی، لندفرم، مدل رقومی ارتفاعی، شیب و بارش در استان چهارمحال و بختیاری که به عنوان شاخص‌های تأثیرگذار بر انتخاب بهترین گزینه در نظر گرفته شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ادامه، با توجه به نقشه‌های سیل‌پذیری و با استفاده از روش تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی (AHP) بهترین نقطهٔ ایمن برای هر یک از شهرستان‌ها به دست آمد و نقاط ایمن در محل مشخص شدند.

منابع

[1]. Ebrahimian, Seyed Mohammad and Iman Enayati Noabadi, , Optimal Routing Modeling Using Ant Algorithm for Rapid Transfer of Sudden Accident Victims to Predetermined Safe Areas, 6th Congress of Iran Geopolitical Association of Passive Defense, Mashhad, Iran Geopolitical Association Mashhad Ferdowsi University, 2013 [Persian].

[2]. Qanawati, A. Empowering Urban Crisis Management to Reduce Natural Disasters (Earthquakes) Case Study: Khorramabad. Quarterly Journal of Natural Geography, First Year, No. 2009.

[3]. Ismaili, A. Crisis management in the field of traffic. First Edition, Tehran: NAJA University of Law Enforcement Publications, 2010 [Persian].

[4]. Ghafouri Amin, Mohammad Ibrahim and Mahboubeh Banai Karizbala, Simulation of emergency evacuation operations in crisis situations with ANYLOGIC software, 8th International Conference on Comprehensive Crisis Management, Tehran, Permanent Secretariat of the International Conference on Comprehensive Crisis Management, 2016 [Persian].

[5]. Abrin, Mohammad and Safa Khazaei, Emergency evacuation scenario-based routing in crises caused by terrorist attack using GIS Case study: Gorgan, 2nd National Conference on Crisis Management and Passive Defense, Aliabad Katoul, Islamic Azad University, Aliabad Katoul Branch, 2017 [Persian].

[6]. Ahmadzadeh, Farzaneh and Mohammad Montazeri, Presenting AHP-TOPSIS Combined Approach to Prioritize Emergency Evacuation Routes of Urban Train Stations in the Event of Fire (Case Study: Tehran Metro Line 2, Four Stations), 5th International Conference on Recent Advances in Railway Engineering , Tehran, Iran University of Science and Technology, 2017 [Persian].

[7]. Amin Ghafouri, Mohammad Ibrahim; Jalal Ghorbani; Kourosh Bavandi and Hamidreza Bagheri, Presenting solutions to increase the productivity of fire stations with the aim of increasing the safety of the area covered and modeling and simulation with Anylogic software, the 8th Asian Summit of the Safe Society and the first regional session of the Safe Society of Mashhad, Mashhad, Mashhad Municipality, 2016 [Persian].

[8]. Movahedinia et al, preparation of an emergency action plan in Iran was reviewed for the first time in the case of Golestan Dam, and a warning, evacuation, hazard control and relief plan has been prepared and presented for this dam, 2015 [Persian].

[9]. Ganjaei et al, Determined the effective indicators in determining the rescue and emergency evacuation routes in urban areas from the perspective of crisis management, 2012 [Persian].

[10]. Karnama, Assadollah and Samira Hassanzadeh, Assessment of Crisis Management Infrastructures (Case Study: Emergency Roads in Kerman), Fifth International Conference on Comprehensive Natural Crisis Management, Tehran, Permanent Secretariat of the Conference on Comprehensive Crisis Management, 2013 [Persian].

[11]. Ebrahimian, Seyed Mohammad and Iman Enayati Noabadi, , Optimal Routing Modeling Using Ant Algorithm for Rapid Transfer of Sudden Accident Victims to Predetermined Safe Areas, 6th Congress of Iran Geopolitical Association of Passive Defense, Mashhad, Iran Geopolitical Association Mashhad Ferdowsi University, 2013 [Persian].

[12]. Khairtal et al. Studied the safe evacuation program of a neighborhood in order to reduce the impact of the accident for the Laleh Park neighborhood of Tehran, and reliable results were obtained 2014 [Persian].

[13]. Forghani et al. investigated the vulnerability of the road network during emergency evacuation in possible earthquakes in Samen region of Mashhad 2016 [Persian].

[14]. Hosseinzadeh Khaneh Sar, Ghorban and Yalda Mohammadi Pathology of Tehran Bazaar, Presentation of Emergency Evacuation Program for EEP Passages in Tehran Bazaar (Case Study of Chahar Souk Bozorg), 2nd National Conference on Fire and Urban Safety, Tehran, Fire Organization Address and safety services of Tehran Municipality2016 [Persian].

[15]. Danumah, J.H., Odai, S.N., Saley, B.M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., Kouame, F.K. and Akpa, L.Y. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques,(cote d'ivoire). Geoenvironmental Disasters, 2016.

[16]. Manliguez et al, Features extracted from LIDAR data were used to create a dynamic network of buildings and roads, 2017.

[17]. Jamrussri, S. and Toda, Y. Available Flood Evacuation Time for High-Risk Areas in the Middle Reach of Chao Phraya River Basin. Water, 2018; 10(12), p.1871.