

## کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه با رویکرد تحلیل چندمعیاره

حسن محمودزاده\* - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز  
فاطمه یاری - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز  
علی واحدی - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۰

### چکیده

شتاب شهرنشینی و روند رو به گسترش گرمایش جهانی اهمیت پرداختن به مسئله سیلاب‌های شهری را بیش از پیش نمایان می‌کند. در این مطالعه برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهری ارومیه از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) و تحلیل‌های چندمعیاره فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. برای پهنه‌بندی خطر سیلاب از لایه‌هایی چون لایه ضریب رواناب، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، فاصله از رودخانه، ضریب CN، کاربری اراضی، شیب، فضای باز و قدمت ابنیه و برای تراکم پوشش گیاهی از تصویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. وزن‌دهی نهایی لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert choice به دست آمد و خروجی آن به حالت فازی اعمال شد. نقشه خطر سیلاب شهری نشان می‌دهد ۲۲/۳۱ درصد در پهنه خطر خیلی زیاد، ۲۹/۰۸ درصد در پهنه خطر زیاد، ۲۶/۴۵ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۷/۵۲ درصد در پهنه خطر کم، و ۴/۶۴ درصد در پهنه خطر خیلی کم از لحاظ سیلاب‌خیزی قرار گرفته است و مناطق مرکزی شهر پتانسیل بیشتری نسبت به سایر مناطق شهر برای سیلاب‌خیزی دارد، که از طریق ایجاد کانال‌های زیرزمینی و انحرافی در مرکز شهر می‌توان رواناب‌های سطحی شهر را به خارج از شهر هدایت و از بروز سیلاب جلوگیری کرد.

کلیدواژه‌ها: ارومیه، پهنه‌بندی خطر سیلاب، ترکیب خطی وزن‌دار، روش‌های چندمتغیره، فازی.

### مقدمه

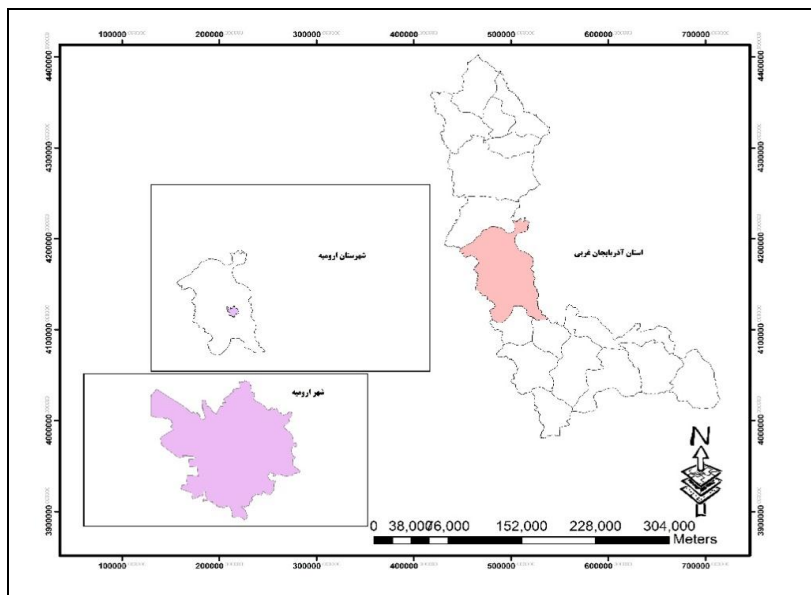
سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است. طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب همراه زلزله و خشک‌سالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (قنوتی، ۱۳۹۳: ۱۱۳). سیلاب‌ها نه تنها در نواحی برون‌شهری، بلکه در نواحی شهری نیز آسیب‌های فراوانی به بار می‌آورند. شدت این آسیب‌ها گاهی در نواحی شهری بیش از نواحی برون‌شهری است. از زمان‌های گذشته به سیلاب‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی توجه خاصی شده؛ در حالی که در محیط شهری به سیلاب کمتر توجه شده است؛ عواقب اجتماعی و اقتصادی سیلاب در محیط شهری به طور اجتناب‌ناپذیری بیش از ۲/۴۹ درصد از ساکنان جهان را تحت تأثیر قرار داده است (بدیعی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴:

۳۰۰). تغییرات انسانی ایجادشده در الگوی طبیعی سیستم‌های زه‌کشی در نواحی شهری و حاشیه شهرها عامل اصلی بروز سیلاب و آسیب‌های وارده است. بالابودن آسیب‌های سیلاب در شهرها عمدتاً به دلیل قرارگیری برخی از بخش‌های قدیمی شهرها در حاشیه رودخانه، تغییر الگوی زه‌کشی طبیعی حوضه‌ها به دلیل گسترش شهری، و تخریب پوشش گیاهی و منابع طبیعی در حوضه‌های بالادست شهری است (کرم و درخشان، ۱۳۹۱: ۳۷-۳۸). افزایش سطوح نفوذناپذیر، که ناشی از احداث ساختمان در خاک‌های نفوذپذیر است، طبعاً از سطوح نفوذپذیر حوضه، که قادر به جذب بخشی از بارندگی است، کاسته و، در نتیجه، بر حجم کل رواناب شهر افزوده است (طاهری بهبهانی و همکاران، ۱۳۷۵: ۲). از نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌توان به‌منزله ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر و همچنین شناخت نواحی‌ای که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زه‌کشی سیلاب مورد نیاز است استفاده کرد (بوشل و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۸۵). پهنه‌بندی خطر سیلاب با هدف به‌کارگیری در برنامه‌ریزی و مدیریت در کنترل و مهار سیل تاکنون در شهر ارومیه مورد توجه نبوده و در قالب طرح تحقیقاتی و حتی مطالعاتی فعالیت چندانی در این زمینه انجام نگرفته است. لذا، به منظور پیش‌بینی دامنه خسارات ناشی از سیلاب در شرایط مختلف و توجیه اقتصادی و اجتماعی، برنامه‌های کنترل و مهار سیلاب در پهنه‌بندی خطر سیل ضروری می‌نماید. مطالعات داخلی و خارجی بسیاری در ارتباط با سیلاب و زمینه‌های مختلف مرتبط با آن انجام گرفته است؛ از جمله می‌توان به مطالعات کلانتری و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد. آنان مناطق سیل خیز در غرب سوئد را با استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌ها، که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده بود، مشخص کردند. چن گوانگ‌لی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه براساس استخراج قاعده (مورچه خیش) به پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه رودخانه دانگ جینگ در جنوب چین پرداختند؛ بر اساس نتایج مطالعه آنان، مناطق در معرض خطر بالا با نقشه ریسک و وقوع سیلاب‌های اتفاق افتاده در طول تاریخ بر هم منطبق شده‌اند و روش مورچه خیش قادر به پهنه‌بندی خطر سیل در مقیاس شبکه است. وندرسن و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ایکنوس<sup>۱</sup> را در بخش‌های جنوبی هلند برای برآورد خطر و خسارات سیلاب با استفاده از مدل LISFLOOD طبقه‌بندی کردند. در نهایت، خسارات ناشی از سیلاب را با توجه به عمق و حجم سیلاب در ارتباط با هر طبقه پوشش زمین تعیین کردند. مانتای و مارکو (۲۰۰۹) با استفاده از سیستم پشتیبان کاداستر به پهنه‌بندی سیلاب در شهر نیویورک پرداختند. حجازی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب در حوضه ليقوان‌چای پرداختند؛ نتایج مطالعه ایشان نشان می‌دهد ۲۸ درصد از مساحت کل حوضه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده است و از لحاظ مکانی این پهنه‌ها تقریباً در ورودی محدوده شهر تبریز قرار دارند. چن و همکاران (۲۰۱۱: ۱۹۱۸) روش تحلیل خوشه‌ای فازی و شاخص‌های مساحت تحت تأثیر قرار گرفته، شمار تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران‌شده، و میزان خسارات اقتصادی مستقیم را در طبقه‌بندی خطر سیلاب در سی استان چین به‌کار بردند و به این نتیجه رسیدند که روش تحلیل خوشه‌ای فازی روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب است. هاگن و همکاران (۲۰۱۰: ۹) برای تهیه نقشه سیلاب حوضه هلمند افغانستان از مدل مهندسی معکوس سیلاب استفاده کردند. خلیلی‌زاده (۱۳۸۲) در تحقیقی با نام «ارزیابی خطر و مدیریت در شهر گرگان»، با استفاده از نرم‌افزار GIS-Arcview، به پهنه‌بندی خطر سیل در طی سال اقدام نمود. همچنین، صالحی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy-AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آبراهه‌ها و حریم آن‌ها، همچنین نواحی مرکزی تا جنوب شهر بیشترین پتانسیل را برای سیل‌خیزی دارند.

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهر ارومیه، مرکز شهرستان ارومیه، و مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله ۱۸ کیلومتری دریاچه ارومیه، در مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۷ درجه و

۳۲ دقیقه عرض شمالی از مبدأ خط استوا در داخل جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر قرار گرفته است (شکل ۱). شهر ارومیه در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۶۸۰۲۲۸ نفر جمعیت داشته است (سالنامه آماری استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۰). شهر ارومیه با مساحتی حدود ۶۰ کیلومتر مربع دارای موقعیت استقرار مناسب بوده و تقریباً در میانه استان واقع شده است. این شهر در جلگه ارومیه، که یکی از مستعدترین جلگه‌هاست، واقع است. از جانب غرب با داشتن مرز مشترک با کشور ترکیه از موقعیت خاص جغرافیایی برخوردار بوده که اهمیت اقتصادی و سیاسی خاصی به این شهر داده است. از دیدگاه اقتصادی، شهر حالت تجاری داشته و مرکز اصلی مبادله در استان آذربایجان غربی محسوب می‌شود (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۲).



شکل ۱. نمایش موقعیت منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش

### روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

هدف از ارزیابی چندمعیاری انتخاب بهترین جای‌گزین بر مبنای رتبه‌بندی آن‌ها از طریق ارزیابی چندمعیاره اصلی است. روش‌های متعددی برای تحلیل ارزیابی چندمعیاره وجود دارد؛ مهم‌ترین و اصلی‌ترین آن‌ها عبارت است از: روش ترکیب خطی وزن‌دار، رویکردهای تابع ارزش / مطلوبیت<sup>۱</sup>، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش نقطه ایده‌آل<sup>۲</sup>، و روش توافقی<sup>۳</sup> (مالچوسکی، ۱۹۹۹: ۱۹۹). روش ترکیب خطی وزن‌دار رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است. این تکنیک روش ساده وزن‌دهی جمع‌پذیر<sup>۴</sup> و روش امتیازدهی<sup>۵</sup> نیز نامیده می‌شود. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیلگر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای «اهمیت نسبی» هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس، از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو (مثلاً عنصر تصویر در

1. value/utility function  
2. ideal Point  
3. concordance  
4. simple additive weighting  
5. scoring

تحلیل فضایی) به دست می‌آید. پس از آنکه مقدار نهایی هر آلترناتیو مشخص شد، آلترناتیوی که بیشترین مقدار را داشته باشد مناسب‌ترین جای‌گزین برای هدف موردنظر خواهد بود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۵).

روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) تکنیک میانگین‌گیری است که تصمیمات سخت روش بولین را آسان‌تر می‌سازد و از افراط دوری می‌کند. در واقع، با تداوم بخشیدن به ریسک از حداقل به حداکثر WLC دقیقاً یک حالت میانه پیدا می‌کند که نه ضدریسک (حالت AND که حداقل پیکسل‌ها را در نظر می‌گیرد) است و نه ریسک‌پذیر (حالت OR که حداکثر ارزش پیکسل‌ها را در نظر می‌گیرد) (استمان، ۲۰۱۲: ۱۳۳). روش ترکیب خطی وزنی مبتنی بر GIS شامل مراحل زیر است: ۱. مشخص کردن مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی (لایه‌های نقشه) و همچنین مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن؛ ۲. استاندارد کردن هر لایه نقشه معیار؛ ۳. تعیین وزن‌های معیار؛ بدین گونه که به طور مستقیم وزنی از اهمیت نسبی به نقشه معیار اختصاص می‌دهیم؛ ۴. ایجاد لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی (با ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزن متناظر بر آن‌ها). به طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \quad (1)$$

که در آن  $X_{ij}$  معرف نمره گزینه  $i$  در ارتباط با صفت  $j$  و  $W_j$  مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که وزن  $\sum W_j = 1$  اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارد. با تعیین ارزش حداکثر  $i = A_j$  اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌شود. در رابطه ۱ مانند معادل رگرسیون تناسب به صورت خطی تعیین می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۶). در تحقیق حاضر، عملیات WLC در محیط Idrisi Kilimanjaro و با استفاده از تابع MCE انجام شد.

### معیارهای ارزیابی استانداردسازی لایه‌ها به روش فازی

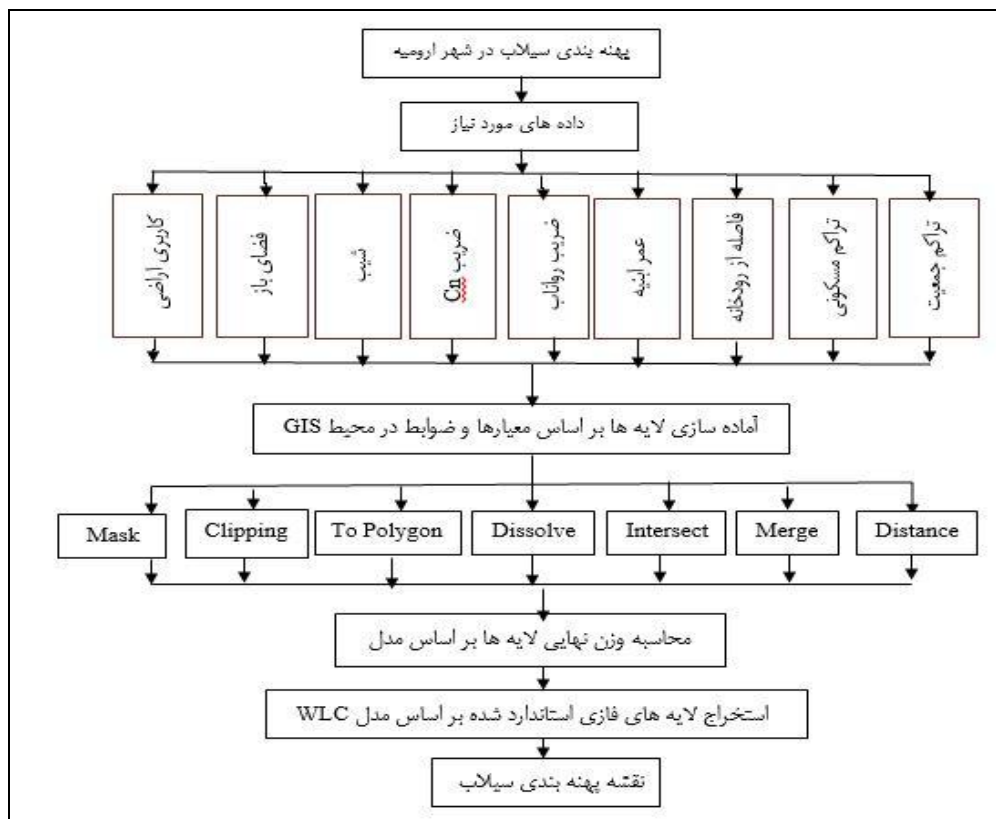
همان‌گونه که بیان شد، وجود معیارهای مختلف و گاه متضاد برای تصمیم‌گیری کاربرد روش‌های چندمتغیره را الزامی می‌کند. برای اجرای پهنه‌بندی و ادغام کردن نقشه‌ها، باید لایه‌های مؤثر در پهنه‌بندی را استاندارد کنیم. یعنی لایه‌ها با استفاده از قواعد تصمیم‌گیری به مقیاسی تبدیل شوند که بتوان آن‌ها را با یکدیگر ادغام کرد (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۶). در این پژوهش نیز از معیارهای مختلف طبیعی و انسانی برای رسیدن به هدف استفاده شد. طی این فرایند ابتدا شاخص‌های طبیعی و انسانی مورد نیاز و تأثیرگذار در قالب نه شاخص فاصله از رودخانه، ضریب رواناب، قدمت ابنیه، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، شیب، ضریب CN<sup>۱</sup>، فضای باز، و کاربری اراضی تهیه و ویرایش شد (جدول ۱). پس از رقوم کردن این لایه‌ها، چون هر نقشه معیار دارای دامنه و مقیاس اندازه‌گیری متفاوتی است، برای تحلیل و ارزیابی چندمعیاری باید مقیاس اندازه‌گیری آن‌ها را متناسب و همخوان کرد. برای همسان‌سازی مقیاس‌های اندازه‌گیری و تبدیل آن‌ها به واحدهای قابل مقایسه از فرایند استانداردسازی معیارها استفاده می‌شود. در سامانه اطلاعات جغرافیایی برای استاندارد کردن معیارها چند رویکرد مختلف شامل روش‌های قطعی، احتمالاتی، و فازی وجود دارد که در این پژوهش برای استانداردسازی داده‌ها از روش فازی استفاده شده است. در ارتباط با به‌کارگیری روش فازی باید اشاره کرد که در تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، تئوری فازی معمول‌ترین روش برای بحث و بررسی و عدم قطعیت‌ها شناخته شده است. در واقع، روشی است برای برگرداندن طیف متنوع و گسترده‌ای از اطلاعات- داده‌های عینی، اطلاعات کمی، نظرها و قضاوت‌های ذهنی و عینی به یک زبان طبیعی که توصیف اثرهای محیط را فراهم می‌آورد (موسوی، ۱۳۹۳: ۹۶). استانداردسازی داده‌ها کلیه مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه‌ای را به دامنه یکسانی مثلاً بین صفر تا یک یا صفر تا ۲۵۵ تبدیل می‌کند. فرایند استانداردسازی در روش فازی از طریق باز قالب‌بندی مقادیر و ارزش‌ها به شکل یک مجموعه عضویت عملی می‌شود. در این حالت بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی عدد صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (کرم، ۱۳۸۳: ۱۴۱).

جدول ۱. توابع فازی برای استانداردسازی معیارها

نام تابع فازی	نوع تابع فازی	تابع عضویت	حد آستانه		لایه نقشه
			c یا a	d یا b	
خطی	افزایشی	$M_A(x) \begin{cases} 0, x \leq 500 \\ \frac{x-500}{1000-500} 500 < x \leq 1000 \\ 1, x > 1000 \end{cases}$	.	۹۲۳۶.۴۹	فاصله از رودخانه
کاربر پایه	کاربر پایه	$if(x) \begin{cases} 0, بدون جمعیت \\ .2, تراکم کم \\ .6, تراکم متوسط \\ .8, تراکم زیاد \end{cases}$	.	۴	تراکم جمعیت
سیگموئیدال	کاهشی	$M_A(X) \begin{cases} 1, x \leq 10 \\ \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left[ \pi \frac{x-10}{30-10} \right] \right], 10 \leq x < 30 \\ 0, x > 30 \end{cases}$	.	۳۵۶۶۹۸	شیب
کاربر پایه	کاربر پایه	$if(x) \begin{cases} .2, بدون ساختمان \\ .4, تراکم کم \\ .6, تراکم متوسط \\ .8, تراکم زیاد \\ 1, تراکم خیلی زیاد \end{cases}$	.	۵	تراکم ساختمانی
خطی	افزایشی	$M_A(x) \begin{cases} 0, x = 0.1 \\ \frac{1}{2} \left[ 1 - \cos \left[ \pi \frac{x-0.1}{0.8-0.1} \right] \right], 0.1 < x < 0.8 \\ 1, x = 0.8 \end{cases}$	.۰۱	.۰۸	ضریب رواناب
کاربر پایه	کاربر پایه	$if(x) \begin{cases} .2, پارک و فضای سبز تجهیز شده بایر،مذهبی، بهداشتی، ورزشیاراضی باغی، آموزشی، درمانیجهانگردی، اداری و انتظامی.6, کشاورزی، کارگاهی صنعتی،فرهنگی، نظامی، تجاری.7, حمل نقل و انبار، دامداری.8, تأسیسات و تجهیزات شهریمسکونی \end{cases}$	.	۲۰	کاربری اراضی
کاربر پایه	کاربر پایه	$if(x) \begin{cases} .1, بایر \\ .2, نوساز \\ .6, تعمیراتی \\ .8, تخریبی \end{cases}$	.	۴	عمر ابنیه
خطی	افزایشی	$M_A(X) \begin{cases} 0, x = 67 \\ \frac{1}{2} \left[ 1 - \cos \left[ \pi \frac{x-67}{92-67} \right] \right], 67 < x < 92 \\ 1, x = 92 \end{cases}$	۶۷	۹۲	ضریب CN
کاربر پایه	کاربر پایه	$if(x) \begin{cases} .2, فضای باز \\ .8, متراکم \end{cases}$	.	۱	فضای باز

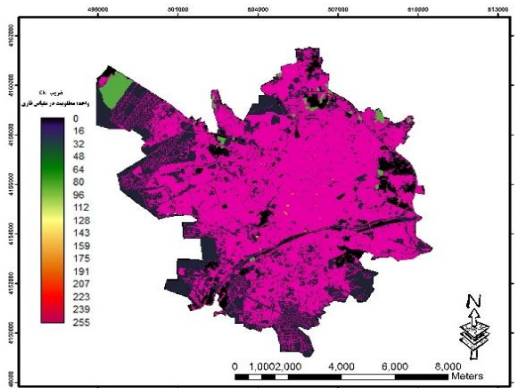
سپس، با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> درجه اهمیت لایه‌ای یا اوزان مربوطه با تعریف ماتریس مقایسه دوتایی در محیط نرم‌افزار Export Choice و تعیین ارجحیت لایه‌ها نسبت به یکدیگر، وزن نهایی هر لایه با ضریب ناپایداری ۰/۰۷ به دست آمد که با توجه به کم‌بودن آن از ۰/۱ برای ترسیم نقشه‌های آسیب‌پذیری بر روی لایه‌ها اعمال شد.

از نقشه شهر ارومیه با دقت ۱:۲۰۰۰ برای تهیه نقشه کاربری اراضی و مسیل شهر بهره گرفته شده است. برای تهیه نقشه CN از نقشه گروه هیدرولوژیک خاک و همچنین میزان تراکم پوشش گیاهی، که از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استخراج شده بود، تهیه شده است. نقشه ضریب رواناب بر اساس روش هیدروگراف مصنوعی دفتر حفاظت خاک آمریکا (SCS) محاسبه و با توجه به سابقه سیلاب‌ها در محدوده شهر، که در فصل مرطوب اتفاق افتاده، مقدار CN برای شرایط مرطوب اصلاح شده است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۰). نقشه کلاس‌های فضای باز داخل شهر داخل بافت شهر نیز که یکی از مهم‌ترین حربه‌ها برای مقابله با خطر سیل محسوب می‌شود، بر اساس نقشه کاربری اراضی تولید شده است. نقشه شیب شهر از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شهر تهیه شده است. نقشه‌های تراکم مسکونی و تراکم جمعیتی محدوده مطالعاتی براساس سرشماری سال ۱۳۹۲ برای هر منطقه شهری به تفکیک حوضه آماري و همچنین نقشه قدمت بناهای شهری بر اساس تاریخ صدور پایان کار بررسی و نقشه آن در محیط GIS تهیه شده است (معاونت شهرسازی و معماری شهرداری شهر ارومیه، ۱۳۹۲). بعد از تعیین فاکتورهای مورد نیاز برای پهنه‌بندی، از نقشه‌های رقومی موجود، اسناد مکتوب، آمارنامه‌ها، و گزارش‌های مختلف برای تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز استفاده شد. بعد از تهیه نقشه‌ها در محیط GIS مرحله بعد، دادن وزن و ارزش‌های رتبه‌بندی به لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Export choice و همچنین از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) برای همپوشانی لایه‌ها از نرم‌افزار Idrisi استفاده می‌کنیم و در آخر از همپوشانی لایه‌های فازی شده، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه تهیه شده است.

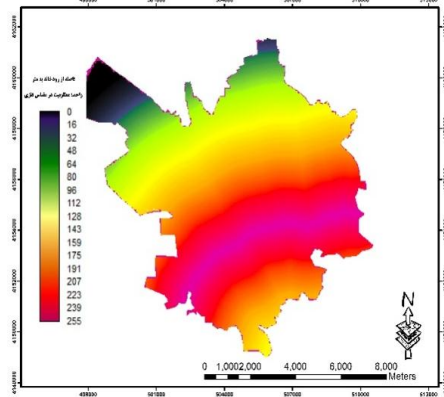


شکل ۲. فلوچارت مراحل اجرای کار

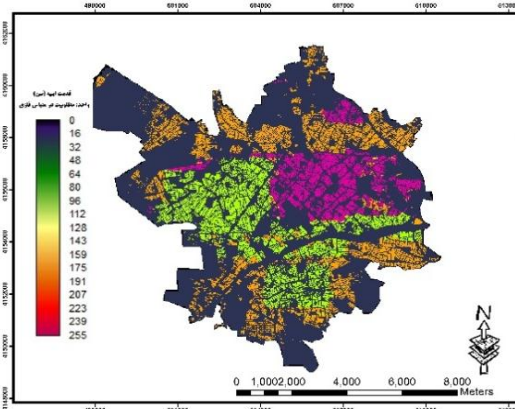
لایه‌هایی که در این تحقیق استفاده شده است:



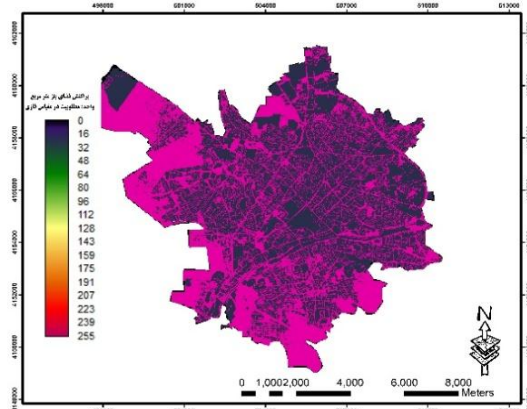
شکل ۴. نقشه فازی استاندارد شده فاصله از رودخانه



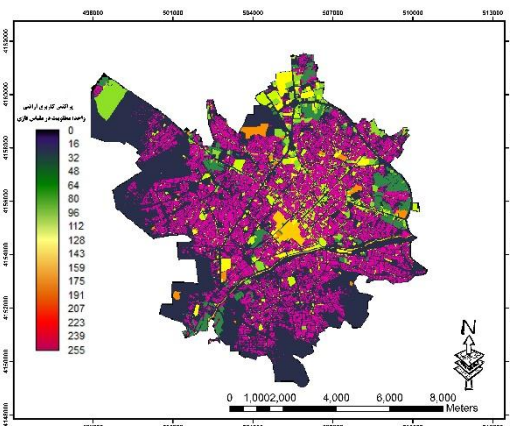
شکل ۳. نقشه فازی استاندارد شده ضریب CN



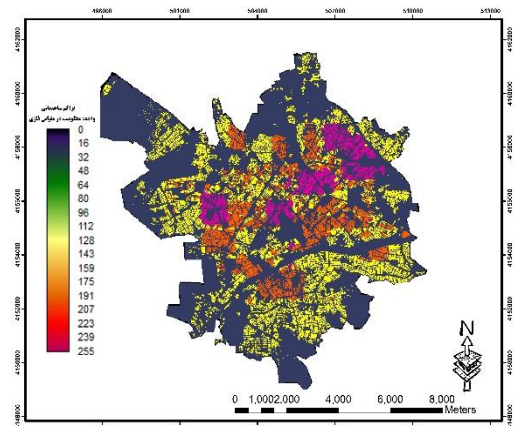
شکل ۶. نقشه فازی استاندارد شده قدمت ابنیه



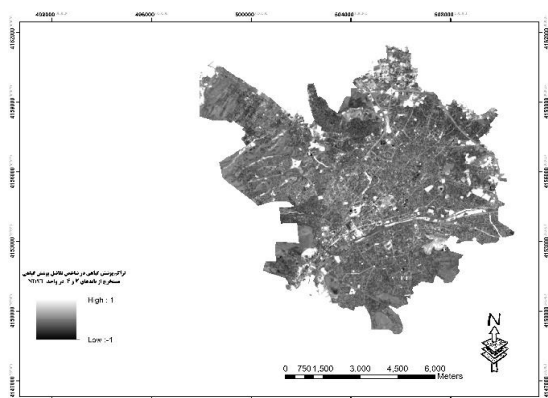
شکل ۵. نقشه فازی استاندارد شده فضای باز



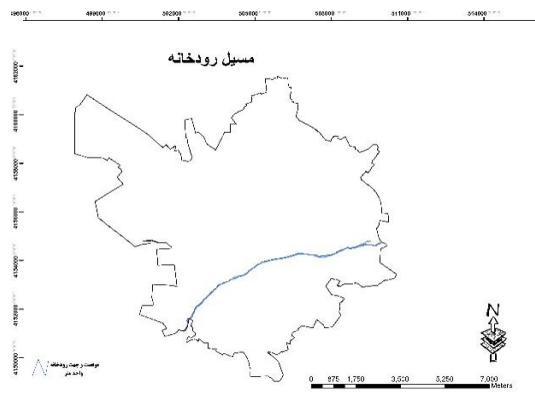
شکل ۸. نقشه فازی استاندارد شده تراکم ساختمانی



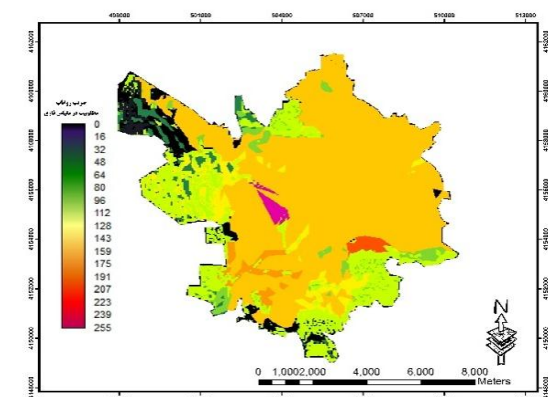
شکل ۷. نقشه فازی استاندارد شده کاربری اراضی



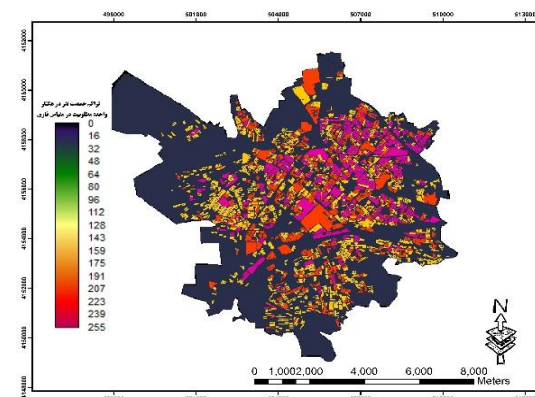
شکل ۱۰. نقشه شاخص تفاضل تراکم پوشش گیاهی (NDVI)



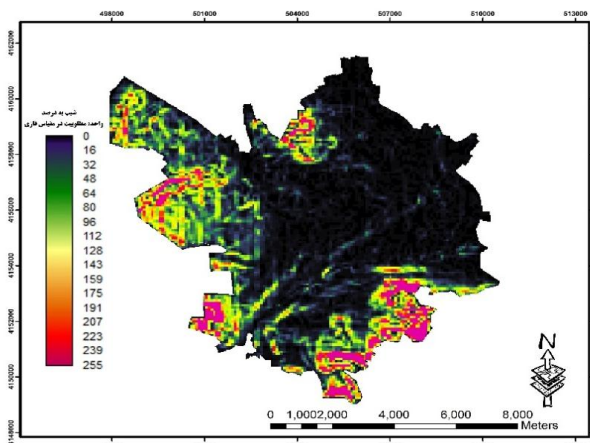
شکل ۹. نقشه مسیل رودخانه شهر چای



شکل ۱۲. نقشه فازی استانداردشده ضریب رواناب



شکل ۱۱. نقشه فازی استانداردشده تراکم جمعیتی



شکل ۱۳. نقشه فازی استانداردشده شیب

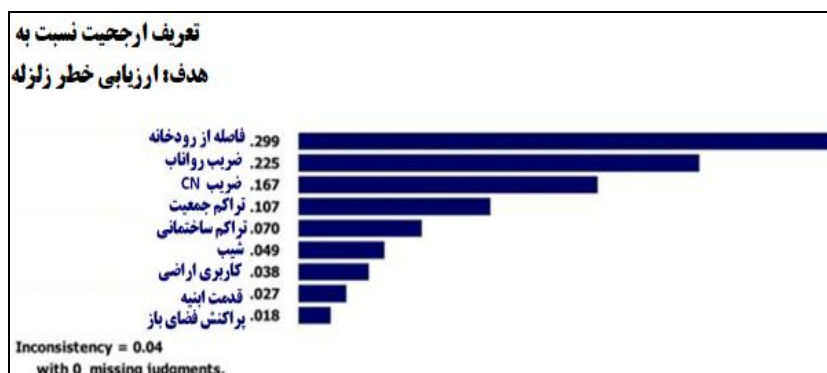
## یافته‌های پژوهش

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر سیلاب پس از تهیه داده‌های مورد نیاز- شامل ضریب رواناب، شیب، ضریب CN، تراکم مسکونی، تراکم جمعیتی، قدمت ابنیه، فضای باز، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه- داده‌ها وارد محیط Arcmap10.2 و سپس ویرایش و طبقه‌بندی شدند (شکل‌های ۳ - ۱۳). پس از طبقه‌بندی در نرم‌افزار Idrisi مدل ترکیب خطی وزن‌دار بر روی داده‌ها و همچنین فازی‌سازی اجرا و در نهایت نقشه پهنه‌بندی تهیه شد (شکل ۱۵). با توجه به نقشه به‌دست‌آمده، مناطق مرکزی شهر مستعد سیل‌خیزی است و عواملی چون نزدیکی مناطق پرتراکم ساختمانی و

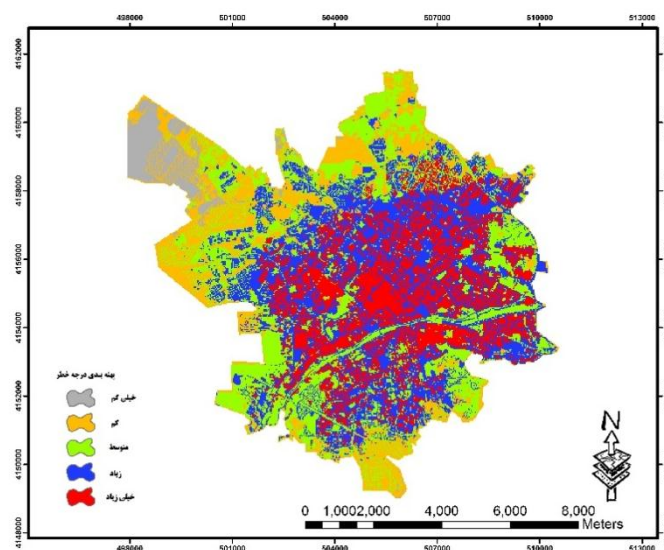


جمعیتی به مسیل شهر در اثر ساخت‌وسازهای بی‌رویه موجب افزایش میزان رواناب و تجمع آب‌های سطحی و سیلاب شهری شده است. نقشه پهنه‌بندی سیلاب شهری نشان می‌دهد که ۲۲/۳۱ درصد در پهنه خطر خیلی زیاد، ۲۹/۰۸ درصد در پهنه خطر زیاد، ۲۶/۴۵ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۷/۵۲ درصد در پهنه خطر کم، و ۴/۶۴ درصد در پهنه خطر خیلی کم از لحاظ سیل‌خیزی قرار گرفته است (شکل ۱۶). روش WLC با استفاده از وزن‌دهی این قدرت را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد تا عوامل مهم‌تری را، که از نظر او مسئله پهنه‌بندی را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد، با همان اهمیت در مسئله قرار دهد و در اثر این برتری نتیجه حاصل از پهنه‌بندی به روش WLC دارای قدرت تفکیک بهتری بین طیف‌های موجود در آن است. این مدل یکی از روش‌های متداول در ارزیابی چندمعیاری فازی است و کاربرد وسیعی در محیط GIS یافته است و یک روش تلفیقی-خطی وزن‌دار است. این روش بر مبنای مفهوم بر مبنای اهمیت میانگین وزنی استوار است. تحلیلگر مستقیماً نسبت به هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس، از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو به دست می‌آید. همچنین، برای وزن‌دهی لایه‌ها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert choice استفاده می‌شود. مجموع وزن‌ها باید ۱ باشد (شکل ۱۴).

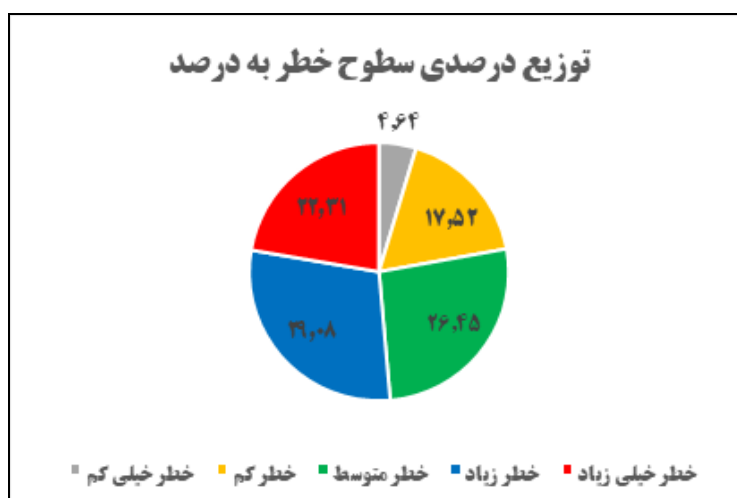
پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از عملیات باز طبقه‌بندی به پنج طبقه با پتانسیل خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، و خیلی کم گروه‌بندی شد که بیشترین مساحت مربوط به منطقه با پهنه خطر زیاد است (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. وزن نهایی معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert choice



شکل ۱۵. نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب



شکل ۱۶. میزان نواحی تحت پوشش هر درجه از خطر

## بحث و نتیجه گیری

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب لازمه اجرای هرگونه طرح مدیریت و مهار سیلاب در دشت‌های سیلابی است؛ زیرا این نقشه‌ها اطلاعات ارزشمندی در خصوص عمق و مساحت سیل‌گیری در هر پهنه سیلابی در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهند. با استفاده از تکنیک‌های GIS و مقایسه هندسی بیشتر، می‌توان دقت و سرعت دستیابی به اطلاعات یادشده را تا بالاترین حد ممکن بالا برد. ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حاشیه رودخانه‌ها نه تنها حریم رودخانه‌ها را آسیب‌پذیر کرده، که موجب تهدید شهر توسط سیلاب‌های احتمالی نیز شده است. در این پژوهش برای پهنه‌بندی سیلاب در شهر ارومیه از لایه‌هایی چون شیب، ضریب رواناب، ضریب CN، تراکم مسکونی، تراکم جمعیتی، قدمت ابنیه، فاصله از رودخانه، فضای باز، و کاربری اراضی استفاده شد. سپس، به هریک از لایه‌ها براساس نوع روابطشان با پدیده سیل‌خیزی وزن داده شد. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب، مشخص شد که مناطق مرکزی شهر بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را داراست. نقشه خطر سیل شهری نشان می‌دهد که ۲۲/۳۱ درصد در پهنه خطر خیلی زیاد، ۲۹/۰۸ درصد در پهنه خطر زیاد، ۲۶/۴۵ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۷/۵۲ درصد در پهنه خطر کم، و ۴/۶۴ درصد در پهنه خطر خیلی کم از لحاظ سیل‌خیزی قرار گرفته است. به دلیل اینکه بیش از ۵۰ درصد مناطق شهر ارومیه در پهنه خطر خیلی زیاد و زیاد قرار دارد، برنامه‌ریزی‌های آتی شهری باید بر اساس پهنه خطر سیلاب باشد. برای ایمن‌سازی مناطق آسیب‌پذیر، می‌توان کانال‌های زیرزمینی و انحرافی در مسیرهای سیل‌گیر، به‌خصوص در مناطق مرکزی شهر، برای خروج رواناب‌های سطحی احداث کرد تا از خسارت‌های سیلاب در امان ماند.

## منابع

- بدیعی‌زاده، س.؛ بهره‌مند، ع. و آرامی، ع. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر و برنامه مدیریت رواناب شهری با استفاده از تکنیک‌های GIS و AHP (مطالعه موردی: شهر گرگان، استان گلستان)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۱): ۲۹۹-۳۰۸.
- حجازی، ا.؛ اندریانی، ص.؛ الماس‌پور، ف. و مختاری اصل، ا. (۱۳۹۴). استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب در حوضه ليقوان چای، هیدروژئومورفولوژی، ۳: ۸۰-۶۱.
- خلیلی زاده، م.؛ مساعدی، ا. و نجفی‌نژاد، ا. (۱۳۸۲). پهنه بندی خطر سیل در بخشی از محدوده رودخانه زیارت در حوزه آبخیز شهری گرگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴): ۱۳۸-۱۴۹.

- رسولی، ع؛ محمودزاده، ح؛ یزدچی، س. و زرین‌بال، م. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب خطی وزنی در مکان‌یابی محل دفن مواد زاید شهری، موردشناسی: شهرستان مرنده، *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، ۴: ۴۱-۵۲.
- سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۷۵). نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه.
- سالنامه آماری استان آذربایجان غربی (۱۳۹۰).
- معاونت شهرسازی و معماری شهرداری شهر ارومیه (۱۳۹۲). طرح جامع شهر ارومیه.
- صالحی، ا؛ رفیعی، ی؛ فرزاد بهتاش، م. و آقابابایی، م. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: تهران)، *محیط‌شناسی*، ۳۹(۳): ۱۷۹-۱۸۸.
- طاهری بهبهانی، م. و بزرگ‌زاده، م. (۱۳۷۵). سیلاب شهری، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- قنوتی، ع. (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۸: ۱۱۳-۱۳۱.
- کرم، ا. و درخشان، ف. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی حوضه: آبشوران در کرمانشاه)، *جغرافیای طبیعی*، ۵(۶): ۳۷-۵۴.
- کرم، ع. (۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری، *جغرافیا و توسعه*، ۱۳۱-۱۴۶.
- مبارکی، ا؛ محمدی، ج. و ضرابی، ا. (۱۳۹۲). ارائه الگوی پهنه‌بندی گسترش کالبدی- فضایی شهر ارومیه، *جغرافیا و توسعه*، ۳۲: ۷۵-۸۸.
- محمودزاده، ح؛ امامی‌کیا، و. و رسولی، ع. (۱۳۹۴). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP، *تحقیقات جغرافیایی*، ۳۰(۱): ۱۶۷-۱۸۰.
- موسوی، م؛ عابدینی، م؛ و اسمعیلی عوری، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزه شهری ایذه با استفاده از مدل‌های چندمعیاره WLC و AHP در محیط GIS، *مدیریت بحران*، ۷: ۹۳-۱۰۱.
- Badiezhadeh, C.; Bahremand, A. and Arami, A. (2015). Risk zoning and urban runoff management, using GIS techniques and AHP (Case study: Gorgan, Golestan province), *Journal of soil and water conservation*, 23(1): 299-308 (In Persian).
- Buchele, B. et al. (2006). Flood-risk mapping :contributions towards an enhanced assessment of extreme events And associated risks, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 485-503 .
- Chen, J.; Zhao, sh and Wang, H. (2011). Risk Analysis of Flood Disaster Based on Fuzzy Clustering Method, *Energy Procedia*, 5: 1915-1919.
- Cram, A. (2004). Application of weighted linear combination (WLC) in potential zoning landslides (case study: Surkhan region in Chaharmahal and Bakhtiari Province, *Journal of Geography and Development*, 131-146 (In Persian).
- Cram, A. and Derakhshan, F. ( 2012). Zoning flooding, flood estimation and evaluation of the efficiency of utilization of surface water channels in urban basins (Basin Case Study: Kermanshah Absheron), *Natural Geography Quarterly*, 5 (6): 37-54 (In Persian).
- Eastman, Ronald (2012). *Idrisi selva tutorial*, Clark University.
- Ghanavati A. (2014). Risk assessment and mapping of flood event in the area of Farahzad (Tehran), using fuzzy model, *Geography and environmental hazards*, 8: 113- 131(In Persian).
- Hagen, E.; Shroder, J.F; Lu, X. X and Teufert; J.F. (2010). Reverse engineered flood hazard mapping in Afghanistan: A parsimonious flood map model for developing Countries, *Quaternary International*, XXX, 1-10.

- Hejazi, A.; Andreani, S.; Almaspur, F. and Mokhtariasl, A. (2015). The use of multi-criteria decision-making techniques in GIS and remote sensing to survey areas vulnerable to flooding in the basin Lighvanghai, *Hydrogeomorphology*, 3: 80-61.
- Kalantari, Z.; Nickman, A.; Lyon, S.W.; Olofsson, B. and Folkesson, L. (2014). A method for mapping flood hazard along roads, *Environmental Management*, 133: 69-77.
- Khalil Zadeh, M., Fosaedi, A., Najafi Nejad, A. 2005. Flood hazard zonation of part of the Ziyarat river in the Urban basin of Gorgan, *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12: 138-149.
- Chengguang Lai.; Shao, Q.; Chen, X.; Wang, Zh.; Zhou, X.; Yang, B. and Zhang, L. (2016). Flood risk zoning using a rule mining based on ant colony algorithm, *Journal of Hydrology*, 542: 268-280.
- Maantay, M. and Marko, A.A. (2009). Mapping Urban Risk: Flood, Race and Environmental Justice in New York, *Applied Geography*, 29: 111 -124.
- MahmoudZadeh, H., Imami Kia, V. and Rasouli, A. (2015). Fine mapping of flood risk in the city of Tabriz, using AHP, *Geographical Research Quarterly*, 30(1): 167-180 (In Persian).
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and sons, New york.USA.
- Mobaraki, A.; Mohammadi, J. and Zarabi, A. (2013). Presentation of model for optimal physical-spatial expansion of the city of Orumiye, *Geography and Development*, 32: 75-88 (In Persian).
- Mousavi, M.; Abedini, M. and Asmly Vry, A. (2014). Seismic risk assessment in the urban areas of ize, using multi-criteria model WLC and AHP in GIS environment, *Journal of Disaster Management*, 7: 93-101 (In Persian).
- Municipality of Orumiye, Department of Planning and Architecture (2013). Master Plan for the city of Orumiye (In Persian).
- National Cartographic Center (1996). Topographic Map 1: 50000 area of study (In Persian).
- Rasouli, A.; Mahmoodzadeh, H.; Yazdchi, C. and Zarrinbal, M. (2012). Evaluation of AHP and linear weighted combination in site selectioning municipal waste in the Landfill (Case study: Marand city, geography and urban- regional planning, Fall 2012, 4: 41 -52 (In Persian).
- Salehi, A.; Rafiee, Y.; Farzad Behtash, M. and Aghababaei, M. (2013). Urban flood risk mapping, using GIS and fuzzy AHP (Case study: Tehran), *Ecology*, 39(3): 179-188 (In Persian).
- Statistical Yearbook of West Azerbaijan province (2011).
- Taheri Behbehani, M. and Bozorgzadeh, M. (1996). *Urban floods*, Publications of Research Center and the researches of Urban Planning and Architecture (In Persian).
- Van der Sande, C.J; De Jong, S.M. and De-Roo, A.P.J. (2003). A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for landcover mapping to assist flood risk and flood damages assessment, *International journal of applied Earth observation and Geolandformation*, 4: 217-229.