

## سیر سیرنیتیک ضریب سیل خیزی حوضه‌های آبخیز شهری با استفاده از مدل توزیع نرمال (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیراز)

شهرام روستایی\* - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
حسن افتخار- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
فریبا کریمی- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
سعید نگهبان\*- دانشیار بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱      تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

### چکیده

در زمینه سیلاب‌های شهری و ارتباط آن با کاربری زمین و تغییرات آن در شهرها تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. بیشتر این مطالعات در خصوص پهنه‌بندی سیلاب و مدل‌های ریاضی، نمودارهای تجربی و تحلیل‌های آماری سیلاب، به منظور تعیین مناطق سیل‌گیر صورت گرفته است. هدف از این پژوهش بررسی ساختار استقرائی و قیاسی حوضه هیدروژئومورفیک و حوزه مدنی شیراز از نظر ضریب خطرپذیری سیل‌خیزی بوده است. در همین راستا داده‌هایی که در این تحقیق بکار گرفته شدند مشتمل بر معیارهای بارش، توپوگرافی، شیب، پوشش گیاهی و خصوصیات فیزیوگرافی بوده، که در جهت تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر در برابر خطر وقوع سیل، در مدل Topsis بکار گرفته شده‌اند. این معیارها هر کدام ویژگی‌های مختص به خود را داشته که با استفاده از عکس‌های هوایی شهر شیراز طی دهه‌های ۱۳۳۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰ و ۱۳۸۰ و نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، استخراج شده‌اند. سپس در محیط Arc GIS و Graphers پلات‌های مربوط به هر بخش ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصله از پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه هیدروژئومورفیک و حوزه مدنی شیراز نشان داد که به طور کلی حوضه هیدروژئومورفیک شیراز با ضریب گراویلیوس ۱/۷۹ دارای یک روند متوسط از لحاظ سیل‌خیزی بوده، و توسعه غالب حوزه مدنی در بستر آن نیز مطابق با مناطق دارای قابلیت حداقل سیل‌خیزی است، در حالیکه نتایج حاصل از مقادیر استاندارد شده ضریب سیل‌خیزی و تحلیل روند توسعه شهر شیراز در منحنی توزیع نرمال نشان دهنده آن است که توسعه شهر شیراز بیشتر به سمت مناطقی با حداکثر پتانسیل سیل‌خیزی است.

واژگان کلیدی: سیل‌خیزی، حوضه هیدروژئومورفیک، توزیع نرمال، شیراز

## مقدمه

سیل رایجترین مخاطره طبیعی در جهان است که هر ساله بسیاری از مردم جهان را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و بیش از ۹۰ کشور در جهان که در حدود ۸۲ درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد در معرض خطر سیل قرار دارند. و ایران نیز جزء این کشورها می‌باشد که در معرض خطر سیل قرار دارد (یاری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). روند افزایش سیل در جهان با توجه به تغییرات آب و هوایی، تغییر الگوی بارش، افزایش سطح آب دریا در آینده وجود دارد و علاوه بر آن رشد جمعیت و توسعه شهری و سکونتگاه‌های انسانی سبب شده سیل به عنوان مخاطره‌ای برای انسان تبدیل شود. علاوه بر آن تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۱/۳ میلیارد نفر در معرض مخاطره سیل قرار گیرند (فلاح<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). بارش سنگین به خصوص در قسمت‌های بالا دست حوضه‌های آبریز در مدت زمان کم و کوتاه مدت سبب سیلاب و یا طغیان رواناب در پایین دست حوضه‌های آبریز می‌شود. طغیان سیل یک فاجعه طبیعی است که در اثر بارندگی زیاد و شدید ایجاد می‌شود (فلاح و همکاران، ۲۰۱۹). مخاطره سیل در ایران همچنان روبه افزایش است و برای کاهش میزان تلفات جانی و خسارات مالی ناشی از سیلاب، در این زمینه مدیریت مخاطره سیلاب ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه ژئومورفولوژیکی سیل، با پیشرفت‌های اخیر در مبحث هیدرولوژی با عنوان هیدرولوژی دیرینه سیلاب به صورت مکملی برای نگرش‌های هیدرولوژیکی در این زمینه درآمده است به طوری که تعیین ویژگی‌هایی مانند عمق، حجم، دبی و فراوانی سیلاب‌ها برای برنامه‌ریزی و طرح‌های عملیاتی مربوط به سیلاب مثل دایک‌ها، پل‌ها و غیره مهم است. در این راستا، مطالعات پالتو هیدرولوژیکی با استفاده از ابعاد و نوع کانال یا بزرگی نهشته‌های درون رودخانه‌ای می‌تواند در بازسازی داده‌های مربوط به سیل استفاده شود و افزون بر این، تحلیل‌های هیدرولوژیک در مناطق بدون ایستگاه هیدرومتری نیز با توجه به امکان‌پذیر بودن بررسی و مطالعه ابعاد کانال آبراهه‌ها و سایر شاخص‌های ژئومورفیک مربوط به آنها با استفاده از روش‌های مختلف از جمله روش شیب- سطح مقطع میسر می‌باشد. مشخص کردن آثار وقوع سیلاب‌ها در عمل فرسایش، نهشته‌گذاری و دیگر موارد مربوط به زمان و عوامل محیطی- مکانی وابسته است. همچنین شایان ذکر است که قوانین معین هیدرولوژیکی و جریان‌های غالب ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، فرسایش و حمل رسوب توأم با مکان و زمان خاص نیز درک آثار پیش‌بینی سیلاب را به صورت همه جانبه فراهم می‌کند. مطالعه ژئومورفولوژی سیلاب از سه دهه اخیر با به وجود آمدن نگرشی جدید تحت عنوان هیدرولوژی دیرینه سیلاب روند جدیدی یافته است. مطالعات متعددی در مورد روش‌های ارزیابی خطر سیلاب از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انجام شده است که مبتنی بر ۴ روش اصلی می‌باشد شامل: الف) روش‌های آماری: که مبتنی بر وقوع سیلاب‌های تاریخی که اتفاق افتاده می‌باشد، که در این روش ارزیابی خطر سیل مستلزم ثبت سیلاب‌های تاریخی طولانی مدت است و تصور می‌شود که گذشته کلیدی برای آینده می‌باشد که از جمله بلاک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۲) به دوباره ارزیابی خطر سیلاب در اسکاتلند می‌پردازد که از طریق تعداد وقوع سیلاب‌های شدید که اتفاق می‌افتد یک روش آماری جدید مبتنی بر بزرگترین سیلاب و پایگاه داده‌ای حوضه‌ای ایجاد کرده‌اند. ب) سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور: که مبتنی بر یک پشتیبانی فنی به ارزیابی خطر سیلاب پرداخته است اولین بار مجیا ناوارو<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۴) به استفاده از GIS در ارزیابی خطر سیل را به کار گرفتند (لیو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). و در ادامه شوومان عو همکاران (۲۰۰۰) به استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مفهومی کردن مدل‌سازی بارش رواناب به مطالعه پرداخته‌اند که در این

1. yari

2. falah

3. Black &amp; et al

4. Mejia-Navarro et al.

5. Iyu

6. Schumann .et al

مطالعه بیان کرده‌اند که چگونه می‌توان توصیفات آماری از ویژگی‌های حوضه‌ها برای بررسی ناهمگونی فضایی در مدل‌های مفهومی مورد استفاده قرار گیرد و مشکلات پارامترهای مبتنی بر مدل‌ها را حل کرد. و علاوه بر آن کابنگی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به توصیف مخاطره سیلاب در مناطق فاقد اطلاعات با استفاده از تکنیک سنجش از دور و شاخص احتمال خطر سیلاب مبتنی بر GIS به مطالعه پرداخته‌اند فاکتورهایی از قبیل شیب، جریان تجمعی، تراکم شبکه زهکشی فاصله از کانال زهکشی کاربری اراضی شدت بارندگی و زمین شناسی به عنوان عوامل ایجاد کننده سیل مورد استفاده قرار گرفت که همه این فاکتورها از داده‌های سنجش از دور SRTM، LANDSAT، به جز زمین شناسی استخراج گردید است. و با کمک آنالیز سلسه مراتبی تاثیر فاکتور ها مشخص شده و در نهایت نقشه سیلاب تهیه و کاربری متناسب با مناطق سیل پیشنهاد شده است. ج) تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو<sup>۲</sup> از طریق یک روش کمی به مطالعه احتمال خطر سیلاب می‌پردازد (لیو و همکاران، ۲۰۱۹). در این روش برای ارزیابی خطر سیلاب تحت سناریوهای مختلف با تغییر دامنه فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش شامل استفاده از داده‌های ژئومورفولوژی، توپوگرافی، سیستم‌های تخلیه شهری می‌باشد که یک روش کمی بوده که داده‌های مختلف را باهم ترکیب می‌کند و فراوانی در مورد احتمال خطر سیل را نشان می‌دهد اگرچه این روش برای پیش بینی احتمال خطر سیلاب برای مناطق کوچک استفاده می‌شود ولی مخاطره سیلاب در مقیاس منطقه‌ای اتفاق می‌افتد پس بنابراین می‌بایست این متد برای مقیاس منطقه‌ای ارتقا یابد. (لیو و همکاران، ۲۰۱۹). که از جمله زلناکووا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به مدلسازی احتمال خطر سیلاب رودخانه اسلاوینس در اسلواکی به مطالعه پرداخته‌اند که با تلفیق GIS<sup>۴</sup> و ارزیابی آسیب‌های سیل را با استفاده از تحلیل هزینه (CA) انجام داده‌اند که این مدل در-HEC RAS اجرا شده است که در نهایت مناطق احتمال خطر سیلاب مشخص گردیده است و میزان خسارت محاسبه شده است. د) روش‌های سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره: که مبتنی بر یک روش ارزیابی کیفی است که از یک شاخص برای ارزیابی استفاده می‌شود. یک روش تحلیل تصمیم‌گیری ترکیبی از مسائل را بیان می‌کند که اولین بار توسط ووگ<sup>۵</sup> (۱۹۸۳) ارائه گردید و پس از آن در دهه ۱۹۶۰ روش‌های متعدد دیگری برای بررسی روش (MCA<sup>۶</sup>) پیشنهاد شد. روش جدید (MCA) اغلب با فرایند تحلیل سلسه مراتبی فازی (VF AHP) و تکنیک (GIS) برای ارتقا دادن به این رویکرد ترکیب شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۹، هاکوویچ و کالینز<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷). و از جمله در ایران، جندقی و باغانی (۱۳۸۵) بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی رژیم سیلابی حوزه های آبخیز کوچک گرگان به مطالعه پرداخته‌اند و نتایج این بررسی نشان داد تغییرات کاربری اراضی از سال ۴۹ تا ۸۰ باعث افزایش تدریجی در مقدار دبی های سیلابی شده اما این تغییرات جزئی بوده و نمی‌تواند عامل اصلی تشدید خسارات و وقوع سیلاب های بسیار بزرگ باشد. و همچنین صوفی (۱۳۸۵) به مطالعه بررسی عوامل موثر بر ایجاد سیل در آبخیزهای شهری و راهکارهای کنترل آن به بررسی پرداخته است تحقیقات انجام شده نشان میدهد که تغییر یک اکوسیستم طبیعی با ضریب رواناب ۲ درصد به یک شهرک مسکونی با ۷۰ درصد سطح نفوذ ناپذیر در بالا دست یک کلان شهر ۵ برابر سیلاب اولیه برساند. و علاوه بر آن عابدینی و زهتابی (۱۳۸۷) به بررسی مسائل ناشی از کاربری‌های غیر اصولی وشتابان در اراضی بخش جنوب شهر اردبیل (ناحیه دریاچه توریستی شورابیل) و ارزیابی توان‌های محیطی آن به مطالعه پرداخته است و نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که در بین متغیرهای مورد نظر، فقط با میزان درآمد سرپرست خانوار با علاقمندی به مشارکت در فضای سبز در سطح اطمینان ۹۵٪ رابطه معنی دار

1. Kabenge, M. et al.

2. Scenariobased inundation analysis

3. Zelenakova M. et al

4. Geographic information system

5. Voogd, H

6. Multi-Criteria Approach

7. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

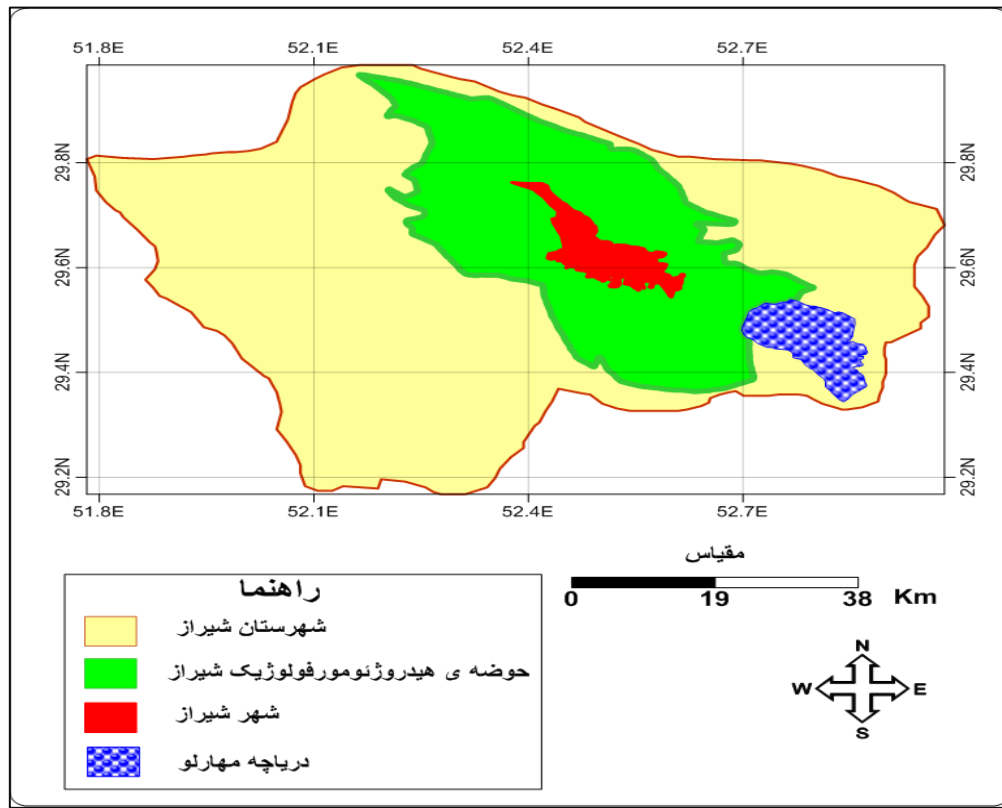
8. Hajkovicz and Collins

وجود دارد. عدم تعادل و کمبود امکانات موجود رفاهی، تفریحی، بهداشتی و ... برای سیل عظیم مردم منطقه و مسافران و توریست‌های بازدید کننده بویژه در تعطیلات تابستانی، کاملاً محسوس است. و علاوه بر آن توکلی بنیزی (۱۳۹۰) به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه آبریز سد بوستان به مطالعه پرداخته است و نتایج نشان می‌دهد که با اعمال سناریو اول که افزایش سطح جنگل و افزایش سطح باغات را به همراه دارد، دبی اوج سیلاب برای دوره های برگشت کمتر از ۱۰۰ سال به طور متوسط ۵/۱۷ درصد کاهش می‌یابد. و ملکیان و همکاران، (۱۳۹۱) به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز اخترباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به مطالعه پرداخته‌اند و بر اساس نتایج به دست آمده، پهنه‌های با خطر سیل خیزی زیاد در شمال و جنوب حوزه قرار دارند و مناطق با خطر کم، در آبراهه‌ها و قسمت‌های مرکزی حوزه واقع شده‌اند نتایج تحلیل ناحیه‌ای بیان می‌دارد که مناطق با پتانسیل سیل خیزی زیاد در پهنه‌هایی با شیب بیش از ۶۰ درصد و بارش بین ۳۰۰-۴۰۰ میلی متر قرار دارند. و همچنین و رضایی مقدم و همکاران، (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زربینه رود به بررسی پرداخته‌اند نتایج، همچنین نشان می‌دهد که سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف، خطر چندان برای سکونت گاه‌های شهری و روستایی ایجاد نمی‌کنند؛ اما می‌توانند خسارات زیادی به اراضی کشاورزی وارد سازند. و همچنین نجفی و کریمی کردآبادی (۱۳۹۹) به ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تاکید بر امنیت شهری تهران به مطالعه پرداخته‌اند نتایج نقشه نهایی نشان می‌دهد که پهنه بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت و ساز در محدوده‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود-دره‌های متعدد در منطقه یک تهران ممانعت به عمل آید. در این پژوهش به بررسی ضریب سیل‌خیزی حوضه هیدروژئومورفیک و حوزه شیراز با استفاده از مدل توزیع نرمال و پهنه‌بندی میزان ضریب سیل‌خیزی و انتگرال جز به جز شیراز طی چهار دهه ۱۳۳۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰ و ۱۳۸۰ پرداخته شده است. هدف بررسی سیلاب با استفاده از شاخص‌های طبیعی و انسانی در شهر شیراز می‌باشد. بر این اساس با استفاده از نرم افزار Arc Gis و Topsis تحلیل و روندیابی سیلاب را شناسایی شده است.

## روش تحقیق

### منطقه پژوهش

حوضه هیدروژئومورفیک شیراز بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۲ درجه ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است. محیط حوضه هیدروژئومورفیک شیراز برابر با ۲۳۴/۵ کیلومتر و مساحت حوضه برابر با ۱۸۹۸/۲۴ کیلومتر مربع است. ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۳۵۰ تا ۲۷۵۰ متر در نقاط مختلف حوضه متغیر است. متغیر بودن میزان ارتفاع در سطح حوضه، به دلیل شرایط توپوگرافیک زیاد آن است دشت شیراز بخشی از سرزمین زاگرس میانی قرار دارد در این ناحیه چین خوردگی‌های ملایمی ایجاد شده‌است و امتداد ارتفاعات شمال غربی به جنوب شرقی می‌باشد و ارتفاعات نسبتاً بلندی اطراف شیراز را احاطه کرده‌است کوه‌های شمالی عبارتند از: کوه چهل مقام دروازه، باباکوهی، کوه پشت مله، کوه توسیان و در غرب شیراز کوه دراک، در شرق شیراز کوه قلعه بندری، کوه احمدی و در جنوب کوه سبز پوشان واقع شده‌است و سرچشمه اصلی نزولات جوی و تغذیه‌کننده حوضه شیراز از ارتفاعات این بخش از حوضه ناشی می‌شود. و از نظر زمین شناسی سنگ کف، دو ناحیه عمیق در محدوده دشت شیراز مشخص شده‌است که توسط طاق‌دیس سنگ آهک‌های آسماری از هم جدا شده‌است سنگ کف دشت شیراز عمدتاً از رسوبات ماسه سنگ، گنگلومرا، گچ و آهک به رنگ زرد و قرمز می‌باشد. رسوبات دوران چهارم منطقه وسیعی از دشت شیراز را به صورت آبرفت پوشانده‌است این رسوبات از شن و ماسه و رس تشکیل شده‌است که ضخامت آن به حداکثر به ۲۵۰ متر می‌رسد (آقا نباتی، ۱۳۸۳) (شکل، ۱).



شکل ۱: موقعیت شهر و حوضه هیدروژئومورفیک شیراز

### روش پژوهش

در مطالعات پهنه‌بندی سیل‌شناسایی حوضه و فاکتورهای عامل ضروری است که البته هر کدام اهمیت خاص مربوط به خود را دارند. اما با توجه به محدودیت‌هایی که در تهیه برخی لایه‌ها وجود داشت و محدودیت‌هایی که موجب طولانی شدن این فرآیند می‌شد، سعی شده است که فاکتورهایی که تاثیر بیشتری بر رخداد و پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه و انطباق بیشتری با مدل Topsis داشته‌اند؛ بررسی شوند. در این پژوهش نیز ۵ عامل موثر بر وقوع سیلاب شامل: نقشه همبارش، شیب، توپوگرافی، پوشش گیاهی و خصوصیات فیزیوگرافی لحاظ گردیده است. سپس با توجه به عوامل مذکور لایه‌ها در مدل وارد گردیده، و پهنه‌بندی سیل‌خیزی منطقه انجام شده است. یک معیار استاندارد برای قضاوت و یا قاعده‌ای برای آزمون میزان مطلوبیت گزینه‌های تصمیم‌گیری به حساب می‌آید انتخاب معیارهای ارزیابی قاعده عمومی بر این است که این معیارها را در ارتباط با وضعیت مساله تعیین می‌کنند؛ مجموعه معیارها باید دارای خصوصیتی باشند که معرف طبیعت چند معیاری یک مساله مورد ارزیابی به حساب آید (مالچوزسکی، ۲۰۰۰). سیلاب‌ها عمدتاً در شرایط با بارندگی زیاد شکل می‌گیرند. نقشه همباران حوضه از یازده ایستگاه باران سنجی واقع در استان فارس طی یک دوره ۳۰ ساله تهیه شده است. ابتدا داده‌ها در اکسل ویرایش شدند سپس در محیط GIS، Import شدند و در مرحله بعد با استفاده از کریجینگ، نقشه همباران منطقه مورد مطالعه از درون آن برش داده شده است. در این راستا، با استفاده از مدل Topsis معیارهای فوق‌الذکر، در جهت تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر در برابر خطر وقوع سیل، در حوضه هیدروژئومورفیک شیراز و حوزه مدنی شیراز، طبقه‌بندی و مشخص گردیده است. این معیارها هر کدام ویژگی‌های مختص به خود را دارند که با توجه به روش‌های زیر استخراج شده‌اند. اطلاعاتی از قبیل مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ شیراز، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شیراز و عکس‌های هوایی موجود از حوزه مدنی شیراز طی چهار دهه ۱۳۳۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰ و ۱۳۸۰ و همچنین اطلاعات دیجیتالی ارتفاعی برداشت شده از منطقه مورد مطالعه در جهت بررسی رفتار حوضه

هیدروژئومورفیک شیراز و نیز چگونگی روند توسعه حوزه شهری شیراز، با استفاده از منحنی توزیع نرمال صورت گرفته، و سپس به بررسی و آنالیز قیاسی نتایج حاصله از مباحث مذکور در چگونگی رفتار ضریب سیل خیزی حوضه پرداخته شده است.

روش تاپسیس یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) است. در این روش تصمیم‌گیری تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند، و یا اینکه به هر یک از آن‌ها یک نمره کارایی اختصاص داده شود. فلسفه کلی روش تاپسیس این است که با استفاده از گزینه‌های موجود، دو گزینه فرضی تعریف می‌شوند. یکی از این گزینه‌ها مجموعه‌ای است از بهترین مقادیر مشاهده شده در ماتریس تصمیم‌گیری. این گزینه را اصطلاحاً ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) می‌نامیم. ضمن اینکه یک گزینه فرضی دیگر تعریف می‌شود که شامل بدترین حالت‌های ممکن باشد. این گزینه ایده‌آل منفی نام دارد. معیارها می‌تواند دارای ماهیت مثبت یا منفی باشند، همچنین واحد اندازه‌گیری آن‌ها نیز می‌تواند متفاوت باشد معیار محاسبه نمرات در روش تاپسیس این است که گزینه‌ها تا حد امکان به گزینه ایده‌آل مثبت نزدیک و از گزینه ایده‌آل منفی دور باشد.

## مبانی نظری

### مستطیل معادل

غالباً حوضه‌ها از نظر شکل ظاهری با یک مستطیل فرضی به نام مستطیل معادل مقایسه می‌شوند. مستطیل معادل نشان دهنده حوضه آبریزی است که محیط آن به شکل مستطیل تغییر شکل یابد ولی مساحت آن برابر مساحت حوضه باشد. به منظور نشان دادن توزیع سطح حوضه بین ارتفاعات مختلف به صورت یک شکل هندسی و مطالعه شیب حوضه در قسمت‌های مختلف، مستطیل معادل آبخیز رودخانه مربوطه ترسیم می‌گردد. این مستطیل معادل همان سطح و همان ضریب گراولیلوس و نیز همان توزیع هیپسومتریک برای همان حوضه پذیرفته شده را نشان داده است. طول و عرض این مستطیل که از نظر سطح و محیط با آبخیز اصلی معادل است به ترتیب عبارت است از: (علیزاده، ۱۳۹۰).

$$L = \frac{C\sqrt{A} + \sqrt{(C^2A - 1.2544A)}}{1.12} \quad (\text{فرمول ۱})$$

$$B = \frac{C\sqrt{A} - \sqrt{(C^2A - 1.2544A)}}{1.12}$$

که در فرمول: (۱) C: ضریب گراولیلوس و A: مساحت حوضه به متر مربع است

(۱) ضریب دو شاخه شدن (نسبت انشعاب)

(۲) جهت مشخص کردن تأثیر انشعاب شبکه رودخانه بر هیدروگراف سیل، از نمایه نسبت انشعاب بیفرکاسیون ۱ یا ضریب دو

شاخه شدن استفاده می‌شود. این ضریب عبارت است از نسبت تعداد آبراهه‌های درجه یک به تعداد آبراهه‌های درجه دو،

دو به سه، سه به چهار و ... که به روش زیر محاسبه می‌شود: (علیزاده، امین، ۱۳۹۰)

(فرمول ۲)

$$BR = \left( \frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_3} + \dots + \frac{n_i - 1}{n_i} \right) \times \frac{1}{i - 1}$$

که طبق فرمول: (۲) BR : نسبت انشعاب رودخانه‌ها در حوضه و  $\bar{I}$  : شماره رده رودخانه اصلی حوضه است. نسبت انشعاب در حوضه‌های معمولی بین ۳ تا ۵ است. هر چه این ضریب کوچکتر شود نشان دهنده این است که هیدروگراف سیل در مقایسه با حوضه‌های دیگر دارای نقطه اوج بالاتری است. تعیین درجه آبراهه را رتبه‌بندی آبراهه‌ها گویند که برای این منظور در این پژوهش از روش هورتون استفاده شده است. در این روش، سرشاخه‌هایی که رواناب حاصل از بارندگی پس از رسیدن به زمین و جریان بر روی دامنه‌ها در آنها جمع شده و به طرف پایین جریان داشته‌اند را درجه ۱ و از اتصال دو آبراهه درجه ۱، یک آبراهه درجه ۲ و از اتصال دو آبراهه درجه ۲ یک آبراهه درجه ۳ و غیره ایجاد گردیده، شماره رده رودخانه در نقطه تمرکز نشان‌دهنده درجه تکامل آبراهه‌ها در حوضه بالادست آن نقطه است. که در حوضه شیراز (جدول ۱) از اتصال ۵۳ زیر شاخه درجه یک، ۱۴ سرشاخه درجه دو و از اتصال ۱۴ سرشاخه درجه دو، ۸ سرشاخه درجه سه و از اتصال ۸ سرشاخه درجه سه ۲ سرشاخه درجه چهار و از اتصال ۲ سرشاخه درجه چهار یک سرشاخه درجه پنج ایجاد شده است که بیانگر تکامل حوضه است.

جدول ۱: نسبت انشعاب رودخانه‌های حوضه

| رده پنج | رده چهار | رده سه | رده دو | رده یک | رده انشعابات   |
|---------|----------|--------|--------|--------|----------------|
| ۱       | ۲        | ۸      | ۱۴     | ۵۳     | تعداد انشعابات |

$$BR = \frac{1}{5-1} \left( \frac{53}{14} + \frac{14}{8} + \frac{8}{2} + \frac{2}{1} \right)$$

(فرمول ۳)

$$BR = 2/8$$

#### ضریب گراویلیوس حوضه هیدروژئومورفیک شیراز

حوضه هیدروژئومورفیک شیراز، اثرات متفاوتی را بر حوزه‌ی شهری شیراز داشته است. بنابراین جهت اشراف بر رفتار ژئوهیدرولوژیک حوضه، به بررسی وضعیت سیل‌خیزی حوضه پرداخته شده است. یکی از این شاخص‌ها شاخص شکل حوضه (ضریب گراویلیوس) می‌باشد. منظور از ضریب گراویلیوس عبارت است از نسبت محیط حوضه P به محیط دایره فرضی P' که مساحت آن برابر مساحت حوضه باشد.

(فرمول: ۴)

که در آن: Cc: ضریب گراویلیوس و P: محیط حوضه به کیلومتر و A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع  $C_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$  است. ضریب فشردگی حوضه‌ها معمولاً بین ۱ تا ۳ می‌باشد. اگر حوضه دایره‌ای کامل باشد ضریب فشردگی آن یک است و اگر این ضریب بزرگتر از یک باشد نشان دهنده انحراف شکل آن از دایره است.

#### توزیع نرمال

یکی از اساسی‌ترین و مهمترین توزیع‌ها ۲ در آمار و نظریه احتمال، توزیع نرمال است. بسیاری از توزیع‌های مربوط به نمونه‌ای معین، با این گونه توزیع، مقایسه و توجیه شده‌اند. معادله این توزیع که در تحلیل مسائل جغرافیایی هم کاربردهای جالبی دارد عبارت است از:

$$Y = \frac{N}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\delta^2}} \quad (\text{فرمول: ۵})$$

<sup>10</sup>) Graveluse<sup>11</sup>)Gauss

در این فرمول؛  $Y$  ارتفاع یا بلندی منحنی برای مقدار به خصوصی از متغیر  $X$ ،  $\pi$ ، عدد ثابت  $3/1416$ ،  $e$  پایه لگاریتم ناپیر  $2/7183$ ،  $N$ ، تعداد موارد یا موضوعات (که برابر با کل مساحت زیر منحنی است)،  $\mu$ ، میانگین حسابی و  $\delta$ ، انحراف معیار است. بنابراین اگر  $N$ ،  $\mu$ ، و  $\delta$  معلوم باشند، می‌توان با گذاردن مقادیر مختلف  $X$  در فرمول بالا، مقادیر  $Y$  مربوط به منحنی پارامترهای معلوم یاد شده را به دست آورد. اگر مقادیر  $X$  و  $Y$  را رسم کنیم منحنی نرمال تشکیل شده که میانگین آن با  $\mu$  و انحراف معیار آن با  $\delta$  و مساحت آن با  $N$  برابر است. در حقیقت میانگین حسابی، تعیین کننده موقعیت توزیع روی محور  $X$  و انحراف از معیار تعیین کننده فرم منحنی است. هر چه انحراف از معیار بزرگتر باشد، پهنا و پخی سیر منحنی بیشتر است. بر عکس هر چه کوچکتر باشد، قسمت میانی منحنی تیزتر و کشیده‌تر می‌شود. بنابراین میانگین، و انحراف معیار از فرمول کلی توزیع نرمال مقادیر متفاوتی دارند. از این رو برای این توزیع، منحنی‌های بی‌شماری می‌تواند وجود داشته باشد و برای اینکه منحنی نرمال، مبنای استاندارد داشته باشد، معمولاً میانگین آن را معادل صفر، و انحراف از معیار و مساحت زیر آن را برابر با واحد (یک) انتخاب می‌کنند. بنابراین، با توجه به ارقام مزبور یعنی  $\mu = 0$  و  $\delta = 1$ ، معادله منحنی توزیع نرمال به صورت زیر در می‌آید:

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad (\text{فرمول: ۶})$$

در این فرمول؛  $Z$ ، مقداری استاندارد است که برابر است با نسبت تفاضل هر متغیر از میانگین یک توزیع به مقدار انحراف از معیار آن و فرمول کلی برای محاسبه آن به قرار زیر است:

$$Z = \frac{X - \mu}{\delta} \quad (\text{فرمول: ۷})$$

حال باتوجه به توضیحات فوق درباره توزیع نرمال، در راستای انجام این پژوهش، ابتدا دو فرض را در نظر گرفته شده، زیرا برای انجام و بررسی متغیر مربوطه در توزیع نرمال و عملیات و محاسبات مربوط به آن فرضی مد نظر قرار داده شده، که در این مبحث متغیرمان که  $X$  است، را میزان ضریب گراویلیوس در نظر گرفته، با دو فرض اینکه  $H_1$  (فرض اول) روند توسعه شهری شیراز در طی دهه‌های مختلف تحت تابعیت و تاثیر ضریب سیل‌خیزی بوده است. و فرض دوم را که با  $H_0$  نشان می‌دهند، روند توسعه فیزیکی شهر شیراز تحت تاثیر و تابعیت ضریب سیل‌خیزی نبوده است. بر اساس این دو فرض به بحث و آنالیز متغیر مربوطه (ضریب گراویلیوس) پرداخته شده است. بر این اساس که، ابتدا میزان حداکثر و حداقل ضریب سیل‌خیزی را مابین ۱ تا ۳ در نظر گرفته، و منطقه مورد مطالعه، روند متوسطی را از لحاظ سیل‌خیزی دارا بوده، طبق (شکل ۴) پیک و اوج منحنی را ۲ که میانگین حسابی است از لحاظ سیل‌خیزی در نظر گرفته، و سپس بر اساس روش انتگرال جز به جز، مقدار  $Z$  را که همان استاندارد شده  $X$  است را برای کل حوضه محاسبه نموده و بر روی توزیع نرمال انتقال داده شده است. سپس میزان مساحت زیر منحنی مابین  $1/73 \pm$  تا سیزده رقم اعشار برای آن محاسبه گشته است. لازم به ذکر است که اکثر محققان این اعداد پشت اعشار را بین ۴ تا ۶ رقم بیشتر محاسبه ننموده‌اند. پس با استفاده از روش انتگرال جز به جز، تا ۱۳ رقم اعشار را برای نشان دادن صحت بیشتر کار، مورد محاسبه قرار داده، و برای منحنی تعریف شده است. بدین ترتیب که توزیع نرمال برای هر متغیری قابلیت تعریف در یک بازه معین را داراست. در این پژوهش نیز متغیر ضریب سیل‌خیزی را در بازه ۱ تا ۳ در نظر گرفته، و میزان روند گسترش حوزه شهری در دهه‌های مختلف بر روی آن اعمال شده است. تا روند کلی حوضه از نظر سیل‌خیزی بر اساس توزیع نرمال، برای درک بهتر و بیشتر از حوضه مورد مطالعه، بررسی گردد. بر اساس میزان  $Z$  محاسبه شده که مابین  $1/73 \pm$  است، میزان مساحت محصور زیر منحنی  $1/916$  یا  $91/6$  درصد است. در توزیع‌های مربوط به دهه‌های مختلف که در ادامه آمده است؛ روند محاسباتی آنها نیز به همین روال صورت پذیرفته، و لازم به یادآوری است، در توزیع‌های دهه‌های مختلف اعداد مربوط به کران‌های بالا، میزان ضریب سیل‌خیزی، و اعداد مربوط به کران‌های پایین میزان  $Z$  است. نکته حائز اهمیت اینکه، میزان  $Z$  محاسبه شده از روش انتگرال جز به جز در این پژوهش با جواب میزان  $Z$  محاسبه شده در جداول آماری یکسان بوده و همچنین



برای ظرافت و دقت بیشتر در مسائل کاربردی، روش انتگرال‌گیری از مزیت بیشتری برخوردار است. چرا که همان‌طور در بالا نیز اشاره شد می‌توان تا ۱۳ رقم اعشار یا بیشتر را برای دقت بیشتر کار مورد محاسبه قرار داد، که در ذیل فرمول صورت و حل تابع لوگ نرمال انتگرال، ضمیمه شده است  
(فرمول: ۸)

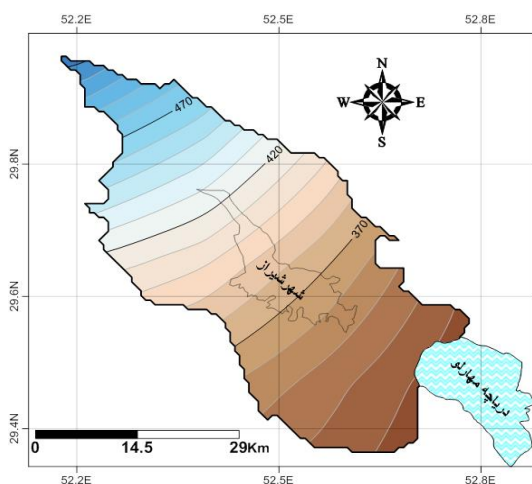
$$\int \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\delta^2} dx = \frac{1}{2\delta} (1 + \operatorname{erf} \frac{x-\mu}{\delta\sqrt{2}})$$

## نتایج تحقیق

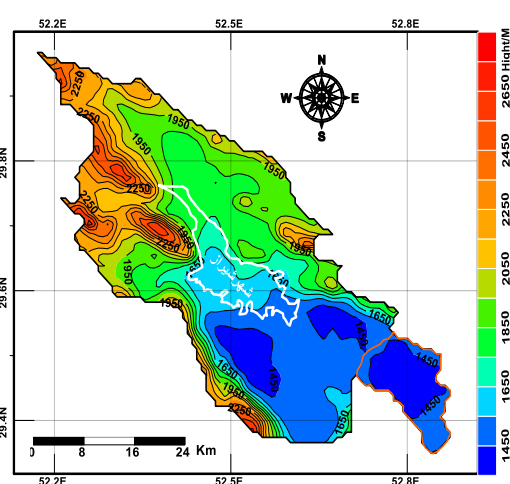
### تجزیه و تحلیل روند حاکم بر منطقه

بر اساس نقشه همبارشی حوضه‌ی هیدروژئومورفیک شیراز در (شکل ۲) این حوضه مابین بازه بارشی ۳۳۰ میلی‌متر تا ۵۲۰ میلی‌متر قرار گرفته است. در این راستا حوضه‌ی شهری شیراز نیز تقریباً از خط بارشی ۳۵۰ میلی‌متر در جنوب حوضه تا خط ۴۳۰ میلی‌متر در شمال حوضه گسترش یافته است. پهنه‌بندی بارشی حوضه بیانگر میزان نزولات جوی دریافتی بر اساس عوامل توپوگرافیک حوضه، اقلیم محلی و سایر فاکتورهای مرتبط با بارش حوضه است که این بارندگی‌ها سرچشمه و منبع اصلی، تامین آب شهر شیراز و دیگر نواحی حوضه شیراز است. کم‌بارش‌ترین بخش حوضه مربوط به خطوط ۳۳۰ میلی‌متر تا ۳۶۰ میل‌متر در بالای دریاچه مهارلو است که مبین این است، هر چه به سطح اساس حوضه هیدروژئومورفیک نزدیک شویم از میزان نزولات جوی دریافتی در سطح حوضه کاسته می‌شود. پر بارش‌ترین بخش حوضه مربوط به خطوط ۴۷۰ میلی‌متر تا ۵۲۰ میلی‌متر، که در بر گیرنده‌ی ارتفاعات شمالی حوضه است و سرچشمه و منبع اصلی تغذیه‌کننده، کل حوضه است. و تمامی جریان‌ها و مسیل‌ها از این ناحیه به سمت زهکشی اصلی حوضه (مهارلو) به راه می‌افتند. بارش متوسط حوضه مابین خطوط ۳۷۰ میلی‌متر تا ۴۳۰ میلی‌متر قرار داشته که بخش کشیده شده و شمالی شیراز نیز در این راستا واقع شده است. وجود چنین شرایطی همراه با رگبارهای ناگهانی طی برخی سال‌ها و دست‌اندازی انسان‌ها بر حریم مسیل حوضه می‌تواند رخداد و مخاطره سهمگین سیلاب نظیر سال ۱۳۸۰ و سیل ۵ فروردین سال ۹۸ را نیز با خود به همراه داشته باشد. حوضه هیدروژئومورفیک شیراز از شمالی‌ترین بخش آن، یعنی کوه‌های شول، تش‌برفی، ملوس جان و قلات شروع شده و به سمت جنوب شرقی‌ترین بخش آن یعنی دریاچه مهارلو به عنوان سطح اساس این حوضه منتهی می‌گردد. بازه ارتفاعی حوضه، از دریاچه مهارلو مابین ۱۴۵۰ متر تا ۲۲۵۰ متر در کوه‌های شول در قسمت شمال غربی حوضه متغیر است. این امر نشان از پیچیدگی و ناهمواری بسیار سطح حوضه دارد. بیشترین مساحت توپوگرافیکی سطح حوضه مربوط به نیمه غربی حوضه بوده، که از کوه‌های شول در شمال غرب حوضه و قلات و پس‌کوهک در غرب حوضه شروع شده و تا کوه قره باغ در جنوب غرب حوضه ادامه یافته است. بخش میانی حوضه از جنوب، آبادی‌های اطراف شهر شیراز را شامل شده و در مرکز حوضه هیدروژئومورفیک شیراز، حوضه شهری شیراز توسعه یافته است. و در ارتفاعات مابین ۱۵۰۰ متر تا ۱۸۵۰ متر، حوضه‌ی هیدروژئومورفیک قرار گرفته است. کم‌ارتفاع‌ترین بخش حوضه، قسمت جنوبی و جنوب شرقی آن بوده، که از ارتفاع ۱۴۵۰ متر شروع شده و تا ۱۵۰۰ متر ادامه یافته، و بخش وسیعی از آبادی‌های جنوب شهر شیراز تا دریاچه مهارلو را به خود اختصاص داده است. بخش شرقی حوضه نیز شامل یک سری ارتفاعات و تاقدیس‌های دیگری است که ناودیس شیراز را احاطه کرده‌اند، و شامل کوه‌های ملوس جان و آصف در قسمت شمال شرقی، کوه‌های بمو و باجگاه در شرق حوضه و تا کوه‌های کلاه قاضی در جنوب شرقی حوضه امتداد یافته‌اند. (شکل ۳) موقعیت توپوگرافیکی شهر شیراز، حوضه‌ی هیدروژئومورفیک شیراز و دریاچه مهارلو را در ذیل نمایش داده است. بیشترین میزان شیب مربوط به نواحی غربی تا شمالی و شمال-غربی حوضه می‌باشد که با رنگ زرد تا نارنجی مابین ۲۲۰۰ تا ۲۶۰۰ متغیر است. و کمترین و متوسط‌ترین شیب شامل مناطق مرکزی تا جنوبی، خصوصاً جنوب-شرقی حوضه می‌باشد که با رنگ سبز و آبی نمایش داده شده است (شکل ۴). همچنین حوضه شهری شیراز نیز غالباً بر روی همین بخش توسعه یافته است. پوشش گیاهی منطقه مورد

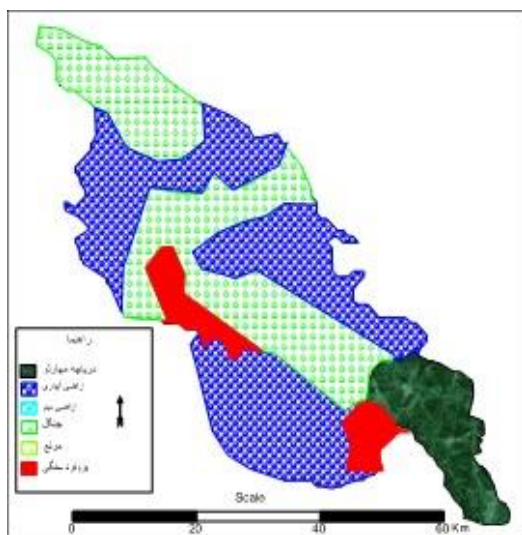
مطالعه شامل: اراضی آبیاری قابل کشت، اراضی جنگلی، مرتع و اراضی کشت دیم می‌باشد. بیشترین وسعت اراضی مربوط به اراضی آبیاری قابل کشت، با ۴۸/۸ هکتار سطح حوضه را پوشانیده و در مرحله بعد اراضی جنگلی با ۲۰/۵ هکتار بخش اعظم حوضه را پوشش داده، و سهم ناچیزی از مرتع و کشت دیم دربرگیرنده حوضه است (شکل ۵). نکته قابل تامل اینکه حوزه شهری شیراز نیز بر بخش غالب اراضی جنگلی و آبیاری گسترش یافته است. اما در روند توسعه شهری متاسفانه روز به روز با کاهش این اراضی به دلیل ساخت و سازهای بی برنامه و تخریب این اراضی به علت بورس بازی زمین و تغییر کاربری آنها مواجه هستیم که می‌تواند به مرور بر پتانسیل سیل‌خیزی منطقه بیفزاید.



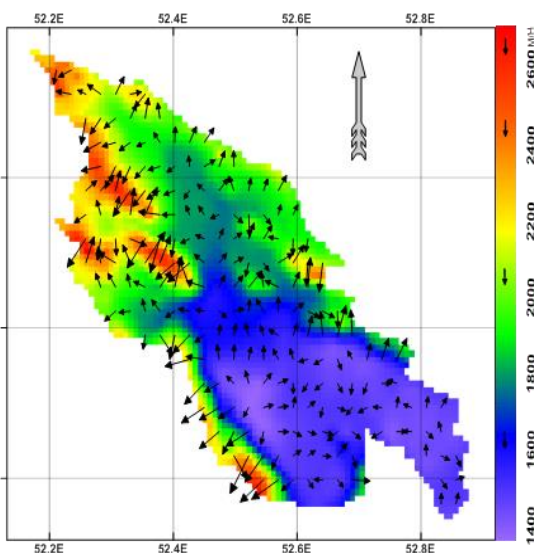
شکل ۳: توپوگرافی حوضه‌ی هیدروژئومورفیک شیراز



شکل ۴: پهنه بارشی حوضه‌ی هیدروژئومورفیک شیراز



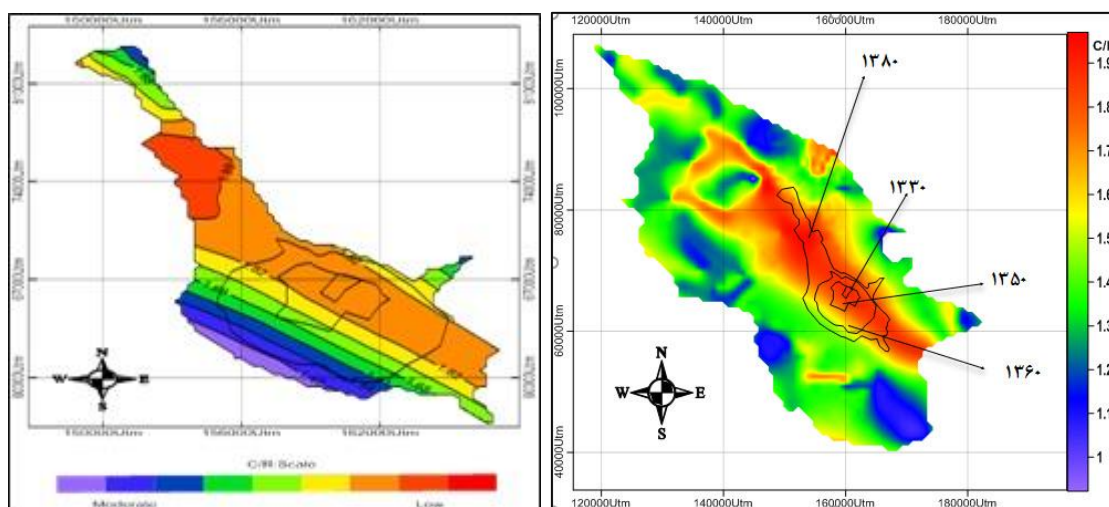
شکل ۵: پوشش گیاهی حوضه‌ی ژئومورفیک شیراز



شکل ۶: شیب ژئومورفیک در حوضه‌ی شیراز

ضریب سیل‌خیزی حوضه‌ی هیدروژئومورفیک شیراز و توسعه فضائی حوزه مدنی آن از دهه ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰ در حوزه مورد مطالعه (شکل ۶) ضریب فشردگی برابر ۱/۷۹ بوده که نشان از روند متوسط ضریب سیل‌خیزی حوضه و شکل کشیده آن دارد. رفتار ضریب سیل‌خیزی حوضه‌ی هیدروژئومورفولوژیکی شیراز طبق (شکل ۶) مابین ۱/۹ ضریب گراویلیوس متغیر بوده است. بر این اساس به بررسی و طبقه‌بندی و نوع رفتار حوضه شیراز از نظر خطر سیل‌خیزی پرداخته

شده است. الف) مناطق و زیرحوضه‌های با ضریب سیل‌خیزی بالا و نزدیک به ۱ که با رنگ آبی و بنفش مشخص شده، و در حواشی شمالی حوضه، بخش‌های غربی و جنوب غربی و همچنین جنوبی حوضه گسترش یافته‌اند. این بخش‌ها دقیقا همان محل‌های تامین منابع آبی حوضه، و بارش‌های آن بوده است. به عنوان مثال یکی از این زیرحوضه‌ها ارتفاعات قلات، در بخش غربی حوضه، و به رنگ آبی تیره مبین ضریب سیل‌خیزی بالای این بخش از حوضه شیراز است. ب) مناطق و زیرحوضه‌های با ضریب سیل‌خیزی متوسط، در بازه مابین  $1/3$  تا  $1/5$  ضریب گراویلیوس واقع گردیده و این بخش به صورت سبز رنگ در حوضه مشخص شده است. البته می‌توان گفت که این بخش میزان قابل توجهی از حوضه شیراز را تحت تسلط خود قرار داده، و به صورت نواری باریک از قسمت بالایی دریاچه مهارلو شروع شده و تا شمال حوضه امتداد یافته و از آنجا دوباره تا بخش جنوبی حوضه با پهنای بیشتری گسترش یافته است. نکته مهم اینکه بر اساس محاسبات صورت گرفته، به طور کلی حوضه مذکور دارای یک روند متوسط از لحاظ سیل‌خیزی است. ج) مناطق و زیرحوضه‌های با ضریب سیل‌خیزی حداقلی حوضه را می‌توان مابین  $1/6$  تا  $1/9$  ضریب گراویلیوس، با رنگ زرد، نارنجی و قرمز را در حوضه شیراز تشخیص داد که منطبق با بخش مسیل رودخانه خشک بوده و دقیقا از میان حوزه شهری شیراز نیز عبور می‌کند و این مسیل نقش ویژه‌ای در هدایت و گسترش سیلاب مناطق شهری برعهده دارد. به عبارت دیگر شبکه ارتباطات شهری بدون توجه به جهت زهکشی طبیعی شیراز ایجاد و توسعه یافته است. رخداد سیلاب  $1380$  شیراز نمونه‌ای از تأثیرات مخرب تصرف حریم مسیل رودخانه خشک می‌باشد. نکته مهم اینکه، حوزه مدنی شهر شیراز بر خلاف حوضه هیدروژئومورفیک شیراز که دارای روند متوسط از لحاظ سیل‌خیزی بوده، این حوزه (شیراز) در بخش حداقل از لحاظ خطر سیل‌خیزی واقع شده و حتی در ابتدا هسته اصلی شکل‌گیری حوزه شیراز نیز با توجه به رعایت حریم مسیل رودخانه خشک گسترش یافته است. در (شکل ۷) نیز روند توسعه شهری حوزه شیراز از دهه  $1330$  تا  $1380$  از لحاظ ضریب سیل‌خیزی بر روی بستر هیدروژئومورفولوژیک شیراز، تغییراتی را در طول این دهه‌ها به خود دیده است. محدوده گسترش شهری در دهه  $1330$  مطابق با بخش حداقل ضریب سیل‌خیزی و با رنگ نارنجی بر روی تراز سیل‌خیزی  $1/82$  ضریب گراویلیوس واقع شده است. در دهه‌های بعدی، خصوصا در دهه  $1350$  میزان توسعه از تراز  $1/82$  ضریب گراویلیوس تجاوز کرده و تا مرز  $1/68$  ضریب گراویلیوس به صورت سبز رنگ که در شکل مشخص شده ادامه یافته، و نشانگر حرکت توسعه، به سمت مناطق با ضریب سیل‌خیزی متوسط بوده است. در دهه  $1360$  علاوه بر گسترش بیش از حد توسعه شهری بر روی حوضه هیدروژئومورفولوژیک شیراز، شاهد افزایش طولی و عرضی فراوان حوزه مدنی در این دهه بوده‌ایم که در این دهه میزان پراکنش و استقرار توسعه حوزه مدنی بر بستر هیدروژئومورفولوژیک شیراز نسبتی  $50 * 50$  را نشان داده است. بدین معنا که تقریباً  $50$  درصد توسعه حوزه شیراز بر روی بخش حداقلی ضریب سیل‌خیزی با رنگ نارنجی، و  $50$  درصد آن بر روی مناطق متوسط تا حداکثر ضریب سیل‌خیزی با رنگ‌های سبز و آبی واقع گردیده است. همچنین توسعه غالب این دهه را می‌توان به افزایش میزان مهاجرت‌ها نسبت داد. در نهایت در دهه  $1380$ ، بخش غالب توسعه، در قسمت حداقلی ضریب سیل‌خیزی بستر هیدروژئومورفولوژیک شیراز صورت پذیرفته و امتداد یافته است. همچنین جهت توسعه در امتداد همین بخش و به سمت شمال غربی حوضه شیراز، محل سرچشمه‌های اصلی مسیل حوضه شیراز، پیش رفته است. و مابقی گسترش، به استقرار بر مناطق، با ضریب سیل‌خیزی متوسط تا حداکثری است. مناطق متوسط، شامل بخش مرکزی رو به جنوب غرب، با رنگ سبز بوده، و مناطق حداکثری سیل‌خیزی، بخش‌های جنوب غربی با رنگ آبی تا بنفش حوزه را در بر گرفته، که حداکثر تراز سیل‌خیزی در بخش جنوب غربی حوزه، خط تراز  $1/47$  ضریب گراویلیوس است. البته در تحلیل این مورد، این نکته را باید در نظر داشت که این روند گسترش، تابع یک سری شرایط و عواملی در گذر زمان بوده، که منجر به حرکت شهر بر بعضی مناطق با ضرایب سیل‌خیزی بالا تا متوسط شده است. اکثر این عوامل را می‌توان به وجود، حرکت‌های جمعیتی و مهاجرت‌ها، و همچنین روند تغییرات الگوی بافت شهری از حال سنتی به مدرنیته و عوامل تأثیرگذار مربوط به آن نسبت داد.

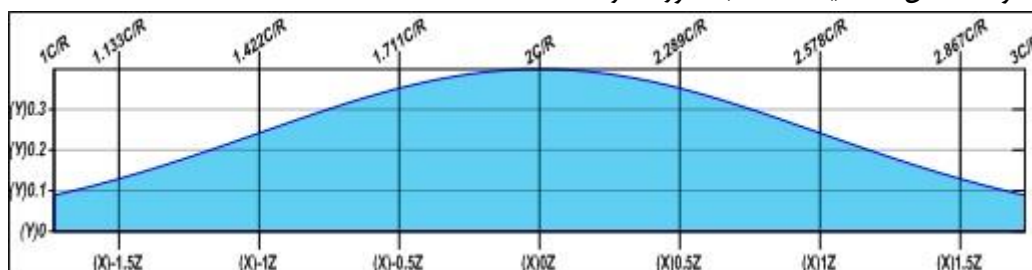


شکل ۶: ضریب سیل خیزی حوضه ژئومورفیک شیراز  
شکل ۷: پهنه‌بندی سیل خیزی هیدروژئومورفولوژیکی حوضه مدنی شیراز از ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۰

### توزیع نرمال

#### حد نرمالیزه سیل خیزی در کل حوضه شیراز

میزان حد نرمال ضریب سیل خیزی کل حوضه با توجه به (شکل ۸) بر روی دستگاه مختصات مابین ۱ تا ۳ ضریب سیل خیزی و پیک این محور برابر با ۲ (میانگین حسابی) ضریب سیل خیزی در نظر گرفته شده است و بر اساس فرمول محاسباتی فوق‌الذکر، برای کل حوضه بازه انتگرال مابین  $1/73$  تا  $-1/73$  محاسبه شده، که میزان خطرپذیری سیل خیزی در کل حوضه معادل  $916/92\%$ ، که به صورت گرد شده است.



$$F(Z) = \int_{-1.7307527970168}^{1.7307527970168} (e^{-0.92}) * (e^{-z^2/2}) = 0.916$$

شکل ۸: حد نرمال ضریب گراویلیوس کل حوضه شیراز

#### حد نرمالیزه سیل خیزی در حوضه مدنی شیراز در دهه ۱۳۳۰

بر اساس (شکل ۹) که نشان‌دهنده حد نرمالیزه سیل خیزی در حوضه مدنی شیراز در دهه ۱۳۳۰ است، میزان ضریب سیل خیزی این دهه مابین  $1/876$  تا  $1/854$  ضریب سیل خیزی بوده، و همان‌طور که مشخص است میزان  $Z$  به صورت قرمز رنگ در منحنی ذیل آمده،  $Z$  میزان توسعه حوضه مدنی شیراز را در دهه ۱۳۳۰ با قرارگیری در منطقه حداقل، کمترین خطر سیل خیزی را نشان داده، که از طریق انتگرال جز به جز میزان  $\Delta x$  مورد محاسبه این دهه، به ترتیب برابر  $-21$  تا  $-25$  بوده، و بر اساس این مقادیر، میزان عدد نهایی که بیانگر خطر سیل خیزی است، برابر با  $1/155$  بوده، یا به عبارت دیگر، خطرپذیری سیل خیزی حوضه مدنی شیراز در دهه ۱۳۳۰ برابر با  $1/5\%$  است.

$$F(Z1330) = \int_{-0.25268990836461}^{-0.21461334683026} (e^{-0.92}) * (e^{-z^2/2}) = 0.0155$$

شکل ۹: قیاس حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۳۰

#### حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۵۰

حد نرمالیزه سیل خیزی دهه ۱۳۵۰ با توجه به (شکل ۱۰) و بر اساس محاسبات فوق‌الذکر، میزان ضریب سیل خیزی این دهه مابین ۱/۸۸ تا ۱/۶۷ ضریب سیل خیزی بوده و همان طور که مشخص است میزان Z به صورت زرد رنگ در منحنی ذیل آمده، که علاوه بر آن میزان Z مربوط به دهه ۱۳۳۰ نیز به صورت همپوشانی لحاظ شده است؛ و چگونگی روند توسعه حوزه مدنی شیراز را در طی گسترش خود به سمت مناطق با حداکثر خطر سیل خیزی را نشان داده است. منحنی مذکور این دهه، بیانگر این است که با توجه به میزان اعداد انتگرال گرفته شده زیر منحنی ( $\Delta x$ )، که به ترتیب برابر ۲۰- تا ۵۷- بوده، و میزان عدد نهایی که بیانگر خطرپذیری سیل خیزی است، برابر با ۱۳۶۴/۱ می‌باشد، و به عبارت دیگر، میزان خطرپذیری سیل خیزی در دهه ۱۳۵۰ برابر با ۱۴٪ است. البته درصدها به صورت گرد شده آمده و مبین حرکت و توسعه بیشتر شیراز به طرف مناطق حداکثر سیل خیزی است.

$$F(Z1350) = \int_{-0.57114842301566}^{-0.20769033564219} (e^{-0.92}) * (e^{-z^2/2}) = 0.1364$$

شکل ۱۰: قیاس حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۵۰

#### حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۶۰

بر اساس (شکل ۱۱) حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۶۰ مابین ۱/۸۸ تا ۱/۴۶ ضریب سیل خیزی بوده و میزان Z این دهه، با پهنای بیشتر نسبت به دهه‌های قبلی به صورت قرمز رنگ در منحنی ذیل نمایان است. میزان Z به صورت همپوشانی، روند توسعه حوزه مدنی شیراز را طی سه دهه ۱۳۳۰ و ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ را به سمت مناطق با حداکثر خطر سیل خیزی، نشان داده است. میزان اعداد انتگرالی زیر منحنی ( $\Delta x$ )، این دهه به ترتیب برابر ۲۰- تا ۹۳- بوده، و میزان عدد خطر سیل خیزی برابر با ۲۴۴۵/ بوده است. خطرپذیری سیل خیزی در این دهه برابر با ۲۴٪ است. و بیانگر نزدیکی حوزه شهری به منطقه حداکثر خطر سیل خیزی است.

$$F(Z1360) = \int_{-0.93460651038916}^{-0.20769033564219} (e^{-0.92}) * (e^{-z^2/2}) = 0.2445$$

شکل ۱۱: قیاس حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۶۰

#### حد نرمالیزه سیل خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۸۰

در دهه ۱۳۸۰ نیز با توجه به (شکل ۱۲) حد نرمالیزه سیل خیزی این دهه مابین ۱/۹۶ تا ۱/۴ ضریب سیل خیزی است. و میزان Z این دهه، با پهنای بیشتر نسبت به دهه‌های قبلی به صورت رنگ سفید در منحنی مشخص است. میزان Z به صورت همپوشانی، روند توسعه حوزه مدنی شیراز را طی چهار دهه ۱۳۳۰ و ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ و ۱۳۸۰ به سمت مناطق با حداکثر خطر سیل خیزی، را نشان داده است. توزیع نرمال این دهه، با توجه به میزان ( $\Delta x$ ) زیر منحنی، به ترتیب برابر ۰۶- تا ۰۳- بوده، و میزان خطر سیل خیزی، برابر با ۳۲۴۶/۳ است، خطرپذیری در این دهه برابر با ۳۲٪ است و در روند توسعه، خطر سیل خیزی در حال افزایش بوده، و به صورت کلی حوزه مدنی را به سمت مناطق با حداکثر ضریب سیل خیزی هدایت کرده است. این نکته لازم است که واقع شدن غالب حوزه مدنی در پهنه‌بندی سیل خیزی بر روی مناطق حداقلی است؛ ولی این ظاهر امر بوده، که بر اساس لحاظ کردن روی توزیع نرمال، بیانگر امر مهم دیگری است. بدین صورت که

حوزه مدنی در روند توسعه، به سمت مناطق پر خطر رفته، و مسئله مهم طی مبحث اخیر، حرکت حوزه شهری به سمت عدم تعادل منطقه‌ای از نظر سیل‌خیزی است. یا به عبارت دیگر مبین بازخور مثبت و آنتروپی منفی این بخش از تحلیل است. یعنی سیستم در حال حرکت رو به زوال است؛ نکته در خور تأمل، اینکه روند توزیع نرمال صورت پذیرفته دارای یک شباهتی به روند منطق فازی است.

$$F(Z1380) = \int_{-1.0384516782101}^{-0.069230111880862} (e^{-0.92}) * (e^{-z^2/2}) = 0.3246$$

شکل ۱۲: قیاس حد نرمالیزه سیل‌خیزی در حوزه مدنی شیراز در دهه ۱۳۸۰

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل Topsis که از فنون تصمیم‌گیری چند معیاری است به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی، خطر سیل برای حوزه شیراز و شهر شیراز استفاده شده است. این مدل ارتباط و هماهنگی بین عوامل موثر بر وقوع سیل را به صورت یک شبکه منظم و متصل بهم را فراهم می‌کند. مدل Topsis مبتنی بر مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که بجای استفاده از یک معیار برای تصمیم‌گیری، امکان استفاده از چندین معیار را به صورت همزمان به تصمیم‌گیرندگان می‌دهد. از نظر ویژگی‌های طبیعی حوزه‌ی شهری شیراز نیز تقریباً از خط بارشی ۳۵۰ میلی‌متر در جنوب حوزه تا خط ۴۳۰ میلی‌متر در شمال حوزه گسترش یافته است هر چه به سطح اساس حوزه هیدروژئومورفیک نزدیک شویم از میزان نزولات جوی دریافتی در سطح حوزه کاسته می‌شود. علاوه بر آن از نظر کاربری غالب وسعت اراضی مربوط به اراضی آبیاری قابل کشت، با ۴۸/۸ هکتار سطح حوزه را پوشانیده شده است. جهت تعیین مناطق مخاطره‌آمیز در برابر خطر سیلاب در حوزه مورد مطالعه از ۵ فاکتور بارش، توپوگرافی، شیب، پوشش گیاهی و خصوصیات فیزیوگرافی استفاده گردید که به طور کلی در فاکتور بارش و توپوگرافی، بیشترین مقدار بارش دریافتی حوزه منطبق با حداکثر توپوگرافی حوزه یعنی بخش‌های شمال و شمال‌غربی است که محل اصلی تامین هیدروگرافی منطقه است و کمترین آن معطوف به بخش جنوبی و جنوب-شرقی است که همان دریاچه مهارلو است. در فاکتور شیب نیز بیشترین میزان شیب مربوط به نواحی غربی تا شمالی و شمال-غربی حوزه و کمترین شیب شامل مناطق مرکزی تا جنوبی، خصوصاً جنوب-شرقی حوزه می‌باشد که البته حوزه شهری شیراز نیز غالباً بر روی همین بخش توسعه یافته است. در فاکتور پوشش گیاهی حوزه شهری شیراز نیز بر بخش غالب اراضی جنگلی و آبیاری گسترش یافته است. که وجود چنین پوششی باعث کاهش خطر سیلاب بوده، اما در روند گسترش روزافزون با کاهش این اراضی به دلیل ساخت و سازهای بی برنامه و تخریب این اراضی به علت بورس بازی زمین و تغییر کاربری آنها مواجه هستیم که میتواند بر پتانسیل سیل‌خیزی منطقه بیفزاید. اما در بحث خصوصیات فیزیوگرافی، در مجموع نتایج حاصل از مطالعات نشان داد که حوزه شیراز بر اساس محاسبات صورت گرفته، دارای ضریب سیل‌خیزی ۱/۷۹ و نسبت انشعاب ۲/۸۸ و در بخش مستطیل معادل دارای طول ۱۳۰/۷۶۵ کیلومتر و عرض ۱۶/۰۳۵ کیلومتر بوده، که بطور کلی مبین یک روند متوسط از لحاظ خطر سیل‌خیزی است. تحلیل روند توسعه شهری شیراز نیز طی چهار دهه ۱۳۳۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰ و ۱۳۸۰ با توجه به نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوزه شیراز بیانگر، هسته تشکیل شهر شیراز و روند توسعه غالب شهری بیشتر بر بخش حداقلی از نظر خطرپذیری سیل‌خیزی است، که این امر ظاهر قضیه را با توجه به روش پهنه‌بندی سیل‌خیزی نشان داده است. اما با بررسی میزان خطرپذیری سیل‌خیزی حوزه هیدروژئومورفیک شیراز و حوزه مدنی شیراز با استفاده از مدل توزیع نرمال و محاسبات صورت پذیرفته، و لحاظ کردن سیر توسعه شهری بر این مدل در بازه ۱ تا ۳ ضریب سیل‌خیزی، و ۱/۷۳ ± میزان مساحت زیر منحنی، روشن شد که، در اصل روند گسترش شهری به سمت ۱ ضریب سیل‌خیزی در بخش چپ منحنی بوده، و بیانگر خطر پذیری بیشتر سیل‌خیزی است. به علاوه اینکه، می‌توان در روش توزیع نرمال به کار گرفته شده؛ یک همپوشانی بین روند توسعه شهری طی دهه‌های فوق بر روی منحنی

توزیع نرمال تشخیص داد که، دارای روندی فازی بوده، و همچنین قرار گرفتن روند توسعه شهری در بخش چپ منحنی را می‌توان به صورت ترمودینامیک مورد تحلیل قرار داد.

## منابع

- آق‌نباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. سازمان زمین‌شناسی کشور، چاپ اول، ناشر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- توکلی بنیزی، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه آبریز سد بوستان، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، صص ۸-۱.
- جندقی، ن.، باغانی، م.، ۱۳۸۵. بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی رژیم سیلابی حوضه‌های آبخیز کوچک (مطالعه موردی حوضه آبخیز تقر تپه گرگان)، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، صص ۸-۱.
- رضایی مقدم، م.، رجبی، م.، دانشفراز، ر.، خیری‌زاده، م.، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلابهای رودخانه زرینه رود (از ساری قمیش تا سد نوروزلو)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۵، شماره ۱۷، صص ۱-۲۰.
- عابدینی، م.، زهتابی اصل، ژ.، ۱۳۸۵. بررسی مسائل ناشی از کاربری های غیر اصولی و شتابان در اراضی بخش جنوب شهر اردبیل (ناحیه دریاچه توریستی شورابیل) و ارزیابی توانهای محیطی آن جهت ارائه راهکارهای صحیح کاربری اراضی، اولین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، صص ۱-۲۸.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.
- صوفی، م.، ۱۳۸۵. بررسی عوامل موثر بر ایجاد سیل در آبخیزهای شهری و راهکارهای کنترل آن، اولین همایش ملی مهندسی مسیل‌ها، صص ۱۲-۱.
- ملکیان، الف.، افتادگان خوزانی، الف.، عشوری نژاد، غ.، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز اختراآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۴، صص ۱۵۲-۱۳۱.
- نجفی، الف.، کریمی کردآبادی، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تاکید بر امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳۴، صص ۴۳-۶۰.
- Black, A.R., and Burns, J.C.(2002). *Re-assessing the flood risk in Scotland. Science of The Total Environment*, 294(1-3), 169–184.
- Falah, F., Rahmati, O., Rostami, M., Ahmadisharaf, E., Daliakopoulos. I. N., and Pourghasemi, H. R. (2019). *Artificial Neural Networks for Flood Susceptibility Mapping in Data-Scarce Urban Areas. Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, 323–336.
- Hajkowicz, Stefan., Collins, Kerry. (2007). *A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. Water Resources Management*, 21(17), 1553–1566.
- Kabenge, M., Elaru, J., Wang, H., Li, F. (2017). *Characterizing flood hazard risk in data scarce areas, using a remote sensing and GIS-based flood hazard index. Natural Hazards*, 89 (1), 1369–1387.

- Liu, W., Zhang, M., Wang, S., Wang, B., Li, F., and Che, Y. (2013). Changes in precipitation extremes over Shaanxi Province, northwestern China, during 1960–2011. *Quaternary International*, 313–314 ( 5),118-129.
- Lyu, H.M., Shen, S.L., and Zhou, A.Y. (2019). Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 84, 31-46.
- Malczewski, J. 1999. *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mejia-Navarro, M., Wohl, E.E., and Oaks, S.D. (1994). Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs Colorado. *Geomorphology and Natural Hazards*, 10, 331–354.
- Schumann, A.H., Funke, R., and Schultz, G.A. (2000). Application of a geographic information system for conceptual rainfall–runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 240(1-2), 45–61.
- Voogd, j.H., 1983. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, London.
- Zelenakova, M., Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Markovic, G., and Weiss, R. (2019). Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kru\_zlov village, Slovakia. *Journal of Cleaner Production*. *Journal of Cleaner Production*, 212(1), 109-118.
- Yari, A., Ardalan, A., Ostadtaghizadeh. A., Zarezadeh. Y., Soufi Boubak ran, M., Bidarpoor, F., and Rahimiforoushani, A. (2019). Underlying factors affecting death due to flood in Iran: A qualitative content analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 1-20.