

ارزیابی خطر وقوع سیلاب در آب خیز شهری شیراز با AHP

احسان بهمنی پور^۱، عرفان لاله زاری^۲، پیمان لاله زاری^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مدیریت ساخت دانشگاه امیرکبیر

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مدیریت ساخت دانشگاه امیرکبیر

^۳ کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مدیریت ساخت دانشگاه امیرکبیر

چکیده

حوادث طبیعی از قبیل سیل، زلزله، طوفان، رانش زمین و غیره همواره کشور ما را تهدید نموده و علی رغم پیشرفت‌های علمی در کشور هنوز آسیب پذیری آنها بطور چشمگیری کاهش پیدا نکرده است. یکی از خطرات بالقوه ای که همواره کشور ما را تهدید کرده و نسبت به زلزله نیز زیان‌های زیادی وارد ساخته، وقوع سیل است. سیل در حقیقت افزایش ارتفاع آب رودخانه و مسیل و بیرون زدن آب از آن و اشغال بخشی از دست‌های حاشیه رودخانه می‌باشد. پدیده سیل مخاطرات فراوانی را در سراسر جهان موجب شده است. پیامدهای این رخداد محیطی به شدت بر روی بخش‌های مختلف شیلات، مسکن، کشاورزی، منابع طبیعی، سازه‌های مهندسی و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تأثیر گذار است. با توجه به قابل پیش‌بینی بودن این رخداد، در این تحقیق به ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه‌های شهر شیراز در برابر سیل پرداخته‌است. معیارهای مورد بررسی، شامل دو دسته معیارهای طبیعی که شامل بارش شدید و کوتاه، کم شدن پوشش گیاهی، جنس خاک، شیب زمین و معیارهای انسانی شامل دستکاری مسیل‌ها و آب‌گذرها، اشغال مسیل‌ها و سیلاب‌رودها، نابود کردن پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، وجود نخاله‌های ساختمانی در مقاطع مختلف مسیرهای اصلی می‌باشند. نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که دستکاری مسیل‌ها و گذرگاه‌ها با وزن ۰/۴۶۸ و وجود نخاله‌های ساختمانی در مقاطع مختلف مسیرهای اصلی با وزن ۰/۰۴۹ به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر در میزان آسیب‌پذیری در حوضه شهری شیراز هستند.

واژه‌های کلیدی: سیل، رودخانه خشک، عوامل طبیعی، عوامل انسانی، شیراز.

۱- مقدمه

آسیب‌ها و اختلالات ناشی از بحران‌ها در سیستم‌های شریان‌های حیاتی باعث اثرات مستقیم، از قبیل خسارات فیزیکی و قطع خدمات‌رسانی، و همچنین اثرات غیرمستقیم شامل جابجایی اجباری جوامع مسکونی، اختلال در فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی و تاخیر در امر مرمت و بازسازی پس از بحران می‌گردد. (طاهری نسب و ابراهیمی، ۱۳۹۷). در این میان سیل یکی از رویدادهای طبیعی است که هر ساله موجب تلفات انسانی، دامی و خسارت به ساختمان‌ها، تأسیسات، باغات، کشتزارها منابع طبیعی می‌شود (سلطانی و اختصاصی، ۱۳۹۲). برابر آمار بیش از ۴۰ درصد از مخاطرات طبیعی را در جهان سیلاب‌ها به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به رژیم بارشی کشور، همه ساله در فصل بهار و پاییز با بارش‌های رگباری می‌توان مواجه شد و نیز با مسئله ذوب برف‌های حاصل از بارش‌های زمستانه، سیل و پیامدهای ناگوار آن در مقیاس‌های مختلف در مناطق مختلف کشور، مشاهده نمود لذا از طریق تجزیه و تحلیل دقیق این مناطق سیل خیز و مدیریت اصولی، می‌توان میزان وقوع سیلاب و نیز خطرات و آسیب‌های جانی و مالی از آن در مناطق مستعد سیلاب را کاهش داد (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۴). با پیشرفت طرح‌های توسعه شهری بدون در نظر گرفتن سیستم شهری به عنوان یک سیستم کامل و جامع نمی‌توان پایش به هنگام و ارائه راه‌کارهای لازم برای حل معضلات شهری را به صورت سیستمیک انجام داد. داشتن یک نقشه از محدوده کلان شهر شیراز و نمایش پتانسیل تولید رواناب سطحی و سیل در نقاط مختلف شهر از ضروریات اولیه است. بررسی میزان تاثیر برنامه های ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله توسعه شهری بر میزان کاهش یا افزایش نفوذ پذیری در مرحله بعدی قرار دارد که به عنوان یک لایه اطلاعاتی جداگانه معرفی می‌شود. این لایه به کارشناسان و مدیران نشان خواهد داد که به دنبال ادامه توسعه شهری در چه نقاطی سطوح نفوذناپذیر افزایش می‌یابند و اثرات تجمعی آن با برنامه های قبلی در چه نقاطی از منطقه شهری خواهد بود و چه خطراتی بر آن مترتب است (صوفی، ۱۳۸۸).

توسعه شهری با افزایش جمعیت به ناچار عرصه اکوسیستم‌های طبیعی را به نقاط شهری تبدیل می‌کند. در ازای تبدیل کاربری از جنگل یا مرتع به نقاط شهری ابتدا فشردگی خاک سطحی افزایش می‌یابد که دلیل آن نیز تردد فراوان ماشین آلات سنگین است. با افزایش فشردگی به مرور بر میزان سطوح نفوذ ناپذیر افزوده گشته که به دنبال آن با بروز وقایع طبیعی باران به یکباره میزان رواناب سطحی و فرسایش خاک چندین برابر خواهد شد که در گذشته نیز سابقه نداشته است و معمولاً در برخی از وقایع نادر بارندگی خسارات سنگینی بر پائین دست منطقه تولید رواناب وارد می‌سازد. معمولاً با افزایش رواناب سطحی در بالا دست آبخیزها، حداکثر دبی جریان افزایش می‌یابد و می‌تواند تغییرات زیادی در مقاطع رودخانه‌های پائین دست ایجاد کند که رسوبات فراوانی در نتیجه کنش بستر و کناره‌های جریان تولید می‌شود و در صورت انتقال کامل از سیستم رودخانه به درون دریاچه‌های طبیعی یا مخازن سدهای پائین دست وارد می‌شود.

محیط طبیعی معمولاً با توسعه شهرها و سکونتگاه‌های بشر سازگار نیست. بسیاری از شهرهای تاریخی که بر اثر همین ناسازگاری محیط طبیعی متروکه شده‌اند. مهمترین عوامل طبیعی تأثیرگذار بر توسعه شهرها وضعیت توپوگرافی، شیب اراضی، آب و هوا، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و ژئومورفولوژی می‌باشند. هراندازه که شهرها توسعه یابند، برخورد آنها با واحدهای گوناگون توپوگرافی و ژئومورفولوژی و موضوعات مربوط به آنها زیادتر می‌شود. بنابراین جهت‌یابی توسعه فیزیکی با توجه به عوامل تأثیرگذار باید به گونه‌ای باشد که بیشترین هماهنگی را با محیط پیرامون خود داشته باشد (Riyahi and zamani, 2015). در مطالعه‌ی فیزیکی شهرها باید شرایط ژئومورفولوژیکی، آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی منطقه مطالعه گردد و ارتباط و تأثیر متقابل پدیده‌ها بر یکدیگر بررسی شود (Zomorodian and Khakpoor, 2012). البته لازم به ذکر است

که برخی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی نه تنها همیشه به عنوان عامل مخرب و بازدارنده در استقرار و توسعه شهرها محسوب نمی‌شوند، بلکه اگر برنامه‌ریزان شهری آگاهی کامل از نوع و کاربرد همه جانبه ژئومورفولوژیکی این از آنها به عمل خواهند آورد. اصولاً استقرار و پیدایش یک شهر بیش از هر چیز تابع شرایط محیطی و موقعیت جغرافیایی است، زیرا عوارض و پدیده‌های طبیعی در مکان‌گزینی، پراکندگی، حوزه نفوذ، توسعه فیزیکی، مورفولوژی شهری و امثال آن اثر قاطعی دارند (Negaresh, 2003).

پیشینه‌ی تحقیق

از مهمترین مطالعات صورت گرفته در این راستا می‌توان به مطالعه آدینه و همکاران (۱۳۹۷) اشاره نمود. آنها در مطالعه خود به ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه‌های شهری در برابر سیل؛ مطالعه موردی تهران پرداختند. معیارهایی که مورد بررسی قرار گرفت شامل دو دسته معیارهای فیزیکی که شامل شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، تراکم کانال‌ها و مسیل‌ها و معیارهای اقتصادی اجتماعی که در برگیرنده فاصله از کانال‌ها و مسیل‌ها و کاربری اراضی بودند. نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که کاربری اراضی و ارتفاع به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر در میزان آسیب‌پذیری در حوضه شهری تهران هستند. موسوی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه خود به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS در حوضه‌ی آبخیز شهر باغملک پرداختند و معیارهای فاصله از مسیل‌ها و کانال‌ها، شیب، جهت شیب، سازند، ارتفاع، بارش و کاربری اراضی شهری را به‌کار گرفتند و نتایج آنها نشان داد که نواحی غربی، جنوبی، جنوب غربی و بخشی از نواحی شرقی واقع در حوضه آبخیز مورد مطالعه دارای بیشترین پتانسیل در برابر خطر سیل هستند. رادمهر و عراقی نژاد (۱۳۹۵) مدیریت بهینه رواناب شهری با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی را مورد مطالعه قرار دادند. هدف از تحقیق آنها تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب با استفاده از ترکیب روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و در محیط GIS در قالب یک سیستم پشتیبان در برنامه‌ریزی بوده است. نقشه نهایی خطرپذیری سیلاب در محدوده مورد مطالعه آنها نشان داد که مناطق جنوب‌شرقی از درجه خطرپذیری بالایی برخوردارند. حمیدی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی، محدوده مورد مطالعه را به کلاس‌های خطرپذیری مختلف تقسیم کردند و نتیجه مطالعه آنها نشان داد مناطقی که در محدوده با ریسک خطرپذیری بالا واقع می‌شوند، شامل مناطق حاشیه رودخانه‌ها، مناطق نفوذناپذیر، توپوگرافی پست و مناطق با شیب کمتر از دو درصد می‌باشند. اوما و تاتیشی (۲۰۱۴) آسیب‌پذیری سیلاب در حوضه‌های شهری و تهیه نقشه‌های ریسک را مورد بررسی قرار دادند. آنها معیارهای بارش رواناب، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، شبکه راه‌ها و خاک را به عنوان معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری سیلاب شناسایی کردند و سپس با استفاده از تلفیقی از تکنیک GIS و AHP هر یک از معیارها به کلاس‌های مختلف تقسیم‌بندی شده و در نهایت نقشه ریسک محدوده مورد مطالعه بدست آمد. سینگ و شارما (۲۰۰۹) نیز با استفاده از GIS و یک رویکرد بر مبنای سنجش از دور نقشه‌های ریسک سیل در منطقه‌ای در هند را ارائه دادند. فرناندز و لوتز (۲۰۱۰) پژوهشی با استفاده از روش ترکیبی GIS و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری برای پهنه‌بندی خطر سیل در نواحی شهری استان توکیما ن آرژانتین انجام دادند که نتایج تحقیق آنها نشان داد که مناطق توسعه یافته‌ی شهری و مناطق پست بیشترین خطر را دارند (حمیدی و همکاران، ۱۳۹۵).

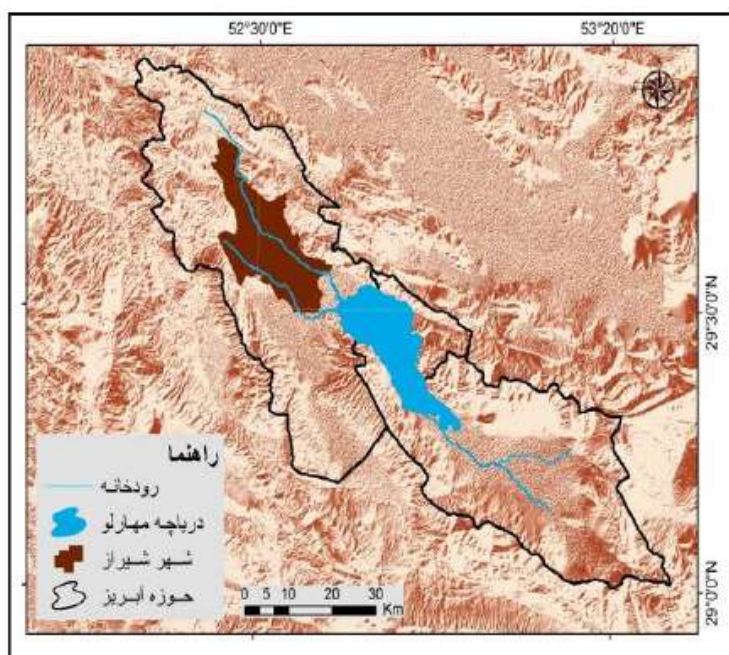
موقعیت جغرافیایی شهر شیراز

شهر شیراز، مرکز استان فارس می‌باشد این شهر در ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته‌است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۹ متر می‌باشد. مساحت این شهر ۱۲۹۹۰ کیلومتر مربع است که طول آن ۹۰ و عرض آن از ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر متغیر است. دوردور شیراز را کوه‌های نسبتاً بلندی به نام‌های کوه چهل مقام، بابا کوهی، پشت مله، دراک و... فرا گرفته است.

اشکال و پدیده‌های طبیعی سطح زمین خیلی سریع تغییر پیدا می‌کنند و این تغییرات در طول زندگی انسان بسیار چشمگیر است (رسولی، ۱۳۸۷:۵۲۴). در اکثر نواحی، دریاچه‌ها به عنوان باران سنج‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شوند. بدیهی است که بارندگی در سطح کره زمین تغییرات زمانی و مکانی زیاد دارد. در چنین وضعیتی، دریاچه‌ها با ویژگی‌های منحصر به فرد خود مناسب‌ترین پدیده‌های طبیعی برای تخمین دقیق نوسان‌های بارش‌ها در یک محل محسوب می‌گردند. بنابراین، می‌توان دریاچه‌ها را به عنوان باران سنج‌های قدیمی در نظر گرفت که نوسان‌های سطح آب آن‌ها از نوسان‌های بارش در آن مکان حکایت دارند (جهانبخش، ۱۳۸۹:۵۰). ارزیابی بهنگام و دقیق تغییرات ویژگی‌های سطح زمین، برای درک بهتر روابط و برهمکنش‌های بین پدیده‌های انسانی و طبیعی، جهت اتخاذ تصمیمات مناسب بسیار حائز اهمیت است.

دریاچه مهارلو در فاصله هفت کیلومتری جنوب خاوری شهر شیراز بین ۲۹ درجه ۱۸ دقیقه تا ۲۹ درجه ۳۳ دقیقه عرض شمالی و بین ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد، مساحت این دریاچه بالغ بر ۲۵۷/۷ کیلومتر مربع است. منطقه مورد مطالعه شامل دریاچه مهارلو و نواحی پیرامونی با وسعتی بالغ بر ۲۴۳ کیلومتر مربع، یازدهمین پهنه آبی از لحاظ وسعت در ایران است (شکل ۱). این حوضه از شمال به دریاچه بختگان و از جنوب و باختر به حوضه آبریز قره آغاج محدود می‌شود که سه زیر حوضه سروستان، گشنگان و حوضه باختری مهارلو تشکیل شده است؛ دریاچه مهارلو در یک فرونشست ناودیسی مانند، شکل گرفته که گسل سروستان از آن می‌گذرد (قهروری و همکاران، ۱۳۹۰:۲۳).

حدود ۱۰ چشمه اصلی و تعدادی چشمه کوچک در حاشیه دریاچه وجود دارد که اغلب در بخش باختری دریاچه دیده می‌شوند. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت آبرفتی شیراز به سمت دریاچه مهارلو است (فیاضی و همکاران، ۱۳۸۶:۲). تأثیر توده‌های هوای گوناگون، دامنه ارتفاعی قابل توجه در حوضه، کشیدگی و وسعت نسبتاً زیاد حوضه سبب شده‌است که آب و هوای منطقه تا حدودی متغیر و گوناگون باشد، میزان بارندگی در شمال و شمال باختر حوضه به بیش از ۵۰۰ میلی‌متر و در سمت خاور و شمال خاوری به کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌متر و تا ۲۵۸ میلی‌متر در سروستان می‌رسد (زمردیان و همکاران، ۱۳۹۱:۵۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دریاچه مهارلو

حوزه آبریز رودخانه خشک شیراز با وسعت $900/3$ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی 52° درجه $12'$ دقیقه تا 52° درجه و $41'$ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی 29° درجه و $34'$ دقیقه تا 29° درجه و $58'$ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این حوزه از شمال به دشت‌های بیضاء و زرقان، از جنوب به شهر شیراز، از شرق به دریاچه مهارلو و از غرب به گردنه شول محدود می‌شود. تنها رودخانه این حوضه، رودخانه فصلی می‌باشد که در ماه‌های خشک سال فاقد جریان آب است. زیر حوضه‌های تغذیه کننده رودخانه خشک عبارتند از: کلستان، پسکوهک، باجگاه، تنگ قرآن، سعدی، باباکوهی و کفترک که مجموعاً شش زیر حوضه می‌باشند. رودخانه خشک شیراز از ارتفاعات قلات، کلستان و باجگاه سرچشمه گرفته و در جهت شمال غرب به جنوب شرق جریان می‌یابد و پس از طی مسافتی کوتاه شاخه نهر اعظم از سمت چپ و تنگ سرخ (که سرچشمه آن در منطقه

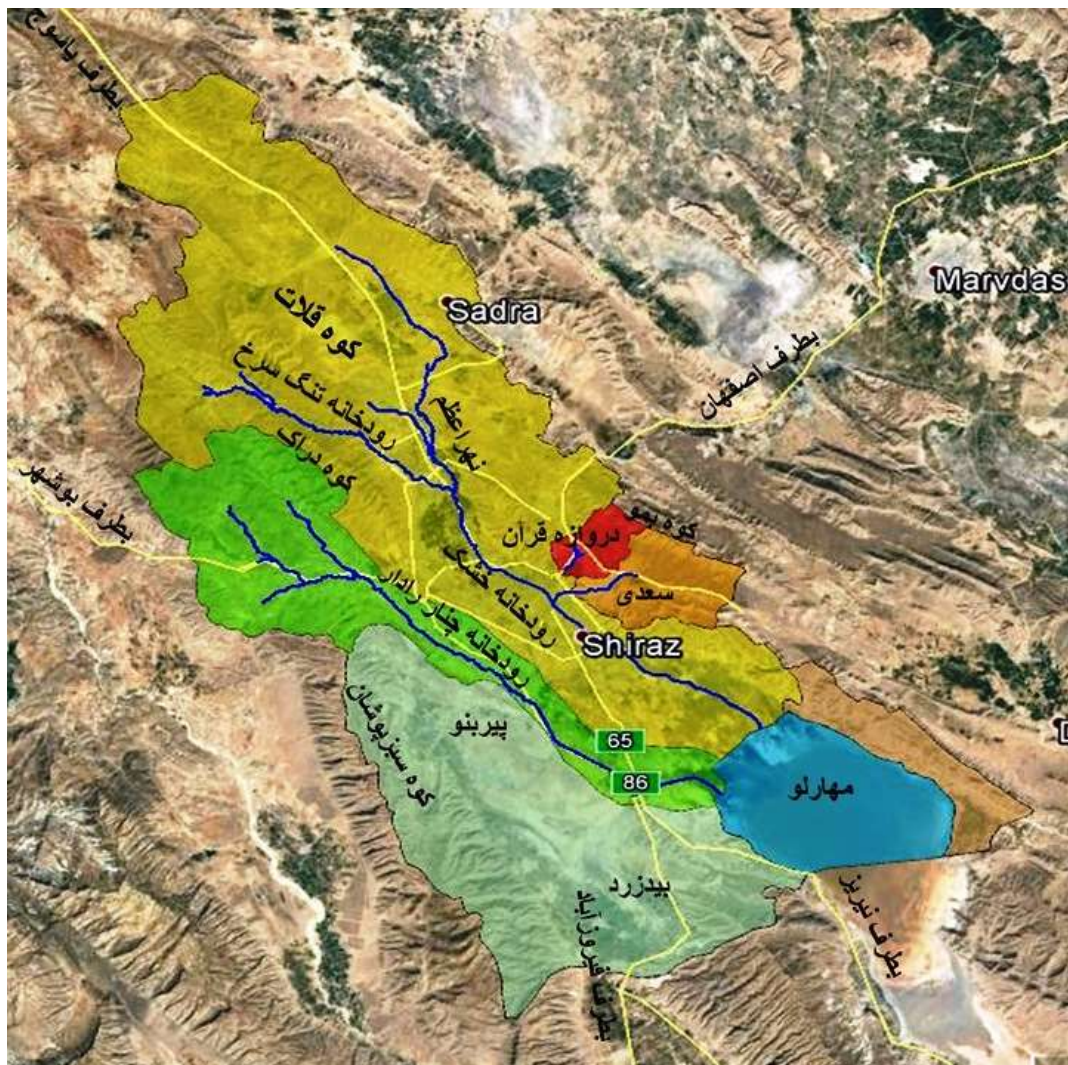
پسکوهک می‌باشد و بین کوه‌های قلات و دراک به نام دره تنگ سرخ جریان دارد) از سمت راست به آن می‌پیوندند و پس از ورود رواناب‌های حوضه شهری شیراز مانند باباکوهی، تنگ قرآن، سعدی، کفترک، کوی آزادگان و همچنین، مازاد چشمه‌های برم دلك در نهایت به دریاچه مهارلو می‌ریزد. به دلیل وسعت زیاد حوزه آبخیز رودخانه خشک شیراز تغییرات مقدار بارندگی در این حوزه زیاد است (مظفری و نارنگی فرد، ۱۳۹۴).



شکل (۲): تفشه توپوگرافی حوضه آبخیز رودخانه خشک

در حالت طبیعی اکوسیستم ایران و استان فارس مستعد بروز سیل است. علل آن وقوع رگبارهای شدید و کوتاه مدت، گونه‌های پهن برگ مستقر در اکوسیستم که نسبت به سوزنی برگان ۲۵ درصد بیشتر رواناب سطحی تولید می‌کنند و گزارشات تاریخی نظیر وقایع اتفاقیه موید این نظریه است. توسعه عمرانی شهر شیراز عمدتاً در بالا دست آبخیز شهر شیراز یعنی در شمال غرب این شهر صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر احداث شهرک‌های جدید و تغییر کاربری‌ها در بالا دست مناطق مسکونی قدیمی و توسعه یافته شهر در حال انجام است. در صورت اتمام شهرک‌ها و توسعه مناطق شهری جدید نظیر بهشتی، گلستان، صدرا، قصر قمشه و... به میزان ۵۰ تا ۱۰۰ درصد سطوح نفوذ ناپذیر افزوده می‌شود. در این صورت علاوه بر پتانسیل طبیعی سیل خیزی مناطق بالا دست شهر بر اساس تحقیقات انجام شده بین ۵۶ تا ۹۵ درصد (بسته به میزان درصد سطوح نفوذناپذیر) (Schueler, 1987)، بر میزان رواناب سطحی و رواناب متمرکز (سیلاب) افزوده خواهد شد که بایستی قاعدتاً از مقطع رودخانه خشک تا دریاچه مهارلو انتقال یابد لذا احتمال سرریز کردن سیلاب بیشتر از چند دهه قبل خواهد بود و بررسی راه کارهای مختلف کنترل و کاهش دبی سیلابی در حالت جدید لازم است. از طرف دیگر علاوه بر افزایش دبی حداکثر، بدلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر از زمان تاخیر آبخیز نیز به میزان ۵۰٪ کاسته شده است (پوینده بلداجی، ۱۳۸۴)، که مدیران شهری نیمی از زمان لازم برای ساماندهی سیلاب‌های ایجاد شده نسبت به چند دهه قبل در اختیار خواهند داشت که مدیریت تلفیقی

سیلاب یعنی استفاده از راه‌کارهای مختلف توأم با سیستم‌های هشدار سیل را ضروریتر می‌سازد. برای مدیریت بحران و سیلاب‌های شهری بایستی ابتدا نقاط حساس شهری از نظر تولید رواناب سطحی و سیل بر روی نقشه شهری مشخص شود و سپس برنامه‌ریزی لازم برای مدیریت آن در فازهای یا سطوح مختلف کوتاه، میان و بلند مدت نمود.



شکل (۳): مسیر رودخانه خشک به دریاچه مهارلو

شهر شیراز در یک بازه ارتفاعی ما بین ۱۵۰۰ تا ۱۹۵۰ متر در درون حوضه‌ی هیدروژئومورفیک شیراز توسعه یافته‌است. این حوضه دارای دو مسیل اصلی به نام‌های مسیل رودخانه خشک و مسیل نهرا عظم است و بر کل حوضه مورد مطالعه تأثیرگذار بوده و همچنین آبدهی تمامی بخش‌های حوضه شیراز متأثر از این دو مسیل می‌باشد. مسیل اصلی و تأثیرگذار بر کل حوضه و حوزه مدنی شهر شیراز مسیل رودخانه خشک است که از میان حوزه شهری شیراز نیز عبور می‌نماید.

مدیریت سیلاب شهری^۱ و مدیریت رواناب شهری^۲ از تخصص‌هایی است که به مدیران شهری کمک می‌کند تا با صرف حداقل انرژی و بودجه، بیشترین خدمات شهری را به شهروندان ارائه دهند. سیلاب شهری زمانی اتفاق می‌افتد که جریان سطحی ناشی از یک واقعه باران وارد کانال زهکش طبیعی شود و در قسمتی از مسیر به دلیل کافی نبودن ظرفیت مقطع از آن سرریز

^۱Urban flood management

^۲Urban storm water management

نماید. به این جریان سرریز شده در نقاط شهری سیلاب شهری گویند و بایستی دلایل ایجاد آن توسط متخصصین بررسی و از بروز آن جلوگیری شود. هر منطقه مسکونی و شهری دارای یک حوزه آبخیز^۳ است که از سه قسمت بالا دست^۴، میانی^۵ و پائین دست^۶ تشکیل شده است. سه قسمت آبخیز دارای یک ارتباط منطقی بوده و تغییر در هر کدام در دیگر قسمت‌ها مشکلات خاصی را منعکس خواهد کرد. قسمت بالا دست آبخیز، منطقه تولید و تنظیم آب است. در صورت تبدیل قسمت اعظم باران به صورت رواناب سطحی، قسمت پائین دست آبخیز که معمولاً محل احداث سکونتگاه‌هاست مشکلات خاصی را تجربه خواهند کرد و مدیران شهری را دچار بحران خواهد نمود. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که حداقل درصد پوشش گیاهی از نظر کنترل سیلاب ۴۰ درصد است (Morgan, 1986)

روش تحقیق

روش تحقیق در این مقاله، شامل وزن معیارها و اولویت بندی آن‌ها با استفاده از نرم افزار AHP، معیارهای مورد مطالعه در این تحقیق، معیارهای انسانی (دستکاری مسیل‌ها و آب گذرها، اشغال مسیل‌ها و سیلاب رودها، نابود کردن پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، وجود نخاله‌های ساختمانی در مقاطع مختلف مسیرهای اصلی) و معیارهای طبیعی (بارش شدید و کوتاه، کم شدن پوشش گیاهی، جنس خاک، شیب زمین) می‌باشند.

معیارهای طبیعی

بارش شدید و کوتاه: بارش باران‌های شدید و طولانی به طور عمده در مناطق پرباران و گاهی کم باران باعث جاری شدن سیل می‌شود. در بارندگی‌های شدید، قطره‌های باران درشت‌تر و وسعت باران نیز زیادتر است. در اثر برخورد قطره‌های باران با زمین بدون پوشش گیاهی مناسب، آب به راحتی روی زمین جاری می‌شود و سیلاب‌های فصلی به وجود می‌آید. در چنین شرایطی به خاطر شدت بارندگی، بخشی از آب در خاک نفوذ نمی‌کند و آب اضافی به صورت سیل جاری می‌شود. کم شدن پوشش گیاهی: پوشش گیاهی یک منطقه نقش بسیار مهمی در جلوگیری از سیل دارد زیرا گیاهان نمی‌گذارند قطره‌های باران به طور مستقیم با خاک برخورد کنند، در نتیجه سرعت آنها گرفته می‌شود و آب فرصت کافی برای نفوذ در خاک پیدا می‌کند. به علاوه ریشه‌های گیاهی باعث افزایش خلل و فرج خاک می‌شوند و در نتیجه آب به راحتی در خاک نفوذ می‌کند. بنابراین با وجود گیاهان، آب ناشی از بارندگی‌ها در خاک فرو رفته و به این ترتیب هم سیل جاری نمی‌شود و هم سفره‌های آب زیرزمینی پرآب‌تر می‌شوند سیل بیشتر در جاهایی جاری می‌شود که گیاهان آن منطقه کم و یا نابود شده‌اند. در زمین‌های بدون گیاه، باران علاوه بر ایجاد سیل، باعث تخریب خاک هم می‌شود.

نوع و جنس خاک: جنس خاک نیز عامل مهمی در جاری شدن سیل به شمار می‌رود هر قدر کود حیوانی، مواد گیاهی و هوموس خاک بیشتر باشد، آب بیشتری در آن نفوذ می‌کند در مقابل هر قدر خاک بیشتر رسی باشد، آب کمتر در آن نفوذ می‌کند هر قدر خاک سفت‌تر باشد آب کمتر در آن نفوذ می‌کند در نتیجه آب بیشتری بر روی زمین جاری می‌شود و جریان

³Watershed or Catchment

⁴Upstream

⁵Midstream

⁶Downstream

شدید آب یا سیل به وجود می‌آید در مواقعی که باران و یا به مدت طولانی ببارد و نفوذ پذیری خاک کمتر باشد و مانعی برای جلوگیری از جاری شدن آب و کاهش سرعت آن وجود نداشته باشد سیل جاری شده و موجب خسارت‌های سنگین می‌شود. شیب زمین: سیل در جاهایی جاری می‌شود که شیب زمین زیاد باشد، زیرا آب فرصت کافی برای نفوذ در خاک را نمی‌یابد و در نتیجه به سرعت جاری می‌شود و آب هر قدر به سمت پایین‌تر پیش رود، سرعت و حجم آن افزایش یافته و قدرت تخریب آن بیشتر می‌شود این نوع سیل‌ها در روستاهایی که در دامنه کوهپایه‌ها قرار دارند بسیار اتفاق می‌افتد و اکثراً بسیار مخرب و خطرناکند. با توجه به استقرار شهر شیراز در بین ارتفاعات کفترک، پشت مله و کوه بمو و شیب زیاد یکی دیگر از عواملی است که باعث به وجود آمدن سیل می‌شود.

معیارهای انسانی

دانشمندان معتقدند که برخی از بلایای طبیعی نظیر سیل، وقتی ظاهر می‌شوند که بین فعالیت‌های بشری و طبیعت تقابل و برخورد پیش می‌آید و در محلی هم که سیل، ناشی از پدیده‌های طبیعی بوجود آمده‌است به دلیل عدم حضور بشر در منطقه مشکلی ایجاد نشده‌است.

دست‌کاری مسیل‌ها و ایجاد موانع و محدودیت‌ها برای حرکت آب‌های روان که موجب کاهش میزان جریان آب و جاری شدن سیل می‌گردد.

اشغال مسیل‌ها و حریم رودخانه‌ها از طریق ساخت منازل و یا گسترش اراضی کشاورزی و باغ‌ها که موجب تغییر مسیر آب‌های جاری می‌شود.

تخریب پوشش گیاهی از طریق چرای بی‌رویه دام در مراتع.

تغییر کاربری اراضی به طرق مختلف.

وجود نخاله‌های ساختمانی در مقاطع مختلف مسیرهای اصلی و فرعی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical Hierarchy Process یا AHP) یکی از معروفترین فنون تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی در دهه ۱۹۷۰ (توماس^۷، ۱۹۹۶) ابداع گردید (ایزدبخش و همکاران، ۱۳۸۸). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. تصمیم‌گیرنده با فراهم ساختن درخت سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری کار تحلیل را شروع می‌کند. در سطح صفر هدف تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد و در سطح اول شاخص‌ها (معیارها) و در سطح دوم نیز گزینه‌ها جهت اولویت بندی قرار دارند که ممکن است با توجه به نوع مساله تعداد سطوح معیارهای اصلی و فرعی بیشتر باشد (مومنی، ۱۳۸۷). بر مبنای روش فوق، ابتدا معیارها به صورت زوجی و بر اساس مقادیر عددی ارجحیت‌ها که در جدول (۱) به آنها اشاره شده‌است با یکدیگر مقایسه می‌شوند. سپس ماتریسی با تعداد سطر و ستون معیارها تشکیل شده و در نهایت با استفاده از نرم افزار Expert Choice وزن نهایی معیارها و گزینه‌ها بدست می‌آید.

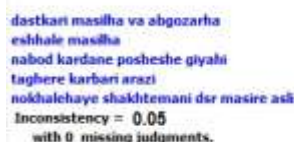
⁷ Thomas

جدول (۱): درجه اهمیت ارجحیت‌ها

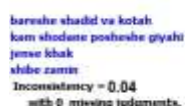
درجه اهمیت بر اساس مقایسات زوجی معیارها					
ترجیح یکسان	کمی بهتر (مهم تر)	بهتر (مهم تر)	خیلی بهتر (مهم تر)	کاملاً بهتر (مهم تر)	بینابین
۱	۳	۵	۷	۹	۲-۸-۶-۴

تحلیل یافته‌ها

وقوع سیل در شیراز از دو جهت عوامل طبیعی و عوامل انسانی مورد ارزیابی قرار گرفت. در بررسی معیارهای موثر بر آسیب-پذیری که شامل معیارهای عوامل طبیعی (بارش شدید و کوتاه، کم شدن پوشش گیاهی، جنس خاک، شیب زمین) و معیارهای انسانی (دستکاری مسیل ها و آب گذرها، اشغال مسیل ها و سیلاب‌رودها، نابود کردن پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، وجود نخاله‌های ساختمانی در مقاطع مختلف مسیرهای اصلی) می‌باشند و بر اساس مقایسه زوجی و توسط نرم افزار Expert Choice، شکل (۴) و شکل (۵) حاصل شد و بدین ترتیب میزان اثرگذاری هر یک از معیارها در آسیب‌پذیری مشخص گردید. مطابق شکل‌ها، بیشترین و کم‌ترین آسیب‌پذیری به ترتیب مربوط به معیارهای دستکاری مسیل‌ها و گذرگاه-ها و نخاله‌های ساختمانی در مسیر اصلی می‌باشد. نرخ ناسازگاری که بیانگر درستی یا نادرستی نتایج است به طوری که اگر از مقدار ۰/۱ (توماس، ۱۹۹۶) کمتر باشد نیازی به تجدید نظر در پاسخ‌ها نبوده و وزن‌های محاسبه شده صحیح است؛ در این مرحله، ۰/۰۴ و ۰/۰۵ بدست آمد.



شکل (۴): مجموعه وزن‌های عوامل انسانی در نرم افزار Choice Expert



شکل (۵): مجموعه وزن‌های عوامل طبیعی در نرم افزار Choice Expert

مطابق شکل ۶، بحرانی‌ترین زیر حوضه جهت مطالعات کنترل سیلاب و با توجه به معیارهای مورد مطالعه در این تحقیق به ترتیب زیر حوضه‌های پسکوهک، تنگه قرآن، کلستان، سعدی، باباکوهی و کفترک می‌باشند و نرخ ناسازگاری در این مرحله نیز ۰/۰۸ محاسبه شد.



شکل (۶): مجموعه وزن‌های زیر حوضه‌ها در نرم افزار Choice Expert

شکل (۷): مجموع وزن معیارهای عوامل انسانی و محیطی در نرم افزار Choice Expert

جدول ۲، اولویت‌های هر یک از زیر حوضه‌ها مربوط به معیارها را نشان می‌دهد. مطابق جدول فوق پسکوهک از اولویت بالاتری برخوردار است.

جدول (۲): اولویت بندی زیر حوضه‌ها در هر یک از معیارها

زیر حوضه‌ها						وزن	معیارها
کَلستان	کفترک	باباکوهی	سعدی	تنگ قرآن	پسکوهک		
					*	۰/۳۲۶	بارش شدید و کوتاه
					*	۰/۳۵۷	کم شدن پوشش گیاهی
*						۰/۲۰۰	جنس خاک
			*			۰/۱۱۷	شیب زمین
				*		۰/۴۶۸	دستکاری مسیل‌ها
	*					۰/۱۵۸	اشغال مسیل‌ها
					*	۰/۱۹۷	نابود کردن پوشش گیاهی
				*		۰/۱۲۸	تغییر کاربری اراضی
		*				۰/۰۴۹	نخاله‌های ساختمانی در مسیر اصلی

بحث و نتیجه گیری

این تحقیق، به ارزیابی خطر وقوع سیل در آب خیز شهری شیراز با تحلیل AHP پرداخته است. نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که معیارهای دستکاری مسیل‌ها و گذرگاه‌ها با وزن ۰/۴۶۸ و نخاله‌های ساختمانی در مسیر اصلی با وزن ۰/۰۴۹ به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین وزن آسیب‌پذیری بودند. در بین زیر حوضه‌ها، زیر حوضه پسکوهک از لحاظ

آسیب پذیری از اولویت بالاتری برخوردار است. در تحلیل عوامل انسانی با وزن ۰/۱۶۷ و عوامل طبیعی با وزن ۰/۸۳۳ به دست آمد. تاثیرات عوامل طبیعی بر بروز سیل بیشتر از عوامل انسانی است.

منابع:

۱. ایزدبخش، حمیدرضا، وظیفه، اصغر، جهانگشاری رضایی، مصطفی و چیت ساز، حسنعلی (۱۳۸۸). آموزش کاربردی نرم افزارهای مهندسی صنایع و مدیریت. جلد اول، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، چاپ دوم.
۲. آدینه، سعیده، بهنام، بهروز و طاهر شمسی، احمد (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب پذیری حوضه های شهری در برابر سیل؛ مطالعه موردی: تهران. اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی آتش نشانی و ایمنی - تهران.
۳. پوینده بلداجی، اسماعیل (۱۳۸۴). بررسی عوامل موثر بر سیل خیزی سرشاخه های حوزه آبخیز رودخانه خشک شیراز، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی- مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۴. جهانبخش، سعید و همکاران (۱۳۸۹). دریاچه ارومیه، شاخصی کلاسیک از ارتباط بین لکه های خورشیدی و اقلیم در شمال غرب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۴-۹۹، صص ۷۷.
۵. رادمهر، احمد و عراقی نژاد، شهاب (۱۳۹۵). مدیریت بهینه رواناب شهری با بهره گیری از روش تصمیم گیری چند معیاره مکانی. نشریه علمی پژوهشی امیر کبیر- مهندسی عمران و محیط زیست، (۳) ۴۸، ۲۲۷-۲۴۰.
۶. رسولی، علی اکبر (۱۳۸۷). مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره ای. تبریز، انتشارات دانشگاه تبریز.
۷. زمردیان، محمد جعفر و همکاران (۱۳۹۱). تحلیل لندفرم های هیدروژئومورفولوژیک حوضه آبریز دریاچه مهارلو بر مبنای روابط تعاملی فرایندهای مورفوتکتونیک، مورفوکلیماتیک و هیدرومورفیک، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، سال دهم، شماره ۱۹، صص ۷۰-۴۷.
۸. سلطانی محبوبه، اختصاصی محمدرضا، 1392. بررسی تأثیر سازه های عرضی بر تشدید سیل گیری در حوزه آبخیز منشا یزد. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال چهارم. شماره 7
۹. صفوی، حمیرضا (۱۳۹۰). هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان دانش، چاپ سوم.
۱۰. صوفی، م (۱۳۸۶). راه کارهای سیلاب و رواناب شهری، اولین همایش سیلاب شهری. استانداری فارس.
۱۱. طاهری نسب، علی رضا و ابراهیمی، لیلا (۱۳۹۷). ارزیابی و بررسی علل وقوع در جاده شیراز به فیروزآباد با استفاده از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام ایران - تبریز.
۱۲. عابدینی موسی، فتحی محمد حسین. 1394. پهنه بندی خطر وقوع سیلاب از فرآیند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آب خیز خیاو چای)، مجله هیدرومورفولوژی شماره ۳، صص ۹۹-۱۲۰.
۱۳. فیاضی، فرج الله و دیگران (۱۳۸۶). پیشنهاد تغییرات جزئی در نمودار تکامل شورا، ارائه توسط آگوستر و هاردی با بررسی شورا دریاچه مهارلو، علوم زمین، سال شانزدهم، شماره ۶۳، صص ۱۰-۱.
۱۴. قهرودی تالی، منیژه و دیگران (۱۳۹۰). شناسایی پهنه های رسوبی ناشی از تحولات اقلیمی در پلایای مهارلو با بکارگیری تکنیک PCA و شاخص OIF، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره ۳، صص ۲۱-۳۶.

۱۵. مظفری، غلامعلی و نارنگی فرد، مهدی (۱۳۹۴) آثار تغییرات دریاچه مهارلو بر میزان رطوبت و دمای هوای شیراز، جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۱۴، بهار.
۱۶. موسوی، سیده معصومه، نگهبان، سعید، زخشانی مقدم، حیدر و حسین‌زاده، سید محسن (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه بندی خطر سیل خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر لاهمک). مجله مخاطرات محیط طبیعی، (۱۰) ۵، ۷۹-۹۸.
۱۷. مومنی، منصور (۱۳۸۷). مباحث نوین تحقیق در عملیات، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، چاپ دوم.
18. Fernández DS, Lutz MA. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*. 111(1-4): 90-8, 2010.
19. Morgan, R. P. C. (1986). Soil erosion and conservation.
20. Negaresh, H. (2003). "Application of Geomorphology in locating cities and its consequences. " *Journal of Geography and Development* 1 (1) pp. 133-150, in Persian.
21. Ouma YO and Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*. 30; 6(6):1515-45, 2014.
22. Riahi, Vahid and Zamani Luqman (2015). "The geographic factors affecting the flood in rural areas (Case Study of Rural city Sarvabad" *Journal of Regional Planning*, Issue the seventeenth, pp. 91-102, in Persian.
23. Schueler, T. R. 1987. *Controlling Urban runoff: A Practical Manual for Planning and esigning*
24. Singh AK, Sharma AK. GIS and a remote sensing-based approach for urban flood-plain mapping for the Tapi catchment, India. IAHS publication. ; 331:389-394, 2009.
25. Thomas LS. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting. Resource Allocation*. Resource Allocation, RWS Publication, 1996.
26. *Urban Best Management Practices*. Publication No. 87703, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC. 272pp. <http://www.mwcog.org>.
27. Zomorodian, MJ and M. Khakpoor, provincial Saadallah (2012). "Hydrogeomor landforms analysis Maharloo Lake basin based on interactive relationships Morphotectonics processes, Morphogenetic and Hydromorphic" *Journal of Geography and Regional Development*, No. the nineteenth, pp. 48-68 , in Persian.