



شناسایی مناطق سیل خیز شهر شیراز با استفاده از TOPSIS-GIS

هادی عبدالعظیمی^{۱*}، سید حسین روشن^۲، سیدامیر شمس‌نیا^۳، حمیدرضا شاهینی‌فر^۴

۱- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

چکیده

خطر سیلاب و عدم آگاهی از شرایط فیزیوگرافی و مورفولوژیکی حوضه‌های آبریز شهری موجب شده تا سکونتگاه‌های انسانی در دوره‌های زمانی مختلف، همواره مورد تهدید جانی و مالی اثرات ناشی از سیل قرار گیرند. سیل اخیر شیراز که در فروردین ماه ۱۳۹۸ رخ داد یکی از مواردی بود که مداخلات انسانی و عدم آگاهی دقیق در رابطه با شرایط حوضه، منجر به خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی گردید. با توجه به شرایط پیش‌آمده و پیشگیری از وقوع رخداد‌های مشابه، هدف این مطالعه شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبخیز شهر شیراز می‌باشد. به این منظور مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب شامل لایه‌های اطلاعاتی بارش، فاصله از مسیل، مقدار شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، پوشش زمین، کاربری اراضی، تراکم ساختمانی، بافت‌های فرسوده، سیلاب‌های گذشته، سازندهای زمین‌شناسی و شماره-ی منحنی، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فناوری سنجش از دور (RS) تهیه شدند سپس استاندارد سازی لایه‌ها بر اساس توابع خطی در محیط ArcMap 10.3 با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی وزن‌دهی شدند و در نهایت با بهره‌گیری از مدل TOPSIS نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی تهیه گردید. نتایج نشان می‌دهد که مناطق ۲، ۳، ۷، ۱۱ و ۹ بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب دارند. همچنین ۲۷۵۴ هکتار از محدوده‌ی شهر شیراز در طبقه با خطر خیلی زیاد، ۶۰۷۶ هکتار در پهنه با خطر زیاد، ۱۷۳۹۰ هکتار در پهنه با خطر متوسط، ۱۳۴۱۸ هکتار در پهنه‌ی کم و ۶۶۵۸ هکتار در پهنه با خطر بسیار کم قرار دارد.

کلمات کلیدی: سیلاب شهری، خسارات سیل، TOPSIS-GIS، شیراز

۱-مقدمه

افزایش جمعیت، گسترش صنایع، گسترش شهرنشینی و توسعه‌ی ساخت و سازهای شهری باعث شده تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز پدید آید. همچنین تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، باعث تغییر الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن جریان در سطح شهرها شده است (سپهر و کاویان‌آهنگر، ۱۳۹۳: ۱۲۶). پیشروی شهرها در حوضه‌های آبریز، سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر، افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی اوج لحظه‌ای و تغییر کیفیت رخداد سیلاب‌های شهری شده است (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۲). از این رو رشد سریع شهرسازی و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب را در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر کرده است (باتاچاریا، ۲۰۱۰: ۲) یکی از پیامدهای این پدیده، تشدید خطر سیل‌خیزی و آبگرفتگی گذرگاه‌ها و افزایش هزینه‌های نگهداری شهرها شده و خسارات احتمالی جانی و مالی زیادی را در برخی از شهرها موجب شده است. در کشور ما وقوع سیلاب بیش از آن که ناشی از بارش‌های تند باشد در رابطه با برهم خوردن تعادل طبیعی و شرایط مورفولوژیکی و فیزیوگرافی حوضه‌ها می‌باشد (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۲). مجموعه عواملی در طبیعت هستند که باعث می‌شوند جریان رودخانه از آن حالت طبیعی و تعادل خود خارج شده و به یک عامل مخرب تبدیل شود. از مهم‌ترین آنها تبدیل اراضی، تخریب پوشش گیاهی، درجه اشباع شدن خاک، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، شدت بارندگی، شیب و نفوذپذیری حوضه می‌باشد (یمانی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۷). سیلاب‌ها نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته نیز باعث ایجاد خسارات مالی و جانی شده و آمارها نیز گویای روند رو به رشد چنین حوادثی هستند. فعالیت‌های انسانی و عدم برنامه‌ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افزایش حجم، دفعات وقوع و خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب شده است. بنابراین لازم است قبل از گسترش بی‌رویه سکونتگاه‌ها و تغییر کاربری اراضی در حوضه، مطالعات مخاطرات سیل انجام شود (طاهری بهبهانی و همکاران، ۱۳۷۵: ۱۲۵) به عبارتی دیگر سیلاب از جمله مخاطرات طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب، زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه داشته است (بهشتی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۰). یکی از دلایل رویداد سیل اختلاف ارتفاع توپوگرافیکی بین مناطق مختلف کشور است که به موجب آن، رواناب از مناطق مرتفع در کمترین زمان به مناطق پست هدایت می‌شود.

از این رو اهمیت تحقیقات در زمینه پهنه‌بندی سیلاب دوچندان شده است که در این رابطه پژوهش‌های زیادی در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. موسوی و همکاران (۱۳۹۵) با در نظر گرفتن لایه‌های اطلاعاتی بارش، ارتفاع، مقدار شیب و جهت آن، سازندهای زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر باغملک استان خوزستان با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS پرداختند. نتایج آنها نشان داد که نواحی غربی، جنوبی، جنوب‌غربی و بخشی از نواحی شرقی دارای بیشترین پتانسیل در برابر خطر سیل هستند که مهم‌ترین دلیل آن داشتن ارتفاع بیشتر، طغیان‌های فصلی رودخانه ابوالعباس و بارش بیشتر در این نواحی بوده است. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) اقدام به شناسایی و رتبه‌بندی مناطق تحت خطر سیل در مخروط افکنه‌های شمال‌ایده در استان خوزستان با استفاده از روش TOPSIS کردند. آنها تحلیل نهایی را بر اساس چهار متغیر مساحت مخروط افکنه‌ی فعال، مساحت روستاهای مستقر در مخروط افکنه‌های فعال، دبی اوج سیل و مدت زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب انجام دادند. نتایج آنها بیانگر اینست که دو متغیر مساحت مخروط افکنه و مساحت روستاهای واقع بر آنها ۷۷ درصد وزن تأثیرگذاری را در رتبه‌بندی خطر سیلاب داشته‌اند. اوما و تاتیشی^۱ (۲۰۱۴) با استفاده از روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی و سامانه GIS به تهیه نقشه آسیب‌پذیری مناطق مستعد سیل‌خیزی پرداختند و نقشه مربوطه را در مقیاس شهری تهیه نمودند آنها برای انجام این کار از لایه‌های اطلاعاتی توزیع بارش، ارتفاع، شیب، تراکم و شبکه زهکشی، نوع خاک، پوشش اراضی و نوع کاربری بهره گرفتند. رادمهر و عراقی‌نژاد (۲۰۱۵) از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی به منظور تهیه نقشه‌ی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های شهر تهران استفاده نمودند. این پژوهشگران از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین ساختار فرآیند تصمیم‌گیری و از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده کردند. دانوما و همکاران^۲ (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای که در منطقه عبیدجان به منظور ارزیابی خطر سیلاب و پهنه‌بندی آن با روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند به این نتیجه رسیدند که ۳۴ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در معرض خطر سیلاب هستند. آنها از لایه‌های اطلاعاتی تراکم زهکشی، نوع خاک، ایزوهایت، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و سیستم فاضلاب در مطالعه خود استفاده نمودند. فلونی و همکاران^۳ (۲۰۱۹)، محدوده‌های سیل‌خیز منطقه‌ی آتیکا در یونان را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در GIS شناسایی نمودند. آنها چارچوبی را پیشنهاد دادند که در آن عمدتاً داده‌هایی نظیر توپوگرافی، پوشش زمین و مواردی از این دست در مطالعات مدنظر قرار

۱- Ouma and Tateishi

۳- Feloni et al.

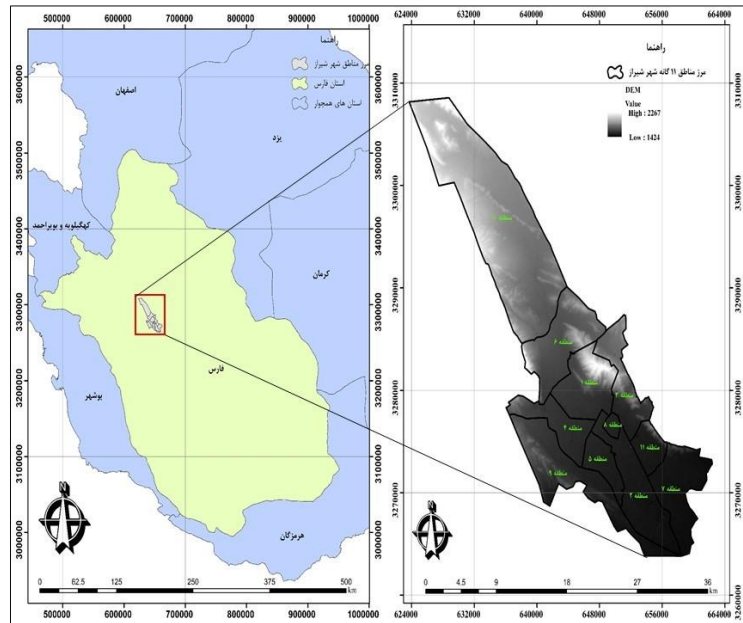
۲- Danumah et al.

گیرد. بررسی منابع نشان می‌دهد که پژوهشگران در مناطق مختلف دنیا از روش‌های تصمیم‌گیری مختلف و GIS استفاده کرده‌اند. کلانشهر شیراز نیز از سیلاب‌های شهری در امان نمانده و از این حیث درخور توجه خاص می‌باشد. بنابراین نیاز مبرم می‌رود در راستای شناسایی گلوگاه‌ها و مناطق خطر، اقدامات مبتنی بر دانش تصمیم‌گیری صورت پذیرد. متأسفانه سیل اخیر که در فروردین ماه ۱۳۹۸ در محل دروازه قرآن شهر شیراز رخ داد یکی از مواردی بود که مداخلات انسانی و عدم آگاهی دقیق در رابطه با شرایط حوضه، منجر به خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی و مالی زیادی گردید. این سیل منجر به کشته شدن ۱۹ نفر و ۲۰۰ نفر مصدوم در پی داشت. با توجه به شرایط پیش آمده و پیشگیری از وقوع رخداد‌های مشابه، در پژوهش حاضر سعی بر آنست تا در راستای مدیریت بحران به‌ویژه در فاز پیشگیری، کانون‌های سیل‌خیز کلان‌شهر شیراز با استفاده از روش TOPSIS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مورد شناسایی و ارزیابی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

شهر شیراز، مرکز استان فارس بر روی جلگه طویلی به طول ۱۲۰ کیلومتر و عرض ۱۵ کیلومتر قرار دارد. این شهر از نظر موقعیت جغرافیایی بین مختصات $29^{\circ} 29' 53''$ تا $29^{\circ} 41' 47''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 26' 36''$ تا $52^{\circ} 37' 02''$ طول شرقی قرار دارد که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۸۸ متر در منتهی الیه شرقی شهر و حدود ۱۷۰۰ متر در غرب آن متغیر است. پست‌ترین نقطه جلگه شیراز در جنوب شرقی آن (دریاچه مهارلو) با ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا می‌باشد. شیراز از شمال به رشته کوه‌های بمو، پشت مله، چهل مقام و باباکوهی منتهی می‌باشد و در غرب نیز به رشته کوه‌های دراک که تا شمال غربی امتداد می‌یابد محدود می‌شود. در جنوب شیراز ارتفاعات سبزپوشان (سیاح) در امتداد رودخانه‌ی قره‌آغاج شکل گرفته و به ارتفاعات سپیدار (سفیدار) منتهی می‌شود که معروف‌ترین آن دراک می‌باشد. ارتفاعات مهارلو در جنوب دریاچه‌ی مهارلو و جنوب شرق شیراز کشیده شده و به تدریج به ارتفاعات شمال خفر متصل می‌گردد. متوسط سالانه، بیشترین و کمترین درجه حرارت در شهر شیراز به ترتیب $17/3$ ، $43/2$ و -14 درجه سانتی‌گراد بوده است. میزان بارندگی سالانه بیش از ۳۰۷ میلی‌متر بوده و تعداد روزهای یخبندان ۵۴ روز می‌باشد. به‌طور کلی شهر شیراز دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک است. شیراز به عنوان پنجمین کلان‌شهر کشورمان به ۱۱ منطقه‌ی شهری تقسیم می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1): The study area

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

هدف این تحقیق شناسایی مناطق در معرض خطر سیلاب در شهر شیراز با استفاده از روش تاپسیس در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. به این منظور از ۱۳ پارامتر مؤثر در وقوع سیلاب به شرح زیر بهره گرفته شد.

مقدار و جهت شیب: شیب زمین نقش مهمی در هدایت رواناب سطحی به سمت مناطق پست دارد و یکی از عوامل مهم در وقوع سیلاب به شمار می‌رود. جهت تولید نقشه شیب و جهت آن از لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط ArcGIS 10.3 استفاده گردید.

طبقات ارتفاعی: اختلاف ارتفاعی و توپوگرافی از عوامل مهم در وقوع سیلاب محسوب می‌شود. لایه طبقات ارتفاعی بر اساس لایه مدل رقومی ارتفاع و نقشه‌ی توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 بدست آمد.

توزیع مکانی بارش: اطلاعات مربوط به بارش از اداره کل هواشناسی استان فارس تهیه و با روش وزن‌دهی معکوس مبتنی بر فاصله (IDW) میان‌یابی شد.

فاصله از مسیل: جهت تهیه لایه فاصله از مسیل ابتدا لایه آبراهه‌های و مسیل‌های موجود با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه شدند سپس از دستور فاصله اقلیدسی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده گردید. با فاصله گرفتن از مسیل‌ها خطر سیلاب کمتر خواهد شد.

تراکم زهکشی: تراکم زهکشی شهر شیراز با استفاده لایه مدل رقومی ارتفاع و لایه آبراهه‌های در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و با استفاده از ابزارهای هیدرولوژی بدست آمد. بدین ترتیب با مشخص کردن آبراهه‌های اصلی و فرعی، رتبه‌بندی آنها در این ابزار با استفاده از روش استرالر انجام گردید سپس بر روی لایه‌ی مسیل‌ها، کرنل خطی اعمال گردید.

فاصله از بافت‌های فرسوده شهری: لایه‌ی بافت‌های فرسوده‌ی شهر شیراز از سازمان فاوای شهرداری شیراز اخذ گردید.

تراکم ساختمانی: تراکم ساختمانی نیز یکی دیگر از پارامترهایی است که در تشدید سیل نقش بسزایی دارد از این رو از تابع کرنل به منظور برآورد تراکم ساختمانی استفاده گردید.

سازندهای زمین‌شناسی: به منظور تهیه لایه سازندهای زمین‌شناسی از نقشه‌ی زمین‌شناسی شهر شیراز به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط ArcGIS 10.3 استفاده گردید.

کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی شهر شیراز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ سنجنده‌ی OLI در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 بدست آمد.

عمق آب زیرزمینی: با توجه به وجود چاه‌های برداشت از آب زیرزمینی در سطح شهر شیراز که عمدتاً توسط فضای سبز شهرداری انجام می‌شود، آمار و اطلاعات تراز آب چاه‌ها از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس اخذ گردید سپس با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس مبتنی بر فاصله (IDW) بر روی اطلاعات تراز آب چاه‌های موجود در شهر لایه عمق آب زیرزمینی محاسبه گردید.

تاریخچه سیلاب: بر اساس بازدیدهای میدانی، مستندات، نظرات کارشناسی و آثار سیلاب‌های گذشته (مخصوصاً سیلاب سال ۱۳۹۸ در دروازه قرآن و شهرک سعدی) در زیرگذرها، کنارگذرها و مسیل‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه و برداشت نقاط نقشه‌ی مورد نظر تهیه گردید.

شماره‌ی منحنی (CN): به منظور تهیه‌ی لایه‌ی شماره‌ی منحنی ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 با استفاده از ابزار Intersect تلفیق شدند سپس با استفاده از اطلاعات گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و نوع کاربری اراضی مندرج در جدول سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) شماره‌ی منحنی نهایی محاسبه گردید.

۲-۳- روش پژوهش

در این پژوهش از روش تصمیم‌سازی تاپسیس (شباهت به حل ایده‌آل) استفاده شد. این روش از دو مفهوم حل ایده‌آل و حل ضدایده‌آل بهره می‌گیرد. مفهوم حل ایده‌آل حلی است که از هر جهت بهترین باشد که عموماً در عمل وجود نداشته و سعی بر آنست که به آن نزدیک شویم. به منظور شباهت یک گزینه به حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، فاصله‌ی آن گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، اندازه‌گیری می‌شود. سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. مراحل روش تاپسیس به شرح ذیل است:

الف) تشکیل ماتریس تصمیم

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن عملکرد گزینه i ($i=1,2,3,\dots,m$) در رابطه با معیار j ($j=1,2,3,\dots,n$) است.

ب) بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم: برای بی‌بعدسازی ماتریس تصمیم باید معیارهای با ابعاد مختلف به معیارهای بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به شکل رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در صورتی که فاصله بین مقادیر اندازه‌گیری شده زیاد نباشد، می‌توان برای بی‌مقیاس کردن معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده کرد.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (4)$$

ج) تعیین بردار وزن معیارها: بردار وزن معیارها به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$W = [w_1 \cdot w_2 \cdot w_3 \cdot \dots \cdot w_n] \quad (5)$$

درایه‌های بردار W ضریب اهمیت معیارهای مربوطه است.

(د) تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده‌ی وزن‌دار

ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده‌ی وزن‌دار از ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده در بردار وزن معیارها به دست می‌آید:

$$i = 1.2 \dots m \quad (۶)$$

$$j = 1.2.3 \dots n \quad (۷)$$

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (۸)$$

(ه) یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: اگر پاسخ ایده‌آل با A^+ نشان داده شود و ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود، داریم:

$$A^+ = \{v_1^+ \cdot v_2^+ \dots v_j^+ \dots v_n^+\} \quad (۹)$$

$$A^- = \{v_1^- \cdot v_2^- \dots v_j^- \dots v_n^-\} \quad (۱۰)$$

که در آن v_j^+ بهترین مقدار معیار z_j از بین تمام گزینه‌ها v_j^- بدترین مقدار معیار z_j از بین تمام گزینه‌ها قرار می‌گیرند، گزینه‌هایی که در A^+ و A^- قرار می‌گیرند به ترتیب نشان دهنده‌ی گزینه‌های کاملاً خوب و کاملاً بد هستند.

(و) محاسبه‌ی فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این مرحله برای هر گزینه‌ی فاصله از پاسخ ایده‌آل و فاصله از پاسخ ضد ایده‌آل به ترتیب از رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ استفاده می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_1^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (۱۱)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_1^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (۱۲)$$

که در این رابطه‌ها اندیس i معرف معیار مورد نظر و اندیس j معرف گزینه مورد نظر است.

(ز) محاسبه‌ی شاخص شباهت: در آخرین مرحله، شاخص شباهت از رابطه‌ی ۱۳ محاسبه شد.

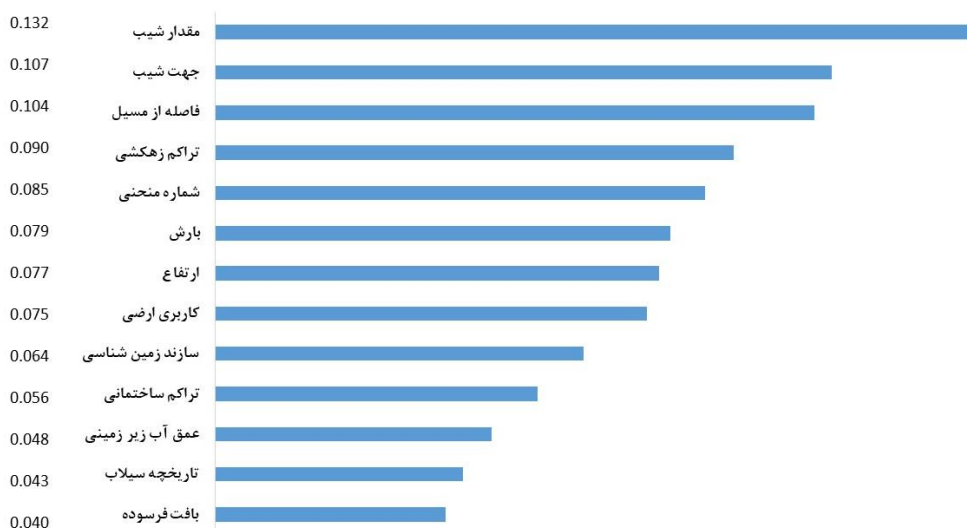
$$C_i = \frac{d_i^+ + d_i^-}{d_i^-} \quad (۱۳)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه گزینه مورد نظر به پاسخ ایده‌آل شبیه‌تر باشد (از پاسخ ضد ایده‌آل دورتر باشد)، مقدار شاخص شباهت آن، به یک نزدیک‌تر خواهد بود، بنابراین برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص شباهت، گزینه‌ای که بیشترین شاخص شباهت را دارد، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کمترین شاخص شباهت است، در رتبه‌ی آخر قرار می‌گیرد. در واقع شاخص شباهت،

خروجی این گام است که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد محل سکونتگاه بیشتر در معرض خطر سیلاب بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد منطقه‌ی کم خطرتری محسوب می‌گردد. بعد از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی تمام لایه‌ها با روش بی‌مقیاس‌سازی خطی، نرمال شدند، سپس وزن‌های محاسبه شده‌ی مبتنی بر نظر ده کارشناس در حوضه‌های مهندسی آب، شهرسازی، خاکشناسی و زمین‌شناسی در لایه‌های بی‌مقیاس شده ضرب شدند. پس از این مرحله نقشه‌های ایده‌آل مثبت و منفی تولید گردید و بر اساس رابطه‌ی ۱۳، شاخص‌های شباهت برای کل پهنه‌ی شهر شیراز تهیه شد. در پایان نقشه و موقعیت‌های مکانی محدوده‌های در معرض خطر سیل‌خیزی و همچنین مساحت آنها برآورد گردید.

۲-۴- وزن‌دهی معیارها

برای دستیابی به امتیازات معیارها، از ۱۰ نفر متخصص حوضه‌های آبخیزداری، شهرسازی، مدیریت بحران و سنجش از دور درخواست شد تا پرسشنامه‌های مربوط را تکمیل نمایند. بیشترین وزن را مقدار شیب به خود اختصاص داده است (شکل ۲). همچنین نرخ سازگاری ماتریس مقایسات زوجی معیارها کمتر از ۰/۱ می‌باشد (۰/۰۷۶) که بیانگر سازگاری تصمیم‌گیری‌ها است. پس از محاسبه و برآورد درجات اهمیت معیارها، از GIS به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم به منظور محاسبات بعدی استفاده گردید.



شکل (۲): اولویت و وزن‌دهی ۱۳ معیار مورد بررسی

Fig (2): Prioritization and weighting of 13 criteria

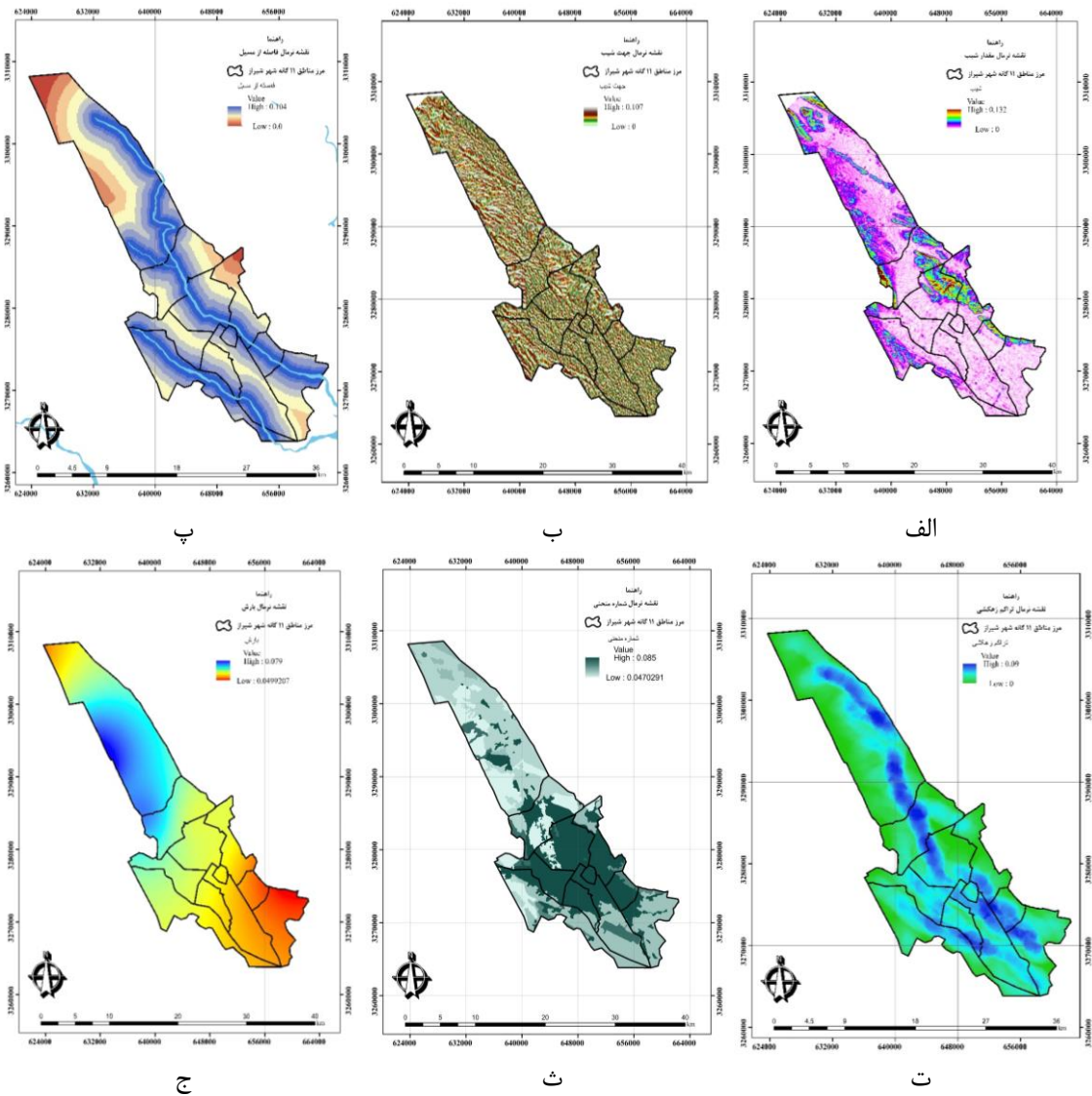
۳- یافته‌ها و بحث

مهم‌ترین عامل در مطالعات مناطق مستعد خطر سیلاب در شهر، شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در ایجاد سیلاب و بررسی حوضه‌های آبخیز در شهر است که هر کدام با درجه‌ای دارای اهمیت متفاوت هستند. در پژوهش حاضر در ارتباط با پهنه‌بندی خطر سیلاب، ماتریس مربوط به معیارهای مورد نیاز تنظیم گردید و سپس در راستای هدف تحقیق، از روش TOPSIS در شناسایی مناطق با خطر بالا تا خطر کم سیلاب در شهر شیراز استفاده شد. نتایج عوامل مؤثر در وقوع سیلاب به ترتیب زیر قابل بیان است، معیار ارتفاع از جمله مواردی است که با پیدایش و شکل‌گیری سیلاب دارای رابطه عکس می‌باشد. ارتفاع شهر شیراز از ۱۴۴۹ متر تا ۲۲۸۴ متر متغیر است. نقشه‌ی تولید شده‌ی ارتفاع (شکل ۳ چ) نشان می‌دهد که مناطق جنوبی از ارتفاع پایین‌تری برخوردارند لذا مستعد مخاطره‌ی سیل هستند. عامل ارتفاع با تأثیر روی مقدار و نوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق و وضعیت پوشش گیاهی نیز بر روی رواناب تأثیرگذار است (ندیری، ۱۳۹۸: ۳۱۲). حمیدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به اهمیت و نقش این پارامتر در کنترل سیلاب اشاره داشته‌اند. بدیهی است جریان حرکت آب به سمت مناطق با ارتفاع کمتر می‌باشد و مناطق با ارتفاع بیشتر حساسیت کمتری نسبت به سیل‌گیری دارند. پارامتر شیب نیز نقش اساسی در ایجاد سیلاب دارد و همچنین یکی از عوامل تشدید کننده رواناب‌های شهری است. شیب بسیار زیاد در قسمت شمال شرق شیراز (منطقه ایبوردی به سمت چوگیا تا دروازه قرآن) مشاهده می‌شود و بخش اعظم شهر در دشت و نقاط ارتفاعی پایین دست توسعه یافته‌اند. اوما و تاتیشی^۱ (۲۰۱۴) نیز بیان داشتند که مناطقی که دارای شیب زیاد هستند، اجازه نمی‌دهند آب جمع شود و در نتیجه منجر به جاری شدن سیل می‌شوند. دانوما و همکاران^۲ (۲۰۱۶) نیز خطر بالای بارندگی و شیب را مهم‌ترین عوامل ایجاد وقوع سیل معرفی کرده‌اند. جهت‌های مختلف شیب در هدایت و پخش رواناب‌ها به بخش‌های مختلف شهری، نقش مهمی دارند. زوایای بزرگتر و شکست‌های ناگهانی شیب، امتیازهای بالاتری را در نقشه به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین جهات شیب در شهر شیراز مربوط به دامنه‌ی ارتفاعات شرقی شهر (منطقه ۳ سعدی، کوی دانشگاهیان، هفت تنان جهت شیب شمالی و شمال غربی، برزگراه شیراز مرودشت، دروازه قرآن زیبا شهر جهت شیب غربی و شمال غربی) (منطقه ۱ جمهوری، کوهسار مهدی ایبوردی غربی و شمال غربی و چوگیا شمالی) (منطقه ۶ محمودیه منصور آباد شمالی و غربی دامنه‌ی ارتفاعات دراک

۱- Ouma and Tateishi

۲- Danumah et al.

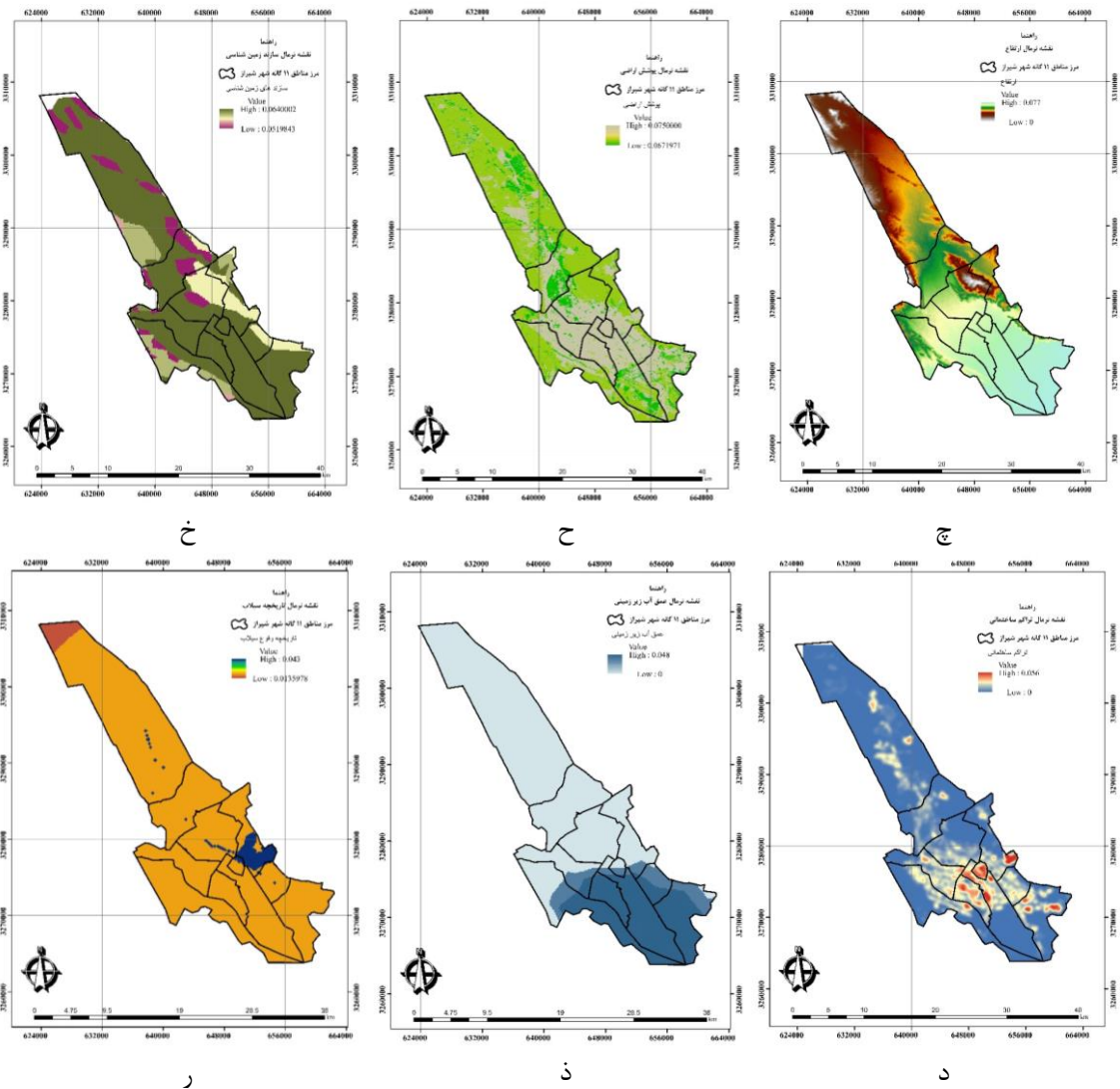
جهت شیب شمالی و شمال غربی) (منطقه ۱۱ قناعت پیشه ریاستی شمالی) (منطقه ۷ شهرک نصر غربی و شمال غربی) (منطقه ۹ یاوران غربی بزرگراه طلائی شمالی) (منطقه ۱۰ شهرک آرین شهرک انجیره دامنه ارتفاعات دراک شمالی و شمال غربی) می‌باشد. در مطالعات آبخیزداری از نظر تأثیری که جهت دامنه‌های حوضه بر نوع فرسایش و همچنین میزان سیلاب دارد لازم است، نقشه‌ی جهت شیب نیز تهیه شود (علیزاده، ۱۳۹۰: ۵۱۳). دامنه‌های شمالی، شمال غربی و غربی به دلیل دریافت بارش زیاد، ماندگاری طولانی مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر، ارزش بالا دارند (سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۱). یمانی و عباسی (۱۳۹۹) در تحقیق خود بیان داشتند که حوضه‌های دارای دامنه‌های شیب‌دار، دارای سرعت جریان بیشتر و رواناب سطحی سریع‌تر هستند و در این حوضه‌ها زمان رسیدن به پیک هیدروگراف کمتر است. به دلیل افزایش ناهمواری و تراکم زهکشی، دبی پیک افزایش می‌یابد. مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی در شکل‌گیری سیل نقش مهمی را ایفا می‌کنند. شهر شیراز شامل رودخانه خشک که سرتاسر شهر شیراز (سرشاخه‌ها شامل نهر اعظم و معالی آباد) کشیده شده است و رودخانه چنار راهدار در غرب شهر شیراز است. در شکل ۳ پ حریم و فاصله مسیل‌های موجود تا مرز شهر شیراز مشخص شده است. مناطق شهری (معاور و کنار گذرها) و مسکونی که به حریم مسیل‌ها تجاوز کرده‌اند و فاصله نزدیک‌تری نسبت به مسیل‌ها دارند در نقشه دارای امتیاز بیشتری هستند. تراکم زهکشی شهر شیراز با استفاده از ابزار هیدرولوژی بر روی نقشه‌ی DEM در دستور کار قرار گرفت که بر اساس آن آبراهه‌ها و جریان‌های تجمعی استخراج شد که بر روی نقشه‌ی آبراهه‌ها دستور کرنل (line density) اعمال شد. مناطقی که تراکم راه آب‌های شهری بیشتر بوده است، در نقشه از امتیاز بالاتری برخوردار هستند. بیشترین تراکم زهکشی مربوط به مناطق ۱ و ۶ شهر شیراز می‌باشد. یمانی و عباسی (۱۳۹۹) تراکم زهکشی نیز در تشدید سیل نقش مهمی دارد. از این رو در محدوده‌هایی که تراکم راه آب‌های شهری بیشتر بوده است، در نقشه امتیاز بالاتری دارند. جریان و خط القعر رودخانه به علت دارا بودن مقدار جریان تجمعی بالاتر، دارای پتانسیل تولید سیلاب بیشتری هستند و هرچه به سمت دامنه‌ها، بخش‌های سطح الارض و مرزهای حوضه حرکت کنیم از مقدار جریان جریان تجمعی و متعاقب آن پتانسیل تولید سیلاب کاسته خواهد شد. لذا با توجه به توضیحات مذکور، سلول‌هایی که در مسیر جریان رودخانه‌ها (به‌ویژه رودخانه اصلی و بزرگ) قرار دارند از نظر وضعیت سیل‌خیزی در طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند.



شکل (۳): نقشه‌ی بی‌مقیاس شده‌ی وزن‌دار معیارهای شیب، جهت شیب، فاصله از مسیل، تراکم زهکشی، شماره‌ی منحنی و

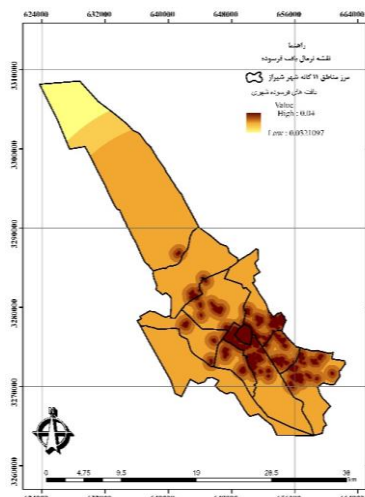
بارش

Fig (3): Weighted unscaled map of slope, aspect, distance to the canal, drainage density, curve number and precipitation



ادامه‌ی شکل (۳): نقشه‌ی بی‌مقیاس شده‌ی وزن‌دار معیارهای ارتفاع، کاربری اراضی، سازند، تراکم ساختمانی، عمق آب زیرزمینی، تاریخچه و بافت فرسوده

Continue-Fig (3): Weightless unscaled map of elevation, land use, formation, building density, groundwater Depth, history and worn texture criteria



ز

ادامه ی شکل (۳): نقشه ی بی مقیاس شده ی وزن دار معیارهای ارتفاع، کاربری اراضی، سازند، تراکم ساختمانی، عمق آب

زیرزمینی، تاریخچه و بافت فرسوده

Continue-Fig (3): Weightless unscaled map of elevation, land use, formation, building density, groundwater Depth, history and worm texture criteria

یکی دیگر از معیارهای مورد بررسی، پوشش زمین بود که نقشه ی آن با الگوریتم حداکثر احتمال مشابهت تهیه گردید. پوشش اراضی شهر شیراز شامل پوشش های سبز شهری (اراضی کشاورزی و باغات)، زمین های بایر و ساخت و سازهای شهری می باشد که در نقشه ی نتیجه شده، اراضی شهری به دلیل نفوذناپذیری امتیاز بالاتری را در رابطه با خطر سیل گیری به خود اختصاص دادند. اوما و تاتیشی^۱ (۲۰۱۴) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که مناطق مسکونی در شهر الدورت مستعد سیل گیری هستند. این را می توان به پایین بودن نفوذ در این مناطق و همچنین به دلیل عدم مناسب بودن شبکه های زهکشی به ویژه در شهرک های غیررسمی شهری و ضعف برنامه ریزی نسبت داد. از طرف دیگر، اراضی کشاورزی به دلیل نفوذ بیشتر آب در خاک، از آسیب پذیری بسیار کمتری برخوردارند. بنابراین، این نقشه می تواند جهت راهنمایی تصمیم گیرندگان به منظور اقدامات بحران در فاز پیشگیری، مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر پوشش کلی زمین، کاربری اراضی نیز یکی از موارد بسیار مهم در شکل گیری رواناب های شهری و در نتیجه خطر سیلاب تلقی گردد. شماره منحنی می تواند با استفاده

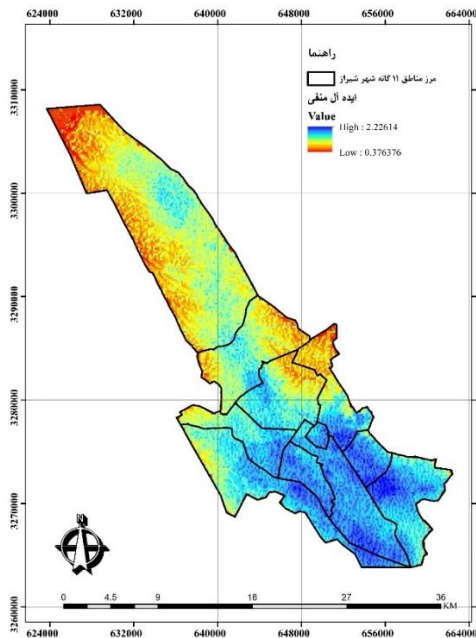
۱- Ouma and Tateishi

از عامل کاربری و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، برآورد شود. در شکل ۳، نقشه‌ی شماره‌ی منحنی منتج از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا، ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود بخش ساخت و سازهای شهری که شامل معابر، پیادروها، پشت بام و ساختمان‌ها (مناطق مرکزی شهر شیراز) هستند نسبت به دیگر اراضی همچون باغ‌ها، کشاورزی، اراضی دارای پوشش گیاهی متفاوت، چمنزارها و مراتع در نقشه رواناب از مقادیر بالاتری برخوردارند. گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز متأثر از سازندهای زمین‌شناسی است. عمده‌ی سازندهای زمین‌شناسی شهر شیراز دشت با رسوبات سطح بالا و پایین، دولومیت، آهک با میان لایه‌های ماسه سنگی یا مارنی، آهکی و مارل می‌باشد که هر چه میزان نفوذپذیری این سازندها کمتر باشند در نقشه از امتیاز بالاتری برخوردار هستند (شکل ۳ خ). سازندهای شهر شیراز دشت با رسوبات سطح بالا و پایین، ارتفاعات بابا کوهی در امتداد دامنه‌ی ارتفاعات سعدی و نصر سازند جهرم از جنس دولومیت، ابيوردی محمودیه دامنه‌ی دارک سازند آسماری از جنس سنگ آهک، شهرک رکن آباد، حسین الهاشمی دامنه‌ی ارتفاعات دراک اراضی صنایع الکترونیک دامنه ارتفاعات غربی دراک سازند رازک از جنس مارن و آهک سنگی، گلستان و دامنه ارتفاعات غربی دراک سازند بختیاری از جنس ماسه سنگ و سلطان‌آباد و بخش از دامنه‌ی دراک سازند آغاچاری از جنس مارل و آهکی می‌باشند. نوع سازند و جنس خاک، تأثیر زیادی در شکل‌گیری سیلاب دارد که با کاهش ظرفیت نفوذ آب، احتمال خطر سیلاب افزایش می‌یابد (اوما و تاتیشی، ۲۰۱۴: ۱۵۱۵). ندیری (۱۳۹۸) در پژوهش خود به نقش سازندهای زمین‌شناسی با توجه به نفوذپذیر بودن یا نبودنشان در هدایت یا جذب آب‌های سطحی اشاره کرد. عمق آب زیرزمینی نیز یکی دیگر از معیارهایی است که در میزان سیل‌خیزی عرصه‌های شهری و فراشهری تأثیر بسزایی دارد. کمترین میزان عمق آب زیرزمینی در شهر شیراز مربوط به مناطق جنوبی شهر است. ظرفیت نفوذ متأثر از سطح ایستابی است (حمیدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳). در مناطقی که سطح ایستابی آب زیرزمینی بالا است لایه‌ی زیرین خاک به سرعت با اولین بارش اشباع شده و باعث حرکت سریع‌تر رواناب سطحی می‌گردد (قنواتی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۱). علاوه بر عمق سفره‌ی آب زیرزمینی، تراکم سطوح غیرقابل نفوذ شهری نظیر تراکم ساختمانی نیز می‌تواند سیلاب را تشدید کنند. نقشه تراکم ساختمانی شهر شیراز نشان می‌دهد که مناطق سعدی واقع در منطقه ۳، ابيوردی واقع در منطقه ۱، گلستان در منطقه‌ی ۱۰، والفجر در منطقه‌ی ۹، شهرک مهرگان و کوشک در منطقه ۷، پانصد دستگاه ارتش واقع در منطقه‌ی ۵، به لحاظ میزان تراکم بیشتر امتیاز بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند. صداقت و همکاران (۱۳۹۵) نیز با ارزیابی حساسیت ناشی از سیلاب در شهر آمل به این نتیجه رسیدند که در نقاط پرتراکم شهر به دلیل کاهش نفوذپذیری و افزایش سطوح نفوذناپذیر حساسیت به سیلاب بالاست. در همه کشورهای جهان به خصوص کشورهای در

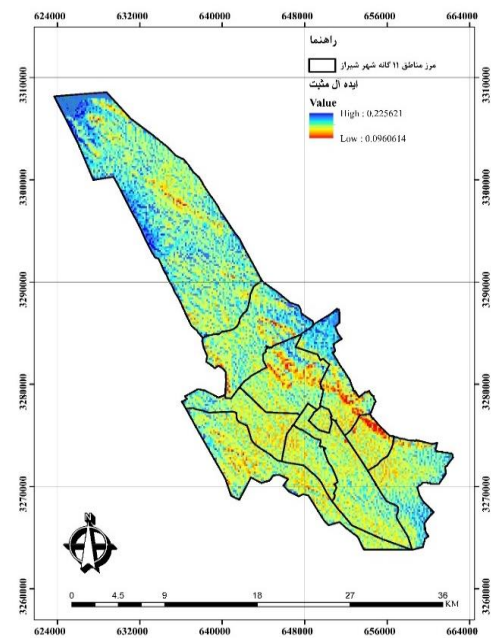
حال توسعه، روند فزاینده‌ی شهرنشینی و روند ساخت و سازهای شهری (افزایش سطوح نفوذناپذیر) به سرعت ادامه دارد و این خود به عنوان پتانسیلی برای وارد آمدن خسارت، هنگام وقوع سیل می‌باشد (تقوایی و همکاران، ۱۳۸۵: ۵۶). لایه تاریخچه با توجه به وقوع مخاطره‌ی سیلاب در بازه‌های زمانی مختلف در شهر شیراز تهیه شده است. در این لایه، پهنه‌هایی که در اثر وقوع سیلاب مورد آسیب و خسارت قرار گرفته‌اند از امتیاز بالاتری نسبت به دیگر اراضی شهری برخوردارند. آخرین سیل‌های شیراز مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ می‌باشد که جمالی و همکاران (۱۳۹۴) در ارتباط با تاریخچه سیل سال ۱۳۶۵ که یک سیل با دوره‌ی بازگشت صد ساله بوده است به این مورد پرداخته‌اند که سیلاب از مقاطع تنگ حوالی بلوار چمران بیرون زد و سیلاب تا میدان دانشجو از بلوار گذشت و پمپ بنزین فعلی را کاملاً احاطه کرد. در پایین دست رودخانه خشک حوالی جاده کفترک، سیلاب جاده را فرا گرفت به صورتی که تنها با قایق و نفربر امکان تردد گروه نجات فراهم گشت و تمامی روستاهای پایین دست این جاده به زیر سیلاب فرو رفتند. در دی ماه سال ۱۳۸۰ به دلیل بارندگی شدید آب از مسیر رود خانه خشک (که خود یک مسیل دفع سیلاب از بالا دست شهر شیراز به طرف دریاچه مهارلو است) خارج شد و در معابر خیابان‌ها جاری گردید و به منازل و مکان‌های تجاری خسارت عمده وارد ساخت (مهندسان مشاور شهر و خانه، ۱۳۸۹: ۵۰). در سال ۱۳۹۸ نیز بر اثر بارندگی شدید، تداوم بارش، ... به محدوده‌های دروازه قرآن و محله‌ی سعدی خسارت‌های عمده‌ای وارد شد. با توجه شکل (۳) ج بیشترین بارش‌های شهر شیراز مربوط به منطقه ۱۰ می‌باشد که در صورت بارش شدید و تداوم بارندگی در قسمت‌های شمال غربی شهر شیراز از نظر معیار بارش و ایجاد مخاطره سیلاب آسیب‌پذیر خواهند بود. معیار بارش دارای ارتباط مستقیم با معیار ارتفاع می‌باشد به صورتی که با افزایش ارتفاع شاهد افزایش میزان بارندگی می‌باشیم. لایه‌ی میزان بارش بر اساس اطلاعات هواشناسی، میانگین بارش‌ها (۳۰ ساله) و خطوط هم‌بارش تهیه شده است. بارش شدید باران یکی از مهمترین دلایل بروز سیل است. در این مطالعه، مشاهده شد که در حالی که میزان بارندگی محلی برای بروز سیلاب‌ها وجود دارد، میزان بارندگی در حوضه بالادست به خطر سیل و خطر ناشی از بالا آمدن جریان رودخانه‌ها کمک می‌کند. بنابراین هر دو بارندگی محلی و بالادست به دلیل محدود بودن مناطق مورد مطالعه در تجزیه و تحلیل یکپارچه شده‌اند. بافت‌های فرسوده شهری به جهت کیفیت پایین مصالح ساختمانی و عدم مقاومت در برابر سیلاب‌ها از امتیاز بالاتری نسبت به دیگر اراضی شهری قرار دارند. بیشترین خسارات مربوط به مناطقی است که از بافت فرسوده، مصالح غیراستاندارد و نامقاوم برخوردارند، این مناطق بیشتر در بافت قدیمی شهر مشاهده می‌شوند که مقر اولیه شهر محسوب می‌شود. این مناطق گرچه از تراکم مسکونی کمی برخوردارند و رشد عمودی چندانی ندارند اما تراکم جمعیت در آنها بیشتر

از مناطق نوساز شهر است. همچنین بدلیل عدم وجود فاضلاب شهری مناسب، دفع نامناسب رواناب‌های سطحی و شیب نامناسب نزدیک به صفر نیز خطر سیلاب در این مناطق از امتیاز بالایی برخوردارند (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۹). بافت‌های فرسوده آسیب‌پذیر شهر شیراز (شکل ۳ ز) عبارت‌اند از محله‌ی سعدی، هفت تنان (واقع در منطقه‌ی ۳)، تیموری، بخش‌هایی از محلات درب شازده (واقع در منطقه‌ی ۸)، محله‌ی ابیوردی و باباکوهی (واقع در منطقه‌ی ۱)، محله ریاستی (واقع در منطقه‌ی ۱۱)، پودنک، مولوی، سهل‌آباد، حسین‌آباد و محله‌ی قصر شهریار (واقع در منطقه‌ی ۷).

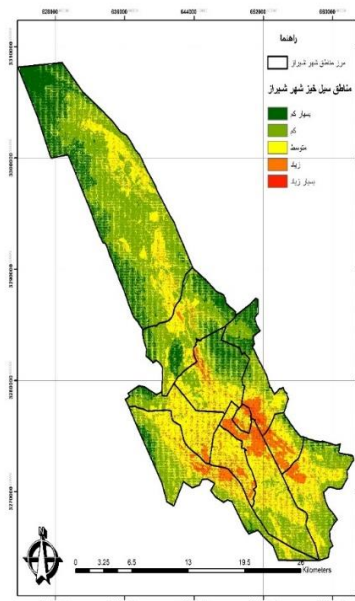
از نتایج فوق می‌توان به بزرگ‌تر شدن اعداد در لایه‌ها دارای ایده‌آل پوینت مثبت و عکس آن برای ایده‌آل پوینت منفی اشاره نمود (شکل ۴ و ۵) که در واقع بدترین و بهترین فاصله را از منطقه‌ی سیل‌خیز نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه‌ی ایده‌آل پوینت مثبت استفاده از رابطه‌ی ۱۱ و برای تهیه نقشه ایده‌آل منفی از رابطه‌ی ۱۲ استفاده می‌گردد. نقشه‌ی نهایی مناطق سیل‌خیز شهر شیراز در ۵ کلاس خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی گردید (شکل‌های ۶، ۷ و ۸)



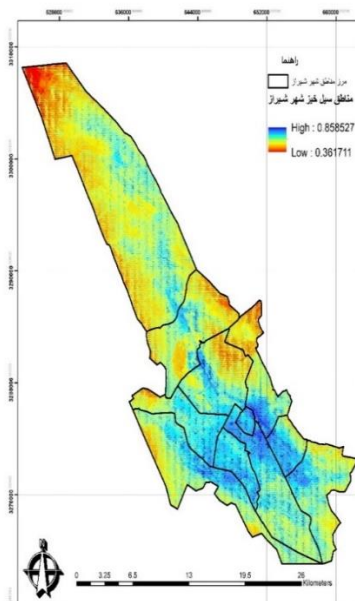
شکل (۵): نقشه‌ی ایده‌آل مثبت
 Fig. (5): Positive ideal map



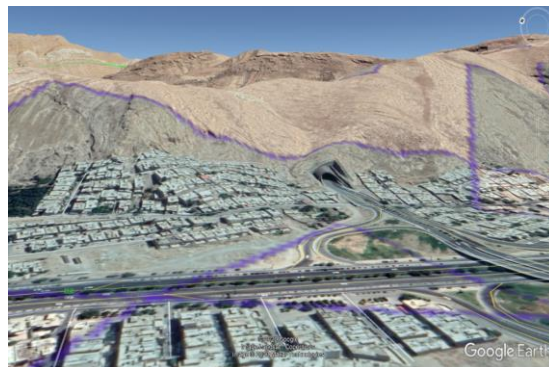
شکل (۴): نقشه‌ی ایده‌آل منفی
 Fig. (4): Positive ideal map



شکل (۷): نقشه ی طبقه بندی خطر مناطق سیل خیز
Fig (7): Risk classification map of flood-prone areas



شکل (۶): نقشه ی نهایی مناطق سیل خیز شهر شیراز
Fig (6): Final map of flood-prone areas of Shiraz





شکل (۸): پهنه‌های سیل‌خیز شهر شیراز بر روی تصاویر گوگل ارث

Fig (8): Flood zones of Shiraz city on Google earth images

۴- نتیجه‌گیری

جهت شناسایی کانون‌های سیل‌خیز شهر شیراز از ۱۳ پارامتر مؤثر در وقوع سیلاب استفاده گردید. سپس با استفاده ترکیب رهیافت TOPSIS-GIS مناطق ۱۰ گانه مورد بررسی قرار گرفتند. مدل تلفیقی TOPSIS بر اساس استخراج ایده‌آل پوینت‌های مثبت و منفی و تعیین فاصله‌ی هر یک از معیارها به منظور تعیین بهترین گزینه مکانی از نظر مخاطرات سیل قابل کاربرد است. با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم‌افزار ArcMap 10.3 آماده‌سازی لایه‌ها انجام و از مدل TOPSIS بهترین گزینه‌های مکانی از نظر مخاطرات سیل تعیین گردید. چندین پدیده معمولاً در آبگرفتگی شهری نقش دارند، از جمله ظرفیت انتقال محدود کانال‌های شهری و رودخانه‌ها و

همچنین زهکشی‌ها و فاضلاب‌ها و ده‌ها سال توسعه شهری بدون برورسانی زیرساخت‌های زهکشی مناطق مستعد سیل‌خیزی شهر شیراز به تفکیک مناطق عبارت‌اند از: منطقه ۳ شهر شیراز: دروازه قرآن، جاده‌ی شیراز مرودشت، بلوار آیت‌الله ربانی، هفت‌تنان، بلوار چهل‌مقام، بلوار هفت‌تنان، شهرک سعدی، کوی دانشجویان، سعدی غرب، تونل فضیلت، بلوار دلگشا (زیر گذرها)، محله‌ی انجیر، کنار گذرهای رودخانه خشک و ساحلی (عوامل اصلی سیلاب شیب، جهت شیب، افزایش ساخت و سازها در حریم رودخانه، افزایش سطوح نفوذناپذیر و تراکم ساختمانی)، منطقه ۱۱ شهر شیراز: تونل فضیلت، شهرک پرواز، بلوار رسول‌اعظم، بلوار تخت جمشید، شهرک سیبویه، شهرک نیروی‌انتظامی، شهرک شهیدبهبشتی، شهرک طلاب، ساختمان‌های واقع در دامنه‌ی ارتفاعات (عوامل اصلی سیلاب شیب، پایین بودن عمق آب زیرزمینی، ساخت و سازها در حریم رودخانه، و عدم مناسب بودن سیستم‌های دفع فاضلاب شهری)، منطقه ۷: شریف آباد، سهل‌آباد، بیست‌متری فاضل، شهرک امام حسین، شهرک مهرگان، محله کوشک، محله نصرآباد و ابونصر (عوامل اصلی سیلاب پایین بودن عمق آب زیرزمینی و عدم مناسب بودن سیستم‌های دفع فاضلاب شهری)، منطقه ۸ شهر شیراز: دروازه اصفهان، خیابان تختی، خیابان کشاورز، خیابان تیموری، پل امام علی (ع)، پل علی بن حمزه (عوامل اصلی سیلاب جهت شیب و عدم مناسب بودن سیستم‌های دفع فاضلاب شهری)، منطقه ۹: شهرک‌های حجت آباد، برق، داراتی، مدرس، مهدی، سلطان آباد، شهرک رضوان و فجرنگار (عوامل اصلی سیلاب افزایش ساخت و سازها در حریم مسیل چنار راه‌دار)، منطقه ۱: محله ابیوردی، کوهسار مهدی، کنار گذرهای شهدای امدادگر، فجر، بهمن، خبرنگار (عوامل اصلی سیلاب شیب و سیلاب طغیان رودخانه)، منطقه ۵: شهرک گل‌ها و شهید نواب صفوی (عوامل اصلی سیلاب پایین بودن عمق آب زیرزمینی، و عدم مناسب بودن سیستم‌های دفع فاضلاب شهری) منطقه ۲: شیشه‌گری، کوزه‌گری (ابوذر)، دباغی، کوی زهرا، فضل‌آباد، شهرک بهار (پای کتا)، ولی عصر و بلوار سیبویه (عوامل اصلی سیلاب پایین بودن عمق آب زیرزمینی، و عدم مناسب بودن سیستم‌های دفع فاضلاب شهری).

۵- منابع

- Alizadeh, A. (2013). *The Principles of Applied Hydrology*. 36th Edition, Imam Reza (AS) University, Mashhad, 990.
- Amir Ahmadi, A., Keramati, S., & Ahmadi, T. (2012). Micro zoning of flood risk within the city of Neishabour for urban development, *Journal of Research and Urban Planning*, 2(7), 91-110.
- Asghari Seracknroud, M., Pirozi, E., & Zaynali, B. (2016). Flood risk zoning in Aq Laqanchai watershed using Vikor model. *Quantitative Geomorphological Researches*, 4(3), 231-245.
- Behbahani, T.T., & Bozorgzadeh, M. (1996). *Urban Floods. Iranian Wine and Architecture Research Center Publication*, First Edition, 548.
- Beheshtirad, M., Faiznia, S., Salajegheh, A., & Ahmadi, H. (2009). Evaluation of the efficiency of landslide risk (CF) landslide risk zoning model Case study of Moallem Kalayeh watershed. *Natural Geographic*, 2(5), 19-28.
- Bhattacharya, N. (2010). Flood Risk Assessment in Barcelonnette, France. Master of Science thesis, Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC), University of Twente, Netherlands. 107.
- City and House Consulting Engineers, (2010). Shiraz City Master Plan Review, Volume 2, Housing and Urban Development Organization of Fars Province, Shiraz.
- Danumah, J. H., Odai, S. N., Saley, B. M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., Kouame, F.K., & Akpa, L. Y. (2016). Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques,(cote d'ivoire). *Geoenvironmental Disasters*, 3(1), 10.
- Esmaili, R., Ghorayashvandi, M., & Jokar Sarhangi, E. (2019). The Identification and Ranking of Flood-Prone Areas in the Alluvial Fans, North of Izeh, Khuzestan Province. *Hydrogeomorphology*, 5(17), 163-183.
- Feloni, E., Mousadis, I., & Baltas, E. (2020). Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, 13, 1-15.
- Ghahroudi Tali, M., Majidi Heravi, A., & Abdoli, E. (2016). Vulnerability of Urban Flooding Case Study: Tehran, Darake to Kan. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5(1), 21-36.
- Ghanavati, E., Karam, A., & Aghaalikhani, M. (2013). Flood risk zonation in the farahzad basin (Tehran) using Fuzzy Model. *Geography and Environmental Planning Journal*, 48(4), 121-138.

- Hamidi, N., Vafakhah, M., & Najafi, A. (2016). Development of Urban Flood Hazard Map for Nour City Using Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Logic. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 11-19.
- Jamali, M., Moghimi, E., Jafarpour, Z., & Kardovani, P. (2016). Effects of Physical Development and Urban Land Use Change on Riparian Areas (Case Study: Khoshk River in Shiraz City, Iran). *Human Geography Research Quarterly*, 48(3), 591-602.
- Mosavi, S.M., Negahban, S., Rakhshanasab, H., & Hossainzadeh, S.M. (2017). Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment). *Journal of Natural environment hazards*, 5(10), 79-98.
- Nadiri, M. (2019). Assessment of Aydoghmoos watershed flood risk using AHP-TOPSIS model. *Quarterly of Geography (Regional Planning)*, 9(3), 307-319.
- Omidvar, K., Mahmoodabadi, M., & Safarpour, F. (2015). A Synoptic Analysis of Heavy Rains February 2011 in Southern and Central Regions of Iran (with emphasis on Kerman Province). *Journal of Geography and Planning*, 19(51), 21-39.
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545.
- Radmehr, A., & Araghinejad, S. (2015). Flood vulnerability analysis by fuzzy spatial multi criteria decision making. *Water resources management*, 29(12), 4427-4445.
- Sedaghat, M., Solaimani, K., & Rashidpour, M. (2016). Evaluation of flood sensitivity in Amol city using GIS technique. The 3th Scientific Conference on New Horizons in Geography and Architectural and Urban Planning of Iran, June 16, Tehran, Iran, 1-15.
- Sepehr, A., & Kavian, R. (2014). Classifying Sustainability of Mashhad Urban Regions to Environmental Hazards Using SIMUS Linear Programming. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9, 125-141.
- Taqvae, M., & Turkzadeh M. (2006). *Urban Crisis Planning and Management*, Kankash Publishing, Isfahan, First Edition, 194.
- Yamani, M., & Abbasi, M. (2020). Geomorphic Classification of the Catastrophic Flood Effects of the Gadar River Based on the Mitzen Model. *Journal of Geography and Planning*, 24(73), 405-430.
- Yamani, M., & Enayati, M. (2005). Relationship between Basins Geomorphic Features and Flood Capability. *Geographical Research Quarterly*, 38(3), 47-57.