اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۱، شمارهٔ ۳، زمستان ۱۳۹۳، ص ۱۹۳-۱۸۱

پهنه‌بندی خطر سیل و معرفی راهکارهای مدیریتی در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران

حسین یوسفی[۱]، یونس نوراللهی[۱*]، کیوان سلطانی[۲]، زهرا جوادزاده[۲]

۱. استادیار دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱٤- تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۳۰)

چکیده

در این مطالعه سعی شده است با بررسی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر از نظر مخاطرات سیل در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران، راهکارهای مناسب مدیریتی برای مقابله با این پدیده بیان شود. مخاطرهٔ سیل، به‌ویژه در مناطق شهری ممکن است خسارات جانی و مالی زیادی در پی داشته باشد. برای کاهش این خسارات و تعدیل آسیب‌های ناشی از آن در این مناطق، عوامل هیدرولوژیکی، توپوگرافیکی، ویژگی‌های انسانی و ... به‌صورت لایه‌های اطلاعاتی جداگانه در محیط *GIS* پهنه‌بندی شده و با روش‌های وزن‌دهی مثل روش *AHP* اولویت‌بندی شد و در نهایت محدوده‌های پرخطر شناسایی شد. در این تحقیق مشخص شد که کدام مناطق در برابر سیلاب آسیب‌پذیرترند و کدام مناطق کمتر آسیب‌پذیرند. در مجموع منطقهٔ تحقیق به پنج کلاس طبقه‌بندی و مساحت هر یک از آنها مشخص شد. ۱٦/۲۱ کیلومتر مربع از این منطقه دارای خطر بسیار زیاد سیلاب است و به‌ترتیب مساحت‌های ۱۹/۱۱، ۱۷/۰٦، ۹/٦۷ و ۱/۸٤ در محدوده‌های با خطر زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم قرار می‌گیرند که با بهره‌گیری از این اطلاعات می‌توان برنامه‌ها و راهکارهای مناسبی را برای کنترل سیلاب و حتی استفاده از آن به‌منظور بهره‌برداری بهینه و کاربردی اعمال کرد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب شهری، شهرداری تهران، مدیریت سیلاب، *AHP*، *GIS*.

* نویسندهٔ مسئول

E-mail : Noorollahi@ut.ac.ir

مقدمه

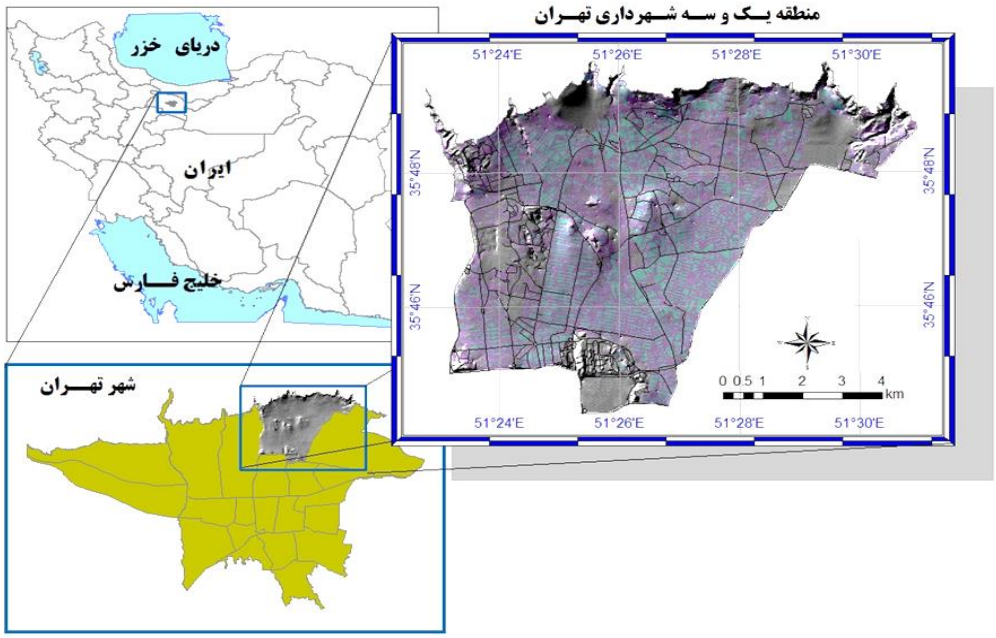
با گسترش روزافزون مناطق شهری و از بین رفتن اراضی جنگلی، مرتعی و کشاورزی، زمین‌های نفوذناپذیر افزایش یافته که این موضوع موجب افزایش حجم و ارتفاع رواناب ناشی از بارش در فضاهای شهری شده است [۱]. در صورت عدم تخلیهٔ (زهکشی) مناسب رواناب‌های ناشی از بارش شهری، امکان بروز سیلاب در سطح شهر افزایش می‌یابد. به‌دلیل آثار مخرب ناشی از سیلاب در حوضه‌های شهری، چگونگی انتقال، مدیریت و تخلیهٔ رواناب‌های ایجادشده در سطح شهر مورد توجه محققان و سازمان‌های مربوط از جمله شهرداری‌ها قرار گرفته است [۲]. متأسفانه در ایران به موضوع سیل و مدیریت و کاهش خسارات آن به‌طور جدی توجه نشده است و فقط زمانی که سیلاب مخربی جاری شود و فاجعه‌ای به‌وجود آید، توجه مسئولان و متخصصان به آن جلب می‌شود [۳]. اگرچه بررسی طرح‌های مهار سیلاب، که به‌صورت محدود و پراکنده در سطح کشور مطالعه و اجرا شده‌اند، نشان می‌دهد که راه حل مشخص و مطمئنی برای همهٔ مناطق سیل‌گیر وجود ندارد، بدیهی است پدیدهٔ سیل، با وجود همهٔ پیچیدگی‌هایش قابل بررسی و مطالعه است و می‌توان برای مهار و کاهش خسارات آن و حتی بهره‌گیری اقتصادی از آن، راه حل‌های مناسبی جست‌وجو کرد [۴]. بر این اساس برنامه‌ریزی و اقدامات جامع برای پیشگیری و کاهش خسارات سیل در قالب طرح‌های مطالعاتی و اجرایی از اهمیت بسزایی در راستای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار برخوردار است. محدودهٔ شهری تهران مسیر عبور مسیل‌ها و رودخانه‌های متعددی است که زهکشی آب حوضه‌های بالادست و همچنین آب جمع‌آوری‌شدهٔ حاصل از بارش در محدودهٔ شهری تهران را برعهده دارد [۵]. بستر رودخانه‌ها و مسیل‌های داخل شهر تحت تعرض قرار گرفته‌اند و مقطع درهٔ رودخانه آنها محدود شده است که این موضوع می‌تواند بر جریان عبوری تأثیر بگذارد و در صورت وقوع بارش‌های رگباری شدید، خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی و مالی در پی داشته باشد [۶]. با توجه به خصوصیات مسیر انتقال آب و مقدار بارش با دورهٔ بازگشت صدساله در محدودهٔ حوضه‌های مورد مطالعه، باید برای کاهش آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر سیل، راهکارهای مدیریتی مناسب اندیشیده شود [۷]. GIS مجموعه‌ای سازمان‌یافته از سخت‌افزار، نرم‌افزارهای کامپیوتری و داده‌های مکانی مرجع است که به‌منظور گردآوری، ذخیره‌سازی، بهنگام‌سازی، پردازش، بازیافت، تجزیه‌وتحلیل و ارائهٔ شکل‌های مختلف اطلاعات مکانی، طراحی و ایجاد شده است و به بیان مشخصات و ویژگی‌های جغرافیایی داده‌ها می‌پردازد [۴]. در مسائل مهندسی محیط زیست نیز GIS امکان ارزیابی و مدیریت سیلاب‌ها را، با تسلط بیشتر و صرف زمان و هزینهٔ کمتر فراهم می‌کند. به‌کمک GIS و تلفیق آن با ابزار و برنامه‌های دیگر می‌توان نقشه‌هایی را برای بررسی جامع و کامل ایجاد کرد که آنالیزهای مؤثر در کنترل سیلاب‌ها را به‌صورتی کاملاً پویا ارائه دهد [۸].

منطقهٔ تحقیق

محدودهٔ این تحقیق، مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران است که این منطقه در قسمت شمالی شهر تهران و در پایین‌دست خروجی حوضهٔ آبخیز دربند قرار دارد. این منطقه در بخش‌های شمالی، اغلب به‌سمت کوهپایه‌های شمالی البرز گسترش یافته است و بیشتر ساخت‌وسازهای انسانی و مناطق جمعیتی بر روی مخروط‌افکنهٔ رودخانه دربند توسعه یافته‌اند و کاربری عمدهٔ منطقه مربوط به محدوده‌های شهری است (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد نیاز به‌منظور اجرای مدل پهنه‌بندی احتمال وقوع سیلاب با توجه به هدف شناسایی و طبقه‌بندی محدوده برای برنامه‌ریزی مناسب و به حداقل رساندن خسارات مالی و جانی ناشی از این مخاطرات، در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران از لایه‌های مذکور استخراج شد. اطلاعات استخراج‌شده از این داده‌های خام شامل لایه‌های اطلاعاتی شیب، ارتفاع (از دادهٔ نقشهٔ توپوگرافی)، لایه‌های زمین‌شناسی و لیتولوژی (از نقشهٔ زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰)، لایه‌های کاربری اراضی (از نقشهٔ کاربری سازمان جنگل‌ها و مراتع) و لایه‌های رودخانه، کانال‌های درون‌شهری، فضاهای سبز، جاده‌ها و نیز مناطق دارای ساخت‌وسازهای انسانی از نقشهٔ رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری تهیه شد. برخی از کاربری‌ها در مقیاس‌های بزرگ‌تر برای بررسی‌های دقیق‌تر نیز از طریق مشاهدات میدانی و نیز با استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر Google earth به‌دست آمد.



شکل ۱. محدودهٔ تحقیق

در این تحقیق از مدل‌های فازی با کمک نرم‌افزار *ArcGIS* و روش وزن‌دهی فرایند سلسله‌مراتب تحلیلی (*AHP*) برای پهنه‌بندی مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران از نظر احتمال خطر مخاطرات سیل استفاده شده است.

روش کار به‌طور خلاصه شامل مراحل زیر است [۹]:

۱. جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها، شامل زمین‌مرجع کردن و تصحیحات لازم؛

۲. تعیین مرز محدوده در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران؛

۳. برش تمامی لایه‌های اطلاعاتی در محدودهٔ مرز منطقه؛

۴. دسته‌بندی لایه‌ها به‌صورت عوامل مؤثر در سیل؛

۵. کلاس‌بندی لایه‌های براساس حد تأثیر هر یک از محدوده‌های مربوط به لایه‌ها در وقوع مخاطرهٔ مربوط، به‌طوری که پهنه‌هایی از هر لایه که امتیاز بیشتری دریافت می‌کنند احتمال رخداد مخاطرهٔ مذکور در آنها بیشتر است؛

۵۶. تعیین وزن هر یک از عوامل مؤثر با روش فرایند سلسله‌مراتب تحلیلی؛

۷. اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده در لایه‌ها؛

۸. تلفیق و جمع کردن لایه‌ها برای تعیین پهنه‌های با احتمال خطر زیاد؛

۹. شناسایی محدوده‌های با حساسیت‌های مختلف.

معرفی عوامل مؤثر در سیلاب

از عواملی که در این پژوهش به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در نظر گرفته شدند می‌توان به شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از کانال، فاصله تا فضای سبز، کاربری اراضی و زمین‌شناسی اشاره کرد. به‌جز نقشهٔ زمین‌شناسی، کاربری، و انحنای پروفیل که وزن‌دهی درونی متفاوتی دارند، سایر لایه‌ها تنها در مرحلهٔ وزن‌دهی و نرمال کردن متفاوت‌اند [۳]. نرمال شدن عوامل مؤثر در سیلاب براساس تأثیر آنها در وقوع آن است. به‌طوری که شیب زیاد موجب کاهش احتمال خطر سیلاب خواهد شد [۱۰].

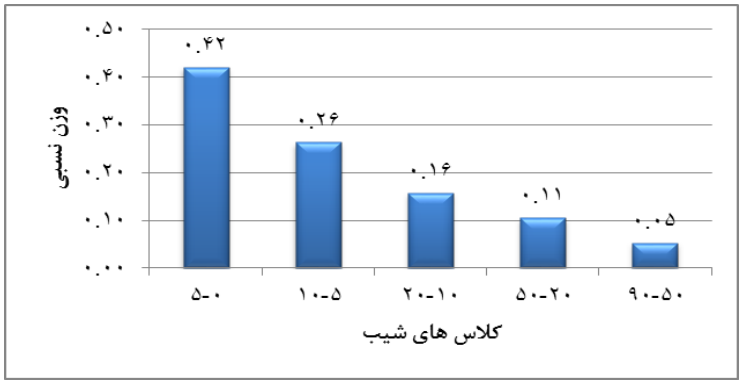
مرحلهٔ پهنه‌بندی (نرمال‌سازی) لایه‌ها به تفکیک

همان‌طور که ذکر شد چون ارزش‌ها و ارقام هر یک از لایه‌ها با بقیه متفاوت است و نیز به‌منظور اعمال تغییرات به ارزش‌های درون‌گروهی هر متغیر یا معیار، لایه‌ها باید نرمال شوند. برای مثال همان‌طور که گفته شد، افزایش شیب در سیلاب سبب کاهش خطر سیل می‌شود، ولی در زمین‌لغزش سبب افزایش خطر زمین لغزش می‌شود [۱۱]؛ بنابراین باید همگی لایه‌ها در پنج واحد نرمال شوند که عدد ۱ نشانهٔ کمترین احتمال خطر و عدد ۵ به‌معنای بیشترین احتمال خطر است که هر یک از این پهنه‌ها با روش *AHP* وزن

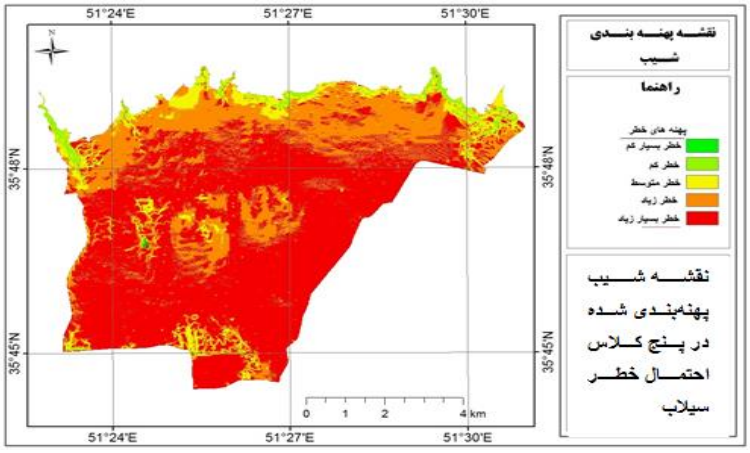
گرفتند. پهنه‌بندی (نرمال‌سازی) لایه‌ها، واحدهای متفاوت عوامل را با هم قابل مقایسه می‌کند. ازآنجا که هر یک از لایه‌ها به روش‌ها و با واحدهای متفاوتی اندازه‌گیری و محاسبه شده‌اند، نمی‌توان آنها را با واحدهای متفاوت تلفیق کرد [۸]. بنابراین باید تمامی لایه‌ها به واحدی یکسان تبدیل شوند تا بتوان به این طریق آنها را تلفیق و ارزش‌های هریک را با بقیه مقایسهٔ کرد. برای مثال فاصله تا رودخانه عددی به کیلومتر است که نمی‌توان آن را با واحد شیب که درجه است مقایسه کرد. به‌عبارت دیگر نمی‌توان نتیجه گرفت که یک نقطه از نظر شیب یا از نظر فاصله تا رودخانه یا ارتفاع مناسب‌تر است. در واقع هدف نرمال‌سازی لایه‌ها، طبقه‌بندی آنها براساس درجهٔ تناسب به‌منظور مطالعه است. این نرمال‌سازی را می‌توان در دامنه‌های متفاوتی اعمال کرد. در این تحقیق تمام لایه‌ها برحسب درجهٔ تناسب آنها برای هدف مطالعه از ۱ تا ۵، کلاس‌بندی شدند. کلاس ۵ به‌معنای بیشترین درجهٔ تناسب و کلاس یک به‌معنای کمترین درجهٔ تناسب برای هدف مورد نظر است. چون در اینجا هدف، پهنه‌بندی خطر سیلاب است، کلاس ۵ به‌معنای پهنه‌هایی با احتمال زیاد خطر سیلاب و کلاس ۱ به‌معنای احتمال کم وقوع سیلاب است مثلا در لایهٔ شیب بعد از کلاس‌بندی، مکان‌هایی که در کلاس‌های بالا از نظر عامل شیب قرار دارند، احتمال خطر در آنها بیشتر است و احتمال دارد لایهٔ دیگری که از نظر شیب در کلاس ۵ قرار دارد از نظر عاملی مانند فاصله تا رودخانه در کلاس‌های پایین قرار گیرد. در نقشه‌های پهنه‌بندی‌شده، ارزش ۱ به‌معنای کمترین احتمال خطر و ارزش ۵ به‌معنای بیشترین احتمل خطر است [۱۲].

لایهٔ شیب

نقشهٔ شیب براساس میزان احتمال سیل‌گرفتگی با توجه به هدف مطالعه در پنج کلاس پهنه‌بندی شد. شکل ۲ نمودار وزن نسبی پهنه‌های شیب به‌دست‌آمده با روش *AHP*، و شکل ۳ نقشهٔ شیب پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب را در محدودهٔ مطالعاتی نشان می‌دهد.



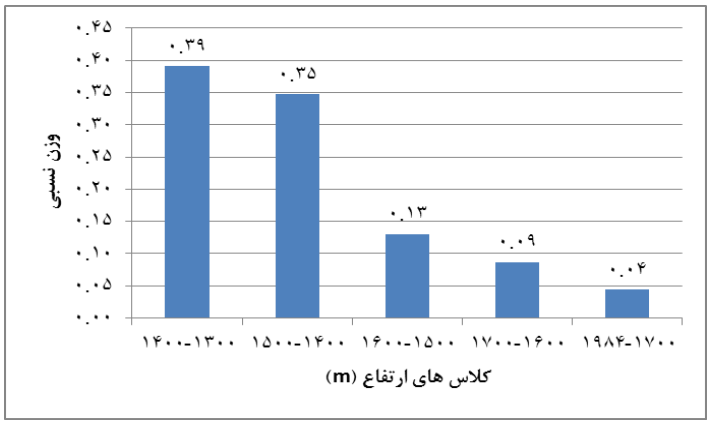
شکل ۲. وزن نسبی پهنه‌های شیب به‌دست‌آمده با روش AHP



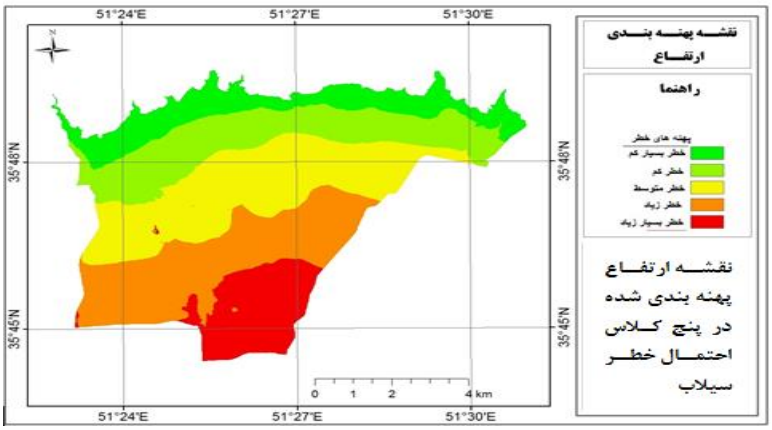
شکل ۳. نقشهٔ شیب پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب

- لایهٔ ارتفاع

ارتفاع نقاط براساس احتمال خطر سیلاب در پنج کلاس پهنه‌بندی شد. شکل ۴ وزن نسبی پهنه‌های ارتفاع به‌دست‌آمده با روش *AHP* و شکل ۵ نقشهٔ ارتفاع پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب را نشان می‌دهد. بخش‌هایی از محدودهٔ مطالعاتی در ارتفاع ۱۴۰۰ – ۱۳۰۰ متر، در پهنهٔ با خطر بسیار زیاد قرار دارند.



شکل ۴. وزن نسبی پهنه‌های ارتفاع به‌دست‌آمده با روش AHP



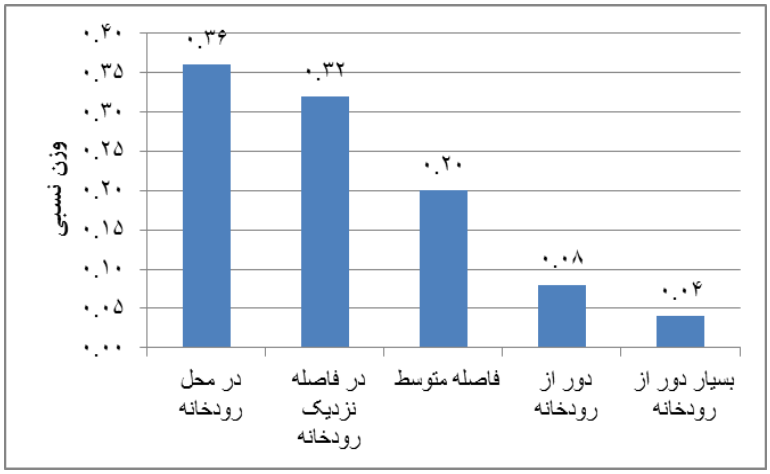
شکل ۵. نقشهٔ ارتفاع پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس توپوگرافی

- لایهٔ فاصله تا رودخانه

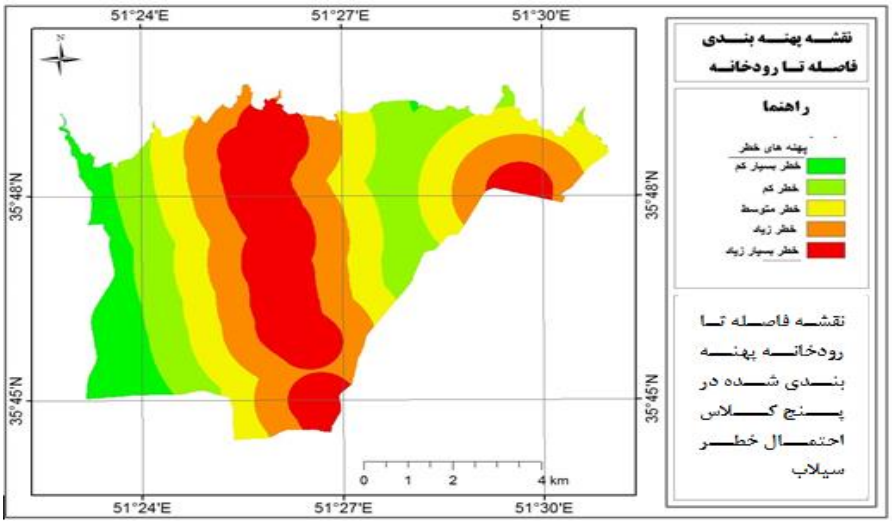
فاصلهٔ نقاط تا رودخانه‌ها نیز براساس احتمال ریسک پهنه‌بندی شد. نتایج این بررسی در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود محدودهٔ مورد مطالعه در پنج کلاس پهنه‌بندی شده و بخش‌هایی که با رنگ قرمز نشان داده شده است مناطق با خطر بسیار زیاد است که در فاصلهٔ نزدیک به رودخانه و در محل رودخانه قرار گرفته‌اند. همچنین بخش‌هایی از محدودهٔ مورد مطالعه که با رنگ سبز نشان داده شده است مناطق با خطر کم تا بسیار کم است. این مناطق در فاصلهٔ دور تا بسیار دور از رودخانه قرار گرفته‌اند.

لایهٔ فاصله تا کانال‌ها

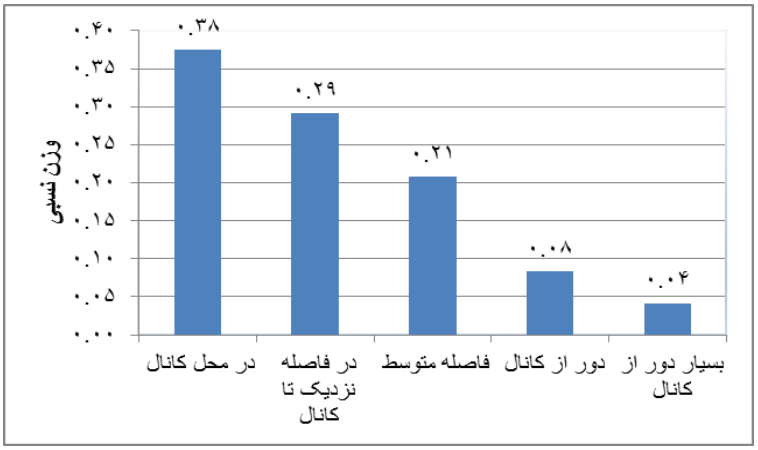
این لایه نیز براساس احتمال ریسک پهنه‌بندی شد. شکل ۸ وزن نسبی پهنه‌های فاصله تا کانال‌های به‌دست‌آمده با روش *AHP* و شکل ۹ نقشهٔ فاصله تا کانال‌های پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب را نشان می‌دهد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که مناطقی که در پهنهٔ خطر زیاد تا بسیار زیاد قرار دارند براساس *AHP* وزن نسبی ۰/۳۷ تا ۰/۲۹ را به خود اختصاص داده‌اند که در محل کانال و نزدیک به کانال قرار دارند و بر روی نقشه با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.



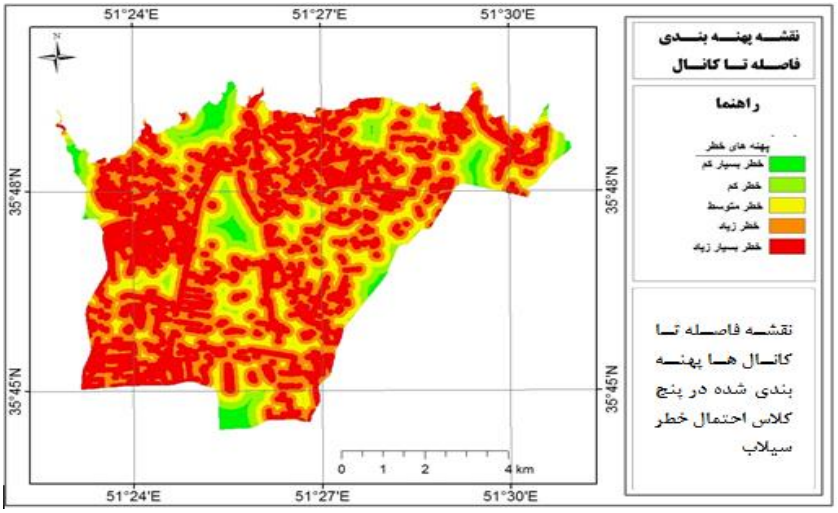
شکل ۶. وزن نسبی پهنه‌های فاصله تا رودخانه به‌دست‌آمده با روش AHP



شکل ۷. نقشهٔ فاصله تا رودخانهٔ پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب



شکل ۸. وزن نسبی پهنه‌های فاصله تا کانال‌ها به‌دست‌آمده با روش AHP



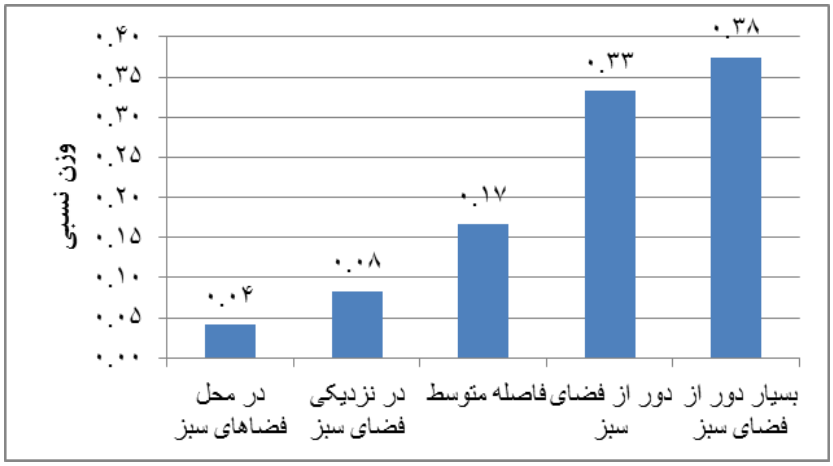
شکل ۹. نقشهٔ فاصله تا کانال‌ها پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب

- لایهٔ فاصله تا فضای سبز

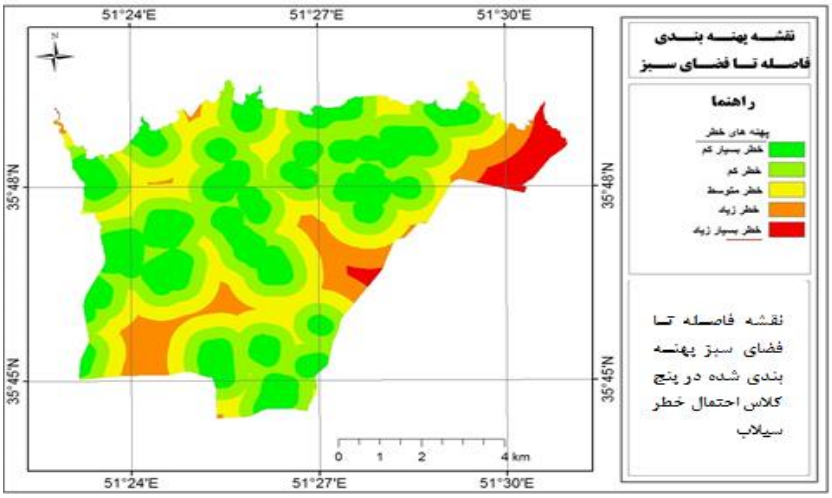
نتایج این بررسی نشان داد که فضاهای سبز در این محدوده تا حد زیادی از بروز سیلاب جلوگیری می‌کنند. شکل ۱۰ وزن نسبی پهنه‌های فاصله تا فضای سبز به‌دست‌آمده با روش *AHP* و شکل ۱۱ نقشهٔ فاصله تا فضای سبز پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب را نشان می‌دهد. در این پهنه‌بندی هرچه فاصلهٔ مناطق به فضای سبز نزدیک‌تر باشد احتمال خطر سیل کمتر خواهد بود که این مناطق بر روی نقشه با رنگ سبز نشان داده شده‌اند و مناطق واقع در فاصلهٔ بسیار دور از فضای سبز در پهنهٔ خطر بسیار زیاد سیلاب قرار می‌گیرند.

- لایهٔ کاربری اراضی

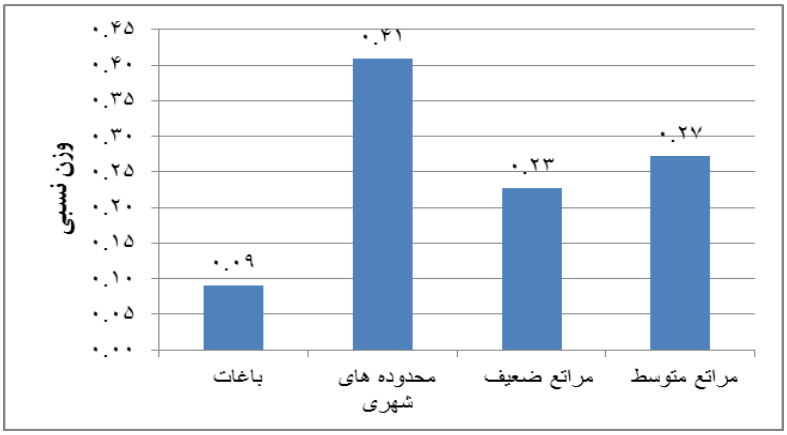
این پهنه‌بندی شامل باغ‌ها، محدوده‌های شهری، مراتع ضعیف و مراتع متوسط است. شکل ۱۲ وزن نسبی پهنه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده با روش *AHP* و شکل ۱۳ نقشهٔ کاربری اراضی پهنه‌بندی‌شده در سه کلاس احتمال خطر سیلاب را نشان می‌دهد. طبق نقشهٔ مذکور مناطقی که در کاربری محدوده‌های شهری قرار گرفته‌اند دارای بیشترین وزن نسبی‌اند و در پهنهٔ خطر بسیار زیاد قرار دارند.



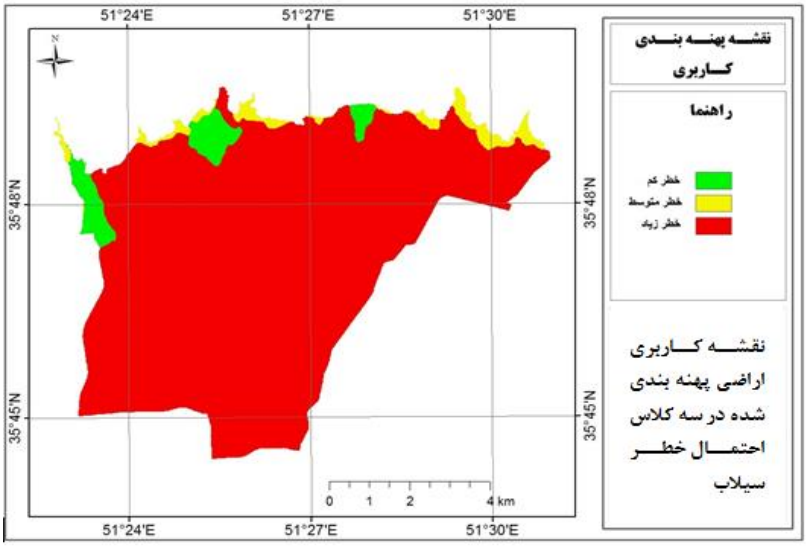
شکل ۱۰. وزن نسبی پهنه‌های فاصله تا فضای سبز به‌دست‌آمده با روش AHP



شکل ۱۱. نقشهٔ فاصله تا فضای سبز پهنه‌بندی‌شده در پنج کلاس احتمال خطر سیلاب



شکل ۱۲. وزن نسبی پهنه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده با روش AHP



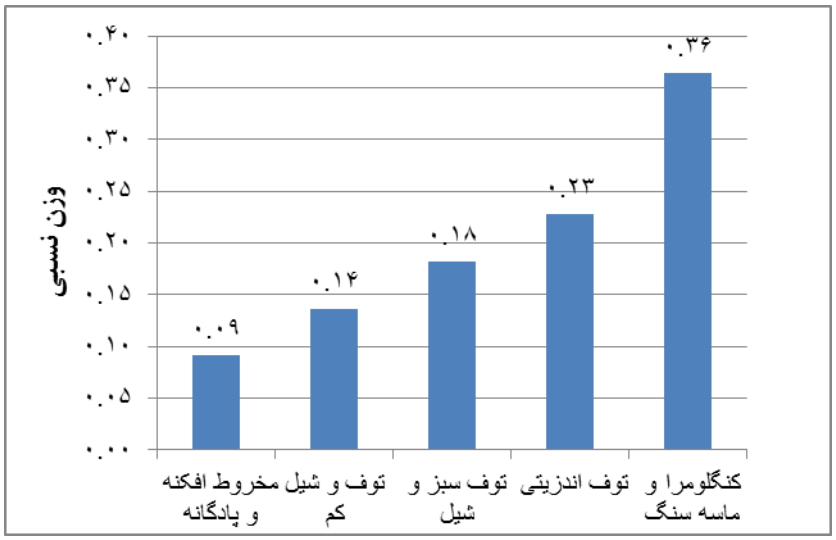
شکل ۱۳. نقشهٔ کاربری اراضی پهنه‌بندی‌شده در سه کلاس احتمال خطر سیلاب

- لایهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی

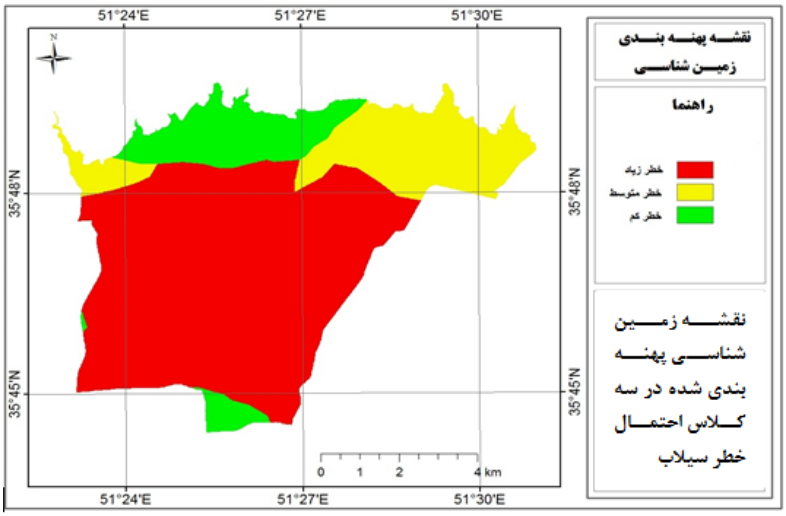
زمین‌شناسی منطقه نیز براساس میزان تأثیر در سیل‌گرفتگی پهنه‌بندی شد. شکل ۱۴ وزن نسبی پهنه‌های زمین‌شناسی به‌دست‌آمده با روش *AHP* و شکل ۱۵ نقشهٔ زمین‌شناسی پهنه‌بندی‌شده در سه کلاس احتمال خطر سیلاب را نشان می‌دهد. بر این اساس مناطقی که از لحاظ نوع سنگ دارای کنگلومرا و ماسه‌سنگ هستند، در پهنهٔ خطر زیاد سیلاب قرار دارند و هرچه منطقه به‌سمت شیل، مخروط‌افکنه و پادگانه پیش رود، از خطر کاسته خواهد شد.

وزن دهی به لایه‌ها با روش *AHP*

بعد از اینکه لایه‌ها در واحد ۱ تا ۵ استاندارد شدند می‌توان آنها را با هم ترکیب و نتایج آنها را مقایسه کرد. با استاندارد شدن تمام لایه‌ها می‌توان آنها را به‌راحتی ترکیب و تلفیق کرد و هر گونه پردازشی برای دستیابی به اهداف را روی آنها اجرا کرد. برای این کار بعد از نرمال شدن، ابتدا اهمیت نسبی عوامل را نسبت به هم امتیازدهی می‌کنند و سپس آنها را به‌صورت ترکیبی در مطالعات و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در نظر می‌گیرند.



شکل ۱۴. وزن نسبی پهنه‌های زمین‌شناسی به‌دست‌آمده با روش AHP



شکل ۱۵. نقشهٔ زمین‌شناسی پهنه‌بندی‌شده در سه کلاس احتمال خطر سیلاب

مراحل اجرای روش *AHP* و وزن‌دهی به لایه‌ها

در این مرحله تمام لایه‌ها براساس اهمیت و تأثیر آنها در سیلاب و پهنه‌بندی، نسبت به یکدیگر مقایسه شدند. در این روش مقایسهٔ زوجی لایه‌ها، دو به دو نسبت به هم انجام گرفت (جدول‌های ۱ و ۲).

وزن لایه‌ها

وزن لایه‌ها حاصل تقسیم اهمیت نسبی بر مجموع امتیازات است. وزن نسبی لایه‌ها برای پهنه‌بندی سیلاب در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۱. مقایسهٔ زوجی لایه‌ها برای پهنه‌بندی سیلاب

	شیب	ارتفاع	فاصله تا رودخانه	فاصله تا کانال‌ها	فاصله تا فضای سبز	کاربری اراضی	زمین‌شناسی
شیب	۱						
ارتفاع	۷/۲	۱					
فاصله تا رودخانه	۵/۸	۳/۹	۱				
فاصله تا کانال ها	۵/۷	۳/۸	۷/۶	۱			
فاصله تا فضای سبز	۳/۴	۶/۵	۹/۶	۴/۳	۱		
کاربری اراضی	۷/۴	۶/۵	۷/۳	۷/۵	۷/۸	۱	
زمین‌شناسی	۷/۳	۵/۲	۴/۱	۴/۱	۳/۱	۸/۷	۱

جدول ۲. نسبت اهمیت لایه‌ها به یکدیگر براساس مقایسهٔ زوجی صورت‌گرفته

	شیب	ارتفاع	فاصله تا رودخانه	فاصله تا کانال‌ها	فاصله تا فضای سبز	کاربری اراضی	زمین‌شناسی
شیب	۱/۰۰	۳/۵۰	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۷۵	۱/۷۵	۲/۳۳
ارتفاع	۰/۲۹	۱/۰۰	۰/۳۳	۰/۳۸	۱/۲۰	۱/۲۰	۲/۵۰
فاصله تا رودخانه	۱/۶۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۱/۱۷	۱/۵۰	۲/۳۳	۴/۰۰
فاصله تا کانال‌ها	۱/۴۰	۲/۶۷	۰/۸۶	۱/۰۰	۱/۳۳	۱/۴۰	۴/۰۰
فاصله تا فضای سبز	۱/۳۳	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۷۵	۱/۰۰	۰/۸۸	۳/۰۰
کاربری اراضی	۰/۵۷	۰/۸۳	۰/۴۳	۰/۷۱	۱/۱۴	۱/۰۰	۱/۱۴
زمین‌شناسی	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۸۸	۱/۰۰
مجموع	۶/۶۲	۱۲/۲۳	۴/۱۶	۴/۹۷	۷/۲۶	۹/۴۳	۱۷/۹۸

جدول ۳. وزن نسبی لایه‌ها برای پهنه‌بندی سیلاب

	شیب	ارتفاع	فاصله تا رودخانه	فاصله تا کانال‌ها	فاصله تا فضای سبز	کاربری اراضی	زمین‌شناسی	وزن
شیب	۰/۱۵۱	۰/۲۸۶	۰/۱۵۰	۰/۱۴۴	۰/۱۰۳	۰/۱۸۶	۰/۱۳۰	۰/۱۶۴
ارتفاع	۰/۰۴۳	۰/۰۸۲	۰/۰۸۰	۰/۰۷۵	۰/۱۵۶	۰/۱۲۷	۰/۱۳۹	۰/۱۰۲
فاصله تا رودخانه	۰/۲۴۲	۰/۲۴۵	۰/۲۴۰	۰/۲۳۵	۰/۲۰۷	۰/۲۴۷	۰/۲۲۳	۰/۲۳۴
فاصله تا کانال‌ها	۰/۲۱۲	۰/۲۱۸	۰/۲۰۶	۰/۲۰۱	۰/۱۸۴	۰/۱۴۸	۰/۲۲۳	۰/۱۹۹
فاصله تا فضای سبز	۰/۲۰۱	۰/۰۶۸	۰/۱۶۰	۰/۱۵۱	۰/۱۳۸	۰/۰۹۳	۰/۱۶۷	۰/۱۴۰
کاربری اراضی	۰/۰۸۶	۰/۰۶۸	۰/۱۰۳	۰/۱۴۴	۰/۱۵۷	۰/۱۰۶	۰/۰۶۴	۰/۱۰۴
زمین‌شناسی	۰/۰۶۵	۰/۰۳۳	۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۶	۰/۰۹۳	۰/۰۵۶	۰/۰۵۷

وزن نهایی لایه‌ها

وزن نهایی هر یک از لایه‌های مؤثر در سیلاب و اهمیت آنها در پهنه‌بندی نهایی در جدول ۴ نشان داده می‌شود.

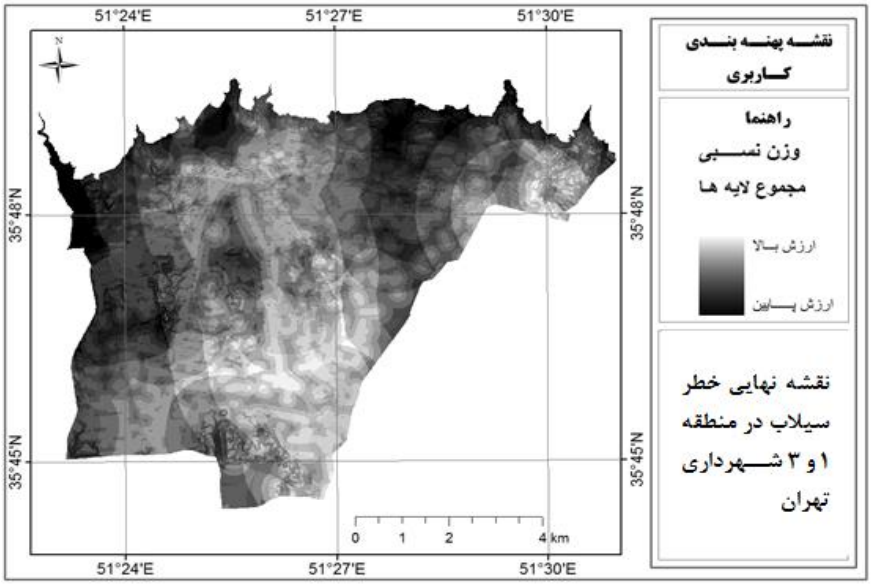
ترکیب لایه‌ها

وزن‌های به‌دست‌آمده در تمام لایه‌های مربوط به خود اعمال می‌شوند و در نهایت در نرم‌افزار ArcGIS با هم ترکیب می‌شوند و نقشهٔ احتمال خطر سیلاب منطقه را مشخص می‌کنند. شکل ۱۶ نقشهٔ نهایی خطر سیلاب در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل ۱۶ ملاحظه می‌شود، محدوده‌های روشن‌تر احتمال وقوع سیلاب بیشتر و محدوده‌های تیره‌تر احتمال وقوع سیلاب کمتری دارند.

جدول ۴. وزن نهایی لایه‌ها برای پهنه‌بندی سیلاب

زمین‌شناسی	کاربری اراضی	فاصله تا فضای سبز	فاصله تا کانال‌ها	فاصله تا رودخانه	ارتفاع	شیب
۰/۰۵۷	۰/۱۰۴	۰/۱۴۰	۰/۱۹۹	۰/۲۳۴	۰/۱۰۲	۰/۱۶۴



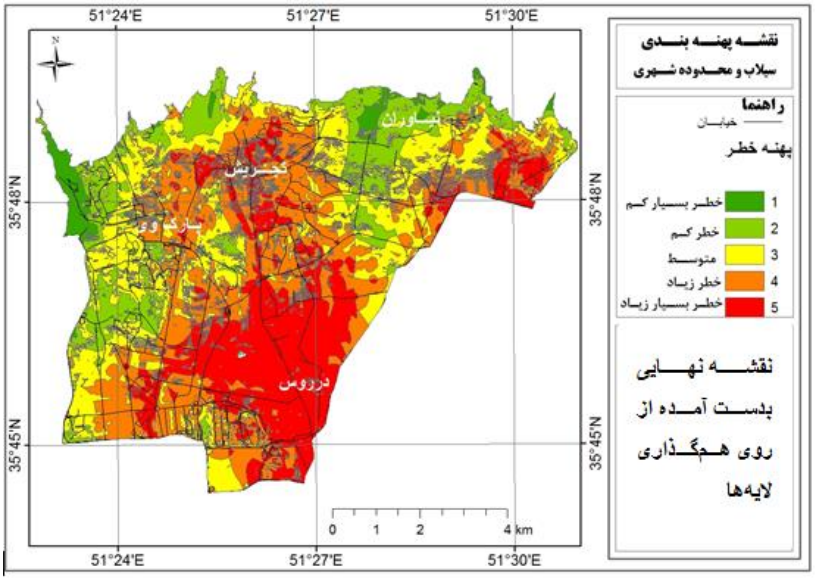
شکل ۱۶. نقشهٔ نهایی خطر سیلاب در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران

پهنه‌بندی نهایی

پس از معرفی منطقه از جنبه‌های مختلف با استفاده از روش‌های تحلیل کمّی و روش‌های تحلیل مکانی، منطقه براساس برخی عوامل بحران‌زا از جمله عوامل مؤثر در سیلاب‌های شهری ارزیابی شد و نتایج این ارزیابی‌ها به‌صورت نقشه‌ها و جدول‌هایی ارائه شد. تفسیر این نقشه‌ها نشان‌دهندهٔ ارزیابی و شناخت ما از مکان‌ها و در کل شناخت افتراق مکانی و نیز پراکندگی پدیده‌ها از جمله احتمال خطر ایجاد مخاطرات طبیعی است. نتایج نقشه‌های نهایی تهیه‌شده، بررسی و تجزیه‌وتحلیل شد. شایان ذکر است که یکی از ویژگی‌های مطالعات فضایی این است که هر چه از کانون نواحی به‌سمت اطراف می‌رویم، مشخصات اصلی نواحی کمرنگ می‌شود و از دقت محاسبات نیز کاسته می‌شود و در مرز نواحی، ویژگی‌های منطقه به‌سمت ویژگی‌های نواحی مجاور متمایل می‌شود [۱۳]. همان‌طور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود، براساس تحلیل‌های کمّی و مکانی، پهنه‌هایی که در کنار رودخانهٔ دربند قرار دارند بیشتر در معرض سیلاب قرار می‌گیرند. در امتداد رودخانهٔ دربند و در محدوده‌هایی از پارک‌های شهری از بعد طبیعی خطر سیلاب بیشتر است. در این نقشه مشاهده می‌شود که کلاس با خطر زیاد در محدوده‌هایی قرار دارد که به رودخانه نزدیک‌اند و شیب زمین کم و ارتفاع به‌نسبت کم است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مناطق با ریسک زیاد سیلاب از نزدیک شرق محدودهٔ تحقیق شروع می‌شود و تا تقاطع دروس در خیابان شریعتی ادامه دارد. با روی‌هم‌گذاری لایه‌های شیب، ارتفاع و فضاهای سبز مشخص می‌شود که این منطقه دارای شیب بسیار کمی است و از نظر ارتفاعی در حد متوسط بوده و دارای فضای سبز کمتر است. بنابراین مستعد خطر سیلاب شهری است.

در جدول ۵ مساحت هر یک از کلاس‌های خطر از نظر عوامل بحران‌زای مؤثر در سیلاب در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران مشاهده می‌شود. در محدودهٔ تحقیق بیشترین مساحت در کلاس چهار (خطر زیاد) با مساحت ۱۹/۱۱ کیلومتر مربع و کمترین مساحت در کلاس یک (خطر خیلی کم) با مساحت ۱/۸۴ کیلومتر مربع قرار دارد.



شکل ۱۷. نقشهٔ پهنه‌بندی سیلاب محدودهٔ تحقیق

جدول ۵. مساحت کلاس‌های خطر سیلاب

پهنهٔ خطر	خطر خیلی کم	خطر کم	متوسط	خطر زیاد	خطر بسیار زیاد
کلاس خطر	۱	۲	۳	۴	۵
مساحت (km^2)	۱/۸۴	۹/۶۷	۱۷/۰۶	۱۹/۱۱	۱۶/۲۱

نتیجه‌گیری

طبق بررسی‌های انجام‌گرفته می‌توان نتیجه گرفت که مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران در بیشتر قسمت‌ها، در برابر سیلاب بسیار آسیب‌پذیرند و در قسمت‌های دیگر آسیب‌پذیری کمتری دارند. بیشتر بخش‌هایی که تحت تأثیر سیل قرار دارند، نزدیک رودخانهٔ دربند و اطراف خیابان‌ها واقع‌اند. مناطق مسکونی در برخی بخش‌ها در معرض سیلاب بیشتری قرار دارند که اقدامات مدیریتی برای این قسمت‌ها ضروری است. همچنین مشخص شد که فضاهای سبز شهری تا حد زیادی سبب کاهش سیلاب می‌شوند و در نتیجه با ایجاد فضای سبز بیشتر در این نقاط می‌توان آسیب‌های پیش‌رو را کاهش داد و از بروز خسارات جانی و مالی جلوگیری کرد. ساخت‌وسازهای انسانی در این محدوده که نقشه‌های آن در نتایج نهایی گنجانده شده، نشان می‌دهد که کاربری‌های نامناسب در منطقه سبب بروز و تشدید بحران‌هایی می‌شود که در رأس آنها سیل جای دارد. شناخت عوامل مؤثر در بحران‌زایی محدودهٔ تحقیق در قالب معیارها و عوامل گوناگون و با وزن‌دهی به روش *AHP* مشخص شد. علاوه‌بر این با ارائهٔ وزن‌های روش *AHP* مشخص شد که هر یک از عوامل

مؤثر در بحران سیلاب تا چه اندازه در مخاطرهٔ محیطی اهمیت دارد. با بررسی این عوامل می‌توان با طرح پیشنهادهایی خسارات سیل را به حداقل رساند و بستری مناسب برای زندگی و تفریح فراهم کرد. پیشنهادها را می‌توان به‌صورت زیر مطرح کرد:

۱. کاربری‌ها مناسب با ماهیت استفاده از زمین انتخاب شود و با نیازها و خدمات هرکاربری سازگار شود؛

۲. برخی از محدوده‌ها از نظر سیلاب دارای خطر زیادند؛ بنابراین لازم است در انتخاب کاربری‌ها و نیز در گسترش آنها این آسیب‌پذیری لحاظ شود؛

۳. کاربری‌های نامناسب برچیده شوند یا به مناطق دیگری انتقال یابند یا از توسعهٔ بیشتر آنها پرهیز شود؛

۴.خدماتی مانند مراکز درمانی و آتش‌نشانی در محدوده‌های با آسیب‌پذیری زیاد استقرار یابد؛

۵. از توسعهٔ شهر به‌سمت محدوده‌های دارای خطر زیاد پرهیز شود؛

۶. تا حد امکان از گسترش شهر در حریم رودخانه‌ها و نزدیک کانال‌ها پرهیز شود؛

۷. در مواقع سیلابی، خدمات امدادی بیشتر در نقاط آسیب‌پذیر سیلاب مستقر شوند؛

۸. فضاهای سبز بیشتری در محدوده‌های با خطر زیاد سیلاب ایجاد شود.

منابع

[۱]. اصغری مقدم، محمدرضا، ۱۳۸۶، جغرافیای طبیعی شهر (اقلیم، آب و سیل‌خیزی) دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی: ۷۲-۵۹

[۲].اکارت، جان، ۱۳۸۴، زمین‌شناسی کواترنری کاربردی، انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، تهران، ص ۴۶۶.

[۳]. آقانباتی، سیدعلی، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران: ۴۸-۲۵.

[۴]. بهبهانی، ایران، ۱۳۸۱، بقای محیط درون‌شهری و نحوهٔ استفاده بهینهٔ از آن، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، ص ۱۷۶.

[۵].پاک‌سرشت، سیدکاویار، ۱۳۸۱، بررسی عوامل جغرافیایی مؤثر در تغییرات محلهٔ فرحزاد با تأکید بر مجاورت تهران: ۲۰۹-۲۶۶.

[۶]. پروازی، مهناز؛ کامیابی، سعید، ۱۳۸۵، تأثیر عملیات ساختمانی و پیامدهای زیست‌محیطی آن در حریم رودخانهٔ فرحزاد، طرح تحقیقاتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز: ۹۵-۸۸.

[۷]. درویش‌زاده، علی؛ محمدی، مهین، ۱۳۸۶، زمین‌شناسی ایران، انتشارات پیام نور ص ۲۳۳.

[۸]. رجایی، عبدالحمید؛ ۱۳۷۳، ژئومورفولوژی کاربردی در برنامه ریزی عمران ناحیه‌ای، نشر قومس: ۱۲۸-۸۸.

[۹]. رضایی‌زاده، کامران؛ ۱۳۸۷، بررسی پهنه‌بندی گسل‌های تهران، انتشارات سمت، چاپ دوم: ۱۲۲-۱۰۱.

[۱۰]. محمودی، فرج‌الله،۱۳۸۰، ژئومورفولوژی ساختمانی، انتشارات دانشگاه پیام نور: ۷۸-۴۴.

[۱۱]. مخبری، مریم، ۱۳۸۹، بررسی فرایندهای مؤثر بر تحول ژئومورفیک دره فرحزاد به‌منظور بررسی و مدیریت قبل از بحران، انتشارات سمت، چاپ اول: ۴۵-۲۲.

[12]. Ghahroudi Tali, M.; Nezammahalleh, M. A.; (2012) Urban flooding management using natural drainage network, case study Tehran as Capital of Iran, IAHS

[13]. Goudie, Andrew, (1985) Encyclopedia dictionary of physical geography basal, Blackwell LtD. Oxford. U.K.