جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۳۹۷، دوره۱، شماره۲

پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در منطقهٔ ۹ شهرداری مشهد

وحید هزاره[۱]

سیدمحمد باخرزی قزالحصار[۲]

۱و۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت امور شهری، دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده ادبیات و علوم انسانی. گروه جغرافیا. مشهد. ایران

sm.bakharzi@ mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

چکیده

شهر، د ستاورد تمدن ب شری، همواره با مخاطرات طبیعی ب سیاری روبه‌رو بوده و زندگی ساکنان را تحت تاثیر قرار داده است که گاه خودِ انسان و توسعه شهرها بر شدت این مخاطرات افزوده است. سیلاب‌های شهری از مهم‌ترین مخاطراتی است که علل و عوامل انسانی و محیطی متعددی موجب بروز آن می‌شود. هدف از این تحقیق تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در منطقه ۹ شهرداری مشهد است تا بتوان بر اساس آن بخشی از مراحل پیش‌گیری و آمادگی یا ترکیب این دو را قبل از وقع بحران سیلاب در محیط‌های شهری اجرا نمود.

در این تحقیق شش عامل: فاصله از مسیل، ارتفاع، تراکم جمعیتی، شیب، جهت شیب و کاربری اراضی به عنوان عوامل موثر در نظر گرفته شده‌اند که براساس متد *AHP* در نرم افزار *Expert choice* وزن دهی شده و در محیط نرم‌افزار *Arc GIS* طبقه‌بندی و با استفاده از توابع مختلف مانند *Euclidean Distance* لایه‌های مورد نظر تهیه شده است. نقشه خطر پذیری نهایی نیز با استفاده از ضرب لایه‌های نرمال سازی شده وزنی *Reclassify* در تابع *Raster calculator* به دست آمده است. طبق آن‌چه که از نتایج تحقیق به دست آمد، شش عامل در نظر گفته شده فاصله از ارتفاع، مسیل، تراکم جمعیتی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی موثر بر خطر سیلاب شهری هستند. هم‌چنین بر اساس محاسبات ۷۴٪ از مساحت منطقه در محدوده با خطر کم و خیلی کم قرار دارد و ۲۶ ٪ نیز در پهنه خطر متوسط تا خیلی زیاد واقع شده است. توزیع جغرافیایی خطر سیلاب بیشتر در جنوب و جنوب غرب منطقه۹ است، که بافت فرسوده و حاشیه نشین این منطقه نیز در پهنه با خطر متوسط رو به بالا واقع شده است. مدیران شهری در حوزه‌های مربوطه باید با راه‌کارهای مدیریتی مناسب در بخش‌های با ضریب خطر بالای منطقه، در جهت پیش‌گیری و آمادگی مراحل پیش از بحران آمادگی لازم را داشته باشند.

کلمات کلیدی: سیلاب شهری، پهنه‌بندی، خطرپذیری، *AHP*، *GIS*.

مقدمه

رونـد توسـعهٔ شهرنشینی و گسترش شهرهای بزرگ درجه آسیب‌پذیری جوامع شهری را نسبت به مخاطرات محیطی حاصل از توسـعهٔ کلان‌شهرها بر روی مناطق پرخطر افزایش داده است (سپهر و کاویان آهنگر،۱۳۹۳). سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مـورد خطـر بلایای طبیعی، همراه با زلزله و خشک‌سالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جـانی بـه همـراه دارد (بهشتی و همکاران،۱۳۸۸) که جبران آثـار آن به خصوص در مناطقی که مظاهر توسعهٔ انسانی در آنجا به چشم می‌خورد مانند شهرها هزینه‌های زیادی را تحمیل می‌کند (صالحی و همکاران،۱۳۹۲). برابر آمارها سیلاب‌ها حدود ٤٠ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده‌اند (فنگ و لو[1]،۲۰۱۰). امروزه افزایش جمعیت، گسترش تأسیسات صنعتی، کمبود مکان برای ساخت و ساز خصوصاً در کلان‌شهرها، باعث شده تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز ایجاد شود (سپهر و کاویان،۱۳۹۳). این مسأله منجر به تشدید خطر سیل‌خیزی و آب گرفتگی معابر و افزایش هزینه‌های شهر شده و خسارات جانی و مالی را افزایش داده است؛ بر اساس مطالعات انجام شده، گسترش شهرها در حوضه آبریز، سبب افزایش سطح نفوذناپذیر، افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب می‌گردد (حسین زاده و جهادی طرقی، ۱۳۸٦). عوامل زیادی در وقوع سیلاب دخالت دارند. علاوه بر شرایط محیط طبیعی، فعالیت‌هـای انـسانی و عدم برنامه‌ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افـزایش فراوانـی و حجـم و همچنـین خـسارات مـالی و جـانی ناشـی از سیلاب می‌شود. بنابراین لازم است قبل از گسترش بی رویـه شـهرها و تغییـر کـاربری اراضـی، تمهیـدات لازم بـرای جلوگیری و یا کاهش خسارات ناشی از سیلاب اندیشیده شود (طاهری بهبهانی، ۱۳۷۵). سیلاب‌ها نه تنها در کشورهای در حـال توسـعه، بلکـه در کـشورهای توسـعه یافتـه و پیـشرفته نیـز باعـث ایجـاد خسارات مالی و جانی می‌شوند و آمارها نیـز گویـای رونـد رو بـه رشـد چنـین حـوادثی مـی‌باشـند (قنواتی،۱۳۹۲). تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطیر سیل‌گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع مانع از آثار زیان‌بار سیلاب‌های شهری تا حد ممکن شد (احمد زاده، ۱۳۹٤). سیلاب‌های شهری از جمله بحران‌هایی با منشاء طبیعی هستند که گاه عوامل انسانی و انسان ساخت بر شدت آن می‌افزاید. پهنه‌بندی سطوح شهری به لحاظ خطرپذیری و وقوع سیلاب شهری را می‌توان جزئی از مراحل پیش‌گیری و آمادگی یا ترکیب این دو در قبل از وقع بحران سیلاب دانست. شهر مشهد با توجه به موقعیت آن در حوزه کشف رود، اختلاف ارتفاع در نقاط شمال

۱. *Feng and Lu*

و جنوب شهر و قرارگیری آن بین آبراهه‌هایی که از کوه های بینالود سرچشمه گرفته و به کشف رود منتهی می‌شوند، در مواجهه با سیلاب در محیط شهری است که دارای ۱۸ مسیل اصلی با جمع طول۱۲۹۲۹۵ با دبی ۱۲٤۰ $SM^3/$ می‌باشد (آمارنامه مشهد،۱۳۹۲). در این پژوهش که به طور خاص با هدف ارزیابی خطر سیلاب شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد انجام می‌شود و با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی گردآوری شده در محیط *GIS* و تکنیک *AHP* وزن دهی در نرم افزار اکسپورت چویز[۲]انجام شده است و در نهایت نقشه‌های خطر سیلاب شهری تهیه می‌شود تا متناسب با آن راهکارهای مدیریتی مناسب اتخاذ گردد.

پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات متعددی با روش‌های گوناگون در ارتباط با سیلاب، علل، عوامل و اثرات آن در ایران و جهان انجام شده است. در ذیل به آن دسته از تحقیقاتی اشاره می‌شود که در راستای تحقیق حاضر، صرفاً محیط‌های شهری انجام گرفته و اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب شده است. تنها تفاوت پژوهش پیش رو با تحقیقات مشابه، در محدوده مورد بررسی است، که برای نخستین بار خطر سیلاب شهری در آن بررسی می‌شود و دیگر آن که در مقایسه با مطالعات گذشته، مقیاس یک منطقهٔ شهری نیز این تحقیق را متمایز می‌سازد.

تحقیقات خارجی

ساملا[۳]و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله خود با عنوان «ابزار مبتنی بر*GIS* در توصیف مقرون به صرفه مناطق مستعد سیل»، به منظور مشخص کردن خطر سیل در مناطق سیل‌خیز ، در محیط *QGIS* یک روش مبتنی بر *DEM* خودکار را اجرا کرده‌اند که دقت و قابلیت اطمینان بالایی در شناسایی مناطق سیل‌خیز در چندین مکان آزمایشی واقع در اروپا، ایالات متحده و آفریقا نشان داده است. این ابزار، به نام ابزار[٤]*GFA* نقشه برداری سیلاب سریع و مقرون به صرفه را با انجام طبقه‌بندی باینری خطی براساس شاخص [٥]*GFI* ارائه می‌دهد.

لیو[٦]و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی خطر سیلاب در سیستم‌های مترو شهری با استفاده از روش مدل‌سازی مبتنی بر *GIS*»، سیستم مترو یک جزء حیاتی از زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی معرفی می‌کند که خدمات اجتماعی و اقتصادی مهمی در مناطق شهری ارائه می‌دهد. و مطالعه مقایسه‌ای در مورد خطر سیل در سیستم‌های مترو با استفاده از روش سلسله مراتبی تحلیلی *(AHP)* در سیستم متروی گوانگژو بر اساس داده‌های ثبت شده مورد ارزیابی قرار

---

۲. *Expert choice*
۳. *Samela*
۴. *Geomorphic Flood Area*
۵ *Glover Geomorphic Storm*
۶. *Lyu*

داده‌اند. نتایج ارزیابی با استفاده از رویداد سیلابی در گوانگژو در ۱۰ مه سال ۲۰۱٦ تایید شده است. بدین منظور خطر سیلاب در محدوده ۵۰۰ متری خط مترو ارزیابی می‌شود نتایج نشان داد که بیش از ۵۰درصد از خطوط مترو به شدت در معرض خطر سیل قرار دارند.

آرمیکاس و نیرو پاما[۷](۲۰۱۵) در مقاله خود با عنوان «نقشه‌های ریسک سیلاب شهر تورنتو» ابتدا افزایش میزان بارش موثر بر سیلاب می‌داند که آخرین سیل بر اثر میزان بارش در سال ۲۰۱۳ بیش از دو برابر متوسط منطقه موجب قطع برق بیش از ۳۰۰۰۰۰ نفر از ساکنان شهر شد، که لغو پروازها، مترو و مختل شدن حمل و نقل شهری را به دنبال داشت و ضعف‌های مدیریت سیلاب و وجود استانداردهای نامناسب را آشکار ساخت و خسارت‌های زیادی که به بیمه و تخریب زیر ساخت‌ها وارد شد. برآورد نقشه‌های خطر در این مقاله با تمرکز بر جمعیت شهری، توسعه زیرساخت‌های حیاتی برنامه‌ریزی برای کاهش سیل و آمادگی شهر انجام شده است و شاخص‌های فضایی تعیین خطر بر اساس ویژگی‌های در سیستم اطلاعات جغرافیایی*GIS* انجام شده است.

اوما و تاتیشی[۸](۲۰۱٤)، به‌طور موردی به آسیب‌پذیری و نقشه‌برداری ریسک سیلاب با استفاده از *AHP* و نرم‌افزارهای مبتنی بر*GIS* در شهر الدورت کشور کنیا پرداخته‌اند، که با در نظر گرفتن عوامل ایجاد کنندهٔ سیل مانند توزیع بارندگی، ارتفاع، شیب، شبکه زهکشی، تراکم، کاربری اراضی، پوشش زمین و نوع خاک انجام شده است. نتایج تحقیق پس از تعیین درجه آسیب‌پذیری مناطق شهری در قالب نقشه‌های مناطق در معرض خطر تهیه شده‌اند.

فرناندز و لوتز[۹](۲۰۱۰) در مقاله‌ای با عنوان«منطقه بندی خطر سیلاب شهری در استان توکمان، آرژانتین، با استفاده از *GIS* و تحلیل تصمیم‌گیری چند متغیره» خطر سیلاب را در منطقه شهری یربابوینا و توکومان بررسی می‌کنند. بارندگی شدید، توسعه بی‌رویه مسکن، سیستم‌های فرسوده زهکشی از علل اصلی این رویداد و خسارات‌های ناشی از آن معرفی می‌شود. روش تحقیق متمرکز بر تجزیه و تحلیل متغیرهایی است که مسیر آب را کنترل می‌کنند و جریان پیک بالا از ظرفیت سیستم تخلیه خارج می‌شود. این مدل با استفاده از پنج پارامتر: فاصله تا کانال‌های زهکشی، توپوگرافی (ارتفاع و دامنه)، عمق زمین آب زمین و کاربری زمین شهری نقشه‌های پهنه‌بندی خطر را برای مناطق شهری ذکر شده ترسیم می‌کنند.

تحقیقات داخلی

۷ *Armenakisac & Nirupama*
۸ *Ouma, & Tateishi*
۹ *Fernández & Lutz*

موسوی و همکاران (۱۳۹۵)، در مقاله خود با عنوان «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی تاپسیس[۱۰] مطالعه موردی شهر باغملک» رشد بی‌رویه جمعیت، تسطیح زمین و اشغال حریم رودخانه‌ها را در کنار عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی در شهرها را سبب گسترش سیلاب‌های شهری می‌داند. در این تحقیق با استفاده از مدل فازی تاپسیس نقشه هایی خطر پذیری تهیه شده است وعوامل موثر (بارش، ارتفاع، شیب، جهت شیب، سازند، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی) با استفاده از روش کریتیک[۱۱] در محیط *Arc GIS* وزن‌دهی شده‌اند که نشان می‌دهد۴۲,۳۶درصد از شهر در پهنه‌ای با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار داد.

یوسفی و همکاران (۱۳۹۳)، در مقاله «پهنه‌بندی خطر سیل و معرفی راه‌کارهای مدیریتی در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران» با بررسی عوامل موثر بر سیل‌خیزی و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر از نظر مخاطرات سیل در مناطق ۱ و ۳ شهرداری، راهکارهای مناسب مدیریتی برای مقابله با این پدیده را بیان می‌کند. در این تحقیق ویژگی‌های انسانی، عوامل هیدرولوژیکی و توپوگرافی ملاک عمل و امتیازدهی در با روش *AHP* قرارگرفته است که پس از آن در *GIS* پهنه‌بندی شده است که نشان داد ۱۶,۲۱ کیلومتر مربع از این مناطق دارای خطر بسیار زیاد سیلاب قرار دارد.

صالحی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تحت عنوان «پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از *GIS* و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی» با مطالعه موردی شهری تهران، پس از بیان ضرورت مطالعات سیلاب در محیط‌های شهری، بارندگی شدید، رشد و توسعهٔ بی‌رویهٔ شهر و ناکارآمدی شبکهٔ زهکشی را از دلایل اصلی آن ذکر می‌کند. سپس با استفاده از ۵ معیار فاصله از شبکه زهکشی، تجمیع جریان، شیب، ارتفاع و اراضی ساخته شده و ساخته نشده بر پایهٔ آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی *GIS* از روش *AHP* نقشه خطر نهایی را بدست آورده‌اند که نشان می‌دهد نواحی مرکزی تا جنوب شهر بیش‌ترین پتانسیل را برای سیل‌خیزی دارند.

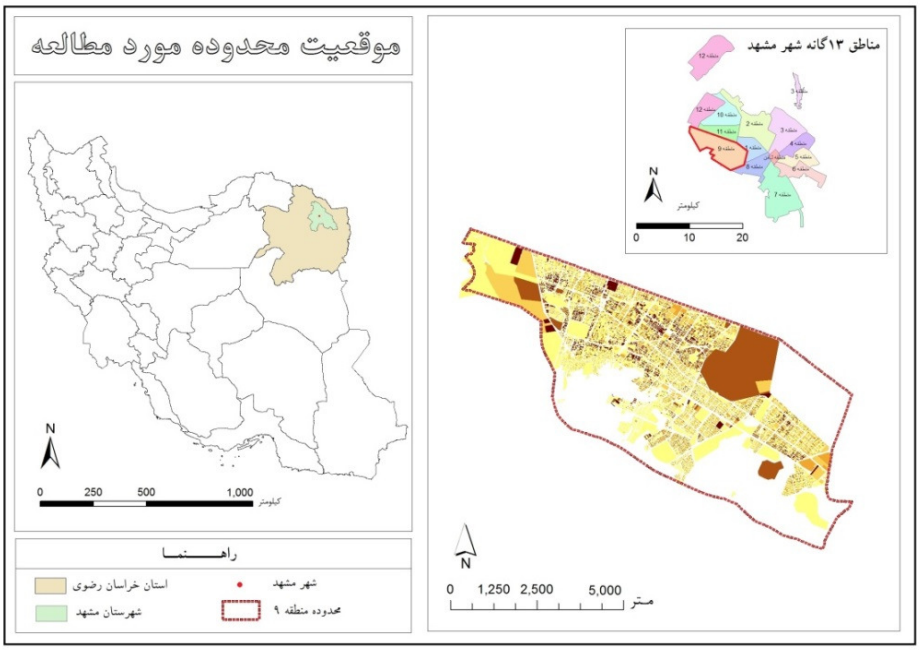
امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله ای با عنوان «ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعهٔ پایدار شهری» به منظور پیش‌بینی دامنه خسارت ناشی از سیلاب و کنترل آن به بررسی خطرپذیری و ارزیابی خسارت در شهر سبزوار می‌پردازد، شاخص‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل: کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مسیل‌ها طبقات شیب، تراکم مسکونی، ضریب رواناب، قدمت ابنیه و فضاهای باز در نظر گرفته شده است که در محیط *AHP* وزن دهی شده و در محیط نرم‌افزار ادریسی[۱۲] ضرایب نهایی لایه‌ها تعیین شده است و نقشه نهایی خطر پذیری حاکی از این است که ۱۵ درصداز محدوده در پهنه با خطر بسیار زیاد و ۴۵ درصد در محدوده خطر زیاد قرار دارد.

---

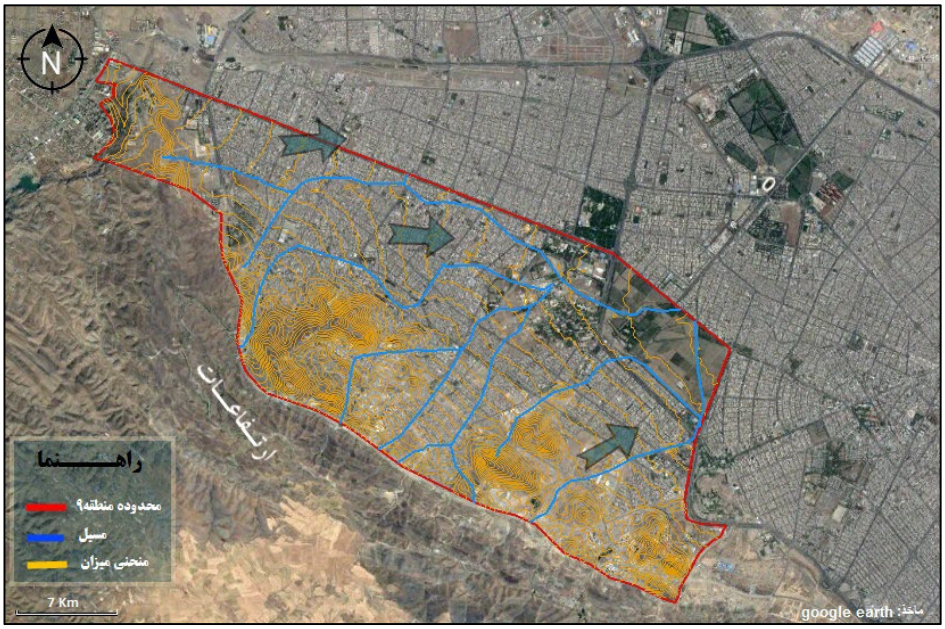
۱۰. *TOPSIS*
۱۱. *CRITIC*
۱۲. *Idrisi*

محدودهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد بررسی در این پژوهش منطقه نه (۹) شهرداری مشهد می‌باشد. این منطقه با وسعت ٤٦٥٢ هکتار مقسم به ۳ ناحیه و ٦ محله، با ارتفاع متوسط ۱۰۹۵ متر، در جنوب غربی شهر مشهد واقع شده است و دارای ۳۲۷۰٦۱ نفر جمعیت بر اساس آمار سال ۱۳۹۵ می‌باشد. منطقه ۹ به علت قرارگرفتن در دامنهٔ ارتفاعات جنوبی شهر مشهد با دامنه تغییرات ارتفاعی ۳۰۰ متر، و نیز وجود مسیل‌های فصلی و عمدتاً دستخوش تغییر شده، حادثه خیزی فراوانی را در طول فصول بارشی تجربه می‌کند. این امر مشکلات متعددی برای شهروندان و مدیریت شهری بوجود می‌آورد از این رو این منطقه به عنوان مورد پژوهی انتخاب شده است. علاوه بر آن این منطقه به مثابه دروازه ورودی سیلاب‌ها به مناطقی از شهر است که در پایین دست قرار دارند. در ***Error! Reference source not found.*** موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. هم‌چنین، در ***Error! Reference source not found.*** تصویر هوایی این منطقه و مسیل‌های آن مشخص شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل۲ . تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و مسیل های آن

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در محیط نرم افزار *Arc GIS* از لایه‌های اطلاعاتی فاصله از مسیل، ارتفاع، تراکم جمعیتی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، استفاده شده است. همچنین برای تعیین ضریب میزان تاثیر هر یک از لایه‌ها بر سیل‌خیزی در مدل *AHP* از نرم افزار اکسپرت چویز و تعیین وزن نهایی و نرمال لایه‌ها، استفاده شده است، که براساس مقایسه دودویی و ضریب اهمیت هر یک فاکتورهای مورد بررسی بدست می‌آید. سپس در *Arc GIS* لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی شده و دوباره طبقه‌بندی گردیده‌اند و نقشه نهایی خطر از برهم نهی این لایه‌ها و محاسبات رستری[۱۳]تهیه شده است. به طور کلی مراحل تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- جمع‌آوری و آماده سازی داده‌های فضایی، شامل زمین مرجع کردن و تصحیحات توپولوژی

۲- تعیین مرز محدوده منطقه ۹ و برش تمامی لایه‌های مورد نیاز

۳- کلاس‌بندی لایه‌ها بر اساس تأثیر هریک بر سیل‌خیزی

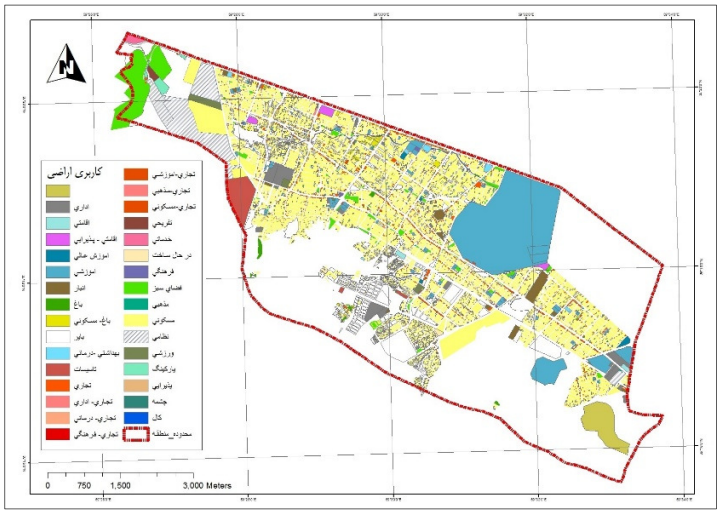
٤- تعیین وزن‌های به دست آمده لایه‌ها در نرم‌افزار اکسپرت چویز

۵- اعمال وزن‌های نرمال شده در *GIS*

٦- تلفیق و برهم نهی لایه‌های نرمال شده جهت تعیین نقشه نهایی خطر سیلاب شهری

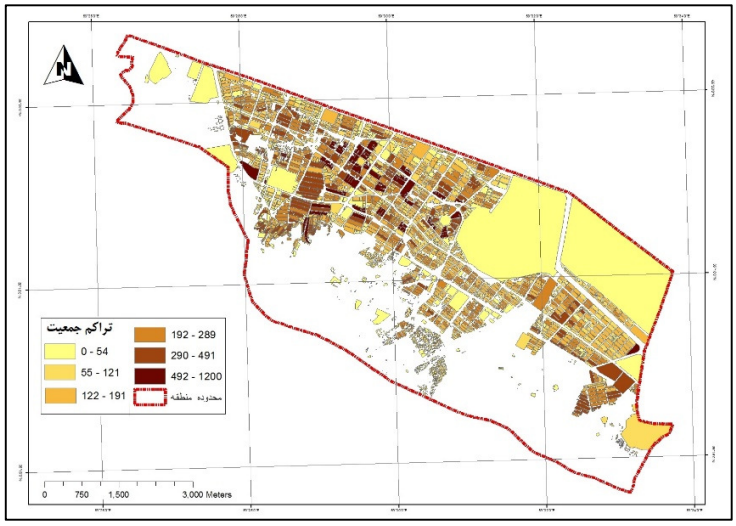
۱۳*Raster calculator*

لایه‌های پایهٔ مورد نیاز که از سازمان‌های مربوطه اخذ شده است، در *GIS* گردآوری شده و بر اساس نیاز تحقیق ترسیم شده‌اند. ابتدا با استفاده از لایهٔ نقاط ارتفاعی برداشت شده از کل منطقه، منحنی‌های میزان با فاصله ۵ متری هم ارتفاع تهیه گردیده است، سپس با استفاده از این دو لایه *DEM* منطقه و از آن نیز لایه طبقات ارتفاعی به دست آمد که یکی از ملاک‌های ارزیابی خطرپذیری سیلاب در نظر گرفته شده است. سپس از لایه *DEM* نقشه شیب منطقه به درصد تهیه شد و همچنین نقشه جهت شیب در هر نقطه از محیط مورد پژوهش بدست آمد، این لایه ها نیز از فاکتورهای اصلی تحقیق هستند که در ادامه مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس از لایهٔ طرح تفضیلی منطقه ۹ شهرداری مشهد، از نقشه کاربری اراضی خروجی گرفته شد و رنگ کاربری‌ها متناسب با استاندارد هر یک تنظیم گردید. لایه جمعیت نیز که بر اساس میزان جمعیت در هر بلوک ساختمانی است و تراکم جمعیت را به نفر نشان می‌دهد سیمبولوژی گردید. لایه اصلی که همان فاصله از مسیل‌ها به متر است با استفاده از دستور فاصله اقلیدسی[۱۴] فاصله از مسیل‌ها به ۸ کلاس در سیستم متریک طبقه‌بندی شده‌اند. در شکل‌های ۳ تا ۸، لایه‌های اصلی تهیه شده قابل مشاهده است.

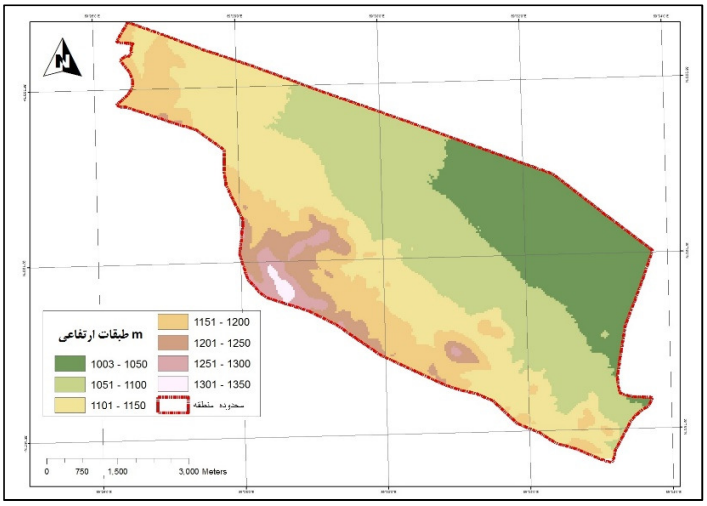


شکل ۳. کاربری اراضی منطقه ۹ شهرداری مشهد

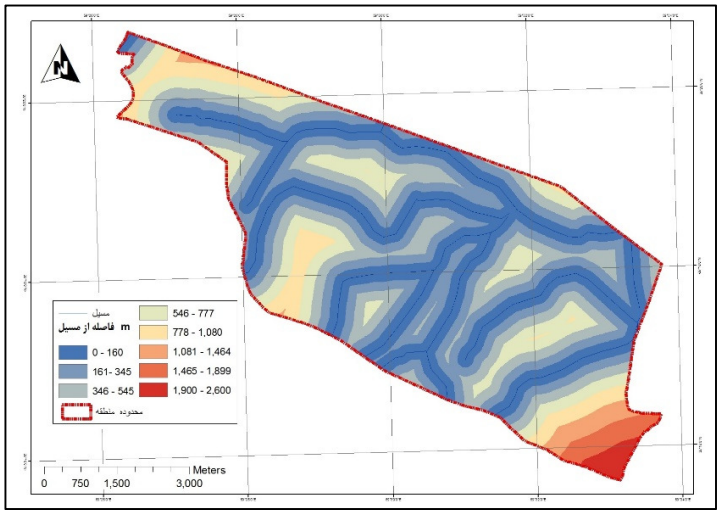
۱۴ *Euclidean Distance*



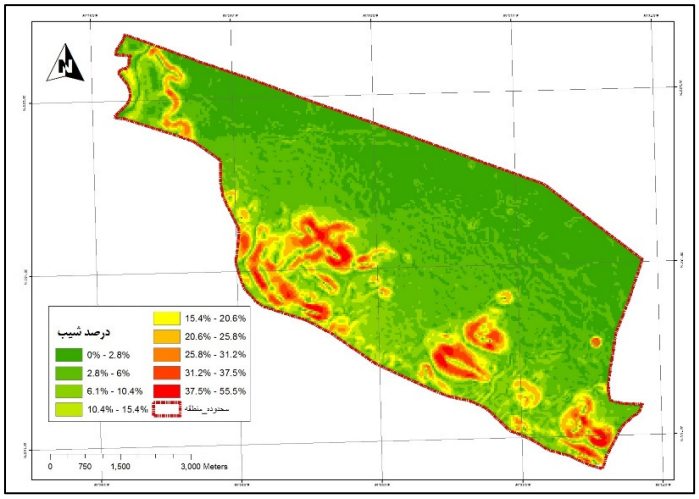
شکل ٤. تراکم جمعیت منطقه ۹ شهرداری مشهد



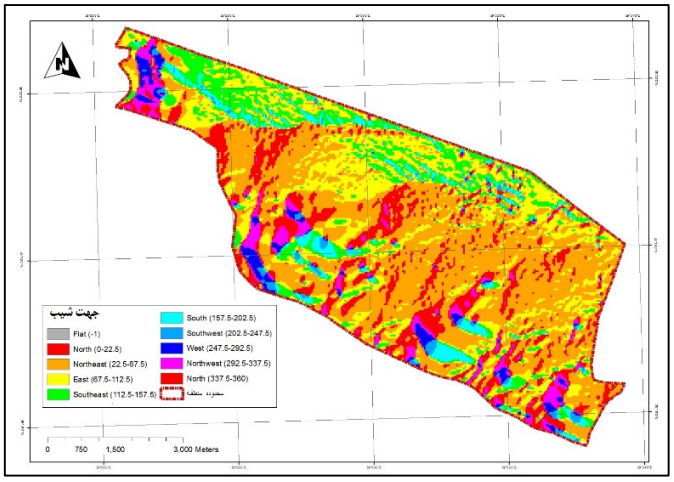
شکل ۵. طبقات ارتفاعی منطقه ۹ شهرداری مشهد



شکل ٦. مسیل‌ها و فاصله از آن‌ها در منطقه ۹ شهرداری مشهد



شکل ۷. درصد شیب در منطقه ۹ شهرداری مشهد



شکل ۸. جهت شیب در منطقه ۹ شهرداری مشهد

یافته‌ها

فرایند تحلیل سلسله مراتبی *AHP*

یکی از روش‌های ارزیابی و وزن‌دهی، روش تحلیل سلسله مراتبی است که به وسیله ساعتی (*Saaty*) در سال ۱۹۸۰ مطرح شد و با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویز این امکان را فراهم می سازد تا تصمیمات مستدل و منطقی جهت انتخاب مطلوب برای تصمیم‌گیرندگان فراهم شود (آقایی و مازیار، ۱۳۸٦) برای پهنه بندی خطر سیلاب شهری، ابتدا عوامل موثر بر شدت سیل‌خیزی شناسایی می‌شود، که هر یک از این فاکتورها از میزان اهمیت خاصی برخوردار هستند در این تحقیق فاکتورهای ارتفاع، فاصله از مسیل، تراکم جمعیتی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی به عنوان عوامل تاثیر گذار شناسایی شده‌اند. که برای بررسی اهمیت و درجه تاثیر هر یک بر وقوع سیلاب در محیط‌های شهری از فرآیند سلسله مراتبی *AHP* استفاده شده است، بدین منظور با استفاده از طراحی پرسش‌نامه محقق ساخته برای فاکتورهای درنظر گرفته شده در مقیاس ۱ تا ۹ بر حسب میزان اهمیت بر اساس جدول ۱، از متخصصین نظر سنجی شده است.

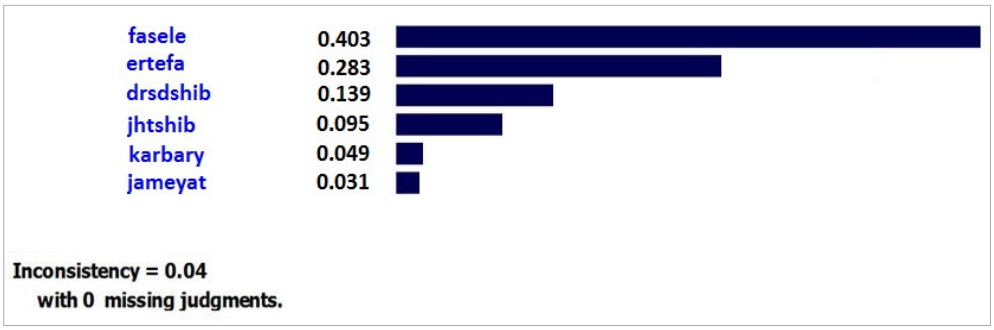
جدول ۱. نمرات مقایسه دودویی

شدت اهمیت	تعریف حدود
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا متوسط
۳	اهمیت متوسط
٤	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی
٥	اهمیت قوی
٦	اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی
۷	اهمیت خیلی قوی
۸	اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق العاده قوی
۹	اهمیت فوق العاده قوی

ماخذ: (مالچوفسکی،۱۳۸۵)

نتایج حاصل از داده‌های پرسش‌نامه‌ای در نرم افزار اکسپرت‌چویز وزن نهایی و نرمال شده (میزان اهمیت) هر یک از عوامل، در نمودار ۱ قابل مشاهده است. عامل فاصله از مسیل‌ها بیشترین امتیاز را به دست آورده است، و کمترین عامل اثرگذار عامل جمعیتی امتیاز دهی شده است.

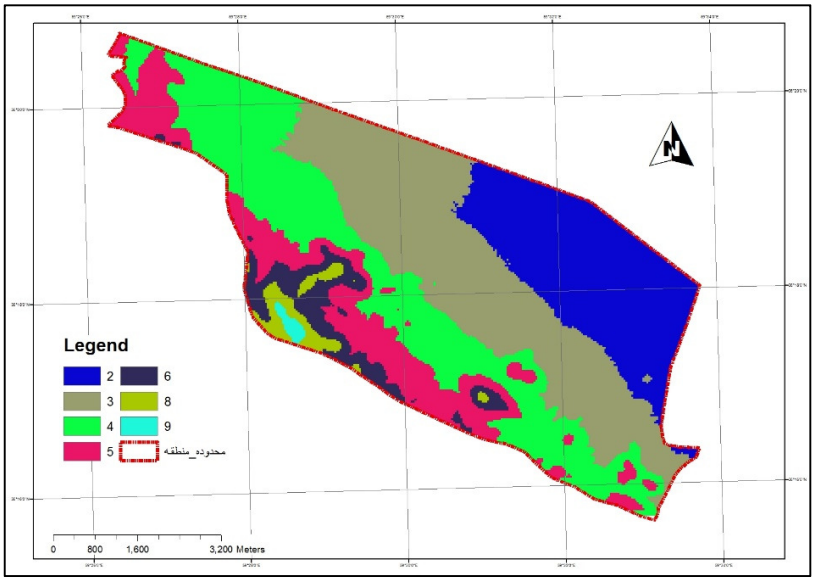
نمودار۱ . مقایسه ضریب نهایی معیارها در اکسپورت چویز



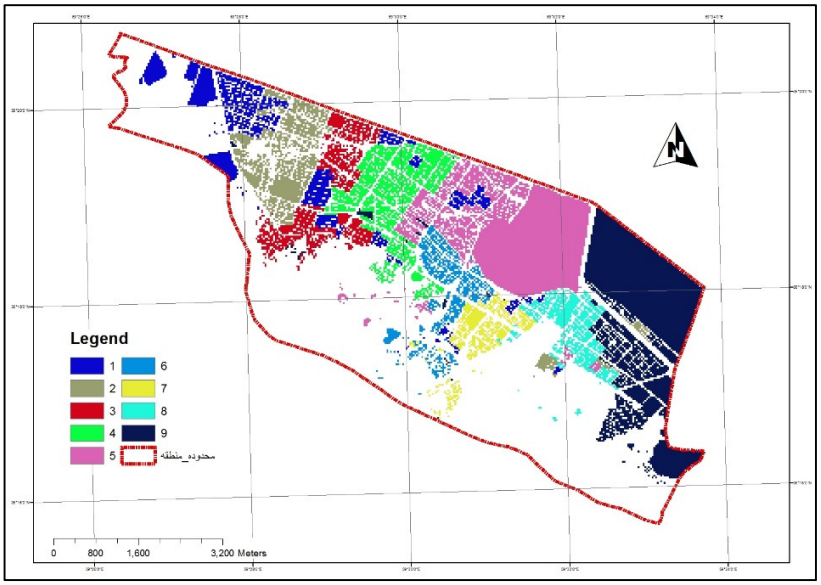
پهنه‌بندی خطر سیل

گام بعدی استاندارد سازی لایه‌های اطلاعاتی موثر بر وقع سیلاب است. در این قسمت از تحقیق هر یک از لایه‌ها بر اساس میزان تاثیری که دارند و از نتایج پرسشنامه‌ای در محاسبات نرم افزار اکسپرت‌چویز به دست آمده است با استفاده از دستور طبقه‌بندی مجدد[۱۵]ارزش‌گذاری می‌شوند. طبقه‌بندی مجدد یا تغییر در ارزش مقدار پیکسل هر رستر[۱۶]به هر یک از لایه‌های رستری فاکتورهای اصلی ارزش جدیدی در نرم افزار داده می‌شود تا در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گیرد. لایهٔ فاصله از مسیل‌ها اصلی‌ترین لایهٔ در محاسبات است، در کلاس بندی جدید این لایه مشخص می‌گردد که هر قدر فاصله از مسیل‌ها بیش‌تر شود به تعبیر دقیق‌تر از بستر و حریم سیلاب فاصله بیشتر باشد میزان خطر کاسته می‌شود. در لایه ارتفاع، هر قدر ارتفاع هر نقطه بیشتر شود، ارزش پیکسل‌ها یعنی اثرگذاری بر افزایش سیل‌خیزی بیش‌تر می‌گردد. در لایه درصد شیب، هر قدر بیشتر باشد قدرت و شدت آب در سیلاب بیشتر خواهد بود. لایه‌های کاربری اراضی و جمعیت برای سنجش اثر گذاری بر فعالیت‌های انسانی در منطقه در نظر گرفته شده است، بدین منظور هر قدر جمعیت بیش‌تری در نقطه متمرکز باشد میزان خطر و آسیب سیلاب بیش‌تر است. کاربری اراضی نیز تاثیر محیط‌های انسان ساخت را بر افزایش سیلاب مد نظر قرار می‌دهد، بدین صورت که هر کاربری با توجه به سطح اشغال و نوع استفاده از زمین امتیاز و ارزش خود را دارد. نقشه جهت شیب نیز با محل خروجی سیلاب‌ها را مشخص می‌کند و تجمع هرزآب‌ها را نشان می‌دهد که بر اساس فراوانی هر جهت جغرافیایی امتیازدهی می‌گردد. نقشه‌های استاندارد سازی خطر در شکل‌های ۱۰ تا ۱۵ مشاهده می‌گردد.

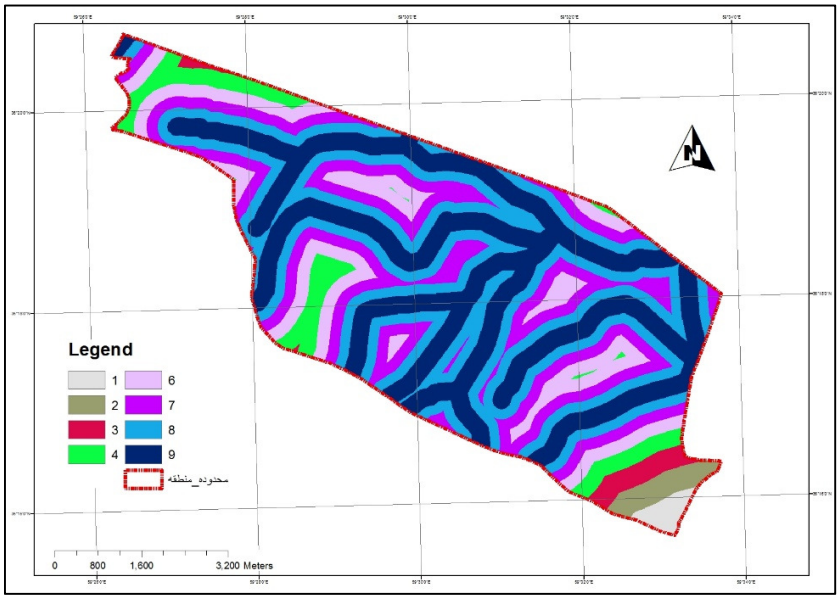
۱۵. *Reclassify*
۱۶. *Changes the values in a raster.*



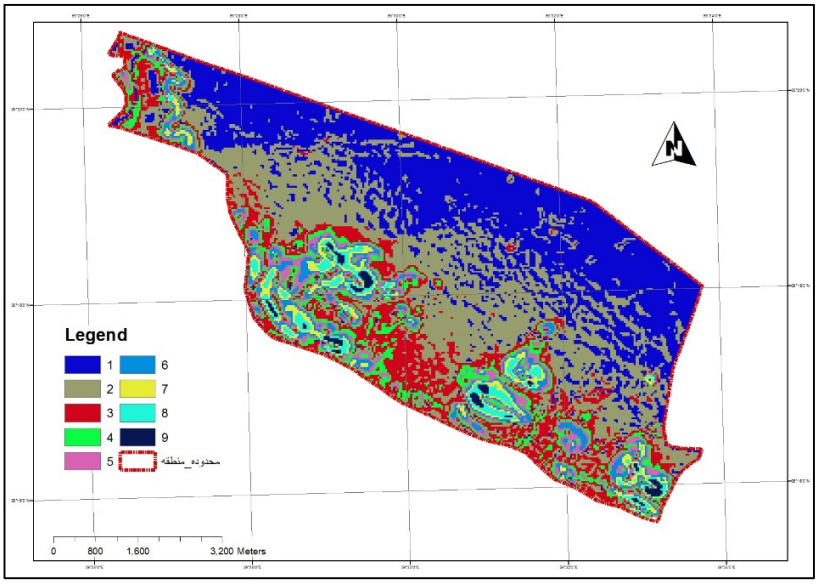
شکل۹ . نقشه استاندارد شیب



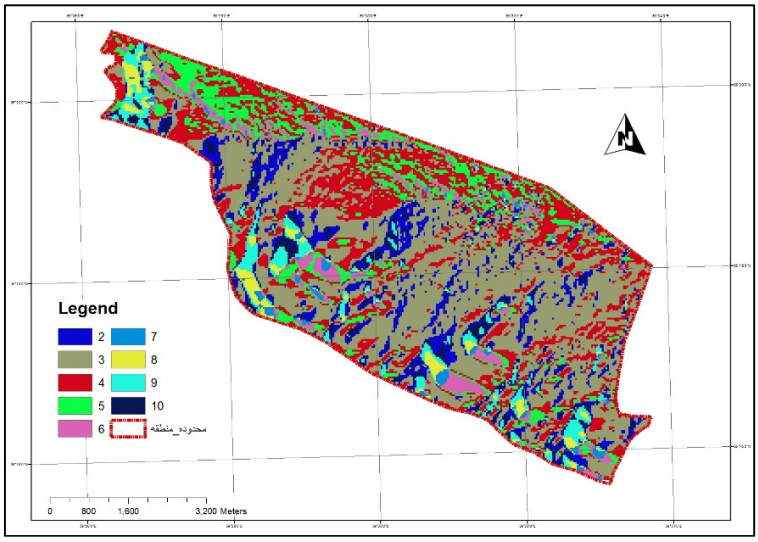
شکل ۱۰. نقشه استاندارد جمعیت



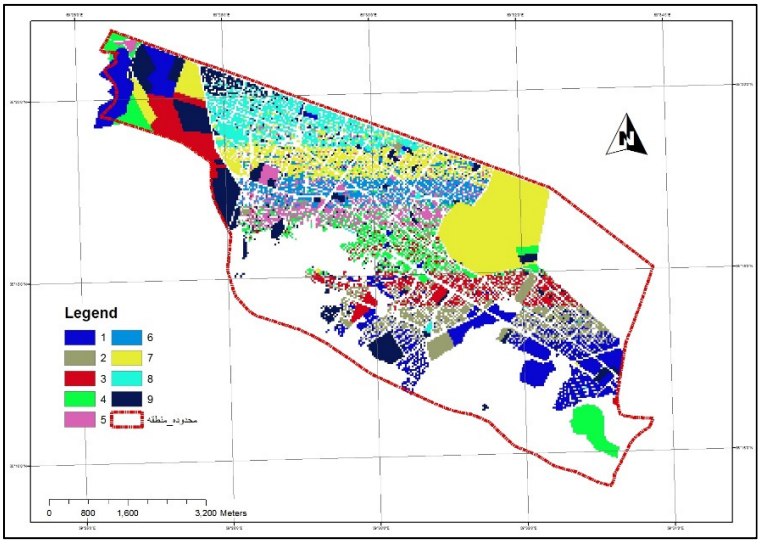
شکل ۱۱. نقشه استاندارد فاصله از مسیل



شکل ۱۲. نقشه استاندارد درصد شیب

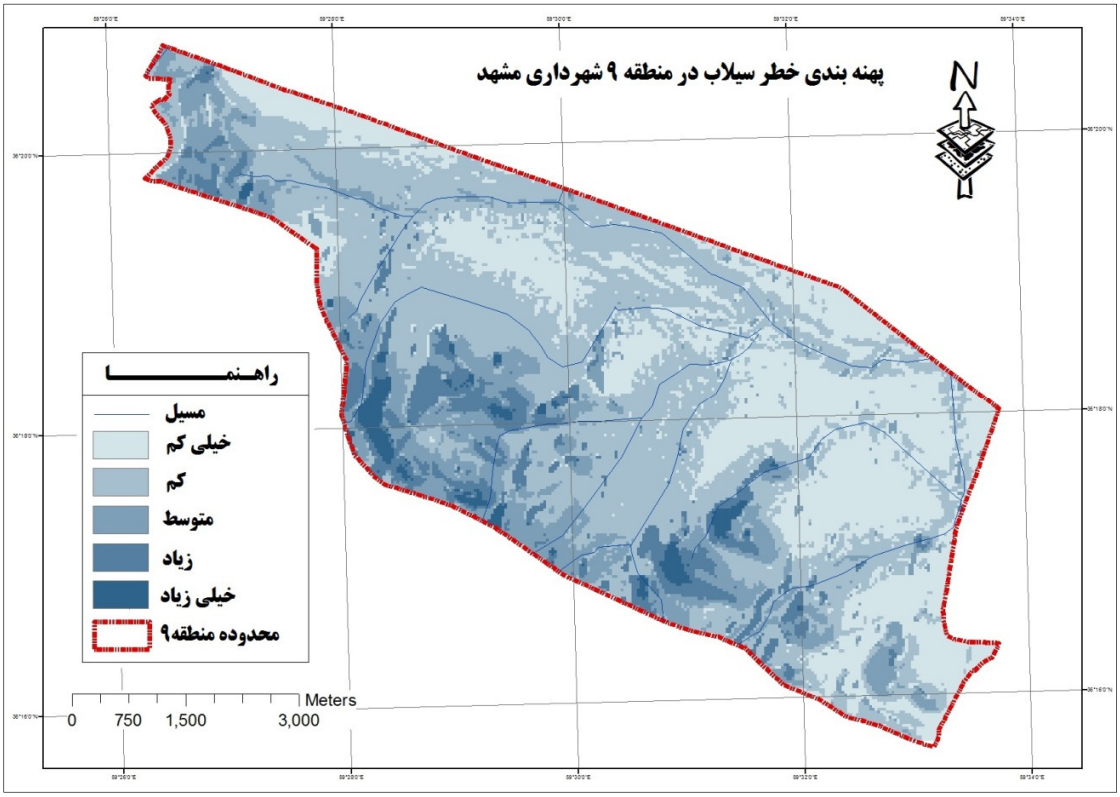


شکل۱۳ . نقشه استاندارد جهت شیب



شکل ١٤. نقشه استاندارد کاربری اراضی

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب و محاسبات آن بخش نهایی تحقیق را تشکیل می‌دهد. با استفاده از بر هم نهی لایه‌های ریکلاسیفای شده در مرحله قبل، و ضرب وزن تمام لایه‌ها با استفاده از تابع محاسبات رستری نقشه نهایی میزان خطرپذیری منطقه ۹ شهرداری مشهد به دست آمده است. هر نقطه از این نقشه مقدار پیکسلی را نشان می‌دهد که در آن احتمال وقع خطر سیلاب به چه میزان وجود دارد و خطرپذیری سیلاب شهری را نشان می‌دهد که در ۵ طیف احتمال وقع خطر آن دسته‌بندی شده است. شکل١٦ نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه ۹ شهرداری مشهد را نشان می‌دهد.



شکل (۱۵): نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه ۹ شهرداری مشهد

جدول زیر طبقات خطر در نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری را نشان می‌دهد بر اساس محاسبات ۷٤درصد از مساحت منطقه در محدوده با خطر کم و خیلی کم قرار دارد و ۲٦ درصد نیز در پهنه خطر متوسط تا خیلی زیاد واقع شده است.

جدول(۲) : طبقه‌بندی خطر و درصد مساحت هریک

طبقات خطر	دامنه تغییرات وزن‌ها	تعداد	درصد مساحت
خیلی کم	۷-۳	۱۰٦۹۱	۳۰,۷
کم	۹-۷,۱	۱۵۲۹۵	٤۳,۹
متوسط	۱۱-۹,۱	٥٤٤۳	۱٥,٦
زیاد	۱۳-۱۱,۱	۲۷٤۸	۷,۹
خیلی زیاد	۱۷-۱۳,۱	٦۹۹	۲

(یافته‌های تحقیق، ۱۳۹٦)

نتیجه‌گیری

بر اســاس نتایج این تحقیق که با هدف ارزیابی خطر ســیلاب شــهری در منطقه ۹ شــهر داری مشــهد با اســتفاده از روش *AHP* در نرم افزار اکسپرت‌چویز ، و در محیط نرم افزار *Arc GIS* با استفاده از توابع مختلف مانند فاصله اقلیدسی، طبقه‌بندی مجدد و تابع محاسبات رستری، نقشه پهنه‌بندی نهایی خطر سیلاب شهری در این منطقه به دست آمده است؛ نشان داد که درمیان عوامل موثر: ارتفاع، مسیل، تراکم جمعیتی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، در نظر گرفته شده، عامل فاصله از مسیل با ضریب وزنی۰,٤ بیش‌ترین میزان تاثیر و عامل تراکم جمعیت با ضریب۰,۰۳ کم‌ترین میزان تاثیر را داشته‌اند. هم‌چنین در نتایج نهایی تهیه نقشه خطرپذیری مشخص گردید که ۳۰,۷ درصد از مساحت منطقه در پهنه با خطر خیلی کم،٤۳,۹ درصــد از مســاحت منطقه در پهنه با خطر کم، ۱۵,٦ درصــد از مســاحت منطقه در پهنه با خطر متوسط، ۷,۹ درصد از مساحت منطقه در پهنه با خطر زیاد و ۲ درصد از مساحت منطقه در پهنه با خطر بسیار زیاد قرار گرفته اســت. به لحاظ توزیع جغرافیایی نیز بیش‌ترین خطر در جنوب و جنوب غرب منطقه۹ در دامنهٔ ارتفاعات قرار دارد، این در حالی است که بافت فرسوده این منطقه نیز در قسمت با خطر متوسط رو به بالا واقع شده است. مبتنی است راه‌کارهای مدیریتی منا سبی برای آن بخش از پهنه‌های شهر که در معرض خطر بالای سیلاب قرار دارند باید ستی اتخاذ گردد؛ مراکز خدماتی امدادی بحران مانند آتش نشانی در نزدیکی مناطق خطر بالا مکان‌یابی گردند، تو سعه شهر در این قسمت‌ها محدود شده و یا بر ا ساس ضوابطی با شد تا منتج بر تشدید سیلاب نگردد. فضاهای سبز شهری با کارکرد حفاظت از خاک و جلوگیری از ســیلاب‌های ســهمگین احداث شــود. در تحقیقات بعدی پیشــنهاد می‌شــود قطعات و بلوک‌های شهری که در حریم مسیل ها هستند شناسایی شود و متنا سب با ویژگی‌های آن‌ها، منتقل شده، تغییر یابند و سازگاری/ ناسازگاری کاربری‌ها مورد بررسی قرارگیرد.

منابع

۱. احمدزاده، حسن؛ سعیدآبادی، سعید؛ نوری، الهه(۱۳۹٤). بررسی و پهنه بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تاکید بیر سیلابهای شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو). نشریه هیدروژئومورفولوژی، بهار۱۳۹٤، سال اول، شماره ۱ صص۱-۲٤ *http://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3535_560.html*

۲. امیراحمدی، ابوالقاسم؛ بهنیانفر، ابوالفضل؛ ابراهیمی، مجید (۱۳۹۰). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعهٔ پایدار شهری. آمایش محیط، دوره۵، شماره۱٦، بهار۱۳۹۱،صص ۱۷-۲۳ *http://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=179660*

۳. آقایی، نیما؛ مازیار، محمدرضا (۱۳۸٦). تصمیم گیری منطقی با بهره گیری از نرم افزار *Expert Choice 2000* ، انتشارات اردکان دانش، اصفهان، ص٦.

٤. آمارنامه شهر مشهد (۱۳۹۵)، معاونت برنامه ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری مشهد با نظارت مدیریت آمار، تحلیل و ارزیابی عملکرد، تاریخ انتشار: آبان ماه۱۳۹٦.

۵. بهشتی راد، مسعود؛ فیض‌نیا، سادات؛ سلاجقه، علی؛ احمدی، حسن (۱۳۸۸). بررسی کارایی مدل پهنه بندی خطر زمین لغزش فاکتور اطمینان *(CF)* مطالعه موردی حوزه آبخیز معلم کلایه. جغرافیای طبیعی، پاییز ۱۳۸۸ دوره دوم، شماره۵، صص ۱۹-۲۸. *http://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=123630*

٦. حسین زاده، سیدرضا؛ جهادی طرقی، مهناز (۱۳۸٦). اثرات گستر شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری. پژوهش‌های جغرافیایی، پاییز۱۳۸٦، دوره۳۹، شماره ٦۱ صص۱٤۵-۱۵۹ *https://jrg.ut.ac.ir/article_18962.html*

۷. سپهر، عادل؛ کاویان آهنگر، راحیل (۱۳۹۳). طبقه‌بندی تحمل‌پذیری مناطق شهری کلان‌شهر مشهد به مخاطرات محیطی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس (*SIMUS*). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره نهم، بهار۱۳۹۳، صص۱۲۵-۱٤۱ *https://geoeh.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/27975*

۸. صالحی، اسماعیل؛ رفیعی، یوسف؛ فرزاد بهتاش، محمدرضا؛ آقابابایی، محمدتقی (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از *GIS* و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی موردی: شهر تهران. محیط شناسی، سال۳۹، شماره۳، پاییز۱۳۹۲، صص ۱۸۸-۱۷۹ *https://journals.ut.ac.ir/article_35901.html*

۹. طاهری بهبهانی، محمدطاهر (۱۳۷۵). سیلاب‌های شهری، تهران، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ص۵.

۱۰. قنواتی، عزتا... (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر کرج با استفاده از منطق فازی، جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره هشتم، زمستان ۱۳۹۲، صص ۱۱۳-۱۳۱ *https://geoeh.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/27924*

۱۱. مالچوفسکی، یاچک (۱۳۸۵). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، ترجمه: پرهیزگار، اکبرو عطا غفاری، تهران، سمت، ص ۲۹۸.

۱۲. موسوی، سیده معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی مقدم، حیدر؛ حسین‌زاده، سیدمحسن (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه-بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی *TOPSIS* در محیط *GIS* مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک. مجله مخاطرات طبیعی، سال۵، شماره۱۰، زمستان۱۳۹۵، صص۷۹-۹۸ *http://jneh.usb.ac.ir/article_2960.html*

۱۳. یوسفی، حسین؛ نوراللهی، یونس؛ سلطانی، کیوان؛ جوادزاده، زهرا (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر سیل و معرفی راه‌کارهای مدیریتی در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران. اکوهیدرولوژی، دورهٔ۱، شمارهٔ۳، زمستان۱۳۹۳، صص۱۸۱-۱۹۳ *https://ije.ut.ac.ir/article_54221.html*

۱٤. Armenakisac, C and Nirupama, N (2015), Flood risk mapping for the city of Toronto, Procedia Economics and Finance 18 ,2014, 320 – 326. *https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00946-0*

۱٥. Feng L.H, Lu. J., (2010), "The Practical Research on Flood Forecasting Based on Artificial Neural Networks", Expert Syst Appl37: PP. 2974–2977. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.037

۱٦. Fernández, D.S and Lutz, M.A (2010), Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, Engineering Geology 111 (2010) 90–98. *https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006*

۱۷. Lyu,H. Sun, W. Shen, Sh. Arulrajah, A (2018), Flood risk assessment in metro systems of mega-cities using a GIS-based modeling approach, Science of the Total Environment 626 (2018) 1012–۱۰۲٥. □□□□□://□□□.□□□/۱۰.۱۰۱٦/□.□□□□□□□□□□.۲۰۱۸.۰۱.۱۳۸

۱۸. Samela,C. Albano,R. Sole,A. Manfreda,S. (2018). A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 70, July 2018, Pages 43-52. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.013

۱۹. Yashon O. Ouma, and Ryutaro Tateishi (2014), Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment, Water 2014, 6, 1515-1545. https://doi.org/10.3390/w6061515