

پهنه‌بندی و تحلیل فضایی حساسیت مخاطرات چهار گانه محیطی زمین لغزش، سیل، زلزله و فرونشست موردپژوهی: مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

زهره فنی^۱

سید محمدرضا قشمی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۶/۰۴

چکیده

رفتارهای طبیعی محیط زندگی بشر در جایی که سکونتگاه‌ها بدون شناخت و مطالعه این رفتارها احداث شده، مخاطرات نام گرفته‌اند. شهر و توسعه زیرساخت‌های آن در تأمین امنیت و نیازهای گوناگون بشری از کلیدی‌ترین محورهای توسعه زندگی اجتماعی است. از سوی دیگر مطالعه انتزاعی رفتارهای طبیعت در قالب بررسی سیل، زلزله، زمین‌لغزش و فرونشست همواره تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را دشوار نموده، به‌طوری که دوری از عوامل تشدیدکننده یک مخاطره باعث نزدیکی به مخاطره دیگر شده است. یکی از روش‌های جبری مرسوم روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است که به‌عنوان یک روش ارزیابی وزنی با ترکیب فاکتورهای کمی و کیفی به ارزیابی سناریوهای مختلف و انتخاب بهترین گزینه می‌پردازد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با بررسی اثرات فاکتورهای مختلف در تقابل با یکدیگر زمینه را برای انجام تحلیل‌های مکانی کاربردی فراهم آورده است. لذا این پژوهش با هدف پهنه‌بندی جامع و یکپارچه مخاطراتی مانند سیل، زلزله، زمین‌لغزش و فرونشست، به شناخت، ارزیابی و تنظیم یافته‌ها در قالب یک نقشه جامع حساسیت این رفتارها با عنوان مخاطرات چهارگانه محیطی در محدوده مناطق بیست و دوگانه شهر تهران پرداخته است. روش تحقیق از نوع کمی-تحلیلی است و همه عوامل مؤثر در وقوع هر یک از مخاطرات شناسایی و در محیط ArcGIS رقوم‌سازی و با استفاده از روش نسبت فراوانی مدل‌سازی شده است. سپس هر یک از چهار نقشه حساسیت به روش فازی ترکیب و نقشه حساسیت نهایی در قالب پنج کلاس حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی و بصورت نقشه و جدول استخراج و ارائه شده است. نتایج نهایی این پژوهش نشان می‌دهد که از میان مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، مناطق ۱، ۳، ۱۸، ۵ و ۴ در زمینه مخاطرات چهارگانه مذکور حساسیت بالاتری نسبت به بقیه مناطق دارند و مناطق ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۷ حساسیت کمتری دارند لذا پیشنهاد می‌شود با اولویت‌بندی پهنه‌های پرخطر، فرآیند مقاوم‌سازی و استاندارد کردن تأسیسات و زیرساخت‌های موجود اجرا شود. در خصوص احداث و توسعه زیرساخت‌ها و تأسیسات جدید نیز با اعمال محدودیت یا صادر نکردن مجوز ساخت و ساز از بروز و تشدید این مخاطرات طبیعی در محدوده‌های پرخطر جلوگیری به عمل آید.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی حساسیت، زمین‌لغزش، سیلاب، زمین‌لرزه، فرونشست، مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول) z-fanni@sbu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی ghashami.rs.gis@gmail.com

۱- مقدمه

نمایش الگوی مکانی پدیده‌های طبیعی، عناصر محیطی و برخی فعالیت‌های انسانی از الزامات مطالعات علمی محسوب می‌گردد (Hong, Pradhan, Xu, & Bui, 2015). از این رو به جهت اهمیت و پیچیدگی مخاطرات محیطی تاکنون پژوهش‌های متعددی که مشخصاً بر روی یک مخاطره متمرکز است صورت گرفته است (Wang, Guo, Sawada, Lin, & Zhang, 2015). این در حالی است که یک منطقه می‌تواند از یک سو در معرض ترکیبی از مخاطرات مختلف باشد و از سوی دیگر ممکن است مشخصات بسیاری از مخاطرات و مکانیزم‌های ماشه‌ای (تحریک کننده) آن‌ها همزمان شکل گیرد. بر اساس گزارش سازمانی ایالات متحده تعدد در نقشه‌ها و تفاوت در مقیاس باعث سردرگمی برنامه‌ریزان می‌گردد در حالی که وجود نقشه ترکیبی و جامع مخاطرات از یک منطقه، ابزار مناسب و برآورد دقیقی در اختیار برنامه ریزان محیطی قرار می‌دهد (Lee, 2007). تجزیه و تحلیل مخاطرات چندگانه به جهت درگیر ساختن طیف وسیعی از داده‌ها، با ارائه مدلی واقعی‌تر از محیط طبیعی امکان دادوستدهای مدیریتی را فراهم می‌آورد. در این رابطه مطالعات مختلف متمرکز بر رویکردهای مکانی با تحلیل و آنالیز داده‌های مختلف، چگونگی گسترش ترکیبی از مخاطرات محیطی را بررسی و به تعیین سطوح خطرپذیری و آسیب‌پذیری آن‌ها پرداخته‌اند.

مطالعات پیشین با استفاده از روش‌های مختلف جبری، آماری و تجربی به برآورد مخاطرات محیطی و آنالیز پایداری پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر با توجه به توسعه روز افزون تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی روش‌های مختلف جبری، آماری و تجربی شامل مدل رگرسیون لجستیک (Althuwaynee, Pradhan, Park, & Lee, 2014)، روش منطق فازی (Shahabi, Khezri, Ahmad, & Hashim, 2014)، روش شبکه عصبی مصنوعی (Conforti, Pascale, Robustelli, & Sdao, 2014)، روش عصبی فازی (Oh & Pradhan, 2011)، روش‌های بردار مبنا (Xu, Xu, Dai, & Saraf, 2012) و روش تصمیم‌گیری درختی (Saito, Nakayama, & Matsuyama, 2014).

چشم‌انداز سطح زمین به‌عنوان سیستمی پیچیده، حاصل تعامل فاکتورهایی نظیر فرآیندهای جغرافیایی، اقلیمی، زمانی و فعالیت‌های انسانی است. رشد کالبدی، بدون رعایت اصول برنامه‌ریزی شهری و ساخت و سازهایی بدون در نظر گرفتن پتانسیل مخاطرات موجود در پهنه‌های در معرض مخاطرات طبیعی، آسیب‌پذیری و خسارت‌ها در محدوده‌های موردنظر را تشدید می‌کند. عواملی که با تغییر در چگونگی ساختار و کارکرد توپوگرافی طبیعی و ریز اقلیم، به‌ویژه در محیط‌های انسان‌ساخت، زمینه‌ساز ایجاد مخاطراتی نظیر زمین لغزش، سیلاب شهری، زمین‌لرزه و فرونشست می‌گردد (Aleotti & Chowdhury, 1999). مخاطراتی که به‌عنوان پدیده‌های طبیعی فعال در فرآیندهای جغرافیایی قبل از ظاهر شدن بر روی سطح زمین، زیستگاه‌ها و فرآیندهای نباتی موجود را در مقیاس‌های زمین‌شناسی تحت تأثیر قرار می‌دهد و در این راستا فعالیت‌های انسان به‌عنوان یک کاتالیزور سبب تسریع رخداد مخاطرات طبیعی می‌شود (San, 2014). ویژگی‌های متمایز مخاطرات طبیعی، تغییر شدت مخاطره در مکان‌های مختلف است چنان که در محیط‌های شهری فعالیت‌های انسانی با آسیب‌پذیری بیشتر در محیط، باعث تشدید مخاطره و وسعت وقوع آن می‌شود. مسائلی که در این زمینه قابل طرح و بررسی هستند عبارتند از اینکه؛ آیا فرآیند رشد و توسعه کالبدی شهر تهران با لحاظ نمودن اصول ایمنی در پهنه‌های آن رخ داده است؟ آیا در فرآیند صدور مجوزهای ساخت، ایمن بودن پهنه به لحاظ مخاطرات طبیعی مورد بررسی قرار می‌گیرد؟ چه پهنه‌هایی از شهر در معرض کدام یک از مخاطرات چهارگانه قرار دارند؟ به لحاظ پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، چه زیرساخت‌ها و تأسیسات حساس، حیاتی و مهمی در پهنه‌های پرخطر شهر قرار دارند؟

با توجه به ویژگی‌های فیزیکی، پتانسیل طبیعی و مقیاس تغییرات انسان‌ساخت، مقیاس و احتمال رخداد مخاطره متفاوت خواهد بود. در حال حاضر نقشه‌های تحلیلی با

است. لی^۳ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش سیستم استنتاج عصبی- فازی و مدل نسبت فراوانی به پیش‌بینی و اعتبارسنجی حساسیت زمین‌لغزش در کوه‌های سوراک کره جنوبی^۴ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند و اظهار داشتند که مدل انفیس با دقت ۷۵ درصد نسبت به دقت ۷۳ درصدی مدل نسبت فراوانی در این منطقه کارآیی مناسب‌تری دارد. کاوازاوغلو^۵ و همکاران (۲۰۱۵) راه‌حلی برای انتخاب مناسب‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۶ پیشنهاد نمود و نشان داد که چگونه از میان عوامل متعدد می‌توان با بررسی دقت کلی^۷ هر یک از زیرمجموعه‌ها به ترکیب پهنه‌بندی عوامل دست یافت. پورقاسمی^۸ و همکاران (۲۰۱۳) در شمال تهران برای تعیین بهترین مدل در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، تعداد ۵۲۸ زمین‌لغزش را با استفاده از ۱۲ عامل مؤثر بررسی کردند.

آن‌ها مدل‌های رگرسیون لجستیک دودویی^۹، تحلیل سلسله مراتبی و شاخص‌های آماری^{۱۰} را با یکدیگر مقایسه و نشان دادند که مدل‌های رگرسیون لجستیک دودویی با سطح زیر منحنی ۸۵/۲۰ درصد دارای دقت قابل قبولی در پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش در این منطقه دارد. زارع^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۲) در پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش در حوضه آبخیز واز ایران مقایسه‌ای بین الگوریتم‌های پرسپترون چندلایه^{۱۲} و تابع شعاع مینا^{۱۳} شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام دادند که نتایج مشخص کرد، الگوریتم‌های پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری برویدن- فلچر- گلدفراپ- شانو کارآمدی بیشتری نسبت به تابع شعاع مینا داشته و در کل مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی

(2009) جهت ارزیابی حساسیت مخاطرات محیطی و آنالیز پایداری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از روش‌های جبری مرسوم روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است که به‌عنوان یک روش ارزیابی وزنی با ترکیب فاکتورهای کمی و کیفی به ارزیابی سناریوهای مختلف و انتخاب بهترین گزینه می‌پردازد. رویکرد استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با بررسی اثرات فاکتورهای مختلف در تقابل با یکدیگر زمینه را برای انجام تحلیل‌های مکانی کاربردی فراهم آورده است. این پژوهش با هدف پهنه‌بندی جامع و یکپارچه مخاطرات طبیعی مانند سیل، زلزله، زمین‌لغزش و فرونشست، به شناخت، تنظیم و ارزیابی یافته‌ها در قالب یک نقشه جامع حساسیت این رفتارها، با عنوان مخاطرات چهارگانه محیطی در محدوده مناطق بیست و دوگانه شهر تهران پرداخته است. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از روش نسبت فراوانی (FR)، نقشه حساسیت زمین‌لغزش، سیلاب شهری، زمین‌لرزه و فرونشست و سپس با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی نقشه پهنه‌بندی مخاطرات چندگانه محیطی در محدوده شهر تهران تهیه شده است.

پژوهش‌های انجام شده پیشین به شرح ذیل می‌باشند: پرادهان^۱ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از ترکیب دو روش سیستم استنتاج عصبی- فازی و روش آنالیز وزن دهی پله‌ای نسبی^۲، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش کشور ایران را تهیه نمودند. در این روش با جمع‌آوری نظرات کارشناسان، وزن هر یک از عوامل محاسبه شد و با استفاده از محیط سامانه اطلاعات مکانی هم‌پوشانی وزن‌دار این لایه‌ها صورت گرفت و نتایج به نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش تبدیل گردید. نتایج نشان داد ۳ درصد از مساحت کل کشور در محدوده خیلی خطرناک و ۷ درصد در محدوده خطرناک، ۲۰ درصد در محدوده خطر متوسط ۳۰ درصد در محدوده کم‌خطر و ۴۰ درصد در محدوده بی‌خطر قرار گرفته

³- Lee et. al., 2015

⁴- Seorak Mountains of South Korea

⁵- Kavazoglou et. al., 2015

⁶- Genetic Algorithms (GAs)

⁷- Overall Accuracy (OA)

⁸- Pourghasemi et. al., 2013

⁹- Bilinear Logistic Regression (BLR)

¹⁰- Statistical Indices (SI)

¹¹- Zare et. al., 2012

¹²- Multi Layer Perceptron (MLP)

¹³- Radial Basic Function (RBF)

¹- Pradhan et. al., 2015

²- Stepwise Weighted Assessment Ratio Analysis (SWARA)

شایسته برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه هستند. صورت نقشه‌هایی تهیه و میزان قرارگیری هر یک از مناطق ۲۲ گانه شهری را در طبقات حساسیت مشخص می‌کند.

۲- محدوده مورد مطالعه

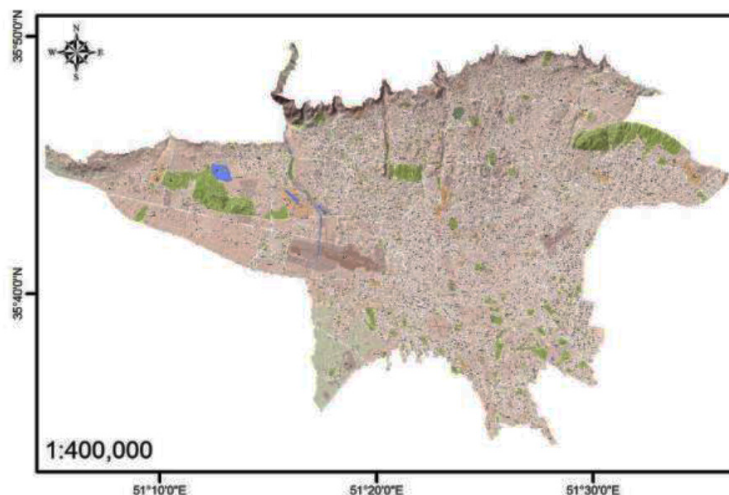
محدوده مورد مطالعه، مناطق ۲۲ گانه شهر تهران بین طول‌های جغرافیایی ۳۱° ۴' ۵۱° تا ۲۳° ۳۶' ۵۱° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۴° ۳۴' ۳۵° تا ۱۴° ۵۰' ۳۵° شمالی با مساحتی معادل ۳۰۲ کیلومتر مربع شامل تعداد ۶۴۰۰۰۳ پیکسل با ابعاد ۳۰×۳۰ متر هستند که از نظر تقسیمات کشوری جزء پهنه البرز مرکزی می‌باشند. زمین‌شناسی منطقه براساس نقشه‌های زمین‌شناسی تهران با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ شامل نهشته‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک متشکل از رخساره‌های دولومیتی، شیل‌های سیلتی، ماسه سنگ، ورقه‌های آهکی، کنگلومرا و نهشته‌های کولابی می‌باشد که در محدوده ارتفاعی ۱۰۱۴ تا ۱۸۷۰ متر واقع شده است.

۳- روش تحقیق

این پژوهش اکتشافی که با سؤالاتی در حیطه موضوع آغاز شده، در ابتدا با استفاده از روش تحقیق همبستگی دو متغیره به بررسی روابط و میزان اثرگذاری عوامل مؤثر در بروز هر یک از مخاطرات می‌پردازد و سپس با بهره‌گیری از قابلیت‌های ArcGIS پهنه‌بندی حساسیت مخاطرات را به

۳-۱- مدل نسبت فراوانی

برای ساخت یک مدل احتمالی فرض اساسی این است که وقوع مخاطره از طریق فاکتورهای مرتبط با مخاطره قابل تعیین است و مخاطرات آینده در شرایطی همسان با حوادث گذشته رخ خواهند داد (Muthu, Petrou, Tarantino, & Blonda, 2008). مطالعات نشان می‌دهد که نسبت احتمال وجود به عدم وجود هر مخاطره مانند سیلاب یا زمین لغزش می‌تواند برای ارزیابی حساسیت همان مخاطره مورد استفاده قرار گیرد (Kanungo, Arora, Gupta, & Sarkar, 2008). روش تحلیل آماری دومتغیره میزان احتمال هر متغیر مستقل از طریق رابطه آن با وقوع مخاطره تعیین می‌گردد (Bui, Chen, Ke, & Wang, Pradhan, Lofman, Revhaug, & Dick, 2012). روش نسبت فراوانی یک رابطه کمی بین رخداد‌های مخاطره و پارامترهای مختلف مرتبط می‌باشد و برای محاسبه شاخص حساسیت سیلاب (FRI) مقادیر نسبت فراوانی فاکتورهای مختلف با هم جمع می‌گردد (Conforti et al., 2014). بنابراین نسبت فراوانی برای هر کلاس پارامتر، با نسبت درصد لغزش‌ها در کلاس پارامتر به درصد مساحت در برگیرنده آن کلاس برابر است. نظر به اعمال رابطه کمی استاندارد در روش نسبت فراوانی و همچنین فرض این



نگاره ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه

رابطه با فاکتورهای دیگر در بستر یک مقیاس ۹ سطحی تعیین می‌گردد. چنانکه این مقادیر، میزان اهمیت هر فاکتور را در رابطه با دیگر فاکتورها تعیین می‌کند (Melchiorre et al., 2008). در مرحله بعد ارزش‌های عددی هر ستون از طریق تقسیم مقدار بر جمع همه مقادیر موجود در همان ستون نرمال سازی خواهند شد چنانکه جمع تمامی مقادیر برابر ۱ خواهد بود. برای جلوگیری از ورود خطاهای تصادفی در ماتریس دودویی و کنترل صحت ماتریس ایجاد شده، شاخص نسبت پایداری (Consistency Ratio) محاسبه خواهد شد و براساس روش Saaty هنگامی که میزان شاخص نسبت پایداری کمتر از ۰/۱ باشد، ضرایب وزنی محاسبه شده قابل قبول خواهند بود. در این مطالعه یک ماتریس دودویی جهت محاسبه ضرایب اهمیت حساسیت زمین لغزش، سیلاب شهری، فرونشست و لرزه ای بعنوان فاکتورهای دخیل در تهیه نقشه چندگانه مخاطرات ایجاد شده و از نرم‌افزار Expert choice برای اعمال مقایسه دودویی، استخراج ضرایب و همچنین تعیین شاخص نسبت پایداری استفاده شده است.

۴- نقشه‌های مخاطرات طبیعی

۴-۱- نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش

اساساً ناپایداری دامنه به دو عامل نیروی رانش خارجی و مقاومت مواد در برابر حرکت وابسته است. نیروی رانش خارجی شامل نیروهای ثقلی و لرزه‌ای می‌باشد در حالی که مقاومت مواد بوسیله شرایط زمین شناسی و ژئوتکنونیک کنترل می‌گردد. طبیعت ناپیوسته تغییرات درجه شیب در مکان و زمان، مشکلات شناخت عوامل ماسه‌ای دقت پهنه بندی زمین لغزش را بطور مستقیم به دقت نقشه‌های عامل وابسته می‌سازد.

۴-۱-۱- پارامترهای ورودی به مدل

الف) درجه شیب: عملکرد نیروی حاصله از شیب را می‌توان در دو گروه نیروهای پایدارساز و نیروهای ناپایدارساز دامنه

نکته که مخاطرات آینده در شرایطی همانند گذشته رخ خواهند داد، جهت تحلیل فاکتورهای دخیل در مخاطرات زمین لغزش، سیلاب شهری و فرونشست از این روش استفاده شده است.

طبق تعریف فوق رابطه ذیل برای تعیین مقدار نسبت فراوانی برای هر کلاس از هر کدام پارامترها توسعه داده شده است (Melchiorre, Matteucci, Azioni, & Zanchi, 2008).

$$Fr_i = \frac{NPix(S_i) / \sum_{i=1}^n NPix(S_i)}{NPix(N_i) / \sum_{i=1}^n NPix(N_i)} \quad (1)$$

Fr_i: مقدار نسبت فراوانی برای کلاس i ام از پارامتر NPix (S_i): تعداد پیکسل‌های لغزشی در کلاس i ام از پارامتر NPix (N_i): تعداد پیکسل‌های یک کلاس $\sum_{i=1}^n NPix (S_i)$: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه

$\sum_{i=1}^n NPix (N_i)$: تعداد کل پیکسل‌های نقشه بدیهی است که هر چند نسبت Fr_i بزرگتر از واحد باشد، رابطه بین وقوع مخاطره و آن کلاس پارامتر قوی تر خواهد بود و برعکس. چرا که بزرگتر از واحد بودن این پارامتر نمایانگر تعدد مخاطرات در مناطقی با ویژگی‌های خاص است. در نتیجه شاخص حساسیت مخاطره از مجموع مقادیر FR هر یک از عوامل مؤثر در مخاطره به دست می‌آید (Melchiorre et al., 2008).

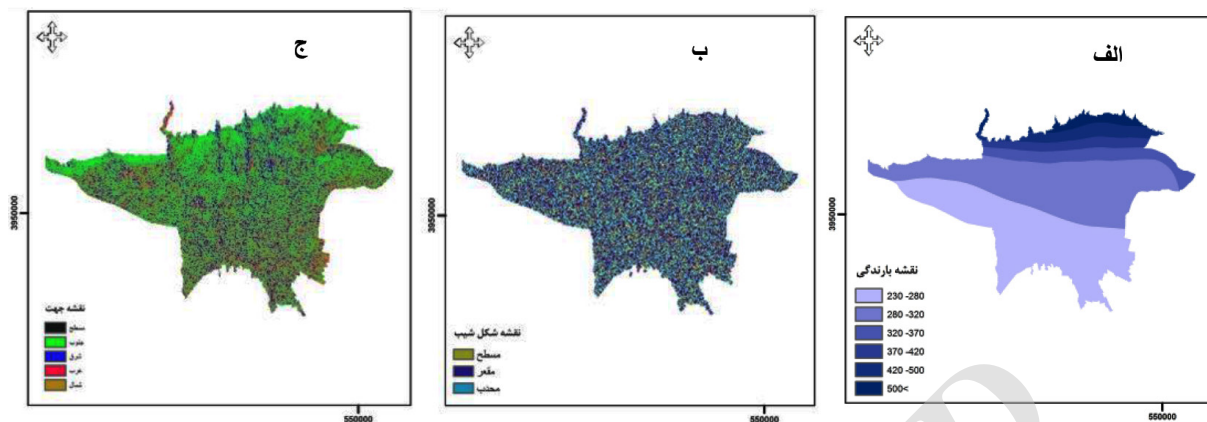
$$LSI = \sum (Fr)_i \quad (2)$$

n: تعداد لایه‌های مؤثر در وقوع مخاطره می‌باشد. (i=1,2,3,...,n)

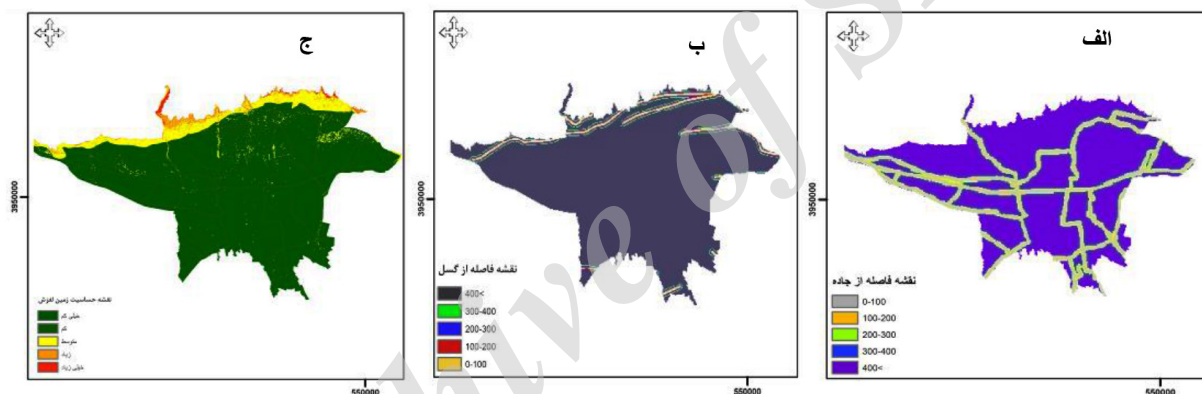
۳-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی

روش تحلیل سلسله مراتبی بر اعمال یک همبستگی خطی بر روی فاکتورهای دخیل و تعیین ضرایب وزنی هر یک از فاکتورها از طریق مقایسه دودویی ماتریسی استوار است (Chen et al., 2009).

گام نخست در این روش ایجاد ماتریس دودویی است، فرآیندی که طی آن درجه اهمیت هر یک از فاکتورها در



نگاره ۲: نقشه‌های موضوعی سه پارامتر دخیل در آنالیز زمین لغزش: بارندگی، شکل شیب، جهت شیب



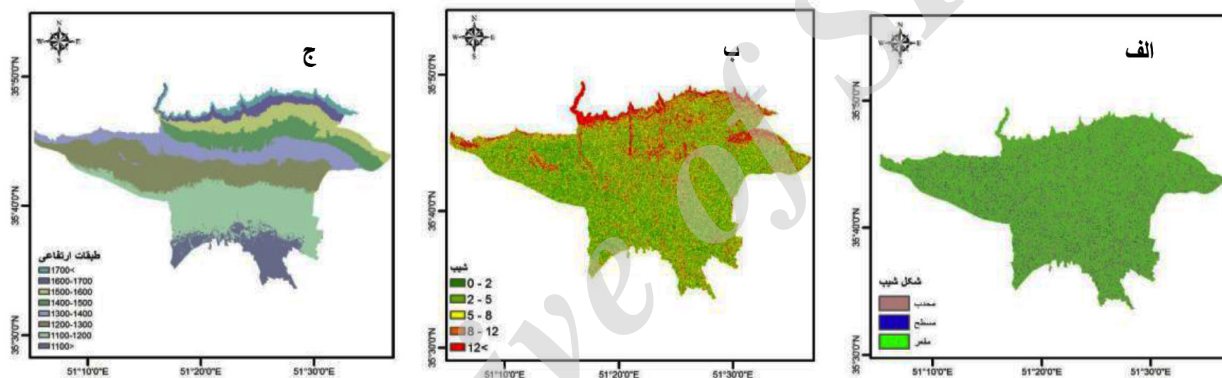
نگاره ۳: نقشه‌های موضوعی دو پارامتر دخیل در آنالیز زمین لغزش، الف: فاصله از جاده، ب: فاصله از گسل و ج: بهنه بندی حساسیت زمین لغزش

شیب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. (پ) شکل شیب: انحناى شیب بیانگر شکل توپوگرافی می‌باشد. تقعر مثبت بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن بصورت محدب (Convex)، تقعر منفی بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن بصورت مقعر (Concave) و مقدار صفر آن بیانگر سطحی است که شیب نداشته و بصورت مسطح است. (Lee, 2004) (۴) براساس DEM حاصله از تصاویر ماهواره ASTER تهیه شده است. (ت) طبقات ارتفاعی: اعمال توزیع طبقات مختلف ارتفاعی در واحد سطح، تحت عنوان نقشه‌های هیپسومترى به جهت اعمال میانگین وزنی ارتفاع، زمینه ساز دقت بالاتر نقشه

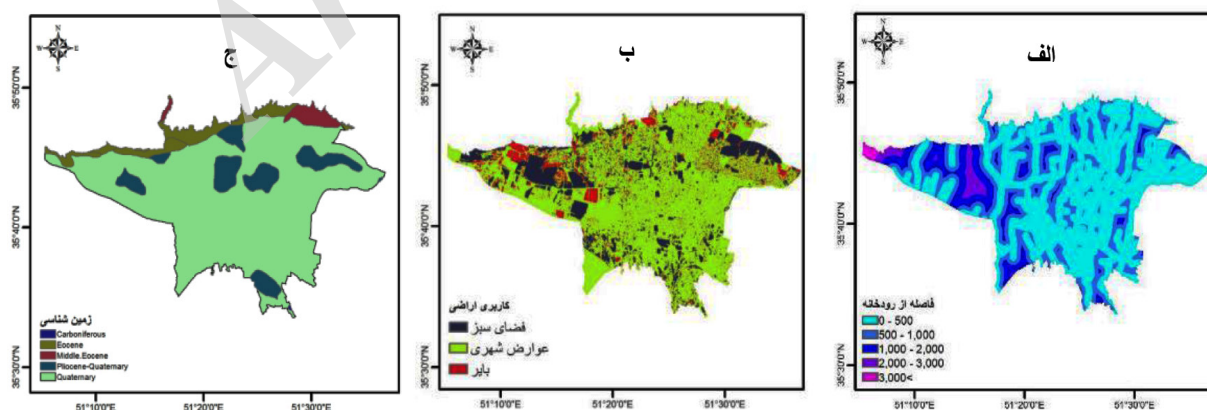
جستجو کرد، با این وجود درجه شیب عامل اصلی در ایجاد نیروی برشی و حرکات توده‌ای است. نقشه درجه شیب گستره مورد مطالعه براساس DEM حاصله از تصاویر ماهواره ASTER، و همانطور که در نگاره (۴-ب) مشاهده می‌گردد در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است. (ب) جهت شیب: جهت شیب از جمله عوامل ذاتی است که بطور غیر مستقیم منعکس کننده تأثیر لایه‌هایی مانند ضخامت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت و ... می‌باشد. هر پیکسل در نقشه جهت شیب، دارای ارزشی برابر آزمایش آن دامنه است و حداکثر میزان تغییرات در مقدار در یک منطقه به سمت پایین دامنه است. نگاره (۲-ج) نقشه جهت

پهنه‌بندی نهایی خواهد شد، بدین منظور با استفاده از لایه مدل رقومی ارتفاع، حاصله از تصاویر ماهواره ASTER، نقشه هیپسومتری تهیه و با استفاده از دستور طبقه‌بندی مجدد به کلاس‌های مشخص، نگاره (۵)، طبقه‌بندی شده است. (ث) فاصله از آبراهه: رواناب به عنوان یک عامل محرک، در وقوع زمین لغزش نقش مهم ایفا می‌کند. در نقشه حریم آبراهه، فواصل مختلف، شدت تأثیرگذاری در وقوع زمین لغزش را نشان می‌دهد. نگاره (۵) نقشه فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه است که با استفاده از روش فاصله کلیدسی و بر اساس لایه آبراهه سازمان مدیریت منابع آب

ایران در طبقات مشخص تهیه شده است. (ج) فاصله از جاده: در اکثر موارد فعالیت‌های انسانی نقش مهمی در تغییرات محیطی ایفا می‌کند از این رو احداث جاده با دگرگونی تعادل طبیعی شیب زمین منجر به ایجاد و تشدید حرکات توده‌ای می‌گردد. بر اساس مطالعات گذشته رابطه‌ای مشخص بین تعداد رخدادهای زمین لغزش و فاصله از جاده وجود دارد. نگاره (۳) نقشه طبقه‌بندی شده فاصله از جاده، تهیه شده بر اساس لایه شهرداری استان تهران می‌باشد. (چ) فاصله از گسل: وجود گسل‌های فعال، عاملی برای افزایش تعداد، تراکم، عمق درزها و شکاف‌ها در بسترهای



نگاره ۴: نقشه‌های موضوعی سه پارامتر دخیل در آنالیز زمین لغزش و سیلاب، الف: شکل شیب، ب: درجه‌ی شیب، ج: طبقات ارتفاعی



نگاره ۵: نقشه‌های موضوعی سه پارامتر دخیل در آنالیز زمین لغزش و سیلاب، الف: فاصله از رودخانه، ب: کاربری اراضی، ج: زمین شناسی

نیز در شرایطی مشابه با سیلاب‌های شهری گذشته اتفاق خواهند افتاد.

۴-۲-۱- پارامترهای ورودی

الف) طبقات ارتفاعی: ویژگی‌های توپوگرافی یک منطقه نقشی اساسی در کنترل مکانیزم وقوع سیلاب بر عهده دارند چنانکه انرژی جریان سیل و همچنین توزیع آن در مناطقی با سطوح ارتفاعی و شکل ژئومورفولوژیکی مختلف یکسان نخواهد بود. بدین منظور با استفاده از لایه مدل رقومی ارتفاع، حاصله از تصاویر ماهواره ASTER، نقشه هیپسومتری تهیه و در نگاره (۴)، طبقه بندی شده است.

ب) شیب: شیب سطح زمین به عنوان یکی از پارامترهای هندسی که سیستم جریان آب و بدنبال آن سیلاب را کنترل می‌کند بطور غیر مستقیم منعکس کننده تأثیر لایه‌هایی مانند ضخامت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت و ... می‌باشد. نگاره شماره (۴) نقشه درجه شیب گستره مورد مطالعه که نمایانگر حداکثر تغییرات در پیکسل‌های مجاور می‌باشد بر اساس تصاویر ماهواره‌ی ASTER، تهیه و در پنج کلاس طبقه‌بندی شده است.

پ) شکل شیب: انحنا شیب بیانگر شکل توپوگرافی می‌باشد. تقعر مثبت بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن بصورت محدب (Convex)، تقعر منفی بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن بصورت مقعر (Concave) و مقادیر صفر آن بیانگر سطحی است که شیب نداشته و بصورت مسطح است. نگاره (۴) نقشه طبقه‌بندی شکل شیب در گستره مورد مطالعه می‌باشد.

ت) کاربری اراضی: کاربری ارضی و چگونگی توزیع فعالیت‌های انسانی، از عوامل تأثیر گذار در نتایج تحلیل‌های مکانی می‌باشد. نقشه کاربری اراضی در گستره مورد مطالعه، براساس لایه کاربری اراضی سازمان مراتع و جنگل‌ها، در رابطه با مخاطره سیلاب در نگاره (۵) مورد بررسی قرار گرفته است.

ث) زمین‌شناسی: در برخی موارد زمین‌شناسی سطح زمین به عنوان مهمترین عامل کنترل فرآیند سیلاب در نظر گرفته

سنگی می‌باشد چنانکه امکان تغییر در چگونگی تأثیر یک یا چند فاکتور از عوامل مؤثر بر حرکات توده ای وجود دارد. در نگاره (۳-ب) گسل‌های موجود در منطقه شامل گسل‌های اصلی و فرعی، حاصله از سازمان زمین‌شناسی، جهت تعیین فواصل مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

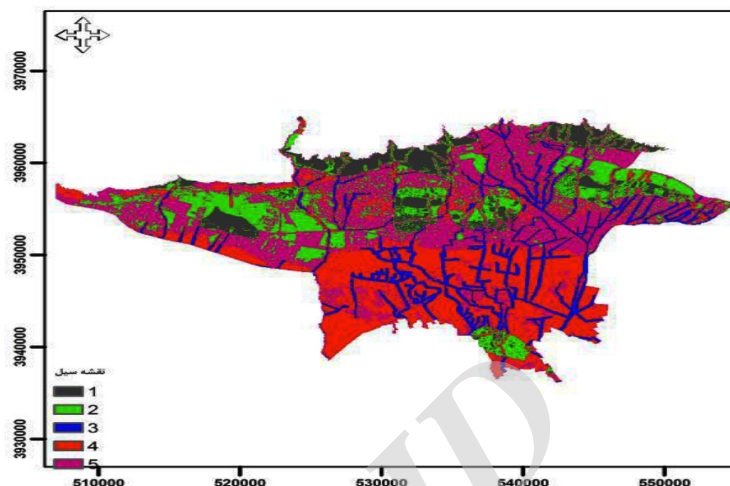
ح) زمین‌شناسی: احتمال تغییر فاکتورهای خارجی مؤثر بر مخاطره در مقیاس زمانی کوتاه مدت وجود دارد در حالی که احتمال تغییر فاکتورهای ذاتی تنها در مقیاس زمانی ژئومورفولوژی ممکن است (Ayalew & Yamagishi, 2005) تغییر در ویژگی‌های زمین‌شناسی به علت ایجاد تغییر در نفوذ پذیری و مقاومت سنگ‌ها، توزیع حرکات توده ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نگاره (۵-ج) نمایانگر نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌باشد.

خ) کاربری اراضی: اطلاع از انواع پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در قسمت‌های مختلف، به عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نقشه کاربری اراضی در گستره مورد مطالعه، براساس لایه کاربری اراضی سازمان مراتع و جنگل‌ها، در رابطه با مخاطره زمین لغزش در نگاره (۵-ب) مورد بررسی قرار گرفته است.

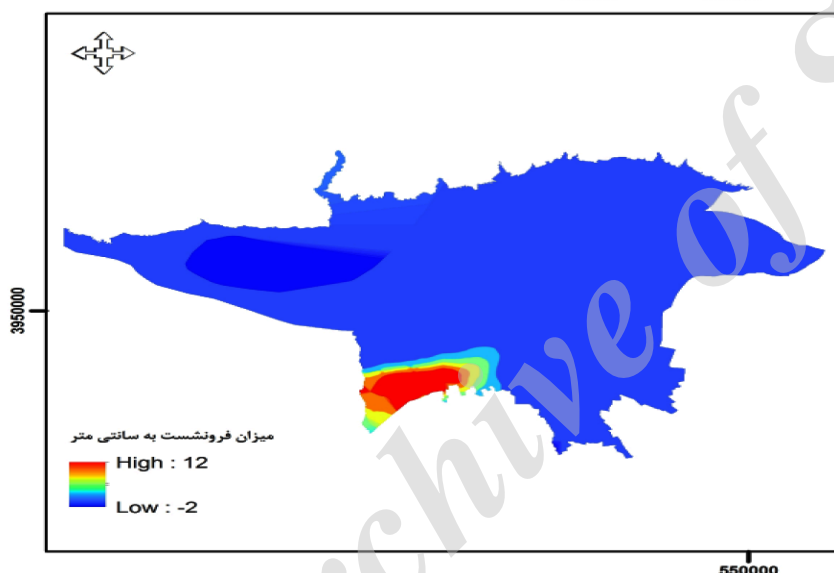
د) بارندگی: چگونگی تأثیر بارندگی در رویداد و تهیه نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش را می‌توان در میزان و شدت بارندگی جستجو کرد. نقشه همباران گستره مورد مطالعه از خطوط تراز بارش سازمان هواشناسی تهیه و در کلاس‌های مشخص در نگاره (۲-الف) خلاصه شده است.

۴-۲- نقشه پهنه‌بندی حساسیت سیلاب شهری

مخاطرات محیطی بوسیله عوامل مختلف فیزیکی و انسانی که سطح خطر و توزیع جغرافیایی آنها را تعیین می‌کنند کنترل می‌شوند. بطور کلی جهت پهنه‌بندی سیلاب شهری فرض دو اصل ضروری می‌باشد: اول آنکه وقوع سیلاب شهری بوسیله شناخت عوامل مرتبط با سیلاب قابل شناسایی می‌باشند و دوم آن که سیلاب‌های شهری آینده



نگاره ۶: نقشه پهنه‌بندی حساسیت سیلاب شهری



نگاره ۷: نقشه پهنه‌بندی فرونشست

۴-۳- نقشه پهنه‌بندی فرونشست

پدیده فرونشست ممکن است به صورت نشست تدریجی یا ناگهانی سطح زمین و به هر دو علت طبیعی یا در اثر فعالیت بشر ایجاد شود. فرونشست سطح زمین نیروی قابل توجهی است که در بسیاری از نواحی تحمل می‌شود و در صورت گسترش به ساختارهای زیربنایی موجود خسارت وارد می‌کند. فرونشست زمین ممکن است به طور کلی ناشی از دلایل عمده‌ای همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات در اثر استخراج سیالات و ذخایر زیرزمینی، بارگذاری، زهکشی و یا ارتعاش، تراکم هیدرولیکی، فرسایش مکانیکی زیرسطحی، جریان جانبی، ناپایداری خاک‌ها در سطوح شیبدار، انقباض

می‌شود. تغییر در ویژگی‌های زمین شناسی به علت ایجاد تغییر در نفوذ پذیری و مقاومت سنگ‌ها، شدت و چگونگی توزیع سیلاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نگاره (۵) نمایانگر نقشه زمین‌شناسی منطقه براساس داده‌های سازمان زمین‌شناسی کشور می‌باشد.

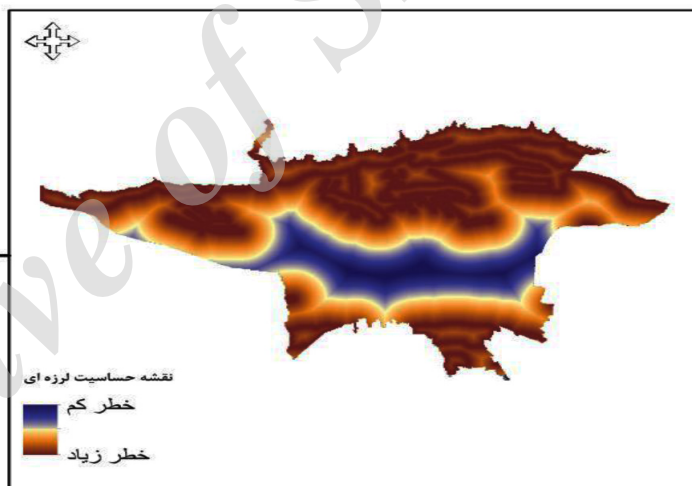
ج) فاصله از آبراهه: آبراهه‌ها بستر اولیه و اصلی حرکت سیلاب‌ها می‌باشند به گونه‌ای که در فواصل نزدیک احتمال وقوع سیلاب زیاد و در فواصل دورتر، نقش آبراهه در سیلاب کمتر می‌شود. نگاره (۵) نقشه فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه است که براساس داده‌های شرکت مدیریت منابع آب ایران در طبقات مشخص تهیه شده است.

عوامل اصلی و دخیل در وقوع فرونشست تعیین شده‌اند و در نهایت نقشه حساسیت فرونشست در منطقه مورد مطالعه (نگاره ۷) تهیه گردید.

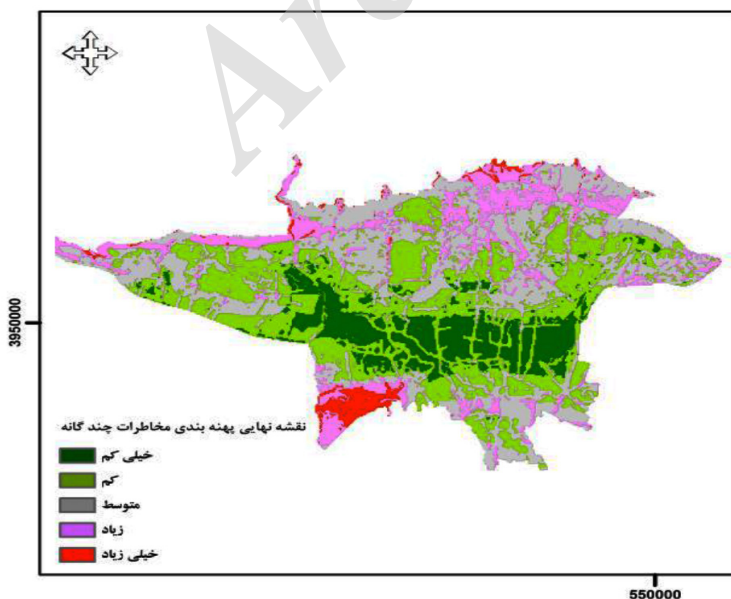
خاک‌های رسی، ذوب یخ لایه‌های منجمد در اعماق زمین و فرونشینی زمین ساختی باشد. شرایطی همچون فرآیندهای تکتونیکی رخ داده در منطقه، بارندگی، وجود عوارض توپوگرافی، نفوذ ریزش‌ها و یا رواناب‌های اسیدی، انحلال تشکیلات سطحی و وجود لایه‌های نامقاوم در تشکیلات رسوبی زیرین، منجر به توسعه پدیده‌های فرونشستی در کشور شده‌اند.

۴-۴- نقشه پهنه‌بندی حساسیت لرزه‌ای
با توجه به بررسی گسل‌ها با پتانسیل لرزه خیزی بالا به این نتیجه می‌توان رسید که بیشتر این گسل‌ها در دره‌ها و آبرفت‌های جوان قرار دارند، با توسعه شهرنشینی در این نواحی و تراکم بالای جمعیت، لزوم مطالعات لرزه خیزی بیش از پیش آشکار می‌شود. ضرورت توسعه شهرنشینی مدرن، توسعه شریان‌های حیاتی است. شریان‌های حیاتی

در مطالعه حاضر با استفاده از گردآوری اطلاعات محدوده‌های مستعد فرونشست زمین در این ناحیه مورد شناسایی قرار گرفته و براساس این مطالعات دو عامل سطح تراز آب زیرزمینی و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک به عنوان



نگاره ۸: نقشه حساسیت لرزه‌ای



نگاره ۹: نقشه نهایی پهنه بندی مخاطرات چند گانه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 پهنه‌بندی و تحلیل فضایی حساسیت مخاطرات ... / ۸۷

جدول ۱: نسبت توزیع مساحت به تفکیک پهنه‌های حساسیت مخاطرات چهارگانه در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

منطقه‌ی شهرداری	مساحت	حساسیت خیلی زیاد	حساسیت زیاد	حساسیت متوسط	حساسیت کم	حساسیت خیلی کم	کل
۱	کیلومتر	۲/۲۳۷	۱۷/۰۸۶	۱۴/۴۵۵	۰/۲۷۴	۰/۰۰۰	۳۴/۰۵۲
	درصد	۶/۵۷	۵۰/۱۸	۴۲/۴۵	۰/۸۰	۰/۰۰	۱۰۰
۲	کیلومتر	۰/۲۸۳	۴/۹۶۳	۲۱/۱۹۷	۲۲/۲۸۶	۰/۶۱۸	۴۹/۳۴۶
	درصد	۰/۵۷	۱۰/۰۶	۴۲/۹۵	۴۵/۱۶	۱/۲۵	۱۰۰
۳	کیلومتر	۰/۰۱۰	۸/۹۷۱	۱۷/۶۴۶	۲/۷۵۴	۰/۰۰۰	۲۹/۳۸۱
	درصد	۰/۰۴	۳۰/۵۳	۶۰/۰۶	۹/۳۷	۰/۰۰	۱۰۰
۴	کیلومتر	۰/۱۴۳	۱۰/۷۸۲	۳۷/۲۴۸	۲۲/۸۳۶	۱/۰۳۳	۷۱/۹۳۳
	درصد	۰/۲۰	۱۴/۹۹	۵۱/۷۸	۳۱/۶۱	۱/۴۲	۱۰۰
۵	کیلومتر	۱/۰۶۸	۹/۴۷۱	۲۸/۱۰۹	۱۴/۳۹۵	۵/۳۴۴	۵۸/۳۸۷
	درصد	۱/۸۳	۱۶/۲۲	۴۸/۱۴	۲۴/۶۵	۹/۱۵	۱۰۰
۶	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۹۴۸	۷/۵۰۶	۱۰/۹۰۶	۲/۰۸۳	۲۱/۴۴۳
	درصد	۰/۰۰	۴/۴۲	۳۵/۰۰	۵۰/۸۶	۹/۷۲	۱۰۰
۷	کیلومتر	۰/۰۰۰	۱/۸۵۵	۹/۹۸۸	۳/۵۱۴	۰/۰۱۰	۱۵/۳۶۸
	درصد	۰/۰۰	۱۲/۰۷	۶۴/۹۹	۲۲/۸۷	۰/۰۷	۱۰۰
۸	کیلومتر	۰/۰۰۰	۱/۰۲۷	۵/۰۷۶	۷/۰۱۲	۰/۱۲۵	۱۳/۲۳۹
	درصد	۰/۰۰	۷/۷۵	۳۸/۳۴	۵۲/۹۶	۰/۹۴	۱۰۰
۹	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۴۷	۷/۱۴۵	۱۲/۰۶۳	۱۹/۵۵۴
	درصد	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۸۷	۳۶/۵۴	۶۱/۶۹	۱۰۰
۱۰	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۹۷	۱/۸۴۶	۶/۱۱۷	۸/۰۶۰
	درصد	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۰	۲۲/۹۰	۷۵/۹۰	۱۰۰
۱۱	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۰۹	۳/۲۲۵	۸/۴۳۲	۱۱/۸۶۶
	درصد	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۷	۲۷/۱۸	۷۱/۰۵	۱۰۰
۱۲	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۲۹	۴/۹۳۲	۸/۰۰۰	۱۳/۵۶۰
	درصد	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۶۴	۳۶/۳۷	۵۸/۹۹	۱۰۰
۱۳	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۴۸۰	۱/۳۱۰	۸/۰۳۶	۳/۹۰۹	۱۳/۷۳۴
	درصد	۰/۰۰	۳/۵۰	۹/۵۳	۵۸/۵۱	۲۸/۴۶	۱۰۰
۱۴	کیلومتر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۳۶	۳/۱۳۶	۱۰/۷۵۳	۱۴/۵۲۵
	درصد	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۳۸	۲۱/۵۹	۷۴/۰۳	۱۰۰
۱۵	کیلومتر	۰/۰۱۰	۲/۰۵۸	۱۱/۵۷۶	۱۱/۶۴۱	۲/۹۰۲	۲۸/۱۸۷
	درصد	۰/۰۴	۷/۳۰	۴۱/۰۷	۴۱/۳۰	۱۰/۳۰	۱۰۰
۱۶	کیلومتر	۰/۰۰۰	۲/۰۱۱	۶/۳۱۹	۷/۲۶۰	۰/۸۵۹	۱۶/۴۴۹
	درصد	۰/۰۰	۱۲/۲۲	۳۸/۴۲	۴۴/۱۴	۵/۲۲	۱۰۰
۱۷	کیلومتر	۰/۰۴۰	۰/۲۸۸	۱/۹۵۷	۲/۸۵۵	۳/۱۳۵	۸/۲۷۴
	درصد	۰/۴۸	۳/۴۸	۲۳/۶۵	۳۴/۵۰	۳۷/۸۸	۱۰۰
۱۸	کیلومتر	۱۰/۷۰۹	۹/۴۹۸	۵/۴۹۰	۹/۰۰۴	۲/۸۶۲	۳۷/۵۶۲
	درصد	۲۸/۵۱	۲۵/۲۹	۱۴/۶۲	۲۳/۹۷	۷/۶۲	۱۰۰
۱۹	کیلومتر	۰/۵۶۶	۱/۳۷۷	۳/۶۳۸	۴/۹۱۱	۰/۶۳۴	۱۱/۱۲۵
	درصد	۵/۰۹	۱۲/۳۸	۳۲/۷۰	۴۴/۱۴	۵/۷۰	۱۰۰
۲۰	کیلومتر	۰/۰۰۰	۱/۵۷۰	۱۲/۰۱۱	۵/۸۴۳	۰/۰۶۹	۱۹/۴۹۳
	درصد	۰/۰۰	۸/۰۵	۶۱/۶۲	۲۹/۹۷	۰/۳۶	۱۰۰
۲۱	کیلومتر	۰/۰۰۰	۱/۶۷۸	۱۸/۷۸۷	۲۵/۶۸۶	۵/۴۹۵	۵۱/۶۴۵
	درصد	۰/۰۰	۳/۲۵	۳۶/۳۸	۴۹/۸۳	۱۰/۶۴	۱۰۰
۲۲	کیلومتر	۰/۸۱۲	۱۲/۱۷۴	۱۹/۳۴۳	۲۴/۸۱۲	۳/۶۵۸	۶۰/۷۹۹
	درصد	۱/۳۴	۲۰/۰۲	۳۱/۸۱	۴۰/۸۱	۶/۰۲	۱۰۰
کل	کیلومتر	۱۵/۸۷۸	۸۶/۲۳۷	۲۲۳/۵۷۲	۲۰۴/۲۰۷	۷۸/۰۹۱	۶۰۷/۹۸۵
	درصد	۲/۶۱	۱۴/۱۸	۳۶/۷۷	۳۳/۵۹	۱۲/۸۴	۱۰۰

به کارگیری عوامل مؤثر در وقوع هر یک از مخاطرات، نقشه نهایی با تلفیق نقشه‌های حساسیت چهار مخاطره مورد بررسی مطابق نگاره ۹ تهیه شد.

۲-۵- جدول نسبت توزیع پهنه‌های حساسیت مخاطرات چهارگانه

با بررسی نتایج حاصل از این پژوهش و تجزیه و تحلیل مساحت شهر تهران و مساحت پهنه‌های با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم ملاحظه گردید که از مجموع مساحت ۶۰۷/۹۸۵ کیلومترمربع شهر تهران در مناطق ۲۲ گانه، گستره‌ای به وسعت ۱۵/۸۷۸ کیلومترمربع در محدوده حساسیت خیلی زیاد، ۸۶/۲۳۷ کیلومترمربع در محدوده زیاد، ۲۲۳/۵۷۲ کیلومترمربع در محدوده متوسط، ۲۰۴/۲۰۷ کیلومترمربع در محدوده کم و ۷۸/۰۹۱ کیلومترمربع در محدوده خیلی کم مطابق ردیف ۲۳ جدول شماره ۱ قرار می‌گیرد. با احتساب مناطق با حساسیت خیلی زیاد و زیاد نتایج نشان می‌دهد که از میان مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، مناطق ۱، ۳، ۱۸، ۵ و ۴ در زمینه مخاطرات چهارگانه حساسیت بالاتری نسبت به بقیه مناطق دارند و مناطق ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۷ حساسیت کمتری دارند.

۶- پیشنهادها و راهبردها

با عنایت به درصد بالای وجود مخاطرات در بخش اعظمی از مناطق بیست و دو گانه شهر تهران (جدول ۱) و احتمال وقوع خسارات گسترده جانی و مالی، پیشنهاد می‌گردد فرآیند اولویت بندی، مقاوم سازی و اتخاذ راهکارها و سناریوهای مقابله با بحران‌های احتمالی برای تأسیسات و زیرساخت‌های موجود در دستور کار قرار گیرد، همچنین به کارگیری حساسیتی مضاعف در طراحی‌های شهری، احداث و توسعه زیرساخت‌ها و تأسیسات جدید و عدم ارائه مجوزهای ساخت و ساز توسط سازمان‌های ذیربط در محدوده‌های پرخطر از دیگر پیشنهادات این تحقیق می‌باشد.

به طور کلی به شش دسته سیستم‌های برق، گاز و سوخت مایع، مخابرات، حمل و نقل، تسهیلات فاضلاب و آب تقسیم می‌شود. مؤلفه مشترک و مهم این سازه‌ها خطوط لوله مدفون است.

بدین منظور معیارهای گسل‌های فعال شهر تهران، طول گسل‌ها، نوع و فعالیت گسل به‌عنوان فاکتورهای دخیل در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

با بررسی عوامل مؤثر در وقوع هر یک از مخاطرات چهارگانه محیطی در سطح مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، مؤثرترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش به ترتیب عبارتند از: درجه شیب و فاصله از جاده؛ مؤثرترین عوامل در وقوع سیل به ترتیب عبارتند از: فاصله از آبراهه و درجه شیب؛ مؤثرترین عوامل در وقوع فرونشست به ترتیب عبارتند از: میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک؛ مؤثرترین عوامل در وقوع زلزله به ترتیب عبارتند از: فاصله از گسل‌های اصلی و فرعی که طول گسل‌های اصلی و فرعی نیز شناسایی شد.

۱-۵- نقشه پهنه‌بندی مخاطرات چندگانه

به‌طور کلی شناسایی مناطق مستعد مخاطرات مهمترین ابزار تصمیم‌سازی‌های کارشناسی به منظور اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در کاهش خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی می‌باشد. بررسی مخاطرات طبیعی از یک سو به منظور شناسایی مناطق در معرض خطر و از سویی جهت شناسایی مکان‌های امن جهت توسعه زیستگاه‌ها و تأسیسات جدید الزامی می‌نماید تا از اثرات مخاطرات طبیعی که همه ساله در بیشتر استان‌های کشور موجب خسارات اقتصادی به خطوط ارتباطی، خطوط انتقال نیرو، کانال‌های آبیاری و آبرسانی و تأسیسات شهری بویژه در مناطق مختلف می‌گردد کاسته شود. در این راستا در پژوهش حاضر با

mapping using GIS. *Environmental Management*, 34(2), 223-232.

10- Lee, S. (2007). Comparison of landslide susceptibility maps generated through multiple logistic regression for three test areas in Korea. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(14), 2133-2148.

11- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., & Zanchi, A. (2008). Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology*, 94(3), 379-400.

12- Muthu, K., Petrou, M., Tarantino, C., & Blonda, P. (2008). Landslide possibility mapping using fuzzy approaches. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(4), 1253-1265.

13- Oh, H.-J., & Pradhan, B. (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers & Geosciences*, 37(9), 1264-1276.

14- Saito, H., Nakayama, D., & Matsuyama, H. (2009). Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: the Akaishi Mountains, Japan. *Geomorphology*, 109(3), 108-121.

15- San, B. T. (2014). An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: the Candir catchment area (western Antalya, Turkey). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 399-412.

16- Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B. B., & Hashim, M. (2014). Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena*, 115, 55-70.

17- Wang, L.-J., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., & Zhang, J. (2015). Landslide susceptibility mapping in Mizunami City, Japan: A comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models. *Catena*, 135, 271-282.

18- Xu, C., Xu, X., Dai, F., & Saraf, A. K. (2012). Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Computers & Geosciences*, 46, 317-329.

۷- منابع و مأخذ

1- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.

2- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H.-J., & Lee, J. H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114, 21-36.

3- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1), 15-31.

4- Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B. (2012). Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology*, 171, 12-29.

5- Chen, C.-H., Ke, C.-C., & Wang, C.-L. (2009). A back-propagation network for the assessment of susceptibility to rock slope failure in the eastern portion of the Southern Cross-Island Highway in Taiwan. *Environmental Geology*, 57(4), 723-733.

6- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., & Sdao, F. (2014). Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena*, 113, 236-250.

7- Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., & Bui, D. T. (2015). Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines. *Catena*, 133, 266-281.

8- Kanungo, D., Arora, M., Gupta, R., & Sarkar, S. (2008). Landslide risk assessment using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas. *Landslides*, 5(4), 407-416.

9- Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility