مدلسازی مکانی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای شهری با تاکید بر تاثیر سفره آب زیرزمینی با استفاده از تئوری مجموعه های راف

یاسمن اسدی[۱]، نجمه نیسانی سامانی*[۲]، مجید کیاورز مقدم[۲]، عطا عبداللهی[۲]، میثم ارگانی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
yasaman.asadi7174@gmail.com

[۲]استادیار دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
{*nneysani, kiavarz.majid, a.akakroodi, argany}@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۷، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۷)

چکیده

تهران به عنوان پایتخت و مرکز تجمع سرمایه های مادی و معنوی کشور بر اساس نقشه پهنه بندی خطر لرزه ، در پهنه خطر بسیار زیاد و در معرض خطر شدید زلزله می باشد. علاوه بر وجود ساختمانهای قدیمی و ناپایدار در تهران، مسئله مهم دیگری که این شهر را در برابر زلزله بسیار آسیب پذیر نموده، پدیده روانگرایی است که به علت بالا بودن سطح تراز آبهای زیرزمینی در برخی از مناطق صورت می گیرد. از آنجایی که بیشتر خاک های شهر تهران از نوع آبرفتی و ماسه ای می باشد در اثر زمین لرزه، ساختمانی که حتی بر اثر نیروی افقی زلزله خراب نمی شود واژگون خواهد شد. هدف از این تحقیق مدلسازی مکانی آسیب پذیری لرزه ای با در نظر گرفتن تاثیر عمق سطح آبهای زیرزمینی و تعیین معیارهای تاثیر گذار در آسیب پذیری لرزه ای (عوامل زمینی و زیرزمینی) و عوامل انسانی می باشد. تعیین مکان و میزان آسیب پذیری نسبت به خطرات زلزله، به دلیل وابسته بودنش به پارامترهای مختلف و نظرات کارشناسان با عدم قطعیت هایی همراه است در این مقاله جهت بهینه سازی اطلاعات اولیه و تعیین قوانین تصمیم گیری و حصول نتایج با دقت نسبتا بالا در شرایط عدم قطعیت، از روش ریاضی مجموعه های زبر (راف) استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق مناطق ۱۱،۱۶،۲۰ شهر تهران می باشد. در این تحقیق آسیب پذیری به پنج طبقه بسیار زیاد، زیاد ، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم شده است. نتایج پژوهش نشان می دهد با توجه به اینکه از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه عمق سطح آبهای زیرزمینی کاهش یافته با افزودن این پارامتر، میزان آسیب پذیری از شمال به جنوب منطقه افزایش یافته و درجه آسیب پذیری زیاد و بسیار زیاد به آن اختصاص یافته است.

واژگان کلیدی: مدلسازی، آسیب پذیری لرزه ای، روانگرایی، عمق سطح آب زیرزمینی، مدل راف

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

شهر ها در طول تاریخ هیچگاه از آسیب حوادث طبیعی و انسان ساخت در امان نبوده اند. یکی ازموضوعاتی که بیشتر، بویژه سکونتگاههای انسانی شهرهای بزرگ جهان با آن مواجه هستند، موضوع مخاطرات طبیعی است زلزله همه ساله خسارت های جانی و مالی فراوانی را در نقاط مختلف جهان به وجود می آورد [۱]. از آنجا که ایران جز مناطق لرزه خیز دنیا به شمار می رود لزوم مقابله با این پدیده بشدت احساس می شود[۲]. با توجه به اینکه در ساخت سازه‌های تهران قبل از سال۱۳۹۰ضوابط و معیارهای مهندسی، برای مقاومت در مقابل زمین‌لرزه مورد توجه قرار نگرفته رویداد زمین‌لرزه در تهران، که عمده امکانات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی کشوری در آن متمرکزشده.، باعث ایجاد فجایع غیرقابل جبرانی می شود که تاثیرات آن سالها باقی می ماند[۳] . یکی از اثرات ثانویه زلزله روانگرایی[۱] است[۴]. در اثر روانگرایی آسیب جدی به بسیاری از سازه ها، بخصوص ساختمانها و مناطق مسکونی وارد می شود [۵]. علاوه بر کیفیت پایین ساختمان‌ها، قرار گرفتن تهران روی گسل‌های مهم و همچنین وجود پدیده روانگرایی[۶] براثر زلزله به علت بالا بودن سطح آب [۷] در برخی مناطق جنوب تهران باعث تشدید آسیب‌پذیری مناطق شهری در مقابل زلزله می‌شود[۸] . بیشتر خاک‌های سطح تهران از نوع آبرفتی و ماسه‌ای می‌باشند، از این رو به علت عدم وجود کانال‌های فاضلاب و بالا آمدن سطح آب[۹] بخصوص در بخش جنوب منطقه مورد مطالعه لایه‌ای سست، ماسه‌ای و اشباع از آب را تشکیل می دهد که براثر زلزله این لایه حالت خمیری گرفته و ساختمانی را که حتی براثر نیروی افقی زلزله خراب نمی‌شود را در خود فرو برده یا کج می‌کند[۸].

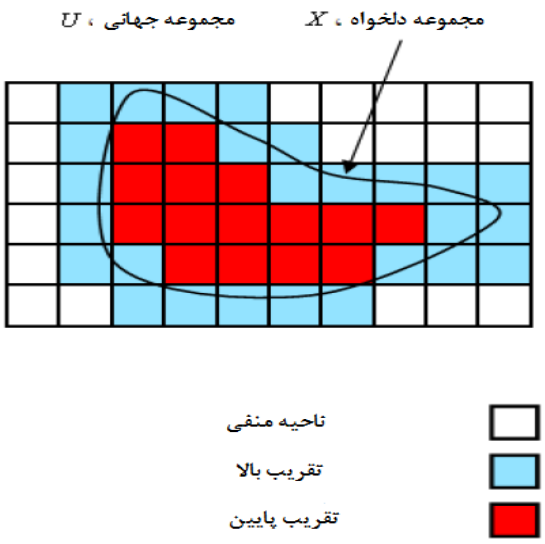
مطالعات بسیاری پیرامون آسیب پذیری ساختمانها صورت گرفته که در ادامه به بررسی مطالعات انجام شده می‌پردازیم. کریم زاده و همکاران در روشی مبتنی بر GIS[۲] به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و تلفات انسانی ناشی از زلزله در شهر تبریزپرداخته است. در ابتدا پارامترهای دقیق زمین‌شناسی، جغرافیایی، ژئوتکنیک و ژئودتیک با استفاده از روش سلسله مراتبی ترکیب شده و زلزله نزدیک زمین و در مقیاس ۷ ریشتر در ناحیه شمال تبریز شبیه‌سازی‌شده است [۱۰]. رحمان و همکاران با تهیه نقشه آسیب‌پذیری مبتنی بر مدلهای مکانی به بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر دهاکای بنگلادش پرداختند و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مقابل زلزله را بر اساس شکل ساختمان، قدمت و تعداد طبقات و همچنین تراکم جمعیت مورد بررسی قراردادند. همچنین در این تحقیق، آسیب‌پذیری مرکب (CVS)[۳] بر اساس فرمول ترکیبی از نتیجه (آسیب پذیری فیزیکی) PVC[۴] و آسیب‌پذیری اجتماعی به دست آمد [۱۱]. یاسودا و هاشیموتو در مقاله‌ای به بررسی صدمات ناشی از روانگرایی در مناطق مسکونی در طول زلزله بزرگ ژاپن در سال ۲۰۱۱ پرداختند، و الگوی بهبود زمین در مناطق آسیب‌دیده و اثرات کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در آسیب به خانه‌های مسکونی را مورد بررسی قراردادند [۶]. آقا طاهر و همکاران به وزن دهی فاکتورهای موثر در آسیب پذیری شهر تهران پرداخت و آسیب پذیری شهر تهران را برای سناریوی فعال شدن گسل ری مورد بررسی قرارداد [۱۲]. صمدی علی نیا (۱۳۸۹) نقشه آسیب پذیری فیزیکی شهر تهران را در دو محدوده مطالعاتی ، محدوده کل شهر تهران و مرکز و جنوب شهر تهران، با لحاظ نمودن وضعیت سطح آب زیرزمینی و با استفاده از تئوری محاسبات دانه ای تهیه و مورد بررسی قرار داده است[۱۳]. موسوی و همکاران با استفاده از معیارهای فاصله از گسل، طول گسل و ویژگی های زمین لرزه مانند بزرگای زمین لرزه ، ساختارهای زمین شناسی، و عمق آب زیرزمینی به ارزیابی خطر زمین لرزه در شهر ایذه با استفاده از مدل های چند معیاری WLC[۵] و AHP[۶] در محیط GIS پرداختند[۱۴]. لعلی نیت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS به تهیه و تلفیق نقشه آسیب‌پذیری مناطق ۳ و۶و ۱۱ تهران پرداخته است و عوامل مختلف مؤثر در پهنه‌بندی ریسک‌پذیری را مورد بررسی قرار داده است[۱۵]. اسفندیاری درآباد و همکاران به مدلسازی ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از

۱ Liquefaction
۲ Geographic Information System
۳ Composite Vulnerability Score
٤ Physical Vulnerability Score
٥ Weighted Linear Combination
٦ Analytic Hierarchy Process

روش تاپسیس[1] در محیط GIS پرداخته و تاثیر عوامل زیرزمینی مانند شتاب، عمق سطح ایستایی، خاک و زمین شناسی همچنین تاثیرعوامل ساختمانی را مورد بررسی قرارداده است. [۱۶]. در جمع‌بندی مطالعات گذشته پیرامون آسیب‌پذیری، به نقش تغییرات عمق سطح آب‌های زیرزمینی کمتر توجه شده است. بنابراین ما در این مطالعه سعی کرده‌ایم که علاوه بر در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر آسیب‌پذیری (عوامل زمینی و زیرزمینی)، پارامتر سطح آب زیرزمینی و اثرات آن بر روانگرایی و آسیب‌پذیر بودن ساختمان ها را مورد بررسی قرار دهیم. هدف اصلی این مطالعه تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای شهری در سه منطقه از شهر تهران و بررسی تاثیرسطح آبهای زیرزمینی با استفاده از دو دسته پارامتر فیزیکی (همراه با عوامل زیر زمینی و بدون عوامل زیرزمینی) و پارامتر انسانی می باشد. در تهیه نقشه آسیب پذیری استفاده از نظریه مجموعه مبنا برای مدلسازی عدم قطعیت و استخراج قواعد تصمیم گیری با کمک مدل و معیارهای مورد استفاده، در راستای برنامه ریزی صحیح و از پیش اندیشه برای کاهش آسیب پذیری احتمالی بوده است. یکی دیگر از اهداف مورد نظر در این مطالعه حل شدن مشکل و نقص روش های دیگر در قطعی فرض کردن مرزهاست که در مدل مجموعه زبر با استفاده از مفهوم تقریبات بالایی و پایینی در محاسبات زبر ، صورت گرفته است [۱۷]. این روش با پردازش داده ها و حذف پارامترهای زائد کوتاهترین الگوریتم تصمیم گیری را به دست می دهد علت برگزیدن و انتخاب این روش سادگی آن و کاربرد آن درکاهش حجم اطلاعات با حذف پارامترهای غیرضروری می باشد[۱۸] . در این پژوهش پس از آماده سازی معیارها و همچنین نوشتن قواعد تصمیم گیری به کمک مدل ریاضی مجموعه مبنا برای هریک از عوامل ساختمانی ، زیرزمینی و انسانی و تلفیق آنها نقشه نهایی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای شهری تهیه شده است.

۲- تئوری تقریب مجموعه ها

این نظریه یک ابزار ریاضی قدرتمند برای مقابله با ابهامات و عدم قطعیت ها به شمار می رود. مفهوم نظریه مجموعه مبنا بر اساس این فرض بنا شده که هر عضو موجود در مجموعه جهانی (U) شامل اطلاعات مشخصی بوده (داده ها ، دانشها)، که این اطلاعات با برخی از صفات (Q) توصیف است. هر زیر مجموعه X از مجموعه جهانی ممکن است بر حسب این مجموعه های اولیه (به عنوان اجتماعی از مجموعه های اولیه) به صورت دقیق یا تقریبی بیان شود. مجموعه X ممکن است توسط دو مجموعه عادی ، به نام تقریبهای پایین و بالا مشخص گردند



شکل ۱- مجموعه تقریب مجموعه دلخواه X در U

طبق رابطه ۱ تقریب پایین X تشکیل شده است از تمام مجموعه های اولیه به طور کامل در X شامل (بنابراین قطعا متعلق به X می باشند)

$$P(X)=\{x\in U: I_P(x)\subseteq X\} \qquad (۱)$$

که در آن I_P نشان دهنده رابطه تشابه در U با توجه به اینکه $P\subseteq Q$ زیرمجموعه ناتهی از ویژگی ها و $I_P(x)=\{y\in U: y I_P(x)\}$ کلاسهای هم ارزی از $x\in U$ می باشند. بر اساس رابطه ۲ تقریب بالایی X عبارت است از تمام مجموعه های اولیه که اشتراک ناتهی با X دارند(که عناصر x ممکن است متعلق به x باشند)

$$P(X)=\{x\in U: I_P(x)\cap X\neq\varnothing\} \qquad (۲)$$

تفاوت بین تقریبهای بالا و پایین نواحی مرزی مجموعه مبنا را مشخص می کند، که عناصر آن را با اطلاعات موجود نمی توان به قطعیت به عنوان عناصر متعلق به x و یا غیر متعلق به آن دسته بندی نمود. بنابراین اطلاعات و

[1] Topsis

دانش موجود در مورد اشیاء موجود در ناحیه مرزی ناسازگار و ضد و نقیض و یا مبهم می باشد به همین دلیل، تعداد عناصر ناحیه مرزی را می توان به عنوان معیار سنجش میزان ابهام اطلاعات موجود در مورد X در نظر گرفت. دقت تقریب مجموعه X به طوری که $\varnothing \neq X \subseteq U$ برحسب ویژگیهای P به صورت نسبت زیر در رابطه ۳ بیان می گردد.

$$\alpha_{p(X)} = \frac{\left|\overline{P(X)}\right|}{\left|\underline{P(X)}\right|} \qquad (۳)$$

در نتیجه $0 \leq \alpha P(x) \leq 1$ چنانچه $\alpha P(x) = 1$ باشد X مجموعه معمولی (دقیق) نسبت P به می باشد و اگر $\alpha P(x) < 1$ ، X مجموعه غیر دقیق (مبنا) نسبت به P به شمار می رود.

۳- روش پیشنهادی

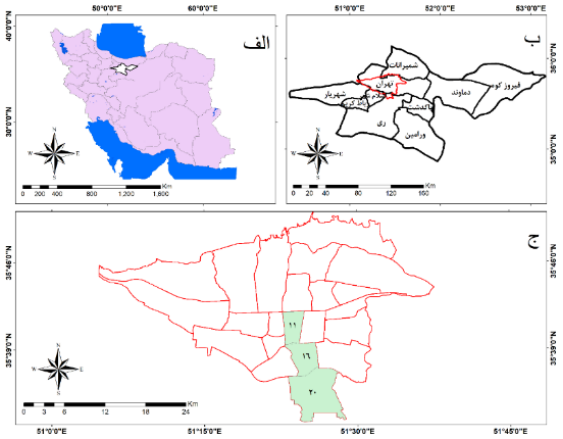
تاکنون روش های مختلفی جهت مدیریت عدم قطعیت-های موجود در مسئله تعیین آسیب پذیری لرزه ای ارائه شده است و هر کدام، جنبه های مختلفی از عدم قطعیت در پارامترهای مهندسی و تصمیم گیری را مدیریت می کنند از جمله این روش ها، تئوری مجموعه های زبر است که یکی از مناسب ترین روشهای تصمیم گیری در شرایط عدم قطعیت می باشد و از روابط غیر قابل تفکیک پذیری و تقریبات بالایی و پائینی یک مفهوم، جهت استخراج قوانین کلاسه بندی استفاده می کند. در این پژوهش برای بررسی عدم قطعیت از تئوری مجموعه های زبر (تئوری راف ست) در تعیین پهنه بندی لرزه ای ساختمانهای شهری سه منطقه از شهر تهران با در نظر گرفتن عوامل انسانی، عوامل زمینی و زیرزمینی با تاکید بر سطح آب های زیرزمینی استفاده شده است و بدین ترتیب آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای شهری مدلسازی شده است.

۳-۱- داده های مورد استفاده

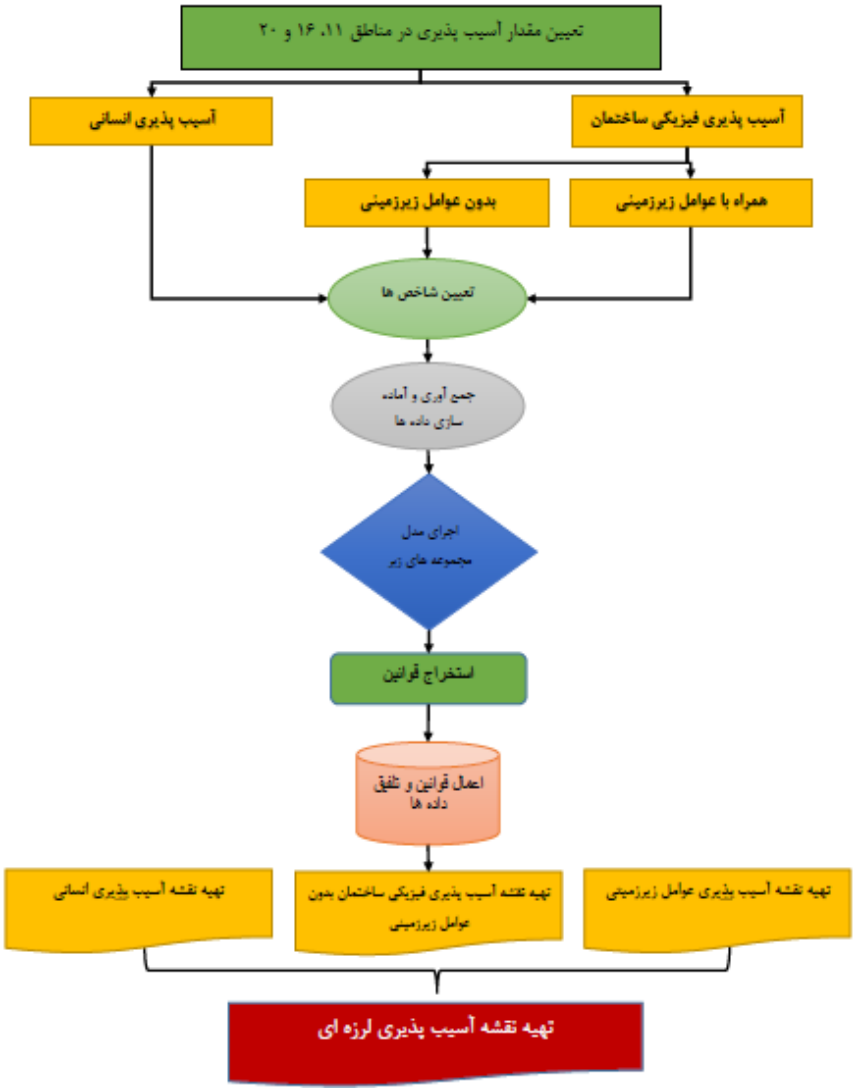
به منظور تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه ای با تاکید بر سطح سفره های آب زیرزمینی ابتدا سه نوع مختلف از معیارهای مرتبط با آسیب پذیری ساختمان با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و اسنادی و نظرات کارشناسان استخراج شد. لایه های اطلاعاتی حجیمی که در این تحقیق استفاده شده اند، از سازمان های مسکن و شهرسازی، سازمان ژئوفیزیک، سازمان زمین شناسی و سازمان نقشه برداری همچنین مرکز آمار و مرکز مطالعات آب ایران تهیه شده اند. داده های مورد استفاده در این پژوهش از نظر ساختاری به دو دسته مکانی و غیر مکانی یا توصیفی تقسیم می شوند (جدول۱). شاخص ها تعیین و جمع آوری شده سپس آماده سازی داده ها صورت گرفت و به تعداد معیارها بر اساس نوع شاخص (زمینی، زیرزمینی، انسانی) ۱۵ نقشه خروجی تهیه شد (اشکال۶و۵و۴) سپس برای اعمال مدل ریاضی مجموعه مبنا برای هر سه بخش، قوانین مجزا نوشته شد. بطور کلی ۲۵ قانون استخراج شده و قوانین صحیح جداسازی شد پس از اعمال قوانین و تلفیق داده های مورد استفاده بر اساس قوانین صحیح استخراج شده ، ۳ نقشه خروجی حاصل شد که از تلفیق این نقشه ها به روش راف نقشه نهایی آسیب پذیری لرزه ای سه منطقه از تهران تهیه شده است (شکل ۲).

۳-۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در این پژوهش مناطق یازده، شانزده و بیست شهرداری تهران است. علت انتخاب این سه منطقه از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران گسترش طولی آن‌ها در جهت شمالی - جنوبی شهر می‌باشد تا یک نمای کلی از آسیب پذیری شهری شهر تهران بدست آید و همچنین با توجه به تغییرات ارتفاع آب بین مناطق شمالی و جنوبی متغیر است این مناطق انتخاب شده است.



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- روش پژوهش

۳-۳- معیارهای آسیب پذیری

قبل از تهیه و آماده سازی لایه های مختلف باید معیارها شناسایی ،کلاس های آسیب پذیری تعیین و مرز کلاسها مشخص شود (جدول۱). در این مقاله محصول نهایی نظرات کارشناسی ۱۷ شاخص آسیب پذیری برای مدلسازی آسیب پذیری ساختمانها در نظر گرفته شد. ۱۰ شاخص از عوامل آسیب پذیری فیزیکی ساختمانی شامل: نوع مصالح ساختمانی،شدت زلزله، شیب، قدمت بنا، فاصله ازکانون زلزله، مساحت بنا، تعداد طبقات و عرض معبر، ارتفاع، تراکم ساختمان و ۳ شاخص از عوامل فیزیکی زیرزمینی شامل: جنس خاک، زمین شناسی، عمق سطح آب زیرزمینی۴ شاخص از عوامل انسانی شامل: تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالمند، تراکم جمعیت خردسال، آسیب پذیری فیزیکی ساختمانهای مسکونی می باشد (جدول ۱).

جدول۱- شاخص های آسیب پذیری ساختمان، طبقه بندی و امتیاز آسیب پذیری مربوط به هر طبقه

شاخص آسیب پذیری	کلاس آسیب پذیری	مرز کلاس
شدت زلزله (مرکالی)	۱	۷/۲۸-۷/۷۰
	۲	۷/۷۰-۷/۹۸
	۳	۷/۹۷-۸/۲۸
	۴	۸/۲۷-۸/۹۷
فاصله از کانون زلزله (متر)	۱	۰-۱۴۱۲
	۲	۱۴۱۳-۳۰۵۳
	۳	۳۰۵۴-۴۸۸۵
	۴	۴۸۸۶-۷۱۷۵
	۵	۷۱۷۶-۹۶۹۴
شیب (درجه)	۱	۰-۰,۷۲
	۲	۰,۷۳-۱,۵۱
	۳	۱,۵۲-۴,۳۹
	۴	۴,۴-۱۰,۲۳
	۵	۱۰,۲۴-۱۸,۳۸

آب زیرزمینی (متر)	۵	۱۱-۱۹
	۴	۲۰-۳۰
	۳	۳۱-۴۶
	۲	۴۷-۶۲
	۱	۶۳-۸۵
ارتفاع	۱	۱۰۲۴-۱۰۵۶
	۲	۱۰۵۷-۱۰,۸۵
	۳	۱۰۸۶-۱۱۲۰
	۴	۱۱۲۱-۱۱۶۱
	۵	۱۱۶۲-۱۲۱۵
عرض معبر	۵	۱-۸
	۴	۹-۱۵
	۳	۱۶-۲۵
	۲	۲۶-۴۰
	۱	۴۱-۱۲۰
تعداد طبقات	۵	بیشتر از ۱۶ طبقه
	۴	بین ۱۱ تا ۱۵ طبقه
	۳	بین ۶ تا ۱۰ طبقه
	۲	بین ۳ تا ۵ طبقه
	۱	کمتر از ۳ طبقه
قدمت ساختمان	۴	بیشتر از ۲۵ سال
	۳	بین ۱۶ تا ۲۵ سال
	۲	بین ۵ تا ۱۵ سال
	۱	کمتر از ۵ سال
نوع مصالح ساختمان	۵	سایر
	۴	بلوک سیمانی
	۳	آجر وآهن
	۲	فلزی و بتنی
	۱	بتن آرمه
تراکم جمعیت	۵	بیشتر از ۵۹۸۰ نفر
	۴	۲۴۸۶-۵۹۸۰
	۳	۹۴۹-۲۴۸۶
	۲	۲۲۸-۹۴۹
	۱	کمتر از ۲۲۸ نفر
تراکم ساختمانی	۵	بیشتراز ۸۸۳
	۴	۳۹۹-۸۸۳
	۳	۱۹۹-۳۹۹
	۲	۸۸-۱۹۹
	۱	کمتر از ۸۸
زمین شناسی	۴	آبرفت رودخانه ای
	۳	آبرفت رودخانه ای قدیمی
	۲	آهک توده ای
	۱	آهک خاکستری تیره

جنس خاک	۴	خاک رس
	۳	خاک ماسه ای و رسی
	۲	خاک ماسه ای
	۱	خاک شنی
مساحت ساختمان	۳	کمتراز۲۰۰ مترمربع
	۲	۲۰۰ تا ۵۰۰ مترمربع
	۱	بیشتر از ۵۰۰ مترمربع
تراکم جمعیت کودک (کمتر از ۱۴ سال)	۵	۱۹۷۵-۶۴۵
	۴	۶۴۵-۲۹۴
	۳	۲۹۴-۱۳۹
	۲	۱۳۹-۷۲
	۱	کمتر از ۷۲
تراکم جمعیت سالمند (بالای ۶۵ سال)	۵	بیشتر از ۱۳۶
	۴	۱۳۶-۷۵
	۳	۷۵-۴۵
	۲	۴۵-۱۹
	۱	کمتر از ۱۹

۳-۳-۱- شاخص های آسیب پذیری فیزیکی با عوامل ساختمانی

" مصالح ساختمان " تاثیر مهمی در چگونگی پایداری ساختمانها می گذارد. با وجود مصالح مقاومتر درصد آسیب پذیری کمتر خواهد شد. "تراکم ساختمان " درصدی از مساحت زمین است که به صورت عمودی برای ساختمان سازی استفاده می شود و با بیشترشدن آن، احتمال تخریب و آسیب پذیری بیشتر می شود[۱۹]. شاخص مهم دیگر" مساحت ساختمان" در نظر گرفته شده زیرا آسیب پذیری در ساختمانهای کوچکتر به علت خرد شدن، فضای باز و کاسته شدن فضای مفید و امن برای کمک رسانی نسبت به ساختمانهای بزرگ بیشتر است .یکی دیگر از شاخصهای آسیب پذیری در نظر گرفته شده "عرض معابر" است که هرچه عرض کوچکتر باشد احتمال آسیب پذیری بیشتر خواهد بود زیرا با آوار شدن در خیابان عملیات کمک رسانی به سختی صورت می گیرد [۲۰]. شاخص مهم بعدی" تعداد طبقات ساختمان " می باشد که معادل با ارتفاع ساختمان است، اگر افزایش ارتفاع ساختمانها با اصول ایمنی همراه نباشد آسیب پذیری را بالا خواهد برد، چون در این صورت عملیات تخلیه، جستجو،کمک رسانی به سختی انجام می

شود. شاخص دیگری که در این مدلسازی در نظر گرفته شده " قدمت ساختمان" است، عملا بناهایی که قدمت بیشتری دارند از خطر تخریب بیشتری برخوردارند. "فاصله از نقطه کانونی زلزله "نیز شاخص مهم دیگری که در اسیب پذیری اثر گذار است بدین صورت که هرچه به کانون زلزله نزدیک باشیم آسیب پذیری بیشتر و بلعکس خواهد بود. ارتفاع و ناهمواری نیز رابطه مستقیم با آسیب پدیری دارد و با افزایش ارتفاع آسیب پذیری بیشتر خواهد بود[۲۱]. مهمترین و آخرین شاخص آسیب پذیری فیزیکی "شدت زلزله" است شدت یک زمین لرزه در یک مکان خاص بر اساس اثرهای قابل مشاهده زمین لرزه در آن مکان تعیین می شود مقیاسهای مختلفی برای تعیین شدت زمین لرزه همانند مقیاس مرکالی اصلاح شده وجود دارد [۲۲]. برای تعیین شدت زمین لرزه در محل شهر یا ساختگاه رابطه ۴ مورد استفاده قرار می گیرد در این رابطه IR: شدت زمین لرزه در محل سازه در مقیاس مرکالی، I_0: شدت زمین لرزه در محل کانون زمین لرزه درمقیاس مرکالی و R: فاصله کانونی بر حسب کیلومتر است.

$$I_R = I_0 + 6/453 - ./00121(R) - 4/960\log(R+20) \qquad (۴)$$

۳-۳-۲- شاخص های آسیب پذیری فیزیکی با عوامل زیر زمینی

در این بخش، به معرفی شاخص های تاثیرگذار بر آسیب پذیری که در تعیین آسیب پذیری فیزیکی ساختمان های شهر تهران موثر می باشد می پردازیم. در این مقاله همان طور که قبلاً گفته شد، به منظور استفاده از پارامتر عمق آب زیرزمینی و تهیه نقشه آسیب پذیری این پارامتر در کنار پارامترهای دیگرآسیب پذیری با عوامل زیرزمینی مورد بررسی قرار می گیرد. سه مجموعه پارامتر مختلف جهت تهیه نقشه آسیب پذیری فیزیکی با عوامل زیرزمینی در محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است که به ترتیب توضیح داده خواهند شد. "جنس خاک" شهر تهران بر روی رسوبات آبرفتی جوان بنا شده است که از نظر تشدید، روانگرایی و دیگر پدیده های زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است.ثابت شده است که در بیشتر موارد، خسارت ایجاد شده در خاک های نرم ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از مناطق سنگی سخت مجاور است[۲۳]. به عبارتی پتانسیل روانگرای هر لایه خاکی با ترکیبی از ویژگی های خاک، عوامل محیطی و ویژگی های زلزله محتمل کنترل می شود. از جمله عواملی که در ارزیابی پتانسیل روانگرایی باید در نظر گرفته شود، شامل: ویژگی های خاک از قبیل ساختار خاک، ویژگی های دانه بندی و دانه ها، عوامل محیطی از قبیل نحوه تشکیل خاک می باشد[۲۴] ."زمین شناسی"بیشتر متخصصان معتقدند که خسارت های وارده بر ساختمان ها به طور چشمگیری بستگی به ساخت زمین محل سازه دارد[۲۵] . در بافت نرم تکانها و شتاب بعدی، امواج ارتعاشی را خیلی بیشتر می کند و این بر میزان آسیب پذیری بسیار تاثیر گذار است بدین صورت که سازندهای جدید و یا به عبارت دیگر سازندهای نرم مثل سیلت ها آسیب پذیری بیشتری نسبت به سازندهای سخت همچون کنگلومرا[۱] و ماسه سنگ خواهند داشت[۲۶]. "عمق سطح ایستایی"توجه به عمق سطح ایستایی برای پهنه بندی مناطق در برابر خطر زلزله و تاثیر مشترک آب و خاک در بررسی مسائل ژئوتکنیک و توان باربری خاک، حائز اهمیت ویژه است. اگرچه در خا کهایی با دانه بندی پیوسته، وجود آب در خاک به خودی خود کم اهمیت است، اما در بعضی از لایه های خاک، درصد بسیاری از مواد ریز دانه به خصوص ذرات رس دیده می شود که وجود آب در این لایه ها، عامل مهمی در تقلیل خصوصیات مکانیکی خاک و کاهش توان باربری و افزایش نشست خاک تحت بارگذاری است. از این رو بررسی اثرات توأم آب و خاک در نقاطی با سطح آب زیرزمینی نسبتا بالا، لازم وضروری است[۲۷].

۳-۳-۳- شاخص های آسیب پذیری انسانی

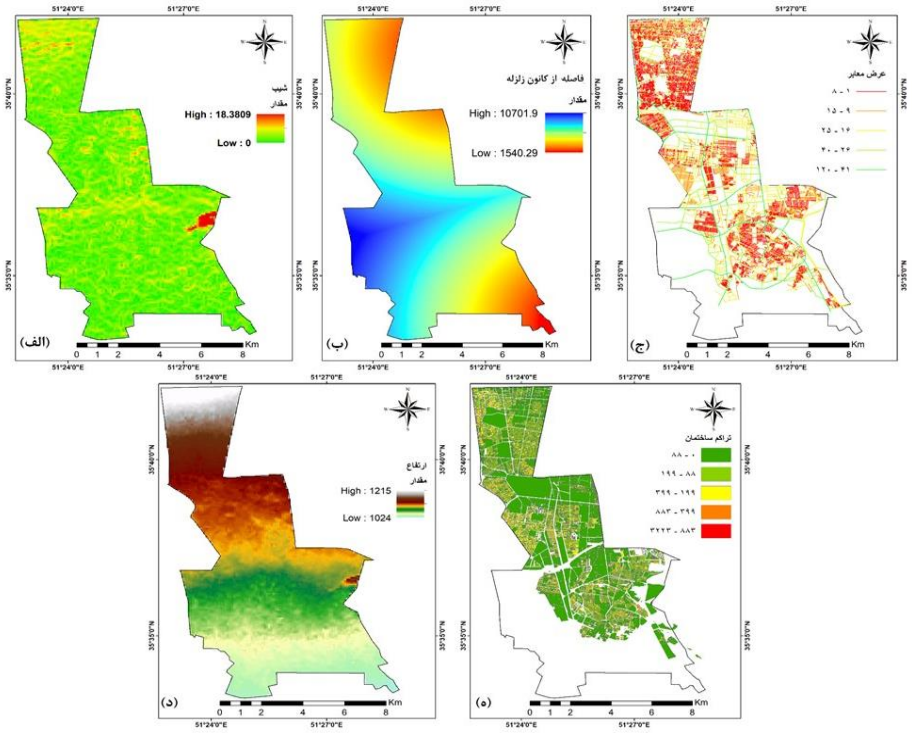
در رابطه با آسیب پذیری فیزیکی ساختمان قبلا توضیح داده شده است. نتایج حاصل از آسیب پذیری فیزیکی یکی از شاخص های ورودی آسیب پذیری انسانی خواهد بود. بنابراین به سایر شاخص ها پرداخته می شود. "تراکم جمعیت" هرچقدر میزان تراکم جمعیت بیشتر باشد تعداد تلفات هنگام وقوع زلزله بیشتر خواهد بود، عملیات کمک رسانی سخت تر و تخلیه ساختمانها زمانبرترخواهد بود. در خصوص میزان آسیب پذیری افراد در اثر زمین لرزه ترکیب سنی جمعیت اعم از کودک و سالمند مطرح می باشد. جمعیت زیر ۱۴ سال و بالای ۶۵ سال جمعیت آسیب پذیر در هنگام وقوع زمین لرزه در نظر گرفته شده است [۱۵].

---

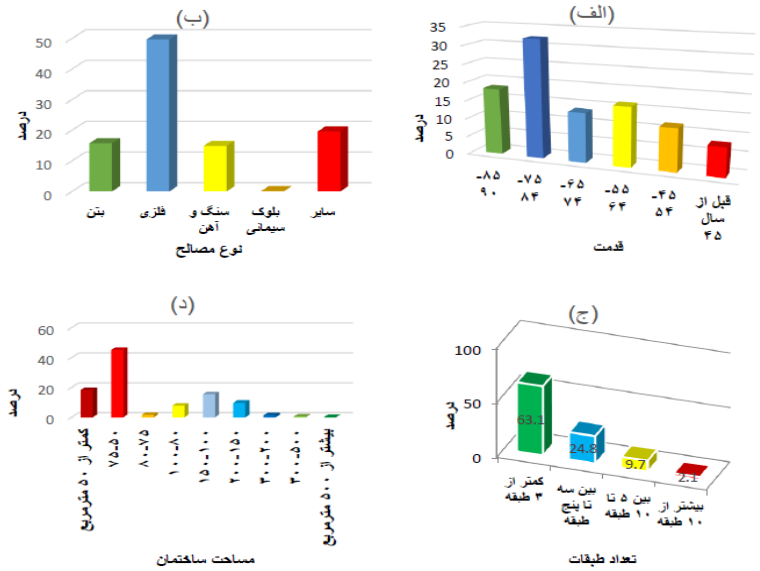
۱ سنگ جوش

۴- پیاده سازی

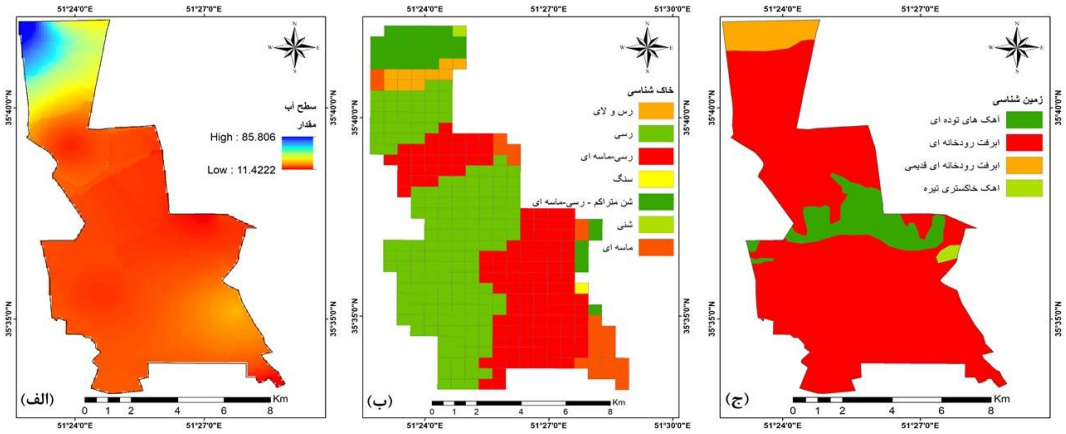
با توجه به اینکه آسیب پذیری تابع چندین شاخص می باشد و با توجه به ماهیت مکانی شاخص ها برای پیاده سازی مدل پیشنهادی از نرم افزار ArcGIS استفاده شده است. بر این اساس در مرحله اول با مطالعات کتابخانه ای و اسنادی و با استفاده از نظرات کارشناسان مجموعه معیارهای مورد نیاز انتخاب شده و سپس کلیه معیارها در سه دسته عوامل زیرزمینی، عوامل انسانی و پارامترهای ساختمانی تقسیم بندی شده است، عملیات استاندارد سازی برای دستیابی به مقیاس مشترک بر روی تمامی لایه ها انجام شده است، در ادامه تمامی لایه ها براساس دستوری خاص در محیط نرم افزار ArcGIS به رستر تبدیل شدند. به منظور انجام عملیات مربوط به روش ریاضی تئوری مجموعه زبر، قوانین مربوط به هر یک از سناریوها نوشته و قوانین مورد نیاز و صحیح استخراج شده و با استفاده از نرم افزار ArcGIS بر روی لایه ها اعمال شده است. ۱۵ نقشه معیار در سه نوع مختلف شامل عوامل ساختمانی، زیرزمینی و انسانی استخراج شد (اشکال ۷و۶و۵و۴).



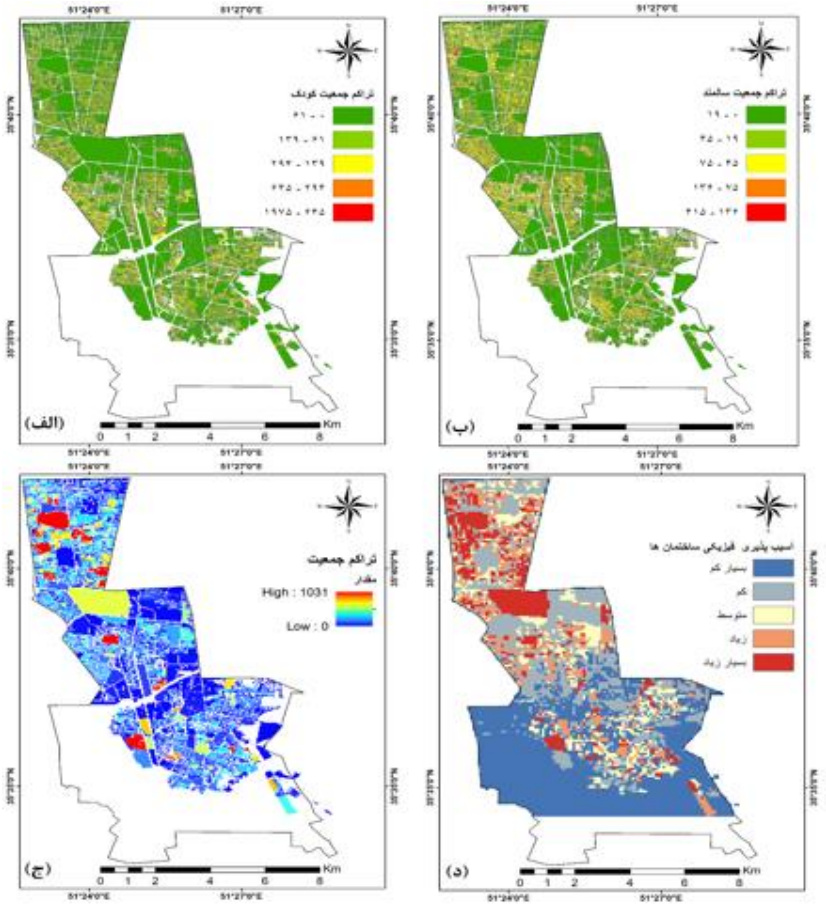
شکل ۴- نقشه طبقه بندی ساختمانها متناسب با عوامل ساختمانی



شکل ۵- نمودار طبقه بندی ساختمانها متناسب با عوامل ساختمانی



شکل ۶- نقشه طبقه بندی ساختمانها متناسب با عوامل زیرزمینی



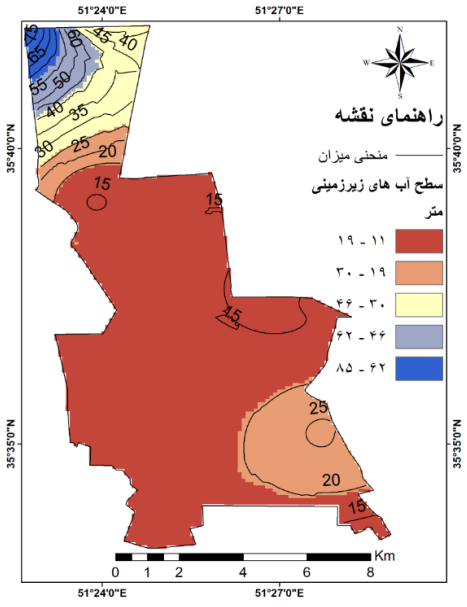
شکل۷- نقشه طبقه بندی ساختمانها متناسب با عوامل انسانی

پس از تهیه نقشه های معیار در سه بخش متفاوت و تلفیق آنها بر اساس قوانین استخراج شده در نهایت نتایج آسیب پذیری در ۵ کلاس طبقه بندی شد.

۴-۱- نتایج پیاده سازی و تحلیل آن

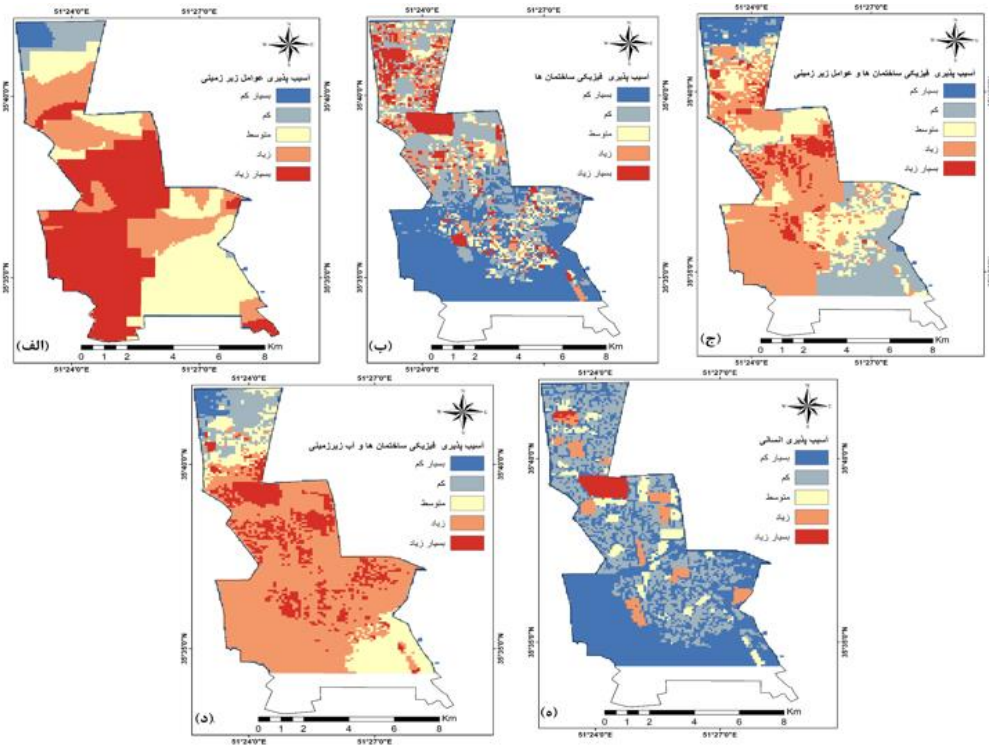
یکی از اهداف این پژوهش کاهش عدم قطعیت موجود در پارامترها می باشد که باعث ایجاد عدم قطعیت در مسئله تعیین آسیب پذیری لرزه ای می گردد.خروجی نقشه های آسیب پذیری لرزه ای نشان می دهد هرچند نقشه آسیب پذیری بر اساس سناریوی فعال شده گسل ری می باشد اما با لحاظ نمودن عوامل زیرزمینی در برآورد میزان آسیب پذیری قسمتی از شمال و بخشی از جنوب غرب منطقه دارای آسیب پذیری زیاد می باشند و این به علت زمین شناسی و جنس خاک منطقه مورد مطالعه است که شامل آبرفت رودخانه ای قدیمی و شن

متراکم می باشد. همچنین از شمال به سمت جنوب منطقه عمق سطح آب زیرزمینی کاهش می یابد و همین امر موجب می شود با اضافه کردن پارامتر عمق سطح آب زیرزمینی ، آسیب پذیری از شمال به جنوب و بخش وسیعی از مرکز ،جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه انتقال یابد (شکل ۹). در تهیه نقشه سطح ایستایی آبهای زیرزمینی از اطلاعات مرکز مطالعات آب ایران استفاده شده است (شکل۸) یکی از مهمترین عوامل خرابی در زلزله پدیده روانگرایی خاک، در زیر پی سازه ها است این مسئله از آنجا مهم است که در قسمت های جنوبی منطقه مورد مطالعه سطح آبهای زیرزمینی بالاست به طوری که در منطقه شهرری با کندن حدود ۱۵ متر به آب خواهیم رسید و این در قسمت های جنوبی ری به ۱۱ متر نیز می رسد، همانطور که در نقشه منحنی های عمق سطح آب زیرزمینی مشخص است بخش جنوبی منطقه ۲۰ دارای حداقل مقدار عمق آب زیرزمینی است همانطور که می دانیم با کاهش عمق سطح آب زیرزمینی احتمال آسیب پذیری سازه ها در برابر زلزله افزایش می یابد. عمق سطح ایستایی آبهای زیرزمینی طبق شکل در شمال منطقه ۷۵ متر است که به تدریج به سمت جنوب منطقه مورد مطالعه کم عمق تر شده و احتمال آسیب پذیری را افزایش می دهد (شکل۸).



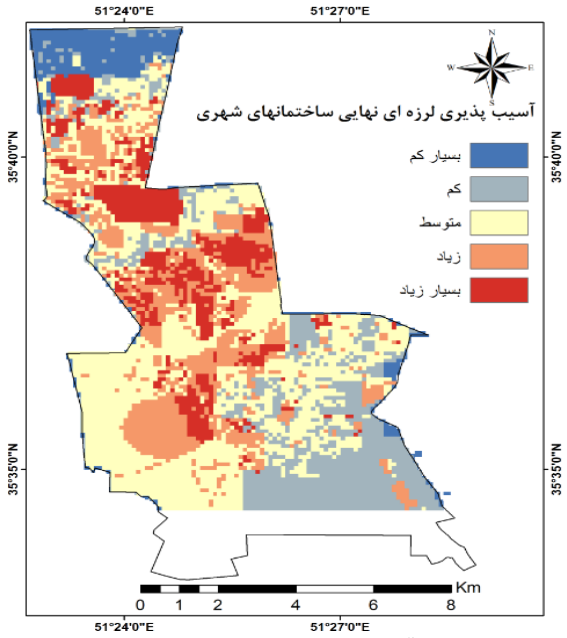
شکل ۸- نقشه عمق آب‌های زیرزمینی

نتایج نشان می دهد با اضافه کردن پارامتر عمق آبهای زیرزمینی به بخش مرکزی و جنوب منطقه یعنی مناطق ۱۶و۲۰ که دارای ساختمانهای ضعیف و قدیمی هستند درصد آسیب پذیری بیشتری اختصاص یافته است. با توجه به اینکه عمق سطح ایستایی آبهای زیرزمینی در این مناطق کمتر شده میزان آسیب پذیری در این دو منطقه افزایش یافته و درجه آسیب پذیری زیاد و بسیار زیاد به آن اختصاص یافته است.

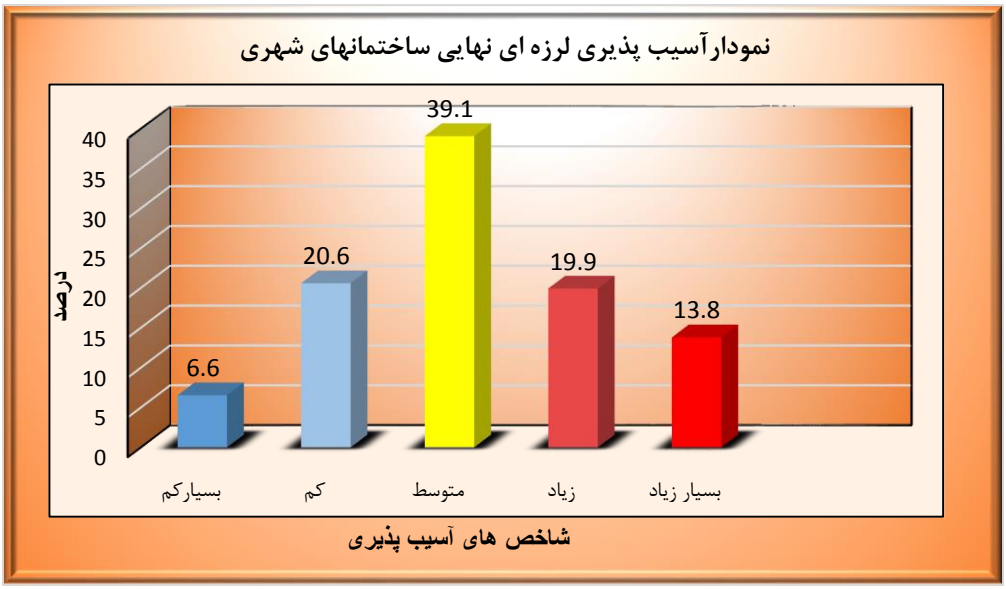


شکل ۹- نقشه آسیب پذیری ساختمانها باعوامل مختلف الف) نقشه آسیب پذیری عومل زیرزمینی ب) نقشه آسیب پذیری فیزیکی ساختمان ج) نقشه آسیب پذیری فیزیکی ساختمان و عوامل زیرزمینی د) نقشه آسیب پذیری فیزیکی ساختمان و آب زیرزمینی ه) نقشه آسیب پذیری انسانی

با توجه به شکل ۹ نتایج آسیب پذیری فیزیکی بدون آب زیرزمینی نشان می دهد ۴۰ درصد ساختمانها آسیب پذیری بسیار کم، ۲۶ درصد ساختمانها آسیب پذیری متوسط و تنها ۱۰ درصد ساختمانها آسیب پذیری زیاد دارند در صورتی که نتایج آسیب پذیری فیزیکی با آب زیرزمینی نشان می دهد تنها ۲ درصد از ساختمانها آسیب پذیری بسیار کم، ۱۵درصد آسیب پذیری متوسط و ۶۰ درصد ساختمانها آسیب پذیری زیاد دارند. با افزودن پارامتر عمق ایستایی سطح آب زیرزمینی آسیب پذیری به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. یکی از روش ها، برای مدیریت عدم قطعیت که یکی از مسائل مهم در تعیین آسیب پذیری لرزه ای است، تئوری تقریب مجموعه ها می باشد که از روابط غیر قابل تفکیک پذیری و تقریبات بالایی و پائینی یک مفهوم جهت استخراج قوانین کلاسه بندی استفاده می کند. نتایج آسیب پذیری فیزیکی بدون عوامل زیرزمینی نشان می دهد ۴۰ درصد ساختمانها آسیب پذیری بسیارکم و ۱۲ درصد ساختمانها دارای آسیب پذیری کم هستند، همچنین ۲۶ درصد ساختمانها آسیب پذیری متوسط و ۱۰ درصد ساختمانها آسیب پذیری زیاد و تنها ۱۱ درصد ساختمانها آسیب پذیری بسیار زیاد دارند در صورتی که نتایج آسیب پذیری فیزیکی با در نظر عوامل زیر زمینی نشان می دهد ۶ درصد ساختمانها آسیب پذیری بسیار کم ، ۱۷ درصد ساختمانها دارای آسیب پذیری کم هستند همچنین ۲۴ درصد آسیب پذیری متوسط ، ۴۳ درصد ساختمانها آسیب پذیری زیاد و ۸ درصد آسیب پذیری بسیار زیاد دارند با توجه به درصدهای حاصل مشخص است که با در نظر گرفتن عوامل زیرزمینی بخش مرکزی و جنوبی و بخش وسیعی از شمال منطقه به دلیل وجود زمین های آبرفتی و جنس خاک رسی که بیشترین پتانسیل را در ایجاد روانگرایی دارند و کم بودن عمق سطح آب زیرزمینی درجه آسیب پذیری زیاد و بسیار زیاد دارند.در نهایت با تلفیق نقشه های حاصل نقشه نهایی و نمودار آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای شهری (شکل ۱۱و۱۰) استخراج شد.



شکل ۱۰- نقشه آسیب پذیری لرزه ای نهایی ساختمانهای شهری



شکل ۱۱- نمودار آسیب پذیری لرزه ای نهایی ساختمانهای شهری

۵- نتیجه گیری

اولین قدم در برنامه ریزی برای کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله تهیه نقشه آسیب پذیری است دراین پژوهش آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها ی شهری با عوامل زمینی و زیرز مینی با تا کید بر عمق سطح آبهای زیرزمینی در سه منطقه از شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفته است ، نقشه آسیب پذیری لرزه ای ساختمان ها با تلفیق نقشه آسیب پذیری عوامل زمینی و عوامل زیر زمینی و نقشه آسیب پذیری انسانی حاصل شد. نقشه های آسیب پذیری لرزه ای نهایی با کلاس بندی داده ها از نظر میزان آسیب پذیری در ۵ طبقه بسیارکم ،کم ، متوسط و زیاد و بسیار زیاد تقسیم بندی شده است. امتیاز های مربوط به هر واحد ساختمانی با استفاده از ۱۰ شاخص فیزیکی ، ۳ شاخص زیرزمینی و ۵ شاخص انسانی جمع شده و نقشه های آسیب پذیری لرزه ای تهیه شده است. نتایج با استفاده از روش تئوری مجموعه های راف مدلسازی شد. در این مقاله روند جدیدی جهت بهینه سازی نتایجی با دقت نسبتا بالا حاصل شده است. نتایج تحقیقات عملی نشان می دهد که با استفاده از این روش در تصمیم گیری و بهینه سازی اطلاعات، علاوه بر کاهش هزینه ها، از حوادث احتمالی ناشی از عدم قطعیتها در مهندسی عمران جلوگیری می شود. این روش بر مبنای روش ریاضی نظریه مجموعه مبنا می باشد. این روش با پردازش داده ها و حذف پارامترهای زائد کوتاهترین الگوریتم تصمیم گیری را می دهد که با استفاده از آن قوانین تصمیم گیری به دست می آید.مزیت این روش بر سایر روشهای تصمیم گیری سادگی آن و کاربرد آن در کاهش حجم اطلاعات با حذف پارامترهای غیر ضروری می‌باشد. علاوه بر این در روش مجموعه مبنا با کاهش حجم اطلاعات از پیچیدگی آنها کاسته شده و قوانین تصمیم گیری به راحتی تعیین می گردد و لذا در شرایط عدم قطعیت گردد.

در این مقاله با در نظر گرفتن عوامل زیرزمینی و بررسی تاثیر پارامتر عمق سطح آب زیرزمینی در کنار پارامترهای دیگر درجه آسیب پذیری سه منطقه از تهران برآورد گردید نتایج آسیب پذیری فیزیکی بدون آب زیرزمینی نشان می دهد با افزودن پارامتر عمق سطح ایستایی آب زیرزمینی آسیب پذیری در بخش وسیعی از مرکز و جنوب منطقه مورد مطالعه گسترش یافته و در تمام دامنه ها افزایش قابل توجهی داشته است. علاوه بر آن نقشه آسیب پذیری فیزیکی مناطق ۱۱،۱۶،۲۰ تهران با در نظر گرفتن عمق سطح آب زیرزمینی نشان دهنده این موضوع است که میزان آسیب پذیری از شمال به سمت جنوب منطقه افزایش یافته است یعنی میزان آسیب پذیری در مناطق ۱۶و ۲۰ که دارای عمق سطح آب زیرزمینی کمتری نسبت به منطقه ۱۱ می باشد رو به افزایش است، و این موضوع نمایانگر حساسیت آسیب پذیر بودن برخی مناطق قدیمی و جنوبی شهر تهران به علت عمق کم سطح آب زیرزمینی می باشد. بعد از اجرای مدل راف ۲۵ قانون صحیح از میان اطلاعات موجود استخراج گردید، و نقشه آسیب پذیری لرزه ای سه منطقه از شهر تهران تولید شد. نتایج آسیب پذیری نهایی منطقه نشان می دهد که ۶/۶ درصد از ساختمانهای شهری با آسیب پذیری خیلی کم رو به رو هستند که بیشتر اسکلت فلزی دارند و بخش شمالی منطقه ۱۱را شامل می شود ۲۰/۶ درصد از ساختمانهای منطقه که در بخش جنوب شرق منطقه می باشد در طبقه آسیب پذیری کم قرار دارند. گروه آسیب پذیری متوسط ۳۹/۱ درصد از ساختمانها را که بیشتر در بخشهای جنوبی و جنوب غرب منطقه قرار دارد شامل می شود. ۱۹/۹ درصد از ساختمانهای منطقه در رنج آسیب پذیری زیاد و ۱۳/۸ در رنج آسیب پذیری بسیار زیاد قرار دارندکه بیشتر بخش شمالی، مرکز و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه را شامل می شود (شکل ۱۱) که اکثرا با ساماندهی کردن و تمرکز زدایی ساخت و ساز در بخش های مختلف شهری و همچنین برنامه ریزی شهری تا حد زیادی می توان میزان آسیب پذیر بودن ساختمان راکاهش داد.

مراجع

[1] J.A. Vega, C.A. Hidalgo," Quantitative risk assessment of landslides triggered by earthquakes and rainfall based on direct costs of urban buildings," Geomorphology, 273: p. 217-235, 2016.

[2] S.M. Zahraie , L.Earshad, "Project report on the vulnerability of Qazvin city buildings," research Center Building and Housing, 2003.

[3] S. Mokhtarzadeh, Sh.Sargolzari," Methodological Evaluation of Equilibrium Vulnerability to Earthquake," National Conference on Earthquake and Vulnerability of Places and Arteries, 2010.

[4] M. Ghafoori Ashtiani, "Seismic Risk Reduction in Tehran - Sub-Specialist Panel on Coping with Earthquake a Landslid Dangers ," 2001.

[5] S. Yasuda, T. Hashimoto, "New project to prevent liquefaction-induced damage in a wide existing residential area by lowering the ground water table," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 91: p. 246-259, 2016.

[6] SH. Jung Wang, k.Chin Hsu, W. Chi Lai, CH " Estimating the extent of stress influence by using earthquake triggering groundwater level variations in Taiwan " Journal of Asian Earth Sciences111.p. 373–383 (2015)

[7] N.F.D .Ward, "On the mechanism of earthquake induced groundwater flow," Journal of Hydrology, 530: p. 561-567, 2015.

[8] H.S. Alinia, M. Delavar, "Tehran's seismic vulnerability classification using granular computing approach," Applied Geomatics, 3(4) p. 229-240, 2011.

[9] D. Ching ,F. Shih "Groundwater storage inferred from earthquake activities around East Asia and West Pacific Ocean" Journal of Hydrology 544 p. 363–372, journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol, 2017.

[10] S. Karimzadeh , M. Miyajima , R. Hassanzadeh , R. Amiraslanzadeh , B.Kamel " GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz, " Soil Dynamics and Earthquake Engineering66 , 263–280 ,2014.

[11] N. Rahman, M.Ansary, I.Islam " GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city,Bangladesh" International Journal of Disaster Risk Reduction 13 -291–300, 2015.

[12] R. Aghataher, M.R.Delavar , N.,Kamalian,," Weighing of contributing factors in vulnerability of cities against earthquakes,". Proc. Map Asia Conference, Jakarta, Indonesia, march 14, 2005, pp 108-114, 2005.

[13] Alinia H., M.R. Delavar, and Y.Y. Yao, "Support and confidence parameters to induct decision rules to classify Tehran's seismic vulnerability", Proc. The 6th International Symposium on Geo-Information for Disaster Management (Gi4DM), Torino, Italy, Sep. 15, 2010, pp. 123-130, 2010.

[14] M.Musavi, M Abedini, A.Esmaeeli, " Assessment of earthquake hazard in the Izeh urban area using Multi-criteria models WLC and AHP in the environment GIS" , 2014

[15] E. Laali Niat , "Earthquake human risk zoning in urban spaces using location based," Model.Vol 1. p118, 2016.

[16] F.Esfandiari, A.Ghafari, KH.Lotfi, " Modeling the vulnerability of cities to earthquakes using Topsis method GIS environment" ,journal Little geomorphology studies, Second Year, No. 2, Autumn ,pp 43-79, 2013.

[17] F. Khamespanah, "Granular computing and Dempster–Shafer integration in seismic vulnerability assessment," in Intelligent systems for crisis management. Springer. p. 147-158, 2013

[18] M. Arabani and M ,pirouz, " Decision making in conditions of uncertainty using the base set theory," mpr643@msc.guilan.ac.ir, 2011.

[19] B. Sotoudeh, " Land Use Planning and Correction of Roads to Secure Earthquakes," (Case Study: Garden District Ferdows County Municipality of Tehran) Graduate Degree Urban Planning Urban and Regional Planning Shiraz University,2000.

[20] K.Habibi, A. Ahmadpour, A.Meshkini, A.Asgari and S. Nazari Adeli," Determining the Construction Factors Effecting the Damage of the Old Town of Zanjan Using GIS and Fuzzy Logic," Journal of Fine Arts, No. 33, pp.36-27, 2009.

[21] H. Scenes of Nasas , Sh. Roustai, M. Omrani, and N.Zare," Investigation of geomorphological bottlenecks and its impact on physical development of cities using GIS and AHP method," (Case study of Givi city) Quantitative geomorphology researches in the Numbre 4, 2013.

[22] T. Silavi, "An integrated strategy for GIS-based fuzzy improved earthquake vulnerability assessment," in ISRS-ISPRS TC—IV International Symposium on ‘‘Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), 2006.

[23] Sh.Rustaie "Tabriz fault hazard zoning for different land use", geography and development, period 9 . Number 21, p. 41,2007.

[24] Ghafoori Ashtiani.M, " Seismic Risk Reduction in Tehran - Sub-Specialist Panel on Coping with Earthquake a Landslid Dangers", 2001.

[25] Gh. Khanlari " Engineering Geology," First Edition. Hamedan: AbuAli Sina University Press.1997.

[26] V.Hakim Wand , "Resighting effects of the duration of the earthquake on the behavior of steel buildings with a bending frame Master's dissertatio ," 2008.

[27] B.Gothmiri " Tehran's urban complex Excerpts from studies of natural constraints and facilities," Research and Development Center for Urbanization and Architecture of Iran, Tehran: Print Gostar.2003.