نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

صفحات ۵۹ – ۷۶

# ارزیابی و تحلیل ریسک وقوع زلزله بر شبکه آبرسانی شهر تهران

**معصومه هاشمی؛ دانشجوی دکتری ژئومرفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.**

**عزت الله قنواتی[1]؛ دانشیار ژئومرفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.**

**علی احمد آبادی؛ دانشیار ژئومرفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.**

**اویس ترابی؛ دکتری مدیریت آب، شرکت مهندسین مشاور مهساب شرق، تهران، ایران.**

**عبدالله مظفری؛ کارشناسی ارشد عمران، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران.**

**دریافت مقاله :۱۳۹۸/۰۹/۲۹ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۴/۳۰**

**چکیده**

**سیستم آبرسانی شهری مهم ترین زیر ساخت حیاتی به شمار می آید که معمولا در اثر وقوع حوادث طبیعی به ویژه زلزله و سیل آسیب می‌بیند از این رو عملکرد خطوط لوله سیستم آبرسانی، تعیین کننده میزان تاب آوری و طراحی زیر ساخت در برابر مخاطرات متعدد طبیعی و انسان ساختی است. خطوط لوله شبکه آب در معرض بیشترین خسارات هستند. در همین راستا با مدلسازی لرزه ای و آنالیز مکانی عوارض شبکه انتقال آب شهری، لرزه خیزی شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت و شاخص های لرزه ای PGA،PGV,PGD شهر تهران محاسبه گردیده و میزان خطر پذیری منطقه مورد ارزیابی دقیق لرزه ای قرار گرفت. از طرفی برای وزن دهی شاخص های فوق از مدل ANP استفاده شده است. برای بررسی تعاملات و ارتباطات میان معیارها از نظر میزان اثرگذاری یا اثرپذیری از یکدیگر با توجه به هدف پژوهش و انجام مقایسات زوجی بین آنها پرسشنامه های مربوط تهیه و توسط کارشناسان مرتبط با موضوع پژوهش تکمیل گردید. مدل مفهومی ANP تهیه و در نرم افزار Super Decision اجرا گردید. پس از ترسیم وضعیت مخاطره و محاسبه آسیب پذیری شبکه آبرسانی استفاده از روش SAW مورد توجه قرار گرفت و وضعیت ریسک بر روی شبکه آبرسانی با روش SAW محاسبه گردید.. برای محاسبه ریسک زلزله براساس رابطه R= H*V مقادیر این دو مولفه (توان لرزه زایی، آسیب پذیری) در هم ضرب شده اند. این محاسبه در نرم افزار GIS روی لایه های توان مخاطره زایی و آسیب پذیری انجام و نتیجه نهایی حاصل از این محاسبه در نقشه میزان ریسک پذیری نمایش داده شد. میزان ریسک محاسبه شده برای تمامی شبکه انتقال آب بر اثر زمین لرزه نشان داده شده است. نتایج نهایی حاکی از این است که پتانسیل خطر از خطر کم تا خیلی زیاد وجود دارد بیشترین مساحت منطقه در کلاس ریسک کم خطر با ۵۰ درصد مربوط به نواحی جنوبی از منطقه مورد مطالعه و بیشترین میزان ریسک با حدود ۱۴ درصد بیشتر در نواحی شمالی به چشم می خورد که در برنامه ریزی ها باید در اولویت باشد.**

**واژه‌های کلیدی**: مخاطره ، زمین لرزه ، شهر تهران ، آسیب پذیری ، شبکه آبرسانی، ریسک

[1]. نویسنده مسئول: Email: ghanavati@khu.ac.ir

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

**مقدمه**

آنچه سبب تغییر یک پدیده طبیعی به مخاطره می شود، آسیب پذیری انسان و جوامع در برابر این مخاطره هست(نوروزی خطیری و همکاران ،۱۳۹۲). به طوری که هرسال در حدود ۲۰۰ میلیون نفر درگیر بحرانها و حوادث غیر مترقبه شده و صدها نفر از بین می روند (مستانه و همکاران،۱۳۹۰). شناسایی پدیده های مخاطره آمیز در جوامع انسانی از یک سو و شدت آسیب پذیری سازه های زیر بنایی از سوی دیگر بیانی کاربردی از ماهیت دوگانه مخاطره است(مقیمی،۱۳۹۳). در سالهای اخیر وقوع زلزله های ناگوار در شهر های گوناگون جهان ، پیکره شهر ها به ویژه زیر ساخت های شهری را با خسارات فراوانی مواجه کرده است. در دهه آخر قرن بیستم و اوایل قرن حاضر، بسیاری از بحران های طبیعی مد نظر جامعه جهانی قرار گرفته است (Tanaka, ۲۰۱۲). خطر( ریسک) ترکیبی از آسیب پذیری و مخاطره است و فاجعه در اثر تعامل هر دو، به وجود می‌آید. اگر مخاطره باشد ولی آسیب پذیری صفر باشد یا آسیب پذیری باشد اما مخاطره نباشد در آن صورت فاجعه یا بحران به وجود نمی‌آید. عموما ریسک به صورت احتمال ایجاد ضرر توسط یک رویداد و مقدار بالقوه ی آن ضرر ، تعریف می شود (Muhlbauer, ۲۰۰٤ ).

بررسی میزان آسیب پذیری زیر ساخت های شهری بسیار مهم است ؛ زیرا امری ضروری در روند پایداری و بازیابی سریع عملکردهای شهری به شمار می‌آیند( Chang and et al,۲۰۱٤). امروزه سیستم های آبرسانی از اجزای جدایی ناپذیر زندگی انسان به شمار می روند . بنابراین ضروری است تا آسیب پذیری زیر ساخت های آبی در برابر خطرات لرزه ای مورد توجه ویژه قرار گیرد. سیستم آبرسانی شهری مهم ترین زیر ساخت حیاتی به شمار می آید که معمولا در اثر وقوع حوادث طبیعی به ویژه زلزله و سیل آسیب می بیند. به خصوص زمانی که این سازه ها به صورت مدفون در زیر خاک بوده و فاقد کنترل بصری و سیستماتیک باشند. در این مورد است که ضرورت استفاده از تکنیک های بروز علمی همچون سیستم اطلاعات جغرافیایی (Gis) و کشف مناطق و موقعیت هایی که مخاطرات طبیعی این سازه ها را تهدید می کند، خودنمایی می کند(شفائی،۱۳۹۴). عملکرد خطوط لوله سیستم آبرسانی، تعیین کننده میزان تاب آوری و طراحی زیر ساخت در برابر مخاطرات متعدد طبیعی و انسان ساختی است (O'Rourke and et al ,۲۰۰۸ ). ایمن سازی شبکه های زیر ساختی شهر در برابر زلزله نقش مهمی در افزایش مقاومت شهر در برابر زلزله دارد، به طوری که آسیب دیدن هر کدام از این تاسیسات زیر بنایی می تواند تلفات ناشی از زلزله را به شدت افزایش دهد (کامل ،۱۳۹۰ :۲۹). چون تاسیسات زیر بنایی بویژه شبکه آبرسانی با خاک در ارتباط مستقیم بوده و اکثرا به صورت مدفون در زیر زمین هستند، زلزله به عنوان عامل ویرانگر سازه ها بر روی آنها اثر مستقیم دارد(حسن زاده و مهربان،۱۳۸۹). آسیب دیدن تاسیسات زیر بنای شهر نظیر شبکه های آب و برق، گاز، مخابرات می تواند تلفات ناشی از زلزله را در یک شهر به شدت افزایش دهد( قنواتی و شیخی ،۱۳۸۹). با توجه به گستردگی شبکه توزیع آب شهری در سراسر کشور و در کنار آن لرزه خیزی اقلیم ایران، اهمیت بررسی تاثیر زلزله بر روی این شبکه بیشتر نمود پیدا می کند. برای تحقیق وضعیت لرزه خیزی یک منطقه و تخمین خطر زمین لرزه، آگاهی و اطلاع جامع از زمین لرزه های ثبت شده و همچنین زمین شناسی و تکتونیک آن منطقه ضرورت دارد.

مطالعات نظری و میدانی لرزه زمین ساختی در گستره تهران نشان می‌دهد که این شهر بر روی منطقه ای لرزه خیز و در اطراف گسلهای فعال و مهم مشا، شمال تهران، ری و کهریزک قرار دارد. وقوع ۲۰ زلزله نسبتاً شدید(ثبت شده در تاریخ)

بیانگر این مدعا است .در نتیجه براساس مطالعات علمی و شواهد تاریخی، تهران منطقه- ای با لرزه خیزی بسیار زیاد تعیین شده است و احتمال وقوع زلزله در تهران با بزرگی۷ در مقیاس ریشتر و بیشتر، بسیار زیاد و حدود ۶۴٪در۱۰ سال آینده می باشد (سلامت و همکاران ،۱۳۹۶). با توجه به عدم توانایی در جلوگیری از وقوع زلزله و عدم توانایی متخصصین در پیش بینی دقیق زمان آن ضروری است که با شناخت از وضعیت لرزه زمین_ساخت و لرزه خیزی تهران میزان خطر زمین لرزه را مشخص تا بر آن اساس برنامه ریزی های لازم برای انجام مقاوم سازی سازه ها اقدام لازم به عمل آید. شهر تهران به دلیل تمرکز جمعیت و زیر ساخت های حیاتی، اهمیت ویژه ای در سطح ملی دارد(Hough and Bilham,۲۰۰٦) آسیب پذیری تهران در برابر زلزله، پیامدهای مخرب و نامطلوبی به همراه دارد (ناطق الهی ،۱۳۷۹). افزایش جمعیت و گسترش تاسیسات انسانی ، مطالعه دقیق پتانسیل تخریب را ضروری می‌کند (قهرودی تالی و همکاران ،۱۳۹۱).

در خصوص آسیب پذیری شبکه آب تحقیقات زیادی انجام گرفته و بیشتر این تحقیقات به آسیب پذیری مخاطرات ناشی از زلزله و حرکات دامنه ای در زمینه دارایی و شبکه شریان پرداخته اند (Xing,۲۰۰۸). با مطالعه در منابع مختلف داخلی و خارجی مشخص است که توجه به مساله مخاطرات طبیعی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و هر مطالعه ای نقشی در توسعه و گسترش مفاهیم مرتبط با این موضوع داشته است. چنانچه بخواهیم اشاره ای به پیشینه پژوهش داشته باشیم؛ تحقیقات و پژوهشهای فراوانی در راستای موضوع مورد مطالعه صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به موراد زیر اشاره کرد از پژوهشگرانی که پژوهش های در زمینه آسیب پذیری انجام داده اند می‌توان(Bentes and et al,۲۰۱۱)،( Fragiadakis and et al,۲۰۱٤)،( Laucelli and Giustolisi,۲۰۱٤) ،(Toprak and Taskin,۲۰۰۷)،( Chen and et al,۲۰۱٤)،(Chang and et al,۲۰۰۴) و پژوهشگران ایرانی مانند (کاراموز و همکاران، ۱۳۸۹)، (حسنی،۱۳۹۰) (روغنی و راهنما ،۱۳۹۴)، (علوی ،۱۳۹۷)و .. نام برد. در خصوص بررسی و تعیین ریسک مخاطرات می توان از پژوهشگرانی مانند (Javanbarg and et al,۲۰۰۹)، (Xing,۲۰۰۸)، (شفائی، ۱۳۹۴)، (نوری،۱۳۹۶) و .... نام برد.

این پژوهش با هدف ارزیابی میزان ریسک شبکه آبرسانی شهر تهران براساس شرایط ساختگاهی و تجربیاتی از زلزله های گذشته مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه خطرات مختلفی می_تواند سیستم های آبرسانی را تهدید نمایند و به دلیل اینکه پتانسیل خطر زلزله در ایران و بخصوص درشهر تهران بالا می‌باشد لذا خطر زلزله در این طرح مورد مطالعه قرار می گیرد. در این میان با توجه به قرارگیری محدوده شهر تهران بر روی گسل ها ارزیابی میزان آسیب پذیری تأسیسات آب شهر تهران لازم و ضروری می باشد. در این مقاله تلاش شد با ارائه مدلی جهت ارزیابی ریسک زلزله، ریسک ترکیبی ناشی از مخاطره و آسیب پذیری مورد توجه قرار گیرد. از مزایای مدل پیشنهادی، امکان مدل کردن همزمان اطلاعات کیفی و کمی با استفاده از سیستمهای تصمیم گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. اگرچه از ترکیب مدلهای تصمیم گیری و GIS در بسیاری از تحقیقات مشابه از آن استفاده شده است اما در تمامی آنها یک بعد ریسک یعنی آسیب پذیری مورد توجه بوده است. در این تحقیق هر دو شاخص ریسک در معرض خطر بودن و آسیب پذیری به صورت توأمان مورد توجه قرار گرفت.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

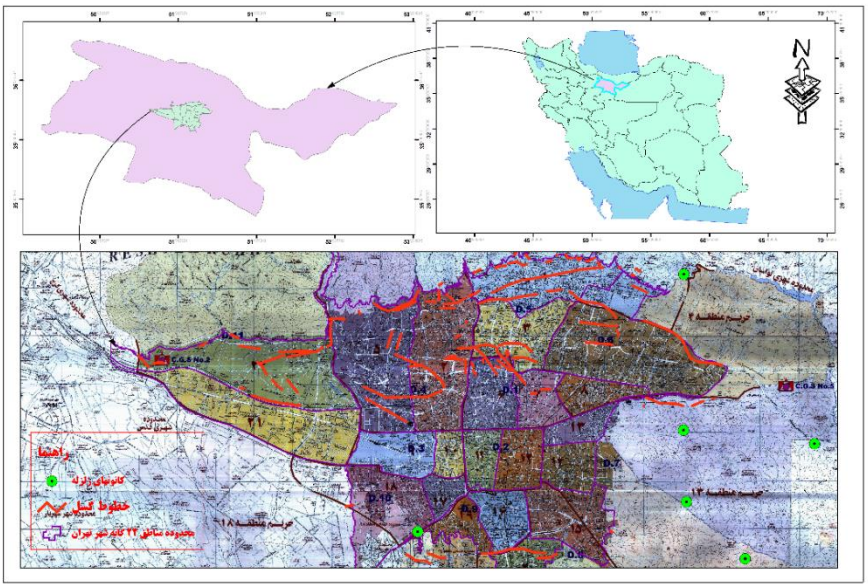
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

## داده‌ها و روش کار

### قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

شهر تهران، پایتخت جمهوری اسلامی ایران در دامنهٔ جنوبی رشته کوه البرز که رشته کوه مرکزی ایران می‌باشد، واقع شده است. اختلاف ارتفاعی در حدود ۷۶۰ متر بین پست‌ترین منطقه این شهر (۱۰۴۰ متر) در جنوب و مرتفع‌ترین منطقه این شهر (۱۸۰۰ متر) در شمال، وجود دارد. توپوگرافی شهر به گونه ایست که شیب از جنوب تا مرکز به طور ملایم بوده و از مرکز به سمت شمال به شکل پیش رونده ای زیاد می‌شود. اختلاف دما در فصول مختلف زیاد بوده و بارندگی سالانه زیر ۳۰۰ میلی متر است. شهر تهران به عنوان پایتخت سیاسی و اقتصادی کشور، در منطقه ای با خطر پذیری بالای زلزله قرار دارد ( Berberian and Yeats,۲۰۱٦ ). که وجود گسل های فعال شمال، مشا و ری خطر پذیری آن را در برابر زلزله افزایش داده است. با توجه به خطر پذیری بالا و مکان عبور گسل های یاد شده، وقوع زلزله در تهران بسیار محتمل است. مصرف آب آشامیدنی سالانه تهران از منابع آب سطحی (تقریبا ۷۰٪) و منابع آب زیرزمینی (تقریبا ۳۰٪) تامین می‌شود. در مناطق جنوبی شهر که تراکم جمعیت بیشتری دارد، تمام آب مصرفی از چاهها تامین می شود. آبهای سطحی در تصفیه‌خانه‌های آب موجود در شهر تصفیه می گردد و آبهای زیرزمینی پس از کلرزنی در مخازن توزیع آماده مصرف می شود (JICA,۲۰۰۰) از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی در شهر به علت استفادهٔ فراوان از آن، باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی سالم شده است. در اطراف تهران، مناطقی وجود دارند که دارای سابقه زلزله بوده و به عنوان کانون لرزه شناخته می‌شوند. رخداد زلزله در مقیاس بزرگ، موجب شکستگی تجهیزات و اتصالات منتهی به پمپ‌ها، آسیب‌دیدگی لوله‌های بتنی، توقف آبرسانی و غیره می‌گردد. در پژوهش حاضر تحلیل ریسک خطوط اصلی بررسی شد. این خطوط شامل لوله های آب خام، خطوط بین تصفیه خانه ها ، مخازن توزیع و خطوط بین چاههای عمیق هستند. با توجه به اینکه مهم ترین بخش سیستم آبرسانی خطوط انتقال است، داده ها به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحلیل و بررسی شدند.




**شکل ۱: نقشه موقعیت شهر تهران**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

**روش کار**

پژوهش حاضر کاربردی و توصیفی- تحلیلی است. از نظر روش شناسی، پژوهش حاضر شامل دو مرحله می باشد مرحله اول با توجه به شدت خسارات و آسیبهای وارده در اثر زلزله ضروری است که مطالعات پهنه بندی خطر زلزله در نواحی مختلف شهری انجام گیرد و شاخصهای مهم ارزیابی خسارت نظیر بیشینه شتاب سطح زمین، بیشینه سرعت سطح زمین، بیشینه تغییر مکان سطح زمین تعیین گردند. از عوامل مهم و تاثیر گذار در برآورد خطر زلزله برای یک منطقه، روابط کاهندگی موج زلزله می باشد روابط کاهندگی از جمله مهم ترین ابزار در محاسبات تحلیل خطر زلزله می باشد این روابط روابط ریاضی هستند که میرایی موج زلزله را به صورت تابعی از بزرگا، فاصله منبع تا ساختگاه، نوع خاک و ... بیان می نماید (Campbell,۲۰۰۳). برای تحلیل خطر لرزه ای تهران با استفاده از رابطه کاهندگی (Campbell and Bozorgnia ,۲۰۰۸)، بیشینه شتاب، سرعت، تغییر مکان سطح زمین شهر تهران با توجه به شرایط خاک، ساختگاه و فاصله هر مش (اندازه ذرات) از گسلهای سناریوی مشخص شد و ماکزیمم شاخص لرزه ای به ازای همه سناریوها بدست آمد. از رابطه کاهندگی کمپل- بزرگ نیا به دلیل اینکه اثرات حوزه نزدیک را به خوبی در نظر می گیرد و همخوانی بالایی با داده های لرزه ای تجربی ایران داشته استفاده شده است. مشابهت زمین شناسی و ژئوتکتونیک داده های مورد استفاده در تعیین رابطه مدل مذکور با زمین شناسی و ژئوتکتونیک شرایط کشورمان نسبت به سایر مدل های جهانی و تعداد نسبتا کافی داده های مورد استفاده از دلایل انتخاب رابطه یاد شده در این تحقیق است. به_منظور محاسبه شاخص خطر لرزه ای اعم از بیشینه شتاب سطح زمین، بیشینه سرعت سطح زمین، بیشینه تغییر مکان سطح زمین از منحنیهای کاهندگی استفاده شد. برای استفاده از نقشه ها بایستی این اطلاعات در محیط GIS وارد شوند. نقشه بیشینه شتاب، سرعت و جابجایی براساس سه سناریو خطر گسلهای مشا ،ری و شمال تهیه شد و میزان خطر پذیری منطقه بر این اساس شناسایی گردید برای تهیه نقشه پهنه های لرزه ای زلزله تهران، این سه شاخص مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس نقشه هم پوشانی هر سه که معرف میزان کل خطر پذیری منطقه می باشد آماده گردید. برای تلفیق و هم پوشانی از مدل تحلیل فرایند شبکهANP و برای وزن دهی از مدل سوپر دسیژن بهره گیری شده است.

در بخش دوم به منظور ارزیابی میزان آسیب پذیری ، یک سری شاخص ارزیابی معرفی شده و با استفاده از تکنیک ANP فازی وزن نسبی هر کدام از شاخصها جهت تعیین اهمیت نسبی آنها محاسبه شده است. در گام بعد لوله های شبکه آب نسبت به شاخص های آسیب پذیری معرفی شده، مورد ارزیابی قرار می گیرند پس از آن با رویکرد چند شاخصه فازی و با استفاده از تکنیک مجموع ساده وزنی SAW فازی شاخص آسیب پذیری اجزای شبکه بدست آمده است . تحلیل داده های بدست آمده از مطالعات میدانی و مصاحبه و پرسشنامه ای با مسئولین و ذی نفعان با استفاده از نرم افزار GIS و به کار گیری آمارهای استنتاج شده ، استفاده از دیتابیس های داده های مکانی با اوزانی که از طریق روش فرایند تحلیل شبکه (ANP) تعیین شده اند انجام شده است داده های بکار گرفته شده در آسیب پذیری اجزای شبکه به چند بخش اصلی داده های برآمده از اسناد و مدارک و داده های برآمده از مصاحبه متخصصین و مسئولین تقسیم می شود. به منظور ارزیابی آسیب پذیری اجزای شبکه های توزیع آب ناشی از مخاطرات طبیعی ، از پنج شاخص ارزیابی کمک گرفته شده است. شاخص های بکار گرفته شده در این مطالعه عبارتند از شاخص قطر لوله ، جنس لوله، اتصالات لوله ،عمر لوله و شاخص جمعیت تحت

پوشش شبکه جهت تحلیل ریسک زلزله لازم است تا دو شاخص در معرض خطر بودن و آسیب پذیری مورد ارزیابی قرار گیرد. برای تهیه نقشه توان مخاطره زایی کلی وزن های بدست آمده از مدل ANP از طریق دستور Raster Calculator در لایه های رستری موجود اعمال شده است. بدین ترتیب که لایه های استاندارد شده به صورت جدا از یکدیگر ضرب در وزن مربوط به خود شده و در نهایت هم پوشانی صورت می‌گیرد و به منظور ارزیابی میزان آسیب پذیری ، یک سری شاخص ارزیابی معرفی شده و با استفاده از تکنیک ANP وزن نسبی هر کدام از شاخصها محاسبه شده است پس از آن با رویکرد چند شاخصه فازی و با استفاده از تکنیک مجموع ساده وزنی(SAW) فازی شاخص آسیب پذیری اجزای شبکه بدست آمده است. برای محاسبه ریسک زلزله براساس رابطه R=H*V مقادیر این دو مولفه در هم ضرب شدند این محاسبه در نرم افزار GIS بر روی لایه رستری مخاطره و آسیب پذیری انجام و نتیجه نهایی حاصل از این محاسبه در نقشه نمایش داده شد.

در این مقاله جهت تحلیل ریسک زلزله از رابطه (Campbell and Bozorgnia ,۲۰۰۸) و مدل ANP استفاده شده است

انتخاب رابطه کاهندگی یا روابط تخمین پارامترهای حرکت زمین، اهمیت بسیار زیادی در تحلیل خطر دارد. در این پژوهش، با مطالعه و بررسی روابط کاهندگی ارائه شده برای تمامی جهان و با توجه به ویژگی ها و شرایط زمین شناسی و لرزه زمین ساختی کشور ایران از روابط کمبپل و بزرگ نیا استفاده گردید. این روابط از جدید ترین مدل کاهندگی هستند که به عنوان روابط کاهیدگی نسل جدید، اخیرا گسترش یافته و موسوم به روابط NGA هستند.

روابط کاهندگی ارائه شده توسط (Campbell and Bozorgnia ,۲۰۰۸) به صورت زیر می باشد :

رابطه ۱

$$Ln\hat{Y} = f_{mag} + f_{dis} + f_{fit} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed}$$

در رابطه (۱) متغیر y نشانگر شاخص لرزه ای نظیر PGA[۱]، PGV[۲]، PGD[۳] می باشد

$F_{mag}$ مدلی برای وابستگی به بزرگا می باشد

رابطه۲

$$f_{mag} = \begin{cases} C_0 + C_1 M; & M \le 5.5 \\ C_0 + C_1 M + C_2(M - 5.5); & 5.5 < M \le 6.5 \\ C_0 + C_1 M + C_2(M - 5.5) + C_3(M - 6.5); & M > 6.5 \end{cases}$$

$f_{dis}$ مدلی برای بیان تابعیت برحسب فاصله است

رابطه ۳

$$f_{dis} = (C_4 + C_5 M)\ln(\sqrt{R_{RUP}^2 + C_6^2})$$

$f_{fit}$ برای بیان تابعیت بر حسب مکانیزم گسلش است

[۱] Peak Ground Acceleration
[۲] Peak Ground Velocity
[۳] Peak Ground displacement

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

رابطه ۴

$$f_{flt} = C_7 F_{RV} f_{flt,z} + C_8 F_{NM}$$

$$f_{flt,z} = \begin{cases} Z_{TOR}; & Z_{TOR} < 1 \\ 1; & Z_{TOR} \geq 1 \end{cases}$$

$f_{hng}$ مدلی برای وابستگی به تاثیرات بالادیواره می باشد

رابطه ۵

$$f_{hng} = C_9 f_{hng,R} f_{hng,M} f_{hng,z} f_{hng,\delta}$$

$$f_{hng,R} = \begin{cases} 1; & R_{JB} = 1 \\ \dfrac{\left[\max\left(R_{RUP,} \sqrt{R_{JB}^2 + 1}\right) - R_{JB}\right]}{\max\left(R_{RUP,} \sqrt{R_{JB}^2 + 1}\right)}; & R_{JB} > 0, Z_{TOR} < 1 \\ \dfrac{R_{RUP} - R_{JB}}{R_{RUP}}; & R_{JB} > 0, Z_{TOR} \geq 1 \end{cases}$$

$$f_{hng,M} = \begin{cases} 0; & M \leq 6.0 \\ 2(M - 6.0); & 6.0 < M < 6.5 \\ 1; & M \geq 6.5 \end{cases}$$

$$f_{hng,z} = \begin{cases} 0; & Z_{TOR} \geq 20 \\ \dfrac{20 - Z_{TOR}}{20}; & 0 \leq Z_{TOR} < 20 \end{cases} \qquad f_{hng,\delta} = \begin{cases} 1; & \delta \leq 70 \\ \dfrac{90 - \delta}{20}; & \delta > 70 \end{cases}$$

$F_{site}$ مدلی برای وابستگی به شرایط ساختگاهی سطحی خطی و غیر خطی می باشد

رابطه ۶

$$f_{site} = \begin{cases} C_{10} Ln\left(\dfrac{V_{s30}}{K_1}\right) + K_2 \left\{ Ln\left[A_{1100} + c\left(\dfrac{V_{s30}}{K_1}\right)^n\right] - Ln\left[A_{1100} + c\right]\right\}; & V_{s30} < K_1 \\ (C_{10} + K_2 n) Ln\left(\dfrac{V_{s30}}{K_1}\right); & K_1 \leq V_{s30} < 1100 \\ (C_{10} + K_2 n) Ln\left(\dfrac{1100}{K_1}\right); & V_{s30} \geq 1100 \end{cases}$$

و در نهایت تابع $f_{sed}$ برای بیان تابعیت بر حسب تاثیرات رسوب سطحی و تاثیرات آبگیر می باشد

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

رابطه ۷

$$f_{sed} = \begin{cases} C_{11}\left(Z_{2.5}-1\right); & Z_{2.5} < 1 \\ 0; & 1 \le Z_{2.5} \le 3 \\ C_{12}K_3 e^{-0.75}\left[1-e^{-0.25(Z_{2.5}-3)}\right]; & Z_{2.5} > 3 \end{cases}$$

باید افزود این رابطه کاهندگی بر مبنای سرعت ساختگاه مرجع Vref=۱۱۰۰m/s بر حسب بزرگا و فاصله برای سازکار های مختلف و برای پارامتر های PGA,PGV,PGD در پریود های متفاوت ارزیابی شدند با استفاده از ضرایب بدست آمده در این مدل پارامترهای شتابنگاری را برحسب بزرگی، فاصله و برای ساز و کارها و شرایط ساختگاهی مختلف تعیین می شود

**جدول ۱. ضریب کاهندگی رابطه کمپبل و بزرگ نیا**

| C۰ | C۱ | C۲ | C۳ | C٤ | C٥ | C٦ | C۷ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -۱,۷۱٥ | ۰,٥۰۰ | -۰,٥۳۰ | -۰,۲٦۲ | -۲,۱۱۸ | ۰,۱۷۰ | ٥,٦۰۰ | ۰,۲۸۰ |
| C۸ | C۹ | C۱۰ | C۱۱ | C۱۲ | K۱ | K۲ | K۳ |
| -۰,۱۲۰ | ۰,٤۹۰ | ۱,۰٥۸ | ۰,۰٤۰ | ۰,٦۱۰ | ۸٦٥ | -۱,۱۸٦ | ۱,۸۳۹ |

یکی از روش های پرکاربرد در تصمیم گیری چند معیاره، فرایند تحلیل شبکه ای (ANP[۱]) است مدل فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) ارتباط های پیچیده، میان عناصر تصمیم را از طریق جایگزینی ساختار سلسله مراتبی با ساختار شبکه ای در نظر می گیرد(زبردست،۱۳۸۹). مدل فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) یک مدل پیشرفته جهت ساخت و تحلیل تصمیم گیری است. این مدل قابلیت محاسبه سازگاری قضاوت ها و انعطاف پذیری در تعداد سطوح معیارهای قضاوت را دارد. مدل فرایند تحلیل شبکه ای در واقع مدل تعمیم یافته روش برنامه ریزی سلسله مراتبی (AHP) است که فرض موجود در روش برنامه ریزی سلسله مراتبی مبنی بر عدم وجود رابطه بین سطوح مختلف تصمیم گیری را ندارد( Dikmen and Birgonul,۲۰۰۷) مدل فرایند تحلیل شبکه ای در چهار گام به شرح زیر انجام می پذیرد : در گام نخست موضوع مورد نظر و معیار های تاثیر گذار بر آن به طور کامل و دقیق مشخص می شوند . در صورت وجود معیارهای فراوان ، امکان گروه بندی معیارها وجود دارد . در گام دوم همانند مدل AHP ماتریس مقایسات زوجی (گروه ، معیار و گزینه ها ) با استفاده از نرم افزار سوپر دسیژن(super decision) ایجاد و حل می شود. اعداد موجود در ماتریس همانند مدل AHP از جدول قضاوت ساتی از بین اعداد ۱ تا ۹ انتخاب می شود. در گام سوم فوق ماتریس طراحی و حل می شود . مفهوم فوق ماتریس شبیه به فرایند زنجیره مارکوف است. برای بدست آوردن ارزش های نسبی کلی در یک سیستم با وجود تاثیرات متقابل بین عناصر و گروهها ، ارزش های نسبی جزئی درون ماتریسی به نام فوق ماتریس قرار می گیرند. در واقع این ماتریس ، یک ماتریس چند بخشی است که هر بخش ماتریس روابط میان عناصر در سیستم را نشان می دهد(Yüksel and Dagdeviren, ۲۰۰۷ ). در نهایت ، در گام چهارم رتبه بندی گزینه ها انجام می‌گیرد. وزن های بدست آمده موجود در فوق ماتریس محدود شده ، وزن گزینه ها و معیارهای مدل را نشان می دهند.

[۱] Analytic Network Process

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

**جدول ۲. وزن شاخص های مخاطره و آسیب پذیری در ارزیابی ریسک براساس تکنیک ANP**

| توان لرزه زایی ( مخاطره ) | | | آسیب پذیری | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PGA | PGV | PGD | جنس لوله | قطر لوله | عمر لوله | اتصالات | جمعیت تحت پوشش |
| ۰.۱۲۲ | ۰.۵۵۸ | ۰.۳۲۰ | ۰.۴۴۰ | ۰.۲۰۴ | ۰.۱۰۰ | ۰.۱۸۵ | ۰.۰۶۷ |

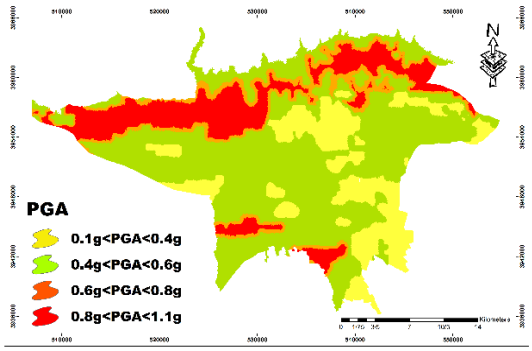
## شرح و تفسیر نتایج

- **تحلیل توان مخاطره زایی**

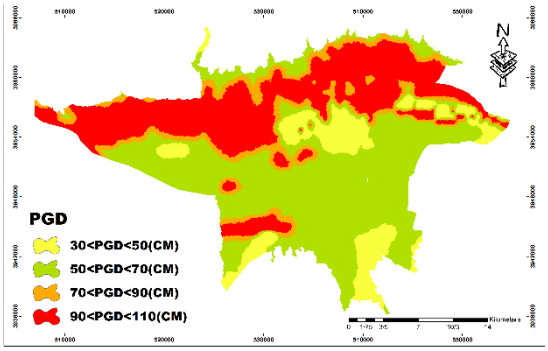
با استفاده از روابط کاهندگی کمپل بزرگ نیا تحلیل خطر زلزله انجام گرفت و شاخص های اصلی لرزه ای شهر تهران به ازای گسل های سناریوی مشا، شمال تهران و ری بدست آمد خروجی لرزه ای به ازای هر گسل سناریو و سپس به ازای همه سناریوها در محیط GIS طبقه بندی و مورد تحلیل قرار گرفت. نقشه هم پوشانی هر سه که معرف میزان کل خطر پذیری منطقه می باشد مطابق نقشه (۵) آماده گردید و میزان خطرپذیری منطقه براین اساس شناسایی گردید. در ادامه خروجی های ارائه شده شاخص های لرزه ای روی شبکه آبرسانی شهر تهران بر مبنای پرسشگری انجام یافته از نخبگان و تکمیل پرسش نامه توسط اساتید، مبتنی بر تکنیک فرایند تحلیل شبکه ای (ANP )، وزن نهایی شاخص ها با استفاده از نرم افزار Super Decision تعیین شد.

نقشه توان لزره زایی (۵) شهر تهران نشان می‌دهد که به لحاظ زمین‌شناسی، تهران دارای تنوعی از آبرفت‌ها و خاک‌های جوان با ضخامت‌های متغیر است که می‌توانند مقدار شتاب، دامنه و دوام لرزش زمین را حین وقوع زمین‌لرزه تشدید کرده و خسارات را دوچندان کنند. با درنظر گرفتن اثر خاک سطحی تهران، محاسبات نشان داد که در مناطق شمالی تهران به دلیل نزدیکی به گسل‌های شمال تهران و مشا و همچنین مناطق جنوبی تهران به دلیل برخورداری از خاک سست و مستعد تشدید زلزله، خطر زمین‌لرزه به‌طور نسبی بیشتر از سایر مناطق است و بر روی نقشه نیز بیشترین توان لرزه زایی مربوط به دو منطقه شمالی و جنوبی می باشد که با رنگ قرمز به خوبی نمایان می باشد. در نقشه (۶) وضعیت مخاطرات بر روی خطوط اصلی انتقال شبکه آبرسانی عملکرد دو گسل شمال در مناطق شمالی و گسل ری در مناطق جنوبی نیز به خوبی نمایان شده است و نشان می‌دهد که عملکرد این دو گسل بر روی خطوط اصلی شبکه تاثیر خود را گذاشته است. در پهنه شمالی که تراکم شبکه آبرسانی بیشتر است به خوبی تاثیر مخاطره لرزه ای بر روی شبکه نمایان شده است اما در مناطق جنوبی به دلیل اینکه تراکم شبکه کمتر است و بیشتر از آب چاه استفاده می شود خطوط انتقال کمتری در این پهنه وجود دارد و پراکندگی زیادی از منظر مخاطره بر روی خطوط شبکه آبرسانی دیده نمی شود اما به این معنی نیست که در مناطق جنوبی مخاطره لرزه ای تاثیر زیادی بر روی خطوط انتقال ندارد بلکه به دلیل اینکه تراکم شبکه در این منطقه کمتر است توان لرزه ای کمتر توانسته است در این منطقه تاثیر خود را بر روی شبکه نشان دهد. در مناطق مرکزی خسارت بسیار کمی متوجه شبکه آبرسانی می شود که دلیل این امر می تواند نبود هیچ خط گسلی و توان لرزه ای کمتر نسبت به سایر مناطق باشد با این اوصاف بیشترین خسارت و خطر خطوط در مناطق شمالی که یک به دلیل وجود دو خط گسلی بسیار مهم در این منطقه و همچنین تراکم بالای شبکه نسبت به مناطق جنوبی و نبود خط گسلی و خطر کمتر لرزه ای در مناطق مرکزی می باشد بر این اساس بیشترین خسارات در مناطق شمالی و غربی به دلیل نزدیکی به گسل و سرعت زیاد بیشینه زمین رخ داده است.

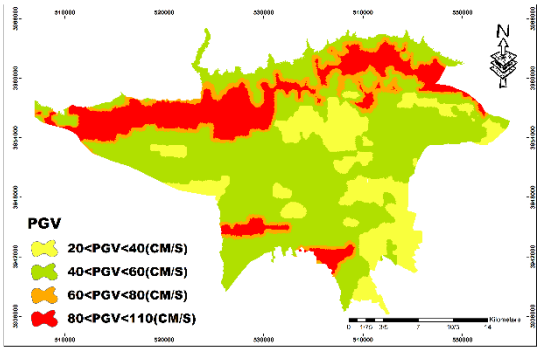
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]



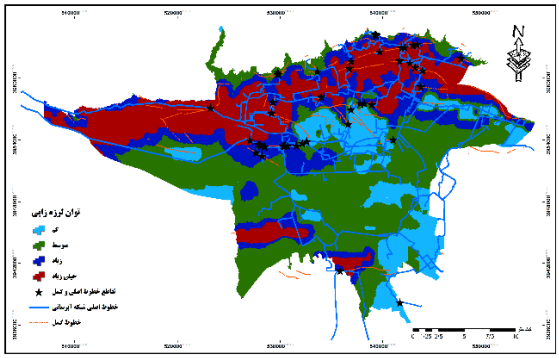

**شکل ۲. نقشه PGA** (بیشینه شتاب سطح زمین)



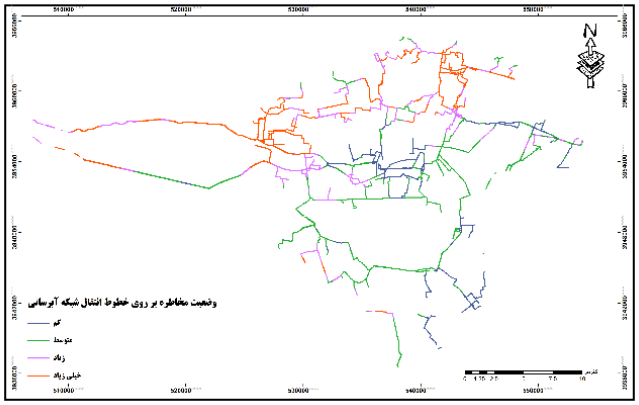

**شکل ۳. نقشه PGD**(بیشینه جابجایی سطح زمین)




**شکل ۴. نقشه PGV** (بیشینه سرعت سطح زمین)



**شکل ۵. نقشه توان لرزه زایی**



**شکل ۶.** نقشه وضعیت مخاطره بر روی خطوط انتقال شبکه آبرسانی

- **تحلیل آسیب پذیری خطوط لوله شبکه انتقال آبرسانی**

به منظور ارزیابی میزان آسیب پذیری، شاخصهای ارزیابی معرفی شده و با استفاده از تکنیک ANP فازی وزن نسبی هر کدام از شاخصها محاسبه شده است. پس از آن با رویکرد چند شاخصه فازی و با استفاده از تکنیک مجموع ساده وزنی SAW

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

فازی شاخص آسیب پذیری اجزای شبکه بدست آمده است و در نهایت شبکه از لحاظ شاخص آسیب پذیری در برابر زلزله با کمک GIS پهنه بندی شده است (شکل ۷)

عوامل موثر در آسیب دیدگی لوله های شبکه آبرسانی عبارتند از جنس و قطر لوله ها ، اتصال نامناسب لوله ها به تاسیسات ، نزدیکی به گسل ، عمق کارگذاری لوله و فرسودگی لوله ها ، همچنین نوع اتصال بین لوله ها که شامل : لوله های پیوسته ( یکپارچه ) و تکه ای (غیر یکپارچه ) می باشند(راهنما ،۱۳۹۴)

جنس لوله ها یکی از مهم ترین معیار های آسیب پذیری در برابر خطر لرزه ای می باشد آسیب پذیری انواع لوله های فولادی جوشی ، چدنی، چدن داکتیل، بتنی در برابر شدت لرزه های مختلف متفاوت است.درجه آسیب پذیری لوله ها در یک شدت لرزه یکسان از کم به زیاد به این صورت است لوله های فولادی دارای اتصالات با جوش قوسی ، لوله های چدنی و چدن داکتیل نشکن ، لوله های بتنی، به این ترتیب بیشترین میزان آسیب پذیری جنس لوله در برابر خطر لرزه ای مربوط به لوله های بتنی می باشد و همان طور که در نقشه آسیب پذیری مشخص است لوله های بتنی بیشترین میزان آسیب را دارا می باشد هر جا میزان آسیب پذیری با درجه بسیار زیاد نشان داده شده عمدتا جنس لوله از بتن بوده است.

قطرلوله های خطوط آبرسانی نیز در برابر خطر لرزه ای از خود مقاومت متفاوتی نشان می‌دهد. لوله های خطوط آبرسانی در اقطار متفاوتی می باشند و لوله های با قطر بالاتر از اهمیت بسیار بیشتری در آبرسانی برخودارند لوله های خطوط آبرسانی در اقطار بالا بیشتر از جنس فولاد و بتن می باشد لوله های فولادی در مقابل خطر لرزه ای مقاومت بیشتری دارند و آسیب کمتری می بینند اما لوله های با جنس بتن مقاومت کمتری دارند چهار خط اصلی شبکه آبرسانی که آب را از آبگیر بیلقان به منطقه شهری تهران منتقل می‌کنند از لوله های فولادی و بتن بوده این لوله ها اکثرا دارای قطر بالا می باشند که خود اهمیت آنها را دو چندان می سازد. دوتای لوله فولادی با قطر ۱۰۰۰ میلی متر می باشد که در سال ۱۹۵۰ نصب شده اند و دو خط لوله دیگر، لوله‌های بتنی با قطر ۲۰۰۰ میلیمتر هستند که بعدا نصب شده اند. دو خط لوله فولادی آب را به تصفیه خانه شماره یک جلالیه می رساند و دو خط لوله بتنی آب را به تصفیه خانه کن منتقل می کند لوله های با اقطار پایین نیز در شبکه آبرسانی می باشد که اکثرا از جنس داکتیل می باشد که درجه اهمیت پایین تری نسبت به خطوط لوله با اقطار بالا دارد اما با این وجود لوله های اقطار پایین جنس داکتیل مقاومت خوبی نسبت به خطر لرزه ای دارند و درجه آسیب کمتری دارد . لوله های با قطر بالا دارای اولویت بالاتری هستند لوله داکتیل با قطر پایین و به منظور متصل نمودن مخازن آب مجاور هم در قسمتهای شمالی شهر تهران استفاده شده است.

اتصالات شبکه آبرسانی نیز در آسیب پذیری خطوط در برابر خطر لرزه ای از درجه اهمیت برخوردارند و به عنوان یک معیار در آسیب پذیری شاخص شبکه ای در نظر گرفته شده اند لوله‌های فولادی با اتصال نوع ویکینگ جانسون، محدوده مجاز لغزش بزرگی دارند. به عبارت دیگر لوله‌های داکتیل نسبتا محدوده مجاز کوچکتری دارند. محدوده مجاز لوله داکتیل بستگی به نوع اتصال تایتون دارد، این محدوده برای اتصال نوع پیچی بزرگتر از اتصال نوع تایتون است. بنابراین به منظور بالا بردن سطح ایمنی اتصالات، مقدار کوچکتر بکار گرفته می‌شود. لوله‌های بتنی و چدنی، اگرچه دارای مقاومت بدنه خوبی هستند ولی در مقایسه با لوله‌های فولادی و داکتیل، دارای اتصالات ضعیف تری می باشند. هم اتصالات جوشی و هم مکانیکی جهت اتصال لوله‌های فولادی بکار می‌روند. اتصالات مکانیکی با عنوان «ویکنینگ جانسون» نامیده می شوند که عمدتا در

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

تهران بکار رفته است. در اتصالات بتنی کلیه اتصالات نر و مادگی خاصیت ارتجاعی ندارند و امکان در رفتگی و نشت آب در محل اتصال در موقع زلزله بسیار زیاد است. در مورد جنس اتصالات مصرف شده در شبکه به منظور اطمینان از تحلیل دقیق‌تر باید مشخص شود

قدمت خطوط لوله نیز باعث می شود که شبکه خطوط انتقال آب مقاومت متفاوتی نسبت به خطر لرزه ای از خود نشان دهند خط لوله فولادی که یکی از خطوط اصلی انتقال آب به سطح شهر می باشد دارای قدمت زیادی می باشد و همین باعث می شود که نتواند مقاومت اولیه خود را در برابر خطر لرزه ای داشته باشد چرا که این خطوط فرسوده شده و باید بازسازی شوند بازسازی خطوط اصلی کار آسانی نیست بعنوان مثال این خطوط معمولا در زیر جاده های اصلی قرار دارند. لوله های فرسوده بتنی هنوز در شبکه وجود دارند. فرسودگی در زیر ساخت آب و به ویژه لوله های آب ، یکی از عوامل مهم در آسیب پذیری در شبکه آب شهری است براساس داده های اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب شهر تهران در برخی محلات عمر شبکه آب بسیار بالا و در برخی محلات بسیار پایین است بررسی عمر شبکه در سطح شهر نشان می‌دهد که عمر لوله ها در بخش های از مرکز شهر بیشتر است و همسو با روند رشد کالبدی شهر به سمت محله های نوبنیاد از عمر شبکه کاسته شده و شبکه جوان است محله های مرکزی و قدیمی عمر شبکه در آنها بیشتر است.

- **تعیین جمعیت هریک از مناطق تحت پوشش مخازن**

جمعیت شهر تهران جهت انجام تحلیل هر یک از مناطق تحت پوشش مخازن اختصاص داده شده است . جمعیت بدون آب با توجه به جمعیت هر یک از مناطق تحت پوشش مخازن و میزان خسارت لوله در خطوط انتقال ، خطوط توزیع اصلی محاسبه شده است . در صورتی که خط انتقال آسیب نبیند ، میزان خسارت وارد بر منطقه تحت پوشش مخزن با استفاده از میزان خسارت خطوط توزیع اصلی محاسبه می شود (گزارش جایکا،۲۰۰۲).

نرخ آبرسانی منطقه تحت پوشش مخزنی که آبرسانی به آن متوقف شده برابر است =

(میزان خسارت خطوط توزیع فرعی -۱) * (میزان خسارت خطوط توزیع اصلی -۱) -۱

جمعیت بدون آب در منطقه تحت پوشش مخزن برابر است با =

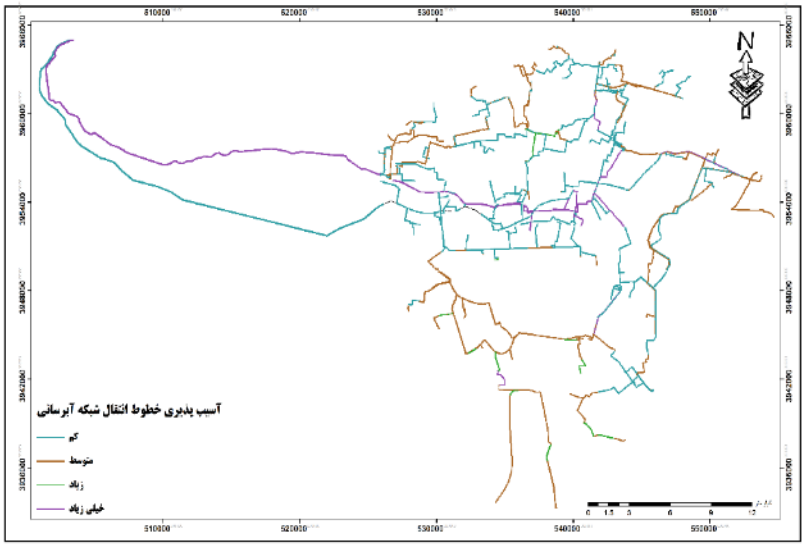
(نرخ آبرسانی منطقه تحت پوشش مخزنی که قطع شده ) * (جمعیت منطقه تحت پوشش مخزن)

شکل ۷ نقشه آسیب پذیری خطوط انتقال شبکه آبرسانی را نشان می دهد به طور کلی با توجه به نتایج حاصل از نقشه اخیر می توان گفت نقشه آسیب پذیری خطوط بازتاب مناسبی از وضعیت جنس ، قطر و ... مناطق تحقیق در برابر آسیب بذیری ناشی از زلزله ارائه می دهد. در واقع هرچه مقاومت و انعطاف مواد تشکیل دهنده خطوط آبرسانی بیشتر باشد آسیب پذیری کمتر است و مشاهدات نیز گواه بر این مطلب می باشد. خطوط آبی واقع در نقشه بیشتر خطوط فولادی می باشند که میزان آسیب پذیری کمتر را نشان می‌دهد و خطوط بنفش در نقشه لوله هایی با جنس بتن می باشد که بیشترین آسیب پذیری را نشان می دهد.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

**جدول ۳. طول خطوط شبکه اصلی**

| جنس | بتن | چدن | داکتیل | فولادی | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|
| طول لوله | ۱۳۲/۷۱۲۹۷۳ | ۱۰/۵۵۲۹۳۳ | ۱۱۸/۵۳۷۳ | ۴۳۲/۴۲۵۲۶۴ | ۶۹۴/۲۲۸۴ |

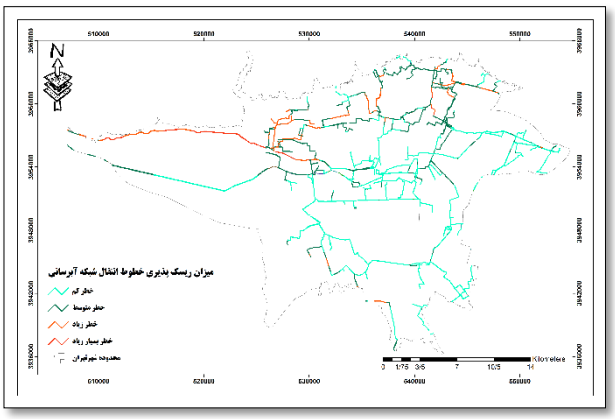



**شکل ۷. نقشه آسیب پذیری خطوط انتقال شبکه آبرسانی**

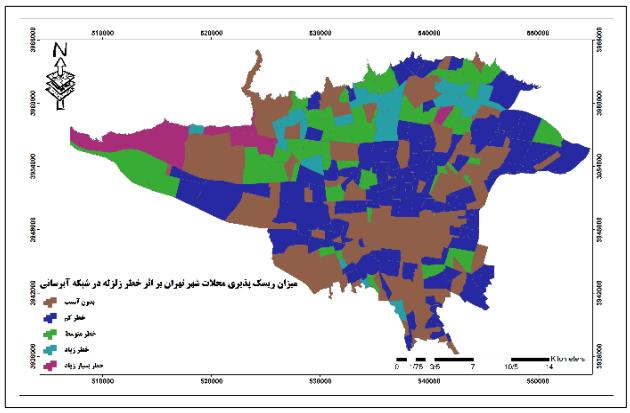
مطالعات رسیک لرزه ای خطوط لوله شامل دو بخش تحلیل خطر و آسیب پذیری است. در این مرحله، کار روی هم گذاری لایه های اطلاعاتی و در نتیجه پهنه بندی ریسک در طول مسیر خط لوله انجام شد. با تلفیق نقشه های زیر شاخص های مولفه مخاطرات و آسیب پذیری نقشه نهایی شاخص مخاطرات که نشان دهنده احتمال وقوع خطر است، تولید شد. پس از تولید نقشه فاکتور نهایی برای دو شاخص امتیاز ریسک نسبی محاسبه گردید. برای محاسبه ریسک زلزله براساس رابطه R= H*V مقادیر این دو مولفه در هم ضرب شد. این محاسبه در نرم افزار GIS بر روی لایه های توان مخاطره زایی و آسیب پذیری انجام و نتیجه نهایی حاصل از این محاسبه در شکل (۸) نمایش داده شده است که ارزیابی ریسک لوله های شبکه انتقال آب در گستره شهر تهران را نشان می‌دهد. در این شکل پهنه های مختلف ریسک شبکه انتقال خطوط آبرسانی مشخص شده اند به طوری‌که برخی از لوله های شبکه آب در محدوده بسیار پر خطر و پر خطر واقع شده اند میزان ریسک محاسبه شده برای تمامی شبکه انتقال آب از نظر ریسک زلزله نشان داده شده است همان طور که مشاهده می شود برخی از لوله های شبکه انتقال دارای ریسک بیشتری خواهند بود در مقابل بیشتر شبکه انتقال کم ترین خطر ناشی از زلزله را خواهند داشت. بیش از نیمی از شبکه انتقال خطوط آبرسانی در پهنه کم خطر واقع شده اند حدود ۳۳ درصد از شبکه های انتقال در پهنه نسبتا پایین ریسک قرار دارند. اما پهنه های دارای ریسک زیاد و خیلی زیاد حدود ۲۲ درصد از کل پهنه تهران را شامل می شود که پهنه نسبتا زیادی می باشد و محلات زیادی را درگیر خواهد کرد. چندین محله در نواحی شهر تهران دارای خطر ریسک بالا و بسیار بالا هستند با تحلیل کمی بر روی هر یک از محلات شهری تهران در می یابیم که این محلات دارای خطر متفاوتی از زلزله هستند(شکل۹) . بیشترین میزان ریسک مربوط به نواحی غرب و شمال تهران می باشد همان

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

طور که قبلا در بحث های توان مخاطره زایی و میزان آسیب پذیری خطوط نشان داده شد این نواحی توان لرزه زایی بسیار بالایی دارند و تراکم خطوط نیز در این نواحی بیشتر است در پهنه غربی تهران آبی که از آبگیر بیلقان به سمت تصفیه خانه کن منتقل می شود آب محلات زیادی را تامین می کند و بسیاری از این محلات مانند جنت آباد ، شهر زیبا، مبعث، شهران ،پونک، گشت اجباری، زعفرانیه، امانیه، زرگنده ، اوین تحت پوشش تصفیه خانه کن قرار دارند که در صورت شکست و نشت هر کدام خطوط آبرسانی محلات نام برده شده با مشکل مواجه خواهد شد. همچنین محلاتی مانند سوهانک ، ازگل، کاشانک اجودانیه ، اختیاریه رستم اباد و احتشامیه دروس جز محلاتی هستند که خطر شکست و نشت آب در این محلات وجود دارد آب مورد نیاز این محلات از تصفیه خانه سوهانک تامین می شود چندین محله نیز در نواحی جنوبی شهر قرار دارند که جز پهنه های با ریسک بالا می باشند این محلات عبارتند از سیزده آبان ، ولی عصر، یاخچی آباد، بهمن یار، وصفنار و بهداشت می باشد. پهنه های با ریسک پایین بیشتر در مناطق مرکزی و شرق تهران قرار دارد. در واقع می توان گفت زلزله گسل شمال تهران در میان دیگر زلزله‌های مبنا، بیشترین تاثیر را بر روی خطوط شبکه آبرسانی دارد. چرا که مناطق تحت تاثیر سایر زلزله‌های مبنا وسعت چندانی ندارند.




شکل۸.نقشه میزان ریسک پذیری خطوط انتقال شبکه آبرسانی




شکل ۹.نقشه میزان ریسک پذیری محلات شهر تهران

## نتیجه گیری

خطوط شبکه آب شهری به عنوان بخشی از زیرساخت های حیاتی هر کشور، نقش بسیار مهمی را در بحث تامین آب شرب ایفا می‌کنند .این شبکه ها در معرض مخاطرات طبیعی متعددی از قبیل زلزله قرار دارند .از آنجایی که در کاهش ریسک رخداد زلزله، مقدار احتمال و شدت وقوع آن قابل کاهش نبوده و در نتیجه این ریسک وابستگی زیادی به میزان آسیب پذیری شبکه دارد، بنابراین محاسبه و پایش میزان آسیب پذیری شبکه های توزیع آب شهری در برابر خطرات طبیعی، از اهمیت بسیایی برخوردار می‌باشد. در این پژوهش تلاش شد تا با استفاده از داده ها و اطلاعات موجود و در دسترس و با استفاده از روش های علمی میزان خطر و ریسک نسبی حاصل از مخاطره زمین لرزه بر روی خطوط شبکه آبرسانی در محدوده شهر تهران بر آورد و نقشه میزان ریسک پذیری این خطوط تهیه شود. بیشترین میزان ریسک مربوط به نواحی غرب و شمال تهران می باشد همان طور که قبلا در بحث های توان مخاطره زایی و میزان آسیب پذیری خطوط نشان داده شد این نواحی

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]
[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

توان لرزه زایی بسیار بالایی دارند و تراکم خطوط نیز در این نواحی بیشتر است. انجام این مطالعات باعث شناسایی مناطقی از تاسیسات انتقال آب می شود که در معرض خطر قرار دارند و ممکن است وقوع مخاطره زمین لرزه با صدمه به خطوط انتقال آب، آب شرب جمعیت عظیمی را با مشکل مواجه کند. همچنین با انجام پهنه بندی های لازم، از گسترش آتی تاسیسات در مکان هایی که احتمال بروز خطر و آسیب پذیری بیشتر است جلوگیری می شود. لذا به منظور تهیه برنامه کنترل ریسک می توان با مراجعه به نقشه تولید شده خط لوله دارای مخاطرات بالا و آسیب پذیری، آسیب های خطوط لوله را شناسایی و برحسب موقعیت مکانی آن ، برنامه پیشگیری و کنترلی مناسب با شرایط و وضع موجود محیط اطراف خط لوله ، ارائه نمود هر محله می‌تواند جایگاه خود به لحاظ خطر پذیری زلزله را بیابد .بهتر است توجه شود که نتایج بررسی، فقط شاخص یا بیانگری از توانایی نسبی خطر زلزله بر روی شبکه آبرسانی است بنابراین حتی مناطقی که به عنوان "خطر نسبتاً کم یا بی خطر طبقه‌بندی شده‌اند، نمی‌توانند بی‌تفاوت و آرام بمانند.

## منابع


حسن زاده ، رمضان علی و مسعود مهربان .۱۳۸۹. بررسی عوامل آسیب در لوله ها ، اتصالات و تاسیسات شبکه آبرسانی در برابر زلزله. نشریه بین المللی مهندسی آب ، **۳۶** : ۲۲-۳۰

زبردست، اسفندیار.۱۳۸۹. کاربرد فرایند تحلیل شبکه ای در برنامه ریزی شهری و منطقه ای. نشریه ی هنر های زیبا- معماری و شهرسازی ،**۴۱** : ۷۹-۹۰

رهنما، رضا؛ رضا راستی ، نعمت حسنی و مصطفی قیاسوند .۱۳۹۴. بررسی آسیب پذیری لرزه ای شبکه آبرسانی منطقه ۱۱ تهران جهت مقاوم سازی. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، **۴** : ۳۰۸- ۳۱۴

سلامت ، احمد ؛ مهدی اعلمی، نبی اله غلامی بیدخانی و اسلام ستارزاده .۱۳۹۶.ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شبکه توزیع آب با استفاده از GIS ، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق ، اراک ، وزارت نیرو

شفائی، پیمان .۱۳۹۴. تحلیل GIS پایه مخاطرات طبیعی تهدید کننده خطوط اصلی انتقال آب شرب شهر ارومیه .پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پردیس بین المللی ارس ، دانشگاه تبریز

کامل ، بتول.۱۳۹۰. مدیریت بحران زلزله در مرحله قبل از وقوع با استفاده از gis ، مطالعه موردی : منطقه ۱ شهرداری تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS گروه جغرافیای طبیعی .دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.

قنواتی، عزت ا... و مسعود شیخی .۱۳۸۹. نقش برنامه ریزی شهری در کاهش خطر زلزله در بافت های فرسوده مطالعه موردی : منطقه ۱۲ تهران . فصل نامه جغرافیای طبیعی ، سال سوم ،**۹** : ۲۹-۴۲

قهرودی تالی ، منیژه ؛ محمدرضا ثروتی، محمد صرافی، سید محمد پورموسوی و خه بات درفشی .۱۳۹۱. ارزیابی آسیب پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران. فصلنامه علمی امداد و نجات، **۳**: ۷۹-۹۳

علوی،سید محسن؛محمد مسعود و اسدالله کریمی .۱۳۹۷.ارزیابی تاب آوری زیر ساخت های شبکه آب شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی : منطقه ۲ تهران ). پژوهش های جغرافیای انسانی ، **۴** :۹۹۱-۹۷۷

مستانه، زهرا؛ لطف الله موصلی، مریم جهانگیری،مریم دوست و علی عشقی.۱۳۹۰. توانمندیها و محدودیتهای مدیریت بحران در بیمارستانهای دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان. مجله دانشگاه علوم پزشکی فسا، **۴**: ۲۴۴-۲۵۰

مقیمی، ابراهیم.۱۳۹۳. چرا دانش مخاطرات ؟(تعریف و ضرورت ) . دانش مخاطرات ، **۱** :۳-۱


[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

ناطق الهی ، فریبرز.۱۳۷۹. مدیریت بحران زلزله ابر شهر ها با رویکرد به برنامه مدیریت بحران زلزله شهر تهران. تهران پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

نوری ، الهه .۱۳۹۶. مدل سازی شرایط بحران شبکه آب شرب در مواقع زلزله بر مبنای GIS مطالعه موردی : شهرک باغمیشه تبریز .پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی .دانشکده ی برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

نوروزی خطیری ، خدیجه؛ بابک امیدوار ، بهرام ملک محمدی و سجاد گنجه ای. ۱۳۹۲. تحلیل ریسک مخاطرات چندگانه شهری در اثر سیل و زلزله (مطالعه موردی :منطقه بیست تهران ). جغرافیا و مخاطرات محیطی ،**۷** : ۵۳ -۶۸.

حسنی، نعمت.۱۳۹۰. آسیب پذیری لرزه ای و راهکارهای مقابله با زلزله در سامانه های آبرسانی .فصلنامه علمی تخصصی دانش پیشگیری و مدیریت بحران ، **۱** : ۳۹تا ۶۳

هاف ، سوزان الیزابت ؛ راجر جی بیلهام.۲۰۰۶. زلزله ، پس از آنکه زمین می لرزد ، مهدی زارع و فرناز کامران زاد . اول .انتشارات مازیار.

Bentes, I., Afonso, L., Varum, H., Pinto, J., Varajão, J., Duarte, A. and Agarwal, J., ۲۰۱۱. A new tool to assess water pipe networks vulnerability and robustness. Engineering Failure Analysis, ۱۸(۷) :۱۶۳۷-۱۶۴۴.

Berberian, M. and Yeats, R.S. ۲۰۱۷. Tehran: An earthquake time bomb. Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions, ۵۲۵: ۸۷.

Campbell, K. W. (۲۰۰۳). Strong-motion attentuation relations. INTERNATIONAL GEOPHYSICS SERIES, ۸۱**(B):** ۱۰۰۳-۱۰۱۲.

Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y., ۲۰۰۸. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and ۵٪ damped linear elastic response spectra for periods ranging from ۰٫۰۱ to ۱۰ s. Earthquake Spectra, **۲٤** :۱۳۹-۱۷۱.

Chen, Y., Niu, Z., Bai, J. and Wang, Y., ۲۰۱٤. Seismic vulnerability assessment of water supply network in Tianjin, China. Frontiers of Environmental Science & Engineering, ۸ :۷۶۷-۷۷۵.

Chang, S.E., McDaniels, T., Fox, J., Dhariwal, R. and Longstaff, H. ۲۰۱٤. Toward disaster-resilient cities: Characterizing resilience of infrastructure systems with expert judgments. Risk analysis, **۳٤**:٤۱٦-٤۳٤.

Dikmen, I and M.T. Birgonul .۲۰۰۷. Using Analytic Network Process forPerformance Measurement in Construction, College of Architecture. Georgia Institute of Technology, USA

Fragiadakis, M., Xanthos, S., Eliades, D.G., Gagatsis, A. and Christodoulou, S.E., ۲۰۱٤, October. Graph-based hydraulic vulnerability assessment of water distribution networks. In International Conference on Critical Information Infrastructures Security Springer, Cham :۸۱-۸۷

Javanbarg, M.B., Scawthorn, C., Kiyono, J. and Ono, Y., ۲۰۰۹. Multi-hazard reliability analysis of lifeline networks. In TCLEE ۲۰۰۹: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment,**۱:** ۱-۸

JICA, C. ۲۰۰۰. The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran. Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan, pp.۲۹۱-۳۹۰.

Laucelli, D.B. and Giustolisi, O., ۲۰۱٤. Vulnerability assessment of water distribution networks under seismic actions. Journal of Water Resources Planning and Management, **۱٤۱** :۱-۱۳.

Mitchell, D. and Garibay, A. ۲۰۱۱. Assessing and responding to land tenure issues in disaster risk management. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO).

O'Rourke, T.D., Jezerski, J.M., Olson, N.A., Bonneau, A.L., Palmer, M.C., Stewart, H.E., O'rourke, M.J. and Abdoun, T. ۲۰۰۸. Geotechnics of pipeline system response to earthquakes. In Geotechnical earthquake engineering and soil dynamics,**۵**: ۱-۳۸

Tanaka, Y. ۲۰۱۲. Disaster policy and education changes over ۱۵ years in Japan. Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice, **۱٤(۳)**: ۲٤۵-۲۵۳.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

Toprak, S. and Taskin, F. ۲۰۰۷. Estimation of earthquake damage to buried pipelines caused by ground shaking. Natural hazards, **٤٠(١)**: ١-٢٤.

Xing, L. ۲۰۰۸. An efficient binary-decision-diagram-based approach for network reliability and sensitivity analysis. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, **۳۸(۱)**: ۱۰۵-۱۱۵.

Muhlbauer, W.K. ۲۰۰٤. Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources. Elsevier.

Yüksel, İ. and Dagdeviren, M. ۲۰۰۷. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis–A case study for a textile firm. Information sciences, **۱۷۷:** ۳۳٦٤-۳۳۸۲.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.4.9 ]

[ DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.59 ]