

پیشنهاد شبکه هوشمند ارزیابی شاخص آسیب پذیری لرزه‌ای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در بستر GIS (مطالعه موردی: شهر کرد)

محمدعلی رهگذر^۱، محمدرضا زارع^۲، سید محمد هاشمی فشارکی^۳

۱- استادیار، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول) ۳۷۹۳۲۴۳۳ (۰۳۱) rahgozar@eng.ui.ac.ir

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

۳- کارشناسی ارشد مهندسی زلزله اصفهان

(دریافت ۹۳/۴/۲ پذیرش ۹۳/۱۰/۲۰)

چکیده

شبکه جمع‌آوری فاضلاب به موجب پراکندگی و قرارگیری در سطح وسیعی از گستره زمین، در هنگام زلزله در معرض آسیب‌های فراوانی قرار دارد. این آسیب‌دیدگی علاوه بر زیان مستقیم به شبکه، پیامدهایی همچون آلودگی محیط زیست را نیز به دنبال دارد. در هنگام زلزله‌های بزرگ، تعمیرات خرابی‌های متعدد در شبکه از جمله شکست لوله‌ها و تخریب اتصالات آنها بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. بنابراین از دیدگاه مدیریت ریسک زلزله، وجود ابزاری هوشمند که قادر به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای هر نقطه از شبکه جمع‌آوری فاضلاب به‌عنوان یک شریان حیاتی و در هر لحظه از زمان باشد، بسیار با اهمیت است. در این مقاله با استفاده از روش وزندهی و ارائه الگوریتمی هوشمند تحت سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS که قابلیت به‌روزرسانی اطلاعات ورودی شبکه را بسته به زمان و مکان دارا باشد، به ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌های عظیم جمع‌آوری فاضلاب شهری پرداخته شد. به‌عنوان یک مطالعه موردی، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر کرد، منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای بالا، در بستر GIS ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط لوله فاضلاب شهر کرد در حد کم و متوسط است و در جنوب شهر کرد به‌خصوص در بافت قدیمی شهر که لوله‌های آن ترد است، از دیگر نقاط بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای، شبکه هوشمند، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، روش وزندهی، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، شهر کرد

۱- مقدمه

جمع‌آوری فاضلاب شامل اجزایی ثابت و خطی، مانند ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط لوله، آدم‌روها و انشعابات است. عملکرد کلی سیستم بستگی به عملکرد هر یک از اجزای آن دارد. با بررسی زلزله‌های پیشین می‌توان به این نتیجه رسید که زمین لرزه خسارات جزئی به ایستگاه‌های پمپاژ وارد می‌کند و مشکل اصلی در ایستگاه‌های پمپاژ عموماً قطع برق آنها است [۱].

خطوط لوله به سبب طول زیاد و عدم قطعیت در محل نشت و شکست اهمیت بسزایی دارند. این اجزا به علت خوردگی، پراکندگی، قدیمی بودن و عدم طراحی لوله‌های فاضلاب در برابر فشار مواد درونی (به علت حرکت ثقلی سیال، این لوله‌ها در مقابل فشار طراحی نشده، و بنابراین جداره ضعیف‌تر دارند) از آسیب‌پذیرترین نقاط شبکه تحت زلزله می‌باشند. با توجه به عمق زیاد لوله‌های شبکه فاضلاب نسبت به سایر شبکه‌های خطوط لوله زیرزمینی، زمانبر بودن و هزینه تعمیر این شبکه‌ها چالشی بزرگ در سناریوی زلزله است. از جمله خسارات شایع به شبکه فاضلاب در

شبکه جمع‌آوری فاضلاب، یکی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی به شمار می‌آید. به دلایل امنیتی و محیط زیستی، و اینکه جریان در لوله‌ها اغلب ثقلی است، شبکه لوله‌های جمع‌آوری فاضلاب معمولاً در زمین مدفون هستند. این شبکه به موجب پراکندگی و قرارگیری در سطح وسیعی از گستره زمین، در هنگام زلزله در معرض آسیب‌های فراوانی قرار دارد. عملکرد سازه‌های مدفون با سازه‌های غیر مدفون تحت زلزله متفاوت است، بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب از آن جهت حائز اهمیت است که حفظ بهداشت و نظافت عمومی از ملزومات همیشگی تأمین سلامت جامعه حتی پس از زلزله‌های مخرب است. آسیب شبکه جمع‌آوری فاضلاب تحت زلزله، امکان آسیب‌های ثانویه‌ای همچون آلودگی محیط زیست و شیوع بیماری‌های عفونی ناشی از نشت و پس زدن فاضلاب از لوله‌ها و آدم‌روهای شبکه فاضلاب و تبدیل شدن آن به یک فاجعه محیط زیستی را فراهم می‌کند. شبکه

زلزله‌های قبلی شکست اتصال لوله به آدم‌روها، شکست اتصال لوله به لوله، ترک و نشست از لوله، و شناور شدن لوله‌ها و آدم‌روها بوده است [۲].

فوکوشیما خسارات ناشی از شبکه فاضلاب در زلزله ۲۰۰۵ نیگاتای ژاپن را به صورت درصدی از کل خسارات چنین بیان می‌کند: نفوذ آب به شبکه ۰/۸ درصد، ترک خوردگی ۲/۶ درصد، انباشته شدن خاک ۳/۴ درصد، آب گرفتگی ۳/۴ درصد، خالی شدن زیرسازی آسفالت راه‌ها ۵۸/۲ درصد و ایجاد برکه‌های آب راکد ۳۱/۱ درصد [۳].

بررسی آسیب پذیری شبکه جمع‌آوری فاضلاب تحت زلزله علاوه بر تعیین میزان آسیب پذیری شبکه و نشان دادن نقاط ضعف آن، اولین قدم برای برنامه‌ریزی اقداماتی همچون نوسازی، مقاوم سازی و مدیریت و برنامه‌ریزی برای شرایط اضطراری است. بنابراین از دیدگاه مدیریت ریسک زلزله، وجود ابزارهای هوشمند که قادر به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای هر نقطه از شبکه جمع‌آوری فاضلاب به عنوان یک شریان حیاتی و در هر لحظه از زمان باشد، بسیار با اهمیت است. عوامل زیادی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه خطوط لوله مدفون مؤثراند که از جمله می‌توان به زمین لرزش، شرایط خاک محل، جنس لوله‌های شبکه، اتصالات لوله‌های شبکه خطوط، عمر و خوردگی، قطر لوله، پتانسیل زمین لغزش، گذر لوله از گسل و پتانسیل روانگرایی اشاره کرد. مدل‌های ارزیابی خسارات لرزه‌ای این‌گونه شبکه‌ها معمولاً بر اساس مشاهدات خرابی‌های شبکه ناشی از هر یک از عوامل فوق طی زلزله‌های پیشین است. چندین روش ارزیابی خسارت شبکه خطوط لوله مدفون ناشی از زلزله تاکنون مطرح بوده است. اولین روش (ATC-25)^۱ در سال ۱۹۹۱ ریسک خسارت (تعداد خرابی‌ها در طول یک کیلومتر از شبکه) را به صورت ماتریس‌های احتمال خسارت که در آن شدت زلزله بر حسب شدت مرکالی اصلاح شده^۲ است، بیان نمود. سپس این آئین‌نامه روشی برای شبکه انتقال آب ارائه نمود (ATC-25-1) [۴]. آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا^۳ روشی را برای تخمین خسارات زلزله توسعه داد. این روش در نرم افزار HAZUS که مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بود، قرار داده شد؛ که در آن شدت زلزله به صورت بیشینه شتاب^۴، بیشینه سرعت^۵ و یا تغییر مکان ماندگار زمین^۶ بیان می‌شود. برای لوله‌های مدفون مانند شبکه جمع‌آوری فاضلاب از

بیشینه سرعت، زیرا بیشترین مسبب نشست لوله‌ها است، و بیشینه تغییر مکان، که مسبب بیشترین شکست است، استفاده شده است [۵]. در HAZUS قطر لوله به عنوان یک پارامتر کلیدی در نظر گرفته نمی‌شود. ولی از طرف دیگر ترد و یا شکل پذیر بودن لوله‌ها نقش مهمی دارد، به طوری که خرابی لوله‌های شکل‌پذیر ۳۰ درصد کمتر است. لوله‌های ترد از قبیل آبست، سیمانی، بتنی، چدنی، فولادی جوش داده با شعله بوده و لوله‌های شکل‌پذیر از قبیل پی وی سی و یا فولاد جوش داده با قوس الکتریکی می‌باشند. اتحادیه شریان‌های حیاتی آمریکا راهنمای ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری فاضلاب را تحت تهدیدات انسانی و رخدادهایی همچون سیل و زلزله بررسی نموده است [۶]. قابل توجه اینکه این راهنما در بررسی آسیب‌پذیری خطوط لوله فاضلاب تحت سناریوی زلزله از مدل آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط لوله انتقال آب استفاده کرده است. خصوصیت این مدل به دست آوردن رابطه آسیب‌پذیری خطوط لوله مدفون با جمع‌آوری ۱۸۴ داده از ۱۸ زلزله مختلف است. در این مدل تأثیر خوردگی لوله ناشی از خاک اطراف و قطر لوله نیز در نظر گرفته شده است [۷]. در اروپا پروژه‌های مشابه، تحت عنوان RISK-UE برای شرایط و سناریوهای مختلف لرزه‌ای توسعه داده شد [۸]. مهم‌ترین نقطه قوت این پروژه که وابسته به سازمان ملل است، ساختار ارائه شده برای روش RADIUS^۷ است که هدف آن تأمین ابزاری کارآمد برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهرهای در حال توسعه است [۹].

ایدینگر و یانگ از جمله اولین پیشنهادات را در مورد بهبود لرزه‌ای سیستم‌های انتقال آب ارائه نمودند [۱۰]. این پیشنهادات در خصوص آمادگی، عملکرد، و کاهش خسارات لرزه‌ای به شبکه توزیع آب منطقه "EAST BAY" کالیفرنیا آمریکا در برابر سناریو زلزله بود. آنها از بعضی مدل‌های خسارت لرزه‌ای برای پیش‌بینی میزان لرزش زمین، روانگرایی، زمین لغزش، و گسلش زمین ناشی از سناریوهای زلزله استفاده نمودند. شینوزوکا عملکرد لرزه‌ای شریان‌های حیاتی گاز و آب شهر منفیس ایالت آریزونا آمریکا را مورد بررسی قرار داد [۱۱]. او عملکرد لرزه‌ای کلیه اجزای سازه‌ای و مکانیکی شبکه را شامل خطوط لوله، تانک‌های ذخیره، ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ها را بر اساس کمیت‌های شکنندگی بررسی نمود. شیف و باکل عملکرد لرزه‌ای انواع سیستم‌های شریان حیاتی، آسیب‌ها و روش‌های کاهش خسارت آنها را در اثر زلزله بررسی کردند [۱۲]. به منظور کاهش مدت قطع آب هنگام زلزله، داج و پرت اصلاحاتی بر روی اتصالات لوله‌ها، تکیه‌گاه قسمت‌های خم لوله‌ها، شمع‌گذاری‌های تکیه‌گاه‌ها و اجزای لازم برای عبور

¹ Applied Technology Council

² Modified Mercally Intensity (MMI)

³ Federal Emergency Management Agency (FEMA)

⁴ Peak Ground Acceleration (PGA)

⁵ Peak Ground Velocity (PGV)

⁶ Permanent Ground Displacement (PGD)

⁷ Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disaster

لوله‌ها از رودخانه‌ها انجام دادند [۱۳]. کار مشابهی برای شهر ولینگتون در کشور نیوزیلند انجام گرفت [۱۴].

فناوری استفاده از روکش لاستیکی بر روی لوله‌های انتقال آب مدفون به منظور کاهش خسارات زلزله و همچنین بازسازی و تعمیر شبکه‌های موجود و قدیمی انتقال آب توسط ساتو و همکاران معرفی شد [۱۵]. تاکادا و همکاران استفاده از لاستیک حلقه‌گونه از جنس یو پی وی سی (کلرید پلی وینیل) برای بهسازی لوله‌های لوله‌های انتقال آب را پیشنهاد دادند [۱۶]. شوموتا و همکاران مطالعه‌ای بر برنامه‌ریزی و مدیریت تجدید شبکه و زیرساخت‌های شریان‌های حیاتی برق و آب را انجام دادند [۱۷]. حسینی و میرزا حسابی اثرات اندرکنش شریان حیاتی بر پاسخ آتش‌نشانی هنگام زلزله در کلان‌شهر تهران را مطالعه نمودند [۱۸]. میاجیما و همکاران اولویت‌بندی بهسازی شبکه انتقال آب با توجه به عملکرد این شبکه پس از زلزله‌های شدید را مورد بررسی قرار دادند [۱۹]. حسینی مروری بر آخرین روش‌های ارزیابی لرزه‌ای و روش‌های بهسازی شریان‌های گاز و آب نمود [۲۰]. حسینی و مشیروزیری روشی به‌منظور کاهش ریسک لرزه‌ای شبکه انتقال آب در کلان‌شهرها پیشنهاد نمودند [۲۱]. بنو و همکاران ضریب آسیب‌پذیری^۱ V را برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات شریان حیاتی معرفی نمودند [۲۲]. زهره و همکاران روشی را برای یک ارزیابی ساده و سریع شاخص آسیب‌پذیری (VI)^۲ لرزه‌ای شبکه‌های لوله‌های مدفون پیشنهاد نمودند [۲۳]. این روش با استفاده از مدل‌های آماری، شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله‌ها را با وزن دهی به ضرائب ناشی از بعضی عوامل مذکور ارزیابی می‌نماید [۲۳].

در مطالعه حاضر شاخص آسیب‌پذیری شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد بر اساس شاخص VI ارزیابی شد.

۲- مدل‌های آماری برآورد خسارت وارد بر شبکه شریان‌های حیاتی هنگام زلزله

به‌طور کلی مطالعات پیشین بر روی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌های مدفون از دو دیدگاه تحلیلی و آماری صورت گرفته است. در نگرش تحلیلی با توجه به نیروهای محتمل زلزله، برآوردی از تنش و کرنش حداکثر در اجزای مختلف شبکه از جمله لوله‌ها صورت گرفته و با مقادیر مجاز مقایسه شد و پیشنهاداتی ارائه شد. روش‌های تحلیلی در بررسی خطوط لوله‌های از جنس خاص، یا هنگام عبور از نقاط حساس همچون گسل‌ها مطلوب‌تر است [۶]. بعضی از مطالعات تحلیلی که به مدل‌سازی خطوط لوله تحت نیروهای زلزله

پرداخته‌اند، در ادامه آمده است. برگی و همکاران در سال ۱۳۷۴ که عوامل مؤثر در رفتار لرزه‌ای خطوط لوله گاز را بررسی کردند [۲۴]. رضوی در سال ۱۳۹۰ به تحلیل عددی رفتار لوله‌های مدفون تحت اثر گسلش نرمال و مایل پرداخت [۲۵]. رحیم زاده و همکاران عملکرد خطوط لوله مدفون را تحت انتشار موج زلزله بررسی کردند [۲۶]. نتایج این مطالعات تحلیلی برآوردی واقع بینانه‌تر از انواع ضرائب اصلاحی (ضرائب C) که در روش‌های آماری به‌کار برده می‌شود را به‌دست می‌دهند.

در نگرش آماری میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه بر حسب پارامتری از حرکت لرزه‌ای زمین، و با توجه به آمار خرابی زلزله‌های گذشته و نتایج مدل‌سازی خطوط لوله تحت زلزله تخمین زده می‌شود. روش‌های آماری دارای مقبولیت بیشتری در بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌های عظیم خطوط لوله مدفون شهری، نسبت به روش‌های تحلیلی می‌باشند. جزئیات بعضی از این روش‌ها در ادامه آمده است.

یکی از روش‌های آماری مبتنی بر ارائه برآوردی از تعداد کل خرابی وارد بر شبکه و در نهایت تخمین میزان هزینه تعمیرات لازم به منظور احیا و بازگرداندن سریع شبکه به حالت اول بعد از زلزله است. فرم کلی این مدل مبتنی بر روابط ۱ و ۲ است

$$N = L \cdot R_{fm}(x) \quad N = L \cdot R_{fm}(x) \quad (1)$$

$$R_{fm}(x) \cdot c = R_f(x) \quad R_{fm}(x) = c \cdot R_f(x) \quad (2)$$

که در آن

N تعداد کل خرابی وارد بر شبکه، L طول کل خطوط لوله شبکه بر حسب کیلومتر، $R_{fm}(x)$ نرخ خرابی به‌صورت تعداد خرابی بر واحد طول لوله، $R_f(x)$ نرخ خرابی استاندارد، و x پارامتر معرف شدت زلزله (همچون PGV، PGA، MMI، SI^۳ و یا غیره) است. شکل ۱ میزان مقبولیت استفاده از پارامترهای لرزه‌ای مربوطه را نشان می‌دهد. از آنجایی که کرنش لوله‌های مدفون به سرعت زمین بستگی دارد، PGV بیشترین مقبولیت را دارد [۲۴]. عموماً تابع $R_f(x)$ برای لوله‌های کوچک (کمتر از ۱۲ اینچ) چدنی تهیه شده است.

زیرا این لوله‌ها شایع‌ترین لوله‌ها در ابتدایی‌ترین شبکه‌های مدفون انتقال آب بوده‌اند. همچنین شکل این تابع عموماً به صورت خطی، توانی و یا لگ نرمال بوده و با ضرب کردن نرخ خرابی در

³ Spectral Intensity

¹ Vulnerability Factor
² Vulnerability Index

۳- برآورد شاخص آسیب پذیری لرزه‌ای شبکه لوله‌های

مدفون

زهرة و همکاران ۲۰۱۲ روش سریع و کارآمد وزن دهی را برای محاسبه شاخص آسیب پذیری شبکه خطوط لوله مدفون، ارائه نمودند [۲۳]. از محاسن این روش فرم خطی و ساده است که قابلیت استفاده آن در زلزله‌های دیگر و اضافه کردن دیگر پارامترهای لرزه‌ای مؤثر را فراهم می‌سازد. در این روش ضریب وزنی عامل قطر لوله c_d ، ضریب وزنی عامل جنس لوله c_p ، ضریب وزنی عامل شرایط زمین c_g ، ضریب وزنی عامل شدت زلزله بر اساس مقیاس مرکالی اصلاح شده c_i ، ضریب وزنی عامل گذر لوله از گسل c_f ، ضریب وزنی عامل روانگرایی منطقه c_s و ضریب وزنی عامل پتانسیل زمین لغزش منطقه c_3 در نظر گرفته می‌شود. جدول‌های ۱ تا ۷ مقادیر ضرائب وزنی پیشنهادی ایشان را ارائه می‌دهند. با وزن دهی به هر یک از عوامل مذکور در شرایط مختلف و ضرب نمودن ضریب وزنی هر عامل، شاخص آسیب پذیری (VI) هر قسمت از شبکه جمع‌آوری فاضلاب به دست می‌آید (رابطه ۳).

$$VI = c_d, c_p, c_f, c_s, c_g, c_i, c_1 \quad (3)$$

جدول ۱- ضریب وزنی عامل قطر لوله، (c_d) [۲۳]

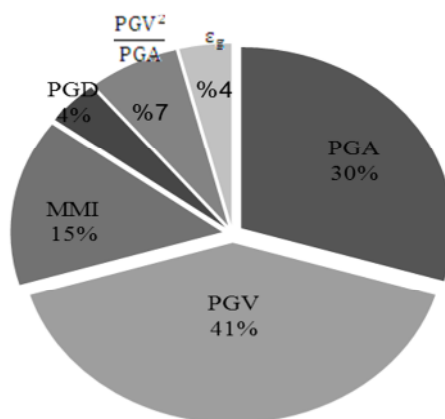
ضریب c_d	قطر لوله (d)
۱/۶	$d \leq 75 \text{ mm}$
۱/۰	$75 \text{ mm} < d < 150 \text{ mm}$
۰/۹	$150 \text{ mm} \leq d < 250 \text{ mm}$
۰/۷	$250 \text{ mm} \leq d < 450 \text{ mm}$
۰/۵	$450 \text{ mm} \leq d < 1000 \text{ mm}$
۰/۴	$d \geq 1000 \text{ mm}$

جدول ۲- ضریب وزنی عامل جنس لوله، (c_p) [۲۳]

ضریب c_p	جنس خط لوله
۰/۳	چدن نرم
۱/۰	چدنی
۳	سفالی
۲/۵	آزبست
۰/۱	پلی اتیلن
۲	بتنی

جدول ۳- ضریب وزنی عامل شرایط زمین (c_g) [۲۳]

ضریب c_g	نوع زمین
۰/۵	خاک نوع I
۱	خاک نوع II
۲	خاک نوع III
۲/۹	خاک نوع IV



شکل ۱- میزان مقبولیت پارامترهای مختلف شدت لرزه‌ای در مطالعات پیشین آسیب پذیری خطوط مدفون [۲۸]

طول خط لوله، تعداد خرابی و به عبارت دیگر میزان تعمیرات لازم برای احیای شبکه خطوط لوله مدفون به دست می‌آید [۲۷]. ضریب c بیانگر نقش مجموعه ضرائب تصحیح تابع آسیب پذیری است. هر چه تعداد پارامترهای دخیل در محاسبه این ضریب بیشتر و واقع بینانه‌تر باشد، دقت محاسبات بیشتر است. این ضریب می‌تواند بر اساس خصوصیات لرزه‌ای منطقه، شرایط لوله‌ها و شرایط زمین باشد. برای مثال یونو و همکاران به منظور برآورد خسارات وارد به شبکه پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبه، ضریب c را معادل حاصلضرب c_d, c_p, c_g در نظر گرفتند که در آن c_d ضریب اصلاحی قطر لوله، c_p ضریب اصلاحی جنس لوله و اتصالات و c_g ضریب اصلاحی شرایط زمین بود [۲۲]. هاشمی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به وسیله این روش و با استفاده از مدل HAZUS تعداد خرابی‌های شبکه آبرسانی شهر شهرکرد را تحت زلزله‌های با دوره بازگشت ۷۵ و ۴۷۵ سال برآورد نمودند. حسینی و سربندی در سال ۱۳۹۱ نیز چنین مطالعه‌ای را برای شهر قم تحت زلزله‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ سال انجام دادند [۲۹ و ۳۰]. خباز تیمیمی و همکاران در سال ۱۳۸۵ نیز با استفاده از این مدل تعداد خرابی را برای خطوط لوله آبرسانی تهران برآورد نمودند [۳۱]. با توجه به اینکه در این روش هدف اصلی تعیین میزان تعمیرات خطوط شبکه لوله مدفون و بازگرداندن سریع شبکه به حالت اول است، بنابراین مستندسازی آسیب‌ها اهمیت چندانی برای گروه بازسازی نداشته و ممکن است بعضی خطاها از جمله حذف شدن بعضی از سوابق تعمیر، مبهم بودن توصیف خسارات و تعمیرات متعددی در یک سایت که گزارش همگی یک تعمیر به‌شمار آمده است، باشد. بنابراین، نتیجه چنین خطاهایی ممکن است منجر به تفسیر غلط مهندسان شود [۷]. از این رو روش تعیین شاخص آسیب پذیری که در ادامه به آن پرداخته می‌شود در این تحقیق به‌کار رفته است.

جدول ۴- ضریب وزنی عامل شدت زلزله (c_i) [۲۳ و ۳۲]

ضریب c _i	شدت زلزله
۱/۰	MMI<8, PGA<0.25g
۲/۱	8≤MMI<9, 0.25g<PGA<0.45g
۲/۴	9≤MMI<10, 0.45g<PGA<0.6g
۳/۰	10≤MMI<11, 0.6g<PGA<0.9g
۳/۵	11≤MMI, PGA>0.9g

جدول ۵- ضریب وزنی عامل عبور لوله از گسل (c_f) [۲۳]

ضریب c _f	روانگرایی
۱	0<PL' ^۱ <5
۲	5<PL<15
۲/۴	PL>15

جدول ۶- ضریب وزنی عامل روانگرایی منطقه (c_i) [۲۳]

ضریب c _f	گذر از گسل
۱	بدون گذر
۲	یک گذر
۲/۴	گذرهای متعدد

جدول ۷- ضریب وزنی عامل پتانسیل زمین لغزش (c_s) [۲۳]

ضریب c _s	پتانسیل زمین لغزش
۱	بدون خطر
۲	خطر متوسط
۲/۴	خطر بالا

تأثیر سطوح مختلف مخاطرات ژئوتکنیکی در قالب ضرائب c_s، c_f و c_i بیان شده است. بسته به شدت هر یک از این مخاطرات این ضرائب ۱/۰، ۲/۰، و یا ۲/۴ است. مطابق جدول ۸ و بر اساس مقادیر محاسبه شده این شاخص از رابطه ۳، آسیب پذیری هر قسمت از شبکه خطوط لوله جمع آوری فاضلاب در یکی از سه حالت آسیب پذیری زیاد، آسیب پذیری متوسط و آسیب پذیری کم قرار می گیرد. لازم به ذکر است که انتخاب ضرایب وزنی هر عامل بر اساس رکورد خسارات وارده به شبکه لوله های مدفون طی زلزله های پیشین و به همراه قضاوت مهندسی تهیه شده است [۲۳]. در این روش از در نظر گرفتن ضریب وزنی عمر و خوردگی لوله ها به دلیل نبود اطلاعات صرف نظر شده است [۲۳]. در مطالعه حاضر ضریب وزنی شرایط زمین c_g، بر اساس انواع خاک ذکر شده در آیین نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) معادل سازی شد (جدول

^۱ Potential for liquefaction

(۵). همچنین برای ضریب شدت زلزله c_i، علاوه بر مقیاس مرکالی اصلاح شده (MMI)، معادل آن بر حسب PGA نیز که پارامتری رایج تر است، آمده است (جدول ۴) [۳۲].

جدول ۸- طبقه بندی آسیب پذیری لرزه ای شبکه [۲۳]

شاخص VI	سطح آسیب پذیری	رنگ
0<VI<5	کم	سبز
5≤VI<12	متوسط	نارنجی
VI≥12	زیاد	قرمز

۴- مطالعه موردی شهرکرد

منطقه مورد مطالعه این تحقیق، شهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری، با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و صفر دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی بود. این محدوده در نیمه جنوبی نقشه ۱/۵۰۰۰، بلوک ۲۰، شهرکرد برگ شماره ۶۱۵۴-۱ از انتشارات سازمان نقشه برداری کشور است. شهرستان شهرکرد از سمت شمال و شرق با استان اصفهان، از سمت غرب، شمال غرب و جنوب غرب به ترتیب با شهرستان های فارس، کوهرنگ و اردل و از سمت جنوب با شهرستان بروجن مجاور است. در ادامه هر یک از عوامل مؤثر در ارزیابی آسیب پذیری شبکه جمع آوری فاضلاب شهرکرد به روش وزن دهی بیان خواهد شد.

۵- مطالعه شبکه جمع آوری فاضلاب شهرکرد

مجموع طول لوله های موجود در نقشه شبکه جمع آوری فاضلاب شهرکرد ۲۵۸ کیلومتر است. این لوله ها از جنس بتن مسلح^۲، پلی اتیلنی^۳، سفالی^۴ و آزبستی^۵ می باشند. مطابق شکل ۲ و جدول ۹ کوچک ترین قطر لوله، لوله پلی اتیلن ۱۶۰ میلی متر و بزرگ ترین آن، لوله بتن مسلح ۷۰۰ میلی متر بود. البته لوله ای به قطر ۱۵۰۰ میلی متر، شبکه جمع آوری فاضلاب شهرکرد را به تصفیه خانه وصل می کند که در نقشه موجود در شکل ۳ نشان داده نشده است. بیشترین جنس لوله های شبکه جمع آوری فاضلاب شهرکرد بتنی است و بیشترین قطر لوله آن ۲۵۰ میلی متر است. جدول ۹ و شکل ۲ توزیع جنس و قطر لوله های مختلف در این شبکه را ارائه می دهند.

^۲ Reinforced Concrete (RC)

^۳ Poly Ethylene (PE)

^۴ Clay Pipe (CP)

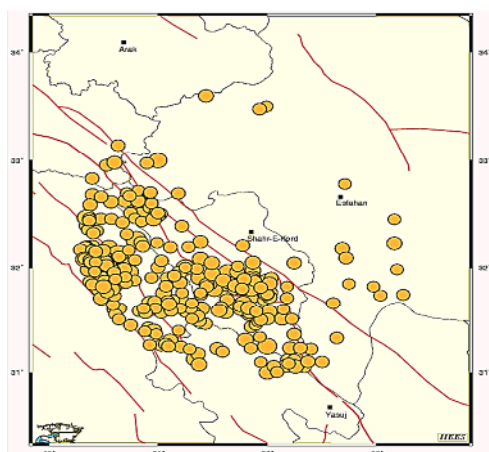
^۵ Asbestos Cement (AC)

جدول ۹- توزیع جنس و قطر لوله مصرفی در شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد [۳۳]

درصد طول قطر لوله مصرفی نسبت به طول کل شبکه	جمع (km)	آزبست (km)	سفالی (km)	پلی اتیلن (km)	بتن مسلح (km)	قطر (mm)
۱	۳/۷۷	۰	۰	۳/۷۷۰	۰	۱۶۰
۲۲	۵۵/۵۲۷	۰	۶/۸۸۵	۱۶/۳۱۵	۳۲/۳۲۷	۲۰۰
۵۰	۱۲۸/۴۱۸	۱/۹۸۸	۴/۵۵۸	۹/۴۲۱	۱۱۲/۴۵۱	۲۵۰
۱۷	۴۳/۵۹۲	۰/۷۹۹	۰/۲۲۷	۷/۱۵۳	۳۵/۴۱۳	۳۰۰
۶	۱۶/۸۱۴	۰	۰	۰	۱۶/۸۱۴	۴۰۰
۳	۸/۲۹۹	۰	۰	۰	۸/۲۹۹	۵۰۰
۱	۱/۵۰۷	۰	۰	۰	۱/۵۰۷	۷۰۰
۱۰۰	۲۵۷/۹۲۷	۲/۷۸۷	۱۱/۶۷	۳۶/۶۵۹	۲۰۶/۸۱۱	جمع (km)
	۱۰۰٪	۱٪	۵٪	۱۴٪	۸۰٪	درصد طول جنس لوله مصرفی نسبت به طول کل شبکه

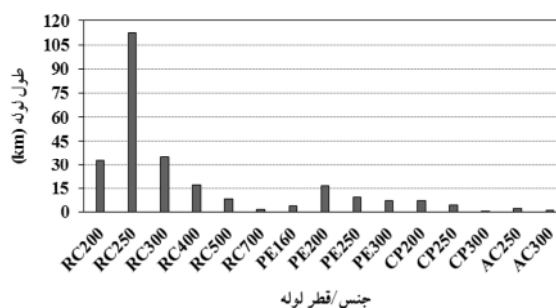
۶- مطالعه لرزه‌ای شهرکرد

شهرکرد در منطقه‌ای با خطر نسبی لرزه‌ای بالا قرار گرفته است. زلزله ۱۳۵۷ ناغان با بزرگای $MS=6.5$ و زلزله لردگان ۱۳۷۰ در شعاع ۱۵۰ کیلومتری این منطقه واقع شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه در کمربند لرزه خیز سهند سیرجان و نزدیک به راندگی اصلی گسل زاگرس قرار دارد [۳۴]. شکل ۴ گسل‌های اطراف شهرکرد و کانون‌های زلزله‌های بالاتر از ۴ ریشتر را در شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهرکرد نشان می‌دهد [۳۵]. با توجه به اینکه هیچ گسلی در مناطق شهری از هیچ قسمت از شبکه لوله جمع‌آوری فاضلاب عبور نمی‌کند، ضریب وزنی عامل عبور لوله از گسل، C_f در گستره شهر ۱/۰ در نظر گرفته شده است.



شکل ۴- گسل‌ها و رخدادهای زلزله‌های دستگاهی بین ۴ تا ۶/۵ ریشتر در اطراف شهرکرد [۳۵]

در مطالعه حاضر ضریب وزنی شدت زلزله C_s در گستره شهرکرد بر اساس منحنی‌های هم‌شتاب (در واحد g) برای دو سطح



شکل ۲- نمودار توزیع جنس و قطر لوله مصرفی در شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد [۳۳]



شکل ۳- شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد در بستر GIS

مشاهده می‌شود که قطر لوله در ۵۰ درصد طول کل شبکه ۲۵۰ میلی‌متر بوده و جنس لوله در ۸۰ درصد طول کل شبکه از جنس بتن مسلح است. شکل ۳ شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد را در بستر GIS که توسط نویسندگان این تحقیق تهیه شده است، نشان می‌دهد.

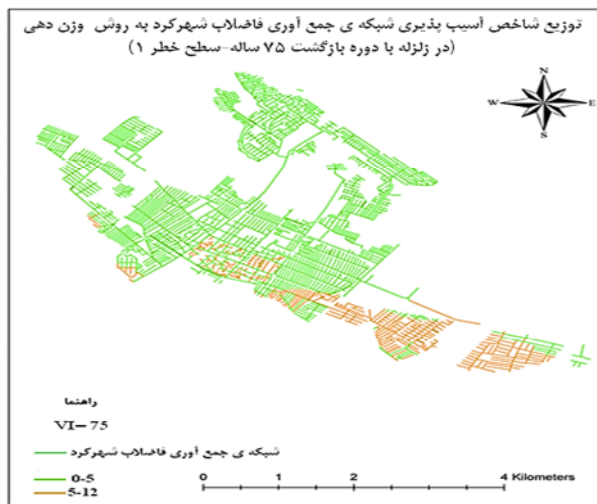
شبکه و سپس تهیه نقشه‌های این شاخص برای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد به روش وزن‌دهی به شرح زیر است:

۱- تهیه نقشه شبکه لوله‌های مدفون جمع‌آوری فاضلاب شهر در بستر GIS و اضافه نمودن دیگر اطلاعات ورودی در این فایل، توسط نرم افزار ArcGIS [۳۷]:

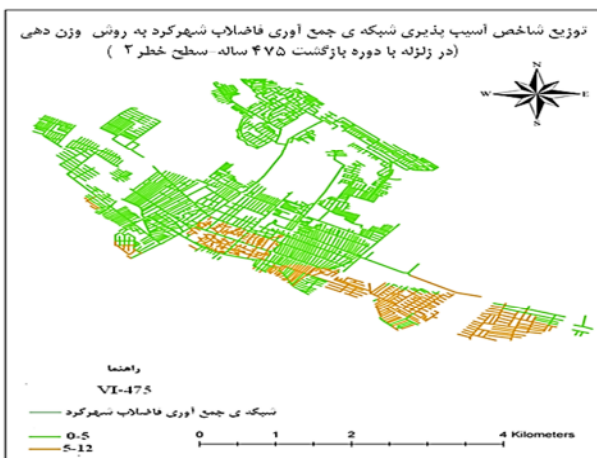
۲- محاسبه ضرائب C_f و C_i , C_s , C_i , C_g , C_p , C_d از جدول‌های ۱ تا ۷ برای هر قسمت از شبکه:

۳- تهیه نقشه‌های توزیع شاخص آسیب پذیری VI، خطوط لوله شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر در بستر GIS برای هر سطح خطر داده شده.

شکل‌های ۵ و ۶، این نقشه‌ها را برای مناطق مختلف شهر شهرکرد در بستر GIS برگرفته از نرم‌افزار ArcGIS برای دو سطح خطر ۱ و ۲ نشان می‌دهند.



شکل ۵- نقشه شاخص آسیب‌پذیری مناطق مختلف شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد در بستر GIS (سطح خطر ۱)



شکل ۶- نقشه شاخص آسیب‌پذیری مناطق مختلف شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد در بستر GIS (سطح خطر ۲)

خطر ۵۰ و ۱۰ درصد ریسک در ۵۰ سال عمر مفید سازه و برای مؤلفه‌های افقی زلزله که توسط مرجع [۳۴] به روش احتمالاتی تهیه شده، استفاده شد. عموماً عمر سازه‌های شریان حیاتی ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود. دو سطح خطر فوق متناظر با زلزله‌هایی با دوره بازگشت به ترتیب ۷۵ سال و ۴۷۵ سال به ترتیب برای سطوح خطر ۱ و ۲ می‌باشد.

۷- مطالعه شرایط زمین در شهرکرد

به‌منظور محاسبه ضریب وزنی شرایط زمین C_g ، بر اساس تقسیم‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران، نیاز به نقشه پهنه‌بندی سرعت موج برشی متوسط در عمق ۳۰ متر برای گستره شهرکرد است که البته این نقشه از مرجع [۳۶] تهیه شد. در این نقشه ملاحظه می‌شود که سرعت موج برشی متوسط ۳۰ متر در شهرکرد روندی افزایشی به سمت شمال شرق دارد.

۸- مطالعه پتانسیل روانگرایی و زمین لغزش شهرکرد

به‌منظور محاسبه ضریب وزنی پتانسیل روانگرایی C_i ، نیاز به نقشه پهنه‌بندی درصد ماسه در گستره شهرکرد است که به این منظور از مرجع [۳۶] استفاده شد. از این نقشه ملاحظه می‌شود که مناطق ماسه‌ای تنها در پهنه ای کوچک در شمال باختری شهرکرد و در ناحیه چالشر، با میزان ماسه متوسط، قرار دارد. از طرف دیگر مقایسه نقشه‌های سالانه آب زیرزمینی حاکی از افت سطح آب در این منطقه است. بنابراین با توجه به پایین بودن درصد ریزدانه و ماسه و همچنین افت تدریجی سطح آب زیرزمینی، احتمال وقوع روانگرایی در این منطقه خیلی پایین است [۳۶]. بنابراین ضریب C_i برای تمامی گستره شهر برابر ۱/۰ که متناظر با خطر کم روانگرایی است، در نظر گرفته شد [۲۳].

به‌منظور برآورد ضریب وزنی پتانسیل زمین لغزش C_s ، در گستره شهرکرد، نقشه پتانسیل زمین لغزش شهرکرد از مطالعات قبلی تهیه شد [۳۶]. این نقشه نشان می‌دهد که سه منطقه دامنه کوه بزلر، جنوب کوه برآفتاب و محدوده شهرک صنعتی شهرکرد دارای پتانسیل زمین لغزش هستند. البته هیچ یک از این سه ناحیه در مناطق شهری که حاوی شبکه لوله فاضلاب است، قرار نمی‌گیرند. بنابراین ضریب C_s برای تمامی گستره شهر برابر ۱/۰ که متناظر با خطر کم زمین لغزش است، در نظر گرفته شد [۲۳].

۹- تهیه نقشه‌های شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه

فاضلاب شهرکرد به روش وزن‌دهی در بستر GIS

مراحل تعیین شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای هر قسمت از

۱۰- شبکه هوشمند ارزیابی شاخص آسیب پذیری

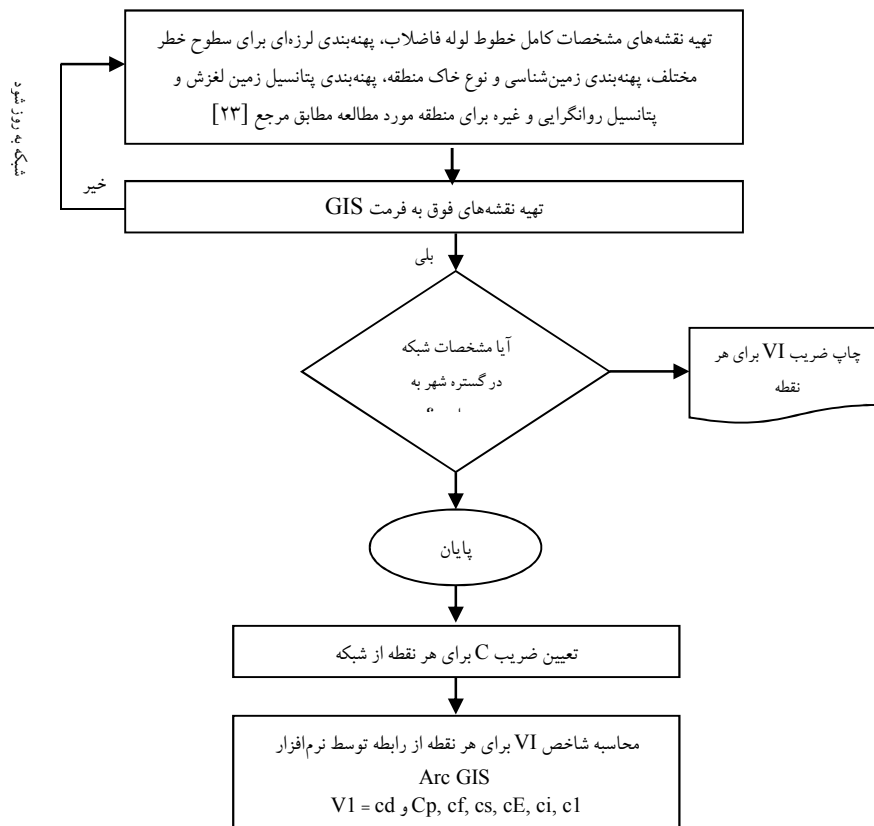
لرزه‌ای شبکه جمع آوری فاضلاب

می‌توان از این هوشمندی شبکه استفاده کرد و به صورت برخط وضعیت شبکه از جمله شاخص آسیب‌پذیری به روز شده را مشاهده نمود. این شبکه هوشمند می‌تواند به صورت ابزاری قوی برای مدیریت بحران و شرکت‌های آب و فاضلاب باشد. در ادامه الگوریتم طراحی چنین شبکه هوشمندی ارائه شده است (شکل ۷). در اغلب روش‌های آماری اثر عمر و خوردگی به دلیل فقدان اطلاعات کافی در پیش‌بینی وضعیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله‌های مدفون لحاظ نمی‌شود. با نصب حسگرهای مذکور و استفاده از شبکه هوشمند پیشنهادی می‌توان برای هر نقطه از شبکه اثر عمر و خوردگی و یا دیگر عوامل را بر ضریب VI برآورد نمود.

۱۱- نتایج و بحث

در این پژوهش پس از بیان عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع آوری فاضلاب، و مقایسه نگرش‌های تحلیلی و آماری، به بررسی مدل‌های آماری پرداخته شد و مدل آماری روش شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای VI، و دلیل استفاده از آن بیان شد. سپس شبکه هوشمند ارزیابی شاخص VI معرفی و کاربرد آن به صورت موردی برای شهرکرد تبیین شد. همچنین علاوه بر اینکه نقشه‌های شبکه جمع آوری فاضلاب برای اولین بار توسط نویسندگان در بستر GIS تهیه شد، دیگر اطلاعات ورودی مربوط به گستره شهرکرد که

از جمله ملزومات طراحی شبکه هوشمند (زنده و برخط) ارزیابی شاخص VI، تهیه نقشه‌های شبکه جمع آوری فاضلاب در بستر GIS است، که این مهم برای گستره شهرکرد برای اولین بار توسط نویسندگان تهیه شده است. دیگر اطلاعات ورودی مربوط به گستره شهر از جمله پهنه‌بندی لرزه‌ای PGA و PGV برای سطوح خطر مختلف، پهنه‌بندی زمین‌شناسی و نوع خاک منطقه، پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش، پهنه‌بندی پتانسیل روانگرایی و غیره، باید در این فایل GIS برای کلیه نقاط شبکه ذخیره شود. حال داده‌های ورودی می‌تواند برای هر لحظه از زمان تغییر کند و شاخص آسیب‌پذیری برای هر قسمت از شبکه بروزرسانی شود. به عنوان مثال با استفاده از ابزاربندی و نصب حسگرهای مختلف بر روی اجزای مختلف شبکه می‌توان وضعیت شبکه را از جمله عمر و خوردگی، وضعیت تنش‌ها و کرنش‌های لوله، میزان جریان و فشار سیال، شتاب زمین و یا حرکت نسبی لوله و خاک را در طول شبکه و در هر لحظه رصد نمود. علاوه بر شاخص VI، می‌توان دیگر پارامترهای مربوط به شبکه را به صورت زنده و برخط برآورد و مشاهده نمود. همچنین برای مثال اگر به هر علتی بعضی پارامترهای شبکه از جمله جنس و یا قطر لوله‌ها در قسمتی از شهر تغییر یابد،



شکل ۷- الگوریتم شبکه هوشمند ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع آوری فاضلاب

جدول ۱۰- بیشترین میزان شاخص آسیب پذیری لرزه‌ای خطوط شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد به روش وزن‌دهی

شاخص آسیب‌پذیری (VI)	شتاب زمین	نوع زمین پیرامون	قطر لوله DN	جنس لوله	بیشترین آسیب
۱۰/۰۸	$0.45g \leq PGA \leq 0.6g$	III	۲۵۰	سفالی	سطح خطر ۲
۸/۸۲	$0.25g < PGA < 0.45g$	III	۲۵۰	سفالی	سطح خطر ۱

جدول ۱۱- کمترین میزان شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد به روش وزن‌دهی

شاخص آسیب‌پذیری (VI)	شتاب زمین	نوع زمین پیرامون	قطر لوله DN	جنس لوله	کمترین آسیب
۰/۰۸۴	$0.45g \leq PGA \leq 0.6g$	I	۲۵۰	پلی‌اتیلن	سطح خطر ۲
۰/۰۷۳	$0.25g < PGA < 0.45g$	I	۲۵۰	پلی‌اتیلن	سطح خطر ۱

جدول ۱۲- میزان طول خط لوله شبکه جمع‌آوری فاضلاب در هر سطح آسیب‌پذیری و در هر سطح خطر

شاخص آسیب‌پذیری (VI)	شدت آسیب‌پذیری	طول لوله در سطح خطر ۱ (km)	طول لوله در سطح خطر ۲ (km)
$0 < VI < 5$	کم	۲۱۴	۲۰۹
$5 \leq VI < 12$	متوسط	۴۴	۴۹
$VI \geq 12$	زیاد	۰	۰

بنابراین سطح خطر تأثیر چندانی در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای در خطوط لوله داخل شهر شهرکرد نداشته است. پیشنهاد می‌شود که این بازه شتاب به چندین بازه کوچک‌تر تقسیم‌بندی شده تا بتوان ضریب c_i را با دقت بالاتری برای شتاب‌های مختلف در این بازه محاسبه نمود.

از جمله دیگر کاربردهای شبکه هوشمند برآورد شاخص VI، قابلیت استفاده آن در ارزیابی هزینه خسارات ناشی از شکست و یا فاضلاب خروجی، بهسازی و نوسازی شبکه جمع‌آوری فاضلاب، و ایجاد آمادگی و ارائه طرح‌های مدیریت بحران پس از حوادث غیرمترقبه است.

۱۲- نتیجه‌گیری

در این مقاله پس از بیان عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع‌آوری فاضلاب و مقایسه و نگرش‌های تحلیلی و آماری، به بررسی مدل‌های آماری پرداخته شد و مدل آماری روش شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای VI و دلیل استفاده از آن بیان شد. همچنین علاوه بر اینکه نقشه‌های شبکه جمع‌آوری فاضلاب برای اولین بار توسط نویسندگان در بستر GIS تهیه شد، دیگر اطلاعات ورودی مربوط به گستره شهرکرد که در مابقی نقشه‌ها مندرج است نیز در این فایل GIS برای کلیه نقاط شبکه ذخیره شد. سپس شبکه هوشمند ارزیابی شاخص VI معرفی و کاربرد آن به صورت موردی برای

مندرج در مابقی نقشه‌هاست نیز در این فایل GIS برای کلیه نقاط شبکه ذخیره شده است. از جمله نتایج این مطالعه این که شاخص VI به ترتیب در جنوب غربی، جنوب و قسمت‌هایی از جنوب شرقی شهرکرد به علت شتاب زلزله، خاک نرم‌تر و لوله‌های ترد به خصوص لوله‌های سفالی در بافت فرسوده شهر از دیگر نقاط شهر بالاتر است. بیشترین و کمترین میزان تغییرات شاخص آسیب‌پذیری لرزه در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ آمده است. این شاخص از مقدار ۱۲ که حد آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیاد است [۲۳]، بیشتر نشده است و آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهرکرد مطابق با این روش در حد کم و متوسط است.

جدول ۱۲ طول خط لوله متأثر را برای هر سطح آسیب‌پذیری و هر سطح خطر ارائه می‌دهد. به طوری که طول خطوط لوله در حد آسیب‌پذیری کم و متوسط در سطح خطر ۱ به ترتیب ۲۱۴ و ۴۴ کیلومتر و در سطح خطر ۲ (فقط با ۵ کیلومتر اختلاف در شبکه نسبت به سطح خطر ۱)، به ترتیب ۲۰۹ و ۴۹ کیلومتر است. علت این اختلاف کم، نزدیکی ضریب وزنی عامل شدت زلزله c_i ، بین سطوح خطر ۱ و ۲ در بافت شهری شهرکرد است. به طوری که این ضریب برای بازه شتاب $0.25g < PGA < 0.45g$ عدد $2/1$ بوده و از طرف دیگر شتاب برای هر دو سطح خطر در بیشتر بافت شهری شهرکرد در همین بازه شتاب است (به جز قسمت کوچکی در جنوب شهر که این شتاب بیش از $0.45g$ با ضریب $c_i = 2/4$ است).

بیشتر است.

۱۳- قدردانی

از شرکت آب و فاضلاب استان چهارمحال بختیاری و مسئولان محترم آن که با در اختیار قرار دادن نقشه‌های شبکه جمع‌آوری فاضلاب و همچنین همکاری بی‌دریغ خود، این تحقیق را میسر ساختند، کمال تشکر را دارد.

شهرکرد تبیین شد. از دیگر مزایای این شبکه هوشمند، استفاده آن در ارزیابی هزینه خسارات ناشی از شکست و یا فاضلاب خروجی، بهسازی و نوسازی شبکه جمع‌آوری فاضلاب و ایجاد آمادگی و ارائه طرح‌های مدیریت بحران پس از حوادث غیر مترقبه است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط لوله فاضلاب شهرکرد در حد کم و متوسط است و در جنوب شهرکرد به‌خصوص در بافت قدیمی شهر با لوله‌های ترد از دیگر نقاط

۱۴- مراجع

1. Zare, M.R., Wilkinson, S., and Potangaroa, R.T. (2010). "Vulnerability of wastewater treatment plants and wastewater pumping stations to earthquakes." *Disaster Planing and Management Conf. Cobra 2010*, Rics and Dauphinek University, Paris, France.
2. Zare, M., and Wilkinson, S. (2011). "Earthquake damage in wastewater systems and post earthquake repair methods : Limitation and practice." *Australian Earthquake Engineering Society Conference*, Novotel Barossa Valley Resort, South Australia.
3. Fukushima, K., Kinoshita, K., Watanabe, T., and Masuta, T. (2006) *Investigation and forecast earthquake damage for sewerage systems*, Japan Institute of Wastewater Engineering Technology, Tokyo, 171.0021, Japan.
4. Toprak, S. (1998). "Earthquake effects on buried lifeline systems". Doctorate Thesis, Faculty of the Graduate School of Cornell University.
5. Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). *Estimating earthquake losses with HAZUS*, Federal Emergency Management Agency, USA.
6. American Lifelines Alliance. (2004). *Wastewater system performance assessment guidelines*, American Society of Civil Engineers (ASCE) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), USA.
7. American Lifelines Alliance. (2001) *Seismic fragility formulations for water systems*, American Society of Civil Engineers (ASCE) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), USA.
8. RISK-UE, Geo-Ter. (2003). *Vulnerability assessment of lifelines and essential facilities (WP06): Methodological handbook*, Potable water utility system. Report NO. GTR-RSK 0101-152av7, February.
9. Halfaya, F.Z., Bensaibi, M., and Davenne, L. (2014). "Seismic vulnerability curves of water." *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8 (19), 21-25.
10. Eidinger, J.M., and Young, J.A. (1993) "Preparedness, performance and mitigation for EBMUD water distribution system for scenario earthquakes." *Proceedings of National Earthquake Conf.*, Central US Earthquake Consortium, Memphis, Vol. II, p 615-623..
11. Shinozuka, M. (1994). *Systems analysis for Memphis Light, gas and water*, Research Accomplishments, 1986-1994: NCEER, State Univ. of New York at Buffalo, p. 197-206,.
12. Schiff, A.J., and Buckle, I.G. (1995). "Critical issues and state-of-the-art in lifeline earthquake engineering." Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph 7, ASCE, New York, 92 pages.
13. Dodge, C.F., and Pratt, D.L. (1995). "Mokelumne aqueduct seismic upgrade project." *Proceedings of the 4th U.S. Conf. on Lifeline Earthquake Eng.*, ASCE, New York, p. 723-730.
14. Hopkins, D.C., and Leslie, P.D. (1995). "Securing Wellington's water supply 20-year mitigation plan based on seismic risk assessment." *Proceedings of the 4th U.S. Conf. on Lifeline Earthquake Engineering*, ASCE, New York, p. 731-738.
15. Sato, T. (1998). "Earthquake damage to buried water supply pipes and their renovation by hose lining technology." *Proceedings of the 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems*, EQE International, Inc., p. 39-53.
16. Takada, S. (1998). "Study on earthquake resistant performance of new rubber ring type U-PVC pipe for water distribution pipelines." *Proceedings of Third China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering*, Kunming, China, p.349-356.

17. Shumuta, Y., Tohma, J., and Shiomi, S. (1998). "Long-term infrastructure/lifeline renewal planning and management with a focus on power and water: A study on optimization method for replacement or retrofitting of power facilities on the basis of risk management." *Multi-lateral Workshop on Development of Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation Technologies and their Integration for the Asia-Pacific Region*, p. 184-186.
18. Hosseini, M., and Mirza-Hessabi, A. (1999) "Lifeline interaction effects on the earthquake emergency response of fire departments in Tehran metropolis." *Proceedings of the 5th US Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, Seattle, USA.
19. Miyajima, M.I., and Naomi, K.M. (2000) "Study of retrofit prioritization of water supply pipeline considering required performance after earthquake." *Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation: Managing Earthquake Risk in the 21st Century*, Plam Springs, California.
20. Hosseini, M. (2003) "The latest achievements in the seismic evaluation methods and upgrading techniques for gas and water lifelines." *Proceedings of the 4th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE 4)*, IIEES, Iran.
21. Hosseini, M., and Moshirvaziri, H. (2008). "A procedure for risk mitigation of water supply system in large and populated cities." *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China.
22. Ueno, J., Takada, S., and Kuwata, Y. (2004). "Performance of water supply system during the 2003 Tokachi-Oki earthquake." NCREE Workshop, British Council in Taipei, Taiwan.
23. Zohra, H. F., Mahmoud, B., and Luc, D. (2012) "Vulnerability assessment of water supply network." *Energy Procedia*, 18, 772-783.
24. Bargi, K. (1996). *Seismic effect on buried gaz pipelines*, Bulletin of Faculty of Engineering, Teheran University, pp 22-38. (In Persian).
25. Razavi, S.O. (2012). *Numerical analysis of buried pipelines subject to inclined normal faults*, Sharif University of Technology, Tehran. (In Persian).
26. Rahimzade, F., and Ghorbani, R. (2009). "Seismic performance of buried pipelines under earthquake body waves propogations." *Fourth National Conference on Civil Engineering*, Teheran, University of Teheran (In Persian).
27. Pineda, O., and Ordaz, M. (2012). Seismic damage estimation in buried pipelines due to future earthquakes – The case of the Mexico city water system. earthquake-resistant structures – design." *Assessment and Rehabilitation*, (51), 978-953.
28. Pineda, O., and Ordaz, M. (2007). "A new seismic intensity parameter to estimate damage in buried pipelines due to seismic wave propagation." *Journal of Earthquake Engineering*, 11, 773-778.
29. Hashemi Fesharaki, S.M., Rahgozar, M.A., and Zare, M.R. (2014) "Evaluation of seismic vulnrebality of Shahr-e-kord sewerage network based on HAZUS-SR2 model." *Fifth National Conference on Earthquakes and Structures*, Jahad-Daneshgahi, Kerman, Iran. (In Persian).
30. Hosseini, M., and Sarbandi Farahani, M. (2013) "Programing for water network repairs in large cities after earthquakes." *Research Bulletin of Seismology and Earthquake Engineering*, 13-24. (In Persian).
31. Khabaz Tamimi, M.R., Omidvar, B., and Hosseini, M. (2006) "Evaluation of the vulnerability of drinking water network based on HAZUS-SR2 method." *The First Conference on Seismic Retrofitting, Tehran*, Iran (In Persian)
32. Moghadam, H. (2011). *Fundamentals and application of earthquake engineering*, Far Ahang Pub., Tehran, Iran. (In Persian)
33. <<http://www.abfa-chb.ir>>> (July 2014).
34. Memarian, H., Zare, M., Karimi, S., and Mohseni, A. (2008) "Seismic risk zonation and micro-zonation of Shahr-e-kord region." *2nd Conference on Natural Disasters Hazard Mitigations*, Tehran, Scientific Center for Surveying and Natural Disasters Hazard Mitigations, Faculty of Engineering, Teheran University. (In Persian).
35. <<http://www.iiees.ac.ir>> (July 2014)
36. Mojarab, M. (2008). "Natural disaster zonation in urban areas, case study in Shahr-e-Kord." MSc Thesis, University of Tehran, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering, Tehran
37. Esrico. (2010). "Arc.GIS desktop version 10.1." <<<http://www.esri.com/software/aregis>>> (July 2014).