

مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی^۱

محمد اسکندری^۲ مهدی مدیری^۳ بابک امیدوار^۴
علی اصغر آل‌شیخ^۵ محمدعلی نکویی^۶ علی علیدوستی^۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۱۸

چکیده

پدیده زلزله، جزء سوانح طبیعی است که همه ساله خسارات جانی، مالی و زیست محیطی فراوانی بر جای می‌گذارد. ایران به علت موقعیت لرزه خیزی و قرار گیری آن بر روی کمربند زلزله، در برابر زمین لرزه بسیار آسیب پذیر می‌باشد. همچنین تعداد زیادی از مستحدمات قبل از تدوین معیارهای طراحی مقاوم در برابر زلزله ساخته شده اند و متأسفانه همچنان کیفیت ساخت و ساز در برخی موارد در کشور در حد مطلوب نمی‌باشد. از اینرو با توجه به رفتار مشکوک شبکه‌ها نسبت به وقوع زلزله‌های احتمالی، مباحث بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشد.

در مقاله‌ی حاضر، مدلی ارائه شده که در آن، ابتدا تحلیل خطر منطقه مورد نظر (بر اساس ۲ رابطه کاهندگی موجود برای کشور) صورت می‌گیرد، که با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در وقوع زلزله (شامل اندازه بزرگای زلزله، عمق کانونی و موقعیت کانون زلزله)، این عملیات بصورت تصادفی در هر بار انجام تحلیل انتخاب می‌گردد و پس از هر بار آنالیز تحلیل خطر خروجی‌های ناشی از خطر لرزش زمین شامل مقادیر بیشینه شتاب، حداکثر سرعت و تغییر مکان زمین محاسبه می‌گردد. چنانچه منطقه دارای استعداد زمین لغزش یا روانگرایی باشد، می‌بایست خروجی‌های ناشی از خطر شکست زمین شامل مقادیر تغییر مکان‌های روانگرایی و زمین لغزش برای هر عارضه وارد مدل شوند. سپس از توابع آسیب‌پذیری لرزه‌ای که برای هر ۲ خطر لرزش زمین و شکست زمین برای شریان‌ها در پایگاه داده مدل قرار داده شده، استفاده می‌گردد. در انتها براساس توابع موجود آسیب‌پذیری به تحلیل خسارت شبکه‌ها پرداخته می‌شود. تمامی این گام‌ها برای یکبار آنالیز می‌باشد. از این‌رو بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو، تمامی این عملیات بصورت ۱۰ هزار بار برای لحاظ نمودن تمامی عدم قطعیت‌ها و حالات خرابی تکرار می‌شوند و از خروجی‌های موجود در پایگاه داده، میانگین‌گیری انجام می‌شود تا تمامی حالات خرابی در نظر گرفته شود. به همین منظور با توجه به حجم وسیع داده توصیفی و مکانی، از طرفی آنالیزهای مکانی زیاد بر روی داده‌ها و همچنین حجم بالای معادلات ریاضی برای تکرار عملیات، به کدنویسی در محیط Visual Studio با زبان برنامه‌نویسی #C با بهره‌گیری از کتابخانه‌های Net Framework و Arc Engine پرداخته شد که منجر به تولید یک سامانه نرم‌افزاری با به کارگیری یک پایگاه داده و با قابلیت‌های تحلیل و استنتاج مکانی بر مبنای سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) گردید که می‌تواند مقادیر احتمالی خرابی کم، متوسط، وسیع و کامل هر شریان را به تفکیک در قالب نقشه و جدول برای هر عارضه برآورد نماید. در این مقاله بمنظور نمایش بهتر این پژوهش، مدل موجود برای شهر نیشابور، پیاده‌سازی و مورد تحلیل واقع گردید.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی، تحلیل خسارت، زیرساخت حیاتی، زلزله، شبیه‌سازی مونت کارلو.

۱- این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

۲- دانشجوی دکتری عمران-نقشه‌برداری گرایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر Eskandarim@ut.ac.ir

۳- دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر mmodiri@ut.ac.ir

۴- دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران bomidvar@ut.ac.ir

۵- استاد، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی alesheikh@kntu.ac.ir

۶- استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر ali.nekoioe@gmail.com

۷- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر a-alidoost@yahoo.com

۱- مقدمه

۱۳۸۲ (بم) و در جهان (همچون زلزله ۱۹۲۳ کانتو ژاپن، ۱۹۶۴ آلاسکا، ۱۹۶۴ نیگاتا ژاپن، ۱۹۷۱ سان فرناندو، ۱۹۹۴ نورثریج آمریکا، ۱۹۹۵ کوبه ژاپن، ۱۹۹۹ از میت ترکیه و ۲۰۱۱ فوکوشیما ژاپن) همگی مؤید آسیب پذیری بالای زیرساخت‌ها در اثر حرکات و لرزش زمین بوده است (اسکندری، ۱۳۸۹).

در تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی، نیاز به اطلاعات مکانمند در سطوح مختلف همانند نقشه‌های زمین شناسی، توپوگرافی، شبکه شریان‌های حیاتی، موقعیت و نوع ویژگی‌های شریان‌ها به تفکیک، عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) بیش از پیش وجود دارد. حجم داده‌های مورد نیاز برای تحلیل خسارت بلافاصله بیشتر از آن حدی است که بتوان با روش‌های دستی به نحو مؤثر و زمانمند از آن‌ها بهره جست.

علم اطلاعات مکانی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، روشی برای سازماندهی کامپیوتری داده‌های مکانی می‌باشد. این علم، با سرعت بخشیدن و بالابردن بازده مدیریت، بکارگیری، تجزیه و تحلیل، خروجی گرفتن از اطلاعات و ارزش حاصل از تصمیمات بهتر، منجر به ایجاد یک سیستم پشتیبان برای مدیریت بلافاصله می‌گردد.

در ادامه ابتدا بطور خلاصه به بررسی خرابی‌های گذشته شریان‌های حیاتی در زلزله‌های گذشته پرداخته می‌شود؛ که این مسئله نشان از اهمیت بالا و بررسی هر چه بیشتر تحلیل خسارت شریان‌ها را دارد. سپس مروری اجمالی به مطالعات پیشین در این حوزه پرداخته می‌شود. در بخش بعدی ابتدا به تشریح مدل مفهومی این پژوهش پرداخته و روابط تحلیل خطر و توابع آسیب پذیری لرزه‌ای شریان‌ها بر اساس منحنی‌های شکست لرزه‌ای تشریح می‌گردد. در ادامه به معرفی گام‌های مدلسازی سامانه نرم‌افزاری ارائه شده پرداخته می‌شود. در انتها به منظور جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در خصوص مدل ارائه شده، به اجرا و پیاده‌سازی مدل برای شهرستان نیشابور پرداخته می‌شود.

ایران کشوری زلزله‌خیز است که بر روی کمربند لرزه خیز آلپ- هیمالیا قرار گرفته است و هر لحظه احتمال وقوع زمین‌لرزه در آن وجود دارد. بسیاری از شهرها و مناطق با جمعیت زیاد و همچنین صنایع و زیرساخت‌های ملی در مناطق با احتمال بالای وقوع زلزله قرار دارند. زمین لرزه‌های بوئین زهرا (۱۳۴۱ ه.ش)، طبس (۱۳۴۷ ه.ش)، رودبار و منجیل (۱۳۶۹ ه.ش) و بم (۱۳۸۲ ه.ش)، بیانگر واقعیت تلخ آسیب پذیری کشور ما از سوانح طبیعی است (محمودزاده و دیگران، ۱۳۸۹). طبق آماري که سازمان ملل متحد اخیراً اعلام کرده است، از میان مرگ و میرهایی که سالانه بر اثر بلایای طبیعی در ایران اتفاق می‌افتد، ۹۴٪ آن به علت زمین لرزه و ۶٪ آن نیز به علت سیل است. مطالعات علمی و شواهد تاریخی حاکی از وقوع چنین رویدادهای طبیعی به صورت گسترده در کشور، توجه به امر مدیریت بهینه «پیشگیری و کاهش اثرات» و «آمادگی»، قبل از وقوع آن‌ها را بیش از پیش برخوردار نموده است.

شریان‌های حیاتی، شاه‌رگ‌های تعیین‌کننده بقای شهرنشینی در دنیای مدرن امروز می‌باشند. این شریان‌ها جهت تولید و توزیع کالاها و خدمات در واحدهای شهری به کار می‌روند و امکان زندگی در شهرها نیز بستگی به کیفیت و کمیت کارکرد این شریان‌ها دارد. در زندگی مدرن، افزایش وابستگی سریع به این امکانات نیز، این نیاز را روز افزون نموده است. پیوستگی در ارائه خدمات این شبکه‌ها برای تداوم و پیوستگی کارکرد جوامع امروز از اهمیت بالایی برخوردار است. آسیب‌پذیری این شریان‌ها در برابر سوانح و بلافاصله موضوع بسیاری از مطالعات امروز است، زیرا آسیب‌های وارده به این زیرساخت‌ها علاوه بر اینکه خود به عنوان بخشی از خسارات می‌باشد، می‌تواند فجایع مربوط به خسارت‌های دیگر را نیز سخت‌تر و پیچیده‌تر نموده و دوره‌احیا را نیز تحت تأثیر خود قرار دهند.

آسیب وارده به شبکه شریان‌های حیاتی در زلزله‌های گذشته در ایران (همچون زلزله ۱۳۶۹ رودبار و زلزله

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۹۳

(بعد از ۱۹۹۰) آمار نسبتاً مناسبی از میزان و تعداد خرابی‌ها در شبکه‌ها بدست آمده است. در جدول ۱ خسارت وارده بر ۳ شبکه اصلی شریان‌ها، در برخی از زلزله‌های گذشته ذکر شده است، (Scawthorn et al, 1997)، (O'Rourke et al, 1983) و (Strand, 1994). (EQE International, 1995)

۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده در مدل‌سازی زیرساخت‌ها

هر زیرساخت، مجموعه‌ای از تعداد زیاد بخش‌ها، همانند اجزای تولید، انتقال، توزیع و تأسیسات می‌باشد. هر یک از این المان‌ها، ویژگی‌های ساختاری مختص به خود دارند و نقش‌های ویژه‌ای را در راستای حفظ عملکرد آن زیرساخت انجام می‌دهند. پژوهش‌های انجام گرفته در آسیب پذیری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی در کالیفرنیا^۱ عبارتند از:

- تحقیقی بر اثر مجاورت شریان‌های حیاتی نزدیک به هم: یکی از اولین کارهای آژانس مدیریت شرایط اضطرار آمریکا (FEMA) در زمینه حفاظت لرزه‌ای شریان‌های حیاتی، که بر روی زیر ساخت‌های کجون پس^۲ در جنوب کالیفرنیا انجام گرفت، تحقیق بر روی اثر مجاورت شریان‌های نزدیک به هم بود که یک ابزار آزمایشی در این زمینه نیز ارائه می‌داد و در سال ۱۹۹۲ به چاپ رسید. (FEMA - 225, 1992)

- فهرستی از شریان‌های حیاتی موجود در کجون پس کالیفرنیا (FEMA-225): این گزارش، فهرستی از سیستم‌های بزرگ شریان‌های حیاتی موجود در جنوب کالیفرنیا را بیان کرده و ابزارهای آنالیز لرزه‌ای و زمین شناسی موجود برای شناسایی سطوح ریسک لرزه‌ای این شریان‌ها را شرح می‌دهد. همچنین آسیب پذیری‌های ایجاد شده از چند سیستم زیر ساختی واقع شده در مناطق با ریسک بالا، با توجه به برهم کنش سوانح طبیعی و انسان‌ساز، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این مطالعه تکنیک‌های بالقوه کاهش خطر را برای برخی شریان‌های حیاتی نیز شناسایی کرده و در مورد مدل‌های مختلف ارزیابی لرزه‌ای بحث می‌کند. (FEMA - 225, 1992)

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

تاریخچه مهندسی زلزله شریان‌های حیاتی اساساً به چند دهه قبل باز می‌گردد. چرا که از یک سو شریان‌های حیاتی به شکل امروزی عمدتاً پس از پایان جنگ جهانی دوم گسترش یافتند و از سوی دیگر از اوایل دهه ۵۰ میلادی که رشته مهندسی زلزله به عنوان یک رشته مستقل در مهندسی عمران مطرح گردید تا زمان رویداد زلزله سان فرناندو، در کشورهای توسعه یافته زلزله بزرگی که بر شریان‌های حیاتی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بگذارد رخ نداد (حسنی، ۱۳۸۵).

زلزله‌های پیشین توجه مهندسان عمران را به ساختمان‌ها جلب نموده بود و تا اوایل دهه هفتاد میلادی تقریباً در تمام کشورهای زلزله خیز آیین نامه‌های ساختمانی برای مقابله با نیروهای ناشی از زلزله تدوین شده بودند. آمار و گزارشات متعددی از سراسر دنیا در خصوص وارد آمدن خسارات شدید ناشی از بروز حوادث در شریان‌های حیاتی و تأسیسات مختلف از جمله سامانه آب و گاز و برق و مخابرات بعد از وقوع یک زمین لرزه با شدت بالا، سبب توجه بیشتر به این بخش گردید. (Ang et al, 1996) در ادامه با مروری بر ادبیات این پژوهش مسئله از ۲ جنبه مجزای زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱- مروری بر خسارت وارده بر شریان‌ها در زلزله‌های گذشته
۲- مروری بر تحقیقات موجود برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها

۱-۲- مروری بر خسارات شریان‌ها و اندرکنش آنها در سوانح گذشته

بررسی نتایج و آثار منفی زلزله گذشته همواره می‌تواند نقطه شروع مناسبی در راستای انجام اقدامات مختلف جهت افزایش سطح ایمنی شبکه‌ها به شمار آید. زلزله‌های رخ داده در سالیان گذشته آسیب‌های جبران ناپذیری را به شبکه‌های شریان‌ها تحمیل نموده است. اما اطلاعات و آمار زیادی از خرابی و آسیب زلزله در شریان‌ها در شهرهای مختلف دنیا و مخصوصاً ایران موجود نمی‌باشد. صرفاً در زلزله‌های اخیر

1 - California
2 - Cajon Pass

جدول ۱: آسیب‌های وارده به شبکه‌های آب، برق و گاز در زمین‌لرزه‌های گذشته

| ردیف | محل و زمان زلزله | بزرگا | آسیب‌وارده بر شبکه آب و فاضلاب | آسیب‌وارده بر شبکه گاز | آسیب‌وارده بر شبکه برق |
|------|-------------------------|-----------|--|--|---|
| ۱ | ۱۹۶۴ نیگاتای ژاپن | ۷/۵ ریشتر | <ul style="list-style-type: none"> عوامل اصلی خرابی در این زلزله جنس لوله، نوع اتصالات و پدیده‌های روانگرایی و لغزش بود. | <ul style="list-style-type: none"> بر اثر آتش سوزی تأسیسات پالایشگاه و شکستن تعدادی مخازن نفتی، حریق مهیبی رخ داد | |
| ۲ | ۱۹۷۱ سان فرناندو آمریکا | ۶/۶ ریشتر | <ul style="list-style-type: none"> تخریب شبکه آب و فاضلاب به مساحت ۲۳ مایل مربع آسیب کلی به ۲۲ هزار فوت لوله از کار افتادن ۵۰۰ شیر آتش نشانی | <ul style="list-style-type: none"> ۴۵۶ شکستگی و ۳۸۰ نشت در لوله گاز زمان بازسازی و تعویض ۱۵Km شبکه ۱۱ روز طول کشید؛ میزان خسارت وارده در حدود ۱میلیون دلار برآورد شد. | |
| ۳ | ۱۹۹۴ نورث‌ریج آمریکا | ۶/۸ ریشتر | <ul style="list-style-type: none"> گسیختگی ۴ خط اصلی انتقال آب ۱۵۰۰ نقطه نشت در شبکه توزیع بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هزار نفر جمعیت بدون آب این زمین لرزه | <ul style="list-style-type: none"> بالم بر ۳۹۴ مورد نشتی از خوردگی ۳۵ در شبکه لوله‌کشی قدیمی انتقال گاز | <ul style="list-style-type: none"> آسیب به اجزای پست انتقال کالیفرنیا به شهرهای بریتیش کلمبیا، مونتانا، ویومینگ، ایهاوو، ارگون قطعی برق از چند ثانیه تا چند روز |
| ۴ | ۱۹۹۵ کوبه ژاپن | ۷/۲ ریشتر | <ul style="list-style-type: none"> آسیب به ۴ تصفیه خانه و مخزن افزایش خسارات ثانویه زمین لرزه بعلت آتش سوزی و کمبود آب آسیب ۱۴۲۲ نقطه در لوله‌های اصلی و ۱۰۱۳۵ محل در لوله‌های توزیع آب | <ul style="list-style-type: none"> آسیب‌های گسترده به خطوط لوله گاز فشار متوسط و کم فشار ۱۴۰۰ مورد شکستگی لوله ۲/۳ میلیارد دلار هزینه بازسازی | <ul style="list-style-type: none"> قطع برق در قسمت‌های عمده شهر خسارت عظیم به ۴۱ ترانسفورمر، ۳۵ سویچ قطع کننده، ۹ برقگیر و ... |
| ۵ | ۱۹۹۹ در جی جی تایوان | ۷/۶ ریشتر | <ul style="list-style-type: none"> تخریب کامل یک چهارم از ۳۲ هزار کیلومتر شبکه لوله | <ul style="list-style-type: none"> بیش از ۱۰ هزار نشت در سیستم‌های توزیع ۹۰٪ خرابی‌ها در لوله‌های فولادی اصلی و خطوط سرویس | <ul style="list-style-type: none"> خسارت بیش از ۲۳۰ میلیون دلار قطعی برق در تمام قسمت شمال خسارت به خطوط انتقال برق و نیز پست‌های فوق توزیع و از مدار خارج شدن نیروگاه‌های هسته‌ای |
| ۶ | ۲۰۰۳ در شهر بم | ۶/۵ ریشتر | <ul style="list-style-type: none"> خسارت ۱۱ حلقه چاه. در بم و بروات (بعلت قطع برق پمپ‌ها) آسیب به ۶ نقطه در محل لوله‌های اصلی در نواحی مرکزی شهری آسیب یک نقطه در محل برخورد گسل بم با لوله‌های انتقال در بروات | <ul style="list-style-type: none"> آسیب به بخشی از ساختمان پست بم شکسته شدن مقره‌ها و خارج شدن روغن آنها لغزش یا واژگونی تجهیزات داخل ساختمان کنترل آسیب زیاد به تجهیزات پست‌ها و خطوط توزیع | |

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)
مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۹۵

شد تا با استفاده از روش‌ها و مطالعات انجام گرفته میزان آسیب‌پذیری در تصفیه‌خانه‌های آب مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور با تدوین الگوی مد نظر میزان ریسک در تصفیه‌خانه‌های آب شماره‌ی ۳ و ۴ شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین ریسک در گام نخست ارزش‌داری‌های تصفیه‌خانه تعیین گردیده است. بر این اساس با استفاده از پرسشنامه نظرات متخصصان در این زمینه جمع‌آوری شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی هر یک از واحدهای تصفیه‌خانه وزندهی شد. در گام بعد پس از تعیین تهدیدات متصور برای تصفیه‌خانه، وزندهی آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسان از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. در گام بعد بر اساس اولویت‌های بدست آمده در دو مرحله قبل، میزان آسیب‌پذیری ناشی از تهدیدات در واحدها تعیین گردید. با توجه به ارزش‌داری، وزن تهدیدات و میزان آسیب‌پذیری، مقدار ریسک هر تهدید در واحدها بدست آمد. در نهایت پیشنهادات لازم در جهت کاهش ریسک ایجاد شده در اثر تهدیدات مدنظر در تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه ارائه گردید (سلیمانی ملکان، ۱۳۹۱).

در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی و تحلیل لرزه‌ای پست‌های فوق توزیع شبکه برق»، به بررسی لرزه‌ای تجهیزات پست‌های توزیع شبکه برق و آسیب‌پذیری لرزه‌ای این تجهیزات پرداخته شد. در ابتدا مروری اجمالی به تاریخچه تولید برق و معرفی شبکه برق کشور انجام شد. در ادامه آسیب‌های ناشی از زلزله‌های اخیر وارده در ایران بر شبکه توزیع برق بیان گردید. سپس به بررسی آسیب‌پذیری و عوامل تهدیدکننده تجهیزات موجود در پست‌ها و ارائه دلایلی که پتانسیل آسیب‌پذیری این تجهیزات را در برابر زلزله افزایش می‌دهد پرداخته شد.

معرفی استانداردها و عملکرد کشورهای مختلف جهان، بویژه کشورهای پیشرو در زمینه تحلیل و طراحی تجهیزات لرزه‌ای پست‌های توزیع برق، از دیگر موارد مورد بحث بودند (حسنی و همکاران، ۱۳۹۲).

• **تعیین زمان احیا با استفاده از آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی، در طول رخداد زلزله (FEMA-226):** این متدلوژی، می‌تواند پارامتری که برای مطابقت دادن مقادیر سطوح خرابی با ماتریس‌های احتمال خرابی ATC13 استفاده می‌شود را برآورد کند. هدف اصلی این مطالعه بر این نکته دلالت دارد که چگونه می‌توان زمان احیای کامل سرویس‌دهی یک سامانه که متأثر از مجاور بودن با چند شریان‌های حیاتی هست را تعیین نمود. (FEMA - 226, 1992)

• **آسیب‌پذیری لرزه‌ای و اثرات تخریب شریان‌های حیاتی در آمریکا (FEMA-224):** این گزارش یک دیدگاه کلی از آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی و تخریب آن‌ها را بیان می‌کند. FEMA224 شامل گزارش تحقیقاتی ATC25 در مورد «آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی و اثر تخریب شریان‌های حیاتی در آمریکا» است که در سال ۱۹۹۱ بعد از انتشار گزارش ATC13 (ارزیابی خسارت ناشی از زمین‌لرزه در منطقه کالیفرنیا) به منظور تهیه و ارزیابی آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی منتشر گردید. (FEMA - 224, 1992)

علاوه بر موارد ذکر شده، از دیگر فعالیت‌های FEMA می‌توان به پایه‌گذاری نرم‌افزار تحلیل خسارت HAZUS در سال ۱۹۹۷ اشاره کرد. این متد امکان محاسبه خسارت احتمالی در سطوح مختلف خرابی را فراهم می‌آورد. (FEMA, 1999) باید افزود که این مدل اساس تئوریک تخمین خسارت اجزای شبکه‌های این پژوهش هم قرار گرفته است. این مدل بر پایه تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه و استفاده از منحنی‌های شکست لرزه‌ای برای المان‌های مختلف شریان‌های حیاتی کار می‌کند. البته به جز این روش، مدل‌های دیگری نیز همچون تأسیس انجمن شریان‌های حیاتی آمریکا (ALA)، در سال ۱۹۹۸، Risk_UE و Less-Loss وجود دارند که پایه همگی آنها، همین مدل مفروض می‌باشد (Risk_UE, 2003). (ALA, 2005) (LESSLOSS, 2007).

در پژوهش دیگر تحت عنوان «آنالیز ریسک در تصفیه‌خانه آب به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) مطالعه‌ی موردی: تصفیه‌خانه‌های ۳ و ۴ شهر تهران»، سعی

پست‌های انتقال نیرو فشار قوی برق واقع در شهر تهران؛^۱ به آسیب‌پذیری لرزه‌ای پست‌های انتقال فشار قوی و تجهیزات اصلی پرداخت. برای این منظور برآورد خطر زمین‌لرزه به روش‌های آماری، قطعی، احتمالاتی ارائه گردید و نسبت به تهیه کاتالوگ یکنواخت زمین‌لرزه‌ها در گستره‌ای از سایت مورد نظر (پست ۲۳۰ کیلووات تهرانپارس) اقدام گردید. در مجموع ۵ چشمه بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد نظر بر اساس آخرین داده‌های زمین‌لرزه‌ای، زمین‌ساختی، ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی برای برآورد بیشینه توان لرزه‌ای این چشمه‌ها تخمین زده شد. پارامترهای زلزله‌خیزی با استفاده از نرم افزارهای مختلف بدست آمد و مقادیر شتاب افقی از رویداد زمین‌لرزه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال و برای ۱۴ دوره تناوب با استفاده از نرم افزار کرایسیس^۱ محاسبه و در نهایت نقشه هم شتاب منطقه ارائه شد. پس از بدست آوردن منحنی طیف یکنواخت با دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای ۱۴ دوره تناوب با استفاده از نرم افزار سایر پست‌های انتقال فشار قوی با در نظر گرفتن نوع خاک آنها ارزیابی گردید و نقشه میزان ریسک پذیری پست‌های انتقال فشار قوی واقع در شهر تهران با استفاده از نرم افزار سیگکرا^۲ تهیه گردید. با توجه به مقادیر شتاب آستانه خرابی تجهیزات اصلی پست، ترانسفورماتور قدرت دارای کمترین مقدار شتاب مبنا و برق‌گیر دارای بیشترین مقدار شتاب مبنا بودند. در نتیجه ترانسفورماتور قدرت آسیب‌پذیرتر و برق‌گیر مقاوم‌تر بودند (تفویضی و همکاران، ۱۳۹۳).

آنچه مشخص است این که عموم روش‌ها بر پایه تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه و استفاده از منحنی‌های شکست لرزه‌ای برای المان‌های مختلف شریان‌های حیاتی کار می‌کند.

بعلاوه، عموم پژوهش‌هایی که تاکنون در این حوزه انجام شده بصورت تک بعدی به مبحث تحلیل خسارت لرزه‌ای شریان‌های حیاتی و سیستم اطلاعات مکانی پرداخته‌اند و بصورت منسجم و جامع، مدلی بر اساس سیستم اطلاعات مکانی که بتواند هر یک از شریان‌ها را بر اساس یک الگو

افضلی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان»؛^۱ به آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در دشت مغان پرداخت. در این تحقیق به منظور یافتن الگوی فضای آسیب‌پذیری منتج از فرونشست زمین در دشت دامغان، ابتدا نرخ و دامنه فرونشست، طی دوره زمانی ۶ ماهه با بهره‌گیری از داده‌های راداری سنجنده ASAR به کمک تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) استخراج شد که نتایج حاکی از حدوث فرونشستی سالانه ۷ سانتی متر بوده است. به منظور استخراج آسیب‌پذیری سازه‌ها و مستحدثات مستقر در محدوده مورد مطالعه ناشی از فرونشست، هسته‌های در حال فرونشست با نرخ و دامنه فضایی آن از طریق تداخل‌نگار تولیدی استخراج شد. برای درک بهینه و ارزیابی نظام مند آسیب‌پذیری؛ سازه‌ها و ساختارها به سه دسته سطح، خط و نقطه تقسیم و با روی هم‌گذاری هریک از لایه‌ها و پهنه‌های متشکل از طبقات سه‌گانه فرونشست، میزان خطرپذیری و میزان حدوث مقادیر فرونشست مربوط به انواع زیرساخت‌ها در محیط نرم افزاری مورد ارزیابی قرار گرفت. در قدم بعد؛ جهت راستی‌آزمایی یافته‌ها و بسته به الگوی فضایی تاثیر گذاری فرونشست، در هریک از طبقات فرونشست؛ نقاط کنترل زمینی در هریک از این دسته‌ها بر روی تصاویر انتخاب و اقدام به پی‌جویی آن‌ها در سطح محدوده گردید. نتایج حاصل از این پیمایش، مؤید شناسایی و ثبت عوارضی چون گسیختگی‌های طولی (عمدتاً در لبه‌ها و مرز هسته‌های فرونشست)؛ فرونشست شعاعی و ایجاد فروچاله؛ و دگرگون شدن چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد. توأمأً قرارگیری تأسیساتی چون راه‌ها و خط آهن و هم‌چنین مسکن در طول این گسیختگی‌ها رؤیت و تغییرات ثبت شد؛ و عقیم شدن اراضی زراعی و کاهش ظرفیت آبخوان دشت نیز به عنوان آسیب‌های محیطی فرونشست معرفی گردید (افضلی و همکاران، ۱۳۹۲).

تفویضی و همکاران در سال ۱۳۹۳ در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی ریسک‌پذیری لرزه‌ای تجهیزات اصلی

1 - Crisis

2 - SIGCRA

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)

مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۹۷

و پرشماری می‌باشد. سامانه نرم‌افزاری این پژوهش از دو کتابخانه اصلی زیر نیز استفاده کرده است:

۱- *NET Frameworks*: این کتابخانه توسط کمپانی Microsoft عرضه شده است که بسیاری از کلاس‌های مربوط به خواندن و نوشتن فایل‌ها، ایجاد فرم‌ها و ... در این کتابخانه موجود و قابل استفاده می‌باشند.

۲- *ArcGIS Engine*: این کتابخانه توسط شرکت ESRI عرضه شده است که در واقع دارای کتابخانه سیستم اطلاعات مکانی قوی و کاملی می‌باشد. در این مجموعه چندین هزار کلاس و توابع مختلف مخصوص کار و پردازش بر روی داده‌های مکانی تعبیه شده است.

انتخاب پایگاه داده مناسب نقشی کلیدی در طراحی هر سامانه دارد. پایگاه‌های داده در قالب‌ها و شکل‌های مختلف و با توانایی‌ها و سطوح سرویس‌دهی متفاوت وجود دارند. تهیه این پایگاه داده نیاز به طراحی مدل مفهومی کل ساختار پژوهش دارد.

۳-۱- مدل مفهومی

اولین گام در طراحی هر سامانه نرم‌افزاری شناخت نیازها و مطلوبات است، به این معنی که ابتدا باید مشخص شود که سامانه نهایی چه خدماتی را و با چه جزئیاتی می‌بایست ارائه دهد. پس از مشخص شدن این نیازها برنامه‌نویسان می‌توانند مدلی را طراحی نمایند که در آن عوارض و اشیاء دخیل در ساختار برنامه و همچنین خصوصیات هر شیء و موجودیت به همراه روابط بین آن‌ها مشخص شود. به این فرآیند مدل‌سازی اصطلاحاً مدل مفهومی گفته می‌شود.

دو روش شناخته‌شده و معروف در طراحی مدل مفهومی وجود دارد:

۱. زبان مدل‌سازی یکپارچه (UML)^۲
۲. مدل موجودیت-ارتباط (ER^۳): اجزای یک مدل ER از چهار بخش موجودیت، صفات خاصه، ارتباط^۴، کاردینالیته^۵

ارزیابی خسارت نماید، وجود نداشته است. از این رو وجه تمایز این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در این می‌باشد که اولاً هر ۲ نوع خطر پس از زلزله (اعم از شکست زمین و لرزش زمین) را در مدلسازی دخالت می‌دهد؛ ثانیاً عموم روش به مبحث ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیرساخت‌ها پرداخته‌اند و در بیشتر مواقع این مورد با مبحث تحلیل خسارت لرزه‌ای به اشتباه گرفته می‌شوند. ثالثاً عموم روش‌های برآورد خسارت از تأثیر بالای عدم قطعیت در تحلیل‌ها چشم‌پوشی می‌نمایند؛ درحالی‌که وقوع زلزله دارای عدم قطعیت‌های زیادی در بزرگای زلزله، موقعیت رخداد و ... می‌باشند؛ که این پژوهش با تعداد دفعات تکرار زیاد در سامانه (بر پایه شبیه‌سازی مونت‌کارلو)، تا حدود زیادی این عدم قطعیت را برآورد خواهد کرد و نتایج تحلیل را به حالت واقعیت نزدیک می‌کند. رابعاً برخی دیگر از پژوهش‌ها با نگاهی ابزاری به سیستم اطلاعات مکانی و براساس تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها می‌پردازند؛ در حالیکه در این پژوهش بر اساس تحلیل‌های مهندسی و مکانی بصورت توأم، به تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌ها پرداخته شده است.

۳- روش‌شناسی

مدل‌سازی به طور کلی، ساده سازی جهان واقعی است، که این امر توسط سیستم اطلاعات مکانی با ارائه واقعیت‌ها بصورت مجموعه‌ای از لایه‌های نقشه‌ای و روابط بین آنها محقق می‌گردد. سامانه مدل‌سازی موجود یک نرم‌افزار با ساختار معماری سه لایه است. در معماری سه لایه سه بخش اصلی شامل لایه مخزن داده (پایگاه داده)، کد برنامه و پوسته برنامه مطابق نگاره ۱ وجود دارد. این سامانه با زبان برنامه‌نویسی #C که یک زبان برنامه‌نویسی شیء‌گرا می‌باشد کدنویسی گردید که این زبان از یک محیط برنامه‌نویسی^۱ قوی به نام Visual Studio بهره می‌برد که در واقع محیط برنامه‌نویسی قوی حال حاضر دنیا با کتابخانه‌های متعدد

2- Unified Modeling Language

3- Entity Relationship

4- Relationship

5- Cardinality

1- Integrated Development Environment



نگاره ۱: معماری ۳ لایه سامانه مدل‌سازی شده

تشکیل شده است. از میان دو روش UML (که یک روش مبتنی بر شیء‌گرایی است) و روش ER (که مبتنی بر موجودیت‌ها و ارتباط بین آنهاست)، روش UML برای بیان جزئیات اجزای درون نرم‌افزار مناسب بوده و قادر است اشیاء موجود را به شکل مطلوبی مدل‌سازی نماید؛ اما روش ER با رویکرد طراحی پایگاه داده رابطه‌ای^۱ و نمایش ارتباط بین جداول مختلف ایجاد شده؛ توانایی بالایی در مدل‌سازی مفهومی پایگاه داده دارد.

۳-۲- نوع پایگاه داده

ابعاد پروژه نرم‌افزاری و کارکردهای مختلفی که از آن انتظار می‌رود عامل اصلی انتخاب پایگاه داده است. ملاک‌های لازم در انتخاب سیستم مدیریت پایگاه داده عبارتست از:

- توان پشتیبانی از داده‌های مکانی (اعم از برداری^۲ و رستری^۳) را دارا باشد؛ که در این مدل، این قابلیت، مهمترین فاکتور می‌باشد.

- دارا بودن توان کار با داده‌های حجیم

- امکان برقراری ارتباط با محیط برنامه‌نویسی

- امکان سرویس‌دهی همزمان به چندین کاربر: با توجه به اینکه این سامانه نرم‌افزاری، بصورت تک کاربر می‌باشد؛ به سرویس‌دهی همزمان به چندین کاربر در آن نیاز نمی‌باشد. از این رو با توجه به ملاک‌های فوق از پایگاه داده محلی ESRI استفاده می‌گردد. بر این اساس مدل مفهومی پژوهش

1-Relational Database

2-Vector

3- Raster

از روش ER بهره برده که این طرح دارای دو بخش اصلی پایگاه داده ایستا و پایگاه داده پویا می‌باشد. دو بخش فوق به صورت مجتمع در یک پایگاه داده پیاده‌سازی شده‌اند. پایگاه داده استاتیکی: این بخش از اجزای پایگاه داده شامل جداول و اطلاعاتی است که نیازمند بروزرسانی لحظه‌ای نیستند. به بیان دیگر این بخش دربرگیرنده آن جداول و اطلاعاتی است که به عنوان پایه‌ای برای سایر پردازش‌ها و محاسبات در نظر گرفته می‌شود. پایگاه داده استاتیک شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های زمین‌لغزش، اجزای اصلی شبکه‌ها می‌باشد.

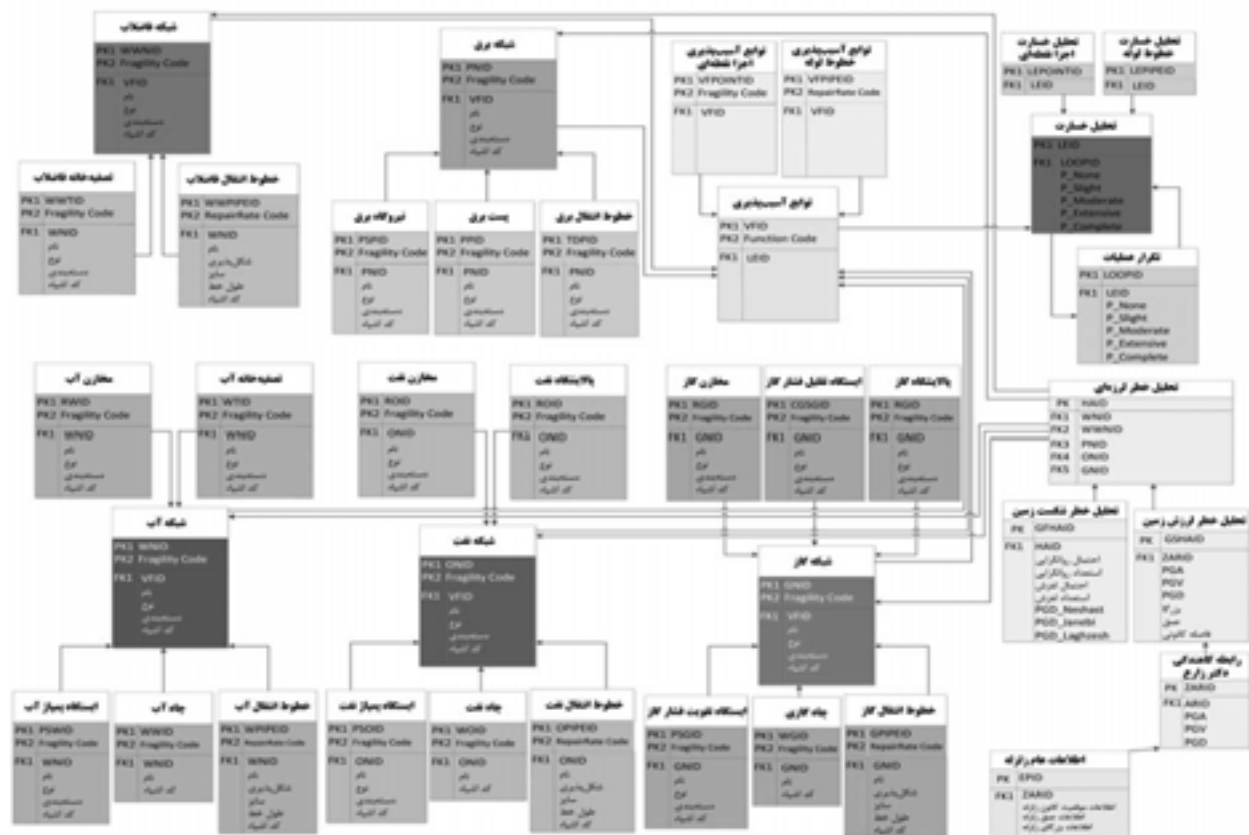
پایگاه داده دینامیکی: پایگاه داده پویا در واقع شامل جداول و اطلاعات مرتبط با عوارضی است که می‌بایست به صورت لحظه‌ای پایش و بروزرسانی شوند. پایگاه داده پویا شامل اطلاعات بزرگ، عمق کانونی و موقعیت زلزله می‌باشد که مدام در هر تحلیل عوض می‌شود. نحوه ارتباطات آنها در مدل مفهومی در نگاره ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

۳-۳- لایه‌های اصلی در بانک اطلاعاتی

بانک اطلاعاتی سامانه موجود از داده‌های مکانی و توصیفی زیر در قالب نقشه‌های GIS استفاده می‌نماید:

- لایه‌های وکتوری شبکه آب منطقه مورد مطالعه از قبیل: ایستگاه پمپاژ، خطوط لوله، مخازن آب، تصفیه‌خانه، چاه‌ها و سایر منابع تأمین.
- لایه‌های وکتوری شبکه برق منطقه مورد مطالعه از قبیل: نیروگاه، پست‌ها با ولتاژ متفاوت، خطوط انتقال.
- لایه‌های وکتوری شبکه گاز منطقه مورد مطالعه از قبیل: پالایشگاه، خطوط لوله، مخازن نگه‌داری، ایستگاه تقویت

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
 مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۹۹



نگاره ۲- مدل مفهومی سامانه تحلیل خسارت لرزه‌ای شریان‌های حیاتی

سیستم‌های شریان‌های حیاتی بصورت شبکه‌ای می‌باشند؛ این سیستم‌ها معمولاً بصورت یک شبکه از اجزاء هستند (مانند شبکه برق، آب، مخابرات و اینترنت) از این‌رو یافتن متد مناسب و جامع جهت تحلیل خسارت لرزه‌ای تمامی اجزا شریان‌های حیاتی قدری مشکل‌می‌باشد. به همین منظور در این بخش مجموعه‌ای از متدهای مختلف به نحو مناسبی تلفیق می‌گردد که بتواند هدف این پژوهش که تحلیل خسارت شریان‌ها هستند را تأمین کند.

۴-۳-۱- تحلیل خطر لرزه‌ای

کشور پهناور ایران در منطقه‌ای از پوسته زمین قرار گرفته که از دیر باز در اثر آزاد شدن انرژی‌های انباشته شده در آن، همیشه شاهد لرزش‌های بزرگ و مخربی بوده است. خسارت‌های وارد آمده به اجزای شریان‌ها، در اثر خطرات

فشار و CGS. اطلاعات توصیفی هر یک از اجزا شبکه‌ها. لایه وکتوری موقعیت گسل‌ها و زلزله‌های تاریخی در اطراف منطقه مورد مطالعه.

۴-۳-۲- تحلیل مدل

پرداختن به آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی، دارای پیچیدگی‌های متنوعی می‌باشد؛ که بطور کلی این پیچیدگی در موارد زیر وجود دارد: (Thoft and Muratsu, 1986)

سیستم‌های شریان‌های حیاتی بصورت چندگانه هستند؛ این سیستم‌ها که از چند نوع صنعت یا تکنولوژی در کنار یکدیگر تشکیل می‌گردند (مانند کارخانه‌ها، تولیدی‌ها، نیروگاه‌های برق، خطوط انتقال نفت و گاز) دارای ۴ جزء اصلی سخت افزار، نرم افزار، سازماندهی و نیروهای انسانی می‌باشند.

L: فاصله سطحی اجزا تا مرکز زلزله (Km)
 h: عمق کانونی زلزله (Km)
 Ci: ثابتی وابسته به جنس زمین ساختگاه
 i: رده ساختگاه (بین ۱ تا ۴ تغییر می کند)
 S: نوع ساختگاه
 Pi: احتمال (۰ یا ۱)
 σ: انحراف معیار

$$\ln Y = C1 + C2 * M + C3 * \ln [R + C4 * \exp(M)] + C5 * R \quad (3)$$

C1، C2 و C3: ضرایب ثابت وابسته به نوع خاک و نوع منطقه بر اساس جداول (۲)
 R: فاصله کانونی اجزا تا مرکز زلزله (Km)
 M: بزرگا

Y: مؤلفه خروجی زمین بصورت PGA برحسب Cm/s² و PGV بر حسب Cm/s

همه روابط کاهندگی ارائه شده دارای عدم قطعیت‌های متفاوتی هستند. این عدم قطعیت‌ها از کمبود اطلاعات، عدم ثبت صحیح زلزله‌ها در گذشته، کمبود دانش و تفاوت بین روابط کاهندگی و مدلینگ آنها بوجود می آید.

الگوریتم کلی که بخش تحلیل خطر این پژوهش از آن پیروی می کند مطابق نگاره ۵ می باشد. در این الگوریتم که پل ارتباطی پایگاه داده با مدل بشمار می رود؛ پس از انتخاب سناریوهای مناسب و استفاده از رابطه کاهندگی فوق‌الذکر مطابق نگاره ۳ می تواند پاسخ لرزه‌ای هر سناریو را برای تمام اجزای شبکه‌ها تعیین نماید و از فاز تحلیل خطر وارد فاز تحلیل خسارت شود.

اگر منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل بروز روانگرایی و زمین لغزش بود، می بایست به منظور لحاظ نمودن اثرات شکست زمین در تحلیل خسارت، پارامترهای خروجی آن در پایگاه داده مکانی لایه شکست زمین قرار داده شود. پارامترهای خروجی که مدل به آنها نیاز دارد عبارتست از:
 - تغییرات احتمال روانگرایی برای عارضه‌های منطقه مورد نظر
 - تغییرات احتمال زمین لغزش برای عارضه‌های منطقه مورد نظر

ذکر شده؛ در دو دسته کلی طبقه بندی می شوند:

- ۱- خسارت‌های ناشی از حرکات آنی زمین^۱ (TGD)
- ۲- خسارت‌های ناشی از تغییر شکل‌های دایمی زمین^۲ (PGD)
 به منظور برآورد ویژگی‌های لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه از اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌ها و روش‌های آماری ویژه‌ای می‌بایست استفاده کرد. به این منظور لازم است تا فهرست زمین‌لرزه‌ها در پهنه‌های سرچشمه لرزه‌ای در ناحیه مورد مطالعه، انتخاب و پردازش گردند. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، از روابط کاهندگی بمنظور استخراج پارامترهای بیشینه زمین استفاده می‌شود. در این روابط پارامتر مورد بررسی (همانند PGA، PGV و PGD)، به صورت تابعی از بزرگی زلزله، فاصله از منبع تا سایت، شرایط ساختگاه و نوع گسل‌های منطقه بیان می‌شود. اغلب این روابط از تحلیل آماری و رگرسیون غیر خطی اطلاعات حرکت قوی زمین بدست می آید. در این مقاله از روابط کاهندگی دکتر زارع و دکتر قدرتی امیری بطور تصادفی بمنظور انجام تحلیل خطر لرزش زمین مطابق نگاره ۳ استفاده می‌گردد. زیرا این روابط بر اساس مطالعات صورت گرفته روی داده‌های شتابنگاری ایران که از سراسر کشور به دست آمده، عمل می‌نماید (Zare and Bard, 1999). رابطه (۱) رابطه کاهندگی زارع و بارد و رابطه (۳) رابطه کاهندگی قدرتی امیری و همکاران (Ghodrati Amiri et al, 2007) قابل مشاهده می‌باشد:

$$\log A = aM + bX - \log X + C_i * S_i + \sigma * P \quad (1)$$

$$X = \sqrt{L^2 + h^2} \quad (2)$$

اگر از ضرایب مربوط به حداکثر شتاب زمین (g) استفاده شود؛ A برابر با PGA است.

اگر از ضرایب مربوط به حداکثر سرعت زمین (Cm/S) استفاده شود؛ A برابر با PGV است.

اگر از ضرایب مربوط به حداکثر تغییر مکان زمین (Cm) استفاده شود؛ A برابر با PGD است.

X: فاصله کانونی اجزا تا مرکز زلزله (Km)

1 - Transient Ground Deformation

2- Permanent Ground Displacement

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۱۰۱



نگاره ۳: نحوه ورود اطلاعات خاص روابط کاهندگی به مدل

برای برآورد آسیب‌پذیری آنها استفاده می‌شود. منحنی‌های شکست، احتمال تجاوز خسارت از سطوح مختلف خرابی را با پارامتری از شدت زمین‌لرزه مرتبط می‌سازند و بنابراین می‌توانند به عنوان مفهوم تصویری از ریسک لرزه‌ای به حساب آیند (Pinto et al, 2010). کاربرد این منحنی‌ها (همانند نگاره ۴ برای سطوح مختلف خسارت در مخزن بتنی روزمینی با مهار بند) در مورد جمعی از شریان‌های حیاتی، تخمینی از نسبت درجات مختلف خسارت وارده بعد از زلزله با توزیع شدت مشخص می‌باشد (بازگرد، ۱۳۸۵). محور افقی این منحنی‌ها که احتمال خرابی بر پایه آن سنجیده می‌شود بیانگر معیار لرزه‌ای می‌باشد. برای هر یک از اجزای شبکه، منحنی خرابی بر حسب مدهای خرابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این منحنی‌ها از توزیع Lognormal پیروی می‌کنند. در مدل تهیه شده تمامی توابع آسیب‌پذیری ۳ شبکه آب، برق، سوخت؛ بر اساس داده‌های متدولوژی HAZUS در پایگاه داده مدل (مطابق نگاره ۳) قرار داده شده است، که بر اساس نوع خطرات (لرزش زمین (PGA) یا شکست زمین (PGD))، نوع مهاربندی و نوع المان مربوطه، داده‌های میانه و بتا مربوط به آن از جدول پایگاه داده مدل (مطابق جدول ۲) فراخوانی می‌شود. حالات خرابی منحنی‌های شکست شامل ۵ سطح ds۱ (بدون خرابی)، ds۲ (خرابی خفیف)، ds۳ (خرابی متوسط)، ds۴ (خرابی شدید) و ds۵ (تخریب کامل) تعریف می‌گردد. (FEMA, 1999)

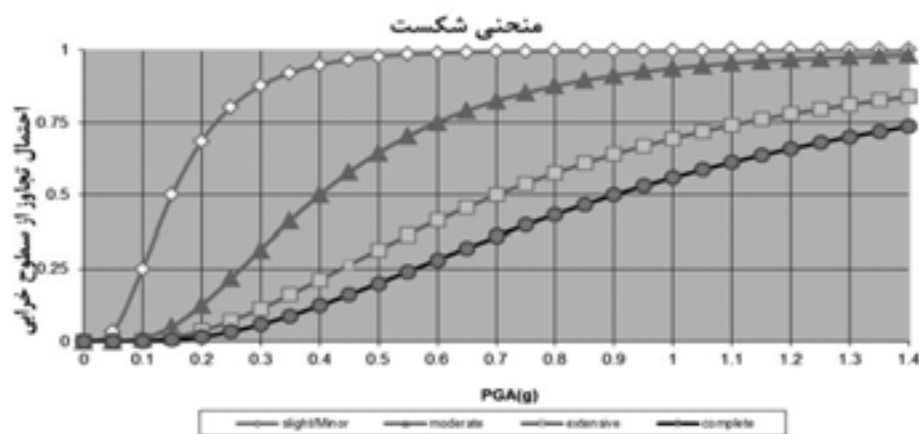
- میزان حداکثر تغییر مکان زمین ناشی از پنخش جانبی
- میزان حداکثر تغییر مکان زمین ناشی از نشست زمین
- میزان حداکثر تغییر مکان زمین ناشی از زمین‌لغزش

۳-۴-۲- برآورد آسیب‌پذیری لرزه‌ای

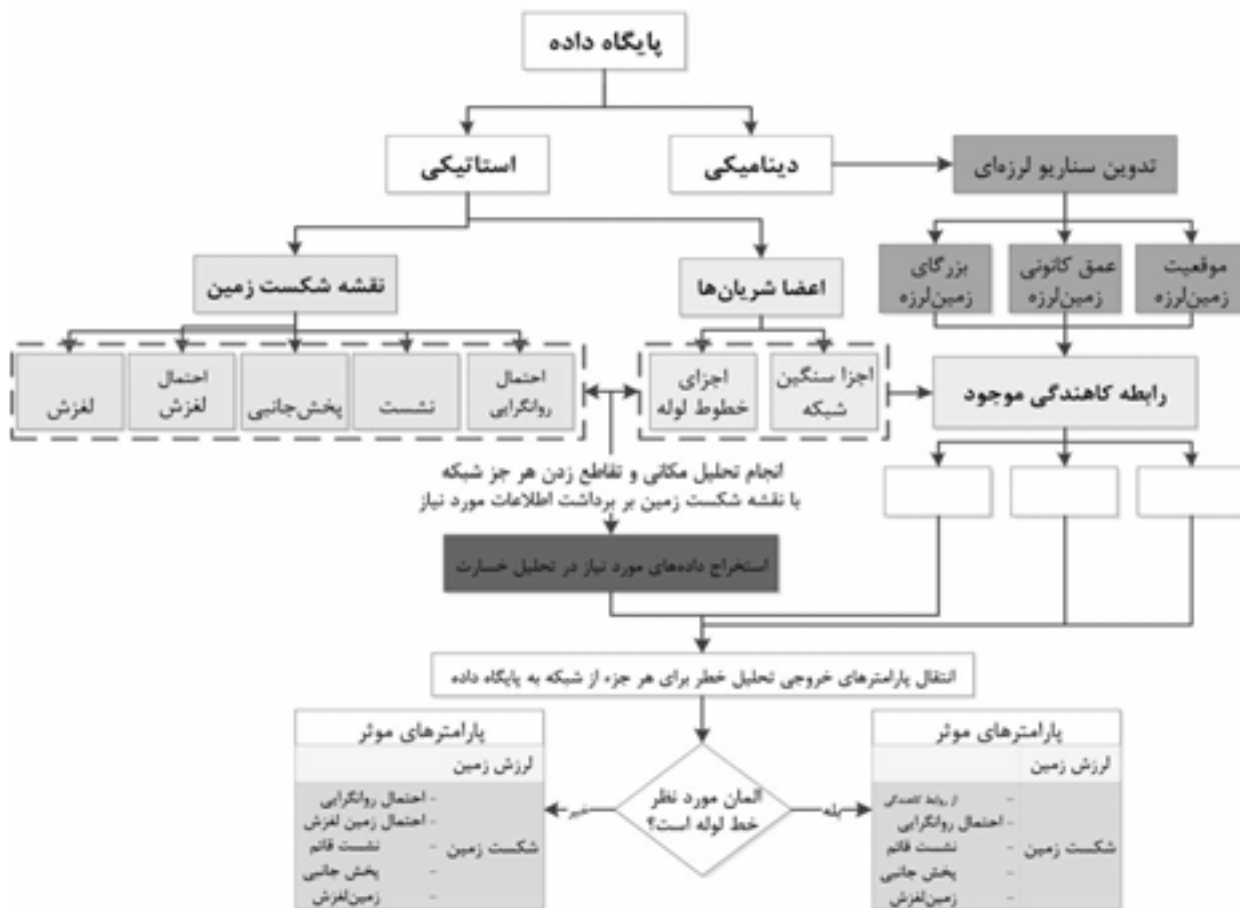
آسیب‌پذیری، به هر گونه ضعف در یک دارایی اطلاق می‌شود که این امکان را به یک تهدید می‌دهد تا توانایی ایجاد خسارت به یک دارایی، شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌های یک منطقه را ایجاد نماید. در حوزه مسائل مهندسی، آسیب‌پذیری، پتانسیل میزان خسارتی است که در اثر در معرض قرارگیری در مقابل یک یا مجموعه‌ای از عوامل ایجاد خطر، سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر آسیب‌پذیری یک بخش عبارتست از احتمالی که آن بخش در هنگام تهدید دچار گسیختگی می‌شود. (Lewis, 2006)

به منظور برآورد آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها نیاز به استفاده از توابع آسیب‌پذیری هر المان وجود دارد. تابع آسیب‌پذیری رابطه‌ای است که خرابی مورد انتظار برای یک سازه را به صورت تابعی از جنبش شدید زمین و یا هر یک از پارامترهای لرزه‌ای، بیان می‌کند که می‌تواند به حالات مختلفی نظیر روابط آسیب‌پذیری لوله‌ها، منحنی‌های شکست و یا سطح شکست بیان شود.

برای آن دسته از اجزا شریان‌های حیاتی که عموماً شامل اجزا نقطه‌ای، سخت و سنگین می‌باشند از منحنی‌های شکست



نگاره ۴: منحنی شکست برای سطوح مختلف خسارت بعنوان نمونه در مخزن آب بتنی روزمینی با مهار بند



نگاره ۵: الگوریتم نحوه ارتباط تحلیل خطر با برآورد آسیب پذیری

است، صورت گیرد. الگوریتم کلی تحلیل خسارت لرزه‌ای مطابق نگاره ۵ می‌باشد. بر اساس این الگوریتم خسارات ناشی از زلزله برای هر یک از تأسیسات و تجهیزات تشکیل دهنده آن زیرساخت

۳-۴-۳- تحلیل خسارت لرزه‌ای

تحلیل خسارات لرزه‌ای یک سازه می‌تواند به وسیله منحنی شکست مربوط به آن سازه و آگاهی از شدت زمین-لرزه در محلی که آن سازه یا تأسیسات در آن واقع شده

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)
مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۱۰۳

پس از محاسبه احتمال خرابی خطر لرزش زمین و شکست زمین در ۴ سطح خرابی، این ۲ خطر در هر سطح خرابی با یکدیگر تلفیق می‌شوند. به عنوان نمونه تلفیق خطر لرزش زمین و شکست زمین جهت تعیین احتمال تجاوز از سطح خرابی کم در هر یک از عوارض، مطابق رابطه ۶ صورت می‌گیرد.

$$P_{Ground\ Shaking} [d_s | PGA] = \varphi \left[\frac{1}{\beta} * Ln \frac{PGA}{M} \right] \quad (4)$$

$$P_{Ground\ Failure} [d_s | PGD] = \varphi \left[\frac{1}{\beta} * Ln \frac{PGD}{M} \right] \quad (5)$$

PGround Shaking: احتمال خرابی خطر لرزش زمین

PGround Failure: احتمال خرابی خطر لرزش زمین

β : انحراف معیار

M: میانه خرابی‌های موجود برای هر یک از المان شریان‌های حیاتی

$$P_{COMB} [DS \geq S] = P_{GS} [DS \geq S] + P_{GF} [DS \geq S] - (P_{GS} [DS \geq S] * P_{GF} [DS \geq S])$$

$$= [P_{GS} [DS \geq S]] + [P_{Liquefaction} * Max [P_{GS} [DS \geq S], P_{Landslide} [DS \geq S]] + [P_{Landslide} * P_{Landslide} [DS \geq S]] + [P_{GS} [DS \geq S] * P_{Landslide} * P_{Landslide} [DS \geq S]] - [P_{GS} [DS \geq S] * P_{Landslide} * Max [P_{GS} [DS \geq S], P_{Landslide} [DS \geq S]] - [P_{GS} [DS \geq S] * P_{Landslide} * P_{Landslide} [DS \geq S]]$$

(۶)

$P_{COMB} [DS \geq S]$: احتمال نهایی تجاوز از سطح خرابی کم

در هر عارضه

$P_{GS} [DS \geq S]$: احتمال تجاوز از سطح خرابی کم در اثر

لرزش زمین در عارضه‌های مختلف

$P_{GF} [DS \geq S]$: احتمال تجاوز از سطح خرابی کم در اثر

شکست زمین در عارضه‌های مختلف

$P_{Liquefaction}$: احتمال بروز روانگرایی در عارضه‌های مختلف

$P_{Landslide}$: احتمال بروز زمین لغزش در عارضه‌های مختلف

$P_{VS} [DS \geq S]$: احتمال تجاوز از سطح خرابی کم در اثر

خطر نشست قائم (یکی از خطرات شکست زمین)

$P_{LS} [DS \geq S]$: احتمال تجاوز از سطح خرابی کم در اثر

خطر پخش جانبی (یکی از خطرات شکست زمین)

$P_{Landslide} [DS \geq S]$: احتمال تجاوز از سطح خرابی کم در اثر

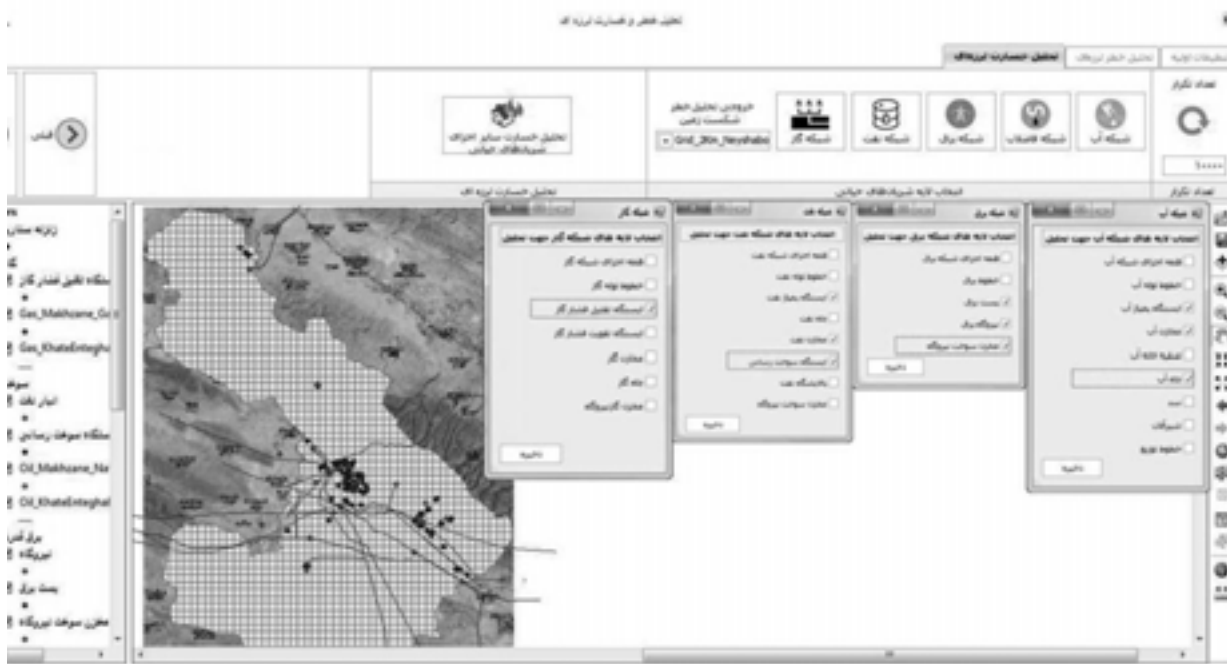
خطر لغزش زمین (یکی از خطرات شکست زمین)

همانند مخازن ذخیره آب، نیروگاه‌های تولید کننده برق یا پست‌های برق، با در اختیار داشتن منحنی‌های شکست و شدت زمین‌لرزه در منطقه مورد نظر، قابل محاسبه می‌باشد. برای المان‌های توزیع نظیر خط لوله‌ها، تراکم شکست لوله‌ها (تعداد شکست در واحد طول لوله) مد نظر قرار می‌گیرد که مقدار آن به شدت زمین‌لرزه در طول خط لوله بستگی دارد. از اینرو، میزان خسارات لرزه‌ای اجزای زیرساخت‌ها می‌تواند به طور جداگانه محاسبه گردد. نحوه ورود اطلاعات شبکه‌ها به سامانه طراحی شده جهت تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی مطابق نگاره ۶ می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر میانه و بتا برای انواع اجزای شبکه در سطوح خسارت مختلف

| OBJECTID | Object Name | Param | Value | Code | Element | Median | Beta |
|----------|-------------|-------|-------|------|---------|--------|------|
| 1212 | مختار | PGA | --- | WBE1 | وسم | 0.72 | 0.42 |
| 1214 | مختار | PGA | --- | WBE1 | فصل | 1.1 | 0.4 |
| 1215 | مختار | PGA | مختار | WBE1 | فصل | 0.25 | 0.35 |
| 1216 | مختار | PGA | مختار | WBE1 | فصل | 0.32 | 0.3 |
| 1218 | مختار | PGA | مختار | WBE1 | وسم | 0.95 | 0.4 |
| 1219 | مختار | PGA | مختار | WBE1 | فصل | 1.44 | 0.3 |
| 1220 | مختار | PGA | مختار | WBE2 | فصل | 0.18 | 0.4 |
| 1221 | مختار | PGA | مختار | WBE2 | فصل | 0.42 | 0.3 |
| 1222 | مختار | PGA | مختار | WBE2 | وسم | 0.3 | 0.35 |
| 1224 | مختار | PGA | مختار | WBE2 | فصل | 1.04 | 0.4 |
| 1225 | مختار | PGA | مختار | WBE3 | فصل | 0.3 | 0.4 |
| 1226 | مختار | PGA | مختار | WBE3 | فصل | 0.3 | 0.4 |
| 1227 | مختار | PGA | مختار | WBE3 | وسم | 1.25 | 0.45 |
| 1228 | مختار | PGA | مختار | WBE3 | فصل | 1.4 | 0.4 |
| 1229 | مختار | PGA | مختار | WBE4 | فصل | 0.15 | 0.3 |
| 1230 | مختار | PGA | مختار | WBE4 | فصل | 0.32 | 0.35 |
| 1231 | مختار | PGA | مختار | WBE4 | وسم | 0.48 | 0.35 |
| 1232 | مختار | PGA | مختار | WBE4 | فصل | 0.95 | 0.3 |
| 1233 | مختار | PGA | مختار | WBE4 | فصل | 0.18 | 0.2 |
| 1234 | مختار | PGA | مختار | WBE5 | فصل | 0.35 | 0.3 |
| 1235 | مختار | PGA | مختار | WBE5 | وسم | 1.15 | 0.4 |
| 1236 | مختار | PGA | مختار | WBE5 | فصل | 1.5 | 0.4 |
| 1237 | مختار | PGA | مختار | WBE6 | فصل | 0.15 | 0.4 |
| 1238 | مختار | PGA | مختار | WBE6 | فصل | 0.4 | 0.4 |
| 1239 | مختار | PGA | مختار | WBE6 | وسم | 0.3 | 0.3 |
| 1240 | مختار | PGA | مختار | WBE6 | فصل | 0.9 | 0.3 |

اجزای سخت و سنگین شبکه‌ها به طور عمده نسبت به حداکثر شتاب زمین (PGA) آسیب پذیر می‌باشند و هنگامی که خطر روانگرایی، زمین لغزش و ... وجود داشته باشد، در برابر تغییر مکان‌های دائمی زمین (PGD) آسیب پذیر می‌باشند. احتمال خرابی ۲ خطر لرزش زمین بر اساس پارامترهای PGA و PGD از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌گردند.



نگاره ۶- نحوه ورود اطلاعات شبکه‌ها به سامانه موجود

تمامی این گام‌ها تنها برای یکبار آنالیز می‌باشد. حال بر اساس تئوری مونت کارلو، تمامی این فرآیند برای ۱۰ هزار بار تکرار مورد آنالیز قرار گرفته تا ضمن در نظر گرفتن تمامی حالات خرابی، میزان عدم قطعیت موجود در مدل را به نحو مناسبی بتوان در نظر گرفت.

۴- نتایج و بحث

بمنظور اجرای مدل و پیاده سازی سامانه طراحی شده، نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای شریان‌های حیاتی برای شهر نیشابور تهیه می‌گردد تا بر روی خروجی‌های موجود بتوان به نحو مناسب‌تری بحث و بررسی کرد. نیشابور (با حدود ۲۰۰ هزار نفر جمعیت) در جنوب رشته کوه‌های بینالود، در شمال خاوری ایران واقع شده است. این شهرستان در طول جغرافیایی بین ۵۸ تا ۵۹ درجه و عرض جغرافیایی بین ۳۵ تا ۳۷ درجه، واقع شده است؛ که از شمال به شهرستان‌های چناران و قوچان، از جنوب به شهرستان‌های کاشمر و تربت حیدریه، از شرق به شهرستان مشهد و از غرب به شهرستان‌های اسفراین و سبزوار محدود شده است. این شهر دست کم چهار بار توسط زلزله‌هایی تاریخی (در

با همین روند احتمال تجاوز از سطوح خرابی متوسط، وسیع و کامل برای هر یک از عوارض شریان‌ها، بطور اتوماتیک تعیین می‌گردد. در انتهای عملیات با توجه به اینکه این سطوح خرابی‌ها بصورت تجمعی می‌باشند، مطابق روابط زیر آنها را بصورت منقطع از یکدیگر می‌توان جدا نمود.

- احتمال نهایی بدون خرابی

$$P_{\text{COMB}} [DS = \text{Noun}] = 1 - P_{\text{COMB}} [DS \geq S] \quad (7)$$

- احتمال نهایی سطح خرابی کم

$$P_{\text{COMB}} [DS = \text{Slight}] = P_{\text{COMB}} [DS \geq S] - P_{\text{COMB}} [DS \geq M] \quad (8)$$

- احتمال نهایی سطح خرابی متوسط

$$P_{\text{COMB}} [DS = \text{Moderate}] = P_{\text{COMB}} [DS \geq M] - P_{\text{COMB}} [DS \geq E] \quad (9)$$

- احتمال نهایی سطح خرابی وسیع

$$P_{\text{COMB}} [DS = \text{Extensive}] = P_{\text{COMB}} [DS \geq E] - P_{\text{COMB}} [DS \geq C] \quad (10)$$

- احتمال نهایی سطح خرابی کامل

$$P_{\text{COMB}} [DS = \text{Complete}] = P_{\text{COMB}} [DS \geq C] \quad (11)$$

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (... / ۱۰۵) مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۱۰۵

اتفاق افتاده است (Berberian & Yeats, 1999)؛ بزرگای زمین لرزه احتمالی را بطور تصادفی در بازه بین ۶ تا ۷/۵ ریشتر انتخاب می‌گردد.

عمق کانونی زمین لرزه: با توجه به اینکه زلزله‌های قبلی در این منطقه بیش از ۸۰٪ آن در عمق بین ۵ تا ۲۵ کیلومتری واقع شده‌اند، میزان عمق کانونی زمین لرزه بطور تصادفی در بازه بین ۵ تا ۲۵ کیلومتر انتخاب می‌گردد.

مختصات محل وقوع زلزله: محل وقوع زلزله را با توجه به نقشه موقعیت زلزله‌های گذشته اطراف شهرستان نیشابور (نگاره ۱۰)؛ در یکی از زلزله‌های تاریخی که بر روی گسل نیشابور با مختصات ۶۶۱۵۷۱ و ۴۰۰۹۰۰۱ در مقیاس UTM واقع شده؛ انتخاب گردیده است.

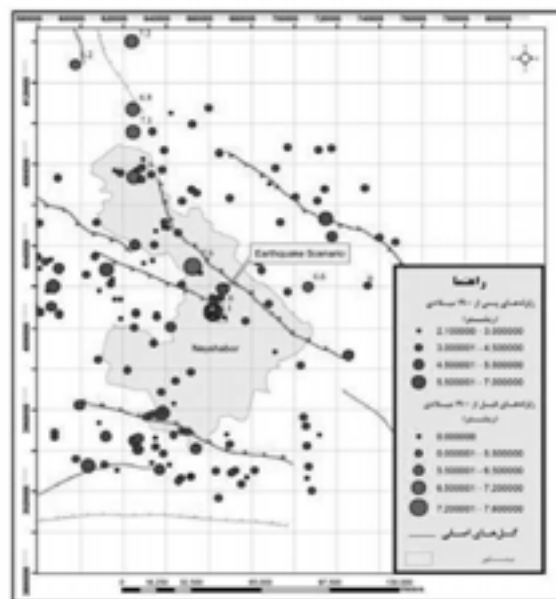
مدل ارائه شده با احتساب سناریو زلزله فوق برای شهر نیشابور در سامانه نرم‌افزاری موجود با ۱۰ هزار بار تکرار پیاده‌سازی گردید.

بر این اساس مطابق نگاره ۸، نقشه تحلیل خسارت شبکه آب شهرستان نیشابور به تفکیک میزان درصد هر یک از سطوح خرابی قابل مشاهده می‌باشد؛ همچنین در نگاره‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب، نقشه تحلیل خسارت شبکه‌های برق و سوخت شهرستان نیشابور به تفکیک میزان درصد هر یک از سطوح خرابی قابل مشاهده می‌باشد.

نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای ایستگاه پمپاژ آب برای سناریو زلزله معلوم (نگاره ۸-الف)، نشان از خسارت کم این تأسیسات در اطراف زلزله مفروض می‌دهد؛ به نحوی که این تأسیسات بطور کلی بیش از ۷۰٪ دچار خسارت کم یا بدون خرابی شده‌اند. لازم به ذکر است بین ایستگاه‌های پمپاژ آب، تأسیسات شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۷، دچار خسارت بیشتری شده‌اند و علت خسارت بالاتر نسبت به ۳ تأسیسات دیگر این است که برای این تأسیسات، مهاربند لرزه‌ای تعبیه نگردیده است.

نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای مخازن آب (نگاره ۸-ب)، نشان از خسارت‌های مختلفی برای این تأسیسات برای سناریو زلزله معلوم می‌دهد؛ به نحوی که تأسیساتی همانند

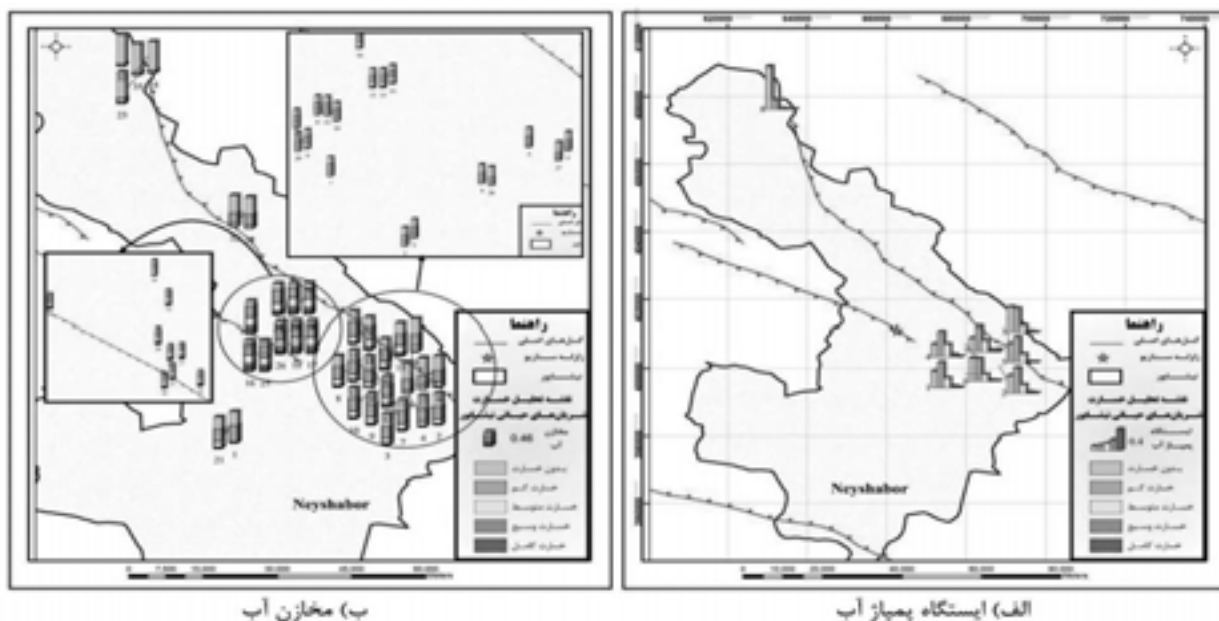
سال‌های ۱۲۰۹، ۱۲۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۵ (میلادی) تخریب و گاه نابود شده است. در اطراف نیشابور سه گسل فعال وجود دارد: گسل بینالود، گسل شمال نیشابور و گسل نیشابور. گسل‌های شمال نیشابور و بینالود در دامنه رشته کوه بینالود، در شمال نیشابور، قرار دارند. گسل نیشابور، در باختر نیشابور، قرار دارد. گسل نیشابور که در ۱۰ کیلومتری جنوب گسل شمال نیشابور قرار دارد، یک گسل راندگی به طول ۵۰ کیلومتر است. در هر انتهای گسل، دو قطعه جوان و راندگی به طول ۱۰ کیلومتر وجود دارد. این گسل نزدیک شهر نیشابور و یک چشمه احتمالی برای زمین لرزه‌های ۱۲۰۹ و ۱۴۰۵ میلادی است (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۱).



نگاره ۷: موقعیت سناریو زلزله بر روی شهر نیشابور

مقادیر سناریو زمین لرزه در این پژوهش بصورت زیر می‌باشد:

بزرگای زمین لرزه: با توجه به اینکه پیشینه تاریخی گویای زلزله‌های با بزرگای بالا در دوران مختلف در داخل و اطراف شهرستان نیشابور می‌باشد؛ بطوریکه دست کم ۴ لرزه تاریخی با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در کمتر از ۲۰۰ سال (۱۲۰۹ تا ۱۴۰۵ میلادی) نزدیک نیشابور در شمال خاوری ایران زمین



نگاره ۸: نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای شبکه آب به تفکیک ایستگاه پمپاژ آب و مخازن آب شهر نیشابور

برای سناریو زلزله معلوم از نیروگاه کمتر می‌باشد؛ به نحوی که نیروگاه موجود ۴۰٪ بدون خسارت، ۳۰٪ خسارت کم، ۰٪ خسارت متوسط، ۲۲٪ خسارت وسیع و ۸٪ دچار خسارت کامل می‌گردد.

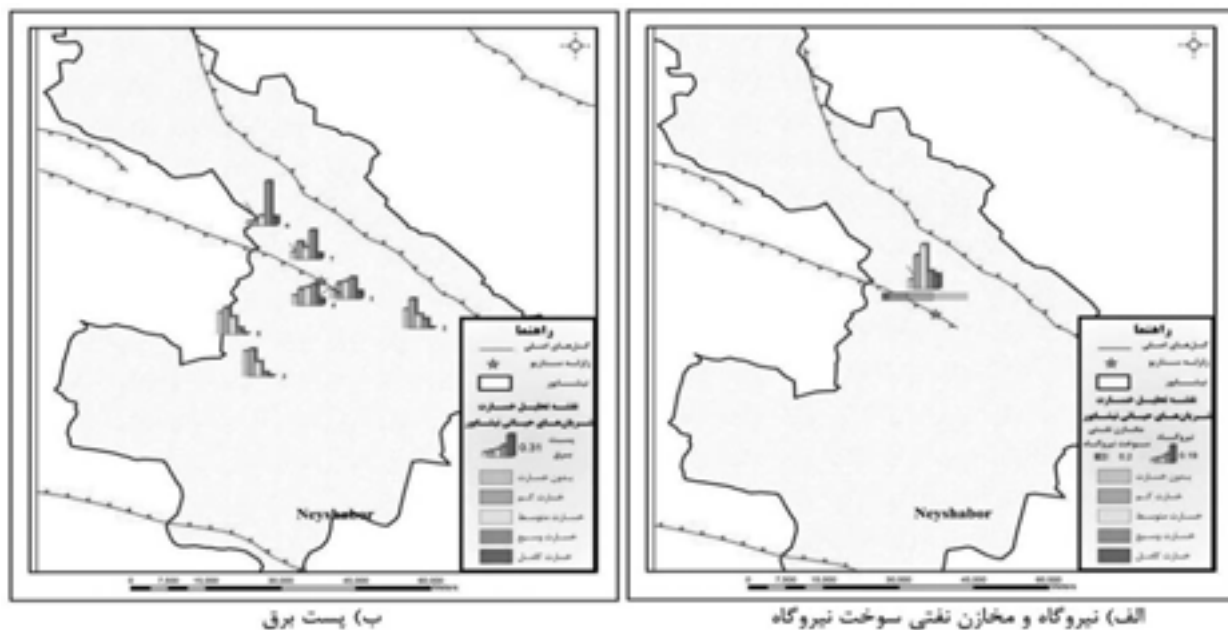
نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای پست برق برای سناریو زلزله معلوم (نگاره ۹-ب)، نشان از خسارت بالای این تأسیسات در اطراف زلزله مفروض می‌دهد؛ به نحوی که پست برق شماره ۱، ۴، ۶ و ۷ از خسارت بیشتری برخوردار هستند و بیش از ۷۰٪ دچار خسارت متوسط به بالا شده‌اند. در حالیکه پست برق شماره ۲، ۳ و ۵ کمتر از ۳۰٪ دچار خسارت متوسط به بالا شده‌اند. لازم به ذکر است بین پست‌های برق شماره ۱، ۴، ۶ و ۷، پست برق ۶ و ۷ دچار خسارت بیشتری شده‌اند، به نحوی که به ترتیب ۶۲٪ و ۴۱٪ دچار خسارت وسیع شدند و علت خسارت بالاتر نسبت به ۲ پست برق شماره ۱ و ۴ این است که برای هر دوی این تأسیسات، مهاربند لرزه‌ای تعیبه نگردیده است.

نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای انبار نفت (نگاره ۱۰-الف)، نشان از خسارت بالای این تأسیسات برای سناریو زلزله معلوم می‌دهد؛ به نحویکه انبار نفت موجود ۱۰٪

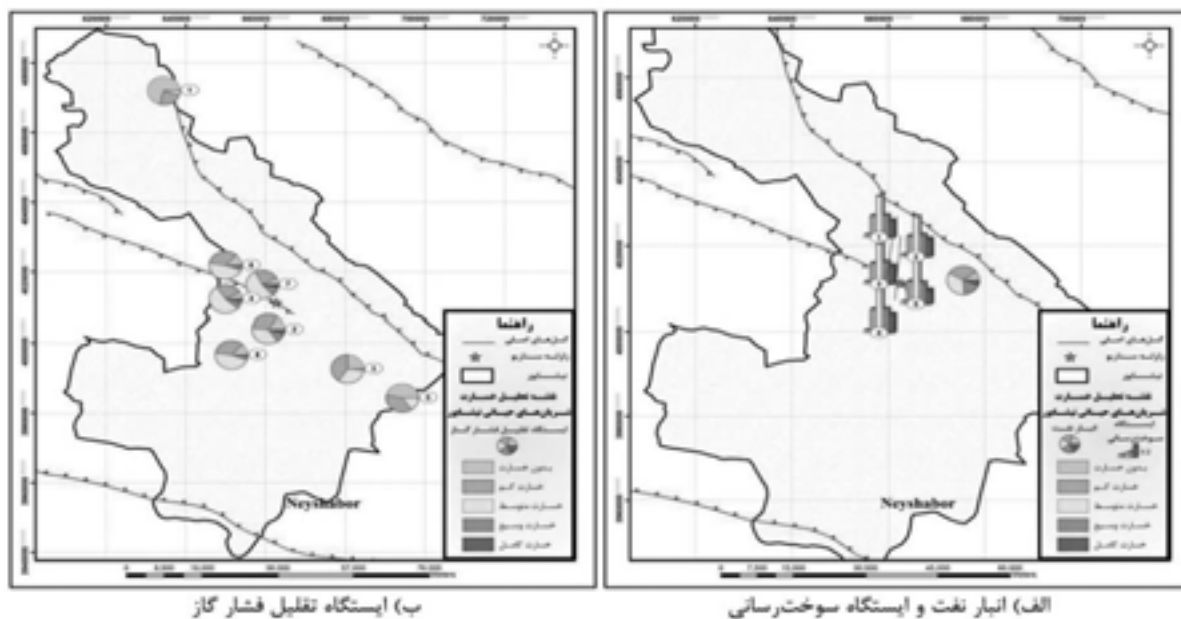
مخازن شماره ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۵، ۲۶ و ... که بسیار به محل سناریو زلزله نزدیک هستند دچار خسارت بیشتری شده و در سطوح خرابی آنها درصد خسارت وسیع و کامل مشاهده می‌شود. از طرفی تأسیساتی همانند ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۷ و ... که قدری فاصله بیشتری دارند، خسارتشان بطور کلی بیشتر در سطح خرابی کم و متوسط می‌باشند. از طرفی دیگر تأسیساتی همچون مخازن ۲۳، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ که فاصله بسیار زیادی تا سناریو زلزله معلوم دارند؛ از خسارت بسیار کمتری نسبت به سایر مخازن برخوردار می‌باشند.

نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای نیروگاه (نگاره ۹-الف)، نشان از خسارت بالای این تأسیسات برای سناریو زلزله معلوم می‌دهد؛ به نحوی که نیروگاه موجود ۸٪ بدون خسارت، ۲۸٪ خسارت کم، ۳۷٪ خسارت متوسط، ۱۵٪ خسارت وسیع و ۱۲٪ دچار خسارت کامل می‌گردد؛ که با توجه به نزدیکی تأسیسات تا زلزله مفروض طبیعی می‌باشد. البته انتظار خسارت بالاتری می‌رود ولی با توجه به اینکه نیروگاه مورد نظر مجهز به مهاربند لرزه‌ای می‌باشد، تا حدودی از شدت خسارت وارده کاسته شده است. میزان خسارت وارده بر مخازن نفتی سوخت نیروگاه، تا حدودی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
 مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۱۰۷



نگاره ۹: نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای شبکه برق به تفکیک نیروگاه و پست برق

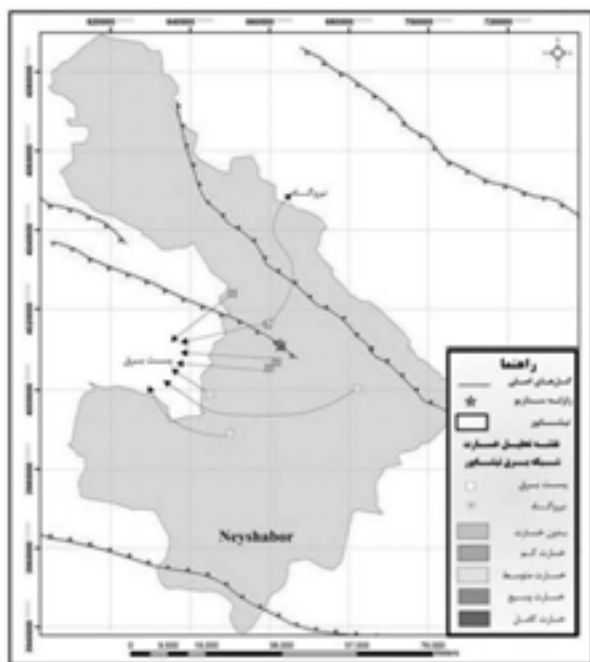


نگاره ۱۰: نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای شبکه سوخت به تفکیک انبار نفت، ایستگاه سوخت‌رسانی و ایستگاه تقلیل فشار گاز

بدون خسارت، ۳۱٪ خسارت کم، ۳۵٪ خسارت متوسط، ۱۸٪ خسارت وسیع و ۶٪ دچار خسارت کامل می‌گردد؛ که با توجه به نزدیکی تأسیسات تا زلزله مفروض طبیعی می‌باشد. میزان خسارت وارده بر ایستگاه‌های سوخت‌رسانی، تا حدودی برای سناریو زلزله معلوم از انبار نفت بیشتر می‌باشد؛ به نحوی که بطور کلی ایستگاه‌های سوخت‌رسانی شهر نیشابور بیش از ۷۷٪ دچار خسارت متوسط به بالا شده‌اند و این ۵ ایستگاه، حدوداً ۴۰٪ دچار خسارت متوسط، ۲۰٪ خسارت وسیع و ۱۵٪ خسارت کامل می‌گردند. لازم به ذکر است دلیل خسارت بالای ایستگاه‌ها، این می‌باشد که

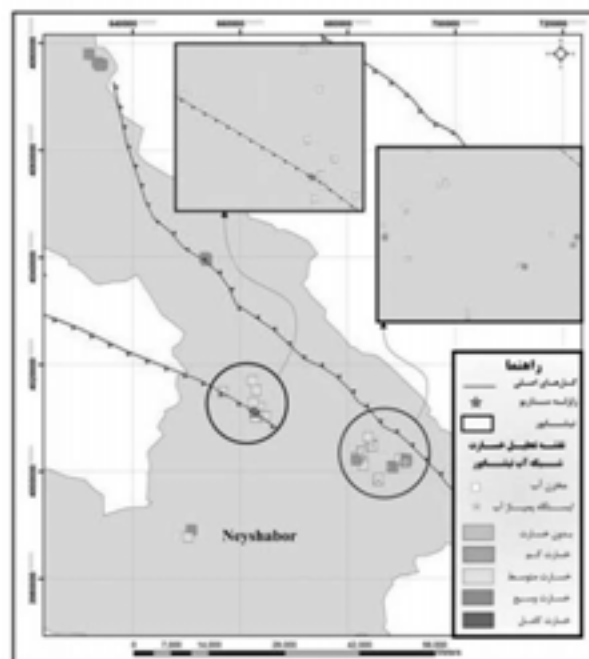
میزان خسارت هریک از المان‌های شبکه‌ها بطور کلی در کدام دسته "بدون خرابی"، "خرابی کم"، "خرابی متوسط"، "خرابی وسیع" و "خرابی کامل" قرار دارد. برای این منظور با توجه به تشریح خسارت‌های مختلف برای شبکه‌های آب، برق و سوخت (FEMA, 1999)، بطور کلی آثار و پیامد ناشی از خسارت کم، ۲ برابر بدون خسارت است و پیامد ناشی از خسارت متوسط، ۲ برابر خسارت کم می‌باشد. همچنین آثار و پیامد خسارت وسیع و کامل بترتیب ۱/۵ و ۲ برابر خسارت متوسط می‌باشند. از این رو پس از تلفیق این میزان خسارت در وزن پیامدهای هر یک از سطوح خرابی، می‌توان میزان خسارت هر یک از المان شبکه‌ها را بطور کلی تشخیص داد. از این رو در نگاره‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه‌های آب، برق و سوخت قابل مشاهده می‌باشد.

مهاربند لرزه‌ای برای آنها تعبیه نگردیده است. نقشه تحلیل خسارت لرزه‌ای ایستگاه تقلیل فشار گاز برای سناریو زلزله معلوم (نگاره ۱۰-ب)، نشان از خسارت بالای این تأسیسات در اطراف زلزله مفروض می‌دهد؛ به نحوی که ایستگاه‌های شماره ۲، ۴، ۶، ۷ و ۸ از خسارت بیشتری برخوردار هستند و بیش از ۵۵٪ دچار خسارت متوسط به بالا شده‌اند؛ در حالی که ایستگاه‌های شماره ۱، ۳ و ۵ کمتر از ۲۵٪ دچار خسارت متوسط به بالا شده‌اند. لازم به ذکر است بین ایستگاه‌های شماره ۲، ۴، ۶، ۷ و ۸ ایستگاه‌های ۴ و ۷ دچار خسارت بیشتری شده‌اند، به نحوی که به ترتیب ۵۳٪ و ۵۴٪ دچار خسارت متوسط شدند و علت خسارت بالاتر نسبت به سایر ایستگاه‌ها، این است که هر دوی این تأسیسات، بدون مهاربند لرزه‌ای طراحی شده‌اند.



نگاره ۱۲: نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه برق

با توجه به نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه آب (نگاره ۱۱)، عمده مخازن آب (۲۴ مخزن از ۳۵ مخزن) دچار خسارت متوسط و مابقی دچار خسارت کم می‌شود؛ همچنین از ایستگاه‌های پمپاژ آب، ۳ ایستگاه دچار خسارت کم و ۵ ایستگاه دیگر دچار خسارت متوسط می‌شود. با



نگاره ۱۱: نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه آب

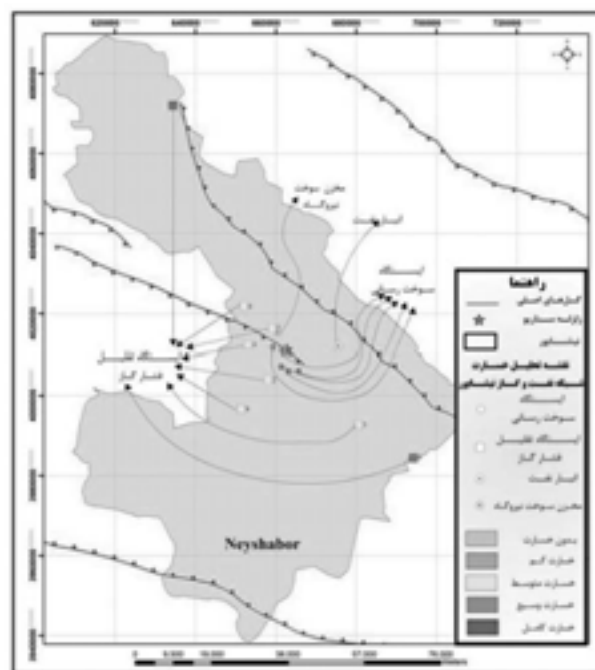
نقشه نگاره‌های ۸، ۹ و ۱۰ همگی خسارت شبکه‌های آب، برق و سوخت را به تفکیک ۵ سطح خرابی "بدون خرابی"، "خرابی کم"، "خرابی متوسط"، "خرابی وسیع" و "خرابی کامل" نشان می‌دهد و نمی‌توان تعیین نمود که

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی () مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۱۰۹

و تسهیل در خدمات رسانی اضطراری پس از رویداد سانحه خواهد بود. در سال‌های اخیر روش‌هایی بمنظور تحلیل زیرساخت‌هایی که تحت تأثیر حوادث طبیعی نظیر زلزله قرار گرفته‌اند، ارائه شده است؛ ولی عمده روش‌ها بر روی برآورد آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیرساخت‌ها تمرکز کردند و کمتر به مباحث تحلیل خسارت شریان‌ها پرداخته شده است. حتی در اندک پژوهش‌هایی که به تحلیل خسارت شریان‌ها اشاره شده است؛ اولاً بیشتر بر روی تک زیرساخت بحث شده که قابلیت تعمیم به سایر زیرساخت‌ها در آنها فراهم نبوده، ثانیاً به مسئله مهم عدم قطعیت در روش‌های موجود توجهی نشده است.

از این رو برای برنامه‌ریزی فازهای مختلف مدیریت بحران نیاز به در دست داشتن برآوردی از تحلیل خسارت لرزه‌ای شریان‌های حیاتی منطقه موردنظر می‌باشد. برای بدست آوردن این برآورد نیاز به تهیه یک مدل وجود دارد. مدل ارائه شده با احتساب سناریوی زلزله فوق برای شهر نیشابور در سامانه نرم‌افزاری موجود پیاده‌سازی گردید و با استفاده از تئوری مونت کارلو، تمامی گام‌ها تا رسیدن به خروجی بصورت تصادفی، ۱۰ هزار بار تکرار شد و پس از میانگین‌گیری، خروجی‌های تحلیل تهیه گردید. مدل در نظر گرفته شده دارای سه بخش ورودی، پردازش و خروجی خواهد بود. در این مدل تلاش شده که از مناسب‌ترین روابط موجود برای محاسبه تخمین خسارت لرزه‌ای برای شریان‌های حیاتی استفاده شود. از طرفی سامانه موجود نیازمند بستری برای ذخیره، نگهداری، مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی می‌باشد که بتواند جهت کار همزمان با داده‌هایی که وابستگی مکانی (جغرافیایی) و توصیفی دارند، طراحی شود. از این رو با توجه به اینکه وجود اطلاعات به‌روز به منظور مدیریت بهینه بحران، امری بدیهی است و خصوصیات مکانی بودن بستر، ابزاری مفید در جهت تصمیم‌گیری مدیران می‌باشد؛ به همین منظور نیاز به بهره‌گیری از علم اطلاعات مکانی ضروری می‌باشد. از طرفی دیگر با توجه به حجم بالای محاسبات ریاضی، آنالیزهای مکانی و دوره‌های

توجه به نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه برق (نگاره ۱۲)، ۴ پست برق دچار خسارت وسیع و مابقی دچار خسارت متوسط می‌شود؛ همچنین تنها نیروگاه شهرستان دچار خسارت متوسط می‌شود. با توجه به نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه سوخت (نگاره ۱۳)، ۶ ایستگاه تقلیل فشار گاز دچار خسارت متوسط و ۲ ایستگاه دیگر دچار خسارت کم می‌شوند؛ هر ۵ ایستگاه سوخت‌رسانی دچار خسارت وسیع می‌شود؛ همچنین مخزن سوخت نیروگاه و تنها انبار نفت شهرستان دچار خسارت متوسط می‌شود.



نگاره ۱۳: نقشه نهایی تحلیل خسارت شبکه سوخت

۵- نتیجه‌گیری

تجربه زلزله‌های گذشته نشان داده است که چنانچه پس از رویداد زمین لرزه در یک منطقه، آسیب دیدگی شریان‌های حیاتی منجر به توقف خدمات عمومی شود، صدمات و آسیب‌های وارده چندین برابر می‌شود. توجه کافی به حفظ شبکه‌های مختلف شریان‌ها (در بخش‌های مختلف تولید، انتقال و توزیع) در مواقع بحران، نه تنها خسارت شبکه را کاهش می‌دهد بلکه باعث کمک

- تهیه برآورد خسارات مستقیم برای هر زمین لرزه سناریو
- توسعه برنامه کاهش آسیب پذیری سیستم‌های زیرساختی
با مشخص نمودن ضعف‌های شریان‌های حیاتی.

منابع و مآخذ

۱. اسکندری، محمد، (۱۳۸۹)، «برآورد خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت - مطالعه موردی شهر کرمانشاه»، امیدوار، بابک، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
۲. افضل، شریفی کیا، شایان؛ عباسعلی، محمد و سیاوش (۱۳۹۲)، «ارزیابی آسیب پذیری زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان»، دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال اول، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۲.
۳. بازگرد، علی، (۱۳۸۵)، «توسعه مدلی کارا برای ارزیابی خسارت لرزه‌ای ساختمان‌های شهر تهران با استفاده از GIS»، امیدوار، بابک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۴. تفویضی، سدیدخوی، حسین خلوتی؛ میترا، احمد و امیر، (۱۳۹۳)، «ارزیابی ریسک پذیری لرزه‌ای تجهیزات اصلی پست‌های انتقال نیرو فشار قوی برق واقع در شهر تهران»، بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ۵. حسنی، صافی، حسنی، میثم، محمد و نعمت، (۱۳۹۲)، «ارزیابی و تحلیل لرزه‌ای پست‌های فوق توزیع شبکه برق»، کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران.
۶. حسنی، نعمت، (۱۳۸۵)، «گزارش مرحله اول پروژه مطالعات آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی لرزه‌ای شبکه برق تهران مرکز مطالعات بحران‌های طبیعی در صنعت»، دانشگاه صنعت آب و برق.
۷. سلیمانی ملک، محمود، (۱۳۹۱)، «آنالیز ریسک در تصفیه خانه آب به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) مطالعه‌ی موردی تصفیه‌خانه‌های ۳ و ۴ شهر تهران»، جلالی، غلامرضا و رشیدی مهرآبادی، عبدالله، پایان‌نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی

تکرار بالای عملیات، مدل موجود در بستر مناسب Visual Studio با زبان برنامه‌نویسی C# کدنویسی گردید. نتایجی که از تهیه این مدل می‌توان گرفت عبارتند از:

با توجه به تک کاربره بودن مدل ارائه شده و عدم نیاز به ارتباطات آنلاین جهت ارتباط با پایگاه داده، نیاز به استفاده از پایگاه داده سروری و تجاری نگردید و از پایگاه داده محلی شرکت ESRI استفاده گردید.

با توجه به اینکه مدل در بستر سیستم اطلاعات مکانی کدنویسی گردید؛ محدود به منطقه خاصی نمی‌گردد و در صورت در اختیار بودن داده‌های مورد نیاز برای سایر نقاط کشور نیز قابل انجام می‌باشد. با توجه به اینکه پارامترهای ورودی زمین‌لرزه‌ها قابل پیش‌بینی نمی‌باشند، عموماً تحلیل‌های زلزله از عدم قطعیت‌های بالایی برخوردارند. در این روش با توجه به اینکه از تعداد دفعات تکرار زیاد (مطابق با شبیه‌سازی مونت کارلو) استفاده می‌شود؛ تا حد قابل قبولی میزان عدم قطعیت‌ها برآورد می‌شود و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. در خروجی دسته اول، می‌توان در قالب نقشه‌هایی، به تفکیک میزان درصد خسارت وارده در هر یک از ۵ سطح خرابی («بدون خرابی»، «خرابی کم»، «خرابی متوسط»، «خرابی وسیع» و «خرابی کامل»)، برای هر یک از اجزا شبکه شریان‌ها را مشاهده نمود.

در خروجی دسته دوم، می‌توان در قالب جداول توصیفی میزان درصد هر یک از ۵ سطح خرابی را به تفکیک برای تمام اجزا، شبکه شریان‌ها مشاهده نمود و در گام‌های بعدی تحلیل خسارت وابسته بین شبکه‌ها از آن استفاده نمود.

در خروجی دسته سوم می‌توان احتمال نهایی هر یک از ۵ سطح خرابی کم، متوسط، وسیع و کامل و بدون خرابی را برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی شبکه‌ها محاسبه و نمایش داد.

از این رو با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که این سامانه دارای توانمندی‌های زیر می‌باشد:

- توسعه بانک اطلاعاتی طبقه‌بندی شریان‌های حیاتی
- ویرایش و توسعه توابع آسیب‌پذیری هر جزء از شریان‌های حیاتی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیرساخت‌های حیاتی ... / ۱۱۱

Emergency Management Agency, 8-0988.

19. Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A., Manouchehri Dana, F., (2007) Attenuation Relationships for Iran, Journal of Earthquake Engineering, 11:4, 469-492, DOI:10.1080/13632460601034049.

20. LESSLOSS, (2007), "Prediction of Ground Motion and Loss Scenarios for Selected Infrastructure Systems in European Urban Environments", Ed.: Faccioli E. Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides.

21. Lewis Ted G., (2006). Critical Infrastructure Protection in Homeland Security, Defending a Networked Nation. A John Wiley & Sons, INC., Publication.

22. O'Rourke, T.D. and Tawfik, M.S., (1983), "Effects of Lateral Spreading on Buried Pipelines During the 1971 San Fernando Earthquake", Proceedings of Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, Earthquake Behavior and Safety of Oil and Gas Storage Facilities, Buried Pipelines and Equipment, PVP-Vol. 77, The American Society of Mechanical Engineers.

23. Pinto P.E., Cavalieri F., Franchin P., Vanzi I., Pitilakis K. (2010), D3.3-Fragility functions for electric power system elements, Deliverable of SYNER-G EC project.

24. RISK-UE, (2003), "An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns, WP4: Vulnerability of current pipelines", European Project.

25. Scawthorn C, Cowell A, and Borden F. (1997), Fire-related Aspects of the Northridge Earthquake, Report by EQE International for the National Institute of Standards and Technology, San Francisco.

26. Strand, L. C., (1994), "Performance of Gas Shutoff Valves and the Occurrence of Gas-Related Fires and Gas Leaks During the Northridge Earthquake, with an Update on Legislation", Proc. of the NEHRP Conf. and Workshop on Research on the Northridge, California Earthquake of January 17.

27. Thoft-Christensen, P. and Muratsu, Y. (1986). Application of Structural Systems Reliability Theory. Berlin, NY: Springer-Verlag.

28. Zaré, M. and Bard, P-Y. (1999). Attenuation of Peak Ground Acceleration in Iran, 5th National Conference, France.

عمران دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

۸ فتاحی، رستمی مهربان، طالبیان، بحرودی، هالینگورث، والکر؛ مرتضی، سمیه، مرتضی، عباس، جیمز و ریچارد، (۱۳۸۸)، «بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان»، مجله علوم زمین، بهار ۹۰، سال بیستم، شماره ۷۹، صفحه ۵۵ - ۶۰.

۹. محمودزاده، پیراسته، بهنام‌فر، تاجیک، تاجمیر ریاحی؛ امیر، سعید، فرهاد، توحید و امیر، (۱۳۸۹)، «ارزیابی سریع آسیب پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنائی با معرفی روش جدید شاخص سازان»، انتشارات علم آفرین، اصفهان.

10. ALA, (2005), "Guidelines for assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events", American Lifelines Alliance.

11. Ang, A. H.-S.; Pires, J.A. and Villaverde, R. (1996). A model for the seismic reliability assessment of electric power transmission systems. Reliability Engineering and System Safety 51: 7-22.

12. Berberian, M. & Yeats, R., (1999), Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau, Bulletin of the Seismological Society of America, 89, 120-139.

13. EQE International, (1995), "EQE summary report for The 1995 Kobe earthquake", January 1995.

14. Federal Emergency Management Agency (FEMA), (1999), "Chapter 1, HAZUS99-SR2 Technical Manual, FEMA, Washington D.C.".

15. Federal Emergency Management Agency (FEMA), (1999), "Chapter 8, HAZUS99-SR2 Technical Manual, FEMA, Washington D.C.".

16. FEMA - 224 (ATC 25), (1991), "Seismic Vulnerability And Impact Of Disruption Of Lifelines In The Conterminous United States.", Federal Emergency Management Agency, 8-0978.

17. FEMA - 225, (1992), "Inventory Of Lifelines In The Cajon Pass, California", Federal Emergency Management Agency, 8-0986.

18. FEMA - 226, (1992), "Collocation Impacts On The Vulnerability Of Lifelines During Earthquakes With Applications To The Cajon Pass, California.", Federal