

کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیائی در تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون انتقال سوخت

بابک امیدوار^۱، محمد اسکندری^۲ و صادق توکلی^۳

۱: عضو هیئت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

Email: bomidvar@ut.ac.ir

۲: کارشناس ارشد رشته مدیریت سوانح طبیعی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

Email: eskandari_civil_87@yahoo.com

۳: دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت سوانح طبیعی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

Email: sadegh121va@yahoo.com

چکیده

پدیده زلزله، جزء سوانح طبیعی است که همه ساله خسارات جانی، مالی و زیست محیطی فراوانی بر جای می‌گذارد. ایران به علت موقعیت لرزه‌خیزی و قرار گیری آن بروی کمربند زلزله در برابر زمین‌لرزه بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد. خطوط لوله انتقال سوخت به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی است که از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. اهمیت این خطوط در زمان بروز سوانح از جنبه‌های مختلف افزایش می‌یابد. یکی از این زمینه‌ها، تعیین میزان احتمال اشتعال در این خطوط است که می‌تواند خود سبب گسترش خسارات ثانویه ناشی از زلزله و حتی بروز یک سانحه جدید گردد. یکی از راه‌های مدل کردن این خطوط و تمام شریان‌های حیاتی دیگر، نرم‌افزار GIS می‌باشد که این نرم‌افزار با دارا بودن محیطی گرافیکی به عنوان پایگاه داده‌ای بزرگ و جامع برای تحلیل و تصمیم‌گیری در مورد شریان‌های حیاتی و خط لوله مدفون سوخت فراهم می‌آورد. ایجاد مدلی از خطوط لوله‌های انتقال سوخت در محیط GIS و توسعه برنامه‌ای جهت برآورد آسیب‌پذیری آنها به سبب بروز زلزله و همچنین تخمین خسارت ناشی از آتش‌سوزی پس از زلزله در کاربری‌های موجود در اطراف این خطوط، یک امکان ویژه جهت تحلیل وضع موجود و بررسی سناریوهای مختلف مدیریت مقاوم‌سازی این نواحی را فراهم می‌آورد. به همین منظور نرم‌افزاری با این هدف برای خطوط لوله انتقال سوخت شهر کرمانشاه ارائه شده است.

در این مقاله سعی شده است ابتدا مرور ادبیاتی اجمالی از آتش‌سوزی‌های پس از زلزله‌های مختلف و تاریخچه‌ای از تحلیل خسارت لوله‌های مدفون ارائه می‌گردد؛ پس از آن به معرفی شهر مورد مطالعه و خطوط لوله موجود در آن پرداخته می‌شود؛ سپس مدول‌های لازم جهت تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت مورد بررسی واقع شده است و در خاتمه در غالب چندین گام بطور کامل به توضیح نرم‌افزار ارائه شده در محیط GIS پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی

آسیب‌پذیری، تحلیل خسارت لرزه‌ای، سامانه خطوط لوله سوخت، GIS، آتش‌سوزی پس از زلزله

اهمیت و تاریخچه زمین‌لرزه پدیده‌ای طبیعی است که در اثر آزاد شدن انرژی ذخیره شده در پوسته زمین روی می‌دهد. رویداد زمین‌لرزه در مناطق شهری و روستائی باعث وقوع خسارات جانی، تخریب سازه‌ها، و از بین رفتن شریان‌های حیاتی می‌گردد. بی تردید نمی‌توان ادعا نمود که نقطه‌ای در کره زمین وجود دارد که احتمال رویداد زمین‌لرزه در آن وجود نداشته باشد. ایران، کشوری است که قسمتی از مسیر عبور کمربند زلزله جهانی را در خود جای داده و مراکز تخلیه انرژی درونی زمین که از مسیر گسل‌ها می‌گذرد، در این کشور شناخته شده است. از سوی دیگر افزایش روز افزون جمعیت شهرها و بنابراین تمرکز بیش از حد جمعیت در نواحی شهری به همراه ایجاد تکنولوژی‌های نوین برای ارتقاء سطح زندگی مردم، موجب شده تا بروز زمین‌لرزه در این کشور، سطح خسارات بیشتری را نسبت به گذشته باعث شود. بنابراین برای کاهش تخریب‌پذیری بنیان‌های یک شهر، نظیر ابنیه، شریان‌های حیاتی و نهادهای اقتصادی و جمعیتی، بحث کاهش خطرات زمین‌لرزه و بدنبال آن بسط روش‌هایی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری و میزان خسارت لرزه‌ای این بنیان‌ها، به منظور تهیه برنامه‌های مقاوم‌سازی و همچنین تهیه برنامه‌های مدیریت شرایط اضطراری، شکل جدی‌تری به خود گرفته است.

در سال‌های اخیر و بدنبال فعالیت نهادها و سازمان‌های فعال در زمینه کاهش ریسک زمین‌لرزه، پژوهش‌هایی در جهت بررسی خسارت لرزه‌ای و کاهش اثرات زلزله بر جامعه، با هدف دستیابی به یک جامعه مقاوم انجام گرفته که در این میان شناسائی نقاط آسیب‌پذیر و حفظ عملکرد شریان‌های حیاتی که از جمله تجهیزات اساسی جهت سرویس‌دهی به جوامع بوده و از عوامل اصلی رسیدن به یک جامعه پایدار و برگشت‌پذیر^۱، محسوب می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

وجود منابع نفتی در کشور ما و قرارگیری این منابع در نقاطی از کشور و همچنین مصرف این منابع در اکثر مناطق کشور سبب شده است که از دیرباز یکی از راه‌های امن و به صرفه انتقال این مواد با ارزش و استراتژیک در کشور از طریق خطوط لوله مدفون صورت گیرد. با گذر زمان و توسعه شهرها در اطراف و همین‌طور بر روی این خطوط اهمیت استراتژیک این خطوط و همچنین میزان تهدیدی که آنها برای امنیت و سلامت جوامع ایجاد می‌کنند، افزوده گشته است.

خطوط لوله‌های منابع سوختی بر اساس اصول شهرسازی باید در جایگاه‌هایی مدفون شوند که منجر به بروز حادثه و فاجعه نگردند [۱]. شهر کرمانشاه که به عنوان مطالعه موردی در این تحقیق انتخاب شده است، از لحاظ خطوط لوله سوخت‌رسانی مدفون، دارای سه مسیر لوله می‌باشد که فرآورده‌های نفتی و یا نفت خام را از خارج شهر (مرکز انتقال نفت به نام‌های نفت شهر و پایطاق، تنگه‌فنی و برداسپی) به داخل پالایشگاه اصلی شهر منتقل می‌نماید و از آنجا فرآورده‌های نفتی را به تاسیسات انتهائی شهر سندانج منتقل می‌کند. با توجه به اینکه طول عمر مفید این خطوط لوله‌های مدفون سپری شده است و این خطوط لوله‌ها در داخل شهر واقع شده‌اند و برخی از آنها بر روی گسل‌هایی قرار گرفته‌اند، نتایج حاصل از وقوع زلزله می‌تواند بسیار خطرناک باشد، بنابراین ارزیابی عملکرد خطوط لوله مدفون پخش فرآورده نفتی در کرمانشاه و شناسائی نقاط آسیب‌پذیر آن بسیار حیاتی می‌باشد [۲].

۲-۱ مدل‌سازی آتش‌سوزی پس از زلزله و عوامل دخیل در آن

همانطور که گفته شد آتش‌سوزی پس از زلزله، از آن جهت یک پدیده پیچیده است که در آن بسیاری از اتفاقات به صورت چرخه‌ای رخ می‌دهد و عوامل دخیل نیز اثرات تشدیدکننده بروی هم دارند. آتش‌سوزی پس از زلزله همانطور که از نامش پیداست محرکی به نام زلزله دارد [۳]. خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به دلایل وقوع و گسترش حوادث حریق پس از زلزله‌های مختلف در جدول شماره (۱) ارائه شده است [۱، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴].

۲-۲ تاریخچه تحلیل خسارت لوله‌های مدفون

از میان کشورهایی که در معرض خطرهای طبیعی از جمله سیل و زلزله قرار دارند، اکثر روش‌های برآورد خسارت در آمریکا ابداع گردیده‌اند. بطور کلی این روش‌ها به دو دسته تجاری و غیر تجاری تقسیم می‌شوند.

^۱ - جامعه برگشت‌پذیر در سوانح جامعه‌ای است که با انجام اقداماتی بتواند در برابر یک حادثه غیرمعمول با سطح قابل قبولی از تلفات و خسارت ایستادگی کند و در زمان کوتاهی به عملکرد قابل قبول بازگردد.

جدول (۱) دلایل وقوع و گسترش حوادث حریق پس از زلزله های مختلف [۱، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴]

حادثه زلزله	تعداد و دلایل عمده وقایع اولیه حریق	دلایل و ابعاد گسترش حریق
سانفرانسیسکو ۱۹۰۶	حدود ۵۰ فقره؛ اجاق های پخت و پز، آتش های برافروخته شده توسط مردم، دلایل نامعلوم دیگر	گسترش مستقیم خانه به خانه، وزش باد، ۲۸۰۰۰ ساختمان در محدوده ۱۰km ^۲ نابود شدند.
توکیو ۱۹۲۳	حدود ۱۳۴ فقره؛ عمدتاً چراغ های خوراک پزی	حریق به علت تراکم زیاد ساختمان ها و وزش باد، مستقیماً و خانه به خانه گسترش یافت، ۴۵۰/۰۰۰ خانه در یک منطقه ۳۸ کیلو متر مربعی نابود شد.
ناپیر ۱۹۳۱	۳ فقره؛ هر سه در مغازه های فروش مواد شیمیایی	وزش باد و سرایت خانه به خانه، کمبود آب برای اطفای حریق، حریق اصلی حدود ۴ هکتار از ساختمان های شهر را نابود کرد.
لانگ بیچ ۱۹۳۳	۱۵ فقره	محدود به ساختمان های منشأ حریق
نیگاتا ۱۹۶۴	۹ فقره	یکی از حریق ها در منطقه مسکونی متراکم با سرایت خانه به خانه تبدیل به حرقی بزرگ شد. یک لکه بزرگ نفتی روی آب توسط امواج سونامی به خشکی سرایت و آتش را گسترش داد.
سان فرناندو ۱۹۷۱	۱۱۶ فقره؛ ۳ فقره بر اثر شکست خطوط گاز در خیابان رخ دادند.	-
ماناگوا ۱۹۷۲	۴ یا ۵ فقره؛ احتمالاً اتصالات الکتریکی یا عمدی	مرکز شهر به مدت ۱۰ روز در آتش سوخت، ساختمان های بلند بتنی بر اثر حریق از بین رفتند، حریق در این ساختمان ها طبقه به طبقه سرایت یافت.
مورگان هیل ۱۹۸۴	۳ یا ۴ فقره	محدود به ساختمان های منشأ حریق
مکزیکوسیتی ۱۹۸۵	۲۰۰ حریق در عرض ۲۴ ساعت	محدود به ساختمان های منشأ حریق
ویتیر ۱۹۸۷	۵۸ فقره	محدود به ساختمان های منشأ حریق
لوماپریتا ۱۹۸۹	۲۷ فقره در عرض ۲ ساعت	محدود به ساختمان های منشأ حریق و اطراف
هوکایدو ۱۹۹۳	چند حادثه محدود؛ وقایع حریق اولیه به سرعت تبدیل به حریق بزرگ شدند.	گسترش بزرگ حریق در مناطق مسکونی و صنعتی عمدتاً به علت تابش حرارتی، آتش گرفتن تعداد زیادی تانک های ذخیره سوخت و کمبود آب، سرعت گسترش حریق محدود و حدوداً برابر با ۳۵(m/hr) بوده است.
نورث ریج ۱۹۹۴	۵۰ حریق در عرض ۲ ساعت و ۱۱۰ حریق دیگر در ۶ ساعت بعدی رخ دادند.	به علت فاصله زیاد بین ساختمان ها و طراحی مهندسی آنها، حریق اکثراً به ساختمان های منشأ آتش سوزی محدود شده است. عملکرد آتش نشانی نیز بسیار خوب گزارش شده، گسترش حریق عمدتاً در یک پارک خانه ای سیار و بر اثر تابش حرارت بوده است. ۱۱۰ حریق در عرض ۶ ساعت تحت کنترل در آمدند.
کوبه ۱۹۹۵	۸۹ حریق در یک ساعت اول پس از زلزله که ۵۰٪ آنها به حریق های بزرگ تبدیل شدند در روز اول ۱۵۷ حریق و در چهار روز بعدی تا مجموع ۲۴۰ حریق گزارش گردیده است.	گسترش شدید مستقیم و خانه به خانه و خصوصاً از طریق بازشوها، مصالح چوبی و پلاستیکی نقش زیادی در این خصوص داشته اند. در خیابان های باریک آتش گرفتن اتومبیل ها به گسترش حریق کمک نمود کمبود شدید آب، ۶۹/۰۰۰ ساختمان در منطقه ای به وسعت بیش از ۶۵ هکتار آتش گرفت.

نرم افزار و مدل های برآورد خسارت تجاری در دسترس عموم قرار ندارد و توسط شرکت های نظیر ^۱ RMS، CATEX، REDARS^۱ و Munichre، Risklink (RSM)، Imagecat، EQEHAZARD (EQECAT)، CATMAP (AIR)

^۱ - Risk Management Solutions

EPEDAT^۲ ابداع و استفاده می‌شوند. اما روش‌های غیر تجاری برآورد خسارت قابل دسترسی هستند و اکثر روش‌ها توسط ارگان‌های ملی همانند USACE^۳، HEC^۴، ALA^۵ [۱۵]، FEMA^۶ و NIBS^۷ ارائه شده‌اند. همچنین در سال ۱۹۹۷ به سفارش سازمان ملل متحد، روش RADIUS^۸ توسط GHI^۹ ابداع گردید. به طور کلی، آمریکا و ژاپن به عنوان کشورهای پیشرفته‌ای که در معرض خطرهای طبیعی زیادی از جمله زمین‌لرزه قرار دارند، مراکز اصلی ابداع و توسعه روش‌های پیشگیری از خطر و برآورد خسارت به شمار می‌روند که از این میان سهم ایالات متحده بیشتر می‌باشد.

۳. معرفی منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه در برگیرنده بخشی از زون‌های زمین ساختی زاگرس، سنندج - سیرجان می باشد که تمامی این زون‌ها مجاور با کوه‌های زاگرس می باشد. بخش عمده استان، شامل ارتفاعات و چین خوردگی‌های زون زاگرس می باشد که از نظر تکتونیکی و ساختاری از این زون تبعیت می‌نماید که بنا بر فعالیت گسل اصلی زاگرس شاهد بروز زمین لرزه‌هایی در محدوده اطراف آن بوده ایم، آنچه مشخص است کانون اصلی زلزله‌های زاگرس منطبق با گسل اصلی زاگرس بوده که با افزایش شعاع از کانون زلزله اثرات آن نیز کاهش می یابد.

شهر کرمانشاه که در موقعیت جغرافیائی ۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی قرار دارد، به علت وجود برخی از گسل های فعال در کرمانشاه و با توجه به تاریخچه لرزه‌های این شهر، احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ای با بزرگی بیش از ۷ ریشتر در این شهر می‌تواند قابل انتظار باشد. سابقه تاریخی وقوع زلزله در زاگرس گویای آن است که منطقه کرمانشاه از زمان‌های قدیم در معرض زمین‌لرزه‌های شدید قرار داشته و در طول تاریخ بارها شاهد خرابی‌های فراوانی بوده است، رخداد زلزله‌های سال ۱۲۸۳ هجری شمسی شهر دورود با بزرگی ۷/۴ ریشتر، ۱۳۳۶ فارسینج (نزدیک سنقر) با ۷ ریشتر و سال ۱۳۳۷ نیاوند با ۶/۶ ریشتر در سده بیستم نشانه‌ای از ناآرام بودن منطقه از دیدگاه لرزه زمین است.

در این میان نامقاوم بودن بسیاری از ساختمان‌های کرمانشاه در برابر زلزله و عدم اتخاذ تدابیری در خصوص مقاوم سازی شریان‌های حیاتی، باعث شده که احتمال رویداد حریق پس از زمین‌لرزه در این شهر بالا باشد. همچنین می توان به احتمال برش و شکست خطوط لوله‌های بزرگ اشاره نمود. لوله‌کشی گاز و نفت کرمانشاه از دیگر موارد احتمال خطر پس از رویداد زلزله می‌باشد. به نظر می‌رسد انشعابات گاز در مجاور ساختمان‌های نامقاوم و آسیب‌های ناشی از ساختمان و همچنین گذر لوله‌های نفت و گاز از رو و یا نزدیکی گسل‌های گوناگون دارای خطرهای فراوانی می‌باشد. به علاوه مسائلی از قبیل وقوع اتصال سیم‌های برق در ساختمان‌ها، انفجارهای احتمالی در مخازن ذخیره سوخت، پمپ‌های بنزین، انبارها، کارخانجات، منازل مسکونی و استارت ماشین‌های اطراف خط لوله نیز می‌تواند خطر آتش سوزی پس از زلزله را در مناطق شهری تشدید نماید. گسل فعال نزدیک به منطقه مورد بحث، قطعه میانی گسل صحنه است که عامل رخداد زلزله‌های خطرناک می‌باشد، با نگاهی به تاریخ وقوع زلزله‌های خطرناک در منطقه می‌توان به اهمیت موضوع پی برد [۴]. در شکل (۱) نقشه مسیر عبور خطوط لوله در داخل شهر کرمانشاه قابل مشاهده می‌باشد [۵].

^۱ - Risk from Earthquake Damage to Roadway Systems

^۲ - early Post Earthquake Damage Assessment Too

^۳ - US Army Corps of Engineers

^۴ - Hydrologic Engineering Centre

^۵ - American Lifelines Alliance

^۶ - Federal Emergency Management Agency

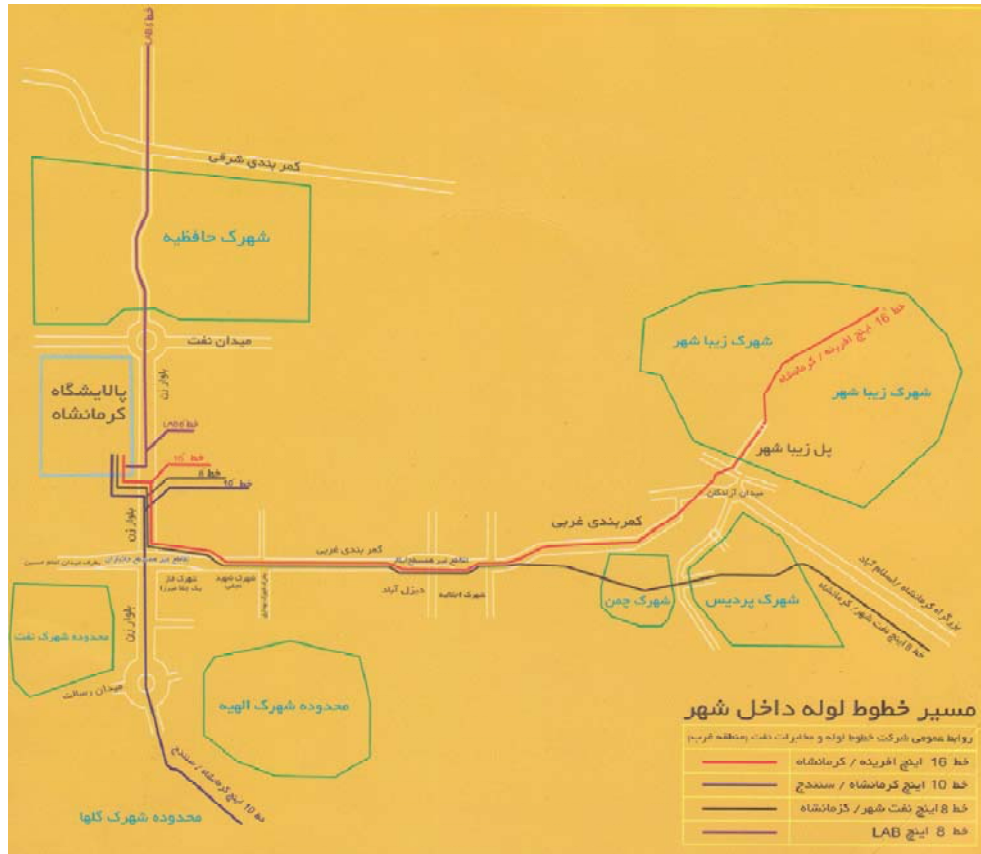
^۷ - National Emergency of Building Sciences

^۸ - Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters

^۹ - Geo Hazard International

۴. ایجاد نرم افزار

در این بخش ابتدا به معرفی روابط منتخب موجود برای تحلیل خطر و تحلیل خسارت خطوط لوله نفت به کار رفته در نرم افزار پرداخته می‌شود. از میان روش‌های موجود تحلیل خسارت، از روش‌شناسی HAZUS، که یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها می‌باشد، استفاده شده است. پس از آن به معرفی مدل اشتعال و مدل سازی آتش و پیامد ناشی از این اشتعال پرداخته می‌شود.



شکل (۱) مسیر عبور خطوط لوله در داخل شهر کرمانشاه [۵]

برای بدست آوردن این برآورد نیاز به تهیه یک مدل می‌باشد. مدل در نظر گرفته شده دارای سه بخش ورودی‌ها، پردازش و خروجی خواهد بود که در قالب مراحل پیاده سازی مدل تحلیل خسارت خطوط لوله نفت شهر کرمانشاه در برنامه‌ای در محیط GIS، شرح داده می‌شود. زیرا که با توجه به حجم داده‌های ورودی و اطلاعات خروجی و تحلیل‌های پیچیده به کاررفته در محاسبات، به سیستم اطلاعاتی نیاز می‌باشد که با توجه به مکانی بودن کلیه داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS برای این منظور انتخاب شده است.

۴-۱ بررسی و روش شناسی آیین نامه مورد مطالعه تحلیل خسارت در لوله های مدفون

بنا به تعریف روش‌شناسی HAZUS، یک سامانه انتقال نفت از خطوط لوله، پالایشگاه‌ها، چاه‌های استخراج نفت، ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن ذخیره تشکیل شده است. فهرست داده‌های مورد نیاز برای آنالیز شبکه نفت، شامل موقعیت مکانی و طبقه-بندی اجزاء سامانه می‌باشد. همچنین باید هزینه جایگزینی تجهیزات و هزینه تعمیر لوله‌ها در این آنالیز در نظر گرفته شود [۱۶-۱۸].

اجزائی همانند پالایشگاه‌ها، چاه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن ذخیره بطور عمده نسبت به حداکثر شتاب زمین (PGA) و در صورت وجود خطر روانگرایی، در برابر تغییر مکان‌های دائمی زمین (PGD) آسیب پذیر می‌باشند [۲]. از این رو سطوح خرابی آنها به صورت ترکیبی از PGA و PGD و براساس میزان خسارت وارد شده به همه یا تعدادی از تجهیزات شبکه و نیز با توجه به مدت زمان لازم برای بازگشت آن اجزاء به شبکه، به پنج سطح خرابی ds_1 (بدون خرابی)، ds_2 (خرابی محدود)، ds_3 (خرابی متوسط)، ds_4 (خرابی گسترده) و ds_5 (تخریب کامل) تقسیم می‌شود [۱]. همچنین خطوط لوله در زمین‌لرزه، نسبت به حداکثر سرعت زمین (PGV) و تغییر مکان‌های دائمی زمین (PGD) آسیب پذیر می‌باشند، که سطوح خرابی آنها براساس ترکیبی از PGV و PGD بیان می‌گردد [۶].

مطابق با روش‌شناسی بکار برده شده، برای خطوط لوله دو سطح خطر شکست لوله و نشت لوله در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که در اثر امواج زمین‌لرزه (PGV) در خطوط لوله ۸۰٪ نشت و ۲۰٪ شکست اتفاق می‌افتد و در اثر گسیختگی زمین و تغییر مکان‌های دائمی آن (PGD) در خطوط لوله ۸۰٪ شکست و ۲۰٪ نشت اتفاق می‌افتد. توابع خسارت خطوط توزیع برق در اطراف خیابان‌های حاوی خطوط لوله، با استفاده از توزیع لوگ نرمال و مقادیر میانه و انحراف معیار بر اساس هر سطح خرابی تعریف شده‌اند [۱۹]. برای خطوط لوله مدفون، با توجه به نوع خطر مربوطه (PGV یا PGD) دو الگوریتم خسارت بکار می‌رود. اما قطر لوله به عنوان یک پارامتر در نظر گرفته نمی‌شود. الگوریتم PGV براساس داده‌های تجربی کارهای اورورک و آیالا در سال ۱۹۹۳ و براساس چهار زمین لرزه مشاهده شده در آمریکا و دو زمین‌لرزه مکزیک شکل گرفت [۲۰] و الگوریتم خسارت ناشی از شکست زمین نیز براساس دستاوردهای هانجر و اگوچی برای سن دیگو بدست آمده است.

۲-۴ تحلیل خطر منطقه

ارزیابی و تحلیل لرزش زمین یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در ژئوتکنیک لرزه‌ای و تحلیل خطر زمین‌لرزه لازم می‌باشد. به همین منظور برای لحاظ نمودن اثرات زمین‌لرزه (PGA و PGV) بر خطوط لوله مدفون نفت کرمانشاه، از روابط کاهندگی مناسب استفاده می‌گردد. انتخاب روابط کاهندگی مناسب از اهمیت بسزائی در چگونگی و قابلیت اعتماد نتایج نهائی تحلیل خطر برخوردار است. بدین منظور در فاز تحلیل خطر این مقاله از روابط کاهندگی مربوط به ایران و منطقه زاگرس که توسط دکتر زارع در سال ۱۳۸۶ تهیه شده است، استفاده می‌گردد. بر اساس مطالعات صورت گرفته روی داده‌های شتابنگاری ایران که از سراسر کشور به دست آمده مدل کاهندگی ارائه شده در این مطالعات به کار رفت [۷]. در این پروژه ۲ سناریوی محتمل برای تعیین محل زلزله‌های محتمل، انتخاب گردید [۲۲]، که یک سناریو در محل گسل - های نزدیک خطوط لوله لحاظ شده است. سناریوی دیگر نیز در محل زلزله‌های تاریخی نزدیک به منطقه که شدت بالائی در زمان وقوع داشتند، انتخاب گردیدند، زیرا زلزله‌ای که سابقه وقوع در محلی را داراست، احتمال تکرار مجدد آن نیز می‌رود. مشخصات این ۲ سناریو در جدول (۲) به شرح زیر می‌باشد [۸].

جدول (۲) سناریوهای منتخب [۸]

شماره سناریو	عمق کانونی (Km)	طول جغرافیائی زلزله احتمالی (UTM)	عرض جغرافیائی زلزله احتمالی (UTM)	بزرگای زلزله سناریو (ریشتر)	محل احتمالی وقوع زمین‌لرزه
۱	۵	۶۸۸۰۲۳/۸۶	۳۷۹۲۹۷۳/۱۱	۷/۵	روی گسل کرمانشاه
۲	۲۰	۷۲۷۶۱۱/۳	۳۸۲۴۸۲۷	۷/۲	کرمانشاه، غرب صحنه

۳-۴ تحلیل خسارت خطوط لوله مدفون نفت

با داشتن نتایج تحلیل خطر، مشخصات شبکه و نیز انتخاب روش تخمین خسارت مناسب برای خطوط لوله مورد نظر، می‌توان میزان نرخ خرابی را در اثر زلزله‌های احتمالی و برای سناریوهای منتخب تعیین نمود. به منظور برآورد خطر و تحلیل خسارت

شبکه و به تبع آن آتش‌سوزی‌های ایجاد شده در اثر خرابی خطوط لوله با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیائی GIS، ارائه یکسری لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق این اطلاعات ضروری می‌باشد، که استخراج این اطلاعات در زمینه‌های زیر صورت می‌گیرد:

- ❖ مشخصات توصیفی و مکانی خطوط لوله نظیر جنس، قطر، میزان فشار، دبی و موقعیت جغرافیائی لوله‌ها که با انجام بررسی‌های میدانی حاصل می‌شود؛
- ❖ پارامترهای لرزه‌ای منطقه (PGA, PGV) که با تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه برای هر جزء از خطوط لوله تعیین می‌گردد، تا بتوان از نتایج خروجی این پارامترهای لرزه‌ای، برای ورودی گام‌های بعدی مدل استفاده نمود؛
- ❖ نقشه‌های کاربری اراضی و تراکم جمعیت منطقه در اطراف خطوط لوله؛
- ❖ نقشه‌های خیابان‌ها و فضای سبز منطقه در اطراف خطوط لوله؛
- ❖ نقشه‌های گسل‌های موجود در اطراف منطقه؛
- ❖ نقشه تیرهای روشنائی و خطوط توزیع برق؛

این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار "ARC GIS" در لایه‌های اطلاعاتی مجزا به سامانه اطلاعات جغرافیائی وارد شده و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری و برنامه‌نویسی این سامانه مورد آنالیز قرار گرفته و با یکدیگر ترکیب می‌شوند و از آن طریق می‌توان مساحت‌های سوخته شده در اطراف خطوط لوله، تعداد خانه‌ها و نفراتی که تحت تاثیر آتش‌سوزی‌ها و انفجارهای اطراف خطوط لوله قرار گرفته‌اند را برای هر سناریو و زلزله محتمل تعیین نمود. پس از مشاهده این نتایج می‌توان میزان خسارات محتمل را بدست آورده و تمهیدات مناسب را برای ایمن‌سازی شبکه در جهت تقلیل این خسارات تعیین نمود.

۴-۴ مدل‌سازی اشتعال‌های پس از زلزله ناشی از تخریب خطوط لوله نفت و برق شهری

تخریب خطوط لوله به بیشینه سرعت و تغییر مکان ماندگار زمین در اثر گسلش یا روانگرایی و زمین لغزش وابسته می‌باشد. وجود دیگر مواد سوختنی در خیابان‌ها احتمال وقوع اشتعال در خیابان‌ها را افزایش می‌دهد. شبکه برق هوایی نیز در صورت تخریب آن به دلیل بیشینه شتاب زلزله و یا تغییر مکان ماندگار زمین، از جمله عوامل ایجاد جرقه می‌باشد. وجود اتومبیل در خیابان‌ها و جرقه ناشی از استارت آنها و همچنین دیگر مواد اشتعال‌زا در خیابان می‌تواند احتمال مشتعل شدن نفت و فرآورده‌های نفتی یا دیگر مواد سوختنی آزاد شده در فضاهای خارج ساختمان را افزایش دهد.

مدلی که در این مقاله ارائه شده، مبتنی بر زلزله سناریو می‌باشد و وقوع تعداد اشتعال را در اثر زلزله سناریو برای واحد تحلیل محاسبه می‌کند. در مدل ارائه شده فرض شده که هر خط لوله به چندین بخش با طول‌های تقریباً مساوی (واحدهای تحلیل) تقسیم می‌شوند. ولی احتمال اشتعال در هر قطعه از خط لوله مستقل از احتمال اشتعال در قطعات^۱ دیگر خط لوله نمی‌باشد. این مورد به عنوان یک مزیت بارز برای این پروژه می‌باشد. شکل (۲) درخت واقعه^۲ مربوط به وقوع اشتعال در هر قطعه از خط لوله‌ای که دچار نشت یا شکست شده را نشان می‌دهد [۸]. در این شکل عوامل موثر در وقوع اشتعال‌ها و نحوه ترکیب احتمال هر عامل با عوامل دیگر در نظر گرفته شده است. اپراتورهای « و »^۳ و « یا »^۴ به ترتیب ضرب و جمع احتمال‌ها را نشان می‌دهند.

در این مدل برای وجود مواد سوختنی در هر بخش از خط لوله، احتمال تشکیل مخلوط اشتعال‌پذیر، فرآورده‌های نفتی و اکسیژن و همچنین احتمال وجود دیگر مواد سوختنی در نظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، احتمال تشکیل مخلوط نفت اشتعال‌پذیر در هر قطعه از خط لوله به تخریب لرزه‌ای خط لوله نفت در همان محدوده وابسته است. در این مدل برای تخریب شبکه انتقال نفت تنها المان‌های خط لوله در نظر گرفته شده‌اند و از در نظر گرفتن انواع مختلف شیرها و زانوئی-های موجود در شبکه برای ساده سازی و کمبود اطلاعات قابل دسترس صرف نظر شده است. پارامتر لرزه‌ای موثر بر تخریب المان‌های خط لوله، بیشینه سرعت زمین در اثر زلزله (PGV)، و حداکثر شتاب زمین (PGA) برای تخریب شبکه توزیع برق

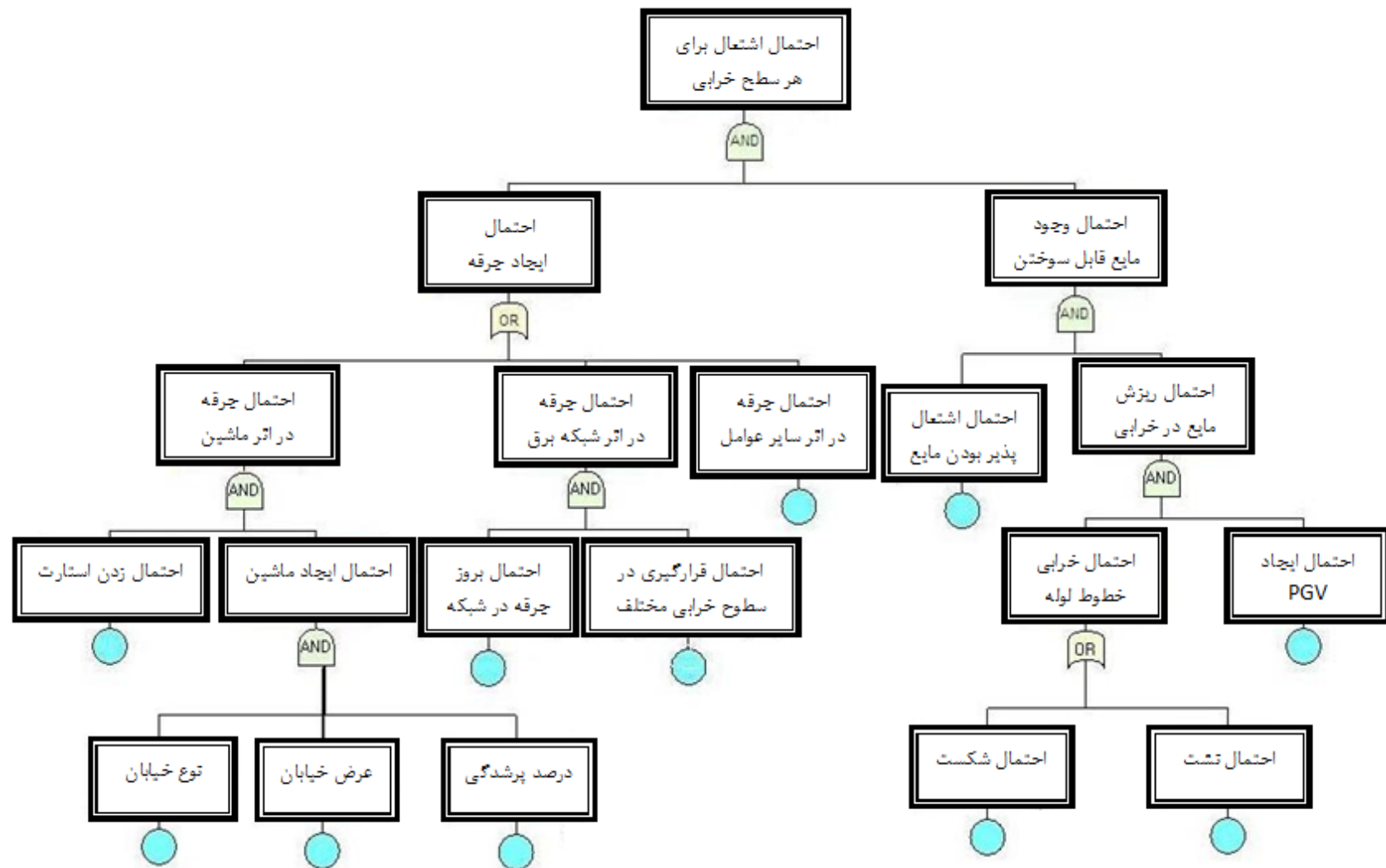
^۱ - Segment

^۲ - Logical Tree

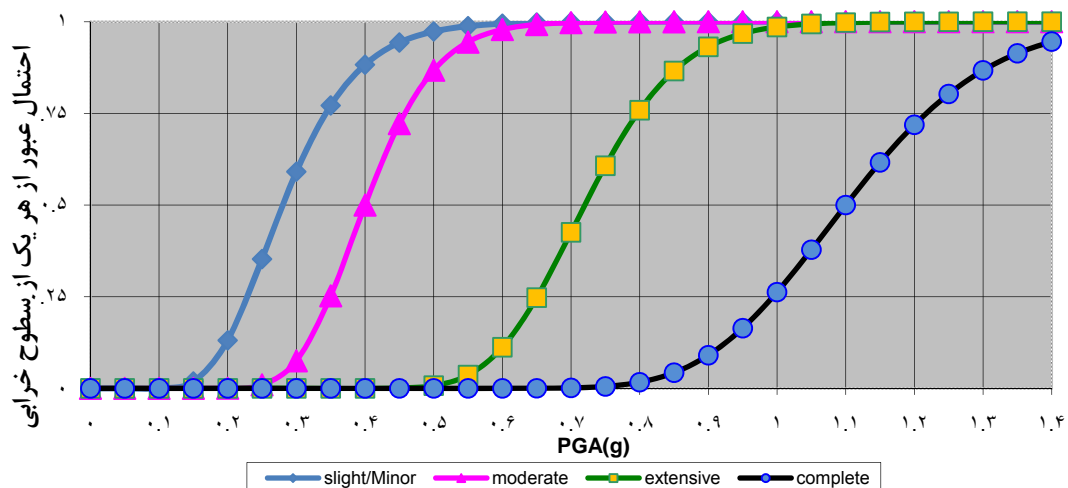
^۳ - And

^۴ - Or

هوایی می‌باشند. البته به علت احتمال کم روانگرایی در شهر کرمانشاه از در نظر گرفتن تغییر مکان ماندگار زمین (PGD) صرف نظر شده است. سطوح مختلف آسیب پذیری خطوط برق هوایی مطابق شکل (۳) بکاررفته است [۱۹].



شکل (۲) درخت واقعهٔ مربوط به وقوع اشتعال در هر قطعه از خط لوله‌ای که دچار نشت یا شکسته شده [۸]



شکل (۳) منحنی‌های شکست خرابی شبکه توزیع برق هوایی [۱۹]

۴-۵ مدل‌سازی پیامد در نرم‌افزار PHAST

مدل‌سازی پیامد، شامل مدل‌سازی رهائش مواد در محیط و به دنبال آن مدل‌سازی پیامدهای ناشی از سمیت، اشتعال یا انفجار این مواد می‌باشد. امروزه این کار به دلیل پیچیدگی معادلات و زمان‌بر بودن حل آنها، توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری انجام می‌گیرد. در بخش مدل‌سازی، تعداد زیادی از نرم‌افزارها تنها قادر به مدل‌سازی پخش مواد می‌باشند و قادر به مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار نیستند. در بین موارد مختلف، نرم‌افزار PHAST یکی از قویترین و مشهورترین نرم‌افزارهای موجود است. این نرم‌افزار به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری شرکت‌ها و دولت‌ها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده که هم تئوری و هم توانایی این مدل در پیش بینی حوادث بسیار کارا است. در این بخش به معرفی مدل استفاده شده در این رساله توسط این نرم‌افزار پرداخته می‌شود. سپس ابتدا به کمک نتایج بدست آمده برای تمام مواد داخل خطوط لوله (نفت خام، بنزین، نفت سفید و گازوئیل)، نتایج بدبینانه‌ترین نوع از مواد را به عنوان نتایج ورودی وارد مدل تهیه شده در محیط GIS می‌کنیم. تا از طریق این نتایج بتوان تحلیل خسارت خطوط لوله نفت را بر اساس پیامد واقعی خود آنالیز نمود. برای انتخاب سناریوها از استانداردهای ارائه شده توسط شرکت DNV مطابق جدول (۳) استفاده می‌کنیم [۲۲]. سناریوهای منتخب برای محاسبه پیامدهای نشت یا شکست خطوط لوله فرآورده‌های نفتی در شهر کرمانشاه، مطابق جداول (۴) می‌باشد [۸]. تمام این سناریوها را برای تمام مواد (نفت خام، بنزین، نفت سفید و گازوئیل) موجود در خطوط لوله مدل کرده و پس از آنالیز و ارزیابی نتایج تمام مواد، بدبینانه‌ترین حالت و ماده را در مدل تحلیل خسارت شبکه وارد می‌کنیم. لازم به ذکر است که مقادیر مربوطه برای دبی خروجی، اعداد فرضی می‌باشند که بر مبنای قضاوت مهندسی در نظر گرفته شده‌اند [۹].

جدول (۳) استانداردهای ارائه شده توسط شرکت DNV برای انتخاب سناریوها [۲۲]

تجهیزات	ابعاد پارگی مورد بررسی
لوله‌های با قطر کمتر از ۱/۵ in	۵mm و پارگی کامل
لوله‌های با قطر بین ۲ تا ۶in	۵mm، ۲۵mm و پارگی کامل
لوله با قطر بین ۸ تا ۱۲in یا بالاتر	۵mm، ۲۵mm، ۱۰۰mm و پارگی کامل
مخازن	پارگی کامل خطوط ورودی و خروجی و ترکیدن ناگهانی
پمپ‌ها	بسته به قطر لوله‌های ورودی و خروجی، نشتی از درزگیر به قطرهای ۱۰۰mm، ۲۵mm، ۵mm

با توجه به تاثیر گذار بودن نوع شرایط آب و هوایی بر روی نتایج حاصل از مدل سازی حوادث، یکی از الزامات مدل سازی تعیین شرایط آب و هوایی و پارامترهای مربوط به آن می باشد. به این منظور باید از اطلاعات هواشناسی ثبت شده در منطقه تحت بررسی استفاده نمود. داده های هواشناسی مورد نیاز برای مدل سازی توسط نرم افزار PHAST عبارتند از:

- دمای هوا و زمین (سطح خاک)
- رطوبت هوا
- سرعت و جهت وزش باد
- شرایط جغرافیایی (ناهمواری سطح)

جدول (۴) سناریوهای در نظر گرفته شده برای حالت نشت و شکست لوله [۸]

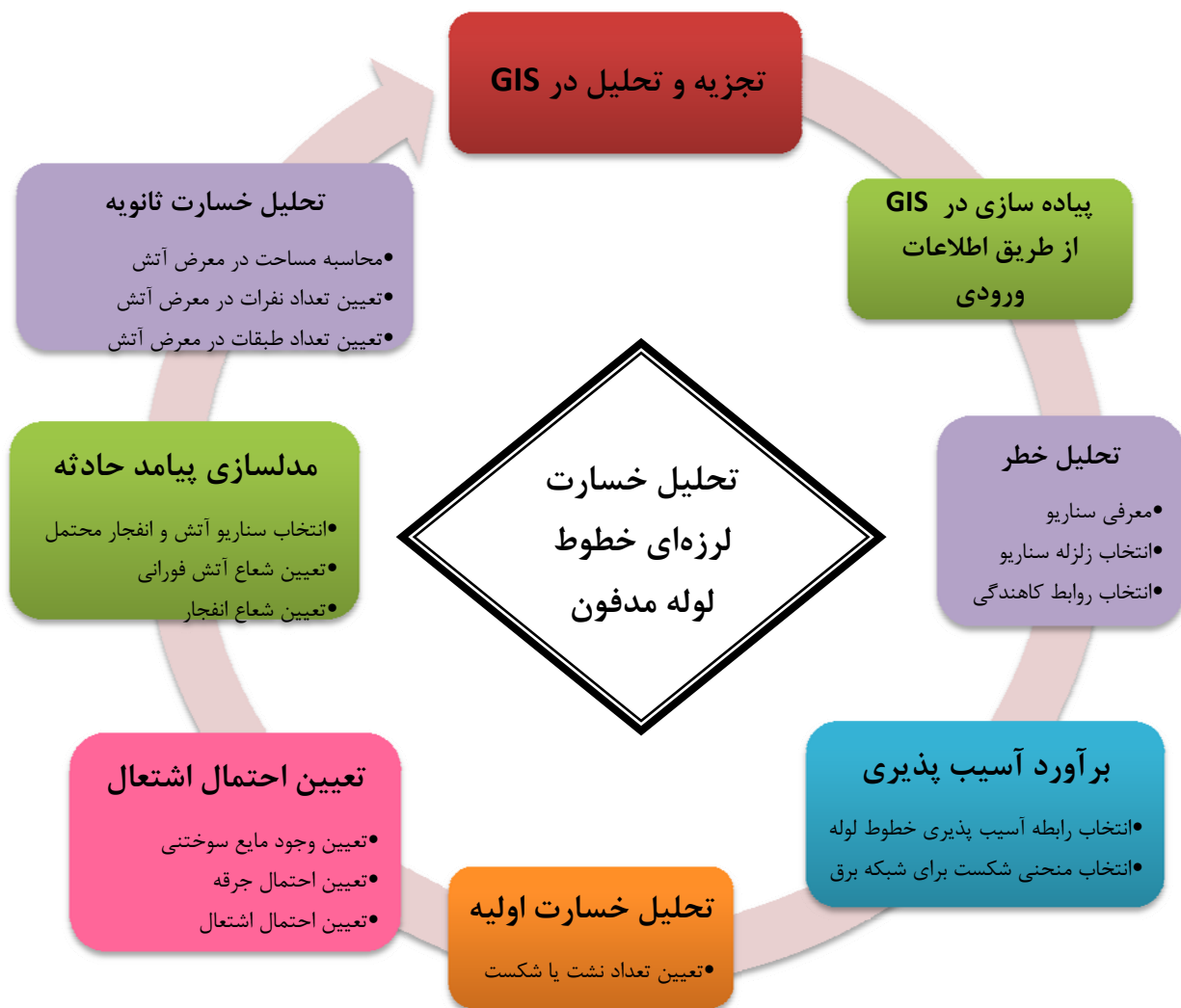
شماره سناریو	قطر لوله (اینچ)	محل وقوع (Km)	قطر نشت (Cm)	شماره سناریو	قطر لوله (اینچ)	محل وقوع (Km)	دبی (m ³ /hr)	فشار (Psi)
۱	۸	۲-۰	۷	۱	۸	۲-۰	۱۰۰	۲۵۰
۲	۸	۴-۲	۶	۲	۸	۴-۲	۴۸	۲۳۰
۳	۸	۶-۴	۵	۳	۸	۶-۴	۲۳	۲۱۰
۴	۸	۸-۶	۴	۴	۸	۸-۶	۱۱	۱۹۰
۵	۸	۱۰-۸	۳	۵	۸	۱۰-۸	۵	۱۷۰
۶	۸	۱۲-۱۰	۲	۶	۸	۱۲-۱۰	۲	۱۵۰
۷	۱۶	۲-۰	۷	۷	۱۶	۲-۰	۶۰۰	۲۵۰
۸	۱۶	۴-۲	۶	۸	۱۶	۴-۲	۲۸۷	۲۲۹
۹	۱۶	۶-۴	۵	۹	۱۶	۶-۴	۱۳۷	۲۰۸
۱۰	۱۶	۸-۶	۴	۱۰	۱۶	۸-۶	۶۶	۲۸۷
۱۱	۱۶	۱۰-۸	۳	۱۱	۱۶	۱۰-۸	۳۱	۲۶۶
۱۲	۱۶	۱۲-۱۰	۲	۱۲	۱۶	۱۲-۱۰	۱۵	۲۴۵
۱۳	۱۶	۱۴-۱۲	۱	۱۳	۱۶	۱۴-۱۲	۷	۲۲۰
۱۴	۱۰	۲-۰	۷	۱۴	۱۰	۲-۰	۱۶۰	۷
۱۵	۱۰	۴-۲	۵	۱۵	۱۰	۴-۲	۷۶/۴۸	۵

پس از انجام تمام این مراحل برای کلیه سناریوهای موجود، به این نتیجه رسیدیم که برای دو خط لوله ۱۶ و ۱۰ اینچی (که هم فرآورده و هم نفت خام از آن عبور می کردند)، نتایج آنالیز مایع بنزین از ۴ ماده دیگر نتایج حادثه ایجاد کردند. از این رو از نتایج آنالیز این مایع در ورودی آنالیز آتش برنامه مدل سازی آسیب پذیری خطوط لوله شهر کرمانشاه در محیط GIS که در ادامه توضیح داده می شود، استفاده می کنیم. حال آن که خط ۸ اینچی، چون تنها نفت خام انتقال می دهد، پس از نتایج حاصل از نفت خام در برنامه مزبور استفاده می شود.

۴-۶ گام های برنامه مدل سازی تحلیل خسارت لرزه ای خطوط لوله مدفون سوخت

روند انجام مدل ارائه شده در این مقاله که برای تعیین برآورد خسارت لرزه ای خطوط لوله مدفون شهر کرمانشاه می باشد، در شکل (۴) آورده شده است. برای هر یک از سناریوهای از پیش تعیین شده، گام های زیر برداشته می شود:

➤ گام صفر: در این گام تمام کاربری ها، خیابان ها و متعلقات آن، فضاهای سبز، خطوط لوله و دیگر لایه های اطلاعاتی مورد نیاز در فضای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) همانند شکل (۵) مدل شده است [۸]. پس از آن از طریق زبان برنامه نویسی موجود در GIS تمام مراحل تحلیل خسارت را (از تحلیل خطر تا تاثیر آتش بر منطقه) پیاده شده است که بصورت اتوماتیک و خودکار می توان برای سناریوهای مختلف قابل استفاده است.

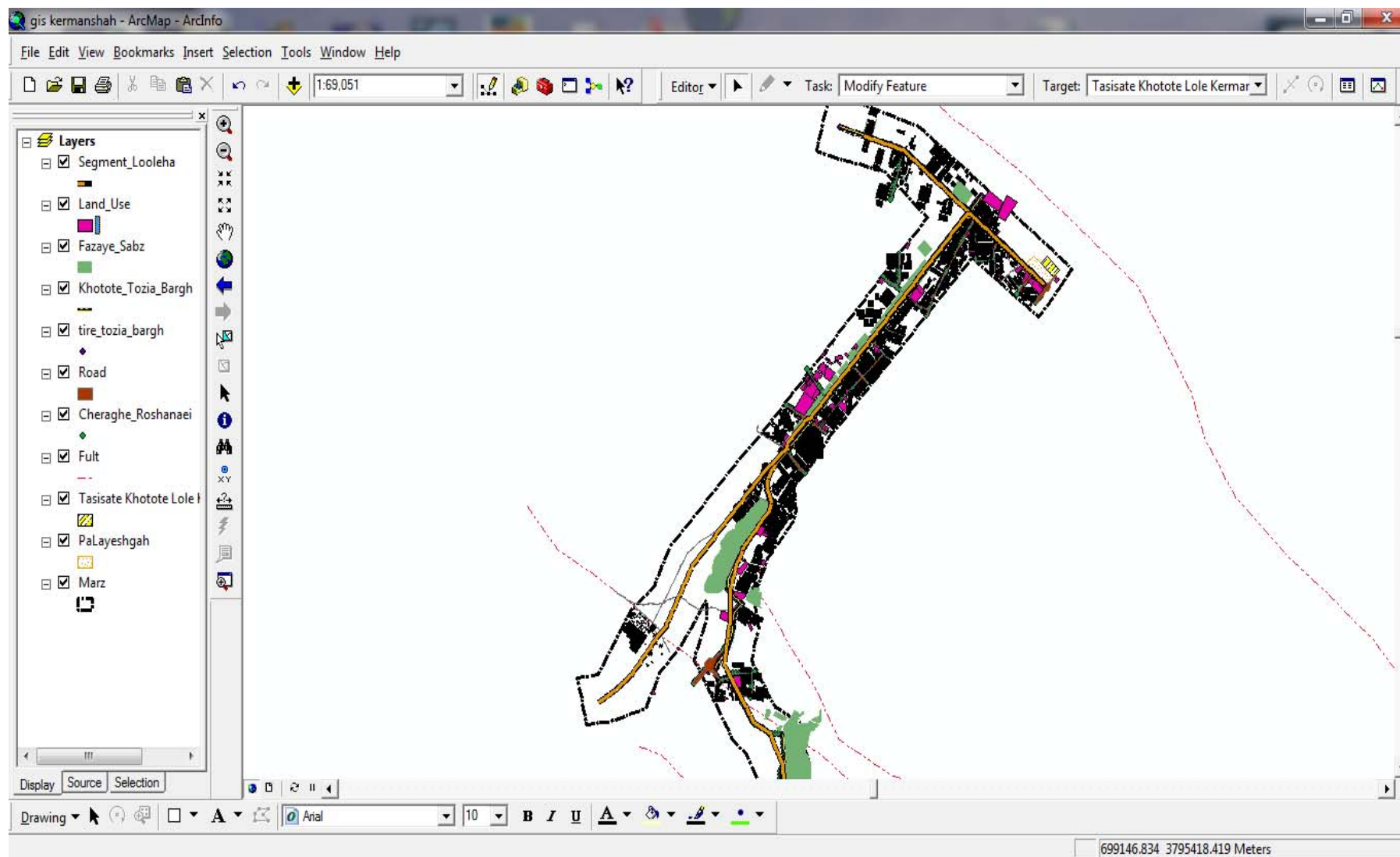


شکل (۴) الگوریتم انجام تحقیق

➤ گام ۱: بعد از شناخت رابطه‌های آسیب‌پذیری و کاهندگی مناسب، برای هر سناریوی محتمل، مقادیر حداکثر سرعت زمین (PGV)، حداکثر شتاب زمین (PGA)، نرخ خرابی در کیلومتر (R.R.) و احتمال خرابی (P_f) برای تمام قطعات خطوط لوله محاسبه می‌گردد. خروجی‌های این گام به عنوان ورودی گام‌های بعدی برنامه لحاظ می‌گردد.

➤ گام ۲: در شروع این گام، یک مقدار تصادفی بین صفر تا یک انتخاب می‌شود. پس از آن، احتمال خرابی بدست آمده برای هر قطعه^۱ از لوله (خروجی گام ۱)، با آن عدد تصادفی انتخاب شده مقایسه می‌گردد. هر قطعه از لوله را که احتمال خرابی آن بیش از آن مقدار تصادفی بود، مشخص می‌شود. بعد از این مرحله باید تشخیص داده شود که قطعه انتخاب شده دچار شکستگی یا نشت شده است. به همین منظور بین صفر تا ۱۰۰ یک عدد تصادفی انتخاب می‌شود. چنانچه عدد انتخاب شده برای آن قطعه از لوله بین صفر تا ۸۰ بود، پس آن قطعه دچار نشت شده است ($P_L=1$) و تا انتها از آنالیزهای نشت پیروی می‌کند و چنانچه عدد انتخاب شده برای آن قطعه از لوله، بین ۸۱ تا ۱۰۰ بود، قطعه مورد نظر دچار شکستگی شده ($P_F=1$) و تا انتها از مقادیر آنالیزهای شکست استفاده می‌کند. به این ترتیب در هر سناریوی زلزله، شماره لوله‌هایی که در معرض شکست یا نشت قرار می‌گیرند مشخص می‌شود و شکست یا نشت به لوله‌های مشخص شده اعمال می‌شود.

^۱-Segment



شکل (۵) لایه‌های اطلاعاتی برنامه تحلیل خسارت خطوط لوله سوخت شهر کرمانشاه در فضای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) [۸]

➤ گام ۳: در این گام احتمال‌های اشتعال را در هر قطعه از لوله که دچار نشت (PIL) یا شکست (PIF) شده است، از طریق ۸ درخت منطقی (۴ درخت برای تعیین احتمال اشتعال، وقتی لوله دچار نشت شود و ۴ درخت نیز برای تعیین احتمال اشتعال لوله، زمانی که شکسته شود) محاسبه می‌گردد. تمامی این روابط در زبان برنامه‌نویسی نرم‌افزار GIS نوشته شده است و تمامی مقادیر خود را از صفاتی^۱ که به هر لایه اطلاعاتی نسبت داده شده، استفاده می‌کند.

پس از این محاسبات، برای تمامی قطعات که دچار نشت یا شکست شده‌اند، مقدار احتمال اشتعال آن قطعات تعیین می‌گردد. حال برای تعیین آنکه آن قطعه مشتعل می‌شود یا خیر؟ یک مقدار تصادفی بین صفر تا یک انتخاب می‌شود، پس از آن احتمال اشتعال نشت یا شکست آن قطعه با آن مقدار تصادفی انتخاب شده مقایسه می‌شود. چنانچه احتمال اشتعال بزرگتر از آن مقدار تصادفی بود، آن قطعه که دچار نشت یا شکست شده، مشتعل می‌گردد و وارد گام دیگر این الگوریتم می‌گردد.

➤ گام ۴: در این گام از آنالیزهای مربوط به نرم‌افزار ارزیابی پیامد خسارت^۲ برای تمام قطعات لوله بر اساس سناریوهای تعریف شده در مراحل قبل، استفاده می‌شود. نتایج خروجی این آنالیز را به عنوان ورودی در مقابل هر قطعه از لوله در نرم‌افزار GIS وارد می‌گردد. نتایج خروجی آنالیز PHAST شامل ۷ شعاع در جهت باد برای حالات نشت یا شکست، و ۷ شعاع در جهت عمود بر باد برای هر دو حالت نشت یا شکست می‌باشد. در کل برای نشت یا شکست خطوط لوله، ۷ آنالیز آتش بصورت زیر موجود می‌باشد:

۱. آتش فورانی برای شدت گرمای 4 Kw/m^2
۲. آتش فورانی برای شدت گرمای 12.5 Kw/m^2
۳. آتش فورانی برای شدت گرمای 37.5 Kw/m^2
۴. آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱٪
۵. آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰٪
۶. آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰۰٪

۷. انفجار خطوط لوله برای شدت موج فشاری بیش از ۳ Psig

در انتهای این گام، تمامی اطلاعات لازم مورد نظر برنامه کامل می‌گردد. نحوه ورود اطلاعات به برنامه را در شکل (۹) می‌توان مشاهده نمود. این برنامه از انعطاف‌پذیری قابل قبولی برخوردار می‌باشد، به نحویکه اولاً برای منطقه دیگری که خط لوله از زیر زمین عبور می‌کند، قابل اجرا است. بطوریکه با توجه به شکل (۶) می‌توان خطوط لوله جدید را با هر طول دلخواه به منظور آنالیز تحلیل خسارت و شعاع آتش و انفجار وارد برنامه نمود. ثانیاً می‌توان ضرایب مربوط به رابطه کاهندگی (شکل (۷)) و حتی مقادیر میانه و بتا از توزیع لوگنرمال مربوط به رسم منحنی‌های شکست ناشی از تخریب شبکه توزیع برق هوایی را می‌توان تغییر داد (شکل (۸)). ثالثاً حتی چنانچه نیاز به آنالیز منطقه توسط رابطه کاهندگی دیگری غیر از رابطه کاهندگی پیش-فرض موجود در برنامه باشد، می‌توان از طریق رابطه کاهندگی دلخواه، برای تمام قطعات خط لوله، نتایج تحلیل خطر را از طریق یک فایل مجزا به برنامه وارد نمود [۸].

➤ گام ۵: این گام در واقع به عنوان اصلی‌ترین قسمت این الگوریتم می‌باشد. زیرا که از مقادیر خروجی هر ۴ گام قبلی استفاده کرده و تمامی آن خروجی‌ها به عنوان ورودی در این مرحله استفاده می‌گردد.

۱. هر قطعه از لوله که دچار نشت یا شکست شده است وارد گام سوم شده و احتمال اشتعال آن در این گام محاسبه می‌شود و هر قطعه از لوله که مشتعل گردد وارد گام چهارم می‌شود. در این گام، میزان شعاع گرمائی برای حالت‌های مختلف در صفات^۳ هر قطعه^۴ موجود می‌باشد. این آنالیز برای هر سناریوی زلزله و هر کدام از شعاع‌های آنالیز آتش انجام می‌شود، یعنی برای هر قطعه از خطوط لوله که دچار نشت یا شکست شده است، مقادیر مربوط به ۷ آنالیز آتش

^۱ - Attribute

^۲ - PHAST

^۳ - Attribute

^۴ - Segment

(شعاع در جهت باد و شعاع در جهت عمود بر باد)، که دچار نشست یا شکست شده‌اند، به شکل بیضی بر روی قطعات خطوط لوله مذکور انداخته شده و سایر موارد محاسبه می‌گردد.

۲. محاسبه کل مساحتی که تحت تاثیر آتش ایجاد شده در اثر زلزله و آنالیز آتش مربوطه (برای تمام خطوط لوله منطقه در هر کدام از سناریوهای محتمل زلزله و ۷ آنالیز آتش)، قرار گرفته‌اند.

۳. محاسبه تعداد کل ساختمان‌هایی که تحت تاثیر آتش ایجاد شده در اثر زلزله و آنالیز آتش مربوطه (برای تمام خطوط لوله منطقه در هر کدام از سناریوهای محتمل زلزله و ۷ آنالیز آتش)، قرار گرفته‌اند.

۴. محاسبه تعداد کل نفراتی که تحت تاثیر آتش ایجاد شده در اثر زلزله و آنالیز آتش مربوطه (برای تمام خطوط لوله منطقه در هر کدام از سناریوهای محتمل زلزله و ۷ آنالیز آتش)، قرار گرفته‌اند.

این فرآیند (گام ۲ تا انتها) برای هر سناریوی زلزله، با توجه به روش شبیه‌سازی مونته کارلو برای حل معادلات احتمال از طریق تعداد دفعات زیاد (۱۰ هزار بار) تکرار می‌شود تا عدم قطعیت‌های مربوط به اینکه در هر سناریوی زلزله کدام لوله‌ها در معرض شکست یا نشست قرار می‌گیرند مدل‌سازی گردد. مسلماً با این روش، لوله‌هایی که نرخ شکستگی بالایی دارند، بیشتر در معرض خرابی قرار می‌گیرند. بالا بودن نرخ شکستگی لوله به دلیل بالا بودن مقدار PGV در مرکز آن باشد.



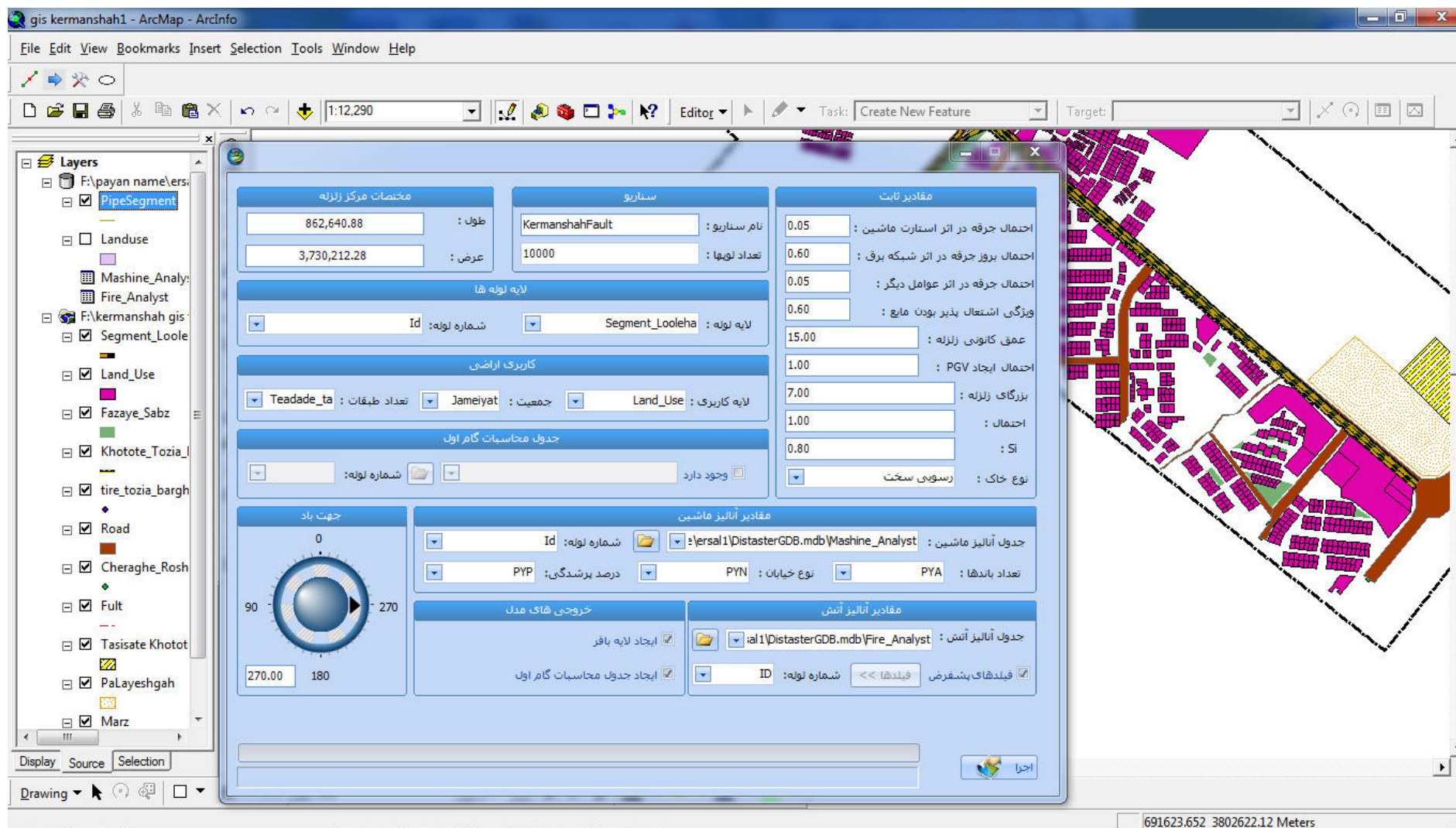
شکل (۶) نحوه اضافه نمودن خطوط لوله‌ای جدید با اندازه متفاوت به برنامه [۸]

تنظیمات ثابت								
ضرایب رابطه کاهندگی منطقه زاگرس								
	A	a	b	c1	c2	c3	c4	σ
▶	PGA_h	0.399	-0.0019	-1.047	-1.065	-1.020	-0.975	0.329
	PGA_v	0.406	-0.0038	-1.262	-1.333	-1.203	-1.777	0.361
	PGV_h	0.588	0.004	-3.627	-1.1	-3.632	-3.502	0.315
	PGV_v	0.612	0.0028	-4.101	-4.101	-3.984	-3.917	0.319

شکل (۷) تنظیم ضرایب مربوط به رابطه کاهندگی [۸]

تنظیمات ثابت		
ضرایب رابطه کاهندگی منطقه زاگرس		
	M	B
سطح خرابی کم	0.28	0.3
سطح خرابی متوسط	0.4	0.2
سطح خرابی وسیع	0.72	0.15
سطح خرابی کامل	1.1	0.15

شکل (۸) تنظیم مقادیر میانه و بتا منحنی‌های شکست شبکه توزیع برق [۸]



شکل (۹) صفحه ورود اطلاعات به برنامه در محیط GIS [۸]

در انتها برنامه نتایج خروجی را در قالب دو دسته ماتریس و یک لایه گرافیکی به شرح زیر نمایش می‌دهد:

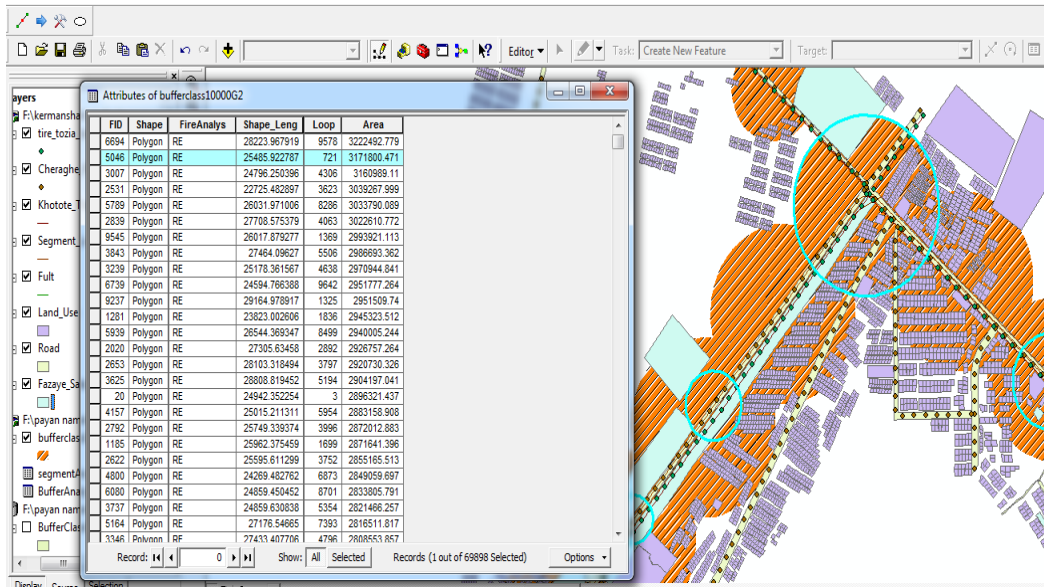
۱. در یک ماتریس، نتایج مربوط به تحلیل خطر، نرخ تعمیر و احتمال خرابی مطابق شکل (۱۰) ذخیره می‌شود.
۲. در ماتریس دیگر، نتایج خروجی مربوط به تعداد نشت، شکست و اشتعال و مقادیر مربوط به نتایج خروجی انفجار و آتش‌سوزی پس از زلزله را برای هر حلقه، مطابق شکل (۱۱) ذخیره می‌شود. در انتها برای توصیف بهتر نتایج خروجی به کمک نرم‌افزار SPSS، به ترسیم نمودارهای فراوانی تجمعی و توابع توزیع احتمال هر یک از خروجی‌ها پرداخته می‌شود.
۳. در لایه گرافیکی می‌تواند به صورت گرافیکی میزان در معرض قرارگیری در برابر آتش و یا انفجار را برای آن قطعات لوله و حلقه‌های مختلف در اطراف خط لوله نمایش داد (شکل (۱۲)).

OID	OBJECTID	SegmentID	PGA_h	PGV_h	X	RR	PF
3	4	31	1.45360001880922	93.7698660617794	5.57593600746315	2.73616583166116	0.708079748187824
4	5	41	1.40590460302919	90.7932745947838	5.7630508082957	2.54460736402671	0.681799411562878
5	6	51	1.37198836359875	88.6766441936736	5.90393572539467	2.41307495260518	0.662396695694119
6	7	61	1.31763421929348	85.2845826105561	6.14466965727321	2.21033799297367	0.630147905122944
7	8	71	1.260127723518	81.6958665211304	6.42170337876961	2.00655093267981	0.594627110113775
8	9	81	1.20003772038268	77.9460176409669	6.73919356527392	1.80524581037147	0.556190833741587
9	10	91	1.14098668042449	74.261109897778	7.0833430426474	1.61887468048733	0.517364518150308
10	11	101	1.08769633243914	70.9357856316551	7.42555309101924	1.46031690180267	0.481669705529098
11	12	111	1.04191876067419	68.0793505374719	7.7470670268248	1.33132675240335	0.450692584371351
12	13	121	1.00051847309892	65.4961324120396	8.06279346406201	1.22035230173073	0.422564502681234
13	14	131	0.954487043148671	62.6240538419071	8.44548945760829	1.10323402897973	0.391315563991349
14	15	141	0.91629831460757	60.2414070608239	8.79168874293299	1.0110298803348	0.365528840112463
15	16	151	0.880129819596079	57.9848960653335	9.14680517138492	0.927808798937783	0.341317703106159
16	17	161	0.850409228754868	56.1307365252846	9.46082658106167	0.86238593937269	0.321637635375899
17	18	171	0.817953647644307	54.1060364277674	9.82933806417187	0.79396776650335	0.300427255247613
18	19	181	0.786963640161534	52.1728574817663	10.2090418058776	0.731560760651523	0.280502582470244
19	20	191	0.757467595710119	50.3329679766395	10.5987349584725	0.67478934326136	0.261884678554181
20	21	201	0.729459014300019	48.5859588163326	10.9973556297196	0.62323129057732	0.244559367494353
21	22	211	0.702906675714981	46.9298782410796	11.4039676613999	0.57644942689652	0.228487374240951
22	23	221	0.677762518768909	45.3617236134434	11.8177463313825	0.534012574146647	0.213612541577692
23	24	231	0.653967662084317	43.8778171977485	12.2379645566787	0.49550869822994	0.199868279468664
24	25	241	0.631966992259749	42.5058940742537	12.6539983853764	0.461328834400097	0.187466370499266
25	26	251	0.636330289335275	42.7779740216183	12.569253978199	0.467999595705243	0.189901811318118
26	27	261	0.643306619072555	43.2130014834185	12.4360928862428	0.478776111516673	0.19382081733365
27	28	271	0.649414919871492	43.5939085104936	12.3217963857909	0.48832399950232	0.197277175648677

شکل (۱۰) ماتریس نتایج مربوط به تحلیل خطر، نرخ تعمیر و احتمال خرابی برای سناریو شماره ۱

OBJECTID	LoopID	NumLeakage	NumFraction	NumEshtael	4kw (مساحت سرخه شده برای 4kw)	4kw (تعداد نترات برای 4kw)	4kw (تعداد حلقه ها برای 4kw)	12kw (مساحت سرخه شده برای 12kw)	12kw (تعداد نترات برای 12kw)	12kw (تعداد حلقه ها برای 12kw)
1	1	20	8	28	1067281.92243894	9213	434	400886.598052692	8071	183
2	2	19	3	22	620126.798310169	8282	149	249308.026408662	7609	64
3	3	14	8	22	1309733.57821159	6817	1215	469266.904598092	1980	339
4	4	18	5	23	882710.786077675	13394	1129	338444.911898127	8586	344
5	5	18	4	22	769517.726778668	4907	981	302993.128386183	1985	376
6	6	17	3	19	598095.778938372	7730	104	229293.395813783	7171	43
7	7	19	6	25	868975.181655218	12180	1048	326553.409695723	8652	316
8	8	19	6	25	819436.095886897	5851	993	315839.526117619	1893	362
9	9	18	2	20	658626.294837403	10580	519	257400.772742529	7942	155
10	10	19	6	25	1020926.21600769	6519	1151	379035.853554685	1674	307
11	11	13	4	16	655441.849128673	8847	426	247624.60981231	7384	91
12	12	17	6	21	836370.74871989	3354	399	319369.250210619	931	130
13	13	15	3	16	517980.16851792	1656	204	207759.422904197	840	83
14	14	18	5	23	717086.646996844	2421	445	288272.67126499	1051	164
15	15	18	4	22	933021.393242132	1542	223	356285.841844756	717	100
16	16	16	2	18	571780.956691124	993	163	226053.008587803	395	69
17	17	15	7	22	1104739.53348682	6674	1143	411789.215023856	2144	352
18	18	16	8	24	1021883.15826363	10912	717	380724.641687734	8329	242
19	19	21	3	24	781764.004177544	11859	699	305169.83906946	8581	282
20	20	17	5	21	760846.898745653	8747	298	299127.802643471	7902	105
21	21	18	2	20	505475.868773247	1961	314	204049.163512113	912	140
22	22	26	4	30	1026560.43858548	3190	556	400435.326060121	1386	179
23	23	18	6	22	786526.520069844	1103	166	297310.177122321	245	38
24	24	12	5	17	638271.560057845	3226	665	243934.678680727	950	214
25	25	21	8	29	1195905.981201358	14404	1104	391456.484414316	8108	226

شکل (۱۱) ماتریس نتایج خروجی مربوط به تعداد نشت، شکست، اشتعال و نتایج خروجی انفجار و آتش‌سوزی پس از زلزله برای سناریو شماره ۱



شکل (۱۲) نمایش گرافیکی مربوط به میزان در معرض قرارگیری در برابر آتش و یا انفجار برای سناریو ۱

۷-۴ نتایج نرم افزار

نتایج بدست آمده از نرم افزار در جدول (۵) متوسط آسیب‌های وارده به شهر کرمانشاه ناشی از آسیب‌دیدگی لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه قابل مشاهده می‌باشد [۸].

جدول (۵) آسیب‌های وارده به شهر کرمانشاه برای سناریوهای اول دوم [۸]

تعداد نشست	تعداد شکست	تعداد اشغال	مساحت ایجاد شده در اثر وقوع آتش فورانی برای تشعشع حرارتی 37 Kw/m^2	مساحت ایجاد شده در اثر وقوع انفجار با موج فشاری بیش از 3 Psig	تعداد نفرات در معرض وقوع آتش فورانی برای احتمال مرگ 1000	تعداد واحدهای ساختمانی در معرض وقوع انفجار با موج فشاری بیش از 3 Psig
میانگین	۱۶/۹۱	۴/۲۰	۲۰/۶۳	۱۱۰۱۷۷۱/۰۸۷	۱۵۴۰۳۲/۲۶۶	۳۶۶/۳۱
کمترین مقدار	۵	۰	۱۰	۳۳۵۵۷/۱۲	۴۰۲۸۱۷	۱
بیشترین مقدار	۳۱	۱۳	۳۵	۲۰۴۲۱۵	۳۲۲۲۴۹۲/۷۸	۲۱۳۰
میانگین	۴/۰۲	۱	۱/۰۴	۴۱۷۸/۲۴۵	۶۲۵۵۶/۵۰۵	۲۶/۹۷
کمترین مقدار	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بیشترین مقدار	۱۳	۷	۸	۴۱۳۵۴/۱۰۳	۸۲۴۷۹۳/۶۱۵	۷۱۲۶

۵. نتیجه گیری

در این مدل اطلاعات مربوط به مساحت ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری و دیگر کاربری‌ها و طبقات آنها و فضای سبز در لایه‌های مختلف براساس مختصات جغرافیایی ذخیره می‌شود. این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار "ARC GIS" در لایه‌های

اطلاعاتی مجزا به سامانه اطلاعات جغرافیائی وارد شده و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری و برنامه‌نویسی این سامانه مورد آنالیز قرار گرفته و با یکدیگر ترکیب می‌شوند و برای هر سناریو زلزله مشخص مقادیر پاسخ زلزله PGA و PGV در لایه‌های جداگانه براساس مختصات جغرافیایی ذخیره شده و دیگر لایه‌های اطلاعاتی نیز به همین ترتیب ایجاد و ذخیره می‌گردند. مدل اشتعال پیشنهاد شده در این مقاله، تنها به علت اشتعال‌های خارج ساختمان می‌باشد. در حالی که علاوه بر شدت زلزله و چگالی ساختمان یک منطقه عوامل دیگری نظیر اثر دیگر شریان‌های حیاتی، پاسخ آنها به زلزله، و زمان وقوع زلزله نیز بر احتمال وقوع اشتعال‌های خارج از ساختمان پس از زلزله موثر هستند.

در انجام این تحلیل، توزیع مرتبط با عدم قطعیت‌های هر پارامتر، براساس اطلاعات موجود، قضاوت مهندسی و فرضیات قابل قبول در نظر گرفته شد، هر چند که برای تعیین دقیق و کمی این عدم قطعیت‌ها نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد. روش پیشنهادی، این عوامل و عدم قطعیت‌های موجود در آنها را نیز در نظر گرفته و با استفاده از روش تجمیع احتمالی (درخت منطقی)، احتمال وقوع اشتعال در هر المان خط لوله که از تحلیل حاصل شده‌اند، را برای سطوح مختلف تخریب شبکه توزیع برق ترکیب کرده و احتمال وقوع اشتعال را ابتدا برای هر المان خط لوله و سپس با ترکیب در برنامه نوشته شده در محیط GIS، به صورت کاملاً پیوسته برای کل شهر کرمانشاه محاسبه می‌نماید، که مدل ارائه شده در این مقاله می‌تواند جایگزینی برای مدل آماری برآورد اشتعال فعلی آتش سوزی پس از زلزله باشد. از این رو با توجه به روش شبیه‌سازی مونت کارلو از طریق تعداد دفعات زیاد برای دو سناریوی زلزله تعریف شده، عملیات موجود تکرار گردید، تا عدم قطعیت‌های موجود، تعیین شود. سپس مطابق مدل آتش‌سوزی تعریف‌شده، مساحت منطقه سوخته، تعداد واحدهای ساختمان و تعداد نفرات در معرض آتش، در هر حلقه‌ها برآورد گردد. پس از آنکه اطلاعات لازم برای هر سناریو زلزله به صورت معین بدست آمد، احتمال‌های وقوع آتش سوزی و انفجار پس از زلزله به صورت رسم نمودارهای ستونی و تهیه جداول فراوانی از طریق نرم‌افزارهای آماری محاسبه شدند و از طریق آن مساحت‌های سوخته در اطراف خطوط لوله، تعداد واحدها و نفراتی که تحت تاثیر آتش‌سوزی‌ها و انفجارهای اطراف خطوط لوله قرار گرفته‌اند، برای هر سناریو و زلزله محتمل تعیین گردید. با مشاهده این نتایج می‌توان میزان خسارات محتمل را تعیین نمود و تمهیدات مناسب را برای ایمن‌سازی شبکه در جهت تقلیل این خسارات تعیین کرد.

۶. مراجع

۱. امیدوار، بابک و اسکندری، محمد، ۱۳۸۹، "مروری بر عملکرد لوله‌های سوخت پس از زلزله"، چهارمین کنفرانس روز ملی محیط زیست دانشگاه تهران.
۲. امیدوار، بابک و اسکندری، محمد، ۱۳۸۹، "بررسی آسیب پذیری شبکه خطوط لوله مدفون سوخت در اثر زلزله"، سومین کنفرانس بین‌المللی مقاوم سازی لرزه‌ای تبریز.
۳. پیغاله، الناز، ۱۳۸۷، کارشناسی ارشد، "تحلیل ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله- مطالعه موردی بخشی از شهر تهران"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
۴. سازمان برنامه ریزی و شهرداری کرمانشاه، ۱۳۸۸، نقشه‌های کاربری شهر کرمانشاه، نقشه وضعیت زمین‌شناسی شهر کرمانشاه.
۵. خطوط لوله و مخابرات شهر کرمانشاه، ۱۳۸۸، نقشه خطوط لوله، گزارش مشخصات خط لوله، گزارش وضعیت خطوط لوله.
۶. امیدوار، بابک و اسکندری، محمد، ۱۳۸۹، "مقایسه مدل‌های مختلف تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت"، سومین کنفرانس بین‌المللی لوله و خطوط انتقال نفت و گاز ایران.
۷. زارع، مهدی، ۱۳۸۴، مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی کاربردی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۸. اسکندری، محمد، ۱۳۸۹، کارشناسی ارشد، "برآورد خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت-مطالعه موردی شهر کرمانشاه"، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
۹. اکبری نیاری، موسی، ۱۳۸۷، کارشناسی ارشد، "پهنه بندی ریسک احتمالاتی مدت زمان بی آبی بر اثر آسیب لرزه‌ای به شبکه های آبرسانی، مطالعه موردی بخشی از شبکه آبرسانی شهر تهران"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۱۰. Earthquake Engineering Research Institute, ۱۹۷۳, "Managua, Nicaragua earthquake of December ۲۳, ۱۹۷۲.", Oakland, Ca.

۱۱. EERI, "Northridge Earthquake Reconnaissance Report Vol. ۱", Earthquake Spectra, Supplement to Vol. ۱۱, April, ۱۹۹۵.
۱۲. EQE International, "EQE summary report for The ۱۹۹۵ Kobe earthquake", January ۱۹۹۵.
۱۳. EQE summary report, March ۱۹۹۴, "The January ۱۷, ۱۹۹۴ Northridge CA earthquake.", www.eqe.com.
۱۴. Fire Department, San Francisco municipal reports ۱۹۰۶, "The Fire Break out.", Official accounts by city department of the earthquake and fire of April ۱۸, ۱۹۰۶.
۱۵. ALA, ۲۰۰۵, "Guidelines for assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events", American Lifelines Alliance.
۱۶. Federal Emergency Management Agency (FEMA), ۱۹۹۹, "Chapter ۱, HAZUS۹۹-SR۲ Technical Manual, FEMA, Washington D.C." .
۱۷. Federal Emergency Management Agency (FEMA), ۱۹۹۹, "Chapter ۸, HAZUS۹۹-SR۲ Technical Manual, FEMA, Washington D.C." .
۱۸. HAZUS , (HAZUS۹۹-SR۲ Technical Manual / Chapter ۱۰ : Induced Damage Models- Fire Following Earthquake) , HAZUS.
۱۹. RISK-UE, ۲۰۰۳, "An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns, WP۴: Vulnerability of current pipelines", European Project.
۲۰. O'Rourke, M. and Ayala, G., ۱۹۹۳, "Pipeline Damage Due to Wave Propagation," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. ۱۱۹, No. ۹, September, ۱۹۹۳, pp. ۱۴۹۰-۱۴۹۸.
۲۱. National Planning Scenarios, ۲۰۰۶, Created for use in National, Federal State and Local Homeland Security Preparedness Activities, March ۲۰۰۶.
۲۲. DNV Technica , "PHAST V.۶.۵ Operating Manual", February ۲۰۰۸.