

## ارائه مدلی به منظور ارزیابی خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت

محمد اسکندری<sup>۱\*</sup> و بابک امیدوار<sup>۲</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> خطوط لوله، نشت، شکست، اشتعال، شبیه‌سازی مونت کارلو.</p>	<p>شبکه خطوط لوله مدفون انتقال سوخت یکی از مهمترین شریان‌ها در زندگی شهری محسوب می‌شوند و نقش کلیدی در افزایش و کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله دارند. به منظور انجام برآورد خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت، از طریق مشخصات و اطلاعات اجزای مختلف شبکه، ابتدا از طریق روابط کاهندگی مربوط به این منطقه، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه (PGA و PGV)، بر اساس دو سناریوی زلزله محتمل تعیین می‌شود. سپس با استفاده از روابط نرخ تعمیر (Repair Rate)، به تخمین خسارت خطوط لوله پرداخته می‌شود. پس از آن به آنالیز پیامد رهاپس مواد نفتی موجود در خطوط لوله پرداخته می‌شود. در این تحقیق توزیع احتمال برای مساحت منطقه تحت تاثیر آتش و انفجار، تعداد جمعیت در معرض آتش و انفجار و تعداد واحدهای در معرض آتش و انفجار پس از زلزله از طریق روش شبیه‌سازی مونت کارلو مشخص شده است. تمام مراحل تحلیل خسارت خطوط لوله مدفون شهر، در زبان برنامه‌نویسی محیط GIS نوشته شده است. برای توصیف بهتر نتایج خروجی به ترسیم نمودارهای فراوانی تجمعی و توابع توزیع احتمال هر یک از خروجی‌ها پرداخته شده است. هدف از این مقاله ارائه الگوریتم کارا برای تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون و شروع آتش سوزی در اثر خسارت وارده به این زیرساخت می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی برای شهر کرمانشاه به عنوان مطالعه موردی به کار گرفته شده است.</p>

### ۱- مقدمه

گسترده‌ای بر جای گذاشته‌اند. در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا، احتمال تکرار چنین رخدادهایی بسیار زیاد است. چنانچه این زلزله‌های مخرب در نواحی شهری که به مراتب دارای جمعیت بالائی هستند، رخ دهد، می‌تواند خسارت‌های اقتصادی مستقیم و غیر مستقیم وسیعی، به خصوص در کشورهای در حال توسعه همانند ایران که در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بالا قرار دارند، ایجاد کند؛ که جبران این سوانح برای دولت‌ها بسیار دشوار می‌باشد.

انتقال فرآورده‌های نفتی عموماً توسط خطوط لوله، که یکی از روش‌های مناسب، ارزان قیمت، سریع و مطمئن

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. در دهه‌های گذشته زلزله‌های شدیدی در مناطق شهری مختلف جهان رخ داده که خسارت مالی فراوان و تلفات

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: eskandarim\_86@yahoo.com

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران

۲. دانشیار، عضو هیأت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

شده که احتمال رویداد حریق پس از زمین‌لرزه در این شهر بالا باشد. همچنین می‌توان به احتمال نشت و شکست خطوط لوله‌های بزرگ اشاره نمود. لوله‌کشی گاز 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 گسل-های گوناگون دارای خطرهای فراوانی می‌باشد. به علاوه مسائلی از قبیل جرقه در خطوط آسیب دیده انتقال برق، 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 آتش‌سوزی پس از زلزله را در مناطق شهری تشدید نماید [۳].

بی‌تردید بررسی و تحلیل تجارب حریق پس از زمین‌لرزه-ها در جهان می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مقابله با بحران و ایجاد تدابیر صحیح برای پیشگیری از این وقایع در شهرهای بزرگ کشور موثر واقع گردد. به طور کلی هر زلزله به نوعی باعث آتش‌سوزی‌هایی متفاوت شده است. در ادامه مثال‌هایی از زلزله‌های مختلف سراسر دنیا آورده شده است؛ که در هر کدام از آن‌ها، مشخصات زلزله، نحوه آسیب دیدگی خطوط لوله و همچنین آتش‌سوزی پس از زلزله بررسی شده است. به همین دلیل سعی شده است که این مثال‌ها به نوعی جمع‌آوری شود تا دید مناسبی درباره سناریوهای مختلف آتش‌سوزی پس از زلزله و عوامل دخیل در آن تولید کند. به همین منظور در جدول ۱ اثرات زلزله‌های پیشین بر روی خطوط لوله (آب، فاضلاب، نفت و گاز) و پالایشگاه‌ها که در برخی موارد منجر به ایجاد حریق شده‌اند، آورده شده است. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که علی‌رغم وقوع زلزله‌های متعدد در ایران، متأسفانه مدارک و گزارش‌های جامعی درباره تاثیر زلزله بر شریان‌های حیاتی به ویژه خطوط لوله انتقال نفت و گاز یافت نمی‌شود. این امر می‌تواند ناشی از سه علت باشد:

است، انجام می‌گیرد. سامانه‌های خطوط لوله به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی مهم، در کاهش و یا افزایش خسارات و آسیب پذیری ناشی از خطرات زمین لرزه نقش کلیدی دارند. سامانه‌های خطوط لوله به علت گستردگی و عبور از نواحی مختلف در معرض خطرات گوناگون قرار می‌گیرند. همچنین به علت پر مولفه بودن و پیچیدگی آنها ممکن است که در برابر خطرات زمین لرزه‌ای از آسیب پذیری بالایی برخوردار باشند.

ایران با برخورداری از ۱۴ هزار کیلومتر خطوط لوله انتقال نفت و بیش از ۲۲ هزار کیلومتر خطوط لوله انتقال گاز دارای طولانی‌ترین شبکه خطوط لوله نفت و گاز در منطقه خاورمیانه می‌باشد که با احتساب خطوط لوله بین‌چاه‌ها، مراکز جمع‌آوری و پالایشگاه‌ها این طول به ۷۰۰۰۰ کیلومتر می‌رسد [۱]. بررسی آسیب‌پذیری سامانه خطوط لوله مدفون سوخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد؛ چرا که با توجه به تولید حدود روزانه ۲/۵ میلیون بشکه نفت در ایران کاملاً مشخص است که در صورت بروز آسیب در خطوط لوله انتقال نفت روزانه میلیون‌ها دلار به اقتصاد کشور زیان وارد می‌شود و از طرفی شکست خطوط لوله نفت می‌تواند منجر به بروز آتش‌سوزی شود، که این امر در نواحی شهری بسیار خسارت بار خواهد بود. لازم به ذکر است که در برخی از شهرهای ایران نیز از جمله شهرهای تهران، کرمانشاه، شیراز، ایزد و گرگان خطوط لوله مدفون سوخت از زیر شهرها عبور کرده است که در برخی از این خطوط از طول عمر مفید خود گذشته‌اند و همچنین این خطوط در هنگام تعبیه خارج از محدوده شهر قرار داشتند ولی با گسترش شهرها به تدریج در محدوده شهری واقع شدند.

در شهر کرمانشاه، به علت وجود برخی گسل‌های فعال و با توجه به تاریخچه لرزه‌ای این شهر، احتمال رویداد زمین-لرزه‌ای با بزرگی بیش از ۷ ریشتر می‌تواند قابل انتظار باشد [۲]. در این میان کم‌مقاوم بودن بسیاری از ساختمان‌های کرمانشاه در برابر زلزله و عدم اتخاذ تدابیری در خصوص مقاوم‌سازی شریان‌های حیاتی، باعث

۱. تراکم خطوط لوله انتقال مواد نفتی در بخش جنوب غربی کشور قرار دارد که علی رغم حاکم بودن لرزه‌زمین ساخت زاگرس، این منطقه شاهد زلزله‌هایی با شدت نسبتاً کم بوده است. این کم بودن نسبی شدت ها جذابیتی برای
۲. کمبود نهادهای غیر دولتی قدرتمند در زمینه تحلیل و مدیریت خطر زلزله
۳. عدم توجه به مستندسازی در سازمان‌ها
- تصمیم‌گیران در شرکت‌های نفتی ایجاد نمی‌کند.

جدول ۱- اثرات زلزله‌های پیشین بر روی خطوط لوله

ردیف	محل و زمان زلزله	بزرگی زلزله (ریشتر) و شدت تخریب	آتش سوزی های پس از زلزله	ملاحظات	منبع
۱	سانفرانسیسکو، ۱۹۰۶	M ۸/۳، ۵۲ اشتعال مشاهده شد. ۲۸ هزار ساختمان تخریب شد و خرابی پل‌ها، خرابی خانه‌ها و عدم امکان دسترسی مشاهده شد.	۹۵٪ از خرابی‌ها ناشی از حریق بود که بر اثر آن، ۷۰۰ نفر تلف شدند. آتش سوزی باعث خرابی‌های زیادی شد که حدود ۴ مایل مربع را به طور کامل در بر گرفت.	خرابی وسیع در سیستم‌های آبرسانی بر اثر گسیختگی گسل و روانگرایی مشاهده شد. طول مدت آتش پس از زلزله ۳ روز گزارش شد.	[۶ و ۵، ۴]
۲	کانتو ژاپن، ۱۳۲۳	M ۷/۹، ۲۲۷ اشتعال مشاهده شد. در این حادثه حدود ۱۴۰ هزار کشته و ۴۴۷ هزار خانه دچار تخریب شدند.	هزاران نفر بر اثر حریق تلف شدند. بزرگترین آتش‌سوزی مناطق شهری تاریخ بشر بود.	تعداد زیادی از خانه‌ها از چوب و یا سازه سبک و به شکل ردیفی در کنار یکدیگر بودند، که خود عامل مؤثری در بروز حریق وسیع در منطقه شد.	[۸ و ۷، ۶]
۳	خلیج هاک، نیوزیلند، فوریه ۱۹۳۱	M ۷/۸، ۱۰ اشتعال مشاهده شد. بسیاری از شهرهای مهم صدمه دیدند. ۲۶۵ نفر کشته شدند.	در سه محله در شهر ناپیر حوادث حریق رخ داد. مجموعاً در مساحتی نزدیک به ۴۰ هزار متر مربع کلیه ساختمان‌ها سوختند.	لوله‌کشی‌های آب شکسته و قطع شدند. حریق اصلی از فروشگاه‌های مواد شیمیایی شروع شد. مناطق تجاری شهرهای ناپیر و هاستینگز تقریباً به کل خراب شد.	[۱۱ و ۱۰، ۹]
۴	آنکورینج، آلاسکا، ۲۷ مارچ ۱۹۶۴	M ۷/۵، بسیاری از ساختمان‌ها به کلی ویران شدند اما در کل نسبت به بزرگی زلزله تخریب‌ها اندک بود. حدود ۲۰ نفر کشته شدند.	حریق بسیار بزرگ در پالایشگاه برای دو هفته ادامه داشت. تعدادی حریق دیگر نیز رخ داد.	ساختمان‌ها با استاندارد بالا و کیفیت خیلی خوب بنا شده بود.	[۱۷]
۵	نیگاتا، ژاپن، ۱۶ ژوئن ۱۹۶۴	M ۷/۵، خرابی‌های گسترده بر اثر زلزله گزارش شده است. حدوداً ۲۴ نفر کشته شدند.	بر اثر آتش‌سوزی تأسیسات پالایشگاه و شکستن تعدادی مخازن نفتی حریق مهیبی رخ داد. حدود ۳۰۰ خانه در اطراف پالایشگاه سوختند.	منطقه شهری از استانداردهای بالا و مدرن برخوردار بوده است. بحران روحی ایجاد شده خیلی بیشتر از اصل خسارت بود.	[۱۳ و ۱۰، ۹]
۶	سانفرانسیسکو، ۹ فوریه ۱۹۷۱	M ۶/۶، ۵۹ نفر تلف شدند که ظاهراً بیشتر بر اثر سکنه و شوک-های ناشی از زلزله بوده است.	۱۰۹ واقعه حریق ناشی از زلزله ثبت شده است. در برخی مناطق نیز لوله‌های آب قطع شد.	تعداد زیادی شکست در خطوط لوله گاز شهری گزارش شد. برخی خطوط نیاز به تعویض کامل پیدا کردند. اما با این حال انفجاری گزارش نشد.	[۱۴ و ۱۵، ۱۶]
۷	ماناگوا، نیگارگوئه، ۲۳ دسامبر ۱۹۷۲	M ۶/۹، بیش از ۱۰۰ هزار کشته و ۲۵۰ هزار آواره ناشی از زلزله ثبت شده است.	آتش سوزی ۱۰ روز ساختمان‌های مرکز شهر را در خود سوزاند.	در شبکه توزیع آب که شامل لوله‌های ۱۶ اینچی و لوله‌های ۴ اینچی P.V.C. بود بیش از ۱۰۰ مورد شکست اتفاق افتاد.	[۱۷ و ۱۰، ۹]
۸	مکزیکو، ۱۹۸۵	M ۸/۱، شهر مکزیکو که در آن زمان ۷۲ هزار کیلومتر خط لوله را در خود جای داده بود دچار آسیب‌های جدی شد. لوله‌های مدفون در زیر خاک بیشتر دچار آسیب شدند.	اکثر لوله‌های قطور به واسطه اتصالات صلب و غیر انعطاف پذیر و عمدتاً از ناحیه سه راهی، چهارراه‌ها، شیرها و نقاط اتصال و ورود به سازه‌ها و ساختمان‌ها دچار شکستگی شدند.	[۶]	

ادامه جدول ۱

ردیف	محل و زمان زلزله	بزرگی زلزله (ریشتر) و شدت تخریب	آتش سوزی های پس از زلزله	ملاحظات	منبع
۹	السالوادور، ۱۹۸۶	M ۵/۴، در جریان این زلزله حدود ۲۴۰۰ مورد نشستی و شکستگی در شبکه‌های لوله‌کشی و عمدتاً بر روی خط لوله تامین آب گزارش گردید.	-	حدود ۸۰ کیلومتر از لوله‌های آب و حدود ۶۵ کیلومتر از لوله‌های فاضلاب دچار آسیب جدی شدند. بخشی از لوله‌های فلزی دچار تغییر شکل، و کج شدند.	[۹]
۱۰	لومو پریتا، ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹	M ۷/۱	حداقل ۲۵ حریق در ساختمان‌ها گزارش شده است.	شاه لوله‌های آب و بسیاری از لوله‌های آب در نواحی کوهستانی دچار آسیب‌های جدی شدند.	[۱۷]
۱۱	نورت‌ریج-سن فرناندو، ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴	M ۶/۷، شدت زلزله بر حسب مقیاس مرکالی اصلاح شده برای ناحیه‌ای به مساحت ۷۰۰ مایل مربع در شمال لس آنجلس بیش از ۸ بوده است.	در ابتدا حدود ۱۱۰ حریق رخ داد اما پس از زلزله‌های بعدی و حوادث ثانویه ناشی از زلزله مانند روشن و خاموش شدن برق حداقل ۵۰ حریق دیگر نیز رخ داد. در یک مورد شکست لوله نفت در خیابان باعث ایجاد حریق در خانه‌های اطراف شد.	تعداد زیادی نشت گاز در سطح شهر رخ داد. حداقل ۳۰۰۰ شکستگی در خط لوله آب نیز رخ داد و ایستگاه‌های آب رسانی و مخازن آسیب دیدند.	[۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶]
۱۲	کوبه، ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵	M ۶/۹، در محدوده‌ای به وسعت بیش از ۴۰۰ کیلومتر مربع با شدت بیش از ۸ در مقیاس اصلاح شده ی مرکالی گزارش شده است.	در همان ابتدا حداقل ۱۰۰ حادثه حریق رخ داد. نهایتاً مساحت ناحیه سوخته شده حدود یک میلیون متر مربع برآورد شد. گسترش حریق به ساختمان‌های مقاوم در برابر آتش عمدتاً از طریق بازشوها و سقف‌های فرو ریخته رخ داد.	به واسطه شکست ۲۳ نقطه در خطوط لوله، جریان آب کاملاً قطع گردید و حدود ۱/۵ میلیون نفر بدون آب ماندند.	[۲۷، ۲۸، ۲۹]
۱۳	کارپاکو، ونزوئلا ۱۹۹۷	M ۶/۹	-	لوله‌های مدفون در زیر خاک به شدت دچار آسیب شدند و در اثر نیروهای فشاری و خمشی ناشی از زلزله به شدت دچار آسیب گردید.	[۳۰ و ۳۱]
۱۴	ازمیت ترکیه، ۲۱ آگوست ۱۹۹۹	M ۷/۴	وقوع حریق در پالایشگاه توپراس و ساختمان‌های اطراف	حریق اصلی در پالایشگاه بوده است. حریق-های منازل تحت کنترل در آمده اند. لوله-کشی گاز شهری وجود نداشته است.	[۳۱ و ۳۲]

شامل تعیین تعداد افراد در معرض آتش و انفجار، تعیین مساحت منطقه سوخت شده و یا در معرض انفجار و تعیین تعداد واحدهای در معرض آتش و انفجار را در بر می‌گیرد.

## ۲- مطالعه موردی

شهرستان کرمانشاه با وسعت تقریبی ۸۵۴۷ کیلومتر مربع به عنوان شهرستان مرکز استان دارای اهمیت استراتژیک می‌باشد به صورتی که بعد مسافت از این شهر تا مرز خسروی (کشور عراق)، تا مرکز استان کردستان، تا

در این مقاله ابتدا به معرفی کلی شهر کرمانشاه از لحاظ جمعیت موجود و موقعیت جغرافیایی آن، گسل‌های فعال اطراف شهر، سوابق زلزله‌های تاریخی نزدیک شهر و متوسط وضعیت آب و هوایی شهر کرمانشاه پرداخته می‌شود. پس از آن خطوط لوله موجود در شهر به همراه نقشه‌های مربوطه معرفی می‌گردد. سپس جهت برآورد خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه الگوریتمی ارائه می‌شود که موارد تحلیل خطر لرزه‌ای، برآورد آسیب پذیری خطوط لوله، تحلیل خسارت اولیه منطقه، تعیین احتمال اشتعال در نقاط آسیب دیده در خطوط لوله و در نهایت تحلیل خسارت ثانویه منطقه

استان کرمانشاه را می‌توان، در امتداد شمال باختر به جنوب خاور، از نظر لرزه خیزی به سه بخش در پهنه با خطر بالا، متوسط و کم تقسیم کرد که شهرستان کرمانشاه در پهنه با خطر بالا واقع شده است [۳۳].

آب و هوای شهرستان کرمانشاه بواسطه قرار گرفتن در دامنه سلسله جبال بیستون و سفید کوه دارای آب و هوایی با اقلیمی نیمه خشک و استپی خنک است. در جدول ۲ متوسط فصلی وضعیت آب و هوایی شهر کرمانشاه قابل مشاهده می‌باشد [۳۵ و ۳۶].

خطوط لوله و مخابراتی نفت منطقه غرب یکی از مناطق یازده‌گانه شرکت خطوط لوله و مخابراتی نفت ایران است که وظیفه انتقال نفت خام و فرآورده را در مسیری به طول ۱۲۹، ۲۳۶ و ۱۷۹ کیلومتر در ناحیه جغرافیایی غرب کشور (استان‌های کرمانشاه، کردستان، ایلام و لرستان) بر عهده دارد. مرکز این منطقه در شهر کرمانشاه و در جوار پالایشگاه کرمانشاه قرار دارد و دارای ۴ مرکز انتقال نفت به نام‌های نفت شهر و پایطاق، تنگه‌فنی و برداسی، کرمانشاه و سنندج می‌باشد. در شکل ۲ مسیر عبور خطوط لوله در خارج از شهر کرمانشاه و در شکل ۳ مسیر عبور خطوط لوله در داخل شهر کرمانشاه قابل مشاهده می‌باشد [۱].

### ۳- تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله

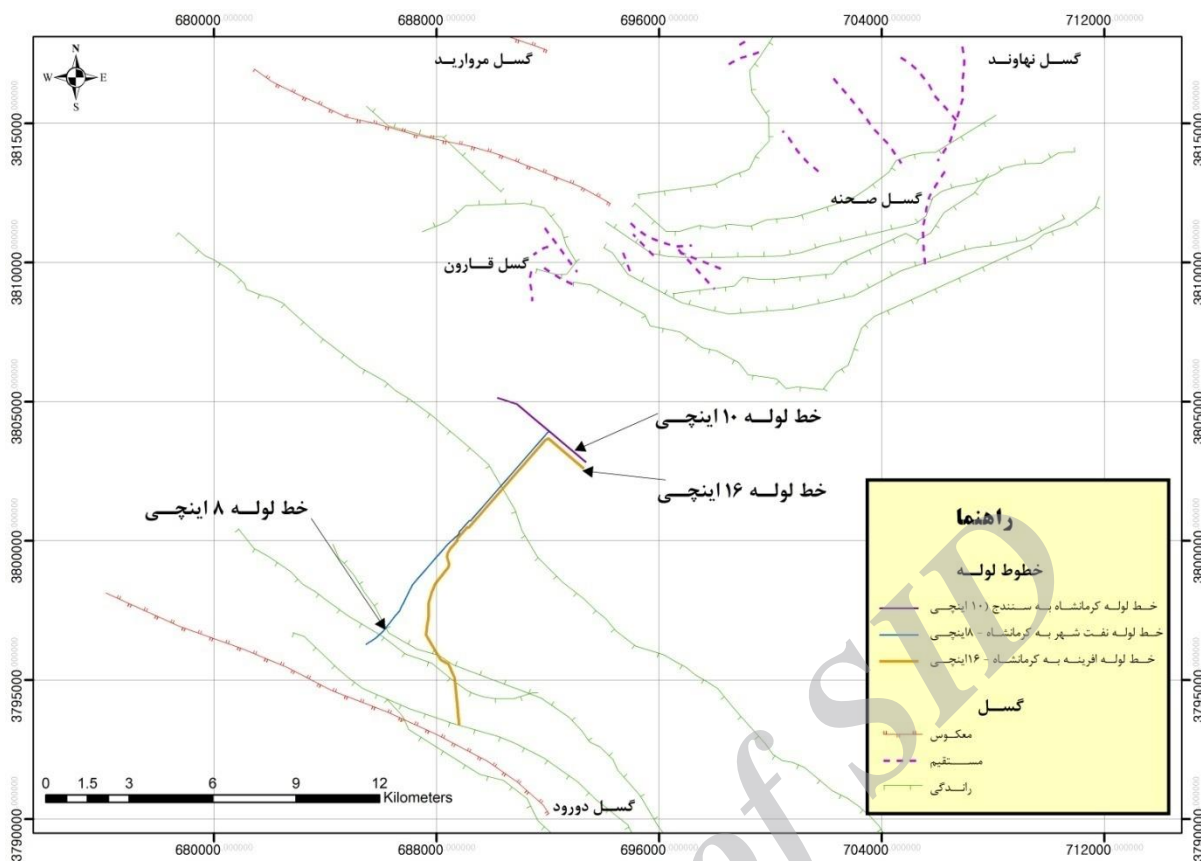
#### مدفون سوخت

الگوریتم پیشنهادی به منظور تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت در شکل ۴ آمده است. در گام اول ابتدا لایه‌های مورد نیاز به همراه اطلاعات هر یک بر اساس نقشه‌های کاربری [۳۷]، زمین‌شناسی [۲] و نقشه‌های خط لوله [۱] در محیط GIS تهیه شده است، که این لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار "ARC GIS" در قالب لایه‌های اطلاعاتی مجزا به سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد شده است.

مرکز استان همدان و تا مرکز استان لرستان با اندکی تفاوت تقریباً به یک اندازه است. کرمانشاه یکی از شهرهای بزرگ ایران می‌باشد که از شهرهای تاریخی و فرهنگی ایران است. پیدایش این شهر به قرن چهارم میلادی باز می‌گردد. شهر کرمانشاه در ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شمالی نسبت به نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است [۳۳]. بر پایه سرشماری سال ۱۳۸۵ خورشیدی، جمعیت این شهر بالغ بر ۹۷۰ هزار نفر بوده است که از این جهت نهمین شهر بزرگ ایران محسوب می‌گردد [۳۴].

کانون اصلی زلزله‌های استان در حاشیه خاوری استان کرمانشاه (حوالی کنگاور) واقع گردیده و هر چه از آن به سمت غرب حرکت کنیم انرژی زلزله‌ها کاهش می‌یابد. به طوری که در حاشیه باختری (سرپل ذهاب، قصرشیرین، گیلان‌غرب)، هیچ گونه اثر مخربی از زلزله دیده نمی‌شود. ناحیه کرمانشاه در امتداد گسل فعال زاگرس در گستره مورد مطالعه قرار گرفته که گسل صحنه با طول حدود ۱۰۰ کیلومتر، بخشی از گسل اصلی مذکور بوده که از حوالی نهاوند تا کوه‌های مروارید (جاده بین کامیاران - سنندج) ادامه دارد و به سه قطعه تقریباً مساوی جنوب شرقی، میانی و شمال غربی قابل تقسیم است [۳۳]. نقشه گسل‌های اطراف خط لوله کرمانشاه در شکل (۱) قابل مشاهده می‌باشد.

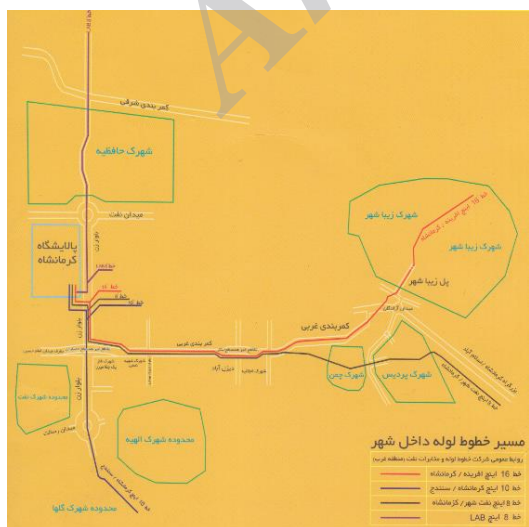
سابقه تاریخی وقوع زلزله در زاگرس گویای آن است که منطقه کرمانشاه از زمان‌های قدیم در معرض زمین‌لرزه‌های شدید قرار داشته و در طول تاریخ بارها شاهد خرابی‌های فراوانی بوده است. رخداد زلزله‌های سال ۱۲۸۳ هجری شمسی شهر دورود با بزرگی ۷/۴ ریشتر، ۱۳۳۶ فارسینج (نزدیک سنقر) با بزرگی ۷ ریشتر و سال ۱۳۳۷ نهاوند با بزرگی ۶/۶ ریشتر در سده بیستم نشانه‌ای از ناآرام بودن منطقه از دیدگاه لرزه زمین‌ساخت است [۳۳]. 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.



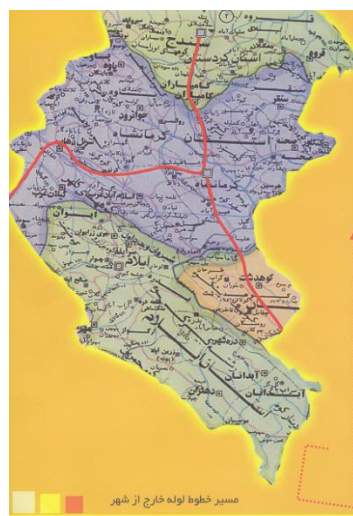
شکل ۱- نقشه گسل‌های اطراف شهر کرمانشاه به همراه خطوط لوله [۲]

جدول ۲- متوسط وضعیت آب و هوایی شهر کرمانشاه [۳۵ و ۳۶]

فصل	متوسط حداقل دما (°C)	متوسط حداکثر دما (°C)	متوسط میزان بارش (mm)	متوسط حداقل رطوبت	متوسط حداکثر رطوبت	متوسط جهت باد	متوسط درصد تابش خورشید	متوسط سرعت باد (m/s)	میزان بیداری هوا
بهار	۹.۱۶۱	۲۶.۲۱	۱.۵۰۹۹	۴۶%	۰.۸۵	مغرب	۳۰%	۳.۲	پایداری متوسط
تابستان	۱۷.۱۴	۳۷.۷۵	۰.۷۵۸	۸%	۰.۳۴	مغرب	۴۸%	۲.۵	بسیار پایدار
پاییز	۴.۸۶۷	۲۲.۲۷	۰.۶۲۱۲	۲۴%	۰.۶۳	مغرب	۳۴%	۳.۳	پایداری متوسط
زمستان	۲.۱۱۲	۱۴.۲۴	۱.۸۷۹۹	۴۶%	۰.۸۵	مشرق	۲۰%	۴.۱	پایدار

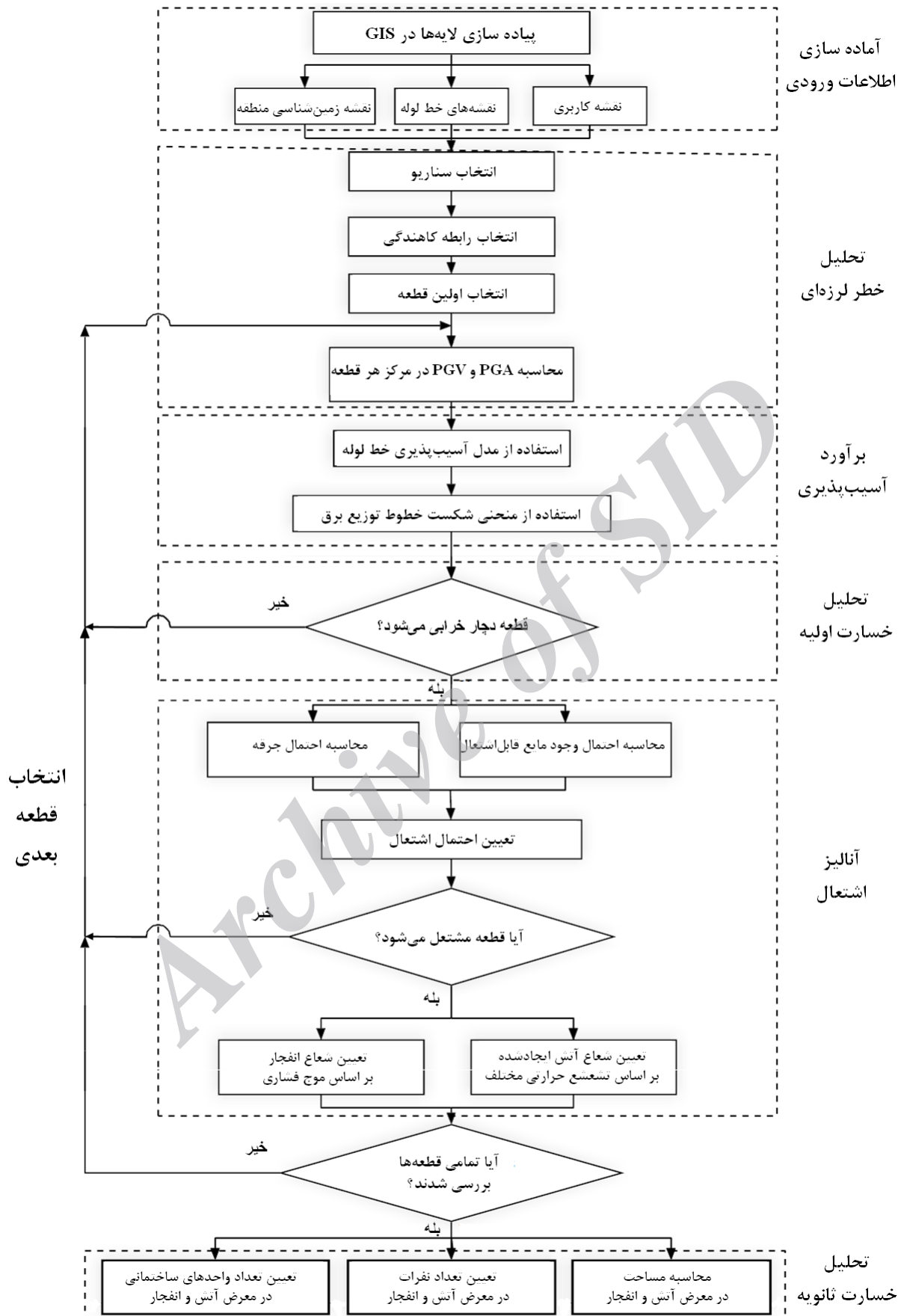


شکل ۳- مسیر عبور خطوط لوله در داخل شهر کرمانشاه [۱]



شکل ۲- مسیر خطوط لوله در خارج از شهر کرمانشاه [۱]



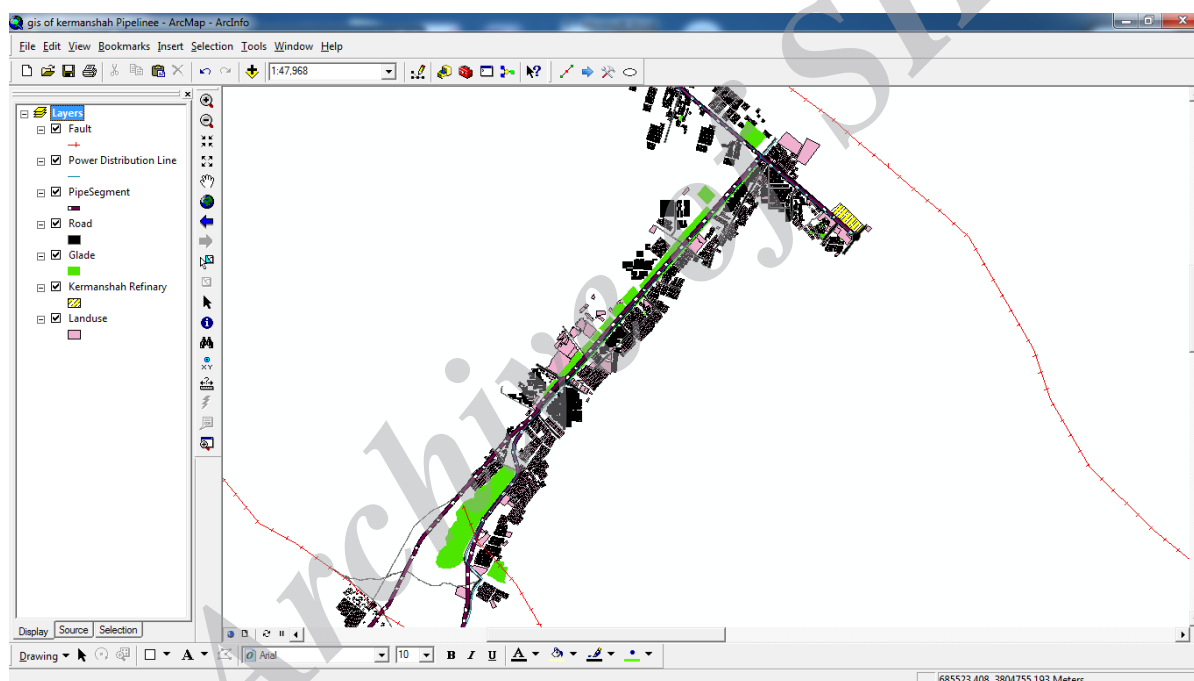


شکل ۴- الگوریتم تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت ارائه شده برای هر تکرار در شبیه‌سازی مونت کارلو

۴. لایه اطلاعاتی مربوط به گسل‌های موجود در منطقه بر اساس اطلاعات مربوط به نوع گسل و طول گسل به کمک نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه [۲]؛
۵. لایه اطلاعاتی مربوط به محل خطوط توزیع برق هوایی؛
۶. لایه اطلاعاتی مربوط به خطوط لوله به همراه تمامی اطلاعات مورد نیاز هر خط لوله از قبیل نوع مواد موجود در خط لوله، فشار، دبی، قطر، ضخامت، جنس و شیب هر خط لوله براساس مختصات جغرافیایی به کمک نقشه‌های خط لوله [۱].

لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای تحلیل خسارت خطوط لوله سوخت مطابق شکل ۵ به سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد شده و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری و برنامه‌نویسی این سامانه، تحلیل خسارت خط لوله بر اساس الگوریتم تهیه شده در آن مورد آنالیز قرار می‌گیرد. این لایه‌ها عبارتند از:

۱. لایه اطلاعاتی مربوط به تمامی کاربری‌های موجود در اطراف خط؛
۲. لایه اطلاعاتی مربوط به فضای سبز و باز اطراف خط لوله؛
۳. لایه اطلاعاتی مربوط به خیابان‌ها؛



شکل ۵- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در این مقاله در محیط GIS

همین منظور برای لحاظ نمودن اثرات زمین‌لرزه (PGA و PGV) بر خطوط لوله مدفون نفت کرمانشاه، از روابط کاهندگی مربوط به ایران و منطقه زاگرس [۳۸]، استفاده می‌گردد.

در این تحقیق دو سناریوی برای تعیین محل زلزله‌های محتمل، انتخاب گردید. سناریو اول که سناریوی بدبینانه می‌باشد، در محل گسل‌های نزدیک خطوط لوله لحاظ

در گام دوم این الگوریتم، به تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه بر اساس سناریوهای محتمل پرداخته می‌شود. برای هر سناریو زلزله مشخص مقادیر پاسخ خطر زلزله از قبیل حداکثر شتاب زمین ( $PGA^1$ ) و حداکثر سرعت زمین ( $PGV^2$ ) برای هر قطعه<sup>۳</sup> از خط لوله تعیین می‌گردد. به

<sup>1</sup> - Peak Ground Acceleration

<sup>2</sup> - Peak Ground Velocity

<sup>3</sup> - Segment



محلی سابقه وقوع زلزله داشته باشد، احتمال تکرار مجدد زلزله در آن محل وجود دارد. مشخصات این دو سناریو به شرح جدول ۳ می‌باشد [۳].

شده است. سناریوی دوم که سناریویی واقع بینانه می‌باشد، در محل زلزله‌های تاریخی نزدیک به منطقه که شدت بالایی در زمان وقوع داشته انتخاب گردید؛ چراکه

جدول ۳- سناریوهای منتخب

شماره سناریو	عمق کانونی (Km)	طول جغرافیائی زلزله احتمالی (UTM)	عرض جغرافیائی زلزله احتمالی (UTM)	بزرگای لنگری زلزله سناریو	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

مراحل بعدی از آنالیزهای نشت پیروی می‌کند و چنانچه قطعه مربوطه دچار شکستگی شده باشد، در مراحل بعدی از مقادیر آنالیزهای شکست استفاده می‌کند. به این ترتیب در هر سناریوی زلزله و در هر تکرار مونت کارلو، شماره لوله‌هایی که در معرض شکست یا نشت قرار می‌گیرند مشخص می‌شود و شکست یا نشت به لوله‌های مشخص شده اعمال می‌شود.

در گام پنجم الگوریتم، از روش درخت منطقی<sup>۵</sup> برای تخمین احتمال وقوع اشتعال‌های ناشی از خطوط لوله سوخت آسیب دیده پس از زلزله استفاده می‌شود. مدل‌های اشتعال که در اغلب مدل‌های آتش سوزی پس از زلزله وجود دارد، براساس روابط تجربی، تعداد اشتعال‌ها را در برابر چگالی ساختمان‌ها (مساحت) و پارامتر جنبش زمین محاسبه می‌کنند، همچنین تفکیکی میان اشتعال‌هایی که در داخل ساختمان‌ها و یا در خارج از ساختمان‌ها رخ می‌دهد در این مدل‌ها وجود ندارد. در حالی که مدل اشتعال پیشنهادی قادر به تشخیص اشتعال‌های خارج ساختمان در اثر شکست خطوط لوله سوخت می‌باشد. علاوه بر شدت زلزله و چگالی ساختمان‌ها در یک منطقه عوامل دیگری نظیر وجود انواع شریان‌های طبیعی و عملکرد آنها هنگام زلزله بر احتمال وقوع اشتعال‌های خارج از ساختمان پس از زلزله موثر هستند.

در گام سوم این الگوریتم، بر اساس رابطه موجود برای برآورد آسیب پذیری لوله‌ها (توابع خسارت خطوط لوله بر اساس مدل HAZUS)، نرخ تعمیر<sup>۱</sup> و احتمال خرابی ( $P_f$ ) هر قطعه از لوله بدست می‌آید [۳۹]؛ همچنین برای تعیین احتمال عبور از هر یک از سطوح خرابی در شبکه خطوط توزیع برق هوایی از منحنی‌های شکست<sup>۲</sup> شبکه توزیع برق هوایی بر اساس مدل Risk-UE استفاده می‌شود [۴۰].

در گام چهارم از مقایسه احتمال خرابی محاسبه شده با یک مقدار تصادفی، وضعیت خرابی خط لوله تعیین می‌گردد. به عبارتی دیگر احتمال خرابی بدست آمده برای هر قطعه<sup>۳</sup> از خط لوله، با یک مقدار تصادفی بین صفر تا یک کنترل می‌گردد، سپس هر قطعه از لوله را که احتمال خرابی آن بیش از آن مقدار تصادفی بود به عنوان قطعه آسیب دیده مشخص می‌گردد. بعد از این مرحله باید تشخیص داده شود که قطعه انتخاب شده دچار شکستگی یا نشت شده است. به همین منظور نشت یا شکست آن قطعه، به طور تصادفی انتخاب می‌شود. این بدین مفهوم است که در این گام مشخص می‌شود که قطعه مورد آنالیز در آن حلقه (تکرار)<sup>۴</sup>، نشت پیدا کرده یا دچار شکست شده است. چنانچه آن قطعه دچار نشت شده باشد، در

<sup>1</sup> - Repair Rate

<sup>2</sup> - Fragility Curve

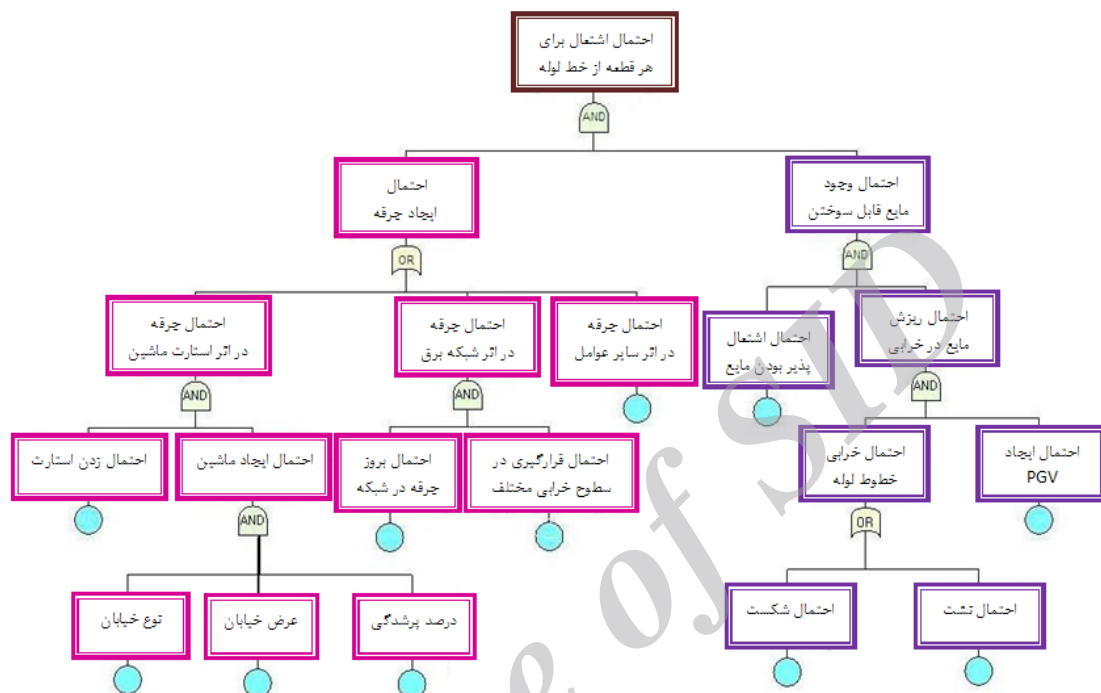
<sup>3</sup> - Segment

<sup>4</sup> - Iteration

<sup>5</sup> - Logical Tree

درخت نیز برای تعیین احتمال اشتعال لوله برای سطوح خرابی کم، متوسط، وسیع و کامل، زمانی که خط لوله شکسته شود) محاسبه می‌گردد. درخت منطقی ارائه شده در این تحقیق مطابق شکل ۶ می‌باشد.

احتمال‌های اشتعال در هر قطعه از لوله که دچار نشت یا شکست شده باشد، از طریق ۸ درخت منطقی (۴ درخت برای تعیین احتمال اشتعال برای سطوح خرابی کم، متوسط، وسیع و کامل، وقتی لوله دچار نشت شود؛ ۴



شکل ۶- درخت منطقی مربوط به وقوع اشتعال در هر قطعه از خط لوله‌ای که دچار نشت یا شکسته شده

خسارت<sup>۱</sup> که یکی از نرم افزارهای موجود در زمینه مدل-سازی پخش مواد و مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار می‌باشد، استفاده شده است. اطلاعات مورد نیاز برای مدل سازی با نرم افزار ارزیابی پیامد خسارت، به صورت زیر داده شده است [۴۱ و ۴۲]:

۱. داده‌های مربوط به منبع انتشار مواد: برای مدل‌سازی به وسیله نرم افزار ارزیابی پیامد خسارت باید ابتدا مشخصات منبع انتشار را مشخص کرد. اطلاعات مورد نیاز در این بخش شامل نوع مواد، مقدار و شرایط عملیاتی نظیر دما و فشار مورد نظر می‌باشد.
۲. انتخاب سناریوی حریق و انفجار: برای انتخاب سناریو-ها از استانداردهای ارائه شده توسط شرکت دی این

مدل اشتعال ارائه شده مبتنی بر زلزله سناریو می‌باشد و احتمال وقوع اشتعال را در اثر زلزله سناریو برای واحد تحلیل (هر قطعه از خط لوله) محاسبه می‌کند. در مدل ارائه شده فرض شده که هر خط لوله به چندین قطعه با طول‌های مساوی (واحدهای تحلیل) تقسیم می‌شوند. در روش پیشنهادی با استفاده از روش تجمیع احتمال آماری درخت منطقی، احتمال وقوع اشتعال در هر قطعه خط لوله با احتمال وقوع سطوح مختلف خرابی شبکه توزیع برق ترکیب می‌گردد و احتمال وقوع اشتعال برای کلیه قطعات خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه محاسبه می‌شود.

در گام ششم برای تعیین مدل آتش‌سوزی و انفجار، از مدل‌سازی پیامد حادثه به کمک نرم‌افزار ارزیابی پیامد

<sup>1</sup> - PHAST

۷. شعاع انفجار خطوط لوله برای شدت موج فشاری بیش از  $3 \text{ Psig}$

در انتهای این گام، تمامی اطلاعات لازم مورد نیاز برای انجام تحلیل آماده شده است.

گام هفتم به تحلیل خسارت ثانویه این پروژه اختصاص داده شده است که به عنوان اصلی‌ترین قسمت این الگوریتم می‌باشد. برای تعیین وضعیت اشتعال قطعات لوله خسارت دیده، احتمال اشتعال آن قطعه از لوله با یک مقدار تصادفی بین صفر تا یک مقایسه می‌گردد و در صورتیکه عدد تصادفی حاصل کمتر از احتمال اشتعال باشد فرض می‌شود لوله خسارت دیده مشتعل می‌گردد.

پس از آنکه وضعیت اشتعال و انفجار قطعه‌هایی که دچار نشت یا شکست شده بودند تعیین گردید و از مقادیر مربوط به ۷ پیامد آتش و انفجار (شعاع در جهت باد و شعاع در جهت عمود بر باد) برای قطعه‌های مشتعل شده که در صفت<sup>۲</sup> هر قطعه موجود می‌باشد، استفاده شد؛ منطقه تحت تاثیر به شکل بیضی بر روی قطعات خطوط لوله مذکور انداخته شده و برنامه این آنالیز را برای سناریوی زلزله تعریف شده و هر کدام از شعاع‌های آنالیز آتش و انفجار انجام می‌دهد. به عبارتی دیگر برای هر قطعه از خطوط لوله مشتعل شده که دچار نشت یا شکست شده است، از مقادیر مربوط به ۷ پیامد آتش و انفجار همان قطعه استفاده می‌شود و پس از رسم بیضی‌های موجود (با توجه به جهت باد منطقه که در برنامه قابل تغییر می‌باشد)، نرم افزار تهیه شده به طور خودکار و اتوماتیک با استفاده از مراحل قبل و با در نظر گرفتن همپوشی مناطق تحت تاثیر توسط بیضی‌های رسم شده موارد زیر را محاسبه می‌کند.

۱. محاسبه کل مساحتی که تحت تاثیر آتش و انفجار ایجاد شده در اثر زلزله برای تمام خطوط لوله منطقه در هر کدام از سناریوهای محتمل زلزله و ۷ پیامد آتش و انفجار، قرار گرفته‌اند.

وی<sup>۱</sup> استفاده شد [۴۱]. سناریوهای منتخب برای محاسبه پیامدهای خطوط لوله فرآورده‌های نفتی در شهر کرمانشاه، شامل ۱۵ سناریو برای حالت نشت و شکست خط لوله می‌باشد. 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 در آنالیز خروجی نرم‌افزار، به عنوان نتایج ورودی مدل-سازی تحلیل خسارت شبکه در محیط GIS وارد می-شود.

۳. موقعیت مکانی: منظور از موقعیت مکانی، محل خرابی خط لوله می‌باشد که در مرکز هر قطعه از خط لوله فرض شده است.

۴. شرایط آب و هوایی: با توجه به تاثیر گذار بودن نوع شرایط آب و هوایی بر روی نتایج حاصل از مدل‌سازی حوادث، از اطلاعات هواشناسی ثبت شده در فصل زمستان شهر کرمانشاه استفاده شد.

سپس در این بخش بر اساس سناریوهای تعریف شده در مراحل قبل، از آنالیزهای مربوط به نرم‌افزار ارزیابی پیامد خسارت برای تمام قطعات لوله استفاده شد. نتایج خروجی این آنالیز به عنوان ورودی برای هر قطعه از لوله در نرم-افزار تهیه شده در محیط GIS وارد گردید. نتایج خروجی آنالیز نرم‌افزار ارزیابی پیامد خسارت، 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 می-باشد. این ۷ پیامد عبارتند از:

۱. شعاع آتش فورانی برای شدت گرمای  $4 \text{ Kw/m}^2$
۲. شعاع آتش فورانی برای شدت گرمای  $12/5 \text{ Kw/m}^2$
۳. شعاع آتش فورانی برای شدت گرمای  $37/ \text{ Kw/m}^2$
۴. شعاع آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱٪
۵. شعاع آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰٪
۶. شعاع آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰۰٪

<sup>2</sup> - Attribute

<sup>1</sup> - DNV

قابل مشاهده می‌باشد. دسته دوم، نتایج حاصل از تحلیل-های آماری می‌باشد که در ادامه دو نوع نتایج آمده است.

#### ۴-۱- نتایج حاصل از برنامه

نتایج خروجی برنامه در قالب دو دسته ماتریس و یک لایه گرافیکی به شرح زیر قابل مشاهده می‌باشد:

۱. در یک ماتریس، نتایج مربوط به تحلیل خطر، نرخ تعمیر و احتمال خرابی 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 تکرار مونت کارلو، مطابق شکل ۷ ذخیره می‌شود.

۳. در یک لایه اطلاعاتی نیز برنامه می‌تواند به صورت گرافیکی میزان در معرض قرارگیری در برابر آتش و یا انفجار را برای قطعات لوله در تکرارهای مختلف مطابق شکل ۸ نمایش دهد.

#### ۴-۲- نتایج تحلیل‌های آماری

نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری، شامل ۲۴ خروجی استخراج شده از برنامه در هر سناریو می‌باشد، که پس از آنالیزهای آماری به دو صورت نمودارهای هیستوگرام و جداول فراوانی قابل مشاهده می‌باشند. به عنوان نمونه نتایج حاصل بصورت نمودارهای هیستوگرامی که فرکانس وقوع هر یک از خروجی‌ها را تعیین می‌کند، تهیه شده است. برای تعیین اینکه اطلاعات جمع‌آوری شده از چه توزیعی تبعیت می‌کند؛ از آزمون نیکوئی برازش به کمک نرم‌افزار SPLUS استفاده شده است. نمودارهای هیستوگرام تعداد اشتعال که از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و نمودار هیستوگرام احتمال وقوع مساحت منطقه سوخته شده برای تشعشع حرارتی  $4 \text{ Kw/m}^2$  (سوختگی درجه اول یا به عبارتی دیگر، ایجاد درد در افرادی که حداقل ۲۰ ثانیه در معرض آن باشند) که از توزیع نرمال تبعیت می‌کند؛ در شکل‌های ۹ و ۱۰ برای سناریو شماره ۱ نمایش داده شده است.

۲. محاسبه تعداد کل واحدهای ساختمانی که تحت تاثیر آتش و انفجار ایجاد شده در اثر زلزله برای تمام خطوط لوله منطقه در هر کدام از سناریوهای محتمل زلزله و ۷ پیامد آتش و انفجار، قرار گرفته‌اند.

۳. محاسبه تعداد کل نفراتی که تحت تاثیر آتش و انفجار ایجاد شده در اثر زلزله برای تمام خطوط لوله منطقه در هر کدام از سناریوهای محتمل زلزله و ۷ پیامد آتش و انفجار، قرار گرفته‌اند.

این فرآیند برای هر سناریوی زلزله، به تعداد دفعات زیاد (مثلاً ۱۰ هزار بار) بر اساس روش شبیه‌سازی مونت کارلو تکرار می‌شود تا عدم قطعیت‌های مربوط به اینکه در هر سناریوی زلزله کدام لوله‌ها در معرض شکست یا نشت قرار می‌گیرند مدل‌سازی گردد. مسلماً با این روش، لوله‌هایی که نرخ شکستگی بالایی دارند، بیشتر در معرض شکست یا نشت قرار می‌گیرند. بالا بودن نرخ شکستگی لوله به دلیل بالا بودن مقدار PGV در مرکز آن باشد.

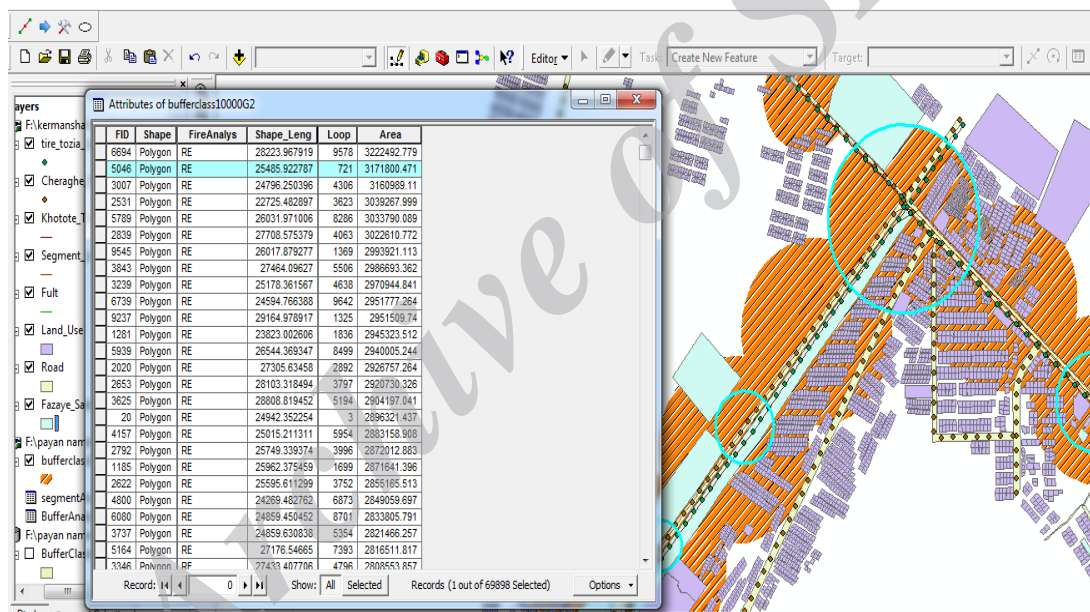
نتیجه خروجی ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی در انتها با کمک نرم‌افزارهای آماری به شکل نمودارهایی خلاصه می‌گردد؛ که از طریق آن می‌توان مساحت‌های سوخته شده در اطراف خطوط لوله، تعداد خانه‌ها و نفراتی که تحت تاثیر آتش‌سوزی‌ها و انفجارهای اطراف خطوط لوله قرار گرفته‌اند را برای هر سناریو و زلزله محتمل تعیین نمود. با مشاهده این نتایج می‌توان میزان خسارات محتمل را تعیین نمود و تمهیدات مناسب را برای ایمن‌سازی شبکه در جهت تقلیل این خسارات تعیین نمود. تمهیدات مورد نظر برای پیشگیری و کاهش اثرات سانحه، می‌تواند در اختیار کاربران، مدیران بحران و شرکت‌های نفت و خطوط لوله برای برنامه‌ریزی فازهای مختلف سوانح، قرار گیرد.

#### ۴- نتایج تحلیل

در این مقاله دو دسته کلی نتایج موجود است. یک دسته نتایج خروجی برنامه می‌باشد، که در قالب ماتریس‌هایی

Loop	Leakage	Break	Ignition	AJ4kw	AJ12kw	AJ17kw	AJPL1	AJPL10	AJPL100	AEPsig	NPJ4kw	NPJ12kw	NPJ17kw	NPJPL1	NPJPL10	NPJPL100	NPE3sig	NSJ4kw	NSJ12kw	NSJ17kw	NSJPL1	NSJPL10	NSJPL100	
1	20	8	28	1067281.92	400886.59	152711.84	452989.76	237504.04	120445.88	226895.74	9213	8071	7621	8252	7999	572	12656	434	183					
2	19	3	22	620126.798	249308.02	101294.98	269521.51	198996.85	78962.645	1268492.57	8282	7609	7410	7698	7587	368	9270	149	64					
3	14	8	22	1309733.57	469266.90	171959.86	557907.46	306069.25	117540.79	2896321.42	6817	1980	670	2442	1530	459	15694	1215	339					
4	18	5	23	882710.786	338444.91	130646.49	399457.57	248644.83	83776.844	1907776.08	13394	8586	7475	8935	7982	379	20694	1129	344					
5	18	4	22	769517.727	302993.12	121259.35	336718.41	2144891.52	90416.936	1613819.11	4907	1985	996	2309	1275	814	16872	981	376					
6	17	3	19	594087.847	229227.36	97280.473	244968.79	127290.473	344968.79	266351.03	7730	7174	7090	7203	7171	81	3258	104	43					
7	19	6	25	889875.182	329553.41	127451.31	353733.33	238009.13	105797.05	1862196.04	12180	8852	7709	9034	7961	543	18966	1048	316					
8	19	6	25	819436.096	315839.52	122200.94	369829.12	282270.12	80402.261	1816029.63	5851	1893	780	2338	1794	600	14298	993	362					
9	18	2	20	658626.295	257400.77	101937.42	312699.66	206958.54	56803.289	1392191.11	10580	7942	7492	8152	7906	393	14284	519	155					
10	19	6	25	1020926.21	379035.85	142331.05	436289.54	215163.52	100549.13	2187662.93	6519	1674	762	2079	1094	607	15066	1151	307					
11	13	4	16	655441.849	247624.61	93480.527	320981.63	161838.10	51168.651	1432092.20	8847	7384	7046	7498	360	350	12750	426	91					
12	17	6	21	836370.749	319369.25	121627.31	358820.33	229694.52	89564.413	1792369.43	3354	931	175	1082	568	139	7219	399	130					
13	15	3	16	517980.169	207759.42	81467.207	234899.12	159601.76	59581.413	1087411.03	1656	840	410	964	575	327	3628	204	83					
14	18	5	23	717086.847	288272.57	114663.93	321003.00	235317.85	87208.395	1474011.69	2421	1051	593	1207	979	559	4913	445	164					
15	18	4	22	933021.393	356285.84	139192.47	379021.82	229979.70	122301.09	1901799.07	1542	717	447	860	677	430	3481	223	100					
16	16	2	18	571780.952	226053.00	89107.499	226955.55	177014.74	83071.731	1172223.98	993	395	105	436	366	89	2169	163	69					
17	15	7	22	1104739.53	411789.21	156904.91	464196.35	283775.13	120060.4	2390381.78	6674	2144	734	2648	1167	562	14547	1143	352					
18	16	8	24	1021883.15	380724.64	143238.25	459672.45	221759.65	93074.309	2252890.13	10912	8329	7607	8548	7716	512	17919	717	242					
19	21	3	24	781764.004	305169.83	120837.59	339422.66	215607.93	90226.279	1638945.85	11859	8581	7740	8778	7968	656	16463	699	282					
20	17	5	21	760846.899	299127.80	116333.65	332375.09	209913.75	87841.43	1598315.53	8747	7902	7422	8003	7621	377	12016	298	105					
21	18	2	19	595475.869	204049.16	82441.83	246437.97	158297.75	46037.935	1065995.08	1981	912	551	1059	853	477	3652	314	140					
22	26	4	30	1026560.43	400435.32	156315.75	459823.30	309178.01	109646.03	2175459.25	3190	1386	489	1696	1056	402	7609	556	179					
23	18	6	22	786526.52	297310.17	112025.24	333063.33	173194.59	84967.075	1692161.72	1103	245	130	242	229	168	1072	166	38					
24	12	5	17	638271.56	243934.67	94817.349	287064.88	158851.02	64923.058	1355576.46	3226	950	403	1260	331	250	7527	665	214					
25	21	8	29	1059905.99	391594.48	150053.96	466285.84	298555.40	95236.03	2276501.85	14404	8008	7144	8362	7914	123	22580	1004	226					
26	9	4	13	480194.952	178788.49	83823.709	219963.93	97926.115	35484.428	1073912.40	2130	756	105	831	277	89	6173	321	99					
27	15	4	19	690334.45	268870.04	105516.26	317050.21	182458.21	69944.091	1467835.65	3459	1394	569	1613	585	453	8124	638	196					
28	21	2	19	694087.847	204049.16	82441.83	246437.97	158297.75	46037.935	1065995.08	1981	912	551	1059	853	477	3652	314	140					
29	14	5	18	672957.21	268868.78	99668.528	290594.32	208002.11	77747.343	1434996.47	8082	1655	597	2104	1016	527	13564	885	315					
30	17	2	18	488834.579	202232.72	82589.12	208781.83	187785.73	68856.65	953638.901	1102	413	166	395	368	188	2514	195	83					
31	16	3	19	529066.769	209462.48	84891.137	237516.58	161893.98	59692.686	1087462.46	4356	1302	608	1524	731	487	7853	596	212					
32	18	2	19	646262.842	258447.47	104986.64	293423.43	206084.20	70285.052	1297297.92	9113	7879	7205	7991	7599	202	12019	362	134					
33	10	5	15	462090.16	179109.06	67051.56	220177.06	131498.90	38937.915	1009899.60	9114	7835	7434	8129	7779	376	10794	393	132					
34	18	2	20	607707.255	244260.59	99242.326	280848.13	230158.33	66960.679	1274180.20	8937	7891	7471	7939	7848	413	13394	385	140					
35	22	3	25	859536.416	330246.79	129346.09	356332.06	240709.96	105047.23	1838592.01	10740	8424	7518	8518	8111	418	16620	767	265					
36	21	3	24	719420.816	280706.83	122310.49	341512.16	217566.88	89916.402	1822399.02	10206	8206	7590	8420	989	275	15218	809	209					
37	9	2	11	489953.358	188161.79	73052.857	212897.16	140402.13	51329.104	1074329.20	2722	916	312	1094	852	216	7338	615	208					
38	19	4	23	1024504.34	386615.10	150048.07	415128.31	331751.03	127743.31	2148779.72	10752	2159	700	2645	1593	573	21116	1606	437					
39	20	3	23	657403.266	223147.94	89796.943	255325.39	174551.54	61576.121	1197946.84	1149	686	469	766	664	398	2591	184	79					
40	17	8	26	1170487.11	436655.29	158880.17	404601.13	270954.81	110210.75	2632551.08	13640	8758	7645	9171	8059	404	49104	867	272					

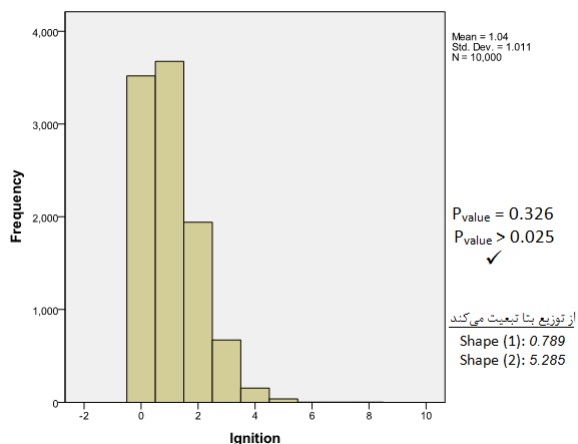
شکل ۷- نمونه ماتریس نتایج خروجی تحلیل ریسک برای سناریو شماره ۱



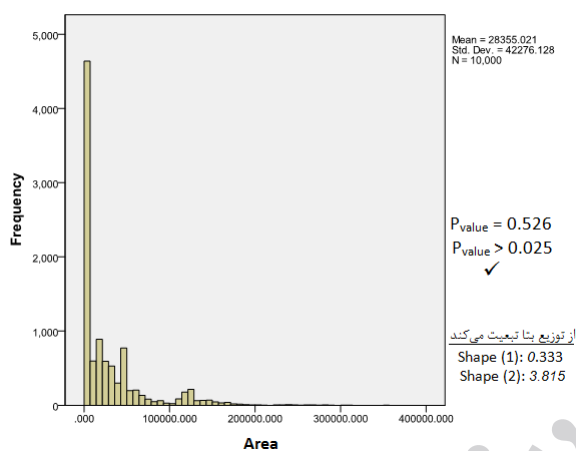
شکل ۸- نمایش گرافیکی مناطق متأثر از آتش‌سوزی و انفجار برای سناریو ۱

که از توزیع بتا پیروی می‌کند، در شکل ۱۳ قابل مشاهده می‌باشد و نمودار مذکور برای سناریو ۲ که از توزیع بتا پیروی می‌کند در شکل ۱۴ موجود می‌باشد. نتایج حاصل از تعداد واحدهای در معرض انفجار با موج فشاری بیش از ۳ Psi (موج انفجاری که تجهیزات اصلی آسیب غیر قابل جبران می‌بینند) در اثر خرابی خطوط لوله مدفون سوخت که برای سناریو ۱ از توزیع گاما و سناریو ۲ از توزیع بتا

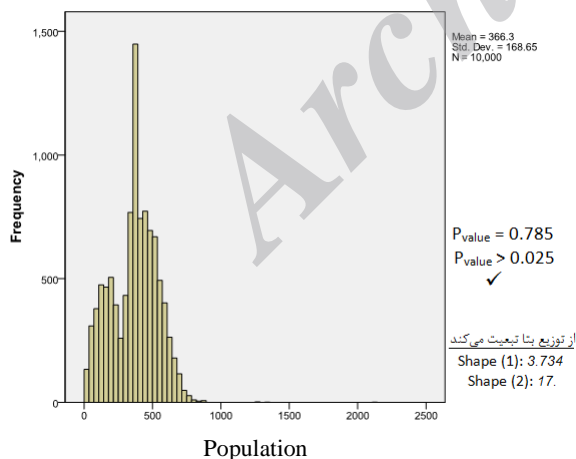
نمودارهای هیستوگرام تعداد اشتعال که از توزیع بتا تبعیت می‌کند و نمودار هیستوگرام احتمال وقوع مساحت منطقه سوخته شده برای تشعشع حرارتی  $4 \text{ Kw/m}^2$  که از توزیع بتا تبعیت می‌کند؛ در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ برای سناریو شماره ۲ نمایش داده شده است. جهت مشاهده تعداد نفرات در معرض آتش‌سوزی در شهر کرمانشاه ناشی از خرابی خطوط لوله مدفون سوخت، به عنوان نمونه برای تعیین احتمال مرگ ۱۰۰٪ که در سناریو ۱



شکل ۱۱- نمودار هیستوگرام تعداد اشتعال در سناریوی شماره ۲



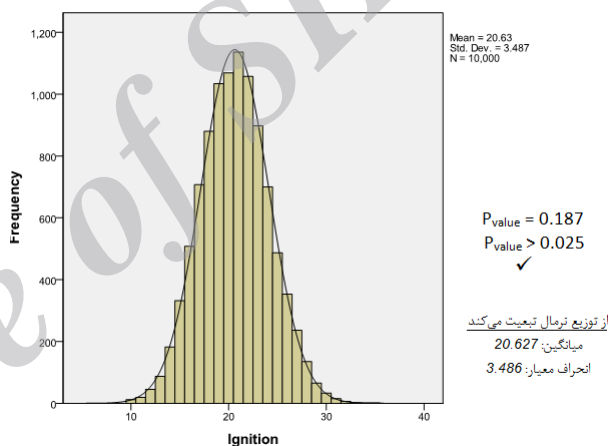
شکل ۱۳- نمودار هیستوگرام مساحت‌های آتش‌سوزی در سناریوی ۲



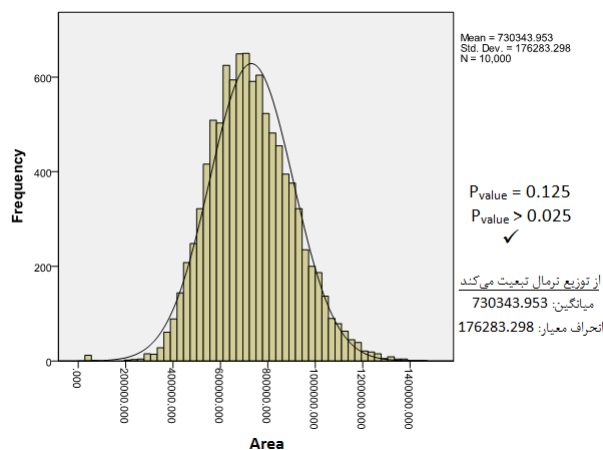
شکل ۱۳- نمودار هیستوگرام تعداد نفرات در معرض آتش‌سوزی با احتمال مرگ ۰.۱۰۰٪ در سناریوی شماره ۱

تبعیت می‌کند، به ترتیب در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ قابل مشاهده می‌باشند.

در جدول ۴، فراوانی مربوط به آسیب‌های وارده بر شهر کرمانشاه که حاوی ۶ خروجی مهم از کل خروجی‌ها می‌باشد، در دو سناریوی زلزله ۱ و ۲ قابل مشاهده می‌باشد. در این جدول مقادیر مربوط به میانگین ۱۰ هزار تکرار برای ۶ خروجی بدست آمده است. همچنین مقادیر ماکزیمم و مینیمم هر خروجی به همراه شماره حلقه‌ی تکراری که در آن ماکزیمم و مینیمم حاصل شده، آمده است، که آن مقادیر ماکزیمم و مینیمم بصورت هاشور خورده در جدول برای هر خروجی مشخص گردیده است.



شکل ۹- نمودار تعداد اشتعال در سناریوی شماره ۱



شکل ۱۰- نمودار هیستوگرام مساحت‌های آتش‌سوزی در سناریوی ۱



متصور شد. به طور خلاصه نتایج بدست آمده از هر دو سناریو بصورت زیر می‌باشد:

۱. سناریو اول (وقوع زلزله‌ای با بزرگای لنگری ۷/۵ در روی گسل کرمانشاه): به طور خلاصه نتایج سناریو اول عبارتند از:

- وقوع ۱۷ نشت، ۴ شکست و ۲۱ اشتعال؛ ناشی از آسیب لرزه‌ای خطوط لوله سوخت.

- مساحت آتش‌سوزی با گرمائی ۳۷  $\text{kw/m}^2$  بالغ بر ۱۰۰ هزار مترمربع در اطراف خط لوله کرمانشاه می‌باشد که منجر به خسارت به واحدها و تجهیزات فرآیندی و ایجاد مرگ آنی برای افراد در معرض آن می‌گردد.

- مساحت انفجار بالغ بر ۱/۵ کیلومترمربع در اطراف خط لوله کرمانشاه در اثر وقوع انفجار، موج فشاری بیش از ۳  $\text{Psig}$  تولید کرده که منجر به آسیب غیر قابل جبران به تجهیزات اصلی می‌گردد.

- حدود ۳۶۶ نفر در معرض احتمال مرگ ۱۰۰٪ در اثر ایجاد آتش‌سوزی پس از زلزله به علت آسیب خط لوله می‌باشند.

- حدود ۱۳۶۲ واحد ساختمانی در اثر موج انفجار ایجاد شده در اثر آسیب دیدن خطوط لوله سوخت، دچار خسارات غیرقابل جبران می‌شوند.

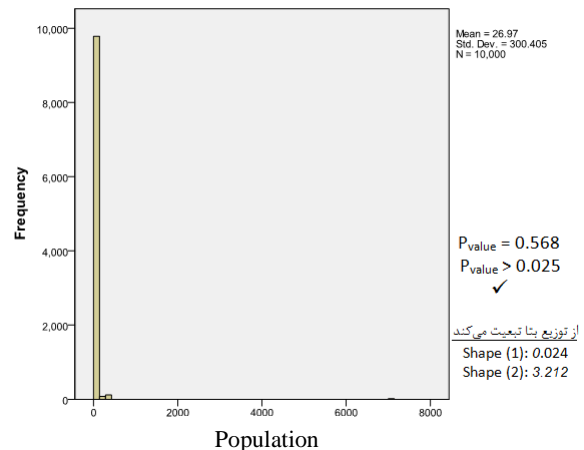
۲. سناریو دوم (وقوع زلزله‌ای با بزرگای لنگری ۷/۲ در زلزله تاریخی رخ داده در منطقه صحنه): به طور خلاصه نتایج سناریو دوم عبارتند از:

- وقوع ۴ نشت، یک شکست و دو اشتعال؛ ناشی از آسیب لرزه‌ای خطوط لوله سوخت.

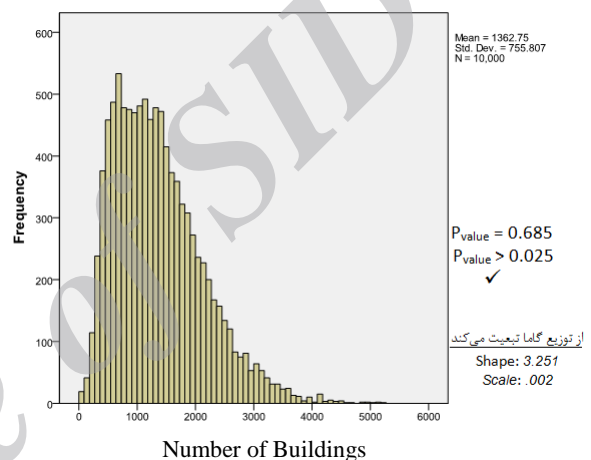
- مساحت آتش‌سوزی با گرمائی ۳۷  $\text{kw/m}^2$  بالغ بر ۴ هزار مترمربع در اطراف خط لوله کرمانشاه می‌باشد.

- مساحت انفجار بالغ بر ۶۲ هزار مترمربع در اطراف خط لوله کرمانشاه می‌باشد.

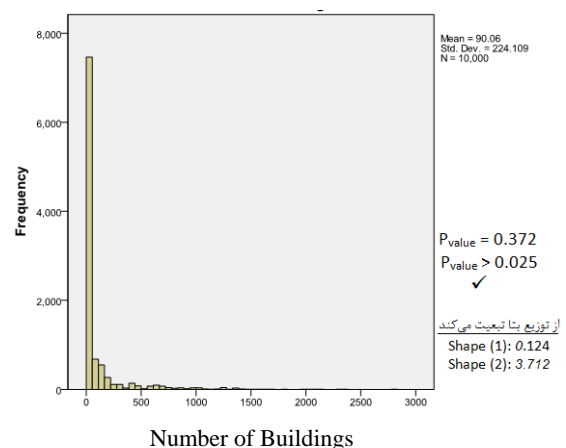
- حدود ۲۷ نفر در معرض احتمال مرگ ۱۰۰٪ می‌باشند و حدود ۹۰ واحد ساختمانی در اثر موج انفجار دچار خسارات غیرقابل جبران می‌شوند.



شکل ۱۴- نمودار هیستوگرام تعداد نفرات در معرض آتش‌سوزی با احتمال مرگ ۱۰۰٪ در سناریوی شماره ۲



شکل ۱۵- نمودار واحدهای ساختمانی آسیب‌دیده در اثر انفجار در سناریوی شماره ۱



شکل ۱۶- نمودار واحدهای ساختمانی آسیب‌دیده در اثر انفجار در سناریوی شماره ۲

با استفاده از الگوریتم ارائه شده و نرم افزار تهیه شده در این تحقیق؛ می‌توان نتایج زیر را بصورت میانگین آماری برای آسیب پذیری خطوط لوله مدفوم نفت شهر کرمانشاه

جدول ۴- آسیب‌های وارده به خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه در اثر زلزله

شماره سناریو	متغیرهای محاسبه شده عنوان	تعداد نشت	تعداد شکست	تعداد اشتعال	مساحت ایجادشده در اثر وقوع آتش فورانی برای تشعشع حرارتی $37 \text{ Kw/m}^2$	تعداد نفرات در معرض وقوع آتش فورانی برای احتمال مرگ $\%100$	تعداد واحدهای ساختمانی در معرض وقوع انفجار با موج فشاری بیش از 3 Psig	شماره حلقه تکرار
۲۹۳۰*	ماکزیمم متغیرهای محاسبه شده و شماره حلقه تکرار وابسته به آن	۳۱*	۲	۳۳	۱۶۲۱۳۳/۹۹	۷۶۰	۱۳۹۵	
۸۰۱۸		۱۳	۱۳	۲۵	۱۲۹۸۳۵/۶۹	۴۰۸	۱۷۷۷	
۵۱۹۴		۲۷	۸	۳۵	۱۹۴۳۵۴/۳۲۶	۲۶۴	۲۳۱۳	
۹۵۷۸		۲۰	۹	۲۹	۲۰۴۲۱۴/۹۹۴	۲۴۴	۴۹۶۷	
۴۰۶۲		۱۷	۳	۲۰	۳۳۹۵۷/۱۲	۲۱۳۰	۵۲۴۸	
۴۰۶۲		۱۷	۳	۲۰	۳۳۹۵۷/۱۲	۲۱۳۰	۵۲۴۸	
۹۷۸۸	مینیمم متغیرهای محاسبه شده و شماره حلقه تکرار وابسته به آن	۵	۶	۱۰	۵۶۹۵۷/۴۷	۲۷	۵۷۶	
۳۱۶۱		۱۱	۰	۱۱	۵۵۹۸۵/۹۸	۹۹	۳۵۱	
۶۸۳۲		۱۲	۰	۱۰	۴۳۳۳۱/۵۵	۱۳۹	۲۷۸	
۳۱۸۹		۱۱	۱	۱۱	۳۳۵۵۷/۱۲	۸۴	۲۴۶	
۱۲۷۱		۱۷	۴	۲۰	۳۴۵۵۰/۱۲	۱	۱۴۴	
۴۴۷۰		۱۲	۳	۱۳	۶۰۰۸۱/۹۱	۸	۲۸	
	میانگین تمامی حلقه ۱۰۰۰۰ تکرار	۱۶/۹۱	۴/۲	۲۰/۶	۱۱۰۰۱۱۷/۰۸۷	۳۶۶/۳۱	۱۳۶۲/۷۵	
۶۴۲۰	ماکزیمم متغیرهای محاسبه شده و شماره حلقه تکرار وابسته به آن	۱۳	۱	۰	۰	۰	۰	
۵۱۲۵		۴	۷	۱	۲۲۷۲/۰۳	۰	۵۷	
۳۸۳۰		۹	۱	۸	۴۱۱۵۳/۵۴	۵۱	۸۷۲	
۹۵۲۱		۱	۳	۳	۴۱۳۵۴/۱۰	۲۹۲	۲۷۸۷	
۲۹۱۱		۲	۳	۲	۲۷۰۹۵/۱۵	۷۱۲۶	۱۴۶۹	
۹۵۲۱		۱	۳	۳	۴۱۳۵۴/۱۰	۲۹۲	۲۷۸۷	
۵	مینیمم متغیرهای محاسبه شده و شماره حلقه تکرار وابسته به آن	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۷۸		۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۷۸		۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۷۸		۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۷۸		۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۷۸		۰	۰	۰	۰	۰	۰	
	میانگین تمامی حلقه ۱۰۰۰۰ تکرار	۴/۰۲	۱	۱/۰۴	۴۱۷۸/۲۴۵	۶۲۵۵۶/۵۰۵	۹۰/۰۶	

\*: ماکزیمم مقدار هر متغیر در ۱۰ هزار تکرار به صورت پر رنگ با هاشور، به همراه شماره حلقه تکرار متعلق به آن مقدار ماکزیمم بصورت پررنگ نشان داده شده است. اعداد دیگر در این ردیف نشان‌دهنده مقادیر دیگر متغیرها در آن شماره حلقه تکرار ماکزیمم می‌باشد.

\*\* : ماکزیمم مقدار هر متغیر در ۱۰ هزار تکرار به صورت پر رنگ با هاشور، به همراه شماره حلقه تکرار متعلق به آن مقدار ماکزیمم بصورت پررنگ نشان داده شده است. اعداد دیگر در این ردیف نشان‌دهنده مقادیر دیگر متغیرها در آن شماره حلقه تکرار ماکزیمم می‌باشد.

## ۵- جمع بندی و نتیجه گیری

شد، که بدترین حالت آن که مایع بنزین بود، در مدل به کار گرفته شد؛ که نتایج خروجی این آنالیزها شامل ۷ نوع پیامد وقوع حریق و انفجار بود.

عدم قطعیت نتایج خروجی، با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو و توابع توزیع احتمال برای هر یک از خروجی‌ها بررسی شده است. با کمک دیاگرام‌های توزیع می‌توان مساحت سوخته شده، تعداد واحدها و مردم در معرض آتش و انفجار را در اطراف خطوط لوله مدفون برای هر یک از سناریوهای محتمل زلزله تعیین کرد. به کمک این مشاهدات می‌توان مقدار خسارات محتمل را تشخیص داد و معیارهای مناسبی برای ایمن سازی شبکه از طریق کاهش دادن این خسارت تهیه کرد. این ابزارها می‌تواند برای کاربران، مدیران بحران و شرکت‌های تابعه خطوط لوله نفت به طرحی برای فازهای مختلف مقابله با حوادث و یا کاهش اثرات بلایا تهیه گردند.

نتایج بدست آمده از هر دو سناریو، حاکی از وجود پتانسیل بالقوه آسیب پذیری و خرابی در خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه در اثر وقوع زمین‌لرزه می‌باشد. زیرا به طور خلاصه میزان آسیب وارده بر خطوط لوله نفت شهر کرمانشاه در سناریو اول شامل وقوع ۱۷ نشت، ۴ شکست و ۲۱ اشتعال، و در سناریو دوم وقوع ۴ نشت، یک شکست و دو اشتعال ناشی از آسیب لرزه‌ای خطوط لوله سوخت برآورد شد.

در نهایت می‌توان گفت که الگوریتم پیشنهاد شده می‌تواند در تحلیل خسارت لرزه‌ای در مناطق شهری که خطوط لوله مدفون سوخت از زیر شهر عبور کردند، قابل استفاده باشد.

در این مقاله، الگوریتمی برای شبیه سازی احتمال اشتعال آتش‌سوزی و انفجار در مناطق شهری در اثر خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت پیشنهاد شده است. بر این اساس برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی GIS بر اساس الگوریتم پیشنهاد شده نوشته شد که قادر است میزان احتمال آتش و انفجار را در خطوط لوله با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو بدست آورد. این مدل با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو توزیع پارامترهای مهم خروجی نظیر تعداد نشت، شکست، اشتعال و مساحت، تعداد نفرت و تعداد واحدهای ساختمانی در معرض آتش و انفجار را برای سطوح مختلف ارائه می‌دهد. مدول‌های بکار گرفته شده در این الگوریتم شامل موارد زیر می‌باشد:

- مدول لایه‌های اطلاعات ورودی؛
- مدول تحلیل خطر لرزه‌ای؛
- مدول برآورد آسیب پذیری برای خطوط لوله مدفون و شبکه توزیع برق هوایی؛
- مدول تحلیل خسارت اولیه؛
- مدول مدل احتمال اشتعال بر اساس درخت منطقی پیشنهاد شده؛
- مدول ارزیابی پیامد حادثه برای آتش سوزی و انفجار؛
- مدول تحلیل خسارت ثانویه.

در انجام این الگوریتم در بخش تحلیل خسارت اولیه از دو سناریوی محتمل زلزله در سه مسیر خطوط لوله مدفون انتقال سوخت شهر کرمانشاه بکار گرفته شد و در بخش تحلیل خسارت ثانویه برای ارزیابی پیامد حادثه از ۱۵ سناریوی مختلف دبی خروجی، فشار و قطر نشت برای ۴ نوع ماده (نفت خام، نفت سفید، بنزین و گازوئیل) استفاده

## ۶- مراجع

- [۱] شرکت خطوط لوله و مخابرات ایران، (۱۳۸۹)، "مسیر خط لوله در داخل و خارج شهر کرمانشاه"، کاتالوگ مخصوص شرکت خطوط لوله و مخابرات ایران.

- [۲] سازمان مسکن و شهر کرمانشاه، (۱۳۸۸)، "نقشه محدودیت توسعه شهر کرمانشاه"، پروژه طرح جامع شهر کرمانشاه، شرکت مهندسی مشاور طرح و آمایش.
- [۳] اسکندری، محمد، (۱۳۸۹)، کارشناسی ارشد، "برآورد خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت - مطالعه موردی شهر کرمانشاه"، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
- [4] Lee, S W., and Davidson, R A., (1995), "Review of forest, compartment, and wild land-urban interface fire modeling and their relation to fire following earthquake models", Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering April 18-22, San Francisco, California, USA, Paper No1995.
- [5] Scawthorn, C. and O'Rourke, T.D., (1989), "Effects of Ground Failure on Water Supply and Fire Following Earthquake: The 1906 San Francisco Earthquake," in Proc. 2nd U.S.-Japan Workshop on Large Ground Deformation, July, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [6] Wai-Fah, Chen. and Scawthorn, C., (2003), Chapter 29 : "Fire Following Earthquake, Earthquake Engineering Handbook", pp29-1&29-65, CRC Press LRC.
- [7] Davison, C., (1931), "The Japanese earthquake of 1923", Thomas Murby & Co., London.
- [8] Freeman, J.R., (1932), "Earthquake damage and earthquake insurance.", 1st edition, McGraw Hill Book Company, N.Y.
- [9] FEMA - 233, (1992), "Earthquake Resistant Construction of Gas and Liquid Fuel Pipeline Systems Serving or Regulated by, the Federal Government" Earthquake Hazard Reduction Series 67, Federal Emergency Management Agency.
- [10] Hulyalkar, N., (1988), "Effect of Earthquake on Barauni Refinery on 21st August, 1988", Workshop on Bihar Nepal Earthquake of August 21, 1988, Indian Institute of Technology, Kanpur, 28-29 December 1988.
- [11] Papadakis, G., Porter, S., (1996), "Lessons learned on pipeline accidents, Proceedings of OECD Workshop on pipelines, Oslo.
- [12] Hamada, M. and O'Rourke, T.D., (1992), "Large Ground Deformations and Their Effects on Lifelines," Japanese Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Vol. 1, Technical report NCEER-92-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- [13] Hamada, M. and O'Rourke, T.D., (1992), "Large Ground Deformations and Their Effects on Lifelines," Japanese Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Vol. 1, Technical report NCEER-92-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- [14] Ariman, T., and Teoman, (1984), "Behaviour of Buried Pipelines under Large Ground Deformations in Earthquakes", Proc. of US-Japan Workshop on Seismic Behaviour of Buried Pipelines and Telecommunications Systems, Tsukuba City, Japan
- [15] McCaffery, M.A. and O'Rourke, T.D., (1983), "Buried Pipeline Response to Reverse Faulting During the 1971 San Fernando Earthquake", Proc. of Symposium on Lifeline Earthquake Engg., Earthquake Behaviour and Safety of Oil and Gas Storage

- Facilities, Buried Pipelines and Equipment, PVP-Vol. 77, The American Society of Mechanical Engineers.
- [16] Wong, K. C., Shah, A. H., Datta, S. K., (1986), "Three Dimensional Motion of Buried Pipeline." J. Eng. Mech. ASCE 112, 1319-1348.
- [17] Suresh.R and Sudhir.K, (2008), "An overview of seismic considerations of buried pipelines", Journal of Structural Engineering No. 34-34 Vol. 34, No. 5, December 2007-January 2008 pp. 349-359.
- [18] Borden, F.W., (1996), "The 1994 Northridge earthquake and the fires that followed", 13th meeting of the UJNR panel on fire research and safety.
- [19] Chen.WW, Shih.BJ, Wu.CW, Chen.YC, (2000), "Natural gas pipeline system damages in the Ji-Ji earthquake (The City of Nantou)" In: Proc of the 6th international conf on seismic zonation, 2000.
- [20] Goltz, J.D., (1994), "The Northridge, California earthquake of jan.17.1994", general reconnaissance report, NCEER.
- [21] Jeon, O'Rourke, (2005), "Northridge earthquake effects on pipelines and residential buildings", Bull Seismol Soc Am, 95\_1\_, 294-318.
- [22] O'Rourke, M. and Deyoe, (2004), "Seismic damage to segmented buried pipe", Earthquake Spectra, 20\_4\_, 1167-1183.
- [23] Strand, C.L., (1997), "Seismic Monitoring and Actuation", Strand Earthquake Consultants, CA, USA, <http://www.strandearthquake.com/> Oct. 02, 2005.
- [24] 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.
- [25] Trifunac, M. D. and Todorovska M. I. (1997), "Northridge, California, Earthquake of 1994: Density of Pipe Breaks and Surface Strains", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 16, pp. 193-207.
- [26] EERI; Earthquake Engineering Research Institute, (1995), "Northridge Earthquake Reconnaissance Report Vol. 1", Earthquake Spectra, Supplement to Vol.11, April, 1995.
- [27] Comartin, C.D., Greene, M., Tubbesing, S.K. (1995), "The Hyogo-Ken Nanbu Earthquake; January 17, 1995, Preliminary Reconnaissance report", Earthquake Engineering Research Institute (EERI).
- [28] EQE International, (1995), "EQE summary report for The 1995 Kobe earthquake", January 1995.
- [29] Somerville, P., (1995), "The January 17, 1995 Hyogo Ken Nanbu earthquake – geosciences and geotechnical aspects.", Woodward Clyde Federal Services, California.
- [30] Suzuki, N., Masayoshi, K., Endo, S., Yoshikawa, M., Muraoka, R., and Arakawa, T., (2001), "NK-Hiper Provides High Performance to Resist Earthquake-induced

- Ground Motion”, NKK Technical Review No. 84, Japan Fe Engineering (JFE) Steel Corporation, Japan, pp. 36–43.
- [31] Masson, Pineau, Tritsch, (2000), “Concequences of Izmit (Kochali) earthquake (turkey, august 17, 1999) on industrial plants”, INERIS, Parc technologique Alata, BP 2, 60550, 2000.
- [32] Scawthorn, C., (1999), “Lifeline damage and fire: Kocaeli, Turkey earthquake. ”, <http://www.mceer .buffalo.edu>.
- [۳۳] سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، (۱۳۸۸)، “گزارش وضعیت زمین‌شناسی، جمعیتی منطقه کرمانشاه”، <http://www.kermanshah.maj.ir/HomePage.aspx?TabID=1&Site=DouranPortal&Lan> ., Accessed 19 July 2010.g=fa-IR
- [34] SCI (Statistics Center of Iran) (2008). The comparison of population and social quality of areas of Kermanshah based on 2006 census (in Persian).
- [35] Airport Weather Guide, (2008), "Kermanshah Airport Weather Guide", Retrieved 2008-04-04.
- [36] Weather base, (2007), "Weather base: Historical Weather for Kermanshah, Iran", Retrieved 2008-04-04.
- [۳۷] سازمان برنامه ریزی و طراحی شهر کرمانشاه، (۱۳۸۸)، "نقشه کاربری شهر کرمانشاه"، شهرداری کرمانشاه.
- [38] Zaré, M. (1999). “Contribution a' L' Etude Des Mouvements Forts en Iran: Du Catalogue Aux Lois d' Attenuations”, Ph.D. Thesis Universite' Joseph-Fourier, Grenoble, France, 237p.
- [39] Federal Emergency Management Agency (FEMA), (1999), “Chapter 8, HAZUS99-SR2 Technical Manual, FEMA, Washington D.C”.
- [40] RISK-UE, (2003), "An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns, WP4: Vulnerability of current pipelines", European Project.
- [41] DNV Technical, 2008, “PHAST V.6.5 Operating Manual”, February 2008.
- [42] PHAST User manual, (2008), “Process Heating Assessment and Survey Tool PHAST 2.0,” February 2008.