

# بررسی تأثیر شبکه‌ی برق بر تحلیل ریسک آتش سوزی شبکه‌ی خطوط لوله‌ی سوخت

## مطالعه‌ی موردی: کرمانشاه

محمد اسکندری\* - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران؛

کارشناس، دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ پست الکترونیک: eskandarim\_86@yahoo.com

محمد صادق توکلی ثانی - کارشناسی ارشد، مدیریت در سوانح طبیعی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

سعید فلاح علی آبادی - کارشناسی ارشد، مدیریت در سوانح طبیعی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

سارا گودرزی - کارشناسی ارشد، مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی، شرکت ملی گاز ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۴ | تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۲

### چکیده

با توجه به اینکه رفتار شبکه‌ی خطوط لوله‌ی مدفون انتقال سوخت نسبت به وقوع زلزله‌های احتمالی مشکوک است، احتمال خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم بالایی بر این شبکه وجود دارد. زیرساخت مذکور یکی از مهم‌ترین شریان‌ها در محیط‌های شهری محسوب می‌شود. از این رو بررسی آنالیز عملکرد لوله‌های این خطوط بسیار حایز اهمیت است. در شهر کرمانشاه، سه مسیر خطوط لوله‌ی مدفون سوخت‌رسانی از زیر شهر عبور می‌کند. به منظور انجام برآورد خسارت لوله‌های خطوط لوله‌ی مدفون سوخت شهر کرمانشاه از برنامه‌ی تحلیل خسارت خطوط لوله‌ی نوشته شده در محیط نرم افزار (GIS) استفاده شده است. در این برنامه به طور خودکار، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه (PGA و PGV)، تعداد نشت و شکست، تعداد اشتعال، مساحت منطقه‌ی تحت تأثیر آتش و انفجار، تعداد جمعیت در معرض آتش و انفجار و تعداد واحدهای در معرض آتش و انفجار پس از زلزله محاسبه گشت. در انتها نقشه‌ی ریسک منطقه در سه حالت خرابی شبکه‌ی خطوط برق هوایی، برای هر سناریو آنالیز شد و نتایج سه حالت جرعه در اثر شبکه‌ی برق به صورت کمی و گرافیکی با یکدیگر مقایسه شدند. در نقشه‌ی ریسک منطقه، اثر شبکه‌ی برق در کاهش و افزایش میزان خسارات وارده به منطقه بسیار آشکار بود؛ به گونه‌ای که تعداد اشتعال‌های وارده به خطوط لوله‌ی سوخت شهر کرمانشاه پس از مقاوم‌سازی شبکه‌ی برق، در سناریوی اول از ۲۱ به ۲ اشتعال و برای سناریوی دوم از ۲ به صفر اشتعال تقلیل یافت.

واژه‌های کلیدی: خطوط لوله‌ی مدفون سوخت، درخت منطقی، حریق، GIS، خطوط برق هوایی

## The effect of power transmission network on fire risk analysis of buried fuel pipelines

### Case study: Kermanshah

Mohammad Eskandari\*<sup>1</sup>, Mohammad Sadeh Tavakoli sani<sup>2</sup>, Saeed Fallah Aliabadi<sup>3</sup>, Sara Godarzi<sup>4</sup>

#### Abstract

Since the behavior of buried fuel pipelines are complicated against the potential earthquakes there would be high possibility of direct and indirect losses in those networks. Therefore, seismic performance analysis of buried pipelines, which are amongst the main infrastructures and lifelines in urban areas, is of great importance. In this respect, Kermanshah city, with three buried fuel pipelines, is selected as the case study and the probable seismic damages to its buried pipelines are analyzed by using a program posted to GIS software. The program automatically calculated the regional seismicity parameters (PGA and PGV), the number of leaks and failures, number of ignition, area that can be affected by fire and explosion, total population at risk, and the number of units at risk of explosion after earthquake. Using the mentioned program, risk map of the area in connection with three kinds of failures in suspending power lines under two scenarios were analyzed and the results were compared with each other in both quantitative and graphic manners. In the risk map, impacts of the electrical power network were found quite evident and responsible for the amount of the damages. According to the results, by retrofitting the power network, the number of ignition on the fuel pipelines of Kermanshah can be reduced from 21 to 2 in scenario 1 and from 2 to zero in scenario 2.

**Keywords:** Buried fuel pipeline, logical tree, Ignition, GIS, Power transmission line

1 Young Researchers and Elites Club, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; Email: eskandarim\_86@yahoo.com

2 Graduated MSc. Disaster Management, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran

3 Graduated MSc. Disaster Management, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran

4 Master Student, Industrial Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

۴۵

شماره دوم

بایزوزمستان

۱۳۹۱

دوفصلنامه

علمی و پژوهشی



بررسی تأثیر شبکه‌ی برق بر تحلیل ریسک آتش سوزی شبکه‌ی خطوط لوله‌ی سوخت

## مقدمه

پدیده‌ی زلزله، جزء سوانح طبیعی است که همه ساله خسارات جانی، مالی و زیست محیطی فراوانی بر جای می‌گذارد. ایران به علت موقعیت لرزه خیزی و قرارگیری آن به روی کمربند زلزله در برابر زمین لرزه بسیار آسیب پذیر است. همچنین تعداد زیادی از تأسیسات، قبل از تدوین معیارهای طراحی مقاوم در برابر زلزله ساخته شده‌اند و کیفیت ساخت و ساز در برخی موارد در حد مطلوب نیست، از این رو مباحث بررسی آسیب پذیری و بهسازی لرزه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

سامانه‌های خطوط لوله به علت گستردگی و عبور از نواحی مختلف در معرض خطرات گوناگون قرار می‌گیرند و همچنین به علت پر مؤلفه بودن و پیچیدگی آن‌ها ممکن است که در برابر خطرات زمین لرزه‌ای از آسیب پذیری بالایی برخوردار باشند. بررسی آسیب پذیری سامانه‌ی خطوط لوله‌ی مدفون سوخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ 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 لوله‌ی انتقال نفت، روزانه میلیون‌ها دلار به اقتصاد کشور زیان وارد می‌شود و از طرفی شکست خطوط لوله‌ی نفت می‌تواند منجر به بروز آتش سوزی شود، که این امر در نواحی شهری بسیار خسارت بار خواهد بود [۱].

شهر کرمانشاه از لحاظ خطوط لوله‌ی سوخت رسانی مدفون، دارای

سه مسیر لوله است که فرآورده‌های نفتی و یا نفت خام را از خارج شهر به داخل پالایشگاه اصلی شهر منتقل می‌نماید و از آنجا فرآورده‌های نفتی را به تأسیسات انتهایی شهر سندانج انتقال می‌دهد. 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. با گذشت سال‌های طولانی، خطوط لوله‌های سوخت رسانی همچنان در موقعیت‌های قبلی بدون هیچ بازنگری باقی مانده‌اند؛ بنابراین ارزیابی عملکرد خطوط لوله‌های مدفون پخش فرآورده‌های نفتی در کرمانشاه و شناسایی نقاط آسیب پذیر آن بسیار حیاتی است.

بررسی خرابی‌های به وقوع پیوسته در زلزله‌های گذشته، یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای تأسیسات نفتی است. با بررسی رفتار سازه‌ها و تجهیزات در زلزله‌های گذشته می‌توان نقاط ضعف طراحی، اجرا و نگهداری را مشخص نمود [۲]. به همین منظور در جدول ۱ اثرات زلزله‌های پیشین بر روی خطوط لوله و پالایشگاه‌ها که منجر به ایجاد حریق شده‌اند، آورده شده است.

### شهر کرمانشاه و خطوط لوله‌ی مدفون سوخت

شهر کرمانشاه در ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۷ درجه

جدول ۱: اثرات زلزله‌های پیشین بر روی خطوط لوله

ردیف	محل و زمان زلزله	بزرگی زلزله و شدت تخریب	آتش سوزی‌های پس از زلزله	ملاحظات	منبع
۱	سانفرانسیسکو، ۱۹۰۶	M ۸/۳، ۵۲ اشتعال مشاهده شد.	۹۵٪ از خرابی‌ها ناشی از حریق بود که بر اثر آن، ۷۰۰ نفر تلف شدند.	طول مدت آتش پس از زلزله ۳ روز گزارش شد.	[۳]
۲	کانتو، ژاپن، ۱۳۲۳	M ۷/۹، ۲۲۷ اشتعال مشاهده شد.	هزاران نفر بر اثر حریق تلف شدند. بزرگ‌ترین آتش سوزی مناطق شهری تاریخ بشر بود.	تعداد زیادی از خانه‌ها از چوب و یا سازه‌ی سبک و به شکل ردیفی در کنار یکدیگر سوختند.	[۵، ۴]
۳	نیگاتا، ژاپن، ۱۶ ژوئن ۱۹۶۴	M ۷/۵، خرابی‌های گسترده بر اثر زلزله گزارش شده است. حدوداً ۲۴ نفر کشته شدند.	بر اثر آتش سوزی تأسیسات پالایشگاه و شکستن تعدادی مخازن نفتی، حریق مهیبی رخ داد. حدود ۳۰۰ خانه در اطراف پالایشگاه سوختند.	منطقه‌ی شهری از استانداردهای بالا و مدرن برخوردار بوده است. بحران روحی ایجاد شده خیلی بیشتر از اصل خسارت بود.	[۷، ۶]
۴	سانفرانسیسکو، ۹ فوریه ۱۹۷۱	M ۶/۶، ۵۹ نفر تلف شدند که ظاهراً بیشتر بر اثر سکت و شوک‌های ناشی از زلزله بوده است.	۱۰۹ واقعه‌ی حریق ناشی از زلزله ثبت شده است. در برخی مناطق نیز لوله‌های آب قطع شد.	تعداد زیادی شکست در خطوط لوله‌ی گاز شهری گزارش شد؛ اما با این حال انفجاری گزارش نشد.	[۹، ۸]
۵	نورت ریج - سن فرناندو، ۷ ژانویه ۱۹۹۴	M ۶/۷، شدت زلزله بیش از ۸ مرکالی اصلاح شده در شمال لس آنجلس بوده است.	در ابتدا حدود ۱۱۰ حریق رخ داد. در یک مورد شکست لوله‌ی نفت در خیابان باعث ایجاد حریق در خانه‌های اطراف شد.	تعداد زیادی نشت گاز در سطح شهر رخ داد.	[۱۲، ۱۱، ۱۰]
۶	کوبه، ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵	M ۶/۹، شدت زلزله بیش از ۸ مرکالی اصلاح شده گزارش شد.	در همان ابتدا حداقل ۱۰۰ حادثه‌ی حریق رخ داد.	به واسطه‌ی شکست ۲۳ نقطه در خطوط لوله، جریان آب کاملاً قطع گردید.	[۱۳]

و ۷ دقیقه‌ی طول شمالی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است [۱۴]. این شهرستان با وسعت تقریبی ۸۵۴۷ کیلومتر مربع به‌عنوان شهرستان مرکز استان، دارای اهمیت استراتژیک است. بر پایه‌ی سرشماری سال ۱۳۸۵ خورشیدی، جمعیت این شهر بالغ بر ۹۷۰ هزار نفر بوده است که از این جهت نهمین شهر بزرگ ایران محسوب می‌گردد [۱۵].

سابقه‌ی تاریخی وقوع زلزله در زاگرس، گویای آن است که منطقه‌ی کرمانشاه از زمان‌های قدیم در معرض زمین‌لرزه‌های شدید قرار داشته و در طول تاریخ بارها شاهد خرابی‌های فراوانی بوده است. 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 سده‌ی بیستم نشانه‌ای از آرام بودن منطقه از دیدگاه زمین‌لرزه است [۱۴]. گسل فعال نزدیک به منطقه‌ی مورد بحث، قطعه‌ی میانی گسل صحنه است که عامل رخداد زلزله‌های خطرناک است. با نگاهی به تاریخ وقوع زلزله‌های خطرناک در منطقه می‌توان به اهمیت موضوع پی برد. استان کرمانشاه را می‌توان در امتداد شمال باختر به جنوب خاور، از نظر لرزه‌خیزی به سه بخش در پهنه‌ی با خطر بالا، متوسط و کم تقسیم کرد که شهرستان کرمانشاه در پهنه‌ی با خطر بالا واقع شده است [۱۴].

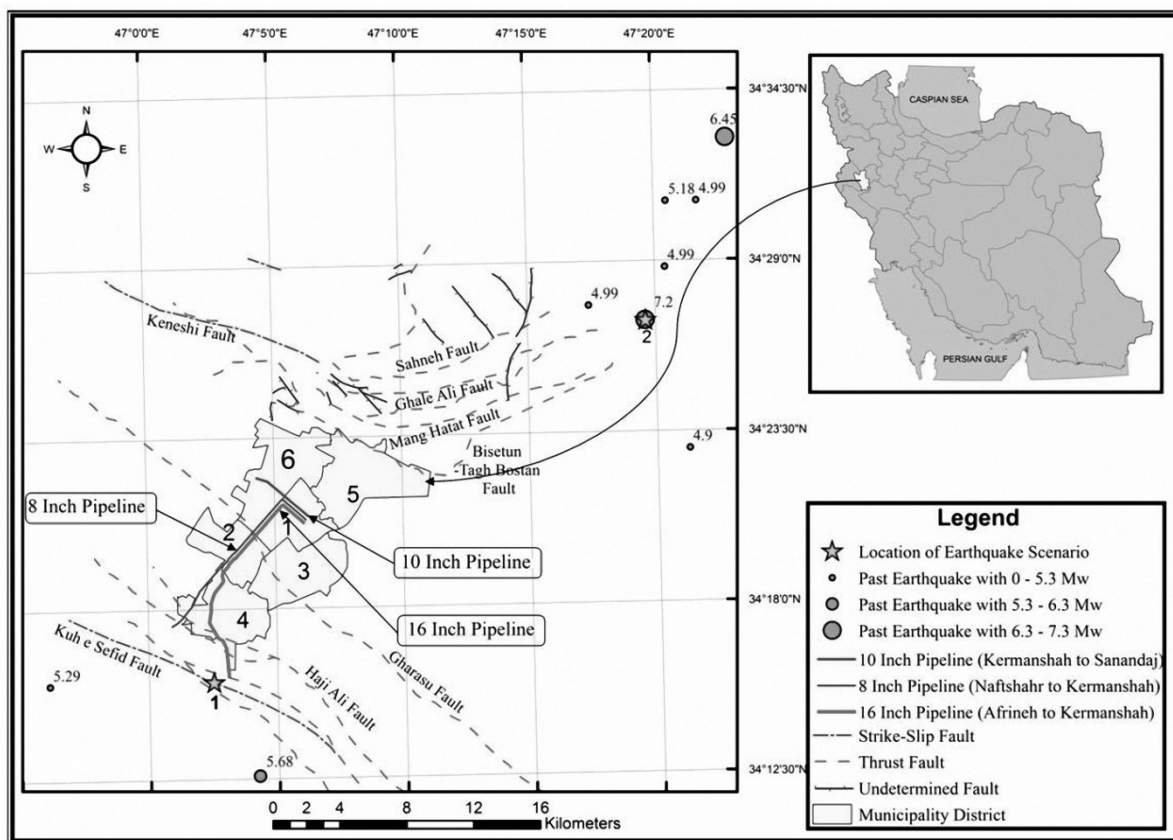
خطوط لوله و مخابراتی نفت منطقه‌ی غرب یکی از مناطق یازده‌گانه‌ی شرکت خطوط لوله و مخابراتی نفت ایران است که وظیفه‌ی انتقال نفت خام و فرآورده را در مسیریابی به طول ۱۲۹، ۲۳۶ و ۱۷۹ کیلومتر در ناحیه‌ی جغرافیایی غرب کشور (استان‌های

کرمانشاه، کردستان، ایلام و لرستان) برعهده 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، تنگه فنی و برداسپی، کرمانشاه و سندانج است [۱۶]. در تصویر ۱ موقعیت زلزله‌های تاریخی، موقعیت عبور سه خط لوله در شهر، موقعیت گسل‌های موجود در منطقه، موقعیت مناطق شهرداری شهر کرمانشاه و موقعیت رخداد سناریوهای محتمل زلزله مشخص شده است.

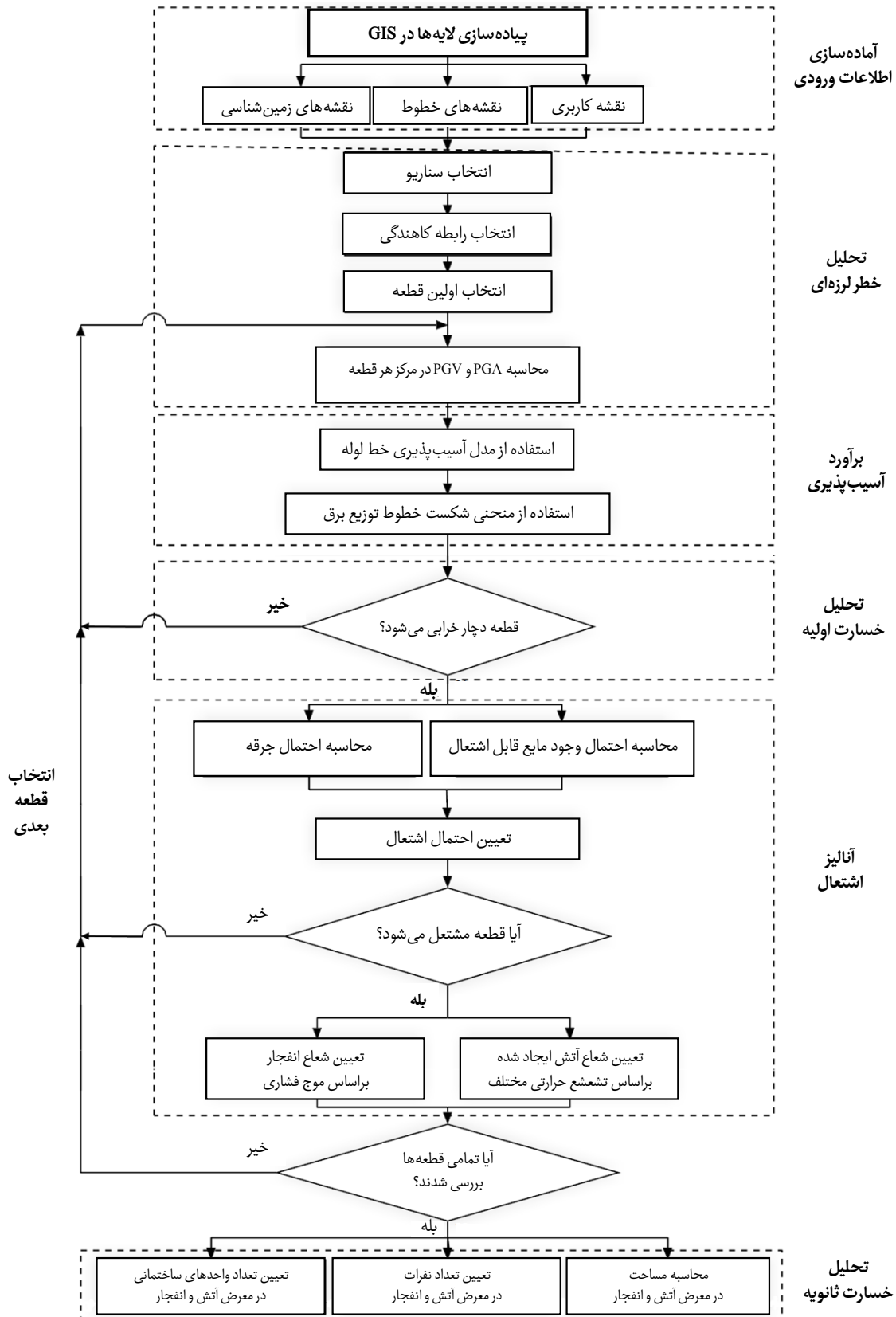
### روش شناسی نرم‌افزار تحلیل خسارت لرزه‌ای

الگوریتم پیشنهادی به منظور تحلیل خسارت لرزه‌ای خطوط لوله‌ی مدفون سوخت در نمودار ۱ قابل مشاهده است. این الگوریتم به شرح زیر است:

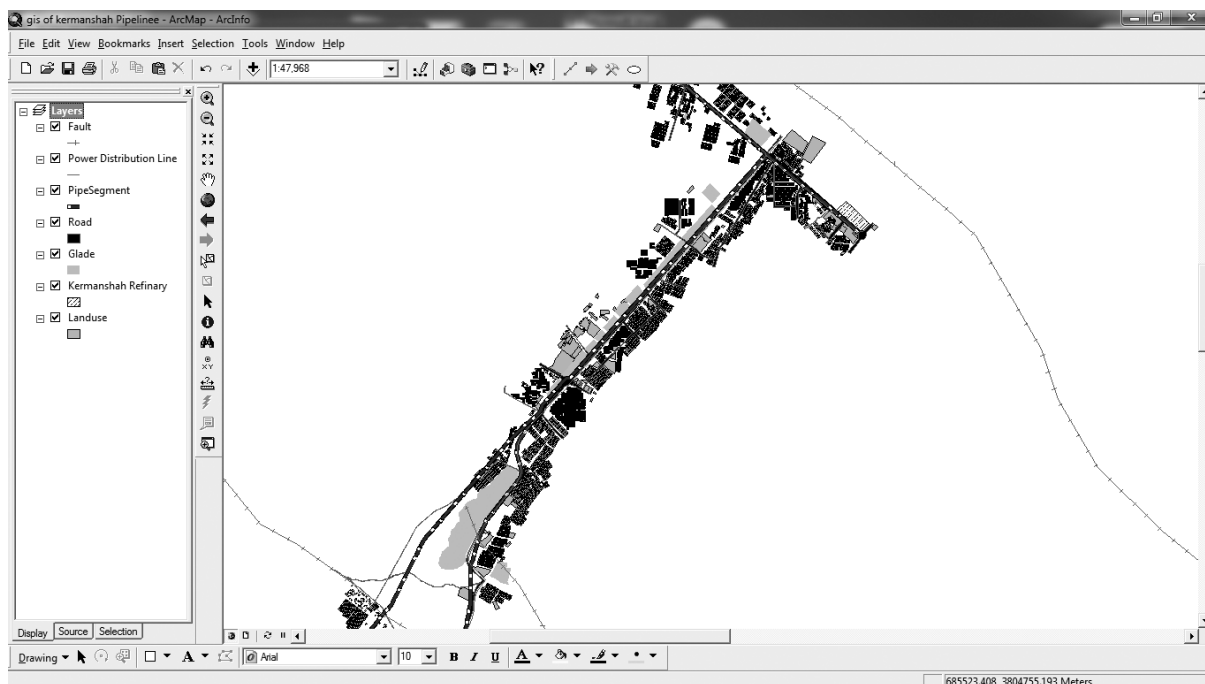
- اطلاعات خطوط لوله، کاربری‌های موجود در اطراف خط لوله، موقعیت گسل‌های موجود در منطقه، موقعیت خطوط توزیع برق هوایی و ... براساس نقشه‌های کاربری [۱۷]، زمین‌شناسی [۱۴] و نقشه‌های خط لوله [۱۶] مطابق تصویر ۲ به محیط نرم‌افزاری (GIS) وارد می‌شود.
- پس از آنکه سناریوهای محتمل لرزه‌ای مطابق جدول ۲ مشخص شد، ابتدا خط لوله به قطعات مساوی تقسیم می‌شود، سپس طول و عرض جغرافیایی محل زلزله در نرم‌افزار تهیه شده وارد می‌گردد و نرم‌افزار براساس رابطه‌ی کاهندگی مربوط به ایران و منطقه‌ی زاگرس [۱۹]، به تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه براساس سناریوهای



تصویر ۱: مسیر عبور خطوط لوله در داخل شهر کرمانشاه [۱۶]



نمودار ۱: الگوریتم تحلیل خسارت لرزه ای خطوط لوله ای مدفون سوخت ارائه شده برای هر تکرار در شبیه سازی مونت کارلو [۱۸]



تصویر ۲: لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در محیط (GIS)

جدول ۲: سناریوهای منتخب

محل وقوع سناریو		مشخصات سناریو	
غرب صحنه	روی گسل کرمانشاه	شماره سناریو	بزرگا (ریشتر)
۲	۱	۳۸۲۴۸۲۷	۳۷۹۲۹۷۳/۱۱
۷/۲	۷/۵	۷۲۷۶۱۱/۳	۶۸۸۰۲۳/۸۶
۲۰	۵	عمق کانونی (Km)	

محتمل می‌پردازد. به‌گونه‌ای که برای هر سناریو زلزله‌ی مشخص مقادیر پاسخ خطر زلزله از قبیل حداکثر سرعت زمین<sup>۱</sup> (PGA) و حداکثر سرعت زمین<sup>۲</sup> (PGV) برای هر قطعه<sup>۲</sup> از خط لوله تعیین می‌گردد.

۳. در گام سوم این الگوریتم، براساس رابطه‌ی موجود برای برآورد آسیب‌پذیری لوله‌ها (توابع خسارت خطوط لوله براساس مدل HAZUS)، نرخ تعمیر و احتمال خرابی (P<sub>r</sub>) هر قطعه از لوله به دست می‌آید [۲۰].

۴. در این مرحله با مقایسه‌ی احتمال خرابی محاسبه شده با یک مقدار تصادفی، وضعیت خرابی (نشت یا شکست) هر قطعه از خط لوله تعیین می‌گردد. چنانچه آن قطعه دچار نشت شده باشد، در مراحل بعدی از آنالیزهای نشت پیروی می‌کند و چنانچه قطعه‌ی مربوطه دچار شکستگی شده باشد، در مراحل بعدی از مقادیر آنالیزهای شکست استفاده می‌کند.

۵. مهم‌ترین بخش در تعیین میزان اثر شبکه‌ی برق بر عملکرد آتش‌سوزی شبکه‌ی خطوط لوله‌ی سوخت، همین مرحله است. در این مرحله از روش درخت منطقی<sup>۴</sup> برای تخمین احتمال وقوع اشتعال‌های ناشی از خطوط لوله‌ی سوخت آسیب‌دیده پس از زلزله استفاده می‌شود. مدل اشتعال پیشنهادی قادر به تشخیص اشتعال‌های خارج ساختمان در اثر شکست خطوط لوله‌ی سوخت است.

مدلی که در این پروژه ارائه شده است یک مدل مبتنی بر زلزله‌ی سناریو است و وقوع تعداد اشتعال را در اثر زلزله‌ی سناریو برای واحد تحلیل محاسبه می‌کند. در مدل ارائه شده فرض بر این شده که هر خط لوله به چندین بخش با طول‌های تقریباً مساوی (واحدهای تحلیل) تقسیم شوند؛ اما احتمال اشتعال در هر بخش از خط لوله مستقل از احتمال اشتعال در بخش‌های دیگر و قطعات دیگر خط لوله نیست؛ که این مورد به‌عنوان یک مزیت بارز این مقاله است. نمودار ۲ درخت منطقی مربوط به وقوع اشتعال در هر قطعه از خط لوله‌ای که دچار نشت یا شکست شده را نشان می‌دهد. در این نمودار عوامل مؤثر در وقوع اشتعال‌ها و نحوه‌ی ترکیب احتمال هر عامل با عوامل دیگر در نظر گرفته شده است. اپراتورهای «و» و «یا» 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 که از نتایج پارامتر لرزه‌ای مؤثر بر تخریب المان‌های خط لوله محاسبه شده، وابسته است. در این مدل برای تخریب شبکه‌ی انتقال نفت، تنها المان‌های خط لوله در نظر گرفته شده‌اند و از در نظر گرفتن انواع مختلف شیرها و زانویی‌های موجود در شبکه برای ساده‌سازی و کمبود اطلاعات قابل دسترس صرف نظر شده است.

به منظور تعیین احتمال وجود مایع قابل سوختن، می‌بایست اولاً مایع اشتعال‌پذیر باشد، ثانیاً خط لوله دچار خرابی شود. خرابی خط لوله از درگاه پایینی نمودار ۲ محاسبه می‌شود. حال برای در نظر گرفتن احتمال وجود جرقه در هر المان از خط لوله و خیابان روی آن، احتمال ایجاد جرقه به دلیل تخریب لرزه‌ای شبکه‌ی برق هوایی، احتمال ایجاد جرقه به دلیل استارت ماشین‌ها و احتمال وقوع دیگر جرقه‌ها در آن المان در نظر گرفته شده است. برای محاسبه‌ی احتمال وقوع جرقه‌ی ناشی از ماشین‌ها، ابتدا ظرفیت ماشین خیابان بر مبنای عرض، درصد پرشدگی و نوع خیابان در نظر گرفته شده، محاسبه می‌شود؛ که این مقادیر بر مبنای جمعیت موجود در بلوک‌های اطراف خیابان و تراکم اتومبیل‌های موجود در خیابان محاسبه می‌شود.

احتمال ایجاد جرقه‌ی ناشی از شبکه‌ی برق هوایی در هر المان از خیابان، به علت تخریب شبکه‌ی توزیع برق در آن المان در نظر گرفته شده است. برای تعیین پارامتر لرزه‌ای مؤثر بر تخریب شبکه‌ی توزیع برق، از بیشینه‌ی شتاب زمین در اثر زلزله (PGA) استفاده می‌شود و از در نظر گرفتن تغییر مکان ماندگار زمین صرف نظر می‌شود. برای در نظر گرفتن اثر عدم قطعیت بیشینه‌ی شتاب زلزله به کمک روابط کاهندگی دکتر زار در محل خطوط برق هوایی بر مبنای بزرگی زلزله، سناریو و فاصله‌ی این المان‌ها از مرکز زمین لرزه محاسبه شده است. سطوح مختلف آسیب‌پذیری خطوط برق هوایی مطابق نمودار ۳ برای آن تعریف شده [۲۱] و سپس به کمک روابط آسیب‌پذیری، احتمال قرار گرفتن این خطوط در هر یک از این سطوح خرابی محاسبه شده است. در گام بعدی احتمال ایجاد جرقه در اثر شبکه‌ی برق در محل تخریب این شبکه بر مبنای سطح تخریب آن با استفاده از روابط مستقیمی و با استفاده از قضاوت مهندسی فرض می‌گردد. در این مقاله برای تعیین تأثیر این مؤلفه، احتمال جرقه‌پذیر بودن شبکه‌ی برق برای سه حالت زیر در نظر گرفته شده است:

- در شرایط عادی فرض می‌شود احتمال جرقه‌پذیر بودن شبکه‌ی برق، ۶۰٪ است [۲۲].
- در شرایط نصف حالت قبل فرض می‌شود احتمال جرقه‌پذیر بودن شبکه‌ی برق، ۳۰٪ است.
- فرض می‌شود احتمال جرقه‌پذیر بودن شبکه‌ی برق، ۰٪ باشد.

حال هر کدام از این سه حالت را برای دو سناریوی محتمل عنوان شده در جدول ۲، آنالیز کرده و نتایج در ادامه مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

۱. برای تعیین مدل آتش‌سوزی و انفجار، از مدل‌سازی پیامد حادثه به کمک نرم‌افزار ارزیابی پیامد خسارت (PHA) که یکی از نرم‌افزارهای موجود در زمینه‌ی مدل‌سازی پخش مواد و مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار است، استفاده شده است [۲۳]. نتایج خروجی این آنالیز به‌عنوان ورودی برای هر قطعه از لوله در نرم‌افزار تهیه شده در محیط (GIS) وارد گردید. در انتهای این گام، تمامی اطلاعات لازم مورد نیاز برای انجام تحلیل آماده شده است. پنجره‌ی ورود اطلاعات به برنامه را در تصویر ۳ می‌توان مشاهده نمود.

۲. این مرحله به تحلیل خسارت ثانویه‌ی این پروژه اختصاص داده شده است؛ به نحوی که نرم‌افزار برای آن قطعاتی از خط لوله، که هم دچار خرابی شده، هم مشتعل گشته، از نتایج آنالیزهای نرم‌افزار ارزیابی پیامد خسارت (برای ۶ حالت آتش‌سوزی و ۱ حالت انفجار) استفاده می‌کند و شعاع در جهت باد و عمود بر باد را از آن می‌گیرد. سپس به‌طور خودکار و اتوماتیک با زدن بیضی‌های جهت‌دار بر روی قطعات خط لوله، مساحت تحت تأثیر آتش و انفجار، تعداد کل واحدهای ساختمانی و نفرات متأثر از آتش‌سوزی و انفجار ایجاد شده در اثر زلزله را تحلیل و محاسبه می‌نماید.

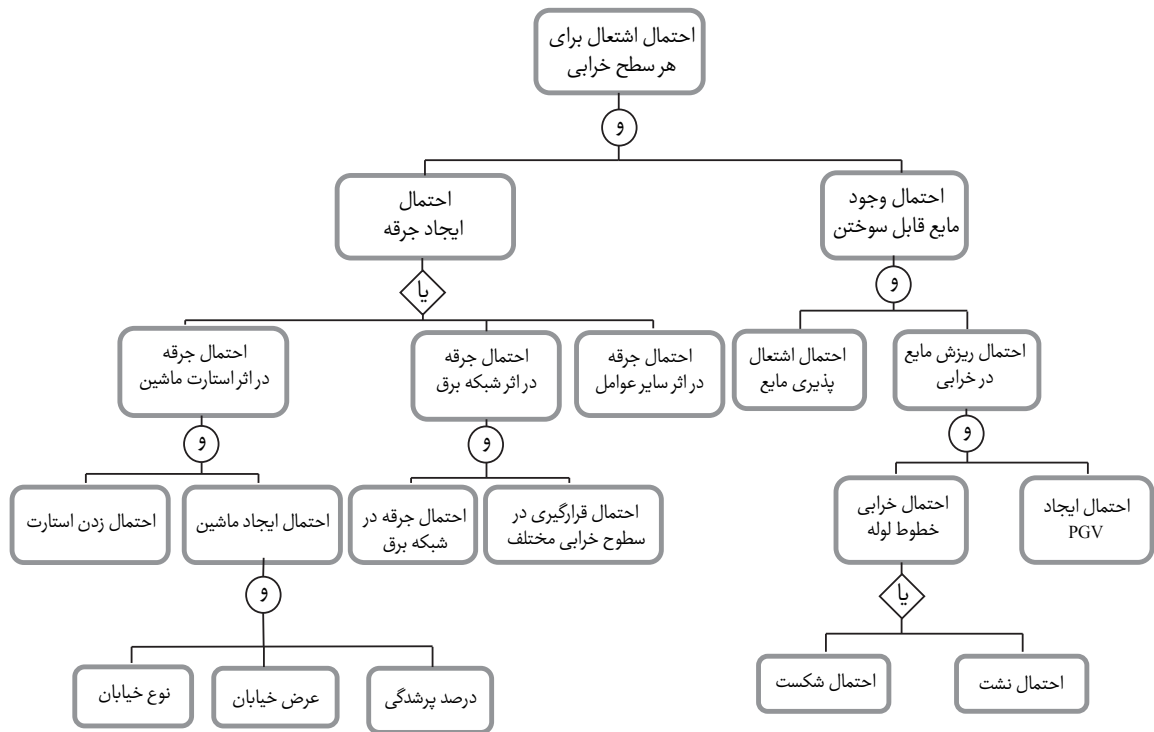
### یافته‌های تحقیق

ابتدا از طریق تحلیل‌های آماری مطابق جدول ۳، مهم‌ترین آسیب‌های وارده به شهر کرمانشاه در دو سناریوی زلزله‌ی ۱ و ۲ در سه حالت عادی، حالتی که جرقه در اثر شبکه‌ی برق نصف حالت قبل شده و همچنین حالت بدون در نظر گرفتن جرقه در اثر شبکه‌ی برق، قابل مشاهده است. سپس در تصویر ۴ احتمال ایجاد اشتعال خطوط لوله و در تصویر ۵ کاربری‌هایی که در معرض آتش جت فایر با احتمال مرگ ۱۰٪ قرار گرفته‌اند، برای سناریوی ۱ و ۲ در سه حالت مذکور به صورت گرافیکی با یکدیگر قابل مقایسه هستند.

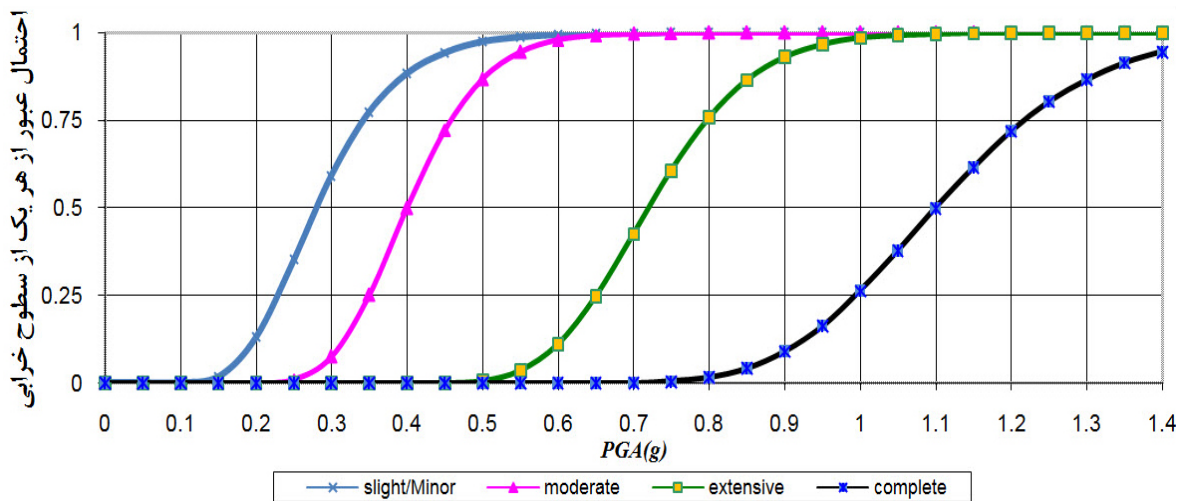
### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، الگوریتمی برای شبیه‌سازی احتمال اشتعال آتش‌سوزی و انفجار در مناطق شهری در اثر خسارت لرزه‌ای خطوط لوله‌ی مدفون سوخت پیشنهاد شده است. بر این اساس برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی (GIS) براساس الگوریتم پیشنهاد شده نوشته شد که قادر است میزان احتمال آتش و انفجار را در خطوط لوله با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو به‌دست آورد. این مدل با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو توزیع پارامترهای مهم خروجی نظیر تعداد نشت، شکست، اشتعال و مساحت، تعداد نفرات و تعداد واحدهای ساختمانی در معرض آتش و انفجار را برای سطوح مختلف ارائه می‌دهد.

خروجی گرافیکی برنامه قادر خواهد بود ۱۰ خروجی مجزا برای هر سناریو در اختیار کاربر قرار دهد. به گونه‌ای که ۳ خروجی آن قادر خواهد بود، احتمال نشت، شکست و اشتعال را بر روی قطعات خط لوله نمایش دهد. ۷ خروجی دیگر آن قادر خواهد بود به ترتیب احتمال بروز آتش فورانی برای شدت گرمای  $4\text{Kw}/\text{m}^2$ ، احتمال بروز آتش فورانی برای شدت گرمای  $12.5\text{Kw}/\text{m}^2$ ، احتمال بروز شعاع آتش فورانی برای شدت گرمای  $37.5\text{Kw}/\text{m}^2$ ، احتمال بروز



نمودار ۲: درخت منطقی مربوط به وقوع اشتعال در هر قطعه از خط لوله‌ای که دچار نشت یا شکست شده



نمودار ۳: منحنی‌های شکست خرابی شبکه‌ی توزیع برق هوایی [۲۱]



تصویر ۳: پنجره‌ی ورود اطلاعات به برنامه در محیط GIS [۱]

جدول ۳: آسیب‌های وارده به خط لوله‌ی سوخت شهر کرمانشاه در ۳ حالت مختلف جرعه‌پذیر بودن شبکه‌ی برق در هر دو سناریو (مقادیر موجود در جدول، برابر است با میانگین ۵۰۰۰ آنالیز)

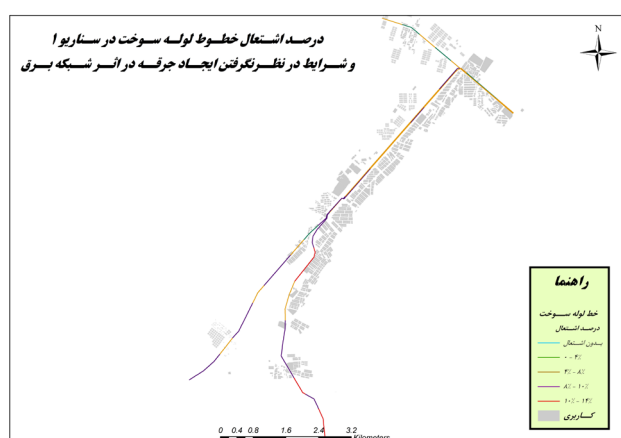
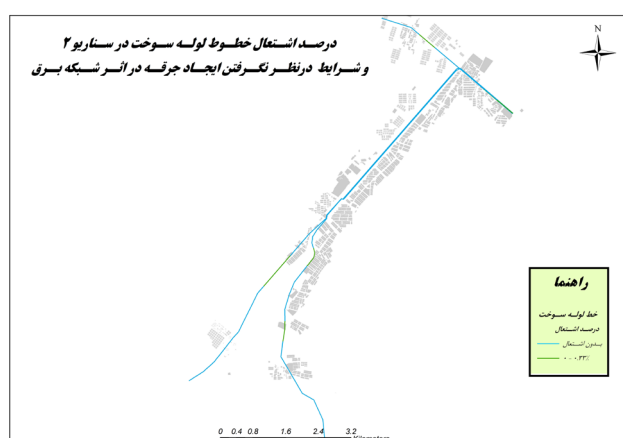
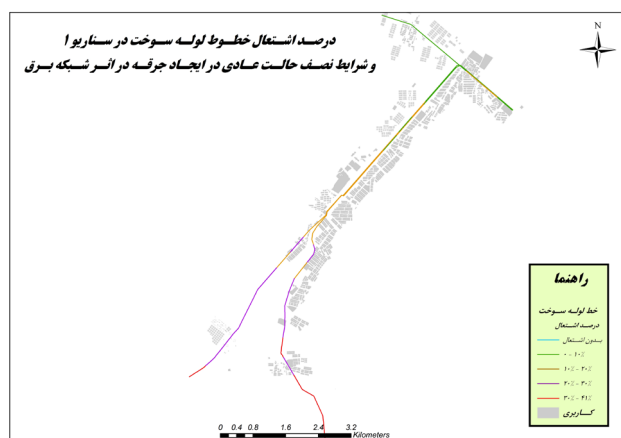
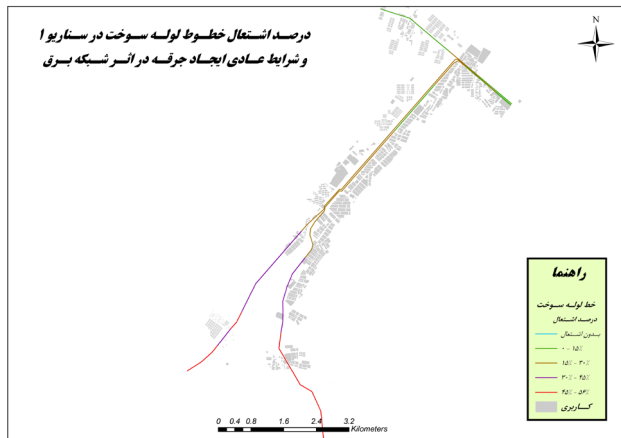
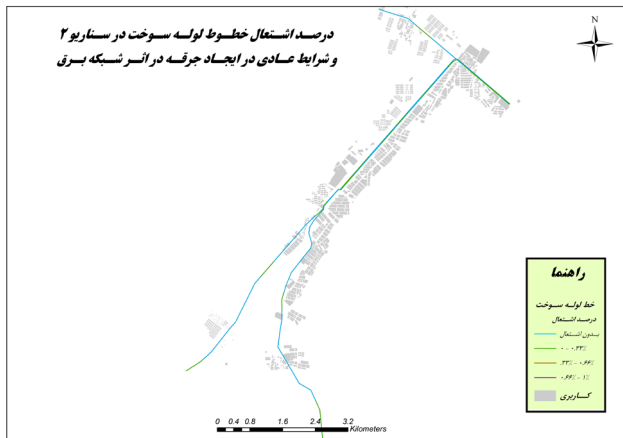
شماره‌ی سناریو	حالات جرعه‌پذیر بودن شبکه‌ی برق	تعداد نشت	تعداد شکست	تعداد اشتعال	مساحت ایجاد شده در اثر وقوع آتش فورانی برای تشعشع حرارتی $37 \text{ Kw/m}^2$	تعداد نفرات در معرض وقوع آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰۰٪	تعداد واحدهای ساختمانی در معرض وقوع انفجار با موج فشاری بیش از 3 Psig
۱	حالت عادی	۱۴/۴	۳/۶۲	۱۴/۲	۷۸۹۸۴/۴۸	۸۷۰/۶	۹۵۳/۶
	نصف حالت عادی	۱۴/۲	۳/۶۲	۱۰	۵۴۵۴۴/۵۳	۵۹۷/۵	۶۲۰/۸
	حالت بدون جرعه	۱۴/۲	۳/۵۵	۳/۳۳	۱۶۹۰۶/۵۳	۲۶۸/۸	۲۱۳/۵۱
۲	حالت عادی	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۹	۴۰۷/۵۷	۰/۸۶	۴/۸۸
	نصف حالت عادی	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۱۲۲	۰/۳۲	۱/۲۳
	حالت بدون جرعه	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۹۰/۶۸	۰/۲۲	۱/۰۱

همچنین در این تحقیق مشاهده شد که کاهش میزان جرعه در سناریوی ۱ بسیار تأثیرگذارتر از سناریوی ۲ است. علت این امر آن است که سناریوی ۲ به نسبت سناریوی ۱ دورتر از محل خط لوله‌های شهر است؛ بنابراین سناریوی ۲ به نسبت سناریوی ۱، دارای (PGV) کمتر، نرخ تعمیر کمتر و در نهایت احتمال خرابی کمتر است. در نتیجه به علت ناچیز بودن احتمال خرابی، قطعات بسیار کمتری در سناریوی ۲ دچار نشت یا شکست می‌شوند. از این رو تا نشت و شکستی صورت نگیرد، تأثیر عوامل مختلف به‌ویژه شبکه‌ی برق در تعیین احتمال اشتعال چشم‌گیر نخواهد بود. پس می‌توان نتیجه گرفت شبکه‌ی برق در میزان اشتعال کاربری‌های اطراف خط لوله بسیار تأثیرگذار است، مگر مواقعی که موقعیت محل زلزله از خط لوله‌های شهر فاصله‌ی زیادی داشته باشند، که این مسئله هم بسیار منطقی است، زیرا می‌بایست خط لوله دچار پارگی گردد که بعد به مدل‌سازی اشتعال آن پرداخت.

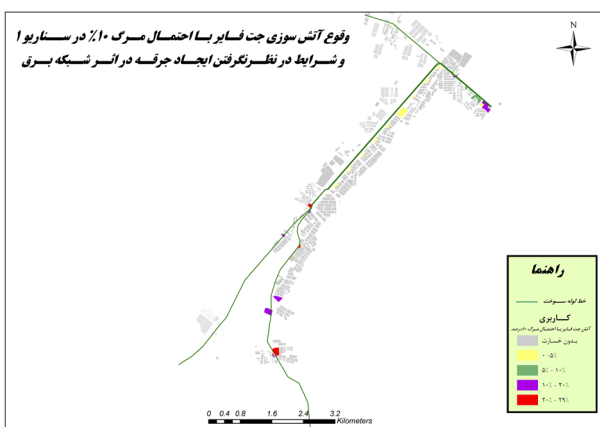
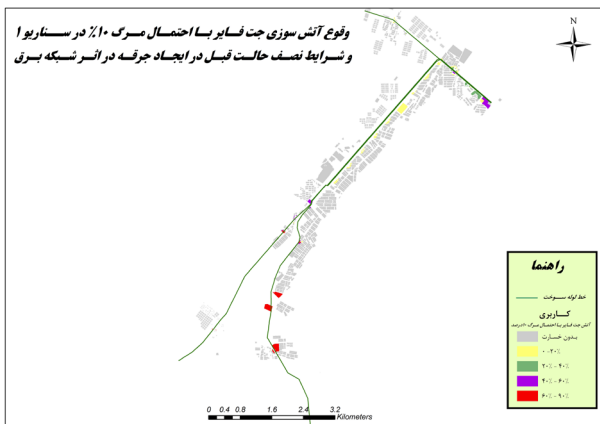
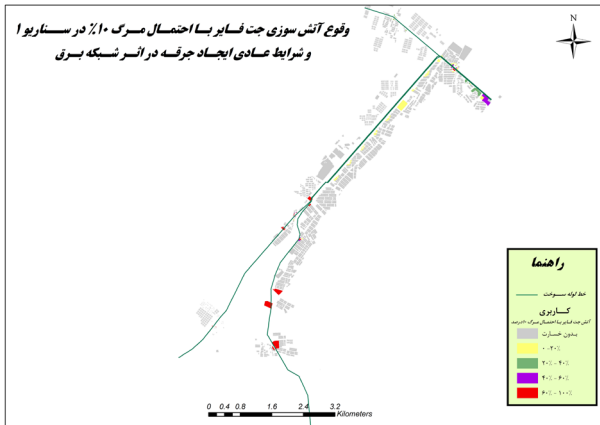
آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱٪، احتمال بروز آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰٪، احتمال بروز آتش فورانی برای احتمال مرگ ۱۰۰٪ و احتمال بروز انفجار خطوط لوله برای شدت موج فشاری بیش از ۳psig را بر روی کاربری‌ها نمایش دهد.

در این مقاله با استفاده از جدول، خلاصه‌ی آسیب‌های وارده به شهر و نیز از طریق نمودار و تصاویر گرافیکی، خروجی برنامه قابل مشاهده شد که هر چه جرعه در اثر برق را کم کنیم (به عبارتی دیگر خرابی برق برای منطقه تولید جرعه نکند)، میزان اشتعال‌ها کم می‌شود و در پی آن مساحت مناطق سوخته شده، تعداد نفرات در معرض آتش‌کشته و تعداد خانه‌های در معرض انفجار بالا نیز کم می‌شود. جالب آن است که میزان نشت و شکست برای هر سناریو در حالات مختلف تفاوت چندانی ندارند، که خود این مطلب تأییدی بر درستی انجام آنالیز صورت گرفته است؛ زیرا در این تحقیق تأثیر جرعه در اثر شبکه‌ی برق کم شده و اثر زلزله بر منطقه ثابت بوده که تعداد نشت و شکست نیز تغییر چندانی نکرده‌اند.





تصویر ۴: درصد اشتغال خطوط لوله سوخت برای ۳ حالت ایجاد جرقه در اثر شبکه برق در دو سناریوی ۱ و ۲ محتمل لرزه‌ای



تصویر ۵: احتمال وقوع آتش‌سوزی جت فایر با احتمال مرگ ۱۰٪ برای ۳ حالت ایجاد جرقه در اثر شبکه‌ی برق در دو سناریوی ۱ و ۲

<http://www.kermanshah.maj.ir/HomePage.aspx?TabID=1&Site=Dou ranPortal&Lang=fa-IR>, Accessed 19 July 2010.

15. SCI (Statistics Center of Iran). (2008). «The comparison of population and social quality of areas of Kermanshah based on 200 census», in Persian.

۱۶. شرکت خطوط لوله و مخابرات ایران. (۱۳۸۹). «مسیر خط لوله در داخل و خارج شهر کرمانشاه»، کاتالوگ مخصوص شرکت خطوط لوله و مخابرات ایران.

۱۷. سازمان برنامه‌ریزی و طراحی شهر کرمانشاه. (۱۳۸۸). «نقشه‌ی کاربری شهر کرمانشاه»، شهرداری کرمانشاه.

18. Omidvar, B, Eskandari, M, and Peyghaleh, E. (2013). "Seismic damage to urban areas due to failed buried fuel pipelines case study: fire following earthquake in the city of Kermanshah, Iran", *Natural Hazards journal*, DOI 10.1007/s11069-013-0554-9.

19. Zaré, M. (1999). "Contribution a l' Etude Des Mouvements Forts en Iran: Du Catalogue Aux Lois d' Attenuations", Ph.D. Thesis Université' Joseph-Fourier, Grenoble, France, 237p.

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

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

22. Zolfaghari, M, Peyghaleh, E, Golmoradi, L, and Nasirzadeh, Gh. (2008). "Urban utility ignition model, a probabilistic approach for modeling fire following earthquake," The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China

23. PHAST User manual (February, 2008). "Process Heating Assessment and Survey Tool PHAST 2.0".

1. Peak Ground Acceleration
2. Peak Ground Velocity
3. Segment
4. Logical Tree

## منابع و مأخذ

۱. اسکندری، محمد (۱۳۸۹). برآورد خسارت لرزه‌ای خطوط لوله‌ی مدفون سوخت - مطالعه‌ی موردی شهر کرمانشاه. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی محیط زیست، دانشگاه تهران.

2. Omidvar, B, Eskandari, M, and Naeimi, M. (2011). "The comparison of available seismic loss estimation models of buried oil pipelines", 3<sup>th</sup> Iranian Pipe & Pipeline International Conference.

3. 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. 2<sup>nd</sup> U.S.-Japan Workshop on Large Ground Deformation, July, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.

4. Davison, C. (1931). "The Japanese earthquake of 1923", Thomas Murby & Co., London.

5. Wai-Fah, Chen, and Scawthorn, C. (2003) "Fire Following Earthquake, Chapter 29: Earthquake Engineering Handbook", pp1-29&29-65, CRC Press LRC.

6. 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.

7. 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. New York: Buffalo.

8. 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. Japan: Tsukuba City.

9. 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.

10. Borden, F.W. (1996). "The 1994 Northridge earthquake and the fires that followed", 13<sup>th</sup> meeting of the UJNR panel on fire research and safety.

11. Jeon, O'Rourke (2005). "Northridge earthquake effects on pipelines and residential buildings", Bull Seismol Soc Am, 95-1., 294-318.

12. 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.

13. Somerville, P. (1995). "The January 17, 1995 Hyogo Ken Nanbu earthquake - geosciences and geotechnical aspects", Wood Ward Clyde Federal Services, California.

۱۴. سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه. (۲۰۱۰). «گزارش وضعیت