



بناام خدا



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

## گزارش حادثه فروریزش زمین و آتش سوزی گاز منطقه شهران تهران

( حادثه ۱۳۹۵/۳/۲۸ ساعت ۴:۳۰ صبح )

همراه با جمع بندی گزارش های:

شرکت راه آهن شهری تهران و حومه ( شرکت مترو )

سازمان زمین شناسی

شرکت آب و فاضلاب استان تهران

شرکت گاز استان تهران



۱۳۹۵/۴/۲۴



### فهرست

۳	چکیده.....	۱-
۶	مقدمه.....	۲-
۷	موقعیت سانحه.....	۳-
۹	علل سانحه.....	۴-
۱۰	جمع بندی گزارش های کارشناسی نهادهای مرتبط.....	۵-
۱۵	بررسی های موضوعی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.....	۶-
۲۹	اقدامات اجرائی بعد از فروریزش.....	۷-
۳۸	خسارت ها و تلفات.....	۸-
۳۸	مدیریت بحران.....	۹-
۴۰	نقاط ضعف.....	۱۰-
۴۰	نتایج و پیشنهادات.....	۱۱-
۴۳	عکس ها.....	۱۲-



## ۱- چکیده

در اثر فروریزش بوجود آمده در منطقه شهران تهران، گسیختگی در خط لوله گاز اصلی ۸ اینچی در محل حفر تونل مترو در تقاطع بلوار کوهسار، خیابان یکم شهران رخ داد، که موجب ایجاد حریق وسیعی در محل گردید. این آتش سوزی حدود ساعت ۴:۳۰ بامداد جمعه مورخه ۱۳۹۵/۳/۲۸ به وقوع پیوست که تا ساعت (۶:۲۰) همان روز مهار شد.

در همان بدو رخداد، نظراتی از سوی عوامل مختلف در رسانه‌ها منتشر شد که طبق اعلام نظر اولیه برخی از مسئولین ذیربط، عملیات اجرایی در حین حفر تونل مترو سبب شکسته شدن لوله گاز شده است و دلیل این اتفاق به احتمال زیاد، برخورد تجهیزات حفاری (بیل مکانیکی) با لوله گاز عبوری بوده است. این در حالی است که با توجه به قرارگیری مترو در پایه تقریبی ۲۵ متری عمق زمین و قرارگیری لوله‌های گاز در عمق حدود ۲ متری، بررسی‌های اولیه و مشاهده عکس‌های فروچال ایجاد شده، نشان از گسیختگی لوله هشت اینچی گاز در اثر فروچاله بوده که علت پدیداری فروچاله نیز احتمالاً حفاری خط مترو بوده باشد. طبق گفته برخی از ساکنین این منطقه، علت آتش سوزی، ناشی از عملیات عمرانی مترو (خط ۶) و نشست خاک زیر لوله در این منطقه حدس زده می‌شود.

از سوی دیگر مسئولین شهرداری تهران، با بیان اینکه مترو در ۲۵ متری سطح زمین در حال ساخت بوده، این اتفاق را به احتمال زیاد به علت فشار جانبی و جرقه‌های ناشی از کابل برق دانستند؛ به صورتی که ناشی گاز به لایه زیر خاک راه یافته و جرقه ناشی از قطع شدن سیم‌های زیر لوله باعث رخداد آتش سوزی شده است، به گونه‌ای که آتش علاوه بر اینکه به تونل در دست ساخت مترو نفوذ کرده، آسفالت را شکافته و به سطح زمین می‌رسد و یک ساختمان اداری خالی از سکنه دچار حریق شده و به پنج ساختمان مسکونی و ادارای خسارات جزئی می‌شود.

به نظر می‌رسد که اظهارات بالا توجیه‌گر فروچال و گسیختگی لوله گاز در اثر آن نمی‌تواند باشد. در این گزارش درباره علل احتمالی رخداد، دلایلی آورده خواهد شد ولی در هر حال در حوادث مرتبط با گاز، عامل بحران ساز، انفجار و آتش سوزی است که در این حادثه و طی برآوردهای اولیه، جرقه‌های ناشی از پارگی کابل‌های برق می‌تواند نقش محرک آتش سوزی را ایفا کرده باشد.

هرچند مسئولین مترو اظهار می‌دارند که دیواره تونل دارای جداره بتنی بوده است (عملیات لاینینگ انجام شده بوده است) و با توجه به این نکته که تونل مترو ۲۵ متر اختلاف عمق با خطوط گازرسانی داشته است، احتمال بروز این سانحه در اثر برخورد مستقیم تجهیزات حفاری قابل قبول نبوده و بروز این رخداد بیشتر براساس نشست زمین در دراز مدت و نشست گاز ناشی از تغییر شکل لوله‌ها در خاک و به دنبال آن بروز آتش سوزی بوده است، ولی در همین رابطه سوال دیگری پیش می‌آید که دلیل ایجاد فروچال و یا هسته اولیه حفره ایجاد شده در زیر زمین که موجب ایجاد حفره‌ای وسیع و عمیق شده است چه عاملی بوده است؟. لازم بذکر است که با تکمیل اطلاعات، مسئولین شرکت مترو، فرضیه وجود حفره بین تونل و سطح زمین را طرح نموده‌اند که در جمع‌بندی گزارش‌های نهادهای مرتبط در ادامه آورده شده است. لوله گاز ۸ اینچی ورودی ایستگاه تقلیل فشار غرب تهران و خط گاز تغذیه مناطق شهران، کوهسار، کن و سولقان که در



عمق دو و نیم متری سطح زمین قرار داشتند (در این نقطه لوله گاز بدلیل جلوگیری از برخورد به لوله آب با زانوئی ۴۵ درجه از زیر لوله آب رد شده و عمق بیش از عمق استاندارد ۱.۱ متری پیدا کرده است) دچار گسیختگی شده که این امر موجب آسیب کامل این خطوط لوله و قطع گاز مشترکین در این مناطق (بیش از ده هزار مشترک گاز) گردید، همچنین بر طبق گفته مسئولان، مشابه این پدیده در مورد لوله‌های آب این منطقه در اثر فروریزش زمین و ایجاد گودال در محل عبور لوله‌ها رخ داده که طی آن لوله‌های آب هم دچار گسیختگی شده و موجب ریزش مقدار قابل توجهی آب به درون حفره شده است.

همچنین در اثر این سانحه، خطوط انتقال برق منطقه (سه خط ۲۰ کیلو ولت) آسیب دید و بسیاری از تجهیزات برق منطقه در پیرامون محل سانحه در اثر آتش سوزی و درجه حرارت بالای به وجود آمده از کار افتادند و سوختند که این امر موجب قطع برق در ساعات اولیه گردید.

قابل ذکر است که در پی آتش سوزی گاز در شهران غرب تهران و قطع فیبر نوری عبوری از محل (خطوط انتقال فیبر مرکز شهید کاظمیان مخابرات استان تهران)، ارتباطات مشترکان موبایل در منطقه شمال غرب و بخشی از غرب تهران قطع شد. فروریزش زمین موجب ایجاد گودالی وسیع شد و دو ساختمان اداری و مسکونی در محل حادثه دچار حریق شدند ولی به گفته ماموران اورژانس در ساختمان‌های دچار حریق تلفات و مصدوم نداشته اما بیم آن بوده که تعدادی از ماموران مترو در زیر آوار در تونل مترو مانده باشند.

اظهارات مسئولین حاکی از آن بوده که ۲ کارگر مترو در حادثه فروریزش زمین جانشان را از دست دادند. ذکر گردیده که در این حادثه علاوه بر راننده بیل مکانیکی، یکی دیگر از کارکنان مترو نیز جان خود را از دست داده است.

همچنین فشار گاز ۲۵۰ پی اس آی و آتش سوزی ناشی از آن سبب شکسته شدن شیشه‌های ۵ واحد مسکونی در اطراف نقطه حادثه شده و یکی از ساختمان‌های اداری اطراف نیز دچار حریق شده است. طبق اعلام مسئولین، چهل دقیقه طول کشیده تا گاز بسته شود که این امر جای توجه جدی دارد.

با توجه احتمال رخداد سوانح مشابه در تهران و بویژه با در نظر گرفتن اثرات زلزله احتمالی تهران بر شریان‌های حیاتی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سه جلسه کارشناسی به دستور وزیر محترم راه و شهرسازی با حضور کلیه سازمان‌های مرتبط با موضوع برگزار نمود. همچنین نتایج و جمع‌بندی کارشناسی خود را در شورای عالی معماری و شهرسازی ارائه نمود. اساتید خبره دانشگاهی را برای توجیه و تفسیر مدل ژئوتکنیکی فروریزش به جلسه سوم دعوت و در نهایت گزارش‌های شرکت‌های مترو، آب و فاضلاب و گاز و نیز گزارش مکتوب سازمان زمین شناسی را جمع‌آوری و جمع‌بندی نمود که حاصل کار در ادامه گزارش آورده شده است.

نتیجه بررسی‌های بعمل آمده نشان می‌دهد که خاک منطقه با توجه به خصوصیات ژئوتکنیکی آن، دارای چسبندگی ضعیف و با پتانسیل ریزش بوده و در محدوده فروریزش آب‌های زیر سطحی نیز مزید بر علت بودند. با چنین وضعیتی در محدوده، عملیات استحکامی لاینینگ و شات‌کریت دیواره مترو بصورت مطلوب صورت نگرفته و وقفه بیش از یکماه



نیز تا استحکام نهایی دیواره مترو در چنین وضعیتی که ریزش آب و ریزشی بودن خاک که گزارش‌های فنی روزانه حفاری مترو نیز بر آن تاکید می‌کند، وجود داشته، موجبات ریزش خاک به درون تونل مترو را فراهم ساخته است. با نفوذ و ریزش خاک به درون تونل مترو، زیر لوله‌های آب و گاز خالی گردیده و لوله‌ها با توجه به تنش خمشی و برشی تحمیل شده توسط خاک باقی مانده در سطوح فوقانی خود، دچار گسیختگی شده و همراه با جرقه اتصال کابل‌های برق، رخداد آتش‌سوزی در زون فروریزش صورت گرفته است. ریزش حدود ۵۰۰۰ متر مکعب آب از طریق لوله گسیخته شده به درون حفره به ابعاد تقریبی ۲۷ متر طول، ۱۵ متر عرض و ارتفاع، موجبات نفوذ بیشتر گل و لای به درون تونل مترو گردید که متأسفانه دو نفر از کارگران مترو در این حادثه جان خود را از دست می‌دهند.

جمع‌بندی این مرکز برای علت حادثه، ریزش خاک به درون تونل مترو و اثر فروریزشی آن بر نهشته‌های فوقانی و لوله‌های آب و گاز و گسیختگی این لوله‌ها می‌باشد، این مرکز احتمال رخداد انفجار گاز را نیز منتفی می‌داند.



## ۲- مقدمه

رخداد مخاطرات طبیعی و یا انسان‌ساز، گرچه با تلفات و خسارت‌های قابل ملاحظه‌ای در کشور ما همراه است اما از جنبه‌های مختلفی می‌تواند درس‌آموز باشد و هشدار برای آمادگی و پیشگیری تلقی گردد. عکس‌العمل و واکنش‌های سطوح مدیریتی و سطوح اجتماعی در خصوص این وقایع، تابعی از شدت و اثرگذاری این بحران‌هاست که متأسفانه پس از مدتی به بوته فراموشی سپرده می‌شود و درس‌ها و تجربیاتی که لازم است پس از وقوع رخداد‌های کوچک و بزرگ آموخته شود، نادیده گرفته می‌شود و در نتیجه آن، آمادگی‌های لازم در برابر بحران‌های با ابعاد وسیع‌تر از دست می‌رود. از نقاط ضعف دیگر در مواجهه با این بحران‌ها، می‌توان به عدم مستندسازی منظم و کامل این رخدادها اشاره نمود. عدم مستندسازی جامع این رخدادها، مانع استفاده درست از درس‌ها و نقاط ضعف و قوت رخدادها از نظر نکات فنی، مهندسی و مدیریتی در آینده می‌گردد.

علت اصلی نگارش این گزارش، وقوع سانحه مهم در محیط شهری و تاثیرپذیری شریان‌های حیاتی و المان‌های شهری و ساختمان‌ها و تلفات احتمالی جانی، ناشی از این حادثه است که به دلیل اهمیت زیاد آن، در جای خود نیاز به مستندسازی دارد. از سوی دیگر، به دلیل رخداد مخاطره مهم و تهدیدکننده‌ای تحت عنوان فرونشست زمین می‌باشد که در منطقه جنوب غربی تهران و در ناحیه‌ای که انواع المان‌های زیرساختی و شریانی عبور می‌کند، ثبت و گزارش شده است و ممکن است اثر آن بسیار وسیع‌تر و مخرب‌تر از سانحه فروچال شهران و آتش‌سوزی گاز باشد. فرونشست زمین و پدیداری فروچال‌ها در چندین ناحیه و منطقه کشور مشاهده می‌گردد و اگر در خصوص تحلیل ریسک و کاهش ریسک فرونشست زمین اقدامی به عمل نیاید، امکان بروز چنین حوادثی در مسیر سامانه‌های حمل و نقل نظیر راه‌آهن، بزرگراه‌ها، لوله‌های قطور انتقال بنزین و سوخت، مجتمع‌های نفتی و پتروشیمی و مراکز شهری و جمعیتی بسیار محتمل است که می‌تواند منجر به خسارت‌های جبران ناپذیری گردد.

بررسی توانمندی‌های مدیریت بحران و سرعت عکس‌العمل در برابر حادثه کوچک رخ داده، درس‌های گرانبهائی از نحوه مدیریت و مقابله و ظرفیت و پتانسیل‌های موجود مدیریت بحران و مدیریت شهری را فراهم می‌نماید و بیانگر میزان آمادگی در مقابل مخاطرات طبیعی سترگ احتمالی نظیر زلزله شهر تهران، اثرات فرونشست زمین در جنوب غرب تهران و ... است. به عبارت بهتر، نحوه مدیریت این حوادث نشان می‌دهد، چقدر در برابر وقوع این بحران‌ها آمادگی وجود دارد.

همانگونه که ذکر گردید، گزارش حاضر صرفاً با هدف مستندسازی و در روزهای اول رخداد سانحه بر مبنای اطلاعات منتشر شده و نیز در مرحله بعدی با جمع‌بندی گزارش‌های دریافتی از سایر نهادهای مرتبط با موضوع تهیه گردیده و قطعاً در فرصت‌های زمانی مناسب‌تر می‌توان گزارش‌های کارشناسانه مبسوط‌تری را ارائه نمود و از میزان دقیق خسارت‌ها و تلفات جانی با قاطعیت بیشتری صحبت نمود. در هر حال امید است مطالعه این نوشتار برای مدیران ارشد و کارشناسان مرتبط مفید واقع گردد.



### ۳- موقعیت سانحه

محل رخداد فروریزش و خسارت‌های وارده، در تقاطع بلوار کوهسار، خیابان یکم شهران واقع در شمال غرب تهران بوده است. این حادثه در ساعات ابتدایی صبح جمعه ۲۸ خرداد سال نود و پنج رخ داد. محدوده رخداد سانحه، به ارتفاع تقریبی ۱۴۳۰ متری از سطح دریا و با مختصات، طول جغرافیایی: ۵۱.۲۸۴ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵.۷۶۵ درجه می‌باشد (شکل ۱). در شکل ۲ عکس‌هایی از سانحه نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت محل فروریزش زمین





شکل ۲- عکس‌هایی از سانحه





#### ۴- علل سانحه

ساعت ۴:۳۰ بامداد جمعه در حالی که بیل مکانیکی مترو در حال فعالیت بود و این خاکبرداری زیر لوله گاز اصلی این منطقه انجام می‌شد زیر لوله گاز خالی شده و فروچال ایجاد شده سبب گسیختگی لوله و ترکیدن و آتش‌سوزی می‌شود. مسئولین مترو اعلام کردند که حادثه ترکیدگی لوله گاز در منطقه شهران ربطی به ساخت تونل مترو در این منطقه نداشته و بیان کردند که تونل مترو در قسمتی که این حادثه اتفاق افتاده است در واقع ۲۵ متر پایین‌تر و عمیق‌تر قرار دارد، بدین معنی که تونل مترو ۲۵ متر در زیر تمامی تاسیسات شهری قرار دارد. همچنین به نقل از مسئولان مترو اعلام شد که خوشبختانه در این قسمت تونل مترو لاینیگ شده بود و عملیات حفاری تونل از مدت‌ها پیش به اتمام رسیده بود. آن‌ها اظهار داشته‌اند که این اتفاق به احتمال زیاد به علت فشار جانبی و جرعه‌های ناشی از کابل برق رخ داده است. مسئولان شهرداری تهران اظهار نمودند که نشستی گاز به لایه زیر خاک راه یافته و جرعه ناشی از قطع شدن سیم‌های زیر لوله باعث رخداد آتش‌سوزی شده است. آتش علاوه بر اینکه به تونل در دست ساخت مترو نفوذ کرد، آسفالت را شکافته و به سطح زمین رسیده است و یک ساختمان خالی از سکنه دچار حریق شده و به پنج ساختمان مسکونی و اداری خسارات جزئی وارد کرده است.

مسئولان مترو از احتمال مدفون شدن راننده بیل مکانیکی در اثر ریزش خاک که در تونل مترو کار می‌کرده، خبر دادند. بررسی این اظهارات از یک طرف و مشاهده عکس‌های حفره ایجاد شده از طرف دیگر، نشان می‌دهد که عامل گسیختگی لوله، فروچاله ایجاد شده بوده است و اینکه آتش‌سوزی و انفجار باعث ایجاد حفره شده باشد، با توجه به دیوار عمودی حفره و مکانیسم تشکیل فروچال احتمال کمتری دارد.

از طرفی بر طبق اظهار مسئولان مترو، اگر لاینیگ تونل انجام شده بوده، این سوال پیش می‌آید که پس دلیل مدفون شدن راننده بیل مکانیکی چه عاملی می‌تواند باشد، انفجار از لوله گاز که در عمق ۱ تا ۲ متر سطح زمین قرار داشته آیا می‌تواند به لاینیگ بتنی مترو در عمق ۲۵ متری آسیب وارد کند؟ این امر احتمال بسیار پایینی دارد، زیرا انرژی انفجار به جای فشار بر لایه‌های تحتانی، راه فرار به سوی بالا را به سهولت داشته و اکثر انرژی موج انفجار به سمت بالا گسیل خواهد شد.

این نکته نیز مهم است اگر حفره‌ای در زیر زمین از پیش و در حین حفاری تونل مترو تشکیل شده باشد و در اثر ارتعاشات حاصل از کار بیل مکانیکی لایه‌های سطحی به ناگهان گسیخته و رو به پائین سقوط کنند، در آن صورت فشار وزن این لایه‌ها بر لوله‌ها اثر کرده و احتمال دارد موجب گسیخته شدن آن‌ها گردند.

در ادامه جمع‌بندی گزارش‌های دریافتی از شرکت‌های مترو، سازمان زمین شناسی، شرکت آب و فاضلاب و محاسبات شرکت گاز جهت تشریح نقطه نظرات این نهادهای رسمی مرتبط با سانحه آورده می‌شود.



## ۵- جمع‌بندی گزارش‌های کارشناسی نهادهای مرتبط

با توجه به لزوم جمع‌بندی نظرات عوامل مرتبط با سانحه و سازمان‌های تخصصی، گزارش‌های سازمان زمین شناسی و شرکت‌های آب و فاضلاب، گاز استان تهران و شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه (شرکت مترو) جمع‌آوری گردید که در زیر جمع‌بندی گزارش‌های این نهادها آورده شده است.

### ۵-۱- جمع‌بندی گزارش شرکت مترو



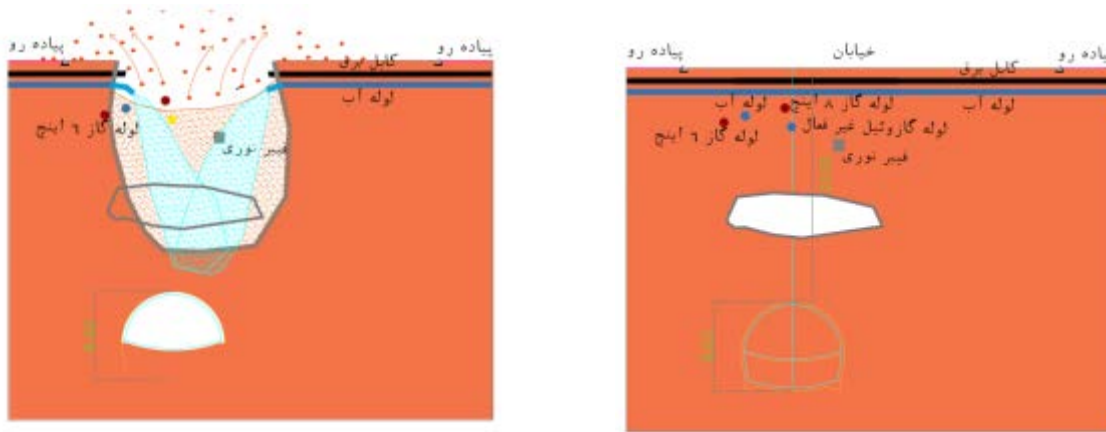
مسیر خط ۶ متروی شهری تهران از محدوده میدان کوهسار در انتهای خیابان کوهسار شمالی واقع در شمال غرب تهران آغاز می‌شود و در ادامه مسیر خود پس از گذر از زیر خیابان کوهسار و به موازات آن از زیر بزرگراه‌های همت و حکیم عبور نموده و به سمت مرکز شهر ادامه می‌یابد و نهایتاً در جنوب تهران به پایانه دولت آباد منتهی می‌گردد. در ساعت ۴:۳۰ بامداد مورخ ۹۵/۰۳/۲۸ انفجار لوله گاز در تقاطع خیابان یکم شهران و خیابان کوهسار باعث ایجاد گودالی به طول حدود ۲۶ متر و عرض ۱۷ متر و عمق حدود ۱۶ متر و ریزش تونل مترو شد. محدوده ریزش از کیلومتراژ ۲۹+۹۸۷ تا ۳۰+۰۱۴ توسعه یافته است.

فروریزش زمین باعث ایجاد گودالی به طول حدود ۲۶ متر و عرض ۱۷ متر و عمق حدود ۱۶ متر و ریزش تونل مترو شده است. در فاصله ۲۲ متری از سطح زمین تونل خط ۶ متروی تهران توسط کنسرسیوم شرکت مهندسی چیلکو و بانک شهر و با نظارت مهندسی مشاور حمل و نقل ریلی بهروی تهران، حفاری و تحکیم موقت گردیده بود. مع‌الوصف، طبق موارد مطروح در گزارش حاضر می‌توان دلایل حادثه را بشرح ذیل بیان کرد.

- وجود حفره خالی در زیرخیابان
  - ریزش تدریجی حفره و حرکت آن به سمت بالا
  - از بین رفتن تکیه گاه لوله و شکست سرچوش لوله گاز و نشستی آن
  - احتمال خوردگی و فرسودگی لوله گاز و کاهش ضخامت لوله به دلیل عمر آن یا عدم حفاظت کاتدیک دقیق و کامل لوله یا عدم اجرای دقیق عملیات پوشش لوله.
  - ریزش فضای پیرامونی حفره خالی به دلیل ضربه ناشی از موج انفجار و همچنین تغییر رفتار ژئوتکنیکی خاک در اثر دمای فوق العاده بالای ناشی از احتراق که منجر به انهدام تونل و ایجاد گودال پس از حادثه گردیده است.
- مدلی که مترو برای توجیه فروریزش ارائه می‌کند، در شکل‌های زیر نشان داده شده است. در این مدل فرض بر اینست که بین تونل مترو و سطح زمین حفره‌ای (که لابد ابعاد آن باید متناسب با حفره تشکیل شده در سطح زمین در حادثه



فروریزش زمین در شهران بوده باشد) از قبل وجود داشته که در حین حفاری مترو ریزش نکرده (بعبارت دیگر بین سقف مترو و کف حفره خاک پایدار بوده) و سپس در اثر عوامل محیطی و رطوبت، حفره از سقف ریزش کرده و به سمت سطح زمین بالا آمده که در نزدیکی زمین در اثر افتادگی ناگهانی نهشته‌های سطحی در برگیرنده لوله‌ها و کابل‌ها، گسیختگی در لوله‌های گاز و آب بوجود آمده و موجب بروز حادثه گردیده است (شکل ۳).



شکل ۳- مدل شرکت مترو برای توجیه فروریزش زمین در شهران

## ۵-۲- جمع‌بندی گزارش سازمان زمین شناسی

بر اساس گزارش سازمان زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناختی بخشی از آبرفت‌های دانه درشت مخروط افکنه آبراهه زرنو (یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه کن) در دشت تهران می‌باشد. این آبرفت‌ها به دلیل جوان بودن، کم بودن محتوای رس و سیمان شدگی ناچیز، از چسبندگی، مقاومت و پایداری زیادی برخوردار نیستند. در آبرفت یاد شده، اندازه دانه‌ها از حد سیلت و ماسه تا قلوه و تخته‌سنگ متفاوت است. سنگ کف دشت تهران، در این منطقه متشکل از سازند آذرآواری کرج می‌باشد.

محدوده مورد نظر در فاصله حدود ۱/۵ کیلومتر از گسل شمال تهران قرار دارد و از این دیدگاه، احتمال وجود زون‌های برشی در آن و یا پیرامون آن داده می‌شود. این آبرفت‌ها از قابلیت آبگذری بالایی برخوردار هستند. (شکل ۴) با توجه به بازدید بعمل آمده توسط اکیپ سازمان زمین‌شناسی و نظر به وضعیت نهشته‌های سطحی و رسوبات آبرفتی مشاهده شده در دیواره تونل‌ها، نکات زیر قابل استنتاج است.

- عامل رخداد این فروریزش، عاملی زمین‌شناختی نبوده است.
- محدوده فروریخته، از دیدگاه زمین‌شناسی نیازمند تمهیدات ویژه مهندسی در هنگام حفر تونل بوده است.
- در بین عوامل احتمالی در شکل‌گیری این رخداد، نقش عملیات ساخت مترو نسبت به سایر عوامل محتمل‌تر به نظر می‌رسد.



شکل ۴- خاک دانه درشت با قلوه سنگ‌های بسیار و فاقد رس و چسبندگی و نفوذپذیری بالا

### ۵-۳- جمع‌بندی گزارش شرکت آب و فاضلاب استان تهران

از مجموع مکاتبات و گزارش‌های ارائه شده توسط شرکت آب و فاضلاب استان تهران بطور خلاصه می‌توان چنین برداشت نمود که ریزش خاک به درون تونل مترو و ادامه ریزش موجب فروریزش ناگهانی لایه‌های خاکی فوقانی و خالی شده زیر لوله‌های گاز و آب شده است که با توجه به وزن روباره روی لوله‌ها که بمراتب بیش از مقاومت خمشی و برشی لوله‌های آب و گاز بوده است، گسیختگی لوله‌ها اتفاق افتاده است. چکیده مکاتبات و گزارشات این شرکت پیرامون حادثه فروریزش بقرار زیر است:

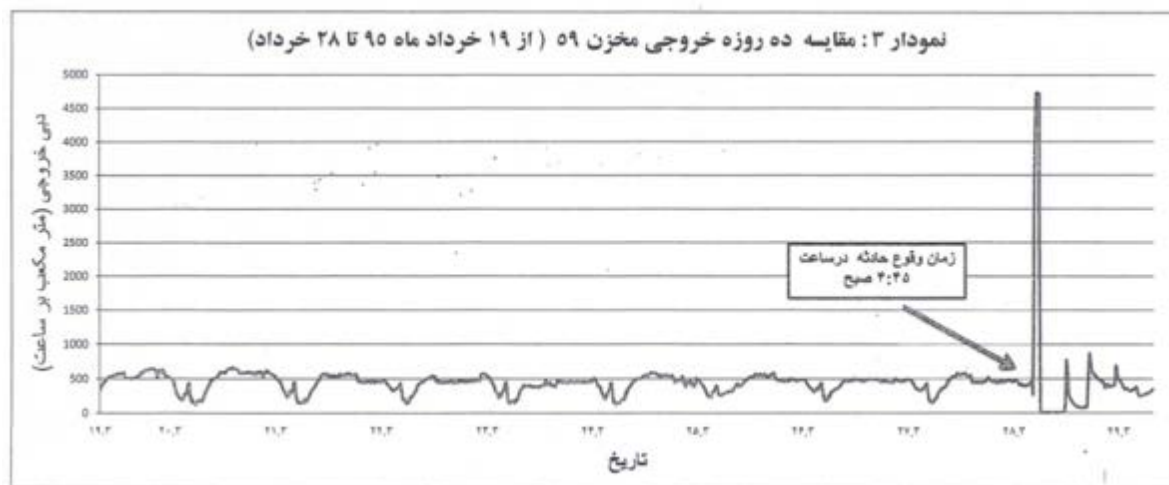
- در بررسی صورت گرفته مشاهده می‌شود هیچگونه گزارشی دال بر نشستی آب محل فرو نشست قبل از وقوع حادثه وجود نداشته است که اگر این می‌بود در صورت مشهود بودن شکستگی لوله می‌بایست در سیستم سامانه امداد و حوادث این شرکت (مرکز ۱۲۲) که بصورت مکانیزه و متمرکز در سطح شهر تهران اقدام به رصد و ثبت و ضبط حوادث احتمالی می‌نماید، اقدام می‌گردید. این در حالی‌ست که حتی اگر بروز نشستی آب را از نوع زیرسطحی آن تلقی نمائیم می‌بایست با این مطلب روبرو می‌بودیم که بسته به میزان نشستی آب گزارشاتمی از جانب دست اندرکاران شرکت مترو مبنی بر وقوع نشستی آب اعم از کم یا زیاد آن از بدنه تونل در حال حفر و یا حتی سقف آن با قابلیت ارتباط و انتساب با محل وقوع حادثه به این شرکت گزارش می‌شد، که این اتفاق نیز رخ نداده و سامانه امداد و حوادث این شرکت فاقد هرگونه اخبار رسمی و غیررسمی در محل حادثه، می‌باشد، لذا براساس آنچه که در بند اشاره شد این نتیجه از شواهد و قرائن حاکی است که ارتباطی میان نشستی آب شرب و انفجار، آن هم قبل از حادثه آتش‌سوزی متصور نمی‌باشد.
- از آنجائی که آمارهای برداشت شده از سیستم آنلاین مرکز سامانه تله‌متری بگونه‌ای است که حجم ورودی و خروجی مخازن را در قالب فایل‌های الکترونیکی که قابل رؤیت و بصورت گراف‌های نموداری نشان می‌دهد، میزانی



بالغ بر ۵۰۰۰ متر مکعب آب از مخزن ۵۹ تهران که در مجاورت محل حادثه بوده به یکباره شروع به تخلیه می‌نماید که نشاندهنده این موضوع می‌باشد که شکستگی لوله در محل وجود نداشته است، لذا اساساً این ذهنیت عینیت می‌یابد که تخلیه مخزن ذخیره آب بدلیل شکستگی لوله در محل حادثه ناشی از انفجار و فشار حاصل از جابجائی خاک و خالی شدن بستر زیرین لوله انتقال آب این شرکت به یکباره بروز نموده است.

▪ فرض ارتباط اقداماتی که منجر به انفجار در زیر زمین شده است موضوع غیرعادی و غیر قابل باوری نمی‌تواند باشد چرا که درست است که فاصله عمق عملیات زیرزمینی با محل وقوع لوله‌های آب و گاز در نوع خود عمق قابل ملاحظه‌ای است ولی عنایت به جنس خاک و ریزی بودن آن، نوع حفاری که بصورت استفاده از روش‌های سنتی و عدم بکارگیری دستگاه TBM در احداث تونل رخ داده، باعث شده که بستر زیرین خاک‌های محل وقوع لوله‌های فوق کاملاً از سستی بالائی برخوردار شده و در نتیجه حادثه‌ساز گردد.

▪ با توجه به موارد مذکور می‌توان نتیجه تغییر محل بستر خاک ناشی از عملکرد غیراصولی در حفر تونل مترو را سبب‌ساز مسائل بعدی معرفی نمود و بر آن ادله‌ی کارشناسی نیز اقامه کرد. بدیهی است این مطلب در گزارش کارشناس رسمی دادگستری در نمونه‌های مشابه موضوع مورد ذکر قرار گرفته و مصداق داشته و اگر برای این مهم تدبیر، چاره ساز در آتیه اندیشیده نشود مواجه با حوادث مشابه که چه بسا با ابعاد گسترده‌تری نیز می‌تواند همراه باشد خواهیم بود، لذا از همین رو طلب می‌کند از جنبه پیشگیری اقدامات لازم بعدی در این زمینه نیز به انجام برسد. در شکل‌های زیر دیاگرام دبی خروجی از مخزن ۵۹ بصورت سری زمانی نشان داده شده است که لحظه گسیختگی لوله آب را نیز نشان می‌دهد (شکل ۵).





شکل ۵- دبی خروجی آب از مخزن ۵۹ در دو دیاگرام بالا

#### ۴-۵- جمع‌بندی گزارش شرکت گاز استان تهران

خلاصه گزارش‌ها، محاسبات و ارائه‌های نمایندگان شرکت گاز استان تهران، دال بر ریزش ناگهانی خاک زیر لوله‌ها بوده که با توجه به خمشی که در محل حادثه، بدلیل تقاطع با لوله‌های آب، به لوله گاز ۸ اینچی داده بودند، عمق لوله گاز در محل حادثه حدود ۲.۵ متر بوده، که با توجه به ضخامت خاک روی لوله‌ها و غلبه وزن آن بر مقاومت برشی و خمشی لوله گاز، گسیختگی در لوله‌ها اتفاق افتاده است. شرکت رخداد انفجار را بطور کلی مردود دانسته و اعلام می‌نماید که در صورت انفجار پخش‌شدگی خاک و آسفالت، خسارت دیدگی ساختمان‌ها و خودروها بمراتب بیشتر می‌بود.

گاز طبیعی بعلت سبکتر بودن نسبت به هوا، حرکت و جریانی به سمت بالا دارد، آنچه باعث حرکت معکوس گاز به سمت پایین شده نیروی مکش توربوفن‌های مترو بوده که نشانگر باز شدن و ایجاد منفذ از سقف کانال مترو به داخل تونل و حرکت خاک به سمت پائین و نشست زمین و شکست لوله‌های آب و گاز بوده که جریان آب نیز به پدیده نشست تسریع بخشیده است.

چنانچه انفجاری رخ می‌داد و گودال بزرگ ایجاد شده ناشی از انفجار گاز بود می‌باید حجم عظیمی از خاک (حدود ۴۰۰۰ متر مکعب) با شدت و فشار به فضای اطراف پرتاب و پراکنده می‌شد که چنین امری رخ نداده و صدای اولیه نیز ناشی از ریزش ناگهانی توده عظیم خاک و خروج گاز ۲۵۰ psi از لوله ۸" و متعاقب آن آتش‌سوزی ناشی از جرقه و سوختن گاز خروجی بوده است. در منازل و ساختمان‌های اطراف نیز شواهدی از انفجار موجود نبوده و تنها حرارت ناشی از سوختن گاز نمای ساختمان را تغییر شکل داده است.

خطوط لوله گاز همگی براساس استانداردهای روز دنیا و با استحکام و مقاومت مناسب طراحی و اجرا می‌گردند لکن نشست زمین و ایجاد حفره‌ای به طول ۲۰ و عمق بیش از ۱۵ متر با اعمال تنش‌های برشی و خمشی باعث پارگی و شکست لوله گاز شده‌اند. موارد زیر و محاسبات انجام یافته جهت نشان دادن حد گسیختگی لوله گاز ۸ اینچی و میزان گاز خروجی و معلوم نمودن سایر پارامترها قابل ذکر می‌باشند:



- زمان شروع عملیات بستن کامل شیرهای خط اصلی ۲۴" در تقاطع همت و فلکه اول شهران ۴:۴۵، زمان اتمام عملیات بستن کامل شیرهای اصلی ۵:۴۰
- محاسبات

میزان گاز تخلیه شده از محل شکست لوله ۸" با فرض فشار ابتدای خط ۲۲۰PSI در ۴۰ دقیقه

$$Q^2 \text{ WEYMOUTH FORMULA } \frac{200}{1060(8.249)^{16/3}} \quad 235^2 - 14.7^2 =$$

$$\underline{000 \text{ m}^3}, Q_1 = 120 \quad \rightarrow \quad \text{در ۴۰ دقیقه} \quad 500 \text{ SCM}, Q = 182$$

میزان گاز خروجی از خط ۸" سولقان قبل از بستن کامل شیرهای خط اصلی ۲۴" میزان گاز موجود در ۱۷۰۰ متر خط ۲۴" در حد فاصل دو شیر ۲۴" (از همت تا فلکه اول شهران)

$$S = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (0.6)^2 = 0.28 \text{ m}^2 \quad V = 0.28 * 1700 = 480 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = 480 * \frac{230}{14.7} = 7673 \text{ m}^3 \quad Q_1 \approx 7600 \text{ m}^3$$

حجم گاز داخل خط ۸" به طول ۹ کیلومتر (از محل شیر منشعب از ۲۴" آبشناسان تا سولقان)

$$(ft^3) Q_3 = 0.0955 D^2 LP_m = 1.955 (8.249)^2 \frac{9000}{161} * 20.5 \text{ psi}$$

$$Q_3 = 4355 \text{ m}^3$$

کل حجم گاز تخمینی خروجی از محل شکست لوله از ساعت فرو نشست زمین تا تخلیه خطوط و فروکش آتش

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \approx \underline{132000 \text{ m}^3}$$

زمان تخلیه خط ۲۴" حد فاصل شیرهای همت و شهران از خط ۸" آسیب دیده

$$(MIN) T_M = \frac{0.0588 * \sqrt{G}}{(6)^2 * 161} \sqrt{230 * (23.4)^2 * 1700 * 2} = \underline{9.32''}$$

لازم بذکر است که گزارش‌های مکتوب و تفصیلی نهادهای فوق‌الذکر بصورت مجزا و در فایل‌های جداگانه‌ای در مرکز موجود بوده که در صورت نیاز قابل ارائه می‌باشد. لازم است در اینجا از همکاری همه نهادهای مرتبط با موضوع و بویژه شرکت مترو که کلیه گزارشات مرتبط با موضوع خود را در اختیار این مرکز قرار داد تقدیر بعمل آید. در ادامه و در رابطه با علل سانحه موارد کارشناسی اکیپ‌های مرکز برای تشریح وضعیت ژئوتکنیکی و روشن نمودن موضع رخداد صحت و سقم امکان وقوع انفجار گاز ذکر می‌گردد.





## ۶- بررسی‌های موضوعی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

علاوه بر ارائه گزارش حاضر و عناوین کلی مرتبط با سانحه، مرکز در رابطه با بررسی‌های ژئوتکنیکی و تحقیق در مورد احتمال وقوع انفجار را بطور ویژه در دستور کار خود قرار داد که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

### ۶-۱- بررسی‌های ژئوتکنیکی

بررسی گزارش‌های موجود در بانک اطلاعات ژئوتکنیک کشور (به تعداد هشت گمانه ماشینی و چاهکی دستی) در فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری محل فروریزش نشان می‌دهد که خاک محل از نوع درشت دانه شن و ماسه‌ای با ریزدانه اندک و بدون چسبندگی بوده که با مشاهدات محل فروریزش زمین در بخش سطحی تا عمق حدود ۱۰ متری قابل تصدیق است. به نظر می‌رسد حتی در بخش کوچکی در سطح زمین در محل فروریزش خاک دستی هم وجود دارد. همچنین بررسی نقشه قنات‌ها در اطراف محل فروریزش نشان می‌دهد که دو رشته قنات با تعدادی زیادی مادرچاه در فاصله ۲۰۰ متری قرار دارند، لذا محل مورد نظر یک زون آبدار است (شکل ۶) که اظهارات نماینده مترو مبنی بر ریزش قطره‌های آب در حین حفر هدینگ تونل مؤید این مطالب است. به نظر می‌رسد با توجه به غیرچسبندگی و ریزی بودن خاک محل، رشته‌های قنات در این ناحیه ادامه نیافته است. لذا با توجه به مشخصات خاک و همچنین وجود زون آبدار، اجرای سازه نگهبان اصلی در حین حفر تونل الزامی بود که متأسفانه فقط به ایجاد شات‌کریت آن‌هم به مدت یک ماه اکتفا شد. دو ساعت قبل از وقوع فروریزش طبق اظهارات نمایندگان مترو عملیات شات‌کریت در زیر محل حادثه در حال انجام بوده که متأسفانه راننده بیل مکانیکی در فاصله کمتر از ۱۰ متر در سمت شمال تونل حفر شده در زیر محل فروریزش در کابین مدفون شد.



شکل ۶- موقعیت قنات در محل حادثه

در محل فروریزش انواع شریان‌های حیاتی از قبیل لوله‌های گاز (شکل ۷)، کابل مخابرات، لوله آب و سوخت گازوئیل و برق وجود داشت. نکته تامل برانگیز عدم رعایت حداقل حریم لوله گاز برای فشار ۲۵۰ psi که به ترتیب برای حالت



عادی برابر ۲۰ متر و در محل‌های تجمع برابر ۱۵۰ متر بوده، می‌باشد. عمق قرارگیری تونل مترو با عرض حدود ۹ متر در ۲۲ متری از سطح آسفالت می‌باشد.



شکل ۷- جانمایی لوله‌های گاز

با توجه به شکل دیواره‌های محل فروریزش و همچنین نحوه گسیختگی لبه کناری آسفالت خیابان و عدم برخورد شن و ماسه به شیشه ساختمان‌های اطراف (بجز در راستای لوله ۲۵۰ PSI و تنها در سمت جنوب) به نظر می‌رسد که ابتدا فرونشست زمین اتفاق افتاده است. با توجه به اینکه در محل یاد شده به علت عبور لوله آب امکان قرار دادن لوله ۲۵۰ PSI در عمق استاندارد ۱/۱ متری وجود نداشت و به ناچار با ایجاد یک واریانت در عمق ۲/۵ متری قرار گرفت. در اثر فرونشست و در اثر وارد شدن یکباره وزن خاک به لوله گاز مستقر در عمق نامناسب، لوله پاره و گاز با فشار زیاد در محیط بخش و سپس در اثر جرقه‌ای آتش سوزی شروع می‌شود. همچنین تخلیه آب ۵۰۰۰ مترمکعبی سبب جابجایی حجم زیادی از خاک به داخل تونل شده است. لذا دلایل احتمالی حادثه فروریزش و آتش سوزی متعاقب به شرح زیر می‌باشد:

نشست یکباره زمین در حین کفبرداری تونل در زمین درشت دانه بدون چسندگی همراه وجود آب به علت عدم اجرای سازه نگهدارنده دائمی و نامناسب بودن شات‌کریت اتفاق افتاد. ریزش یکباره خاک سبب ایجاد تنش‌های زیاد در لوله گاز مدفن در عمق غیراستاندارد ۲.۵ متری گردید. لوله با فشار زیاد خاک به اطراف پخش کرد و در اثر جرقه‌ای آتش سوزی حدود ساعت ۴:۳۰ شروع می‌شود. سپس لوله آب ۱۰ دقیقه بعد می‌ترکد. آب زیاد به داخل محل حفره ریخته و خاک زیادی جابجا می‌کند. سپس در اثر ادامه آتش سوزی در اثر ذوب شدن کابل‌های مسی تلفن قطع می‌گردد. با توجه به طول بیشتر لوله در بخش شمالی ۶ کیلومتر (در مقابل ۱/۸ کیلومتر بخش جنوبی) تا شیر قطع گاز آتش در بخش شمالی به مدت بیشتری ادامه داشته و سبب سوختگی بیشتر در سطح آسفالت گردیده است.



## ۶-۲- بررسی احتمال وقوع انفجار گاز

یکی از موارد اختلاف بین مسئولین در خصوص عامل اصلی اتفاق، وقوع یا عدم وقوع انفجار در خط لوله گاز بوده است. دلایل مختلفی در خصوص عدم وقوع انفجار در خط لوله گاز ۸ اینچ عبوری در منطقه وجود دارد که در این گزارش به بررسی مشروح آنها پرداخته شده است. این دلایل را می‌توان به دو دسته مستندات کیفی و کمی تقسیم نمود.

الف- مستندات کیفی

### ▪ شکل حفره

شکل حفره ایجاد شده در محل و زاویه‌های بیش از ۹۰ درجه آن نشان دهنده ایجاد شکست به سمت پایین در خاک و فرو نشست خاک می‌باشد و وقوع انفجار زیر سطحی در خاک و در محل لوله گاز را غیر محتمل می‌سازد (شکل ۸).





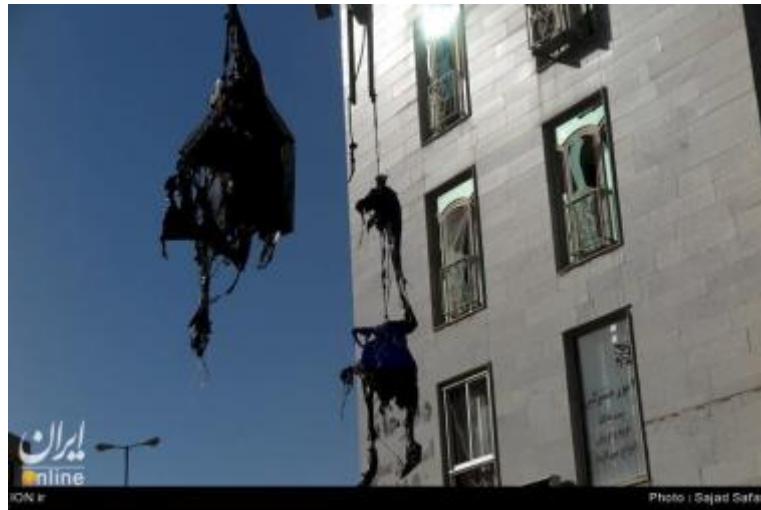
شکل ۸- شکل حفره و وضعیت عمودی دیواره‌های آن

#### ■ عدم ایجاد موج انفجار

در صورت وقوع انفجار با توجه به واکنش سریع ایجاد شده و افزایش حجم گازی که از انفجار ایجاد می‌شود، موج انفجار ایجاد می‌گردد که در این مورد، وقوع چنین انفجاری با توجه به سالم ماندن شیشه‌های ساختمان‌های واقع در چهار راه و در فاصله نزدیک به محل غیر محتمل می‌باشد. شیشه‌های دو ساختمانی نیز که آسیب دیده‌اند ساختمان‌هایی بوده‌اند که آتش به آنها سرایت کرده و در اثر آتش دچار شکستگی شده‌اند (شکل ۹).







شکل ۹- عدم شکست و یا شکستگی محدود در شیشه‌های ساختمانی که در تماس و نزدیکی آتش بوده است

#### ■ سالم ماندن لوله گاز ۶ اینچ واقع در محل

همانگونه که در کروکی زیر ( شکل ۱۰) مشاهده می‌شود در محل حادثه دو خط لوله فشار بالا با فشار ۲۵۰ Psi در فاصله کم قرار داشته‌اند که عمق دفن لوله ۸ اینچ ۲.۳ متر ( به علت تلاقی با لوله آب ) و لوله ۶ اینچ ۱.۱ متر بوده است. تصاویر بازدیدهای پس از واقعه نشان می‌دهد که لوله ۸ اینچ دچار شکست شده است ولی لوله ۶ اینچ با وجود تغییر شکل‌های زیاد و آسیب دیدن پوشش آن به علت آتش‌سوزی، سالم مانده است که نشان‌دهنده عدم وقوع انفجار در نزدیکی آن می‌باشد. نوع تغییر شکل لوله ۶ اینچ واقع در محل نشان می‌دهد که هیچ نیروی جانبی به آن وارد نشده است. در حالی که در صورت وقوع انفجار، به دلیل آنکه لوله ۶ اینچ بالاتر از ۸ اینچ می‌باشد، نیروی وارده باید به صورت جانبی و رو به بالا می‌بود در حالی که تغییر شکل ایجاد شده به صورت قائم و به سمت پائین می‌باشد که نشان‌دهنده تغییر شکل استاتیکی خاک به سمت پائین در اثر سربار و وزن لوله و فرآورده درون آن می‌باشد ( شکل ۱۱).



شکل ۱۰- کروکی لوله‌های گاز



شکل ۱۱- سالم ماندن لوله گاز ۶ اینچی

### ب- دلایل کمی

#### ■ محاسبات مربوط به ظرفیت تحمل لوله ۶ اینچ

با توجه به اینکه لوله ۶ اینچ واقع در محل واقعه با وجود تغییر شکل‌های زیاد و رسیدن به حد پلاستیک دچار پارگی نشده است، ظرفیت لوله و بارهای محتمل وارده بر آن ارزیابی شد:

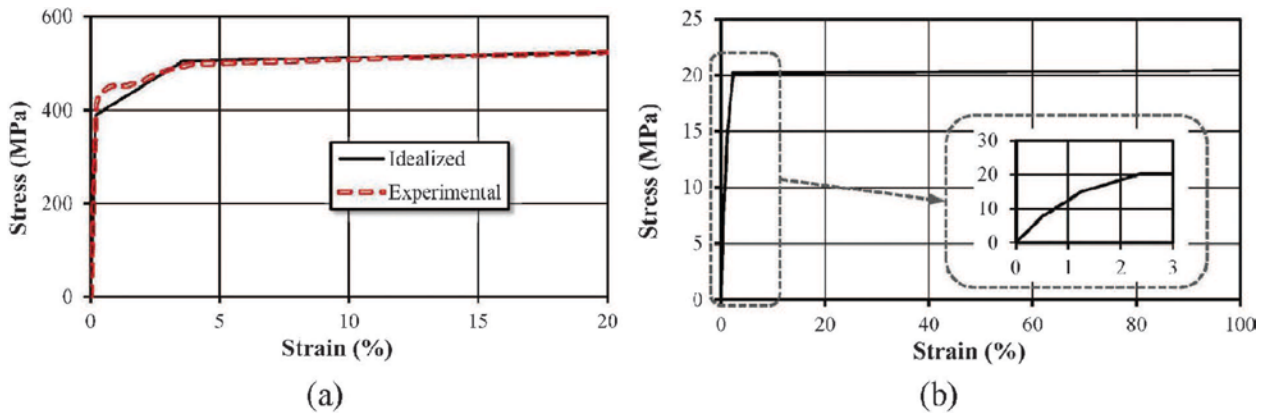


قطر ۶ لوله اینچ = ۱۶.۸۳ سانتی‌متر

ضخامت: ۴.۳۷ میلی‌متر

جنس: فولاد Grade B

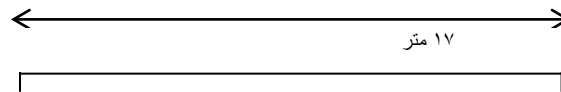
مقاومت تسلیم: با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی لوله مشابه در بخش سازه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (شکل ۱۲).



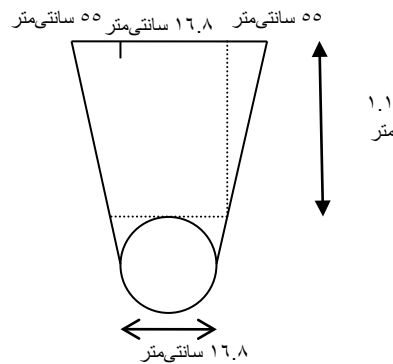
شکل ۱۲- مدلسازی انجام یافته در مرکز

### نوع خاک: دانه‌ای

طول آزاد لوله در حفرة: با توجه به قرارگیری لوله در کنار حفرة و طول کمتر آن نسبت به قسمت میانی و تصاویر موجود، طول آزاد ایجاد شده حدود ۱۷ متر برآورد گردید.



در صورتیکه فرض شود خاک بر روی لوله باقی بماند نتایج حاصل از تحلیل رفتار لوله گاز در خاک نشان می‌دهد: خاکی که توسط لوله جابجا می‌شود در صورتیکه جابجایی رو به بالا باشد یا خاک موثر بر روی لوله را با شیب ۱:۲ می‌توان در نظر گرفت.







که در این صورت وزن خاک و زیر سازی خیابان و آسفالت با فرض دانسیته متوسط ۲ برابر است با:

$$\text{وزن خاک} = \left( \frac{۱.۲۵ + ۰.۱۶۸}{۲} \right) \times ۱.۱ \times ۲ = ۱.۵۶ \text{ ton/m}$$

که این عدد بسیار بیشتر از ظرفیت لوله می‌باشد. با توجه به ریزش خاک اطراف، مشخصاً خاک روی لوله نیز ریخته است (تصاویر نیز بیان کننده همین مسئله است) در این صورت وزن یک متر لوله، ۱۸/۵ کیلوگرم می‌باشد با توجه به وزن فرآورده درون آن ۲۲ کیلوگرم برآورد می‌شود در این صورت لنگر ایجاد شده برابر است با:

$$M = \frac{\omega l^2}{۱۲} = \frac{۲۲ \times ۱۷^2}{۱۲} = ۵۲۹ \text{ Kg.m}$$

و تنش کششی ایجاد شده در لوله برابر است با:

$$\sigma_M = \frac{Mc}{I} = \frac{۵۲۹ \times ۱۰۰ \times ۱۶.۸}{۲ \times ۱۰.۵} = ۴۲۳۸ \text{ Kg/cm}^2$$

همچنین تنش ایجاد شده در لوله بر اثر فشار داخلی برابر است با:

$$\sigma_{in} = \frac{Pr}{2t} = \frac{۱۷ \times ۸.۳}{۲ \times ۰.۴۳} = ۱۶۳ \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = ۴۲۳۸ + ۱۶۳ = ۴۴۰۱ \text{ Kg/cm}^2$$

$$۵۰۰۰ = \sigma_u > ۴۴۰۱ > \sigma_y = ۳۹۰۰$$

با توجه به اینکه لوله ۶ اینچ موجود بر اساس محاسبات، تحت اثر وزن خود کاملاً تسلیم می‌شود ولی به حد پارگی نمی‌رسد و این اتفاق با مشاهدات محل تطابق دارد، بنابراین لوله فقط تحت بار ثقیلی وزن خود قرار گرفته و هیچگونه انفجاری اتفاق نیفتاده است. باید توجه شود که بار انفجار اعمالی به لوله در صورت وقوع انفجار با توجه به فاصله بسیار کم دو لوله از هم بسیار بالا می‌باشد (شکل ۱۳).



photo: Mohammad Ali Marizad





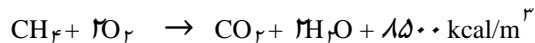
شکل ۱۳- وضعیت لوله‌ها و ریزش آب به درون حفره

■ عدم ثبت داده در ایستگاه شتاب نگاری مرکز

ایستگاه شتاب نگاری مرکز با توجه به مختصات GPS نقطه واقعه و ایستگاه شتابنگاری در فاصله مستقیم ۶۳۰ متری از محل واقعه قرار دارد این دستگاه دارای دقت بسیار بالا بوده و حتی حرکت ماشین آلات سنگین نزدیک به آن را ثبت



می‌کند. همچنین دستگاه برخلاف نمونه‌های قدیمی فاقد هیچگونه آستانه تحریک می‌باشد. اگر فرضیه وقوع انفجار در نظر گرفته شود، باید توجه کرد که بهترین حالت انفجار گاز طبیعی نسبت ۱ به ۱۰ با هوا است به عبارت دیگر ۱ حجم گاز با ۱۰ حجم هوا واکنش می‌دهد. زیرا یک حجم گاز متان با ۲ حجم اکسیژن واکنش می‌دهد و با توجه به اینکه ۲۰٪ هوا، اکسیژن است نسبت ۱ به ۱۰ گاز با هوا باید برقرار باشد.



### ▪ وزن معادل TNT با گاز شهری

به منظور معادل‌سازی انفجار یک مترمکعب گاز با ۱ گرم TNT رابطه زیر برقرار است:

$$1 \text{ g TNT} \cong 4.184 \times 10^3 \text{ J} = 1 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ m}^3 = 14500 \text{ kcal} = 8.5 \text{ Kg TNT} = 17.5 \text{ lb TNT}$$

نکته ۱: برای انفجار باید حجم گاز نسبت به هوا ۵ تا ۱۵ درصد باشد در غیر این صورت انفجار یا آتش‌سوزی اتفاق نمی‌افتد.  
نکته ۲: یک مترمکعب گاز ۸۵۰۰ kcal انرژی آزاد می‌کند.  
در صورت وقوع انفجار در خاک، با توجه به خشک بودن خاک سطحی منطقه، شتاب قائم ایجاد شده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_V = \frac{10000}{(W_{\text{TNT}} Z_G^2)}$$

که در آن  $A_V$  شتاب بر حسب ft/s<sup>۲</sup>

$W$  وزن معادل TNT (lb)

$R_G$  فاصله از محل انفجار (ft)

$Z_G$  برابر  $R_G / W_{\text{TNT}}$  است.

شتاب افقی انفجار در خاک خشک برابر است با:

$$A_H = \frac{A_V}{2} = 5000 \frac{W_{\text{TNT}}}{R_G^2}$$

با توجه به اینکه فاصله ۶۳۰ متر یا ۲۱۰۰ (ft) بوده است، رابطه به صورت زیر در می‌آید:

$$A_H = \frac{5000}{(2100)^2} \times W_{\text{TNT}} \rightarrow A_H = 0.00114 W_{\text{TNT}}$$

### ▪ وقوع انفجار با حجم ۱۰۰ متر مکعب

در صورتیکه ۱۰۰ مترمکعب گاز انفجار پیدا کند نیاز به ۱۰۰۰ مترمکعب هوا دارد

$$\text{گاز } 100 \text{ m}^3 = 17.5 \times 100 = 1750 \text{ lb TNT} = W$$



شتاب ایجاد شده در ایستگاه شتاب نگاری برابر است با:

$$A_H = 0.00114 W^{\frac{1}{3}} = 0.0134 \frac{ft}{s^2} = 0.004 \frac{m}{s^2} = 0.4 \frac{cm}{s^2}$$

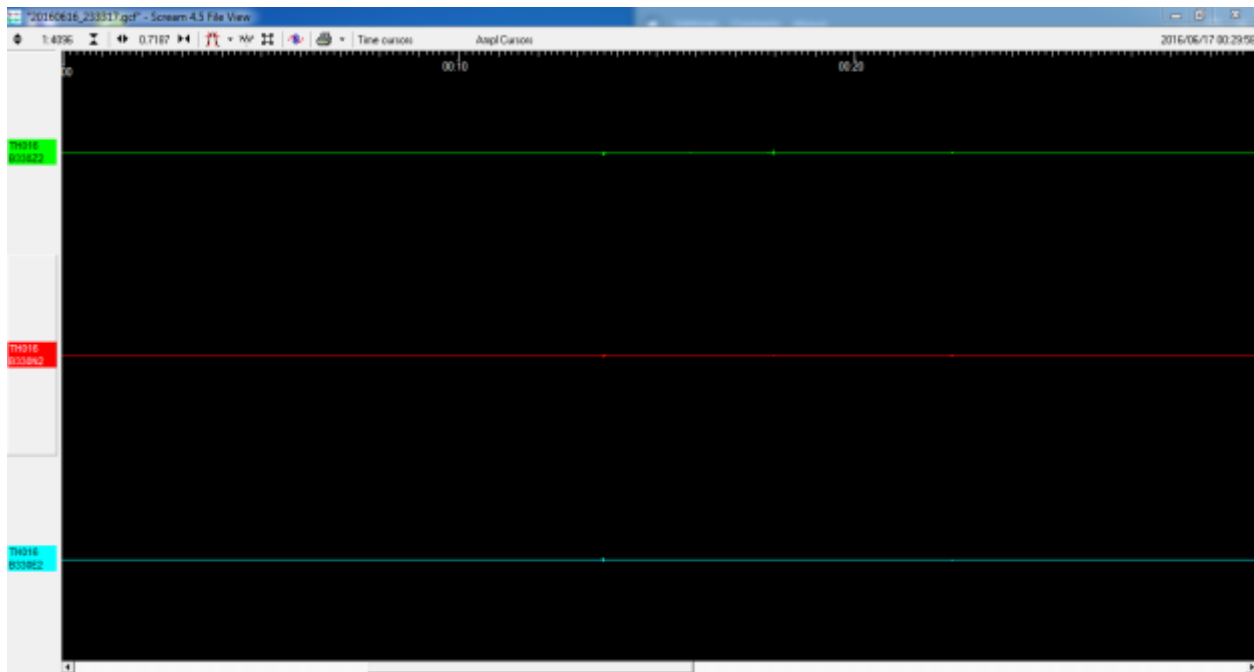
▪ وقوع انفجار با حجم ۱۰۰۰ متر مکعب

در صورتیکه ۱۰۰۰ متر مکعب گاز انفجار پیدا کند نیاز به ۱۰۰۰۰ متر مکعب هوا دارد

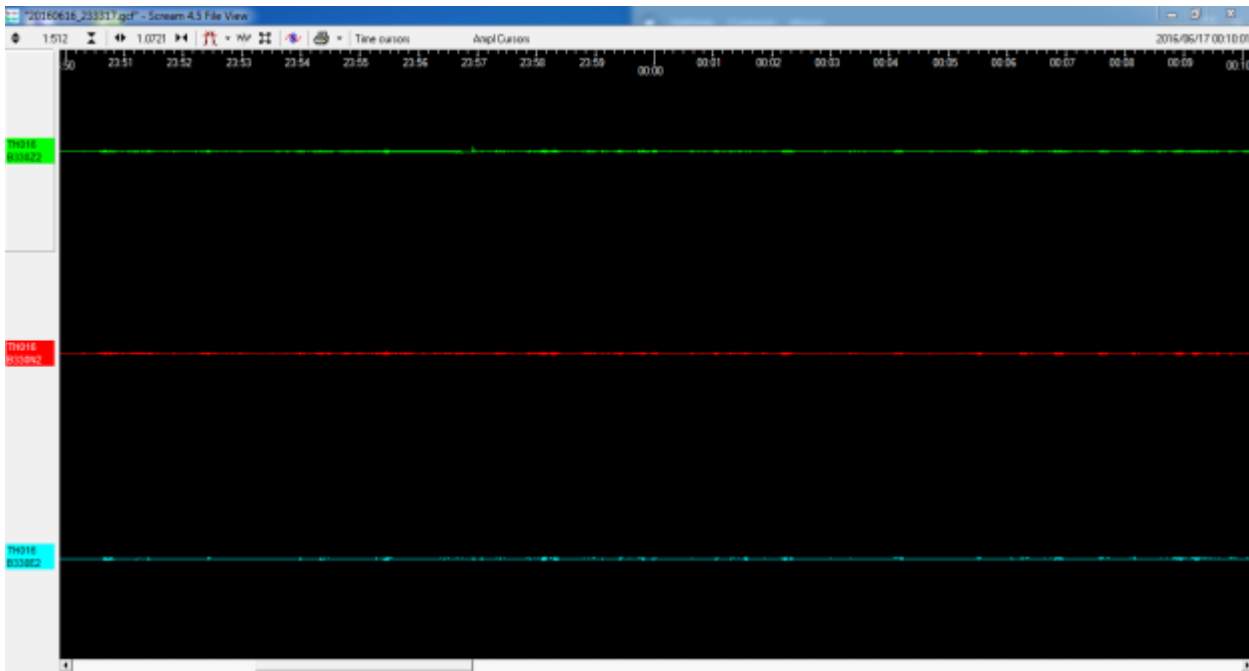
$$\text{گاز } 1000 m^3 = 17.5 \times 1000 = 17500 \text{ lb TNT} = W$$

شتاب ایجاد شده در ایستگاه شتاب نگاری برابر است با:

$$A_H = 0.00114 W^{\frac{1}{3}} = 0.286 \frac{ft}{s^2} = 0.086 \frac{m}{s^2} \cong 0.9 \frac{cm}{s^2}$$



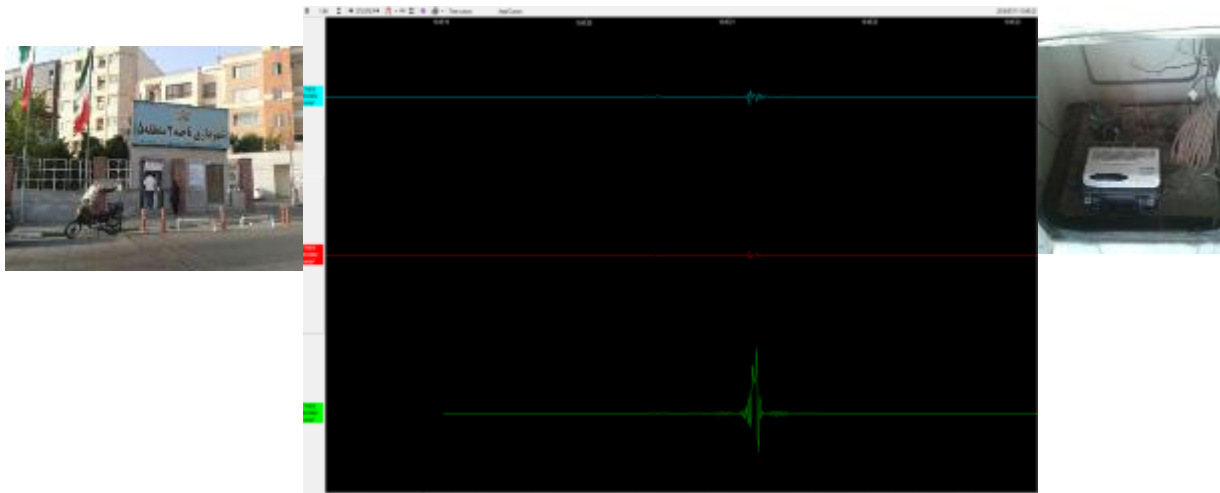
شکل ۱۴- رکورد دستگاه شتاب نگار در زمان وقوع انفجار



شکل ۱۵- رکورد دستگاه شتاب نگار تا ۱۰ دقیقه بعد از انفجار

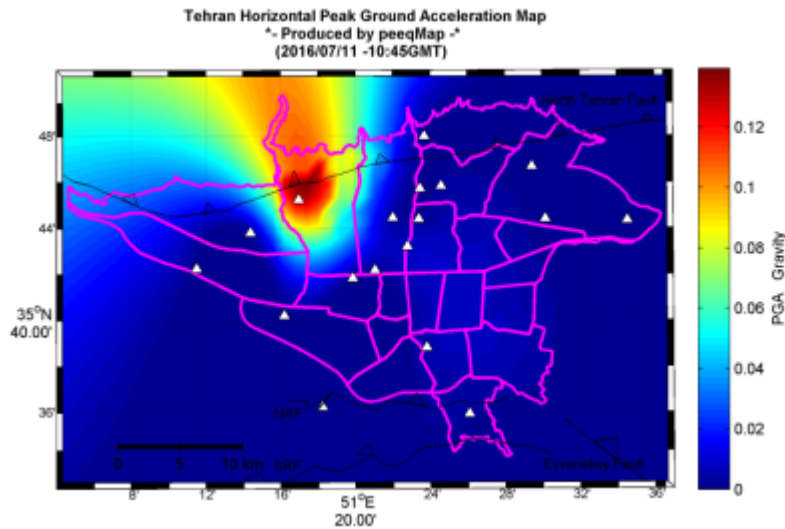
با توجه به اینکه در آن بازه زمانی دستگاه شتابنگار هیچگونه تحریکی را ثبت نکرده است این مسئله نیز دلیل دیگری بر عدم وقوع انفجار می‌تواند باشد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

لازم بذکر است که جهت دادن اطمینان کامل به عوامل ذیربط در رابطه با کارکرد درست دستگاه شتابنگاری مستقر در شهرداری منطقه ۵، اکیپی به ایستگاه مراجعه و تست‌های مختلفی انجام شد. در مرکز شبکه شتابنگاری نگاشت‌ها ذخیره گردید و ارزیابی صورت گرفته دال بر این است که ایستگاه کاملا سالم و بدون کم و کاست بطور مستمر فعال و رکوردگیری می‌کند. در شکل ۱۶ و ۱۷ رکورد و نقشه لرزش حاصل از تست ایستگاه پس از رخداد فروریزش نشان داده شده است.



شکل ۱۶- ایستگاه شهرداری منطقه ۵ ناحیه ۲ و رکورد تست آن





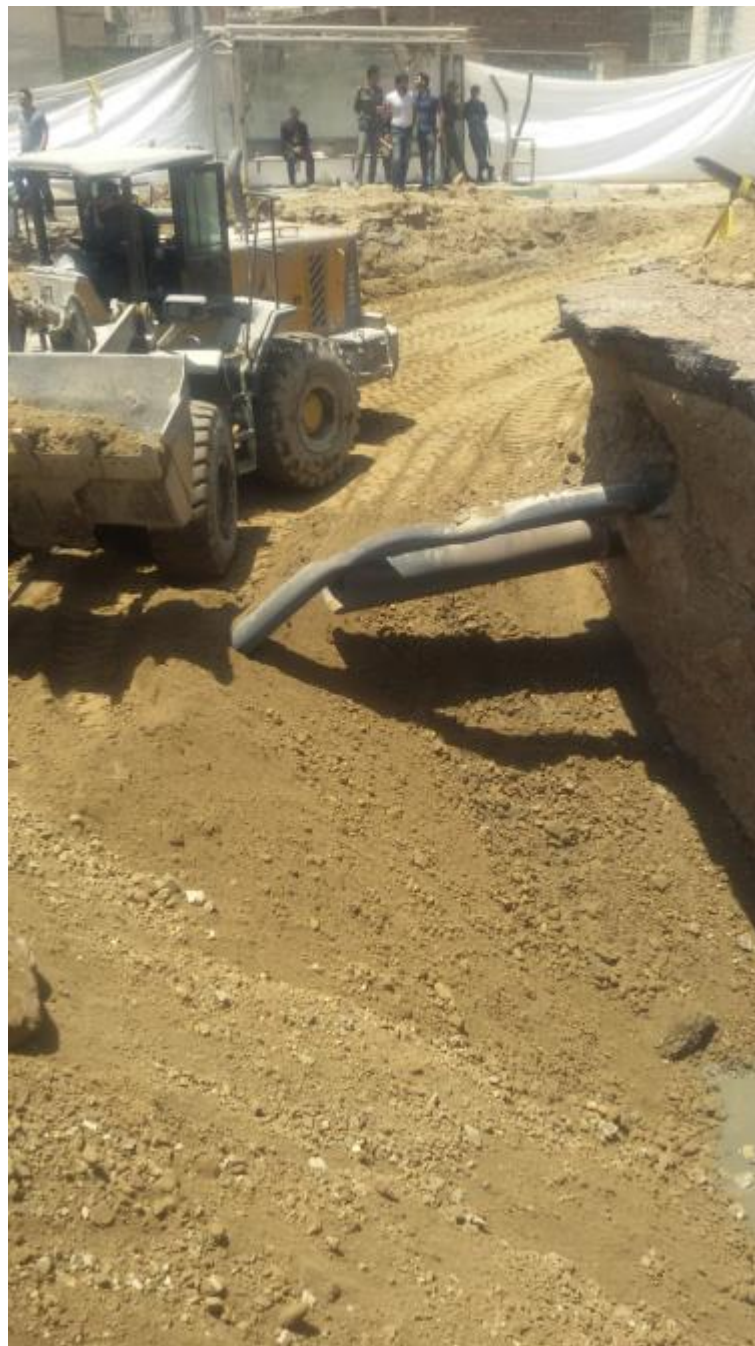
شکل ۱۷- نقشه لرزش تست ایستگاه منطقه ۵ شهرداری

## ۷- اقدامات اجرائی بعد از فروریزش

متعاقب فروریزش زمین و گسیختگی لوله‌های گاز، آب و کابل‌های مخابرات و برق که منجر به قطعی آب و برق، تلفن و گاز مشترکان زیادی در منطقه و مناطق اطراف شده بود، لازم بوده که حفره ایجاد شده پر گردد. مشاهدات اکیپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی از نحوه خاکریزی و پر نمودن حفره، نشان از عدم تحکیم مناسب و لایه به لایه خاک‌های ریخته شده بود. در همان موقع حضور اکیپ مرکز، بونکر سیمان، ملات سیمانی رقیقی را بداخل جسم خاک تخلیه نمود که تمامی ملات در گوشه از گودال جمع شد. بنظر می‌رسد که حداقل بر اساس مشاهدات میدانی و در موقع حضور کارشناسان مرکز، تحکیم خاک بطور مطلوبی صورت نمی‌گیرد. شاید یکی از دلایل این کار، نگرانی از بابت فروریزش مجدد تونل از یک طرف و تعجیل برای شروع اقدامات خدمات‌رسانی شبکه آب و برق و گاز و مخابرات از طرف دیگر بوده باشد. در عکس‌های زیر (شکل ۱۸) نحوه خاکریزی حفره بوضوح قابل مشاهده می‌باشد. لازم بذکر است که در جلسه شورایی عالی معماری و شهرسازی غیر فنی بودن نحوه خاکریزی و پر کردن محل حفره متذکر و باطالع مسئولان شهرداری و شرکت راه آهن شهری رسانده شد.













شکل ۱۸- عکس‌هایی از نحوه خاک ریزی و پر نمودن حفره ناشی از فروریزش ایجاد شده در منطقه شهران

همچنین در حین جمع‌بندی و نگارش مجدد این نوشتار، در مورخه ۲۳ تیرماه نود و پنج در رسانه‌ها خبری مبنی بر نشست مجدد محل، اعلام شد. با توجه به اینکه عملیات تزریق بتن در نقطه حادثه در دست اقدام بود با همکاری عوامل شرکت مترو و شهرداری تهران، اکیپ این مرکز شب همان روز و صبح روز ۲۴ تیرماه جهت بررسی و صحت سنجی خبر به منطقه عزیمت نمودند.

لازم بذکر است که با توجه به نوع خاکریزی، احتمال نشست‌های موضعی داده می‌شود ولی مشاهدات اکیپ اعزامی

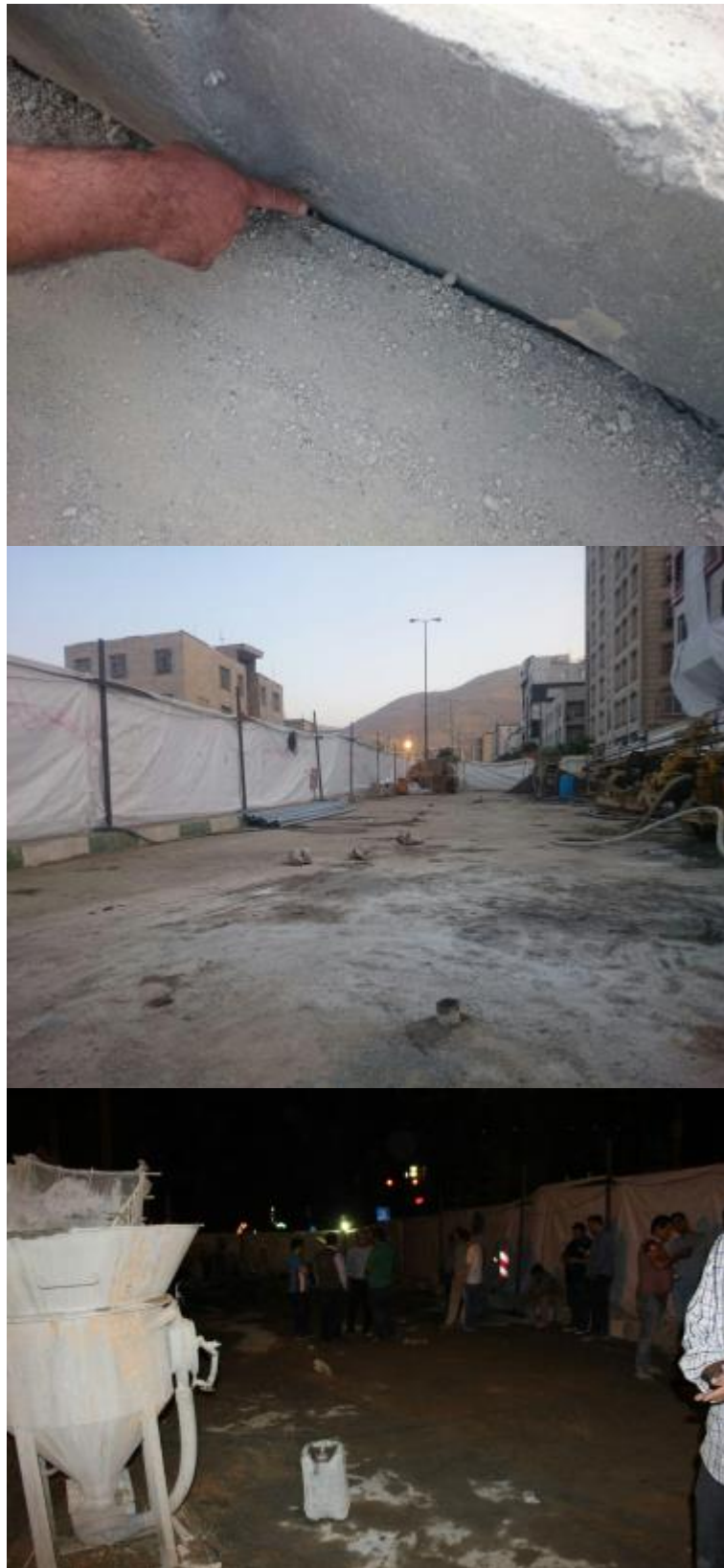


نشست قابل ملاحظه‌ای را در منطقه مشاهده نمودند. از مسئولین شرکت مترو، اکیدا درخواست می‌شود که نسبت به تحکیم مناسب خاک و جلوگیری از نشست مجدد و بروز سانحه‌ای دیگر حتما تمهیدات لازم را در نظر بگیرند. در عکس‌های زیر ( شکل ۱۹) که مربوط به شب روز بیست و سوم تیرماه و صبح روز ۲۴ تیرماه نود و پنج می‌باشند وضعیت محل سانحه قابل مشاهده است.













شکل ۱۹- عکس‌هایی از وضعیت کنونی ( ۱۳۹۵/۴/۲۴ ) محل فروریزش زمین



## ۸- خسارت‌ها و تلفات

در اثر رخداد حادثه، گاز ۱۰ هزار مشترک غرب تهران قطع شد. حفره‌ای به ابعاد تقریبی ۲۵ متر در ۱۵ متر ایجاد شد که منجر به شکست خط لوله ۸ اینچی تغذیه گاز و قطع کابل برق عبوری از این محدوده و در نتیجه آتش‌سوزی شد. احتمالاً دو نفر در این حادثه در شهران جان باختند که راننده بیل مکانیکی و یکی دیگر از کارکنان مترو بودند. فشار گاز خروجی و آتش‌سوزی ناشی از آن سبب شکسته شدن شیشه‌های ۵ واحد مسکونی در اطراف حادثه شده و یکی از ساختمان‌های اداری اطراف نیز دچار حریق شد. همچنین حرارت آتش باعث سوختگی نمای بیرونی یک ساختمان گردید و همچنین به چند خانه مسکونی نیز خساراتی نظیر شکستن شیشه‌های ساختمان وارد شد.

به دلیل فروریزش زمین منطقه شهران در محل حفر تونل مترو، خطوط انتقال فیبر مرکز شهید کاظمیان مخابرات استان تهران دچار قطعی شد و ارتباطات مشترکین همراه اول در منطقه شمال غرب تهران دچار مشکل گردید و خط ۵۵ هزار مشترک تلفن ثابت در منطقه شهران تهران قطع گردید. حجم خسارت وارد آمده به شبکه انتقال فیبر مخابرات، بالا و قابل توجه بوده است و علاوه بر مشترکان تلفن ثابت، ارتباط مشترکان همراه اول در این منطقه نیز دچار مشکل شد. فروریزش باعث ایجاد خساراتی در خود تونل مترو (خط ۶) نیز شد و همچنین این حادثه باعث ترکیدگی لوله آب گردید. عملیات خارج کردن آب از درون تونل مترو شروع و پس از آن در مورد تلفات جانی حادثه می‌توان با دقت صحبت کرد. عمق لوله گاز در یک متری سطح زمین بوده که در پی ایجاد فرونشست زمین و فروچال، لوله آب و فاضلاب شکسته و لوله گاز ترکیده و موجب آتش‌سوزی گردید.

در اثر این سانحه، پنج نفر مصدوم شدند که در محل به صورت سرپایی درمان شدند. همچنین اعزام به بیمارستان گزارش نشده است. شکسته شدن لوله آب در اثر نشست زمین در شهران باعث قطع آب در منطقه شد. حدود ۵۰ درصد از آب منطقه تا ساعت ۱۰ روز حادثه وصل شد و در این بین نقاط دیگری بود که کار تعمیر و تامین آب را طولانی‌تر کرده بود و به دلیل سوختن کابل‌های برق، برق منطقه قطع شد.

## ۹- مدیریت بحران

در ابتدای این بخش باید ذکر نمود که اقدامات مدیریت بحران صورت گرفته در این رخداد مطلوب بوده است. هماهنگی نیروها، حضور بموقع مدیران، حضور آتش‌نشانی و اقدامات آن‌ها، فعالیت مدیران و کارشناسان شرکت مترو، شرکت گاز استان تهران، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، شرکت مخابرات، راهنمایی و رانندگی، هلال احمر، اورژانس و ... و بویژه سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهرداری تهران در خور تقدیر است. البته باید متذکر شد که ساعت رخداد ساعت خلوتی بوده که در صورت وجود ترافیک و انسداد مسیر مسلمان مشکلات جدی تری امکان بروز داشت. همچنین فعالیت قابل ملاحظه سازمان مدیریت بحران کشور، حضور فعال مسئولین این سازمان در محل حادثه و در کلیه جلسات مرتبط با این موضوع و نیز فعالیت استانداری تهران و اداره کل بحران استان تهران و نقش فعال سازمان بازرسی در این سانحه با توجه به جنبه درس آموزی حادثه که می‌تواند تاثیر بسزائی در فعالیت‌های آتی داشته باشد،



درخور قدردانی می‌باشد. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بعنوان یک مرکز تحقیقاتی کشور، وظیفه خود می‌داند که از همکاری و فعالیت‌های کلیه عوامل درگیر سپاسگزاری نماید. این قبیل فعالیت‌ها مسلماً بر ارتقاء ظرفیت‌های مدیریت بحران در سطح کشور خواهد افزود.

در پی آتش‌سوزی گاز، به ساکنین منطقه هشدار داده شد تا اهالی شهران شیر گاز خود را تا اعلام بعدی باز نکنند. مامورین شرکت ملی گاز مشغول ترمیم خط لوله شدند و اعلام کردند احتمالاً تا یک شبانه روز گاز منطقه قطع خواهد بود. آتش‌سوزی مهار شد و ترمیم و تعویض خط لوله گاز شروع گردید. اعلام شد که گاز حدود ۱۰ هزار مشترک در منطقه شهران، کوهسار، کن و سولقان تا یک شبانه روز قطع خواهد بود.

نیروهای امدادی و آتش‌نشانی در محل حاضر شدند و با بستن مسیرهای منتهی به این تقاطع سعی در مهار اولیه تبعات آتش‌سوزی داشتند. بلندگوی خودروهای امدادی از سکنه نزدیک فروریزش و آتش‌سوزی درخواست تخلیه فوری منازل را تکرار می‌کردند. آتش‌سوزی حدود ساعت ۴:۳۰ بامداد جمعه به وقوع پیوست و این آتش‌سوزی تا ساعت (۶:۲۰) مهار شد. به دنبال وقوع این انفجار ۱۰ تیم عملیاتی به همراه ۴۵ نفر از امدادگران هلال احمر تهران به محل حادثه اعزام شدند. نگرانی‌هایی در مورد نشست احتمالی ساختمان‌های اطراف محل انفجار بود و به این علت ساکنان خانه‌های اطراف محل تخلیه شدند. طبق گفته برخی مسئولین، تاخیر چند ده دقیقه‌ای در قطع گاز صورت گرفته است که باید دلایل آن تحقیق شود و این امر موجب سرایت بیشتر آتش شد.

ممنوعیت تردد در اطراف محدوده انفجار در میدان شهران اعمال شد. فرونشست زمین در خیابان کوهسار تقاطع خیابان یکم سبب ایجاد گودالی وسیع و عمیق در میانه خیابان اصلی کوهسار شد و به همین دلیل پلیس یکسری ممنوعیت و محدودیت ترافیکی را در منطقه اعمال کرد که پیش‌بینی شد حداقل تا دو سه روز آینده ادامه داشته باشد. از مردم خواسته شد که شهروندان از تردهای غیرضروری در این محدوده و محورهای منتهی به امام زاده داوود و کوهسار خودداری کنند و ممنوعیت‌های تردد از میدان شهران به سمت غرب و شمال اعمال گردید.

ترافیک در منطقه شهران نیمه سنگین شد و تیم‌های ویژه‌ای برای روان‌سازی و تسهیل رفت و آمد به محدوده میدان شهران و بلوار کوهسار اعزام گردید.

حادثه در ساعت ۴:۳۷ بامداد روز جمعه به مرکز فوریت‌های ۱۱۵ اطلاع داده شد و هشت دستگاه آمبولانس به محل فرستاده شد. امدادرسانی سرپایی به پنج نفر انجام شد. ۲۱ نیروی عملیاتی هلال احمر در قالب شش تیم جهت خدمت‌رسانی به محل حادثه اعزام شدند و دو تیم آنست منطقه ۲۲ و شه‌ریار نیز در آماده‌باش هستند. در پی این حادثه عوامل انتظامی نیز در محل مستقر شدند و ماموران پلیس راهور نیز به امر روان‌سازی ترافیک مشغول شدند.

آتش‌نشانان با تقسیم شدن به چند گروه همزمان عملیات اطفای حریق و ایمن‌سازی را آغاز کردند، یک گروه از آتش‌نشانان با مراجعه به ساختمان‌های مجاور از ساکنان خواستند تا محل را ترک کنند و در مجموع حدود ۱۰ ساختمان در مجاورت محل فروریزش تخلیه شد که این امر برای ایمن‌سازی و پیشگیری از حوادث احتمالی بعدی انجام شد. همزمان



گروه دیگر، اقدام به اطفای حریق در محل کرده و در حالی که شعله‌های آتش بیش از ۵۰ متر ارتفاع داشته و شعله‌های آتش با گرمای زیادی زبانه می‌کشید، موفق به اطفای کامل آن شدند. به دلیل استفاده از تجهیزات رادیویی، رفع اختلال در ارتباط موبایل مشترکان سریع‌تر قابل برطرف شدن گردید و گفته شد که امکان استفاده از رومینگ ملی برای مشترکان همراه اول توسط ایرانسل و رایتل در منطقه شهران ایجاد شده است.

#### ۱۰- نقاط ضعف

آنچه در این حادثه قابل پیگیری است، این است که مسئولان مترو در مسیرهایی که حفاری انجام می‌دهند، باید نقشه‌های مسیر را بررسی کنند تا اگر تجهیزات شهری نظیر لوله آب، گاز و مخابرات از آن مسیرها رد می‌شود، نسبت به ایمن‌سازی محل اقدام کنند. عدم ملاحظه شریان‌های حیاتی موجود در مسیرهای حفاری و کار را می‌توان به عنوان بزرگترین نقطه ضعف بر شمرد. همین‌طور لازم است که تحکیم، لاینینگ و شات‌کریت مناسب بویژه در نقاط مهم و تقاطعی بعمل آید. پس از اقدامات اولیه لاینینگ و شات‌کریت، تاخیر مدت زمان بیش از یک‌ماهه در نقطه ای که گزارش نشد آب، ریزش بودن نهشته‌های فوقانی حتی توسط خود کارشناسان شرکت مترو هشدار داده شده، آن هم در نقاط تقاطعی لوله‌های گاز و آب و برق و مخابرات نباید صورت می‌پذیرفت. واضح است که به هر دلیلی که خواسته شود وقوع سانحه توجیه و ریشه یابی شود، استحکام در نظر گرفته شده برای تونل مترو نتوانسته جواب فنی لازم را در مقابل ریزش خاک داشته باشد. این امر در فعالیت‌های آتی حفاری مترو باید بدقت مد نظر قرار گیرد.

تاخیر ۴۰ دقیقه‌ای در بستن گاز و تاخیر در قطع آب به عنوان دومین نقطه ضعف عمده در این حادثه قابل ذکر است. در این حادثه خوشبختانه محل آتش‌سوزی از منازل مسکونی فاصله داشته، در غیر این صورت مشخص نبود چه خسارت‌هایی بر جا می‌ماند، آنچه مسلم است ادامه آتش‌سوزی موجب ایجاد خسارت‌هایی بر ساختمان واقع در گوشه شمال شرقی حفره و نیز ذوب شدن کابل‌های مخابراتی گردیده است. ریزش آب به درون حفره ایجاد شده نیز مسلماً امر حرکت و نفوذ خاک و نهشته‌های سطحی را به درون تونل مترو تسهیل نموده و بر روانی حرکت خاک کمک کرده است.

#### ۱۱- نتایج و پیشنهادها

با توجه به بررسی‌های انجام شده چنین بنظر می‌رسد که ریزش خاک به درون تونل مترو (به دلیل عدم پوشش مناسب دیواره‌های تونل و ضعف آن در مقابل نفوذ خاک) باعث ایجاد حفره شده که با توجه به ابعاد حفره مشاهده شده در سطح زمین، لایه سطحی خاک که در برگیرنده لوله‌های گاز، آب، کابل‌های برق و مخابرات می‌باشد، به ناگهان فروریزش کرده که در اثر آن لوله گاز به دلیل ابعاد حفره ایجاد شده، گسیخته شده و با اتصال و جرقه کابل برق، آتش‌سوزی صورت گرفته است. در اثر فروریزش زمین، لوله گاز و لوله آب موجود در زون فروریزش نیز گسیخته شده‌اند. در اثر گسیختگی لوله گاز، آتش‌سوزی شروع و با گسیختگی لوله آب جریان با دبی و فشار بالای آب موجب نفوذ بیشتر خاک و گل و لای به درون تونل گردیده است.



در هر حال آنچه در منطقه شهران رخ داد، سانحه‌ای کوچک و بیانگر اثر مخرب فرونشست و فروچاله‌ای ایجاد شده در یک مقیاس خیلی کوچک بود. این حادثه شاید تلنگری باشد بر این مهم که: امر ریسک فرونشست و اثرات فرونشست را بر ساختمان‌ها، محیط‌های شهری و شریان‌های حیاتی جدی گرفته شود.

نتیجه دیگر اینکه، با رخداد این سانحه کوچک، توانمندی‌های مدیریت بحران مورد ارزیابی قرار گرفت و می‌توان بر اساس آن، قضاوت نمود تا چه حد برای رخدادهای سترگ، آمادگی وجود دارد.

همچنین با توجه به رخداد فروریزش زمین آتش‌سوزی گاز در شهران موارد زیر پیشنهاد می‌گردد.

- اطلاع عوامل ساخت و ساز از تقاطع و نقاط حساس در هنگام هرگونه عملیات عمرانی و اتخاذ تدابیر ایمنی
- راه‌اندازی سامانه قطع اتوماتیک آب و گاز در زمان‌های بحرانی (بخصوص در مواقع افت ناگهانی فشار بدلیل گسیختگی لوله‌ها)
- تهیه و بروز نمودن نقشه‌های رقومی شریان‌های حیاتی و اطلاع کلیه عوامل ذیربط پروژه‌های اجرایی از وجود این المان‌ها
- تهیه و تکمیل و تدقیق نقشه‌های رقومی قنات‌های شهر تهران
- جانمایی صحیح شریان‌های حیاتی جدید الاحداث و بازنگری مکان آن‌ها
- شناسایی حفره‌های ایجاد شده در زمین در اثر پدیده‌های طبیعی و یا انسان ساز با استفاده از روش‌های جدید ژئوفیزیکی و GPR
- تاب آور کردن لوله‌های نفت و گاز
- استفاده از تکنولوژی‌های جدید در حفاری‌ها (حفاری و لاینینگ همزمان)
- ارتقاء سطح عملیات مدیریت بحران با افزایش هماهنگی‌های بین سازمانی و وجود نظام واحد مدیریتی در زمان وقوع حوادث
- مانیتورینگ و پایش علائم فرونشست در شهر تهران و شناسایی زون‌های مستعد
- مانیتورینگ و پایش شریان‌های حیاتی در فواصل زمانی منظم
- نظارت جدی بر اجرای تاسیسات زیرساختی و درج دقیق کلیه مسائل و مشکلات رخ داده
- به روز نمودن نقشه تقاطع شریان‌های حیاتی و خطوط مترو با نقشه تدقیق شده گسل‌های تهران و اتخاذ تدابیر ایمنی مضاعف در نقاط تقاطع
- داشتن نگرش انتقادی درون سازمانی به فعالیت‌های خود با هدف رفع نقایص و کاستی‌ها نهادهای مرتبط با موضوعات بحران آفرین

نظر به اهمیت موضوع و اینکه رخداد شهران، تنها نمونه کوچک از مخاطراتی است که محدوده‌های شهری و المان‌های زیرساختی کشور را تهدید می‌کند، تاکید به عمل می‌آورد که: موضوع کاهش ریسک مخاطرات در سامانه‌های حمل و نقل، شریان‌های حیاتی و محدوده‌های شهری به طور جدی در راس کلیه برنامه‌های عمرانی قرار گرفته و اهمیت



ویژه به آن داده شود. در رابطه با حادثه فروریزش و آتش سوزی در منطقه شهران نیز موارد پیشنهادی ذکر شده در قسمت نتایج و پیشنهادات این گزارش، به عنوان اقدامات ضروری جهت اجرا پیشنهاد می گردد. مجدداً متذکر می شویم که گزارشات ارائه شده توسط شرکت مترو، شرکت گاز، شرکت آب و فاضلاب و سازمان زمین شناسی در مرکز موجود بوده و در صورت نیاز قابل ارائه می باشد.

در ادامه عکسهای مرتبط با بندهای گزارش به تفکیک آورده شده است که از سایت های خبری و توسط خبرنگاران مختلفی تهیه شده است. بررسی عکس ها به وضوح معرف ابعاد حادثه و نحوه اثر آن است.





عکس‌ها - ۱۲



نمای کلی محل حادثه



نمای کلی محل حادثه



نمای کلی محل حادثه

















فروچاله ایجاد شده



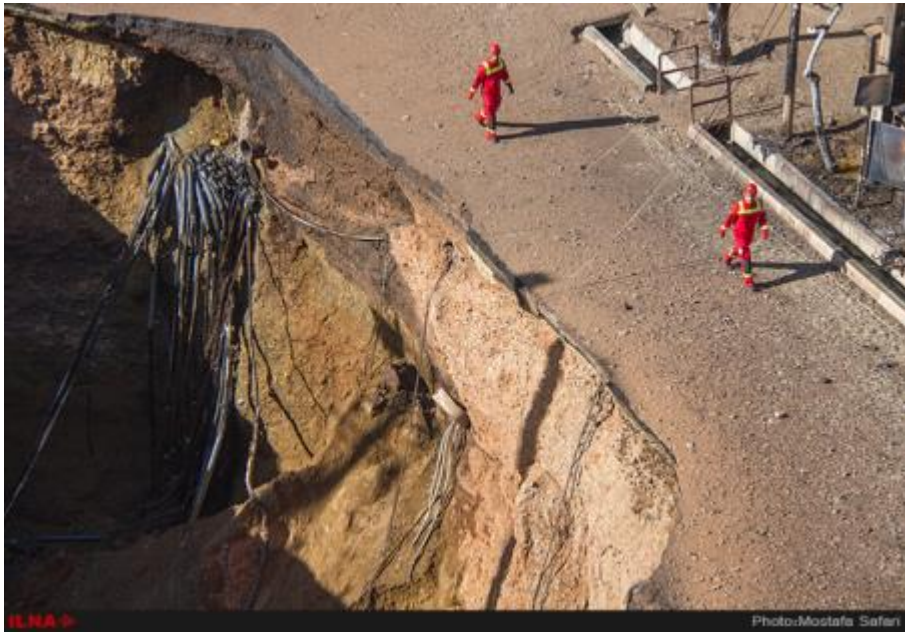










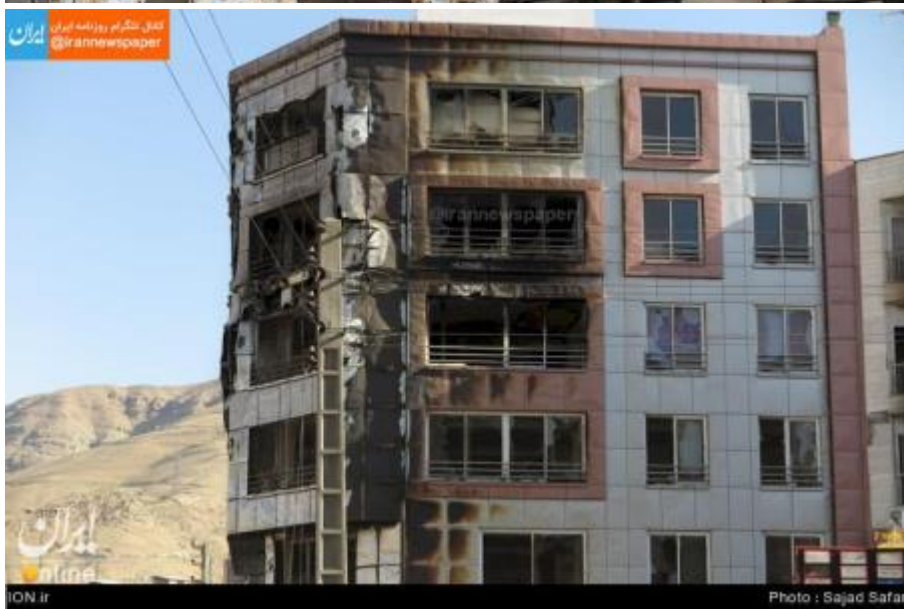




خسارت سازه‌ای و سایر خسارت‌ها













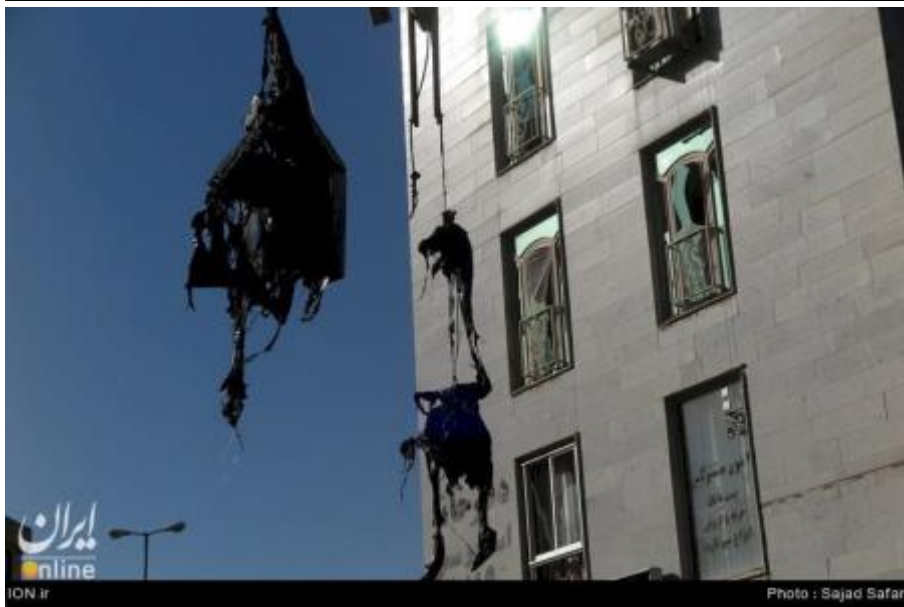
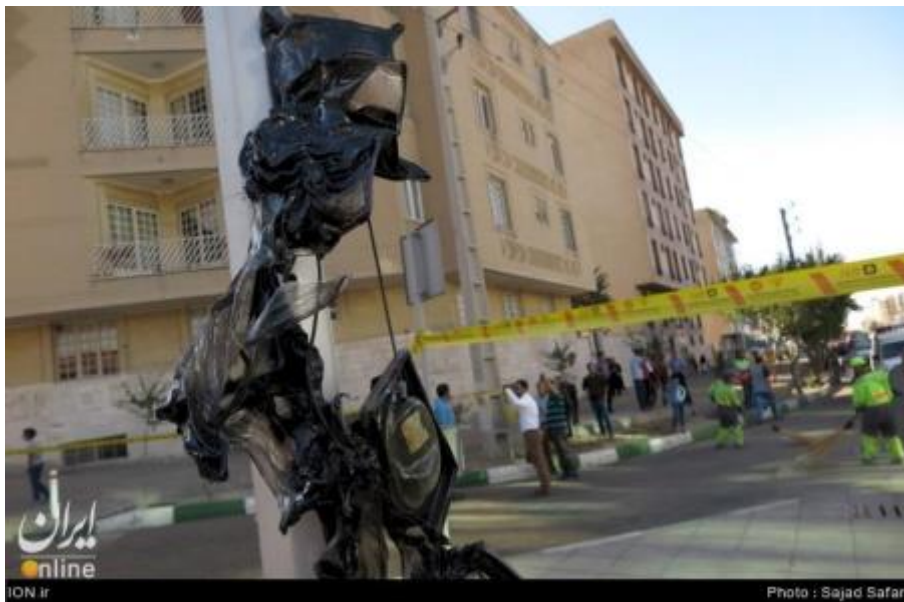
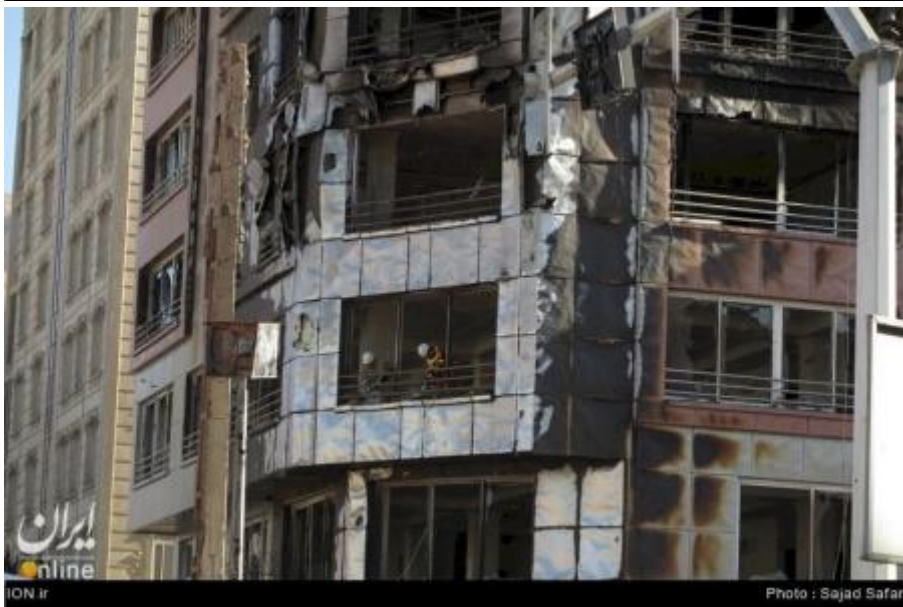


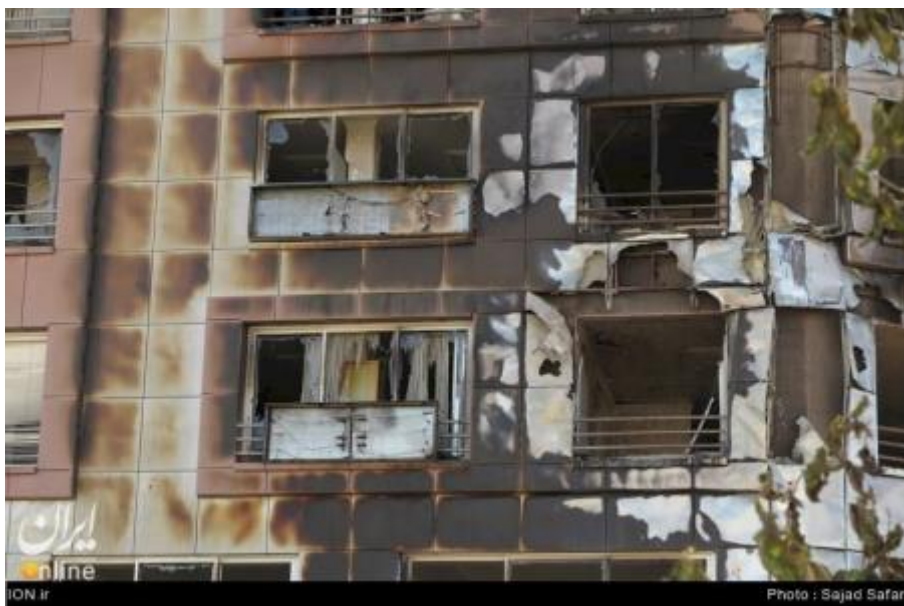


Photo : Sajad Safari









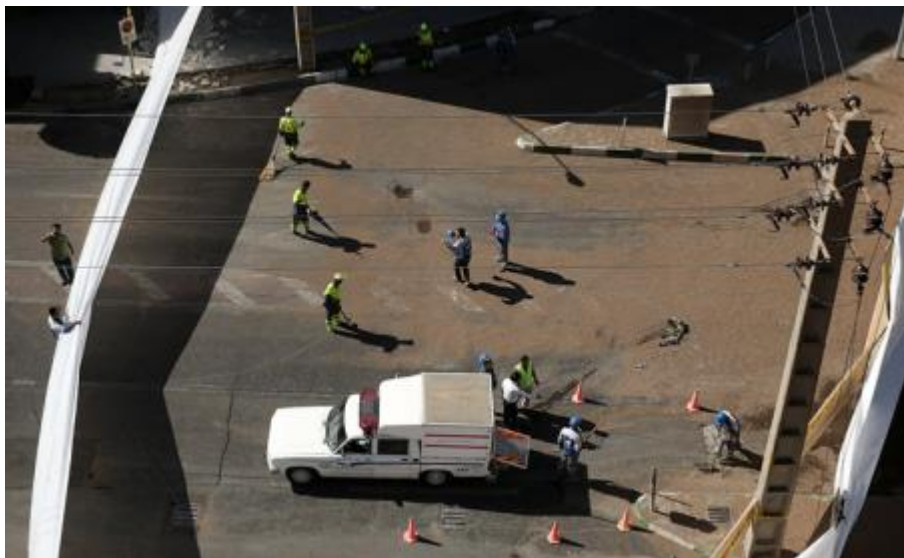








مدیریت بحران











تونل مترو و تونل‌های جانبی آن







نگاره ۱: ابتدای محل ریزش در تونل مراجع. همانگونه که دیده می شود حفاری و تحکیم تونل بنا به گفته پیمانکار یک ماه پیش انجام گرفته است. دید به سوی جنوب



نگاره ۴: گاری دسترسی به اتاق برق ایستگاه آهناسان. نمونه ای از قلوه سنگهای موجود در خاک. حرکت آن ها بر اثر نشستهای کوچک می تواند به ایجاد حفره و در نتیجه ریزش های بزرگتر منجر شود.



نگاره ۵: گلری دسترسی به اتاق برق ایستگاه آهنگسان. قلوه سنگهای بسیار در آبرفت بدون اینکه خاک زمینه دارای چسبندگی باشد. حفاری در این خاک نیاز به دقت بسیار دارد و باید از هرگونه سرعت در اجرا دوری کرد.