گزارش

حادثه فروریزش ساختمانی خلازیل منطقه ۱۹ تهران

رخداد ۱۵ مردادماه ۱۴۰۲، ساعت ۱۲:۲۴

بکوشش:

دکتر علی بیت اللهی- مهندس مرتضی مهدوی – دکتر بابک قدس – دکتر نگار سودمند

با همکاری:

مهندس سعیدی – مهندس علیزمانی

۲۰ مردادماه ۱۴۰۲

فهرست مطالب

پیشگفتار	۳
۱- بیان حادثه و علل آن	۵
۲- محل و موقعیت رخداد و محدوده اطراف آن	۱۶
۳- شرایط محیطی و چند مخاطره اصلی اراضی خلازیل و اطراف آن	۱۸
٤- روند ساخت‌وساز غیرقانونی در خلازیل	۲۶
۵- بازدید و ارزیابی فنی محدوده فروریزش ساختمان خلازیل	۳۲
٦- روش‌های تخریب مورد استفاده در محدوده	٤٦
۷- فرماندهی حادثه خلازیل و ملاحظاتی بر آن	٤۸
۸- جمع‌بندی مدیریتی و سؤالات راهبردی	٤۹
۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۵۰
مراجع	۵۲

پیشگفتار

روز ۱۵ مرداد ماه ۱۴۰۲ یک دستگاه ساختمان در جریان تخریب بناهای فاقد مجوز و غیرقانونی، در برخورد دومینووار ۳ ساختمان مجاور شمالی در شهرک احمدیه محله خلازیل از ناحیه ۳ منطقه ۱۹ شهر تهران بطور کامل فروریخت که در نتیجه آن ساختمان جنوبی آن نیز دچار تخریب شد.

این حادثه جنبه‌های درس‌آموزی مهمی برای مدیران و کارشناسان دارد که به این دلیل به آن پرداخته شده است.

مؤلفان این گزارش، پیش از ورود به مباحث گزارش، لازم دانند که موارد زیر در اول گزارش مورد تأکید قرار دهند:

- جان باختن تعدادی از هموطنان در حادثه فروریزش ساختمانی خلازیل، مایه تأثر و تأسف است، مؤلفان همدردی خود را با بازماندگان جانباختگان حادثه اعلام می‌دارند.
- مؤلفان گزارش پیش رو، انتخاب مجری ذیصلاح تخریب، انتخاب روش تخریب بهینه و رعایت نکات ایمنی آن و تخلیه محدوده اقدام از عوامل انسانی با هدف جلوگیری از حوادث دردناک نظیر آنچه که در خلازیل رخ داد را مورد تأکید قرار می‌دهند.
- مؤلفان گزارش حاضر، با توجه به مشکلات عدیده و پیچیده تخریب ساختمان‌های فاقد پروانه، اعلام می‌نمایند که یکی از کارهای تأثیرگذار ملموس، اقدام قانونی و حقوقی جهت جرم محسوب شدن ساخت‌وساز غیرمجاز می‌باشد.
- مؤلفان در ارزیابی حادثه، به این باور رسیدند که اگر ساختمان‌های غیرمجاز احداث شده در خلازیل منطقه ۱۹، مملو از سکنه می‌شدند، حادثه بس دردناک‌تری را کشور می‌توانست شاهد باشد. این ساختمان‌ها بطور مسلم با زلزله‌های متوسط هم دچار فروریزش می‌شدند و ساکنانش بطور حتمی کشته و یا دچار آسیب‌های حاد می‌گردیدند.
- مؤلفان اعلام می‌کنند که مهمترین اقدام، جلوگیری از احداث ساختمان غیرمجاز است. تخریب ساختمان‌های احداث شده به‌ویژه در محیط‌های شهری، کاری بس دشوار و پرریسک می‌باشد.
- مؤلفان این گزارش بر اساس مشاهدات و تجربه بدست آمده از تخریب ساختمان‌های خلازیل تهران، اعلام می‌کنند که عملیات تخریب نیز بحث کاملاً فنی-مهندسی است و ضرورت دارد تا شهرداری‌های کشور در این زمینه پرسنل خود و پیمانکاران خود را به کسب مهارت‌های لازم تئوری و عملی موظف نمایند.

- ❖ مؤلفان گزارش حاضر اعلام می‌نمایند که ضرورت دارد در رخدادهای اینچنینی، فرماندهی حادثه بطور روشن و مشخص از هرگونه تردد، بازدید و تجمع‌های غیرضروری و مزاحمت برای فرماندهی حادثه و عوامل درگیر، اجتناب کند.

رخداد فروریزش ساختمانی محدوده خلازیل در محله شهید کاظمی از ناحیه ۳ منطقه ۱۹ شهر تهران، دربردارنده درس‌های مهم و آموزنده است. مسلماً پرداختن به جزئیات حادثه از مناظر مختلف، نیازمند وقت و زمانی مناسبی است. در این نوشتار مؤلفان، تلاش کردند تا علاوه بر مستندسازی حادثه و بیان دلایل و موارد فنی پیرامون آن، نقاط ضعف مشاهده شده را منعکس نمایند تا درس آموخته‌های مهم و ارزشمند حادثه، مورد توجه تمامی کارشناسان و مدیران و مسئولان قرار گیرد.

۱- بیان حادثه و علل آن

ساخت‌وسازهای فاقد مجوز در خلازیل[۱] ، شهرک احمدیه، محله شهید کاظمی ناحیه ۳ منطقه ۱۹ در ظرف مدت زمانی کوتاه ٦ ماهه، منجر به اقدام شهرداری منطقه نوزده و اخذ مجوز از دادستانی برای تخریب ساختمان‌های احداثی گردید. تعداد این ساختمان‌ها (فقط ساختمان‌های احداث شده در بازه زمانی مهرماه ۱۴۰۱ تا فروردین ۱۴۰۲ که تعدادی نیمه‌کاره هم بودند) بر اساس برآورد ما از نگاره‌های ماهواره‌ی، ۱۷۰ ساختمان بوده که احتمالاً تعدادی از آنها، مربوط به عوارض غیرساختمانی ولی مشابه آن بوده باشد که به‌درستی تشخیص داده نشدند. عدد اعلامی در برخی از مصاحبه‌های مسئولین شهرداری، ۱۲۰ ساختمان فاقد مجوز بوده که احتمالاً این عدد هم نیاز به تدقیق داشته باشد.

عملیات تخریب در طی چند هفته قبل از شروع حادثه خلازیل (رخداد ۱۵ مرداد ماه ۱۴۰۲، ساعت ۱۲:۲٤[۲])، اجرائی و بلوک‌های ساختمانی احداث شده اعم از منطقه خلازیل و یا جنب غربی بزرگراه شهید کاظمی در این محله در دستور تخریب قرار می‌گیرند (عملیات تخریب در زمان بازدید اکیپ مطالعاتی گزارش حاضر نیز در جریان بود). در جریان تخریب به روش کششی در منطقه خلازیل، ساختمان بتنی با دهانه کوچک در حدود ۷ متری دچار واژگونی ناقص گردیده که در اثر آن ضربه به ساختمان بتنی دیگر مجاور جنوبی آن وارد می‌شود. ضربات دومینویی ساختمان به ساختمان پنجم (۵ دستگاه ساختمان به هم برخورد داشته‌اند که ساختمان پنجمی دچار فروریزش کامل شد) که از نوع اسکلت فلزی بوده اثر کرده و این ساختمان دچار فروریزش ناگهانی کامل می‌شود. ۵ ساختمان مجاور که به هم برخورد کرده، وسعتی به عرض ۲۳ متر و طول ۸۰ متر را در کوچه گلها اشغال کرده بودند.

ساختمانی که بطور کامل فروریزش کرد، از نوع اسکلت فولادی، دارای ۷ سقف از سطح زمین (پیلوت ساختمان فاقد دیوارهای داخلی بوده) بود. ابعاد این ساختمان حدود ۲۲*۲۳ متر از روی تصاویر ماهواره‌ای برآورد شده است.

مختصات جغرافیائی نقطه وسط ساختمان ریزش کرده دارای طول ۵۱,۳۵۸۵ و عرض ۳۵,٦۱۸٦ و ارتفاع نقطه سطح زمینی مجاور آن ۱۰۹۵ متر از سطح دریا است.

---

[۱] خلازیل. [خ ُ] (آخ) دهی است جزء دهستان غار بخش ری شهرستان تهران دارای ۳۹۵ تن سکنه. آب آن از قنات و محصول آنجا غلات ، صیفی و چغندرقند. شغل اهالی زراعت و گاوداری. راهش مالرو است. از طریق اسفندیاری می‌توان ماشین به آنجا برد. از آثار قدیم آنجا تپه‌ای است. (لغتنامه دهخدا، از فرهنگ جغرافیایی ایران ج ۱)

[۲] ساعت ۱۲:۲٤ در واقع ساعت اعلام حادثه به سامانه ۱۲۵ شهرداری تهران است نه زمان دقیق وقوع حادثه، احتمال داده می‌شود حادثه دقایقی قبل از ساعت ۱۲:۲٤ رخ داده باشد.

زمان حادثه(فروریزش ساختمانی) روز یکشنبه ۱۵ مرداد ماه ۱۴۰۲ و ساعت اعلام حادثه به سامانه ۱۲۵ شهرداری ۱۲:۲۴ و ساعت اعلام به اورژانس ۱۲:۲۷ اعلام شده است (ساعت وقوع حادثه دقایقی قبل ساعت ۱۲:۲۴ می‌باشد که در گزارش حاضر ساعت وقوع حادثه هم ۱۲:۲۴ در نظر گرفته شده است).

تلفات جانی حادثه فروریزش ساختمانی ٤ نفر(بنا به برخی مصاحبه‌های مسئولین آتش‌نشانی ۵ نفر) و تعداد مصدومین بیش از ۱۱ نفر اعلام شده است.

عامل اصلی فروریزش ساختمان منجر به فوت، ضربه ساختمان مجاور و علت ضربه نیز، تخریب به روش کششی ساختمان اول بوده است. هرچند که عامل اصلی وقوع حادثه ضربه ساختمان‌ها به هم در اثر روش تخریب بوده، اما کیفیت بسیار نازل ساختمان‌ها و به‌ویژه ساختمان فروریزشی پنجم (ترتیب شماره‌گذاری ساختمان‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است) در بروز حادثه نقش مؤثری داشته است. با توجه به نوع رفتار ساختمان فروریزش کرده کامل، احتمال داده می‌شود که ساختمان پیش‌تر برای جلوگیری از ادامه ساخت و امکان تخریب، تضعیف شده بود (بریدن ستون‌های ساختمان‌های فاقد مجوز در تعدادی دیگر از ساختمان‌های بتنی و فولادی نیز مشاهده گردیده است). جابجایی صورت‌گرفته در ساختمان چهارم، حدود ۵ سانتیمتر تخمین زده شد، که اگر حتی درز انقطاع مرسوم ساختمان‌ها (ساختمان‌های ۷ تا ۹ طبقه) زمان احداث رعایت می‌شد (صرفنظر از سایر نقایص دیگر)، جابجایی ساختمان ٤ به ساختمان ۵ منتقل نمی‌شد، لازم به ذکر است که ساختمان ٤ در این حرکات دومینوئی پابرجا مانده و آسیب خاصی ندیده بود (بر اساس بازدید میدانی). پایداری ساخت ساختمان ۵ چنان نازل و یا پائین آمده بوده که با ضربه ساختمان ٤، بصورت طولی (در راستای ارتفاع ساختمان از سقف پیلوت تا سقف طبقه آخر) دو ردیف ستون‌های میانی(ردیف‌های شمالی و جنوبی میانی) از هم گسیخته و ساختمان قبل از فروریزش از هم جدا و به دو قسمت گسیخته می‌شود. با توجه به نتایج ارزیابی‌ها، در بیان علت حادثه (بر اساس مستندات و موارد قابل ارزیابی) می‌توان احتمال عوامل زیر را در بروز سانحه فروریزش ساختمان و جان باختن چند نفر در خلازیل منطقه ۱۹ تهران، به ترتیب نقش برشمرد:

۱- عدم اعلام هشدار و عدم اقدام به تخلیه کلیه عوامل (مردم، پرسنل نیروی انتظامی و شهرداری و ...) از محدوده در دست تخریب از سوی عوامل مجری تخریب و مدیریت اجرائی کار.

۲- انتخاب روش کششی تخریب که موجب افتادن و ضربه ساختمان اول به دومی و در ادامه منجر به فروریزش ساختمان پنجم می‌شود و همراه با علت ذکر شده در بند ۱.

۳- پایداری کم ساختمان فروریزش کرده به دلیل ضعف های سازه ای، احتمالاً به دلیل تضعیف ساختمان (به دلیل

ممانعت از ادامه ساخت و یا تسهیل تخریب) در اثر برش ستون‌ها (با استفاده از ترمیت[1]) و یا کیفیت پائین ساخت که منجر به عدم تحمل ضربه توسط ساختمان ۵ از طرف ساختمان ٤ گردیده است (ترتیب شماره‌گذاری ساختمان‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است).

٤- کیفیت ساخت پائین ساختمان ۵ و البته سایر ساختمان‌های دیگر قبلی(سمت شمالی ساختمان فروریزش کرده).

۵- عدم رعایت درز انقطاع بین ساختمان و به‌ویژه ساختمان ۵ و ٤ که موجب انتقال نیروی ضربه ساختمان ٤ به ساختمان ۵ گردید.

در شکل‌های ۱ تا ۱۰ موقعیت ساختمان‌ها نسبت به هم در کوچه گلها و ترتیب فروریزش ساختمان ۵ نشان داده شده است.

شکل۱- ترتیب ساختمان‌های به هم برخورد کرده از سمت شمالی (ساختمان بتنی ۱) تا ساختمان ۵ اسکلت فولادی ریزش کرده شمالی

در ادامه در شکل‌های ۲ تا ۱۰ تصاویری برداشت شده از کلیپ ارزشمند منتشر شده در فضای مجازی که سکانس حرکات دومینوواری ۵ ساختمان خلازیل و نهایتاً فروریزش ساختمان پنجم را به‌خوبی به تصویر کشیده است، با توضیحاتی در روی عکس‌ها نشان داده شده است که حاوی نکات فنی و مدیریتی قابل توجهی هستند.

[1] مواد ترمیت انفجاری نیستند، بدلیل توان تولید دمای بالا موجب ذوب فلزات می‌توانند بشوند.

شکل۲- عکس تخریب به روش کششی ساختمان ۱

شکل۳- عکس شکست ستون جنوب غربی ساختمان ۱

شکل٤- کج شدگی ساختمان ۱ به سمت جنوب(به طرف ساختمان ۲) در اثر شکست ستون

شکل۵- برخورد ساختمان ۱ به ساختمان ۲ و خسارت بخش شمالی ساختمان ۲

شکل٦- شکست و دو تکه شدن ساختمان ۵ در اثر ضربه ساختمان ٤ و شکست ستون جنوب شرقی آن (به نظر می‌رسد که این ساختمان پیش‌تر ضعیف شده بود)، نکته مهم از دیدگاه فنی این است که ساختمان ٤ سالم در جای خود باقیمانده است.

شکل۷- شکست و دو تکه شدن و افتادگی بخش جنوبی ساختمان ۵ در اثر ضربه ساختمان ٤ و شکست ستون جنوب شرقی ساختمان ۵ (به نظر می‌رسد که این ساختمان پیش‌تر ضعیف شده بود)

شکل۸- آوار ناشی از فروریزش ساختمان ۵

شکل۹- واژگونی به سمت جنوب ساختمان ۵ و به سمت معبری که پرسنل نیروی انتظامی و شهرداری حضور داشتند

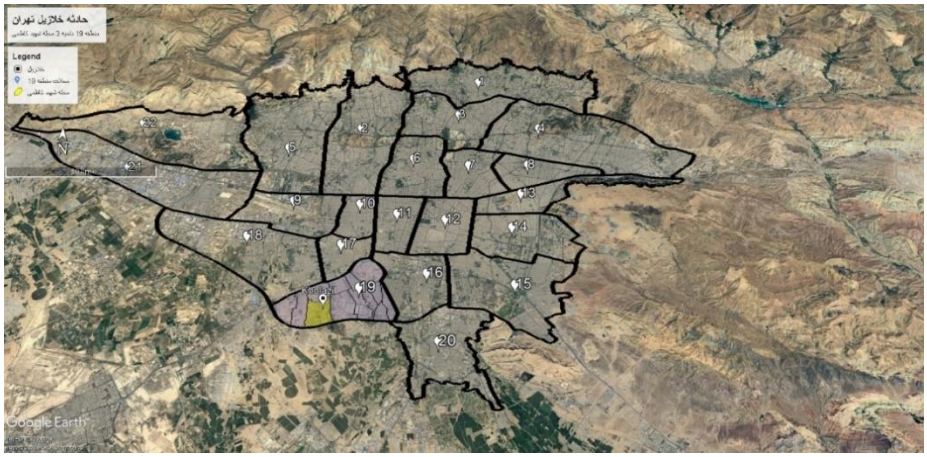
شکل۱۰- عکس‌های پس از فروریزش ساختمان ۵ و تعداد افراد حاضر در صحنه

۲- محل و موقعیت رخداد و محدوده اطراف آن

در شکل ۱۱، موقعیت محدوده در منطقه ۱۹، واقع در جنوب شهر تهران نشان داده شده است. در شکل ۱۲ با بزرگنمائی بیشتر محدوده منطقه ۱۹ و چهارگوش محدوده خلازیل و اراضی جنوبی آن مشخص گردیده است.

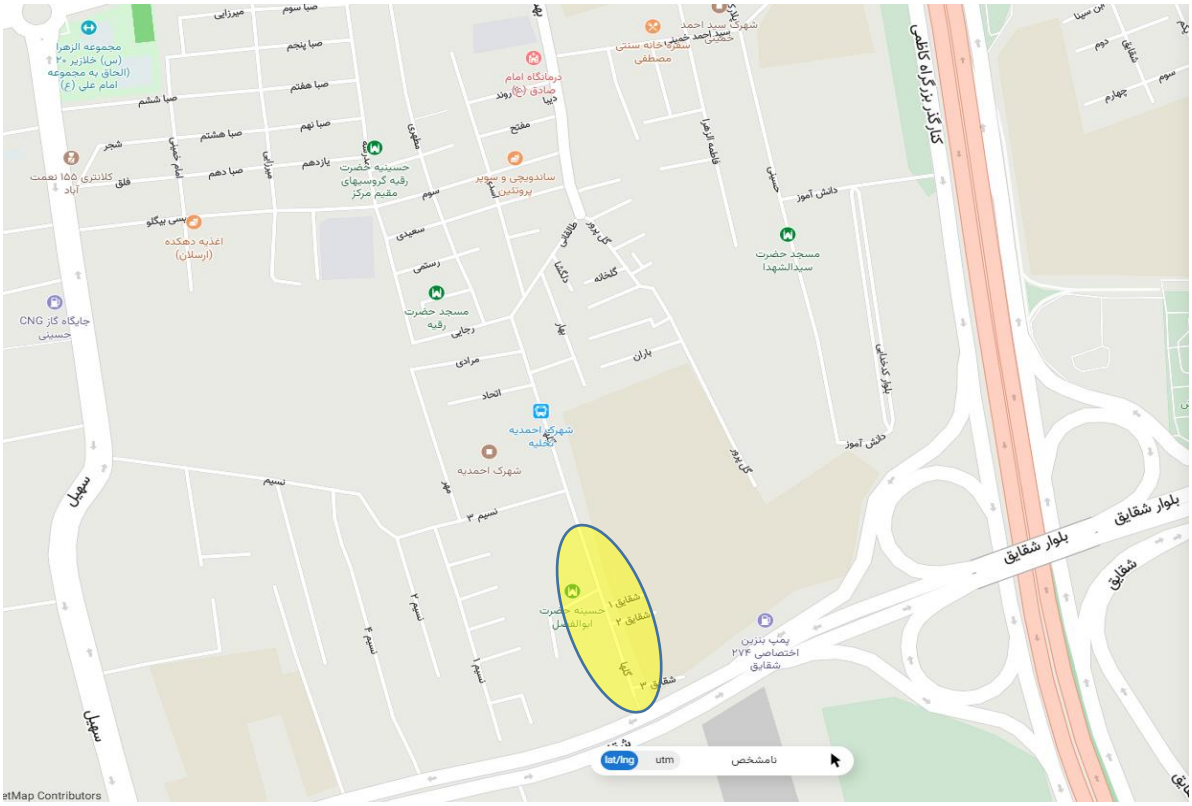
در شکل ۱۳ نیز بر روی نقشه معابر و عوارض شهری محدوده محل وقوع حادثه و اطراف آن تعیین گشته است. بازار خلازیل (خلازیر هم نامیده می‌شود) معروف می باشد و در محیط‌های موقعیت‌یابی مسیر حرکت و رسیدن به محل حادثه به سهولت ممکن است.

همانطور که گفته شد، مختصات جغرافیائی نقطه وسط ساختمان ریزش کرده دارای طول جغرافیائی ۵۱,۳۵۸۵ و عرض جغرافیائی ۳۵,۶۱۸۶ و ارتفاع نقطه سطح زمینی مجاور آن ۱۰۹۵ متر از سطح دریا است.



شکل۱۱- موقعیت حادثه فروریزش ساختمانی خلازیل در شهر تهران

شکل۱۲- موقعیت حادثه فروریزش ساختمانی خلازیل در منطقه ۱۹ شهری تهران



شکل۱۳- محل حادثه در نقشه معابر شهری تهران محدوده خلازیل و شهرک احمدیه واقع در ضلع شمالی بلوار شقایق

۳- شرایط محیطی و چند مخاطره اصلی اراضی خلازیل و اطراف آن

محدوده خلازیل، پیش‌تر روستایی بود از بخش آفتاب که در آن کاشت محصولات کشاورزی رونق داشت. این محدوده، در تراز ارتفاعی مظهر قنوات رو به جنوب عبوری از تهران نیز واقع گردیده است. در این ناحیه، در سنوات گذشته، آب‌های سطحی تجمع پیدا می‌کرد. در شکل ۱۴ تصویری از محدوده خلازیل قبل از احداث بنا و در شکل ۱۵ بعد آن نشان داده شده است. استنباط می‌شود که ساختگاه محدوده از نوع خاک نرم با قابلیت بزرگنمائی امواج زلزله و تأثیرپذیر به‌ویژه از زلزله‌های دور نیز باشد. همچنین به لحاظ امتداد قنوات در این ناحیه، احتمال فروریزش‌های ناگهانی زمین نیز وجود دارد که ضرورت ارزیابی‌های دقیق‌تری را دارد.

شروع ساخت‌وساز از اوایل دهه ۸۰ در این ناحیه (محدوده خلازیل و اطراف) از سمت غربی و جنوبی آغاز گردیده و کم کم کل محدوده زیر پوشش ساخت‌وساز واقع گردیده است. با توجه به روند توسعه در جنوب منطقه ۱۹ از سالیان دور تا زمان حاضر ضرورت توجه به کیفیت ساخت امری بسیار جدی است. در ادامه به برخی از شرایط و مخاطراتی که "ریسک[۱]" را در این ناحیه بالاتر برده است اشاره می‌شود.

شکل۱۴- نمائی از محدوده خلازیل در اواخر سال ۱۳۷۸ و اراضی تحت کشت هموار در آن (آب این اراضی از قنوات و یا از پساب تهران تأمین می‌شده است)

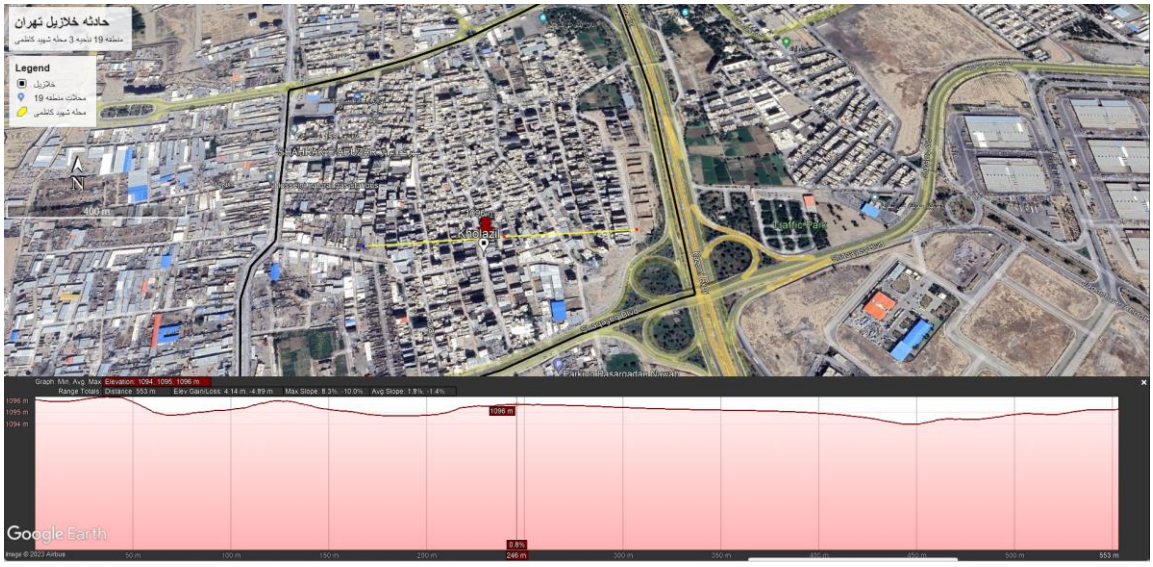
[۱] ریسک(خطرپذیری)، حاصل ترکیب پیچیده سطح خطر در آسیب‌پذیری المان‌های در معرض خطر است. اگر بصورت ترکیبی چند مخاطره در برآورد ریسک دخیل شوند، مفهوم ریسک، ریسک تجمعی نامیده خواهد شد.

شکل۱۵- همان محدوده شکل ۱۶ در سال ۱۴۰۲

۳-۱- توپوگرافی محدوده خلازیل

محدوده خلازیل هموار و با شیب خیلی ملایم از شمال به جنوب است میزان شیب متوسط زمین در چهارگوش محدوده خلازیل حدود ۰,۶ درصد است. در امتداد شرقی – غربی هم شیب جهت‌داری قابل مشاهده نیست اما ناهمواری‌های موضعی در این امتداد به شکل ملایمی قابل اندازه‌گیری است. در شکل ۱۶ و ۱۷ دو مقطع شمالی-جنوبی و شرقی-غربی ارتفاعی عبوری از محدوده سایت فروریزش ساختمانی خلازیل نشان داده شده است.

شکل۱۶- پروفیل ارتفاعی شمالی – جنوبی عبوری از محل حادثه خلازیل

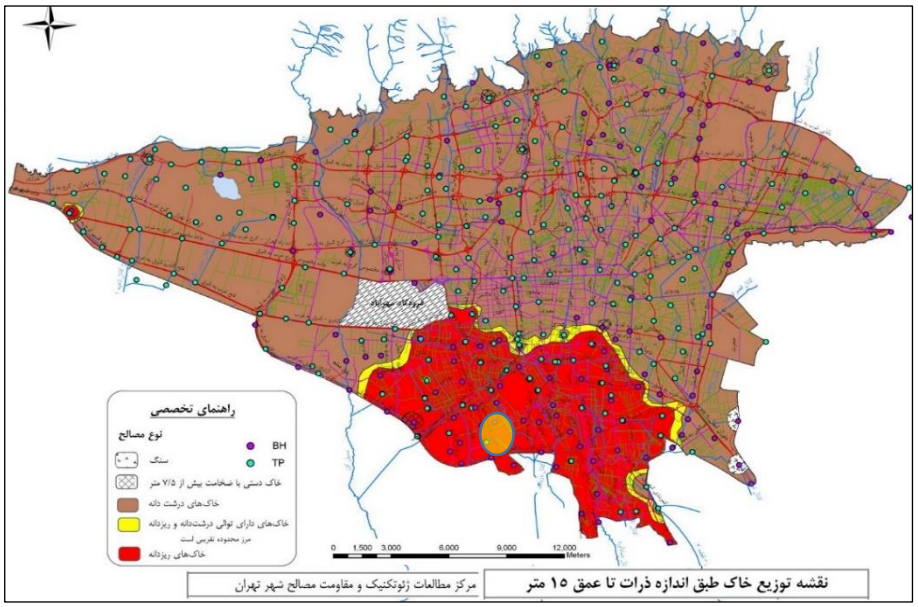


شکل۱۷- پروفیل ارتفاعی شرقی – غربی عبوری از محل حادثه خلازیل

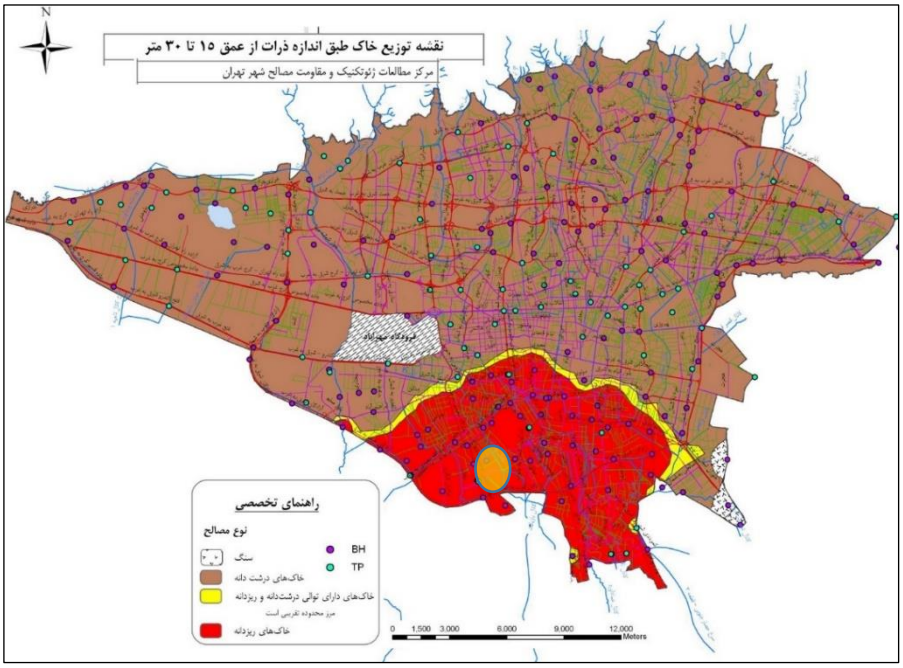
۳-۲- شرایط ساختگاهی محدوده خلازیل

زمین محدوده خلازیل و اطراف آن ریزدانه و خاک نرم است. بر اساس داده‌های گمانه‌های ژئوتکنیکی کنترل مضاعف شده مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهر تهران و نقشه‌ای که آن مرکز برای شهر تهران ارائه کرده است، در دو افق عمقی از ۰ تا ۱۵ متر و از ۱۵ متر تا ۳۰ متر، محدوده خلازیل و اطراف آن دارای خاک ریزدانه است. خاک‌های ریزدانه نرم، معمولاً ساختگاه با ریسک لرزه‌ای نسبی بالاتری نسبت به زمین‌های متراکم و سفت هستند. در شکل‌های

۱۸ و ۱۹ تیپ‌بندی خاک را در محدوده خلازیل، می‌توان استنباط کرد. بزرگنمائی امواج زلزله در این نوع خاک بیشتر از سایر نقاط است، به عبارت دیگر، نیروی وارده از یک زلزله مشخص در این ناحیه بیشتر از سایر نواحی خواهد بود.



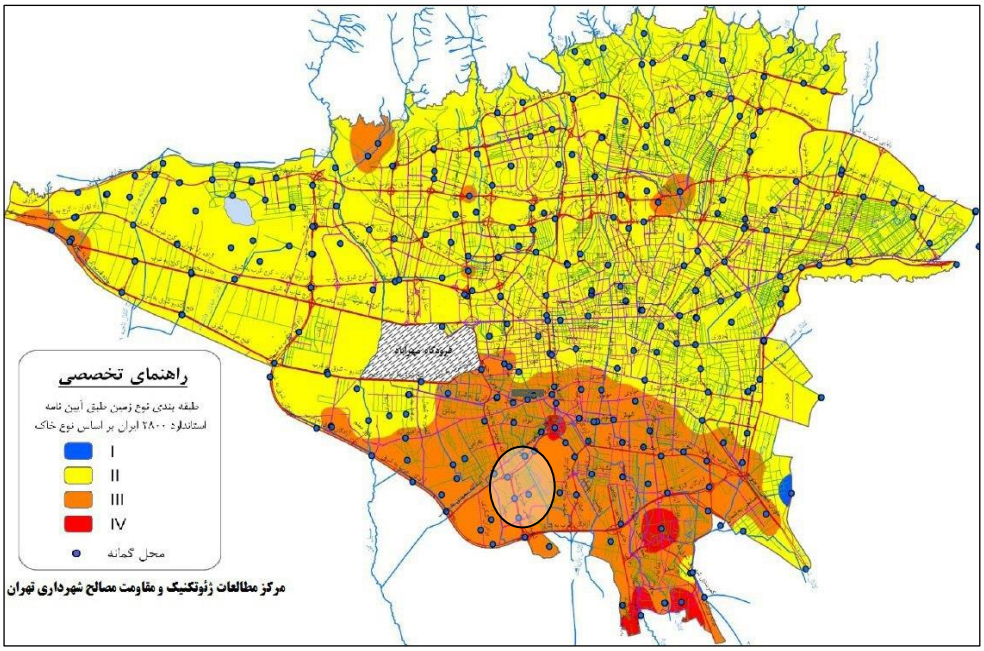
شکل۱۸- پهنه‌بندی تیپ خاک در تهران و در محل حادثه خلازیل تا عمق ۱۵ متری



شکل۱۹- پهنه‌بندی تیپ خاک در تهران و در محل حادثه خلازیل تا عمق ۳۰ متری

از روی دو نقشه ارزشمند ارائه شده در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ می‌توان استدلال کرد که ساخت‌وساز در جنوب منطقه ۱۹ و از جمله در خلازیل باید خیلی محافظه کارانه تر انجام شود و هرگونه مسامحه در این خصوص می‌تواند منجر به تلفات به‌مراتب بالاتر در زمان وقوع زلزله گردد.

بر اساس اطلاعات مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهرداری تهران، که در بردارنده حدود ۱۰۰۰ گمانه کنترل مضاعف شده می‌باشد، محدود خلازیل، تیپ ساختگاهی نوع ۳ را داراست که طیف‌های این تیپ زمین و میزان بزرگنمائی آن به‌مراتب از پهنه‌های میانی و شمالی تهران بیشتر است و این امر نیز لزوم توجه ویژه به ساخت‌وسازهای با کیفیت را افزون‌تر می‌سازد (شکل۲۰).



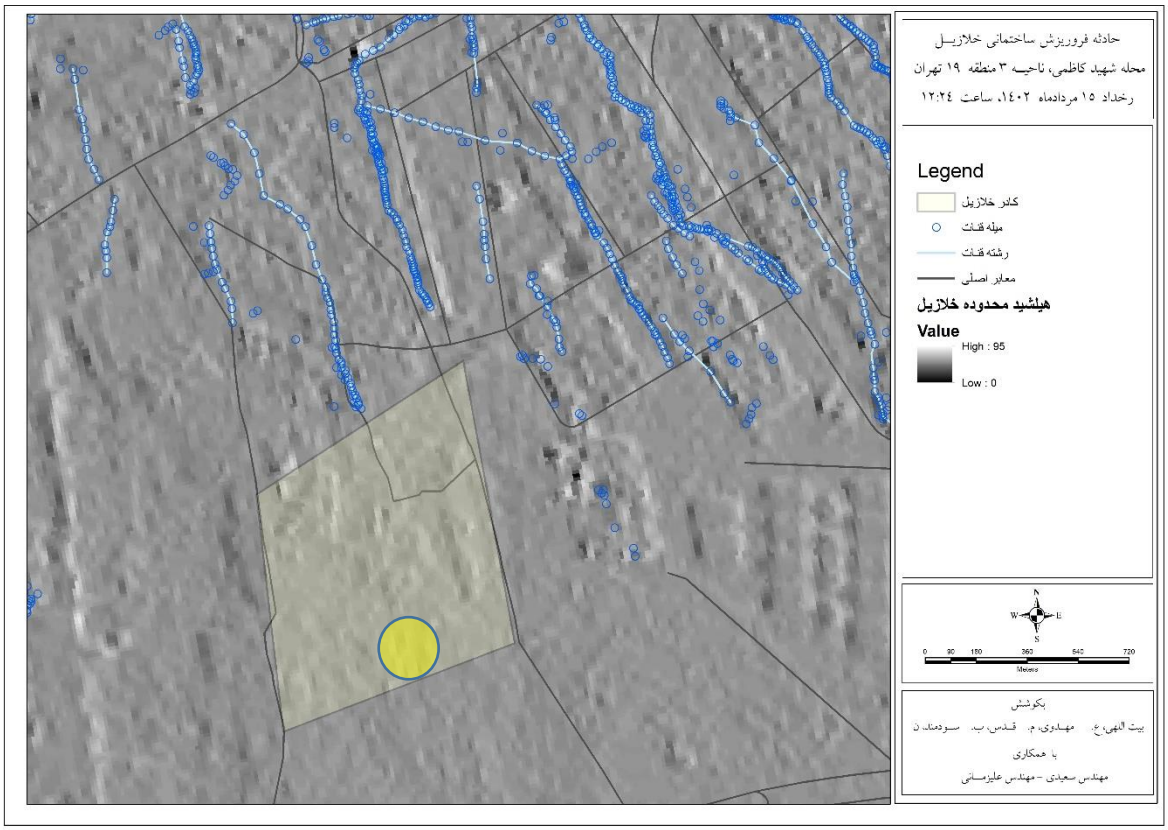
شکل۲۰- تیپ زمین در تهران و محدوده خلازیل منطقه ۱۹

۳-۳- رشته قنوات و پتانسیل خطر فروریزش زمین و اشباع‌شدگی خاک

نقشه رشته قنوات و موقعیت میله‌های آن در شکل ۲۱ نشان داده شده است. وجود زمین‌های زراعی وسیع در خلازیل و جنوب منطقه ۱۹(شکل ۱۴) که در سالیان گذشته محدوده‌های اراضی روستایی بودند و سپس جزئی از مناطق شهری شدند، نشان می‌دهد که تأمین آب آن از طرق مختلف امکانپذیر بوده است که یکی از آن طرق، رشته قنات‌ها بوده است.

بر اساس نقشه رقومی قنات‌های تهران (سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهرداری تهران) نقشه پراکنش رشته قنات‌ها و میله‌های آن در شکل ۲۱ تهیه گردیده است. نشان داده می‌شود که محدوده شمالی خلازیل شاخه‌های انتهائی قنات‌های

با راستای شمال به جنوب تهران بوده و احتمالاً در همین نواحی مظاهر قنات‌ها نمایان می‌شده‌اند. این امر از دو جنبه در ساخت‌وساز اهمیت دارد، الف- پتانسیل فروریزش زمین، ب- بالا آمدن سطح ایستابی و احتمال وقوع روانگرایی و ناپایداری ساختگاه، هر دو مورد مذکور، ریسک مخاطرات را بطور بالقوه در منطقه خلازیل و جنوب منطقه ۱۹ بالا می‌برد و از این نظر نیز در ساخت‌وسازها و به‌ویژه ساختمان‌های متوسط و بلندمرتبه باید نهایت سخت‌گیری و دقت وجود داشته باشد. لازم به ذکر است که نقشه قنوات ارائه شده در شکل ۲۱، کامل نبوده و نیاز به تکمیل دارد که احتمال می‌رود گستردگی شبکه قنوات بیشتر از سیمای نشان داده شده در شکل ۲۱ باشد.

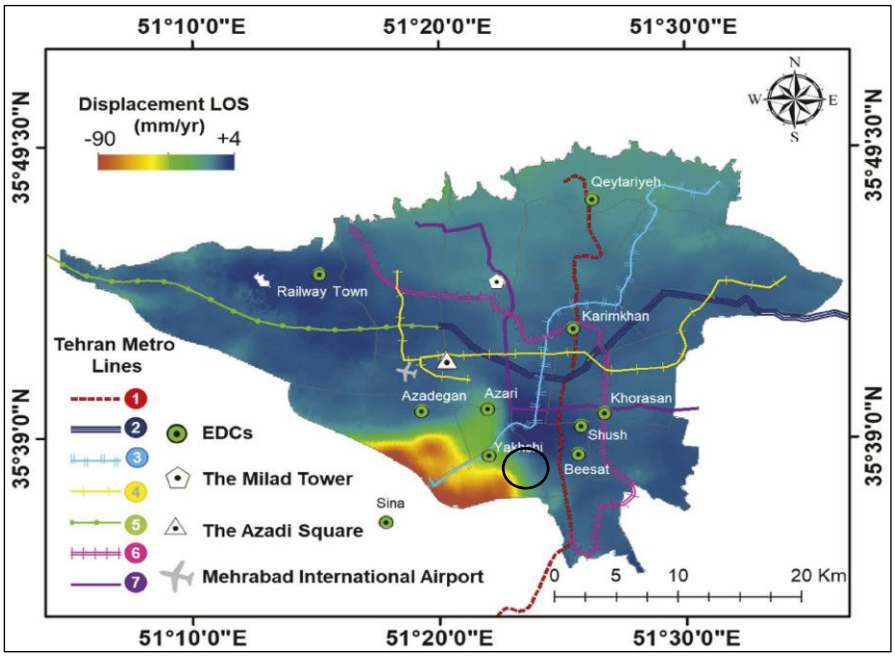


شکل ۲۱- نقشه رشته قنوات و میله‌های آن در محدوده‌های مشرف به خلازیل

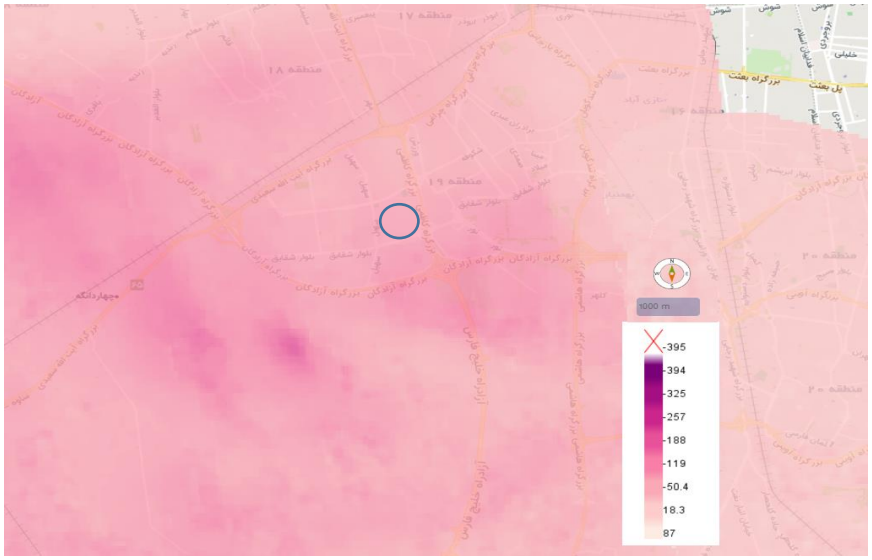
۳-٤- خطر فرونشست زمین

بر اساس کار جدید قربانی و همکاران (Smart Geotechnics for Smart Societies،۲۰۲۳) نقشه نرخ سالیانه فرونشست زمین برای تهران ارائه شده است، در شکل ۲۲ نشان داده می‌شود که منطقه ۱۹ و محدوده خلازیل بطور نمایانی در پهنه با خطر فرونشست زمین بالا قرار دارند. همچنین بر اساس نقشه فرونشست زمین محدوده تهران ارائه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، نیز وجود پهنه‌های فرونشستی در منطقه ۱۹ و از آن جمله محدوده خلازیل با نرخ بالای ۱۱ سانتی‌متر

در سال محرز است(شکل ۲۳). نکته مهمی که از شکل ۲۵ قابل استنباط است، وجود ناهمگنی در میزان نرخ فرونشست است که نشان‌دهنده وجود نشست نامتقارن است. در چنین نواحی، ساختمان‌ها اگر سهل انگارانه احداث شوند بطور حتم دچار اثرات خسارت‌بار فرونشست زمین می‌گردند و این امر در درازمدت می‌تواند موجبات خسارت‌های عدیده گردد.



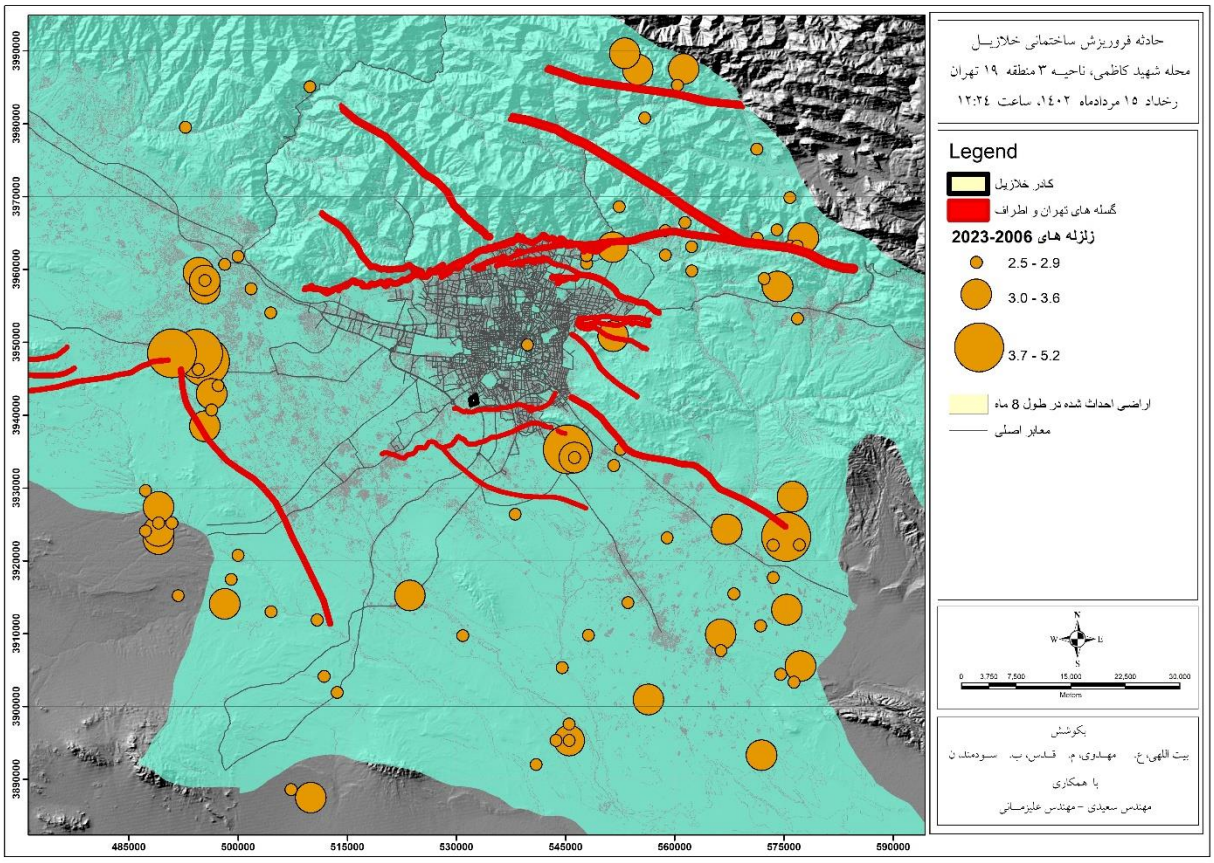
شکل۲۲- نقشه نرخ سالیانه فرونشست زمین در تهران، ۲۰۲۳، قربانی و همکاران



شکل۲۳- نقشه نرخ سالیانه فرونشست زمین در تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور

۳-۵- خطر زلزله

در شکل ۲٤ موقعیت گسله‌های اصلی شهر تهران و اطراف آن نشان داده شده است. موقعیت محدوده خلازیل نیز در این شکل مشخص گردیده است. گسل شمال ری نزدیک‌ترین گسله به محدوده خلازیل است که از جنوب منطقه ۱۹ و خلازیل عبور می‌کند. در شکل ۲٤ همچنین زلزله‌های از سال ۲۰۰٦ تا زمان تدوین گزارش حاضر به نقشه در آمده است. در فاصله ۰,۵ درجه(حدود ۵۰ – ٦۰ کیلومتر) از محدوده خلازیل تعداد ۹۵ زمین‌لرزه مکانیابی شده است از آن میان، ٤ زلزله با بزرگی ٤ و بالاتر و ۲۸ زلزله در بازه بزرگی ۳-٤ واقع می‌گردند. بنابراین اطلاعات، رخداد ۹۵ زلزله در شعاع ۵۰ کیلومتری منطقه خلازیل معرف فعال بودن گسله‌های اطراف و اهمیت در نظر گرفتن رخدادهای لرزه‌ای در ساخت‌وسازهاست. این سرشت لرزه‌ای زمین، تحت هیچ شرایطی امکان عدول از مقررات و آئین‌نامه‌های ساخت‌وساز مقاوم در برابر زلزله مجاز نمی‌کند، خطر زلزله با تلفیق خطر فرونشست زمین و شرایط ساختگاهی منطقه خلازیل حاوی پیام خوبی برای ایمنی جانی ساکنین محترم منطقه نیست و نباید با توجه به خطرات بالقوه موجود کوچکترین اغماضی در ساخت‌وسازهای غیرمجاز وجود داشته باشد.

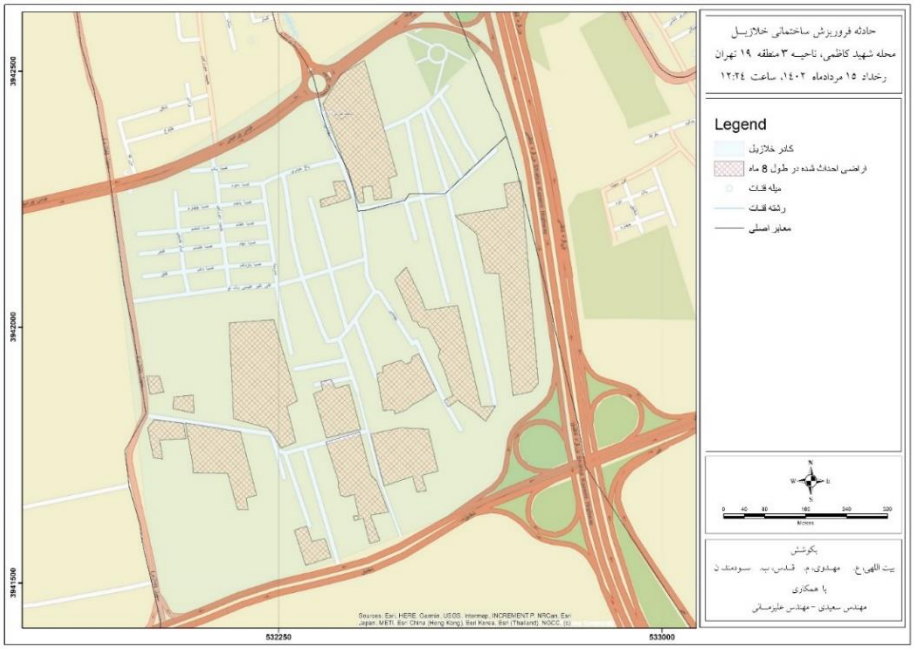


شکل۲٤-موقعیت گسله‌ها و توزیع زمین‌لرزه‌های اطراف منطقه خلازیل

٤- روند ساخت‌وساز غیرقانونی در خلازیل

در بخش‌های قبلی تلاش بعمل آمد تا بستر با پتانسیل بالای خطر ساخت‌وساز صورت گرفته در خلازیل منطقه ۱۹ تهران معرفی گردد، آشنایی با شرایط ساختگاه، فرونشست زمین، گسله‌ها و زلزله‌های اطراف و... خود تعیین کننده نحوه ساخت و سطح کیفی احداث بنا است. با توضیحات و اطلاعات زمینه‌ای از شرایط محیطی و سطح مخاطرات دربرگیرنده محدوده خلازیل، باید انتظار سختگیری و رعایت جدی ضوابط و مقررات و آئین نامه ۲۸۰۰ در محدوده خلازیل داشت که متأسفانه واقعیت‌ها خلاف آن را نشان می‌دهد. برای ارائه سیمائی از ساخت‌وساز غیرمجاز کافی است به چند تصویر و شکل مراجعه شود، همچنین بازدید میدانی بعمل آمده پس از رخداد فروریزش ساختمانی خلازیل، نیز نشان می‌دهد که کیفیت ساخت‌وساز تا چه میزانی نازل بوده است (در ادامه به آن پرداخته می‌شود).

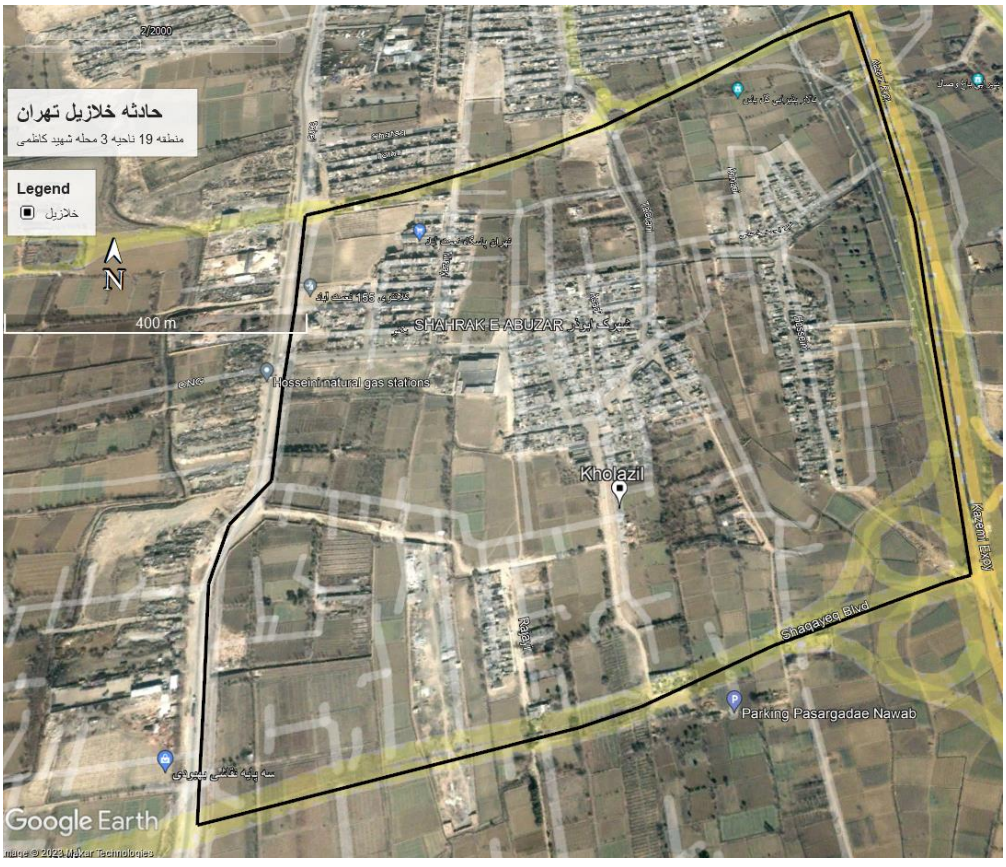
ارزیابی روند ساخت‌وسازهای غیرمجاز را الزاماً در محدوده‌ای فراتر از کوچه گل‌ها و محل حادثه فروریزش ساختمان در آن باید انجام داد. در شکل ۲۵ محدوده چهارگوش منتخب برای ارزیابی و قضاوت در خصوص روند ساخت‌وسازهای غیرمجاز نشان داده شده است. این محدوده چهارگوش از غرب به خیابان سهیل، از شمال به بلوار ورامینی و شکوفه، از غرب به بزرگراه شهید کاظمی و از جنوب به بلوار شقایق منتهی می‌شود. مساحت آن حدود ۷۵۰،۰۰۰ متر مربع، ۷۵ هکتار، است (ابعاد حدودی ۸٤۰*۸۸۰ متر). این محدوده در ادامه "چهارگوش مطالعاتی" نیز نامیده شده است.



شکل۲۵- محدوده چهارگوش منتخب برای ارزیابی روند ساخت‌وساز در خلازیل منطقه ۱۹

در چهارگوش مطالعاتی در شکلهای ۲۶ و ۲۷ وسعت ساخت‌وساز و تراکم آن در سال ۱۳۷۸، نشان داده شده است.

شکل۲۶- وضعیت اراضی خلازیل و چهارگوش مطالعاتی از نظر پوشش ساخت‌وساز در سال ۱۳۷۸



شکل۲۷- وضعیت اراضی خلازیل و چهارگوش مطالعاتی از نظر پوشش ساخت‌وساز در سال ۱۳۷۸ (با زوم بالاتر)

در تابستان ۱۳۸۹ وضعیت ساخت‌وساز در خلازیل و چهارگوش منتخب برای ارزیابی آن در شکل ۲۸ نشان داده شده است. طی ۱۰ سال، رشد مساحت احداثی قابل ملاحظه است.

شکل۲۸- وضعیت اراضی خلازیل و چهارگوش مطالعاتی از نظر پوشش ساخت‌وساز در سال ۱۳۸۹

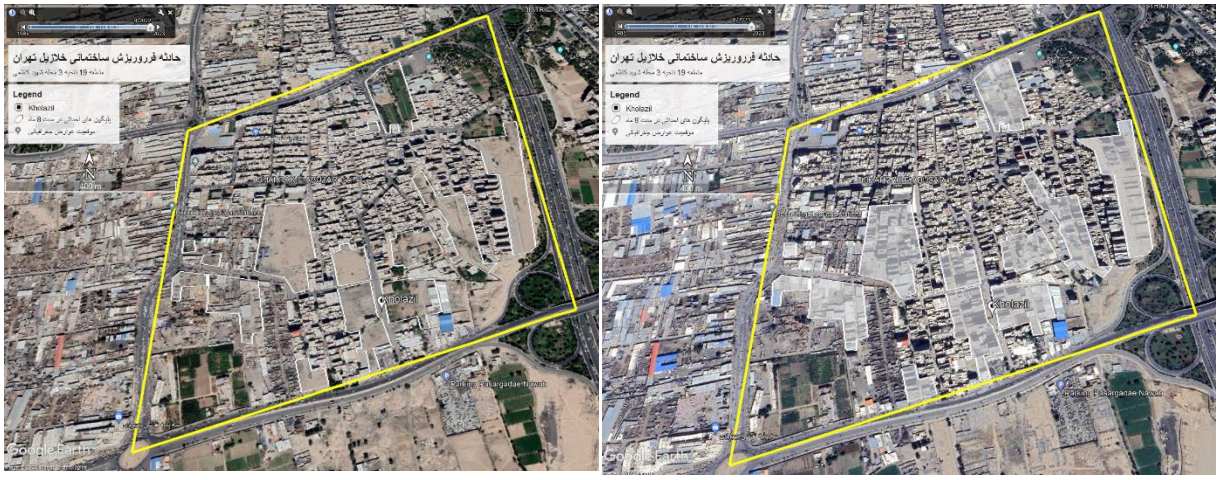
در اواسط سال ۱۳۹۹، پوشش ساخت‌وسازی در چهارگوش مطالعاتی در شکل ۲۹ قابل مشاهده است. پلیگون هایی از اراضی بصورت منفصل و پراکنده، مشاهده می‌شود که در این سال هنوز خالی و احداثی در آنها صورت نگرفته است.

در شکل ۳۰ که مربوط به اوایل سال ۱۴۰۲ است، مشاهده می‌شود زمین‌های خالی در ابعاد مختلف بطور عمده ساخته شده و نمای منطقه بطور کلی دگرگون شده است. برای ارزیابی روند ساخت‌وساز غیرمجاز اخیر که با عملیات تخریب جلوی ادامه آن گرفته شد و محدوده‌های معینی را نیز تحت پوشش قرار می‌دهد، دو بازه زمانی شهریور ۱۴۰۱ و فروردین ۱۴۰۲ و تغییرات ناگهانی وسعت ساخت در مدت زمانی ٦ ماهه شایان توجه جدی خواهد بود.

شکل۲۹- وضعیت پوشش ساختمانی در چهارگوش محدوده خلازیل و اطراف آن در سال ۱۳۹۹

شکل۳۰- وضعیت پوشش ساختمانی در چهارگوش محدوده خلازیل و اطراف آن در سال ۱۴۰۲

در محدوده‌ای به مساحت ۷۶۵۷۶۰ متر مربع در شهریور ماه ۱۴۰۱ در حدود ۱۴۷ هزار مترمربع خالی از هرگونه ساخت‌وساز بوده است که پس از گذشت ۶ ماه، ساخت‌وسازهای بی رویه ای صورت گرفته است(شکل ۳۱). تعداد واحدهای ساخته شده در این محدوده بر اساس شمارش در نگاره‌های ماهواره‌ای، حدود ۱۷۰ بلوک ساختمانی برآورد گردید که احتمال دارد با درصدی خطا همراه بوده باشد. لازم به ذکر است که تمامی این ساخت‌وسازهای صورت گرفته‌ی حداقل در بازه ۶ ماهه مذکور، فاقد مجوز و غیرقانونی‌اند و در ساخت آنها بطور چشمگیری "تعجیل" صورت گرفته است.



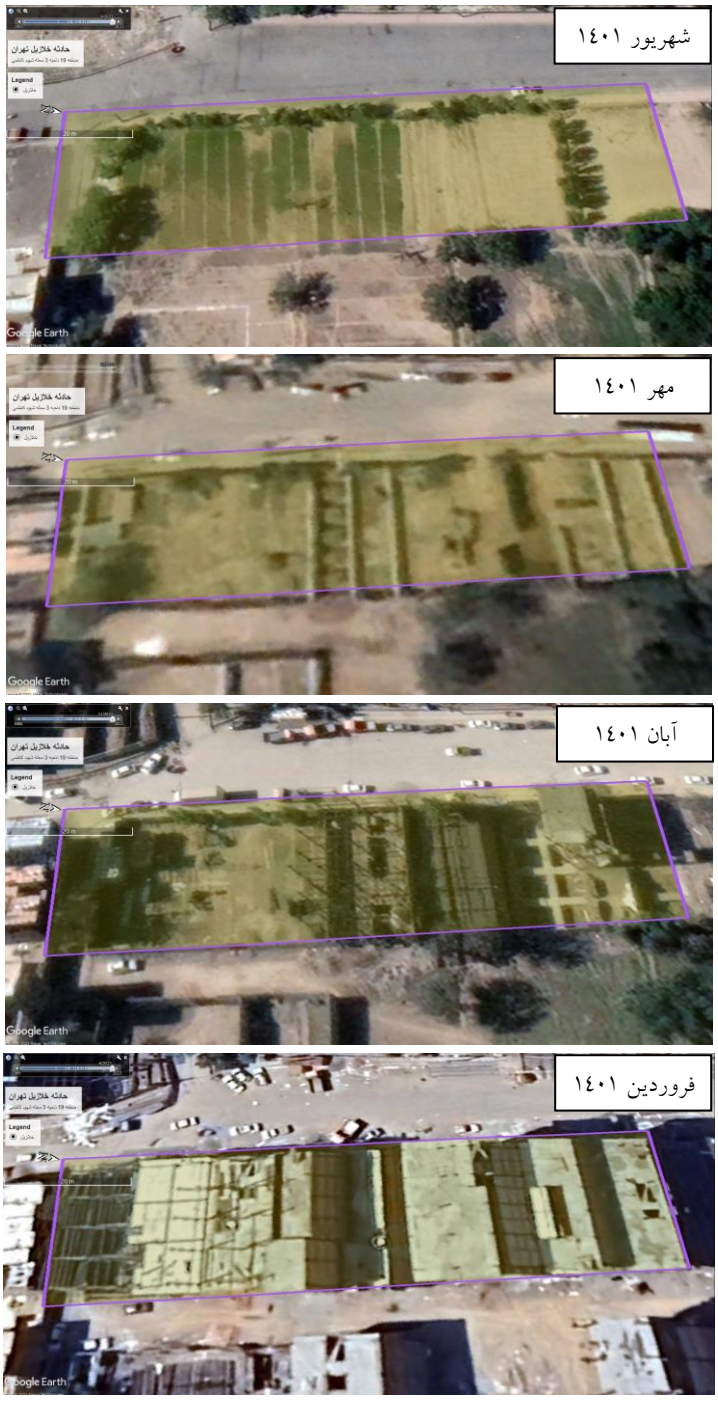
شکل ۳۱-تغییرات سیمای ۱۴۷۰۰۰ مترمربعی اراضی در مدت ۶ ماهه و احداث حدود ۱۷۰ ساختمان در این بازه زمانی کوتاه

با تمرکز بر محدوده حادثه فروریزش ساختمان و محدوده‌ای که ۵ دستگاه ساختمان در آن احداث شده‌اند، شکل ۳۲ برای دوره‌های زمانی از شروع ساخت (شهریور ۱۴۰۱) تا وضعیت فعلی ساختمان‌ها(که از فروردین ۱۴۰۲ به شکل کنونی در مرداد ۱۴۰۲ در آمده است) تغییرات سطح اراضی را نشان می‌دهد. ۵ ساختمان به هم برخورد کرده در مدت زمانی ۶ ماهه احداث شده‌اند که البته در زمان وقوع حادثه نیمه تمام و نیز خالی از سکنه بوده‌اند(تعدادی از ساختمان‌ها ساخته شده در سایر نقاط ساکن نیز داشته‌اند).

به دلیل غیرمجاز بودن ساخت‌وسازها، عجله‌ای شدید در اتمام آن بوده که باعث شده عمده ساختمان‌ها با گودبرداری کم عمق در حد ۱ متر و یا بدون گودبرداری و اجرای فونداسیون در سطح زمین احداث شوند. فاقد مجوز بودن و عجله در ساخت، مختص عدم گودبرداری نبوده، در ساختمان‌های فولادی، جوشکاری‌های منقطع و به‌مراتب ضعیف نیز نشان از وجود عجله‌ای شدید برای اتمام سریعتر ساخت بنا بوده است.

می‌توان گفت که ساختمان‌های سریع احداث شده خلازیل در مساحتی ۱۵ هکتاری (معادل ۱۹٪ مساحت چهارگوش مطالعاتی ۷۵ هکتاری) بالغ بر ۱۷۰ ساختمان(با تقریب) دارای شاخص‌های فنی ضعیف که در ادامه به برخی از شواهد

آن اشاره می‌گردد، در محیطی با سطح بالای خطر مخاطرات چندگانه احداث شده بودند که بطور واضح سطح ریسک را بالا برده بود. به نظر می‌رسد اقدام مهم‌ترین اثر مفید تخریب چنین ساختمان هائی، شامل نجات آن دسته از مردمی شد که شاید پس از اتمام ساخت، احتمال داشت در این ساختمان‌ها سکنی بگزینند.



شکل۳۲- روند ساخت‌وساز در محدوده فروریزش ساختمانی خلازیل

۵- بازدید و ارزیابی فنی محدوده فروریزش ساختمان خلازیل

با توجه به وقوع ریزش ساختمان در روند تخریب برخی ساختمان‌های غیرقانونی در محدوده بزرگراه شهید کاظمی-خیابان شقایق-کوچه گل‌ها معروف به الغدیر، که این محدوده به‌طورکلی با نام شهرک احمدیه در خلازیل تهران شناخته می‌شود، در تاریخ ۱۷ مردادماه ۱۴۰۲ بازدید فنی از بخش‌های مختلف این محدوده و ارزیابی موارد و مستندات بعمل آمد. در شکل ۳۳ روندی از بازدیدهای صورت گرفته توسط تیم از محل سانحه ریزش ساختمان در محدوده خلازیل تهران قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که بیان دلایل قطعی بروز سانحه مورد نظر نیازمند انجام ارزیابی‌های دقیق‌تر، انجام آزمایش‌های تخصصی و مطالعات تکمیلی می‌باشد و گزارش حاضر تنها به ذکر موارد مشاهده شده در بازدیدها خواهد پرداخت.

شکل۳۳ – بازدید میدانی از محل سانحه ریزش ساختمان و اطراف آن

۱-۵- شرح سانحه از دیدگاه سازه‌ای (بر اساس مستندات و اظهارات شاهدان)

با توجه به ارزیابی مستندات مختلف به دست آمده از این سانحه از جمله عکس‌ها، فیلم‌ها، گفتگو با شاهدان محلی و همچنین ارزیابی‌های فنی موارد مختلف در صحنه حادثه و همچنین بررسی آثار به جای مانده از تخریب ساختمان اسکلت فلزی در محدوده، این‌گونه می‌توان استنباط نمود که سازه اولیه (سازه اسکلت بتن آرمه قاب خمشی) با تکنیک کشش ستون طبقه اول توسط سیم بوکسل، در دست تخریب قرار گرفته است که موجب گردیده تا ساختمان مورد نظر پس از سقوط ناشی از شکست ستون، به ساختمان اسکلت بتن آرمه مجاور برخورد نموده و ضربه و جابجایی ناشی از آن به ساختمان‌های مجاور انتقال یافته است که پس از ۵ ثانیه ساختمان اسکلت فلزی (ساختمان پنجم در مجاورت سازه اولیه) در اثر آن ویران گردیده است. در شکل ۳٤ رخداد اول وقوع سانحه یعنی برخورد سازه‌های بتن آرمه قابل مشاهده می‌باشد.

شکل ۳٤ – نمایی از رویداد اولیه (سقوط سازه بتن آرمه بر روی سازه مجاور)

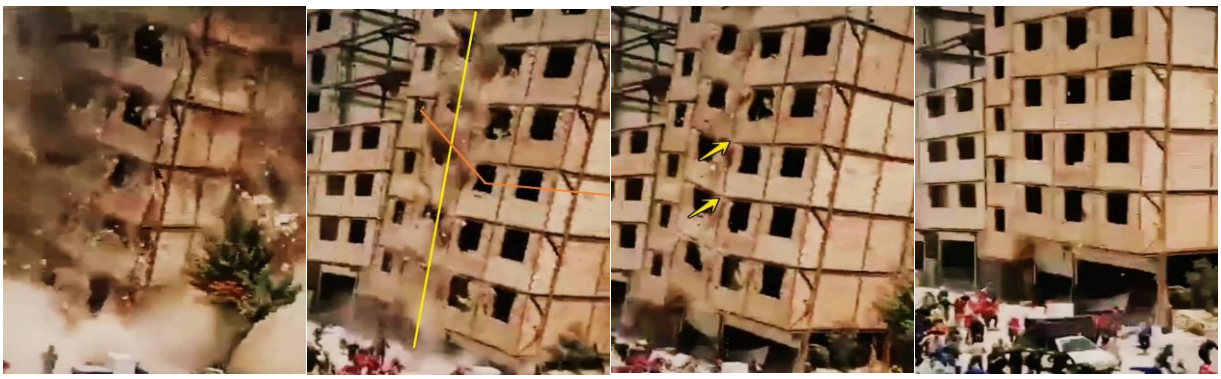
همانطور که در شکل شماره ۳۵ قابل مشاهده است، عملیات تخریب از طریق کشش به وسیله سیم بوکسل بر روی ستون طبقه اول سازه صورت گرفته است که پس از تخریب این عضو سازه به سمت جنوب غربی واژگون گردیده و به ضلع شمال غربی سازه بتن آرمه مجاور برخورد نموده است که این رخداد موجب بروز جابجایی در سازه ثانویه و انتقال این جابجایی به سازه‌های مجاور گردیده است. باید به این نکته اشاره نمود که بر اساس ارزیابی، فاصله مناسبی بین دو سازه نیز وجود نداشته است (عدم رعایت درز انقطاع). البته باید به این نکته اشاره نماییم که درز انقطاع صرفاً جهت کنترل اندرکنش ناشی از ارتعاش لرزه‌ای تعبیه می‌گردد و در این مورد که سازه ناشی از عملیات تخریب واژگون گردیده است، به‌عنوان عامل کنترل‌کننده اثرات برخورد سازه‌ها محسوب نمی‌گردد. اما در موضوع انتقال ضربه و جابجایی از سازه‌های مجاور به سازه تخریب شده، قطعاً در صورت رعایت درز انقطاع، موجب کاهش میزان جابجایی انتقال یافته می‌گردیده است.

شکل ۳۵- روند تخریب سازه اولیه و برخورد آن با سازه قاب خمشی مجاور

در شکل شماره ۳۶ می‌توان مشاهده نمود که در اثر تخریب سازه اولیه، طبقات تحتانی سازه به‌طور کامل با فرم پنکیک تخریب گردیده و طبقات فوقانی بر روی طبقات تحتانی سقوط یافته و همچنین سازه از محور قائم منحرف شده و به سمت جنوب واژگون گردیده که پس از وارد نمودن ضربه به بخش شمال غربی سازه مجاور، طبقات فوقانی به سازه بعدی تکیه داده است.

شکل۳۶– تخریب بخش‌های تحتانی سازه اولیه با فرم پنکیک و واژگونی سازه بر روی ساختمان مجاور

همانطور که در شکل ۳۷ قابل مشاهده است، جابجایی ناشی از اثر ضربه تخریب سازه اولیه، پس از ۵ ثانیه از سمت ساختمان‌های مجاور (ناشی از جابجایی ایجاد شده بر اثر ضربه سازه اسکلت بتن آرمه اولیه) به ساختمان شماره ۵ (پنجمین سازه در جنوب سازه اولیه) رسیده و موجب جابجایی در بدنه سازه گردیده که با توجه به روند تخریب صورت گرفته، این‌گونه به نظر می‌رسد که در ابتدا ستون‌های ضلع جنوب شرقی سازه (احتمالاً به دلیل ضعف اتصالات در جابجایی اعمال شده) منهدم گردیده که پس از آن سازه به سمت جنوب متمایل گردیده و سپس بر اساس شواهد، نوعی گسیختگی قائم در بخش میانی سازه صورت گرفته است. بدین‌صورت که سازه پس از جابجایی اعمالی، دارای دو بخش مجزا با آهنگ و جهت تخریب متفاوت گردیده است. همانطور که در شکل ۳۷ قابل مشاهده است، سازه که فاقد مهاربندی جانبی است (بادبند در سازه اجرا نشده است) و در طبقه همکف نیز دیوارها حذف گردیده است (کاهش سختی طبقه)، پس از جابجایی اولیه، به فرم واژگونی درآمده و سپس در محل خط پنجره‌های سوم دچار گسیختگی داخلی گردیده است (احتمالاً به دلیل ضعف اتصالات بخش مورد نظر و نیز احتمالاً به دلیل تضعیف ساختمان در اثر برش با استفاده از ترمیت تعدادی از ستون‌ها و به‌ویژه ستون‌های جنوب شرقی). در گام بعد این‌گونه به نظر می‌رسد که کمانش ستون‌های ضلع جنوبی سازه ناشی از نیروی فشاری مازاد و همچنین خروج از مرکزیت عضو، موجب انهدام اعضا گردیده و کنار ضعف اتصالات میانی، زمینه سازه واژگونی و تخریب کامل سازه را فراهم آورده است.



شکل ۳۷ – روند تخریب سازه اسکلت فلزی (پنجمین سازه در جنوب محل تخریب اولیه)

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته از موارد مشهود در صحنه سانحه و محیط پیرامونی (سازه‌های احداث شده در محدوده به‌ویژه کوچه گلها)، ضعف‌های مشهودی از حیث سازه‌ای شناسایی گردید که به دفعات در سازه‌های مجاور قابل ردیابی بوده است. در این بخش مهم‌ترین موارد در این حوزه ارائه گردیده است.

۲-۵- موارد مهم در ارزیابی‌های سازه‌های فولادی

- **مشکلات اجرائی در اتصالات**

یکی از موارد مهم که در ارزیابی‌ها مشاهده گردید، اجرای نامناسب اتصالات در اعضای باربر برخی سازه‌ها از جمله اتصالات در محل تلاقی تیرها و ستون‌ها (اتصالات جوشی نامناسب اجزای اتصال) و اتصالات مربوط به ستون‌های دوبل از حیث طول و ابعاد جوش‌ها، کیفیت جوش و فواصل بین خطوط جوش بوده است. به نظر می‌رسد، موارد فوق‌الذکر، در ناپایداری سازه و بروز سانحه مورد نظر تأثیر مستقیم داشته است. همانطور که در شکل شماره ۳۸ قابل مشاهده است عدم رعایت ضوابط در اتصالات نشیمنگاهی تیرها و همچنین اتصالات مربوط به ستون‌های دوبل کاملاً مشهود می‌باشد. لازم به ذکر است عکس‌های این شکل مربوط به سازه فلزی واژگون شده که موجب بروز تلفات انسانی نیز گردیده است می‌باشد.

شکل۳۸- اجرای نامناسب اتصالات برخی سازه‌ها در محدوده. الف) عدم جوش کافی در نبشی نشیمن تکیه‌گاهی تیر به ستون، ب) ایراد در جوشکاری ورق نشیمن تکیه‌گاهی و همچنین قرارگیری نامناسب تیر بر روی آن ج) جوش نامناسب و به دور از ضوابط ستون‌های دوبل (فاصله و ابعاد جوش)، همچنین، عدم جوش مناسب نبشی نشیمن تیر به ستون

- **عدم اجرای مهاربندی در برخی سازه‌های فولادی**

یکی از موارد مهم که در ارزیابی‌ها مشاهده گردید عدم اجرای مهاربندی جانبی سازه‌های فولادی در برخی از موارد بوده است که به شدت موجب ناپایداری سازه و افزایش آسیب‌پذیری آن به‌ویژه در زمان اعمال جابجایی در سازه ناشی از عملیات تخریب یا ضربات وارد شده از سازه‌های مجاور گردیده است. در شکل شماره ۳۹ نمونه‌هایی از این نوع سازه‌ها قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است سازه فلزی تخریب یافته که موجب بروز سانحه و ایجاد تلفات انسانی گردیده است نیز، از این نوع سازه‌ها بوده است. همانطور که پیش‌تر بدان اشاره گردید، سازه تخریب شده اسکلت فلزی نیز فاقد مهاربندی جانبی (بادبند) بوده است.

شکل ۳۹- نمونه‌هایی از عدم اجرای مهاربندی جانبی در سازه‌های اسکلت فلزی محدوده

- **اجرای نامناسب مهاربندی در برخی سازه‌های فولادی**

یکی از مواردی که در بازدیدهای صورت گرفته به وفور قابل مشاهده بوده است عدم اجرای مناسب مهاربندی در سازه‌های فولادی می‌باشد. بدین ترتیب که در تعداد قابل توجهی از سازه‌ها شاهد چینش مهاربندها به شکل نامنظم در طبقات بوده که موجب بروز تغییر در سختی طبقات و ایجاد نامنظمی در ارتفاع سازه گردیده است. همچنین در برخی از ساختمان‌ها شاهد اجرای ناقص و یا چینش غیرمنظم مهاربندی در طبقات مختلف هستیم که موجب افزایش میزان نامنظمی در طبقات، افزایش احتمال بروز پیچش در سازه و کاهش ناپایداری سازه گردیده است. در شکل شماره ٤٠ نمونه‌هایی از این مورد قابل مشاهده است.

شکل ٤٠– اجرای نامناسب (به دور از ضوابط) اجزای مهاربندی جانبی سازه‌های اسکلت فلزی

- **ضعف مقاطع مورد استفاده در برخی سازه‌های فولادی**

طی بازدیدهای صورت گرفته از آثار به جای‌مانده از تخریب‌ها در محدوده مورد نظر، فارغ از اینکه بیان دقیق کفایت باربری اعضا نیازمند انجام مطالعات و مدلسازی‌های تکمیلی است، اما در نگاه اولیه بر اساس قضاوت مهندسی، این‌گونه به نظر می‌رسد که ضعف شدید مقاطع در اجزای مختلف سازه‌ها مانند تیرها و ستون‌ها و یا قطعات در نظر گرفته شده برای راه پله‌ها وجود دارد. حتی در مواردی طی بازدیدها، پروفیل‌های بالاتری برای تیرها نسبت به ستون‌ها در نظر گرفته شده بود. لازم به ذکر است که در بررسی قطعات برجای‌مانده از سازه فلزی واژگون شده نیز این نکته مشهود به نظر می‌رسد که ضعف اعضا در کنار نواقص اجرائی در اتصالات و همچنین عدم مهاربندی سازه، نقش مؤثری در بروز سانحه داشته است. در شکل‌های شماره ٤١ و ٤٢ نمونه‌هایی از موارد ارزیابی‌شده قابل مشاهده می‌باشد که برای مثال از پروفیل IPE١٢٠ برای ستون‌های سازه ٤ و حتی ٥ طبقه استفاده شده است.

شکل ٤١ – نمونه‌هایی از المان‌های ضعیف در برخی از سازه‌های فولادی محدوده (به نسبت ارتفاع و بارگذاری سازه)

شکل ٤٢– ضعف المان‌های ستون در سازه ه فولادی ٤ طبقه (بر اساس بازدید چشمی و قضاوت مهندسی)

۳-۵- موارد مهم در ارزیابی‌های سازه‌های بتنی

- **ضعف مصالح و آرماتورگذاری و اجرای نامناسب در سازه‌های بتنی**

در ارزیابی سازه‌های اسکلت بتن آرمه قاب خمشی در محدوده مورد نظر این‌گونه به نظر می‌رسد که بتن مورد استفاده در برخی از این نوع سازه‌ها دچار ضعف از ناحیه مصالح و نوع اجرا می‌باشد. همچنین ارزیابی اعضای تخریب شده در این سازه‌ها نشان‌دهنده ضعف در آرماتورگذاری و عدم رعایت ضوابط این حوزه می‌باشد. در شکل شماره ٤٣ نمونه‌هایی از ارزیابی این نوع سازه‌ها در محدوده مورد نظر قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که در شکل مشهود است، کیفیت پایین بتن ستون‌ها و همچنین فواصل زیاد آرماتورهای عرضی (خاموت ها) در دو انتهای عضو تخریب شده

مشهود می‌باشد. در شکل شماره ٤٤ مشاهده می‌شود که آکس اجرا شده برای ستون‌ها و ابعاد اجرایی مقطع در طبقات مختلف دارای تناقض‌های فنی است که حاکی از ضعف شدید در اجرای اسکلت بتنی دارد.

شکل ٤٣– کیفیت نازل بتن و ضعف در آرماتورهای عرضی در مقطع تخریب شده ستون

شکل ٤٤– عدم اجرای مناسب آکس ستون‌ها در طبقات مختلف

- **ضعف اجزای سازه‌ای و عدم بهره‌گیری از دیوارهای برشی در سازه‌های بتنی**

اجرای دیوار برشی در سازه‌های بتن آرمه به‌عنوان المان‌های شکل‌پذیر که در حوزه بارهای ثقلی و جانبی نقشی کلیدی ایفا می‌نمایند، تأثیر بسزایی بر سختی سازه و متعاقب آن حفظ پایداری آن در مواجهه با بارهای جانبی به‌ویژه بارهای

لرزه‌ای و ضربات خواهد داشت. با وجود مزایا و حتی لزوم بهره‌گیری از این تکنیک جهت حفظ انسجام لرزه‌ای در بسیاری از سازه‌های میان مرتبه و بلندمرتبه اسکلت بتنی، به دلایل اقتصادی و هزینه‌های مربوط به اجرای آن، غالباً با پدیده حذف این المان‌ها در سازه‌های غیرقانونی مواجه هستیم. این موضوع به دلیل تأثیرگذاری بر افزایش جابجایی و شکل‌پذیری سازه در مواجهه با بارهای جانبی و حتی ضربات، خطرات بسیاری را متوجه سازه می‌نماید.

با توجه به این نکته که امکان دسترسی سریع به نقشه‌های اجرائی و طراحی صورت گرفته برای سازه‌های محدوده مورد نظر وجود نداشته است (در صورت وجود نقشه یا طراحی)، به‌طورقطع نمی‌توان بر تأثیر عدم اجرای دیوار برشی در سازه‌ها بر ناپایداری آنها اظهار نظر نمود. اما طی ارزیابی‌های صورت گرفته از سازه‌های بتنی محدوده و ارتفاع قابل توجه غالب آنها و همچنین وجود ابعاد بزرگ دهانه‌ها و سایز کوچک المان‌های باربر به نسبت ارتفاع سازه، می‌توان تأثیر عدم وجود دیوارهای برشی در سازه‌ها را محتمل دانست. در شکل ٤٥ نمونه‌هایی از این دست سازه‌ها در محدوده قابل مشاهده است.

٤-٥- تأثیر احتمالی خاک و پی بر روی نواقص بروز یافته سازه‌ای

ارزیابی‌های اولیه نشان از وجود خاک نرم (از نوع تیپ ۳) و نیز سطح نسبتاً بالای ایستابی در محل مورد بررسی دارد. همچنین، بررسی‌های عکس‌های ماهواره‌ای، حاکی از خاکبرداری محدود و احتمالاً ناکافی قبل از اجرای فونداسیون ساختمان‌ها (به‌ویژه سازه‌های بتنی) در این منطقه است. با در نظرگیری هم‌زمان این موارد، یکی از دلایل احتمالی فروریزش ناگهانی ساختمان شماره ۵ (پنجمین سازه در جنوب سازه تخریب شده بتنی اولیه که موجب بروز تلفات انسانی گردید) در اثر ضربه و جابجایی خفیف، و نیز انحراف برخی دیگر از ساختمان‌های احداث شده در این محدوده (بخش شرقی محدوده در مجاورت اتوبان شهید کاظمی)، می‌تواند ناشی از عدم مقاومت کافی خاک و پی این ساختمان‌ها باشد. در شکل ٤٦ نمایی از سازه‌های دارای انحراف در بخش شرقی محدوده قابل مشاهده می‌باشد.

لازم به ذکر است که برای نتیجه‌گیری قطعی در مورد میزان تأثیر خاک و پی در فروریزش ساختمان شماره ۵ و انحراف برخی دیگر ساختمان‌ها، مطالعات تکمیلی مورد نیاز است. بعلاوه، با توجه به وجود خاک نرم در این محدوده و نیز لرزه‌خیزی بالای شهر تهران، طراحی مقاطع قوی‌تری در ساختمان‌های این محدود (فولادی و بتنی) قابل انتظار بوده است که در ارزیابی‌ها نتایج معکوسی در این حوزه برداشت گردید. این موضوع فرض طراحی نامناسب ساختمان‌ها در این محدوده را تقویت می‌کند.

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته از محدوده بروز سانحه ریزش، نمونه گودبرداری‌های صورت گرفته برای احداث ساختمان‌ها در تعداد اندکی در سطح یک طبقه منفی بوده و در غالب سازه‌ها، خاکبرداری جهت تعبیه زیرزمین و یا اجرای فونداسیون در تراز زیرزمین صورت نگرفته است. همچنین در موضوع نوع و کیفیت اجرای فونداسیون‌ها، طی ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌هایی که قابلیت بازدید داشته‌اند، این‌گونه به نظر می‌رسد که از فونداسیون نواری در تراز سطح زمین استفاده شده است. در شکل ٤٧ نمونه‌هایی از فونداسیون‌های نواری اجرا شده برای سازه‌های محدوده قابل مشاهده است.

البته در نمونه‌هایی از محدوده، قابلیت مشاهده و ارزیابی فونداسیون وجود نداشت. با توجه به کیفیت نازل اجرای سازه‌ها، می‌توان این‌گونه استنباط نمود که کیفیت اجرای فونداسیون‌ها پایین بوده و حتی در مواردی از قبیل سازه تخریب شده (اسکلت فلزی در کوچه گلها) و موارد مشابه دیگر، نسبت به وجود فونداسیون نواری نیز تردید وجود دارد. البته اثبات و تأیید نوع و کیفیت فونداسیون‌های اجرا شده از حیث ابعاد، عمق، آرماتورگذاری و مصالح، نیازمند مطالعات ارزیابی‌های تکمیلی است اما در صورت عدم اجرای فونداسیون مناسب در این سازه‌ها (که احتمال آن بسیار زیادی است)، این نکته را باید یکی از دلایل تشدید تخریب‌های صورت گرفته در سازه‌های مذکور برشمرد.

شکل ٤٥– نمونه‌هایی از سازه‌های اسکلت بتن آرمه بدون دیوار برشی در محدوده

شکل ٤٦– نمایی از برخی سازه‌های دچار انحراف در بخش شرقی محدوده

شکل ٤٨– نمونه‌هایی از فونداسیون‌های اجرا شده قابل مشاهده در سازه‌های محدوده

٦- روش‌های تخریب مورد استفاده در محدوده

با توجه به موارد مشاهده شده در موضوع تخریب سازه‌ها در محدوده مورد نظر، این‌گونه به نظر می‌رسد که روش انجام یافته برای این موضوع استفاده از کشش توسط سیم‌های بوکسل برای تخریب اعضای اصلی سازه و واژگونی کل سازه از این طریق بوده است (روش تخریب کششی). در شکل شماره ۵۰ نمونه‌هایی از سیم‌های بوکسل مورد استفاده برای کشش اعضا قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به آسیب‌پذیری قابل توجه ساختمان‌ها در این محدوده استفاده از روش‌های مناسب تخریب جهت جلوگیری از بروز اندرکنش میان اعضای سازه‌ها بروز تخریب‌های گسترده الزامی می‌باشد که از جمله آن می‌توان به تخریب مرحله‌ای از سطوح بالاتر سازه به سمت همکف اشاره نمود. در شکل ٤٩ نمونه‌هایی از اجزای تخریب شده توسط این روش قابل مشاهده است.

همچنین در برخی از سازه‌های اسکلت فولادی، از روش برش (با استفاده از مواد ترمیت و یا هوابرش و ...) برخی ستون‌های طبقه همکف و سپس استفاده از تکنیک کشش جهت تخریب سازه استفاده شده است. این روش نیز به دلیل بالا بردن احتمال واژگونی بیرون از محور سازه در یک سمت، غالباً برای سازه‌های دارای فضای باز پیرامونی مناسب است(به‌جز در تخریب‌های ناحیه‌ای و به‌شرط تخلیه کامل منطقه و رعایت جدی ملاحظات ایمنی) و در محله‌های دارای تراکم سازه‌ای، احتمال برخورد بین سازه‌ها و افزایش ریسک را به دنبال خواهد داشت. در شکل ۵۰ نمونه‌ای از این روش در سازه فولادی در بخش شرقی محدوده قابل مشاهده است.

شکل ٤٨- نمونه سیم‌های بوکسل مورد استفاده در عملیات تخریب سازه‌های غیرقانونی محدوده

شکل ۴۹- نمونه‌هایی از اعضای تخریب شده با تکنیک کشش توسط سیم بوکسل (برای تخریب سازه)

شکل ۵۰ – نمونه‌هایی از سازه تخریب شده از طریق برش برخی ستون‌های طبقه همکف و سپس کشش با کابل

۷- فرماندهی حادثه خلازیل و ملاحظاتی بر آن

با قدردانی از زحمات طاقت‌فرسای عوامل فرماندهی، امداد و نجات و آواربرداری حادثه خلازیل موارد زیر به‌عنوان نقاط ضعف احتمالی مشاهده شده در حادثه خلازیل با هدف رفع آنها ارائه می‌گردد:

- ❖ تعدد فرماندهی و مسئولیت در میدان موجب سردرگمی همه نیروها می‌شود و اگر در چنین حالتی هماهنگی بین دسته‌های فرماندهی و کاری هم موجود نباشد مزید بر علت خواهد شد.
- ❖ ضرورت هماهنگی در آواربرداری و زنده یابی و ضرورت تکمیل ارزیابی‌های اولیه پیش از اقدام، در حادثه خلازیل احساس گردید و لذا لازم است این موارد مورد بررسی قرار گرفته و تکمیل گردد.
- ❖ حضور مدیران ارشد در محل حادثه گاه موجب تشدید التهاب می‌گردید. ضرورت دارد تا از بازدیدهای بی‌نتیجه و غیرضروری خودداری شود.
- ❖ ابزار و تجهیزات نظیر هوابرش ها باید بصورت کامل در دسترس باشد. همچنین ضرورت دارد تا امکان ارتباط آسان با نیروهای تخصصی در شهرها فراهم شود.
- ❖ در حادثه خلازیل، ماشین‌آلات موجود با ابعاد حادثه تناسب نداشت، بسیار ضروری است که ماشین‌آلات آواربرداری و تخریب و ...، برای نهادهای مرتبط تهیه گردد.
- ❖ در حادثه خلازیل استنباط شد که جستجو بصورت تقریبی بوده، استفاده از ماشین‌آلات سنگین برای آواربرداری از بالا، به معنی عدم امیدواری به نجات محبوسین بوده است.
- ❖ در حادثه خلازیل، مدیریت جمعیت انبوه ضعف عمده داشت.
- ❖ در حادثه خلازیل، عدم رسیدگی به مردم نگران و بازماندگان حادثه در محل و در نظر نگرفتن رفاه و آسایش آنها مشاهده گردید، ضرورت دارد در امداد و نجات به خویشان و آشنایان محبوسین زیر آوار از نظر رفاهی و روانی رسیدگی شود و بخشی از نیروهای امداد و نجات وظیفه‌شان همین باشد.
- ❖ عدم وجود لباس‌های متحدالشکل و سایر تجهیزات در بین عوامل درگیر جستجو، امداد و نجات و آواربرداری
- ❖ ضرورت دارد در فرماندهی و امداد و نجات در حوادث از نیروهای با تجربه استفاده شود.
- ❖ ضرورت دارد تا بانک اطلاعات افراد متخصص و تکنسین‌ها و ... که در حوادث به وجود آنها نیاز مبرم خواهد بود تهیه شود.

۸- جمع‌بندی مدیریتی و سؤالات راهبردی

بررسی و تحلیل حادثه خلازیل از دیدگاه علمی آن‌هم در قلمرو مکانی خاص(پایتخت کشور) و در محدوده زمانی عصر حاضر(عصر تکنولوژی و هوش مصنوعی)، مدلی از مفاهیم به هم پیوسته از مؤلفه‌های گوناگون فنی – مهندسی ، حقوقی، مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و به‌ویژه فرهنگی را در ذهن متبادر می‌کند که ضرورت پرداختن به موضوع در مقیاس کلان و بسط آن به علوم دانشگاهی را ایجاب می‌نماید.

با رعایت ملاحظات اجتناب از غلو و سیاه نمایی، بسی ساده اندیشانه خواهد بود چنانچه ریشه‌های رسیدن به چنین نقطه‌ای در حوزه مدیریت شهری و نظام ساخت‌وساز که به مثابه قسمت برونی کوه یخ است، مورد مداقه قرار نگیرد و از روند و فرایندهای تولید ریسک به این بزرگی غفلت شود. چرا که حداقل عبرتی که با هزینه مصیبت غیرقابل‌جبران از دست دادن جان عزیزانمان قابل دستیابی است این است که درس آموخته‌های این تجربه تلخ کشف و مستند گردد.

- اولین و مهمترین موضوع حادثه، طرح موضوع و تحلیل آن از منظر حکمرانی و حکمروایی شهری است و دقیقاً لازم است از این منظر ابعاد موضوع مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود کدام گپ‌ها و نارسایی‌ها موجبات احداث چنین بناهایی را فراهم آورده است؟
- دومین موضوع تحلیل‌های فنی مهندسی است آن هم نه تخریب غیراصولی بنا بلکه موضوع احداث غیر فنی بنا هرچند بدون مجوز و هرچند عجولانه. آیا مجریان ساختمان و اصحاب صنوف و حرف ساختمانی (هرچند غیرمجاز) باید تا این حد کم‌توجهی نمایند که ساختمان ۷ طبقه با تلنگری فروبریزد؟
- سومین موضوع بررسی ابعاد حقوقی حادثه است. اینکه از این منظر چه نارسایی‌های وجود داشته که منجر به چنین ساخت‌وسازهایی شده و چنین حادثه‌ای رقم خورده است؟
- چهارمین مسئله تحلیل مؤلفه‌های اجتماعی و اقتصادی است اینکه چه طیفی از مردم با چه انگیزه‌ها و سودجویی‌هایی دست به ساخت آن چنین بناهایی می‌کنند.
- و نهایتاً بررسی فنی موضوع از این منظر که با وجود ضوابط فنی و ملاحظات تخریب چرا به اجرای آن توجه نشده است.

۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی موارد قابل‌تشخیص و مشاهده در محدوده توسط اکیپ اعزامی، موارد ذیل به‌عنوان اهم نکات قابل ارائه می‌باشد. ضمناً باید به این نکته مهم تأکید نماییم که موارد ذکر شده، به‌عنوان برداشت فنی از موارد قابل مشاهده بر اساس قضاوت مهندسی بوده و لزوماً ارائه دلایل متقن و دقیق برای علل تخریب بروز یافته و همچنین نواقص موجود در سازه‌های محدوده، نیازمند انجام مطالعات تکمیلی، تست‌های آزمایشگاهی و تأیید در جلسات فنی مربوطه می‌باشد.

- **نتایج**

- ❖ جان باختن ٤ نفر، مهم‌ترین وجه بحرانی حادثه خلازیل منطقه ۱۹ بوده است و علت آن عدم تخلیه کامل محوطه از عوامل انسانی به‌واسطه خطرات بالقوه ناشی از فروریزش های احتمالی ساختمان‌های تضعیف شده بود. به نظر می‌رسد در عملیات تخریب ساختمان‌های فاقد مجوز خلازیل، باید ملاحظات ایمنی بطور خیلی جدی‌تری مد نظر قرار می‌گرفت.
- ❖ فروریزش ساختمان پنجم در کوچه گلها در خلازیل، علاوه بر ضربه دومینوئی ساختمان ٤ به آن، به دلیل ضعف بنا و نیز احتمالاً برش تعدادی از ستون‌ها با استفاده از مواد ترمیت و یا سایر روش‌های بوده است. علت ضربه ساختمان ٤ به ٥ نیز تخریب ساختمان ۱(از ٥ ساختمان واقع در سمت شرقی کوچه گلها) به روش کششی با سیم بوکسل(کشش به سمت جنوب و افتادگی ساختمان ۱ بروی ساختمان ۲ و ضربه ساختمان‌های ۲ و ۳ و ٥ به ساختمان ٥ و فروریزش این ساختمان) بوده است.
- ❖ به نظر می‌رسد که درز انقطاع مرسوم نسبت به ارتفاع ساختمان‌ها بین دو ساختمان ٤ و ٥ رعایت نشده بوده که جابجایی ٥ سانتی‌متری ساختمان ٤ ، موجب ضربه به ساختمان ٥ و فروریزش آن شده است.
- ❖ ناپایداری و کیفیت نازل ساخت ساختمان ٥ (هم فونداسیون و هم اجزای سازه‌ای) نیز در فروریزش آن تأثیر زیادی داشته است.
- ❖ محدوده خلازیل دارای شرایط ساختگاهی از نوع ریزدانه و خاک نرم تیپ ۳ و با سطح آب نسبتاً بالا و وجود رشته قنوات متعدد و نیز واقع شدن در پهنه فرونشست زمین و قرارگیری در مجاورت گسل شمال ری، دارای سطح خطر بالائی است که ضرورت داشته و دارد در ساخت‌وسازها نهایت سختگیری و دقت و حساسیت وجود داشته باشد.

- بر اساس برآوردهای از روی نگارهای ماهواره‌ای، در مدت ٦ ماهه از شهریور ۱٤۰۱ تا فروردین ۱٤۰۲، حدود ۱٤۷،۰۰۰ مترمربع اراضی، زیر پوشش احداث بنا با سرعت و عجله به‌مراتب بالا قرار گرفته و احداث (حدود ۱۷۰ ساختمان بطور تقریبی) شده‌اند. عجله و شتاب ناشی از فقدان مجوز ساخت‌وساز، مسلماً رعایت کیفیت ساخت و ضوابط و مقررات را به حاشیه رانده، که با توجه به مخاطرات زمینه‌ای تشریح شده در این گزارش، ساخت ساختمان‌هایی فاقد مقاومت و کیفیت لازم، مسلماً میزان ریسک محیطی را بطور قابل‌ملاحظه‌ای بالا می‌برد.
- به نظر مؤلفان، بیشترین اثر مثبت تخریب ساختمان‌های فاقد مجوز خلازیل، شامل حال ساکنان احتمالی آتی این ساختمان‌ها گردید که در صورت اسکان، امکان بروز حوادثی دردناکتر از حادثه ۱۵ مرداد خلازیل وجود داشت.
- مهم‌ترین و درعین‌حال ساده‌ترین اقدام در تخریب ساختمان‌های خلازیل، تخلیه کامل محدوده از عوامل انسانی بود، جان باختن ٤ نفر در این حادثه بی‌تردید ناشی از سهل انگاری بوده که ضرورت دارد جنبه‌های آن به‌عنوان درس‌های حادثه خلازیل، در اقدامات آتی همواره مد نظر قرار گیرد. وقتی روش تخریب، کششی است، انتظار واژگونی ساختمان و ضربه به ساختمان‌های مجاور بدیهی است و لذا در تخریب ناحیه‌ای و بدون فضای کافی اطراف ساختمان‌های در دست تخریب به روش کششی، تخلیه کامل محدوده کاری امری است ابتدائی و بسیار ضروری که ضرورت دارد در مورد چرائی عدم تخلیه کوچه گلها در منطقه خلازیل رسیدگی دقیقی بعمل آید.
- بر اساس مشاهدات صورت گرفته و همچنین صحبت با مسئولین ذیربط شهری برای محدوده مورد نظر، می‌توان این‌گونه ارزیابی نمود که ساخت‌وسازهای صورت گرفته در این محدوده، غالباً به شکل غیرقانونی و غیراصولی صورت پذیرفته است. همین نکته آسیب‌پذیری قابل توجهی را برای سازه‌های محدوده به همراه داشته است.
- در ارزیابی سازه‌های اسکلت فلزی محدوده مورد نظر، ایراداتی از قبیل ضعف در اجرای اتصالات، عدم تعبیه مهاربند در سازه، حذف دیوارهای طبقه همکف (کاهش سختی طبقه و احتمال بروز طبقه نرم)، اجرای ضعیف و یا به دور از ضوابط اجزای مهاربندی (تعبیه مهاربندها به فرم نامنظم در ارتفاع و پلان) و استفاده از قطعات ضعیف در اجزای اصلی باربر برخی سازه‌ها، قابل مشاهده بوده است.

- ❖ در سازه‌های اسکلت بتنی محدوده، مواردی از قبیل کیفیت پائین بتن (بر اساس مشاهدات و قضاوت مهندسی)، عدم رعایت ضوابط آرماتورگذاری اجزای اصلی سازه (به‌ویژه آرماتورهای عرضی نواحی ابتدایی و انتهایی ستون‌ها)، عدم بهره‌گیری از دیوارهای برشی، انحراف سازه ناشی از شرایط خاک و فونداسیون، اجرای ضعیف قطعات و ناشاقولی آن‌ها در برخی سازه‌ها مشهود بوده است.
- ❖ با توجه به کیفیت نازل اجرا در سازه‌های محدوده، این‌گونه به نظر می‌رسد که فونداسیون‌های اجرا شده برای سازه‌ها نیز با کیفیت نازلی اجرا گردیده است(بر اساس قضاوت مهندسی) و حتی در مواردی نسبت به وجود فونداسیون مناسب نواری در سازه تردید وجود دارد. البته این موضوع نیازمند ارزیابی تکمیلی است اما قطعاً کیفیت پائین و ضعف در فونداسیون را می‌توان به‌عنوان یکی از دلایل تشدید تخریب‌های صورت گرفته تلقی نمود.
- ❖ تعدد و کثرت نیروها در امداد و نجات و آواربرداری و فرماندهی سانحه، بازدیدهای مکرر مسئولین و مواردی از این قبیل امر مدیریت حادثه را در خلازیل سخت نموده بود. ضرورت دارد فرماندهی حادثه و اقدامات تحت مدیریت واحد انجام شود.

- **پیشنهادات**

- ❖ ضرورت آموزش تخریب و تربیت شرکت‌های رتبه دار تخصصی در تخریب به‌وضوح در کشور و به‌ویژه کلانشهرها، احساس می‌شود. پیشنهاد می‌شود در این زمینه اقدامی عاجل بعمل آید
- ❖ تجهیزات تخریب و آواربرداری پیشرفته در کلانشهرهای در معرض مخاطرات گوناگون، ضروری است، پیشنهاد می‌شود نهادهای مرتبط در این زمینه تدبیری جدی بکار بگیرند.
- ❖ عملیات جستجو باید بشکل صحیح در حوادث انجام و بطور کامل تا آخرین مرحله دنبال و سپس عملیات آواربرداری شروع گردد. در حوادثی نظیر حادثه خلازیل نیز مشاهده می‌شود که عملیات زنده یابی و جستجو با عملیات آواربرداری آن‌هم با تجهیزات سنگین گاه تواماً انجام می‌شود که ضرورت دارد در این خصوص نیز آموزش‌های لازم به عوامل اجرائی داده شود.
- ❖ پیشنهاد می‌شود درس آموخته‌های حادثه خلازیل بصورت کارگاه‌های آموزشی برای مدیران، کارشناسان و کلیه عوامل مرتبط با موضوع ارائه گردد.
- ❖ با هدف جلوگیری از ساخت و ساز فاقد مجوز، پیشنهاد می شود این اقدام بعنوان جرم تعریف شود.

مراجع

- تحلیل خطر لرزه‌ای شهر تهران، بیت‌اللهی و همکاران، ۱۳۹۸، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
- حریم گسل‌های کلانشهر تهران، بیت‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۲، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
- ارزیابی ریست لرزه‌ای شبکه گاز تهران، بیت‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۰، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
- نقشه‌های فرونشست زمین ایران، سایت سازمان نقشه نقشه‌برداری، ۱۴۰۲
- نقشه‌های ساختگاهی تهران، مرکز مطالعات مکانیک خاک و مقاومت مصالح شهرداری تهران
- مصاحبه‌های مسئولین و تصاویر و کلیپ‌های فضای مجازی

❖ *Field reconnaissance and InSAR investigation of subsidence-induced damage to electricity dispatch centers – A case study in Tehran, By Ghorbani et al, 2023*