



فرونشست زمین، مخاطره مغفول در لایه ایمنی مراکز و زیرساخت‌های شیمیایی کشور

سیدجمال الدین گوهری^{*۱}

^۱دکتری شیمی آلی، دانشکده و پژوهشکده پدافندغیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	حوادث شیمیایی در مراکز و زیرساخت‌های شیمیایی می‌تواند دارای منشاهاى مختلفی مانند عوامل طبیعی، فرایندی و انسان‌ساخت باشد و در لایه‌های ایمنی، امنیتی و نظامی بروز نماید. در این میان، فرونشست زمین می‌تواند بعنوان یکی از مخاطرات و عوامل طبیعی موثر در بروز حوادث کالبدی با پیامد شیمیایی از جنس رهائش مواد سمی، آتش‌سوزی، خوردگی و انفجار باشد. در سالهای اخیر در کشور ما، بدلیل برداشت‌های بی‌رویه آب از منابع و سفره‌های زیرزمینی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شهری، احتمال وقوع این مخاطره طبیعی بصورت فزاینده رشد یافته است اما متأسفانه این تهدید هنوز بدرستی در فهرست برآورد تهدیدات و برنامه مصون‌سازی زیرساخت‌های شیمیایی و صنعتی کشور قرار نگرفته است. لذا در راستای اصول ایمنی و پدافندشیمیایی، می‌بایست علاوه بر مکانیابی صحیح احداث زیرساخت‌ها، رعایت الگوی منطقی برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی و بکارگیری روش‌های رصد، پیشگیری و مستحکم‌سازی زیرساخت‌های شیمیایی را در برابر این تهدید طبیعی در دستورکار قرار داد.
نوع مقاله: علمی	
تاریخ دریافت: ۱۴ فروردین ۱۴۰۳	
بازنگری: ۲۳ تیر ۱۴۰۳	
تاریخ پذیرش: ۰۷ آبان ۱۴۰۳	
تاریخ انتشار: ۰۱ آبان ۱۴۰۳	
*نویسنده مسئول: gohari_129@yahoo.com	
کلیدواژه‌ها:	
حوادث شیمیایی، فرونشست زمین، زیرساخت‌های شیمیایی، ایمنی، پدافندشیمیایی	

مقدمه

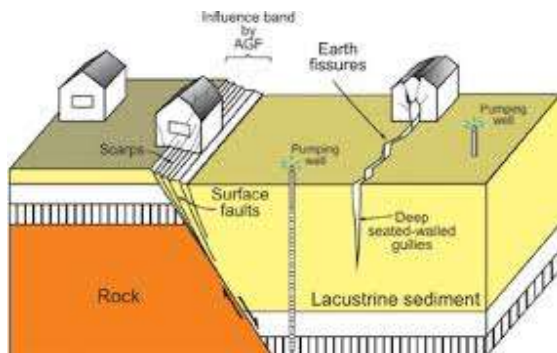
مروری اجمالی بر حوادث بزرگ صنعتی جهان نشان می‌دهد که فراوانی و شدت حوادث مرتبط با مواد شیمیایی اغلب بالاست. اغلب حوادث عمده شیمیایی برپایه یکی از پیامدهای رهایش مواد سمی، آتش سوزی یا انفجار است. البته باید به این نکته اشاره داشت که بسیاری از انفجارات و آتش سوزی های بزرگ، بدنبال رهایش مواد شیمیایی رخ داده اند.

پس از تجربه حوادث فاجعه بار شیمیایی، نگرانی از سوی بخش های عمومی و اجتماعی در خصوص پیشگیری از اینگونه حوادث و به حداقل رساندن عواقب آن اهمیت فزایندهای پیدا کرده است. در واقع، کشورهای جهان به ایمنی مواد شیمیایی توجه فزایندهای دارند. به ویژه، ایالات متحده با اجرای یک رویکرد سیستماتیک و برنامه مناسب، مانند مرکز ملی مشاوره انتشار جوی (NARAC) در جهان پیشرو است [۱]. علاوه بر این، اتحادیه اروپا، ایمنی شیمیایی را از طریق مقررات ایمنی، معروف به ثبت، ارزیابی و مجوز مواد شیمیایی (REACH)، که شامل قوانین سختگیرانه در مورد ایمنی شیمیایی است، مورد توجه قرار داده است. با این حال، اقدامات کشورهای آسیایی هنوز در زمینه ایمنی مواد شیمیایی ناکافی است و هنوز برخی بلایای شیمیایی را تجربه می‌کنند [۲].

از جمله مخاطرات طبیعی غیرفزایندهی که می‌تواند همه پهنه‌ها، تاسیسات، ابنیه و زیرساخت‌ها از جمله زیرساخت‌های شیمیایی را مورد تهدید قرار می‌دهد، موضوع فرونشست زمین است [۱]. این مخاطره می‌تواند همه مراکز و زیرساخت‌های شیمیایی شامل صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی، صنایع هسته‌ای، کارخانجات تولید مواد شیمیایی مانند رنگ و رزین، تولید سموم و آفت کش ها و ... را در بخش‌های مسیر خطوط انتقال انرژی و مواد شیمیایی و نیز محوطه استقرار اجزاء و متعلقات یک زیرساخت شیمیایی شامل دیوارها، سازه‌ها و ابنیه ساختمانی، مخازن نگهداری، لوله‌های انتقال‌دهنده، شیرها و دریچه‌های کنترل کننده، راکتورهای واکنش و فرایند، تاسیسات زیربنایی و تغذیه‌ای و ... تحت تاثیر خود قرار دهد [۳].

همانطور که می‌دانیم، اطمینان از ایمنی کارخانه‌ها و صنایع شیمیایی، ایمنی عمومی جامعه را در پی دارد. لذا از آنجایی که حوادث ناشی از مواد شیمیایی خطرناک در یک زیرساخت می‌تواند علاوه بر از بین بردن سرمایه‌ها و مرگ یا آسیب کارکنان زیرساخت، موجب سرایت دومینویی و یا آشناری پیامد به دیگر تاسیسات و ساختمان‌های مجاور در زیرساخت، زیرساخت‌های همجوار، محیط‌زیست و مردم ساکن اطراف زیرساخت آسیب‌دیده گردد، پیشگیری از خطرات طبیعی مانند فرونشست‌زمین که بصورت خاموش و دور از دید، زیرساخت‌های شیمیایی را مورد

تهدید قرار می‌دهد، بسیار دارای اهمیت و اولویت است و اگر راهبردها و اقدامات نظارتی مؤثر به موقع اتخاذ نشود، ممکن است حادثه در لایه کالبدی زیرساخت شکل گرفته و پیامدهای آن در لایه مخاطرات شیمیایی تشدید شود. [۴].



شکل (۱). فرونشست زمین

روش تحقیق

فرونشست زمین و تاثیرات آن

همانطور که می‌دانیم، فرونشست پدیده‌ای است که به تدریج رخ می‌دهد و همین تدریجی بودن آن باعث شده، این بحران کمتر دیده شود و مورد توجه قرار گیرد. وقتی بافت اسفنجی لایه‌های زیرین زمین (خلل و فرج‌های سطوح خاکی و سنگی درون زمین)، در اثر کمبود بارندگی و یا برداشت آب بیش از توان سفره‌های زیرزمینی برای مصارف (کشاورزی) (مصرف عمده)، آب شرب و تامین آب صنعتی کارخانه‌ها و تاسیسات) از بین برود، سطح زمین در لایه‌های زیرین خاک نشست می‌کند و به یکباره با دهانه‌ها و شکاف‌های عمیقی در سطح زمین مواجه می‌شویم. همچنین این بلایا در مناطق مسکونی و زیرساختی می‌تواند باعث بروز خسارت‌های جانی و مالی می‌شود. فرونشست زمین در زیرساخت‌ها، منجر به آسیب‌دیدگی مستحدمات سطحی و زیرسطحی به شکل ترک‌خوردگی در تاسیسات و ساختمان‌ها، از هم گسیختگی شریان‌های حیاتی و آسیب‌دیدگی سامانه‌های ارتباطی و زیرساختی شود [۵، ۱]. البته مستحدمات با ابعاد بزرگ‌تر و المان‌های طولی مانند خطوط لوله انتقال انرژی و مواد شیمیایی، باندهای فرودگاهی [۶]. خطوط ریلی و شریان‌های جاده‌ای، در معرض آسیب بیشتری قرار دارند [۷]. وقوع پدیده فرونشست زمین، پیامدهای متعددی در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست محیطی و ... به دنبال دارد. از جمله پیامدهای زیست محیطی فرونشست، می‌توان به مرگ آبخوان‌ها (همان سفره‌های زیرزمینی که بعد از برداشت بی‌رویه و فرونشست زمین، حتی در صورت مساعد شدن شرایط اقلیمی و افزایش نزولات جوی دیگر قادر به آبرگیری مجدد از آب‌های

میزان آب سالانه در کشور حدود ۹۸ میلیارد مترمکعب و سهم منابع آب زیرزمینی از این مقدار، ۵۴ میلیارد مترمکعب است! لذا اختلاف مابین میزان حجم برنامه‌ریزی شده منابع آب و حجم مصرف واقعی که منجر به برداشت بیشتر از منابع آب کشور شده، عملاً به منابع آب زیرزمینی تحمیل شده و این اضافه برداشت، منجر به تعدی به حق‌آبه‌های محیط‌زیستی و تخلیه آب‌های استاتیک کشور شده و کسری حجم آبخوان‌های کشور را به همراه داشته است. بنابراین با توجه به اینکه فرونشست، معلول بیش‌بارگذاری صورت گرفته بر منابع آب زیرزمینی است، لذا می‌بایست برای کنترل علت این پدیده و کاهش اثرات آن، روند کنونی اصلاح شود [۱۹].

براساس تحقیقات به عمل آمده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس، هم‌اکنون ۱۸ استان کشور در وضعیت خطر ناشی از پدیده فرونشست هستند؛ در این میان، استان‌های تهران، خراسان رضوی، اصفهان، فارس، البرز، آذربایجان غربی، گلستان و کرمان در وضعیت بحرانی هستند [۲۰].

از آن جمله در تهران، مناطق ۱۷ تا ۲۱، فرودگاه‌های امام خمینی (ره) و مهرآباد خطوط قطار شهری و مترو و خطوط انتقال انرژی در بخش جنوب غرب تهران، در معرض خطر فرونشست هستند. در اصفهان نیز حدود ۱۰ هزار کیلومتر مربع شامل بیش از سی‌هزار واحد مسکونی، به طور ویژه خطوط انتقال سوخت به فرودگاه نایین و سگری، پالایشگاه برق شهید منتظری، پست‌های خطوط انتقال نیرو فشار قوی، خطوط قطار برون‌شهری به‌ویژه خط اصفهان به شاهین شهر، فرودگاه بین‌المللی شهید بهشتی، شهرک صنعتی محمودآباد و ... به شدت در معرض تهدیدهای ناشی از فرونشست هستند [۱۰].

این پدیده در حال حاضر در برخی مناطق کشور به حد بحرانی رسیده اما با این وجود علاوه بر شمارش و پرداختن برنامه هفتم توسعه کشور به این تهدید، متاسفانه راهکارهای مقابله با این تهدید هنوز در برنامه‌های اجرایی - عملیاتی مصون‌سازی زیرساخت‌های کشور قرار نگرفته است که البته حل جامع این مشکل نیازمند هماهنگی، همکاری و اجماع کلیه نهادها و دستگاه‌های اجرایی مرتبط و برنامه‌ریزی جامع و بلندمدت می‌باشد [۷].

لازم بذکر است که مساله اصلی کشور در این رابطه، نه خلأ قانونی، بلکه عدم اجرای قوانین موجود و ضعف نظارتی در این حوزه است. با توجه به تعدد قوانین در کشور و اینکه خلأ قانونی در این زمینه وجود ندارد، نیازی به ارائه قانون جدید نیست و به‌روزرسانی و اجرای قوانین موجود در اولویت اول است و در صورت نیاز

روسطحی (باران) نیستند. [۱۸]. ، بروز گسترده سیل به دلیل از بین رفتن قابلیت جذب آب در لایه‌های زیرین، از بین رفتن دشت‌ها و مزارع کشاورزی در اثر سیل‌ها و تخریب دومینویی منابع آب و کشاورزی و زیرساخت اشاره کرد [۹].

از دیگر پیامدهای اقتصادی پدیده فرونشست، می‌توان به کاهش ارزش زمین و اموال، آسیب به ساختمان‌ها و ابنیه و افزایش هزینه نگهداری زیرساخت‌ها، از بین رفتن و خسارت به شریان‌های حیاتی و خطوط لوله‌های آب، گاز، برق، راه، ریل و کلیه زیرساخت‌ها اشاره کرد که به اختلال در فعالیت‌های اقتصادی و نابودی کسب و کارها منجر می‌شود [۱۰].

فرونشست زمین در ایران و جهان

برطبق گزارشات در چین خسارت فرونشست زمین، ۱۰۵ میلیارد دلار در سال برآورد شده که حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد آن خسارت‌های غیرمستقیم بوده است و بصورت خاص شانگهای در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ نیز دچار ۲ میلیارد دلار خسارت ناشی از فرونشست شد. در بانکوک هم بر اثر فرونشست خسارت‌های فراوانی به زیرساخت‌هایی مانند جاده‌ها، پیاده‌روها، زیرساخت‌های زیرزمینی و ساختمان‌های خصوصی، پایه پل‌ها و قطارهای شهری وارد شد [۱۱،۱۵].

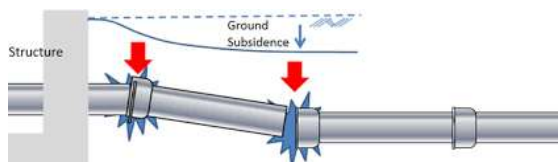
همچنین میزان خسارت ناشی از فرونشست در سال ۲۰۰۶ در هلند ۳،۵ میلیارد یورو برآورد شده است. در آمریکا نیز حدود ۴،۳ تا ۸،۷ میلیون نفر در نواحی مرزی و ساحلی تحت تأثیر خسارات فرونشست قرار دارند که در همین راستا، عملیات ویژه‌ای جهت مقابله و کنترل فرونشست در بیشتر ایالت‌های آن در حال اجراست [۱۶،۱۹].

در ایران نیز طبق گزارش‌های علمی و پژوهشی انجام‌شده، متاسفانه فرونشست با نرخ سالانه ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در سال رخ می‌دهد و هر پنج سال تقریباً زمین در ایران، یک متر فرونشست را تجربه می‌کند که پنج برابر میانگین جهانی است و بیش از ۳۵ درصد جمعیت کل کشور را در معرض خطر قرار داده است. بر اساس داده‌های درج شده در این گزارش‌ها، بدلیل اینکه مصارف آب در کشور، ۱۰ درصد بیشتر از منابع در اختیار است، برداشت از آب‌های زیرزمینی در ایران، ۱،۵ برابر حد مجاز شده است. بعنوان مثال، برطبق برنامه میزان برداشت از منابع آب برای تامین مصارف اصلی کشور، تا شهریور ماه ۱۴۰۲، باید معادل ۸۱،۵ میلیارد مترمکعب بوده باشد که سهم منابع آب زیرزمینی از این مقدار، ۳۵ میلیارد مترمکعب بوده است؛ اما در حال حاضر مصرف

و دسته دوم، بخش‌هایی از زیرساخت هستند (جدول ۱، ستون ۱) که مسئول بخش کنترل و هماهنگی فرایندهای دارای مواد شیمیایی پرخطر زیرساخت هستند و با آسیب و تخریب آنها، هماهنگی و سازگاری اجزای دارای مواد شیمیایی پرخطر (جدول ۱، ستون ۲)، از حیث فرایندی مختل شده و در نتیجه حادثه شیمیایی بروز می‌کند.

از اینرو پدیده فرونشست زمین در محوطه و اطراف زیرساخت‌های شیمیایی، می‌تواند با تخلیه و ریزش سطح و لایه‌های زیرین استندهای تجهیزات و اجزای زیرساخت‌های شیمیایی، به دو صورت عمیق و دفعی و یا تدریجی و نامحسوس باعث آسیب به اجزای زیرساخت شده و در نهایت منجر به بروز حوادث شیمیایی شود [۳۱، ۲۷].

همچنین خطوط لوله انتقال مواد شیمیایی پرخطر مانند گاز ترش، گاز طبیعی، نفت ترش و مواد و فرآورده‌های سریع‌الاشتعال و سمی مانند سولفید هیدروژن، کلر، آمونیاک و می‌تواند با ایجاد فرونشست لایه‌های زیرین زمین محوطه استقرار خط انتقال، تحت تاثیر کشش و گرانش، دچار شکستگی و پارگی شده و مواد شیمیایی درون آن به بیرون نشت می‌نماید که باعث انتشار و رهایش مواد سمی، آتش‌سوزی و یا انفجار می‌شود شکل [۲]. [۳۳، ۳۲].



شکل (۲). تاثیر فرونشست زمین بر شبکه لوله‌های انتقال

همانطور که می‌دانیم تنش و نیروهای مخرب نهفته در بلایای طبیعی مانند فرونشست، قابلیت جابجایی، شکستگی اجزا و اتصالات و تخریب هر سازه، تاسیسات و ابنیه‌ای از جمله مراکز و زیرساخت‌های شیمیایی را دارد. لذا با توجه به احتمال بروز پیامدهای ثانویه شیمیایی ناگوار ناشی از اینگونه حوادث طبیعی و بنابه استانداردهای ایمنی، محل احداث و استقرار این زیرساخت‌ها (فارغ از درجه اهمیت)، می‌بایست با بیشترین دقت، مطالعه و رعایت حداکثر فاصله از مناطق بروز این مخاطره طبیعی صورت گیرد [۳۳، ۳۲].

بنابراین انجام اقدامات ضروری مانند رعایت استانداردهای جانمایی و مکانیابی در تعیین محل احداث زیرساخت‌ها و نیز نظارت و ارزیابی مستمر و مداوم زیرساخت‌ها با استفاده از سیستم‌های تشخیصی ژئوفیزیکی مانند سامانه راداری زیرزمینی (GPR) جهت حسگری و شناسایی وضعیت فرونشست زمین که بتواند علامت‌های هشدار دهنده را ارائه دهد، برای جلوگیری از بروز چنین حوادثی ضروری است [۳۵، ۳۴].

آسیب‌شناسی و بررسی عدم موفقیت قوانین و طرح‌های قبلی جهت ارائه طرح جدید، ضرورت دارد [۲۰].

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل

فرونشست زمین و حوادث شیمیایی

عموم زیرساخت‌های شیمیایی کشور، بخاطر وسعت و نیازمندی‌های ذاتی در بخش طراحی، بر بستر دشت‌ها بنا شده‌اند. این در حالیست که برطبق نتایج پژوهشی در سال ۱۴۰۱، از مجموع ۶۰۹ دشت مورد مطالعه کشور، ۴۱۰ مورد از آنها در شرایط بحرانی فرونشست قرار دارند. همچنین برطبق این بررسی‌ها، بیشترین حجم اضافه برداشت در کشور مربوط به حوضه‌های آبریز فلات مرکزی و شرقی هستند که نزدیک به نیمی از جمعیت کشور را در خود جای داده‌اند و علاوه بر اینکه حدود ۷۵ درصد از کل اضافه برداشت کشور مربوط به آنهاست، عموم زیرساخت‌های شیمیایی پرخطر کشور هم بر آنها قرار دارد [۲۱].

از طرف دیگر، زیرساخت‌های شیمیایی از اجزاء و دارای‌های حساس و دارای مواد شیمیایی پرخطر برخوردار هستند (جدول ۱، ستون ۲) که تحت تنش فیزیکی و بروز تکانه اعم از فرونشست نامتقارن زمین، جابجایی، فروریزش، ضربه و شوک، می‌توانند دچار ترک، پارگی، شکستگی، ریزش و تخریب شوند و متناسب با نوع خطر زایی ماده شیمیایی مستقیماً باعث بروز حادثه به شکل انفجار، آتش‌سوزی و رهایش و انتشار سمیت شوند. همچنین بعضی دیگر از اجزای زیرساخت شیمیایی، تحت تنش فیزیکی و بروز تکانه، دچار آسیب و اختلال شده و بصورت غیرمستقیم بر فرایند حاکم بر اجزای دارای مواد شیمیایی پرخطر تاثیر گذاشته و باعث حادثه شیمیایی می‌شوند که این اجزاء خود بر دو دسته‌اند: دسته اول، قسمت‌های مندرج در زیر هستند که با آسیب و تخریب آنها، اجزای دارای مواد شیمیایی پرخطر (جدول ۱، ستون ۲)، از حیث کالبدی مورد آسیب قرار گرفته و حادثه شیمیایی بروز می‌کند [۲۶، ۲۲].

بستر و پایه‌های استقرار تاسیسات (استندهای بتنی و فلزی) یا اتصال انواع تجهیزات و اجزای زیرساخت به فونداسیون یا سازه دیوارهای بتنی یا آجری جانبی سوله، ابنیه و سازه تاسیسات سقف سوله، ابنیه و سازه تاسیسات تیرها، ستون‌ها، شع‌ها و دال‌های بتنی کف، پی و فونداسیون سوله، ابنیه و سازه تاسیسات سازه‌های بتنی یا فولادی روی سطحی یا مدفون

پی زیرساخت‌ها و ساختمان‌های در معرض فرونشست، اشاره کرد [۳۶].

در ادامه به تشریح برخی از این روش‌ها می‌پردازیم: مقاوم‌سازی خطوط لوله انتقال آب یا گاز: در این روش برای جلوگیری از جابه‌جایی افقی لوله‌های باریک، کافی است حداقل نصف بالای مسیر لوله‌ها پر نشود و اجازه حرکت کمی به لوله داده شود؛ اما در خصوص لوله‌های بزرگ، لازم است در چاله خط لوله، آب ریخته شود، زیرا آب باعث کاهش اصطکاک خاک و لوله خواهد شد.

انحراف مسیر آب: با اجرای این طرح، میزان استخراج آب‌های زیرزمینی در یک پهنه تغییر پیدا کرده و باعث کاهش نرخ فرونشست می‌شود. طرح انحراف آب از جنوب به شمال در پایتخت چین (پکن) بعنوان کلان‌شهری که با کمبود جدی منابع آب مواجه است، استفاده شد.

روش تزریق: در این روش، ابتدا چاله‌هایی با فواصل معین حفر کرده، سپس درون چاله‌ها را با دوغاب همراه با فشار و سرعت بالا پر می‌کنند. با این کار فضاهای خالی زیرسطحی پر شده و یک لایه سخت میانی به وجود آمده و ناحیه‌ای محافظت‌شده ایجاد می‌شود که باعث کاهش نرخ فرونشست و حفظ زیرساخت‌های منطقه می‌شود. این روش باعث افزایش ظرفیت باربری خاک، افزایش مقاومت بارگذاری جانبی شمع‌ها، جلوگیری از نشت آب و نشست در سازه می‌شود. البته این روش از نظر پژوهشگران پرهزینه بوده و در مواقع خاصی به کار می‌رود.

استفاده از شمع‌گذاری: از این روش بعنوان یکی از راه‌های کنترل فرونشست در خطوط راه‌آهن یاد می‌شود که قابلیت مشابه‌سازی برای مقاوم‌سازی خطوط لوله انتقال انرژی و مواد شیمیایی را دارد. در انگلستان از این روش برای بهسازی خطوط راه‌آهن، با استفاده از یک راه انحرافی به طول ۱,۸ کیلومتر بر روی شمع‌های بتنی بهره‌گیری شد.

بهسازی پی ساختمان‌ها و تاسیسات: براساس این روش، فرونشست مجاز هر منطقه بر مبنای بررسی محلی تعیین و برای ابعاد بیش از ۲۰ متر از درز جدایی استفاده می‌شود. همچنین در این روش پی منفرد بکار نمی‌رود و در مناطق دارای احتمال شکاف، از پی عمیق استفاده می‌شود. بطور کلی در متغیرهای ژئوتکنیکی، عدم قطعیت‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین متغیر نامطمئن در طراحی پی در مناطق گرفتار فرونشست، میزان مصرف آب زیرزمینی در یک منطقه و تغییرات تراز آب زیرزمینی در آینده است. به همین دلیل در این روش، طراحی پی سازه متناسب با میزان احتمال و خطر فرونشست توصیه شده است. لذا بدیهی است که مناطق گرفتار فرونشست به عنوان پهنه‌های ممنوعه توسعه و ساخت اعلام شوند و حتی‌الامکان در

جدول (۱). برخی اجزای زیرساخت‌های شیمیایی

ردیف	ستون ۱	ستون ۲
۱	سامانه کنترل توزیع برق	شیرها و پمپ‌ها
۲	اتاق کنترل زیرساخت	واحد سوخت مایع
۳	اتاق ابزار دقیق	شبکه لوله‌کشی سوخت مایع و گاز
۴	شناساگرهای ایمنی	خط لوله انتقال سوخت مایع و گاز
۵	تجهیزات ابزار دقیق فرایند	مخازن اتمسفریک حاوی مواد قابل اشتعال یا انفجار
۶	شبکه کابل‌های سامانه کنترل و ایمنی	مخازن اتمسفریک حاوی مواد سمی
۷	نیروگاه برق	مخازن تحت فشار حاوی مواد قابل اشتعال یا انفجار
۸	پست برق ارتباط با شبکه سراسری/ محلی	مخازن تحت فشار حاوی مواد سمی
۹	پست برق اصلی	مخازن تبریدی حاوی مواد قابل اشتعال یا انفجار
۱۰	پستهای برق فرعی	مخازن تبریدی حاوی مواد سمی
۱۱	شبکه کابل‌های توزیع برق	لوله‌کشی‌ها (Piping)
۱۲	واحد خنک‌کاری آب	شبکه لوله‌کشی واحدهای فرایند
۱۳	واحد تولید بخار	راکتورهای فرایندی
۱۴	ایستگاه تقلیل فشار گاز	خط لوله انتقال مواد خطرناک
۱۵	سرویس جانبی آب و بخار	خط لوله اکسیژن
۱۶	واحد برداشت و انتقال آب	خط لوله دی‌اکسید کربن
۱۷	خط لوله انتقال آب	واحد تولید اکسیژن
۱۸	واحد آب‌شیرین‌کن	واحد تولید دی‌اکسید کربن
۱۹	واحد تولید آب فرایندی	شبکه لوله‌کشی اکسیژن

راهکارهای مقابله

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، اصلی‌ترین راهکار مقابله با فرونشست زمین، مدیریت بهینه مصرف آب (جلوگیری از کشاورزی ناپایدار، حفر چاه‌های غیرمجاز، احداث افراطی سدها و...) و احیای سفره‌های آب زیرزمینی است اما برای حفظ شرایط ایمن در زیرساخت‌های موجود و در معرض فرونشست، می‌بایست از روش‌های مقاوم‌سازی (ایجاد تغییر در ساختار خاک یا طراحی زیرساخت‌ها)، برای جلوگیری از آسیب و خرابی زیرساخت‌ها در میان‌مدت استفاده کرد. این راهکار شامل مجموعه‌ای از روش‌های بهسازی زمین به وسیله تغییر در خصوصیات و جنس خاک است که با مخلوط کردن مصالح مناسب و... انجام می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تزریق، روش میکروپایل، روش نیلینگ، روش شمع‌گذاری، بهسازی با هدایت و تزریق آب‌های سطحی به داخل زمین، بهسازی به کمک ژئوگرید و ژئوتکستایل و بهسازی

جانمایی صحیح در انتخاب محل احداث زیرساختها، نسبت به اجرا و بکارگیری روشهای مصون سازی در برابر این تهدید طبیعی اقدام نمایند که شامل اموری مانند نظارت، رصد و پایش بر بستر تاسیسات و زیرساختهای شیمیایی با روشهای ژئوفیزیکی، بکارگیری روشهای ایمن، مقاوم و مستحکم ساز بستر تاسیسات و زیرساختها، توجه به ظرفیت‌های مردمی در زمینه مدیریت برداشت‌های بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی، استفاده از تجارب داخل و خارج از کشور در این حوزه، تمرکز بر مدیریت و یکپارچگی سازمان‌های دخیل و بکارگیری اقدام‌های بازدارنده موثر قانونی و همچنین توجه به کسب آمادگی‌های لازم در مواجهه با پیامدهای اینگونه حوادث می‌شود که از مهم‌ترین امور حوزه «مدیریت سوانح و حوادث ناشی از فرونشست» محسوب می‌شوند. بدیهی است که سرمایه‌گذاری و توجه به امر پیشگیری از وقوع بحران و نیز ایجاد آمادگی مقابله با آن، کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از مخاطرات و در نتیجه کاهش هزینه‌های مقابله و بازسازی قسمت‌های آسیب‌دیده را در پی خواهد داشت.

Refrence

1. M. M. Bradley, "NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne radionuclides," *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 96, pp.116-121, 2007.
2. S. F. Hansen, L. Carlsen, J. A. Tickner "Chemicals regulation and precaution: does REACH really incorporate the precautionary principle," *Environmental Science & Policy*, vol. 10, pp. 395-404, 2007.
3. M. Bagheri Gavkosh, S. M. Hosseini, B. Ataie-Ashtiani, Y. Sohani, H. Ebrahimian, F. Morovat, Sh. Ashrafi, "Land subsidence: A global challenge," *Science of The Total Environment*, vol. 778, pp. 146193, 2021.
4. N. Dua, F. Zhou, E. M. Pulver, D. M. Tilbury, L. P. Robert, A. K. Pradhan, X. J. Yang, "Examining the effects of emotional valence and arousal on takeover performance in conditionally automated driving," *Transportation Research Part C*, vol. 112, pp. 78-87, 2020.
5. <https://www.magiran.com/article/4473670>
6. <https://www.shahrekhabar.com/news/163334316016298>
7. <https://rc.majlis.ir/fa/news/show/1755391>
8. <https://www.irna.ir/news/82707481>
9. <https://www.entekhab.ir/fa/news/749234>
10. <https://fararu.com/fa/news/689425>
11. Y. Lixin, Zh. Fang, X. He, Ch. Shijie, W. Wei, Y. Qiang, "Land subsidence in Tianjin," *China Environ Earth Sci*, vol. 62 pp.1151-1161, 2011.
12. J. Cao, H. Gong, B. Chen, M. Shi, C. Zhou, K. Leie, H. Yu, Y. Sun, "Land Subsidence in Beijing's Sub-Administrative Center and Its Relationship with Urban

طرح‌های توسعه صنعتی ترجیحا از احداث سازه‌های صنعتی در مناطق با احتمال فرونشست زیاد خودداری شود.

تزریق مصالح مناسب به پایه سازه و تاسیسات: در این روش براساس بررسی‌های انجام شده، مراحل و میزان نشست پایه‌های سازه مشخص شده، سپس جهت کنترل میزان فرونشست در پایه‌های تاسیسات از طریق تزریق آب به آبخوان‌ها راهکارهایی ارائه می‌شود.

همچنین پیشنهاد می‌گردد، در مناطق نزدیک و مشکوک به فرونشست، از اجزا و سیستم‌های ساختمانی سبک، برای سبک‌سازی سازه‌ها استفاده شود و از احداث تاسیسات و ابنیه سنگین و بلندمرتبه با تعداد طبقات زیاد اجتناب شود. همچنین توصیه می‌شود، از بتن یا مصالح متخلخل در پیاده‌رو و خیابان‌های درون محوطه زیرساخت‌ها جهت هدایت آب‌های سطحی و هدایت نزولات جوی و جلوگیری از هدررفت آن استفاده شود.

در پایان این بخش یادآور می‌گردد، توجه ویژه به اقدام‌های پیشگیرانه و ایجاد آمادگی جهت مقابله با بحران فرونشست، از جمله مقاوم‌سازی و بهسازی بافت‌های آسیب‌پذیر زیرساخت، بکارگیری فناوری‌های نوین در ساخت‌وساز مانند تزریق رزین‌های مخصوص به پی سازه‌ها جهت استحکام‌بخشی و ارتقای تاب‌آوری بستر زیرساخت‌ها و غیره ضرورت بیش از پیش دارد.

نتیجه‌گیری

برطبق آمار، ایران همواره با بلایای مختلف طبیعی مانند سیل، زلزله، رانش و فرونشست زمین، طوفان و صاعقه مواجه بوده است، به طوری که تعداد تلفات انسانی این حوادث در کشور، در دو دهه اخیر، به طور میانگین سالانه حدود ۴۰۰۰ نفر بوده است. این در حالی است که این آمار، ناشی از حوادثی مانند نشست و انتشار آلودگی‌های شیمیایی، میکروبی، آتش‌سوزی‌ها و سایر حوادث انسان‌ساخت نمی‌باشد (۳۷) و اگر بخواهیم تلفات و خسارات وسیع احتمالی ناشی از این حوادث را که می‌تواند در پی بروز بلایای طبیعی مانند فرونشست زمین رخ می‌دهد، تصور کنیم، به آمارهای تکان‌دهنده‌ای خواهیم رسید.

از اینرو با توجه به اهمیت موضوع و روند رو به رشد پدیده فرونشست در کشور لازم است، نهادهای مسئول مدیریت ایمنی و پدافند غیرعامل کشور، در راستای اجرای برنامه هفتم توسعه کشور نسبت به نظارت بر رعایت و تبعیت از الگوی منطقی برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی، بعنوان مهمترین روش پیشگیری و مقابله با اینگونه حوادث و بحران‌ها اهتمام ورزند.

شایان ذکر است که در راستای اصول پدافند شیمیایی، زیرساخت‌های شیمیایی می‌بایست علاوه بر رعایت مکانیابی و

- and Rita,” *J. Loss. Prev. Process Ind*, vol. 22, pp. 59–65, 2009.
30. J. I. Chang, C. C. Lin (2006) “A study of storage tank accidents,” *J Loss Prev Process Ind* 19(1):51–59.
 31. G. Brosnan, J. Otis “Floods spare oil fields, not oil workers,” *Houston Chronicle*, 2013.
 32. C. Bouquegneau “Lightning Protection of Oil and Gas Industrial Plants,” IX International Symposium on Lightning Protection, pp. 26–30, 2013
 ۳۳. فکور، ارغوان، فرج‌پور، حیدری یزدی، عسل، سیده سارا، باقری، مرتضی، “تحلیل ریسک حمل و نقل لوله‌ای سوخت، ناشی از فرونشست زمین (مطالعه موردی: تقاطع اتوبان آیت الله سعیدی و بزرگراه آزادگان)”， مقاله ارائه شده در چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، ۱۳۹۵.
 34. M. Haley, M. Ahmed, E. Gebremichael, D. Murgulet, M. Starek, “Land Subsidence in the Texas Coastal Bend: Locations, Rates, Triggers and Consequences,” *Remote Sens.*, vol.14, pp. 192, 2022.
 35. N. A. Karaki, S. Fiaschi, D. Closson, “Sustainable development and anthropogenic induced geomorphic hazards in subsiding areas,” *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 41, pp. 2282-2295, 2016.
 36. <https://www.afzir.com/structural-strengthening/jet-grouting/>
 37. <https://www.shara.ir/view/37653>
 13. F. Gao, T. Zhao, X. Zhu, L. Zheng, W. Wang, X. Zheng, “Land Subsidence Characteristics and Numerical Analysis of the Impact on Major Infrastructure in Ningbo,” *China. Sustainability*, vol. 15, pp. 543; 2023.
 14. Zh. Fumeng, W. Gong, H. Tang, Sh. P. Pudasaini, “An integrated approach for risk assessment of land subsidence in Xi'an, China using optical and radar satellite images,” *EngineeringGeology*, vol. 314, pp. 106983, 2023.
 15. S. Higgins, I. Overeem, A. Tanaka, J. P. M. Syvitski. “Land subsidence at aquaculture facilities in the yellow river delta, China,” *Geophysical Research Letters*, vol. 40, pp. 3898-3902, 2013.
 16. “Land Subsidence in the United States, USGS Fact Sheet-165-00,” 2000.
 17. L. O. Ohenhen, M. Shirzaei, P. L. Barnard, “Slowly but surely: Exposure of communities and infrastructure to subsidence on the US east coast,” *PNAS Nexus*, vol. 3, pp. 1–14, 2024.
 18. Zh. Zhang, Sh. Zhang, Ch. Hu, Xi. Zhang, Sh. Yang, H. Yan, Zh. Zhang, “Hazard assessment model of ground subsidence coupling AHP, RS and GIS – A case study of Shanghai,” *Gondwana Research*, vol. 117, pp. 344-362, 2023.
 19. <https://www.magiran.com/article/4473670>
 20. <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1788917>
 21. <https://www.pishkhan.com/news/310744>
 22. S. C. Anenberg, C. Kalman, “Extreme Weather, Chemical Facilities and Vulnerable Communities in the U.S. Gulf Coast: A Disastrous Combination,” *GeoHealth*, vol. 3(4), pp. 122-126, 2019.
 23. S. H. Nam, T. G. Ku, Y. L. Park, J. H. Kwon, D. S. Huh, Y. D. Kim, “Experimental Study on the Detection of Hazardous Chemicals Using Alternative Sensors in the Water Environment,” *Toxics*, vol. 10, pp. 200. 2022.
 24. “EPA Should Ensure Regulated Facilities Consider Risks from Climate Change,” *Chemical Facilities and Climate Change*, vol. 22, pp. 104494, 2022.
 25. G. Golati, P. Teatini, M. Ferrunato, “Anthropogenic Land Subsidence,” *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, pp. 2446–2457, 2006.
 26. H. M. Wang, Y. Wang, X. Jiao, G. R. Qian, “Risk management of land subsidence in Shanghai,” *Desalination and Water Treatment*, vol. 52, pp. 4-6, 2014.
 27. A. M. Cruz, E. Krausmann, “Vulnerability of the oil and gas sector to climate change and extreme weather events,” vol. 121, pp. 41–53, 2013.
 28. A. M. Cruz, L. J. Steinberg, R. Luna, “Identifying hurricane-induced hazardous materials release scenarios in a petroleum refinery,” *Nat Haz Rev* vol. 2, pp. 203–210, 2001.
 29. A. M. Cruz, E. Krausmann, “Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina

Land subsidence, the neglected hazard in the safty layer of country`s chemical centers and infrastructure

Seyed Jamaluddin Gohari ^{1*}

¹PhD in organic chemistry, faculty and research institute of passive defense, Imam Hossein University, Tehran. Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: scientific

Received: 02 April 2024

Received in revised form: 12 September 2024

Accepted: 28 October 2024

Published: 22 October 2024*Correspondence:

gohari_129@yahoo.com

Keywords:

Chemical accidents,

land subsidence,

chemical infrastructures,

safety,

chemical defense

ABSTRACT

Chemical accidents in chemical centers and infrastructures can have a variety of origins, such as natural, process and man-made factors, and occur in layers of safety, security and military. Meanwhile, land subsidence can be one of the hazards and natural factors contributing to the occurrence of physical accidents with chemical consequences such as the release of toxic substances, fire, corrosion and explosion. In recent years in our country, the probability of occurrence of this natural hazard has grown increasingly due to the indiscriminate withdrawals of water from sources and underground tablecloths in the agricultural, industrial and urban sectors. Unfortunately, however, this threat has not yet been properly included in the list of threat assessment and immunization plan of country`s chemical and industrial infrastructures. Therefore, in accordance with the principles of safety and chemical defense, should be the correct location of the construction of infrastructure site, the observance of the rational pattern of water harvesting from underground tablecloths and the use of monitoring, prevention and fortification methods of chemical infrastructure against this natural threat on the agenda.