

## فن آوری برآورد خطر پذیری لرزه‌ای در صنایع نفت و چالش‌ها و راهکارهای کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

محسن غفوری آشتیانی

استاد و رئیس پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

کیارش ناصر اسدی

دانشجوی دکتری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

### چکیده مقاله

لزوم کاهش خطرپذیری<sup>1</sup> لرزه‌ای در شهرها و مناطق صنعتی ایجاب می‌کند که برنامه ریزی منظم متناسب با منابع و اولویت بندی مناسبی انجام گیرد. برنامه ریزی دقیق و علمی برای کاهش میزان خطرپذیری باید بر مبنای در دست داشتن اطلاعاتی درمورد میزان کل خسارات بوجود آمده در یک زلزله احتمالی و نیز روشی جهت برآورد میزان هزینه‌های کاهش خطرپذیری و موثر بودن آن در کاهش کل خطرپذیری باشد.

تکنولوژی برآورد خطرپذیری لرزه‌ای و کاربردهای آن در توسعه پایدار تأسیسات صنعتی بخصوص تأسیسات نفتی از طریق برآورد میزان خطرپذیری لرزه‌ای این گونه تأسیسات در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا معنی خطرپذیری لرزه‌ای و کاربردهای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای توضیح داده شده، سپس روشهای کلی برآورد خطرپذیری لرزه‌ای و چالشهای برآورد خطرپذیری لرزه‌ای برای صنایع نفتی و راهکار پیشنهادی برای آن اشاره شده است. در نهایت روش و نتایج مطالعه موردی انجام شده در مورد یکی از تأسیسات صنعتی کشور و چشم‌انداز مطالعات آینده ارائه خواهد شد.

---

<sup>1</sup> Risk

هر از چندی وقوع حوادث طبیعی و غیرطبیعی مختلفی به همراه خسارات و تلفات بسیار جوامع بشری را تهدید می‌کند. از جمله این حوادث طبیعی می‌توان به زلزله‌های مخرب سال ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو، ۱۹۲۶ توکیو، ۱۳۶۹ منجیل و ۱۳۸۳ بم اشاره کرد که در هریک تعداد کثیری از مردم جان خود را از دست دادند. تا کنون این حوادث بیشتر شهرها و مناطق شهری را تحت تأثیر قرار داده و به آنها آسیب رسانده است و زلزله‌های گذشته کمتر مناطق صنعتی و نفتی را تحت تأثیر قرار داده اند. با توجه به توسعه تمدن بشری و صنایع، تعداد کارخانه‌ها و تأسیسات صنعتی که تحت تأثیر زلزله‌ها قرار گرفته‌اند رو به افزایش است. از جمله این حوادث می‌توان به زلزله سال ۱۹۷۱ در سانفرناندو، زلزله ۱۹۸۴ نورثریج، ۱۹۸۵ کوبه و ۱۹۹۹ ترکیه اشاره کرد [۱]. در این حوادث تعداد زیادی از کارخانه‌ها و تأسیسات صنعتی و بخصوص تأسیسات نفتی آسیب وارد آمد.

آسیب‌پذیری تأسیسات نفتی و پتروشیمی و تأثیرات کشنده و مخرب آن در حوادث مختلفی مشخص شده است از جمله آنها می‌توان به حوادث سال ۱۹۸۴ بوپال هند و ۲۰۰۱ فرانسه و زلزله ۱۹۹۹ ترکیه اشاره کرد. در هریک از این حوادث، میزان خسارت مستقیم و غیرمستقیم ناشی از حادثه بسیار زیاد بود، بطوریکه محدوده فیزیکی بسیاری تحت تأثیر قرار گرفته و از نظر اقتصادی، تأثیرات زیادی در منطقه داشت.

امروزه با توجه به رشد تکنولوژی و توسعه علوم بشری، میزان حداقل خطرپذیری قابل قبول برای حوادث طبیعی و غیرطبیعی کاهش یافته است. بدین معنی که اگر در زلزله سال ۱۹۲۶ توکیو، متجاوز از ۱۰۰ هزار نفر فقط در اثر آتش‌سوزی بعد از زلزله جان خود را از دست دادند، این میزان دیگر قابل قبول نبوده و امروزه نتیجه اجرای برنامه کاهش خطرپذیری بعد از ۸۰ سال، تعداد کم تلفات انسانی در زلزله‌هایی که در ژاپن و آمریکا اتفاق می‌افتد می‌باشد. امروزه میزان خطرپذیری مالی ناشی از زلزله بسیار زیاد می‌باشد بطوریکه برآورد می‌شود که خسارات یک زلزله بزرگ در آمریکا حدود ۱۰۰ میلیارد دلار خسارت بار می‌آورد [۲]. تقریباً تمامی خطرپذیری مالی ناشی از زلزله بوسیله مکانیزم بیمه جبران خواهد شد. روند کلی مطالعات امروزی به سمت کاهش خطرپذیری مالی ناشی از زلزله حرکت می‌کند [۳].

باتوجه به توسعه سریع صنعتی کشور و افزایش تأسیسات نفتی و غیرنفتی و وابسته بودن بخش بزرگی از اقتصاد کشور به نفت و فرآورده‌های نفتی لزوم برنامه‌ریزی برای کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله در تأسیسات نفتی احساس می‌شود. خوشبختانه، بعد از زلزله سال ۱۹۹۹ ترکیه که در آن پالایشگاه توپراس از میت ترکیه دچار آسیبهای بسیاری شد و آتش‌سوزی‌های وسیعی در آن اتفاق افتاد، توجه همگان به آسیب‌پذیری تأسیسات نفتی و تأثیرات مخرب آن بر اقتصاد کشور جلب شد. وزارت نفت در حرکتی نوین، به این مسئله توجه خاص نموده و برآورد میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای تأسیسات تحت مدیریت خود را توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله انجام دادند.

در این مقاله سعی می‌شود که روش در حال توسعه در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در برآورد میزان خطرپذیری تأسیسات صنعتی بخصوص تأسیسات نفتی و پتروشیمی معرفی شود. توسعه این روش حاصل مطالعات و نتیجه فعالیت در پروژه‌های برآورد آسیب‌پذیری تأسیسات نفتی و پتروشیمی می‌باشد.

### **تعریف خطرپذیری**

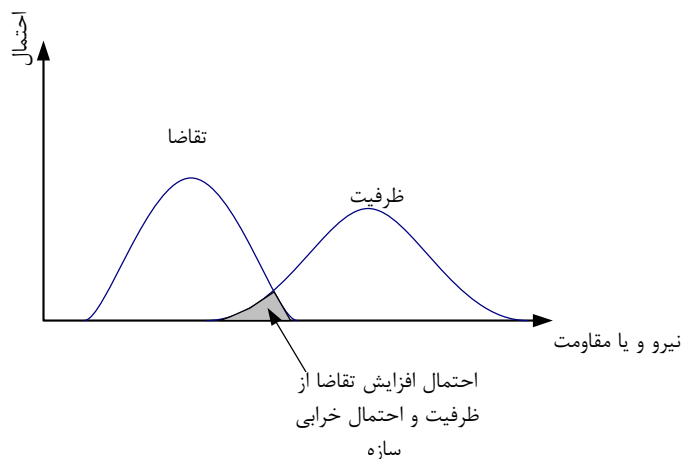
خطرپذیری به عبارتی ساده، احتمال افزایش میزان خسارات و تلفات یک پدیده و یا یک اتفاق از میزان مشخصی که به میزان قابل قبول نامیده می‌شود می‌باشد. بطور مثال هر شخص و یا هر سازمانی، باتوجه به میزان سرمایه و یا درآمد سالیانه، میزان مشخصی قابلیت تحمل خسارات و یا آسیب‌های ناشی از یک حادثه و یا یک تصمیم را دارد و احتمال افزایش میزان خسارات از میزان قابل قبول به خطرپذیری و یا ریسک تعریف می‌شود. برآورد خطرپذیری در واقع، برآورد میزان احتمال وقوع میزان خسارات و یا آسیب‌های مختلف می‌باشد که براساس این برآوردها می‌توان میزان احتمال خسارات و یا آسیب‌های مختلف را محاسبه کرده و میزان خطرپذیری هر میزان از آسیب را برآورد کرد.

### **لزوم برآورد و مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای**

بطورکلی، میزان خطرپذیری و یا ریسک صفر و یا اطمینان ۱۰۰ درصد در دنیای واقعی وجود ندارد [۴]. همیشه اتفاقاتی که رخ می‌دهد که خارج از برآوردها و پیش‌گیری‌های انجام شده بوده و باعث بوجود آمدن آسیب‌هایی شده و نیز تلفات و خساراتی وارد می‌کند. در واقع، عدم قطعیت‌های موجود در پدیده‌های طبیعی باعث می‌شود که همواره درصدی از خطرپذیری و یا ریسک در هر کاری وجود داشته

باشد. با قبول این واقعیت، بشر باید برای خطرهای و خساراتی را که پیش‌بینی آن را نکرده است و یا در مورد آن اطمینان ندارد تمهیداتی را بیاندیشد. این عمل به معنی مدیریت خطرپذیری است. در واقع، مدیریت خطرپذیری عبارتند از: پیدا کردن بهترین راهکار برای مدیریت و کاهش خطرپذیری ناشی از وقایع و خطرهای پیش‌بینی نشده.

منابع مختلفی عدم قطعیت‌های بسیار در ارتباط با رفتار سازه‌ها در مقابل زلزله وجود دارد. از جمله بزرگترین منابع عدم قطعیت خود پدیده زلزله می‌باشد. در واقع هیچ زلزله‌ای در تمام دنیا مانند زلزله دیگر نمی‌باشد و هر زلزله خصوصیات فیزیکی خاص خود را دارد. از طرف دیگر، رفتار ساختمانها و تأسیسات مختلف بنا به دلایل بسیار زیادی با یکدیگر متفاوت می‌باشد. میزان ظرفیت و تقاضای سازه‌ها بنا به دلایل بسیاری به صورت یک عدد ثابت نمی‌باشد، بلکه متغیر بوده و از یک تابع توزیع احتمال خاصی پیروی می‌کند [۵]. در شکل ۱ نمودار شماتیک تابع توزیع احتمال ظرفیت و تقاضا نمایش داده شده است. همانطوریکه ملاحظه می‌شود، در بعضی از نقاط، میزان تقاضا از ظرفیت سازه بیشتر شده است. یعنی در این نقاط احتمال خرابی سازه وجود دارد. سطح زیر نمودار که در شکل مشخص شده است، احتمال خرابی سازه می‌باشد [۵].



شکل ۱: نمودار احتمالی میزان ظرفیت و تقاضا

آئین‌نامه‌های طراحی ساختمانها و تأسیسات با توجه به این مطلب معمولاً یک درصدی از خطرپذیری را برای تأسیسات مختلف در نظر می‌گیرند. برای طراحی ساختمانها و تأسیسات با اهمیت کم معمولاً احتمال وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۱۰ درصد در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان در نظر گرفته می‌شود [۶] و برای تأسیسات مهم تر و حساستر معمولاً احتمال وقوع ۲ درصد در ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود. از

طرف دیگر، آئین‌نامه‌ها معمولاً از ظرفیت کامل سازه‌ها استفاده می‌کنند. این بدان معنی است که در طراحی ساختمانها، برای اقتصادی شدن طرح، در موقع زلزله‌های متوسط و بزرگ، ساختمان و تأسیسات آسبهای کم و یا متوسط ببینند (بجز موارد خیلی خاص مانند راکتور نیروگاههای هسته‌ای) [۷]. این بدین معنی است که به هر حال همیشه احتمال وقوع زلزله‌ای بزرگتر از آن چیزی که مدنظر طراح است وجود دارد و از طرف دیگر، در صورتیکه زلزله حد طراحی سازه نیز بوقوع بپیوندد، سازه‌ها و تأسیسات باتوجه به فلسفه و نحوه طراحی و اجرای آنها آسیب می‌بینند.

باتوجه به نکات فوق، صرف نظر از قدمت و نحوه طراحی و اجرای تأسیسات و ساختمانها، همیشه احتمال وقوع آسبهایی در اثر زلزله وجود دارد. حال مسئله این است که در یک زلزله احتمالی چه میزان خسارت به تأسیسات وارد می‌شود و آیا این میزان خسارت مورد قبول می‌باشد و یا باید به گونه‌ای کم شود.

### کاربرد برآورد خطرپذیری

برآورد خطرپذیری در مراحل مختلف برنامه‌ریزی برای کاهش خطرات ناشی از زلزله لازم می‌باشد. در مرحله اول که مرحله برآورد میزان خطرپذیری و یا ریسک ناشی از زلزله می‌باشد، برآورد میزان خطر و مشخص کردن میزان خطرپذیری موجود سازه‌ها و تأسیسات صنعتی لازم می‌باشد. بعد از برآورد میزان خطرپذیری، میزان خطرپذیری با میزان خطرپذیری قابل قبول تأسیسات مقایسه شده و براساس آن می‌توان لزوم اجرای برنامه کاهش خطر را توجیه کرد. در مرحله بعدی فعالیت که ارائه راهکارهای کاهش خطر و انتخاب بهترین روش کاهش خطر است، برآورد میزان خطرپذیری باتوجه به تغییرات پیشنهادی در هر روش و تأثیر آن بر میزان خطرپذیری و مقایسه هزینه‌های هر روش و انتخاب بهترین روش نیز بوسیله برآورد خطرپذیری امکان‌پذیر است. در مرحله بعدی که برنامه‌ریزی برای کاهش خطر است، می‌توان اولویت‌بندی برای برنامه کاهش خطر را براساس روشی که بهترین تأثیرگذاری بر کل مجموعه را دارد انتخاب نمود. در این مرحله نیز برآورد میزان خطرپذیری براساس برنامه پیشنهادی و نیز انتخاب مؤثرترین راه نیز بوسیله برآورد خطرپذیری امکان‌پذیر است.

از طرف دیگر یکی از مؤثرترین راهکارهای انتقال خطرپذیری مالی، استفاده از مکانیزم بیمه می‌باشد. شرکتهای بیمه و بیمه اتکایی امروزه براساس برآورد میزان خطرپذیری ناشی از عملکرد سرویس

تأسیسات و نیز خطرپذیری ناشی از حوادث غیرمترقبه‌ای مانند زلزله حق بیمه‌های تأسیسات را تعیین می‌کنند. برآورد میزان خطرپذیری براساس مطالعات خاص مربوطه انجام می‌شود و در صورتیکه این مطالعات انجام نشده باشد، شرکتهای بیمه معمولاً برای جلوگیری از وارد آمدن خسارات زیادی به خود، میزان خطرپذیری بسیار بالایی را برای کارخانجات و دیگر تأسیسات تخمین می‌زنند که این مسئله باعث افزایش هزینه نامعقول بیمه کردن تأسیسات از یک طرف و خارج شدن منابع مالی کشور برای انجام بیمه‌های اتکایی از طرف دیگر می‌شود. با انجام مطالعات برآورد میزان خطرپذیری می‌توان میزان دقیق خطرپذیری تأسیسات را برآورد کرده و میزان حق بیمه را متناسب با آن تعیین کرد.

نتیجه برآورد خطرپذیری معمولاً به دو صورت کلی نمایش داده می‌شود. (۱) پلان آسیب‌پذیری محدوده مورد ارزیابی (۲) منحنی احتمال وارد آمدن خسارات. هر کدام از شیوه‌های مختلف نمایش میزان خطرپذیری کاربرد خاصی دارد.

شیوه نمایش میزان آسیب‌پذیری در پلان به منظور برنامه‌ریزی برای در مواقع بحران و تأثیرات متقابل آسیب‌پذیری تأسیسات و تجهیزات بر همدیگر قابل استفاده می‌باشد و نمودار میزان احتمال آسیب‌پذیری‌های مختلف در موارد متعددی از جمله برآورد میزان خطرپذیری سالانه و مقایسه آن با میزان قابل قبول، برآورد میزان حق بیمه، تعیین بهترین و اقتصادی‌ترین شیوه کاهش خطرپذیری و اولویت‌بندی و تدوین برنامه‌های کوتاه، میان و بلند مدت کاهش خطرپذیری قابل استفاده می‌باشد.

### برآورد خطرپذیری در صنایع

روشهای متداولی در برآورد میزان خطرپذیری در صنایع وجود دارد که از جمله آن می‌توان به روشهای ارزیابی کلی مانند: روش چک‌لیست، تحلیل تقریبی و تحلیل اگر آنگاه و رشهای ارزیابی جزئی مانند: روش درجه‌بندی، HAZOP، تحلیل اپراتور و تجهیزات، قابلیت اطمینان افراد و نقص عملکرد، تحلیل تأثیر و تبعات، روش درخت خطا و درخت حادثه و تحلیل تأثیر و اتفاق اشاره کرد [۸].

روش برآورد خطرپذیری در صنایع بیشتر بر مبنای خطرهای و اشکالات سیستمی در حالت عملکرد عادی سیستم و یا در اثر رخ دادن خطایی در حین عملیات، اشکالی در طراحی سیستم، آسیب‌های ناشی از کارکرد زیاد دستگاهها و فرسودگی آنها و یا وقوع حوادثی مانند آتش‌سوزی می‌باشد. در واقع خطراتی که در برآورد خطرپذیری سیستم‌های صنعتی در نظر گرفته می‌شود به صورت وقایع تک می‌باشد

و تمامی امکانات و وسایل امدادی و نیروهای امدادی برای حادثه تک سازماندهی شده‌اند، در صورتیکه در حوادثی مانند زلزله، اولاً پایداری بعضی از تجهیزات از بین رفته و ثانیاً باعث بوجود آمدن حوادث متعددی در نقاط مختلف کارخانه می‌شود. این نکته به همراه برآورد احتمال آسیب فیزیکی وارده به هر تجهیز ناشی از زلزله، باعث می‌شود که روش برآورد میزان خطرپذیری ناشی از زلزله و دیگر حوادث طبیعی، با روش برآورد خطرپذیری‌های متداول متفاوت باشد.

### چالش‌های برآورد خطرپذیری در صنایع

برآورد خطرپذیری در صنایع ایران با چالش‌های بنیادی روبرو است. اولاً موضوع برآورد خطرپذیری به عنوان یک ابزار مدیریت و برنامه‌ریزی برای صاحبان و مدیران صنایع روشن نشده است. ثانیاً اطلاعات مورد نیاز برآورد میزان خطرپذیری ناشی از حوادث غیرطبیعی مانند زلزله اختیار محققین و صاحبان صنایع نمی‌باشد.

اطلاعات آماری خرابی تجهیزات صنعتی و نیز زمان بازیابی هریک یا مجموعه تأسیسات و هزینه‌های مربوطه به صورت اطلاعات طبقه‌بندی شده در اختیار شرکتهای بیمه اتکایی بین‌المللی می‌باشد که بر مبنای آن میزان خطرپذیری تأسیسات را بطور کلی برآورد می‌کنند. در واقع فن آوری برآورد خطرپذیری، مخصوصاً برای تأسیسات صنعتی در حال حاضر در اختیار شرکتهای بیمه صنعتی و بیمه‌های اتکایی بین‌المللی می‌باشد. بومی کردن فن آوری برآورد خطرپذیری صنایع یکی از اهداف این مطالعات می‌باشد.

### راهکارهای برآورد خطرپذیری لرزه‌ای در تأسیسات صنعتی

برآورد خطرپذیری در ساختمانها و تأسیسات شهری امروزه به صورت روشی متداول در سطح دنیا می‌باشد. برآورد خسارات در تأسیسات صنعتی باید دقیق تر از ساختمان های مسکونی برآورد شده. از طرف دیگر، برآورد خطرپذیری تأسیسات صنعتی باید از دو منظر کلی برآورد شود: اول خسارات مالی مستقیم وارد به تأسیسات و دوم خسارات غیرمستقیم. خسارات مستقیم خساراتی است که ناشی از آسیبهای فیزیکی به تجهیزات و تأسیسات وارد می‌شود. خسارات ثانویه به خساراتی گفته می‌شود که در اثر عدم تولید و عدم‌النتف ناشی از آن و یا از دست دادن بازارهای جهانی متوجه واحد تولیدی می‌شود. از طرف دیگر وارد آمدن آسیب به تأسیسات صنعتی مانند تأسیسات نفتی که جنبه زیربنایی برای کشور دارد باعث

بوجود آمدن خسارات زیادی به کشور می‌شود. این خسارات شامل خسارات مستقیم ناشی از عدم عملکرد تأسیسات زیربنایی و خسارات وارد بر صنایع پائین دستی صنایع اصلی از طرف دیگر می‌باشد.

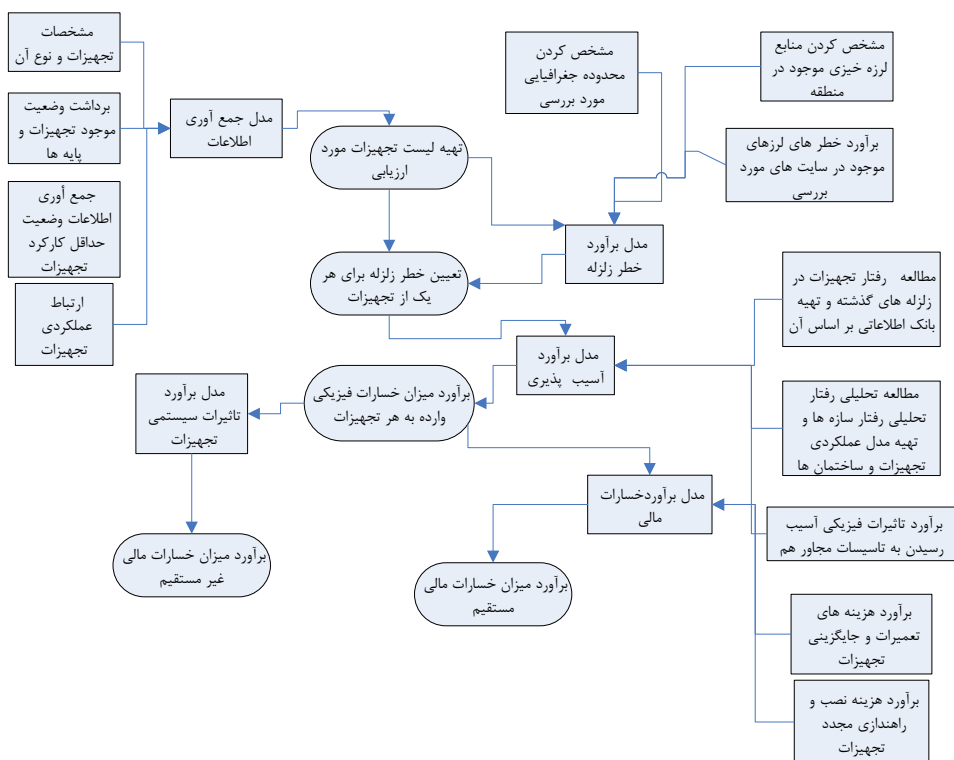
برآورد خسارات غیرمستقیم ناشی از زلزله برای یک تأسیسات صنعتی بسیار دشوار بوده و برآورد کلیه ابعاد خسارات وارده بر آن نیازمند اطلاعات بسیار زیادی از جنبه‌های مختلف می‌باشد ولی یکی از عواملی که می‌توان به عنوان شاخصی از خسارات غیرمستقیم ناشی از زلزله برآورد شود، میزان زمان توقف تولید می‌باشد. بوسیله برآورد زمان توقف می‌توان برآورد میزان عدم تولید و نیز میزان هزینه‌های ناشی از آن داشت. مطالعات متفاوتی در مورد نحوه برآورد زمان توقف تولید کارخانه انجام شده است ولی بطور عمومی مطالعات انجام شده بمنظور برآورد زمان توقف تولید تأسیسات صنعتی در مراحل اولیه توسعه خود می‌باشد.

براساس روش در حال توسعه توسط مؤلفان، میزان زمان توقف تولید تأسیسات نفتی باتوجه به نوع ظرفیت آنها و نوع و میزان تجهیزات آسیب دیده قابل برآورد می‌باشد. در این روش باتوجه به زمان بازیابی هر تجهیز و تأثیر آن در مجموع تولید سیستم، زمان بازیابی تجهیزات برآورد می‌شود. در شکل ۲ نمودار کلی روش برآورد خطرپذیری در تأسیسات صنعتی با تأکید بر برآورد خسارات غیرمستقیم ارائه شده است.

### مطالعه موردی

در این قسمت خلاصه‌ای از مطالعه موردی که در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری تأسیسات یکی از پالایشگاه‌های کشور انجام شده است ارائه می‌شود. طراحی و ساخت پالایشگاه در سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ میلادی انجام شده است و طراح آن یکی از شرکت‌های امریکایی بوده است. براساس مدارک موجود در آرشیو پالایشگاه، طراحی تأسیسات پالایشگاه بر اساس آئین‌نامه‌های زمان خود انجام شده است. لازم به ذکر است که آئین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها در مقابل زلزله، در ۳۰ سال گذشته به میزان بسیار زیادی چه از نظر سطح تراز نیروی زلزله و چه از نظر جزئیات مورد لزوم برای طراحی و اجرا تغییر پیدا کرده‌اند.





شکل ۲: نمودار کلی برآورد خطرپذیری در تأسیسات صنعتی

در این مطالعه، کلیه تجهیزات مکانیکی و لوله‌های موجود در پالایشگاه به همراه نگهدارنده لوله‌ها و تجهیزات از نظر میزان آسیب‌پذیری در مقابل زلزله مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه، ابتدا کلیه تجهیزات و لوله‌های موجود در پالایشگاه شناسایی شده و وضعیت موجود تجهیزات مورد معاینه عینی قرار گرفت و اطلاعات آن در بانک اطلاعاتی جمع‌آوری شد. سپس بعد از طبقه‌بندی و تیپ‌بندی تجهیزات و لوله‌ها، تجهیزات منتخبی جهت مطالعه موردی انتخاب و تحلیل‌های مورد نیاز انجام شد. در نهایت میزان آسیب‌پذیری تجهیزات و لوله‌ها به همراه اولویت‌بندی مقاوم‌سازی آنها ارائه شد.

بیشترین اشکال موجود در تأسیسات مورد بررسی، بوجود آمدن اشکالات متعددی در حین بهره‌برداری از تأسیسات و تراز پایین طراحی اولیه سازه اولیه و رعایت نکردن جزئیات مورد لزوم طراحی لرزه‌ای در آیین‌نامه‌های کنونی بوده است. تمامی این عوامل باعث شده بود که بسیاری از تجهیزات و سازه‌ها آسیب‌پذیر بوده و نیازمند مقاوم‌سازی باشند.

## نتیجه‌گیری و چشم‌انداز مطالعات آینده

ارزیابی مستمر خطرپذیری تأسیسات و تجهیزات یک سازمان و یا یک کارخانه و مدیریت خطرپذیری تضمین کننده رشد پایدار و رقابتی سازمان می‌باشد. در جهان امروز که رقابت جهانی در بازارهای مختلف بسیار شدید بوده و هزینه‌های غیرقابل پیش‌بینی و خطرپذیری‌های نامشخص در توان رقابتی سازمانها مؤثر می‌باشد؛ ارزیابی خطرپذیری به منظور بهره‌برداری تأسیسات صنعتی به عنوان یک فعالیت شناخته شده در هر واحد صنعتی انجام می‌شود ولی برآورد خطرپذیری به منظور برآورد خطرپذیری ناشی از حوادث غیرمترقبه مانند زلزله معمول نمی‌باشد. با توجه به اینکه تقریباً تمام کشور ما زلزله خیز می‌باشد و صنعت نفت به عنوان یکی از صنایع مهم در کشور به شمار می‌آید، لزوم برآورد و مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای در آنها احساس می‌شود.

خطرپذیری در سطوح مختلف قابل برآورد می‌باشد. خطرپذیری را می‌توان برای یک واحد از یک کارخانه و یا یک کارخانه و یا مجموعه تأسیسات موجود در یک منطقه و یا کشور بررسی کرد. بطور مثال می‌توان میزان خسارات مالی وارده به کلیه تجهیزات نفتی موجود در استان تهران و یا منطقه شمال کشور و یا کل کشور را در یک زلزله احتمالی با دوره بازگشت مختلف برآورد کرد. در مطالعات آینده برآورد خطرپذیری مالی و زمان توقف برای یک و یا مجموعه‌ای از تأسیسات نفتی مورد توجه قرار خواهد گرفت.

## مراجع

- 1- EERI committee, "Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 18, 1999, Reconnaissance Report", J. of Earthquake Spectra 16, Supplement A (December 2000) -Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 18, 1999
  - 2- Earthquake Engineering Research Institute (EERI) web site, [www.eeri.org](http://www.eeri.org)
  - 3- World bank web site: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)
  - 4- EERI, "Financial management of earthquake risk", 2003, EERI white paper
  - 5- Ramakumar R.,(1993)," Engineering Reliability: Fundamentals and Applications", Prentice-hall international Inc.
  - 6- Uniform Building Code Book (UBC),(1997), International Code Council
  - 7- ASCE Guidelines for Seismic Evaluation and Design of Petrochemical Facilities,( 1997), American Society of Civil Engineers
- ۸- کیارش ناصر اسدی و محسن غفوری آشتیانی، مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، در دست انتشار.