فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ ششم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۳۹۵
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol.6, No. 2 (Summer 2016)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۰

ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای و مدیریت تأسیسات، شریانهای حیاتی و زیرساخت‌ها

کایریازیس دی پیتی لاکیس[۱]، کالیوپی جی کاکدری[۲]
مترجمین: اکبر صادق بیکی[۳]،مرجان محمدعلی[۴]،سیدامیرفتاحیان[۵]
۱. استاد گروه مهندسی عمران،دانشگاه ارسطو تسالونیکی، یونان kpitilak@civil.auth.gr
۲. مهندس عمران، کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ارسطو تسالونیکی، یونان
۳. مدیر ستاد بحران منطقه ۸ شهرداری تهران، کارشناسی ارشد HSE،دانشگاه آزاد اسلامی،واحد علوم تحقیقات، a.sadeghbeyki@gmail.com
۴. کارشناس پژوهش ستاد بحران منطقه ۸ شهرداری تهران، کارشناس مترجمی زبان انگلیسی،دانشگاه آزاد اسلامی،واحد رودهن، khabbaz56@yahoo.com
۵. قائم مقام شهردار منطقه ۸ شهرداری تهران، دانشجوی دکتری شهرسازی دانشگاه عدالت ، تهران ، ایران amir.fatahyan@gmail.com

چکیده

ارزیابی آسیب پذیری و مدیریت خطر پذیری لرزه ای با استفاده از روش‌های پیشرفته از مهمترین راهکارها برای کاهش خطرپذیری ناشی از لرزه در مناطق شهری است. توسعه یک روش ابزاری یکپارچه و پیشرفته برای مدیریت خطرپذیری لرزه ای مؤثر در تأسیسات پیچیده و ترکیبی و سیستم‌های شریان اصلی(آب، برق، ....) برای توسعه طرح‌های پیشگیری مؤثر و مفید ضروری است. بدین منظور، اخیراً در یونان روش مدولار (modular) در چاپ طرح‌های پژوهشی اروپایی و ملی برای ارزیابی آسیب پذیری و مدیریت خطر پذیری لرزه ای تأسیسات، شریان‌های اصلی آب وبرق و زیرساخت‌ها گسترش یافته است. در این جا یک توصیف کلی از روش به همراه چندین مثال از برنامه‌های کاربردی ارائه شده است. عوامل کلیدی این روش عبارتند از : دارایی، نوع آن، آسیب پذیری ویژگی‌های خاص و اهمیت (ارزش جهانی) عناصر در معرض خطر، توسعه سناریوهای لرزه (خطر لرزه ای) و خصوصیات ژئوتکنیکی به همراه تجزیه و تحلیل جزئیات پاسخ سایت براساس برآورد خسارات و اولویت‌های اختصاص داده شده، سیاست‌های مرمت و استراتژی‌های کاهش خطرات را می توان تعریف کرد. علاوه بر این پیشرفت‌های جدید و جنبه‌های مهم مراحل پیشگیری خطر پذیری بیشتر مورد تجزیه و تحلیل و مد نظر قرار گرفته است در حالیکه همزمان در اروپا تلاش‌های تحقیقاتی مرتبط به طور مختصر خلاصه شده است. این پیشرفت‌های جدید عمدتاً شامل آسیب پذیری سیستم‌های فیزیکی و اجتماعی – اقتصادی و تجزیه و تحلیل خطر پذیری، تلفیق فرآیندهای تصمیم گیری درمطالعات بازسازی لرزه ای و استفاده از برآورد خسات زمان واقعی برای کاهش تأثیر بالقوه در جوامع شهری براساس اقدامات بموقع و درست پس از یک زلزله خطرناک است. در نهایت دستورالعمل‌های خاص برای مدیریت و کاهش خطر پذیری لرزه ای تأسیسات و زیر ساخت‌ها در محیط‌های شهری فرآهم شده است.

واژه‌های کلیدی: خطر پذیری لرزه ای، پیشگیری، آسیب پذیری، سناریوهای لرزه ای، تأسیسات، شریان‌های حیاتی، زیر ساخت ها

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** کایریازیس دی پیتی لاکیس؛ کالیوپی جی کاکدری؛ مترجم :صادق بیگی، اکبر؛ محمدعلی، مرجان ؛ فتاحیان، سیدامیر (تابستان۱۳۹۵)، ارزیابی خطرپذیری لرزه ای و مدیریت تأسیسات، شریانهای حیاتی و زیرساختها. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، *۶* (۲)، ۱۷۵-۱۹۷.

Seismic risk assessment and management of lifelines,Utilities and infrastructures

Kyriazis d. Pitilakis[1] , kalliopi g. Kakderi[2]
Translated by :Akbar Sadeghbeyki[3], Marjan Mohammad Ali[4] & Seyed Amir Fatahyan[5]
1. Professor, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, email: kpitilak@civil.auth.gr
2. Civil Engineer, MSc, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
3. Crisis Staff Director of Tehran Municipality (district 8), AS of HSE-ME, Islamic Azad University, Science & research Branch, a.sadeghbeyki@gmail.com
4. Researcher of the Crisis Staff of Tehran Municipality (district 8), English Translation, BA, Islamic Azad University, Roodehen Branch , khabbaz56@yahoo.com
5. Deputy Mayor of Tehran Municipality (district 8), PhD student in Urban University of Edalat , Tehran , Iran , amir.fatahyan@gmail.com

ABSTRACT

Vulnerability assessment and seismic risk management using advanced methodologies are of major importance for the reduction of seismic risk in urban areas. The development of an advanced and integrated methodological tool for the efficient seismic risk management of complex lifeline and utility systems is necessary for the establishment of efficient and effective mitigation schemes. To this end, a modular methodology has been recently developed in Greece in the framework of national and EU research projects for the vulnerability assessment and seismic risk management of lifelines, utilities and infrastructures. The general description of the methodology is provided, along with several representative example applications. Key factors of the methodology are the inventory, the typology, the fragility, the specific characteristics and the importance (global value) of the elements at risk, the development of seismic scenarios (seismic hazard) and the geotechnical characterization, with the detailed site response analysis. Based on estimated losses and assigned priorities, restoration policies and mitigation strategies could be defined. Furthermore, new developments and important aspects of the risk mitigation procedure are further analyzed and commented on, while the ongoing research efforts in Europe are shortly summarized. These new developments include mainly the systemic physical and socio-economic vulnerability and risk analysis, the incorporation of decision-making processes in the seismic rehabilitation studies and the use of real-time damage estimation for the reduction of potential impact on urban societies on the basis of timely and correct actions after a disastrous earthquake. Finally, specific guidelines are provided for the management and reduction of seismic risk of lifelines and infrastructures in urban environments.

Type of paper: research
Keywords: seismic risk, mitigation, vulnerability, seismic scenarios, lifelines, utilities, infrastructures

▶**Citation (APA 6th ed.):** Kyriazis D. Pitilakis, Kalliopi G. Kakderi. (2016, Summer). Seismic risk assessment and management of lifelines,Utilities and infrastructures. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 6*(2), 175-197.

مقدمه

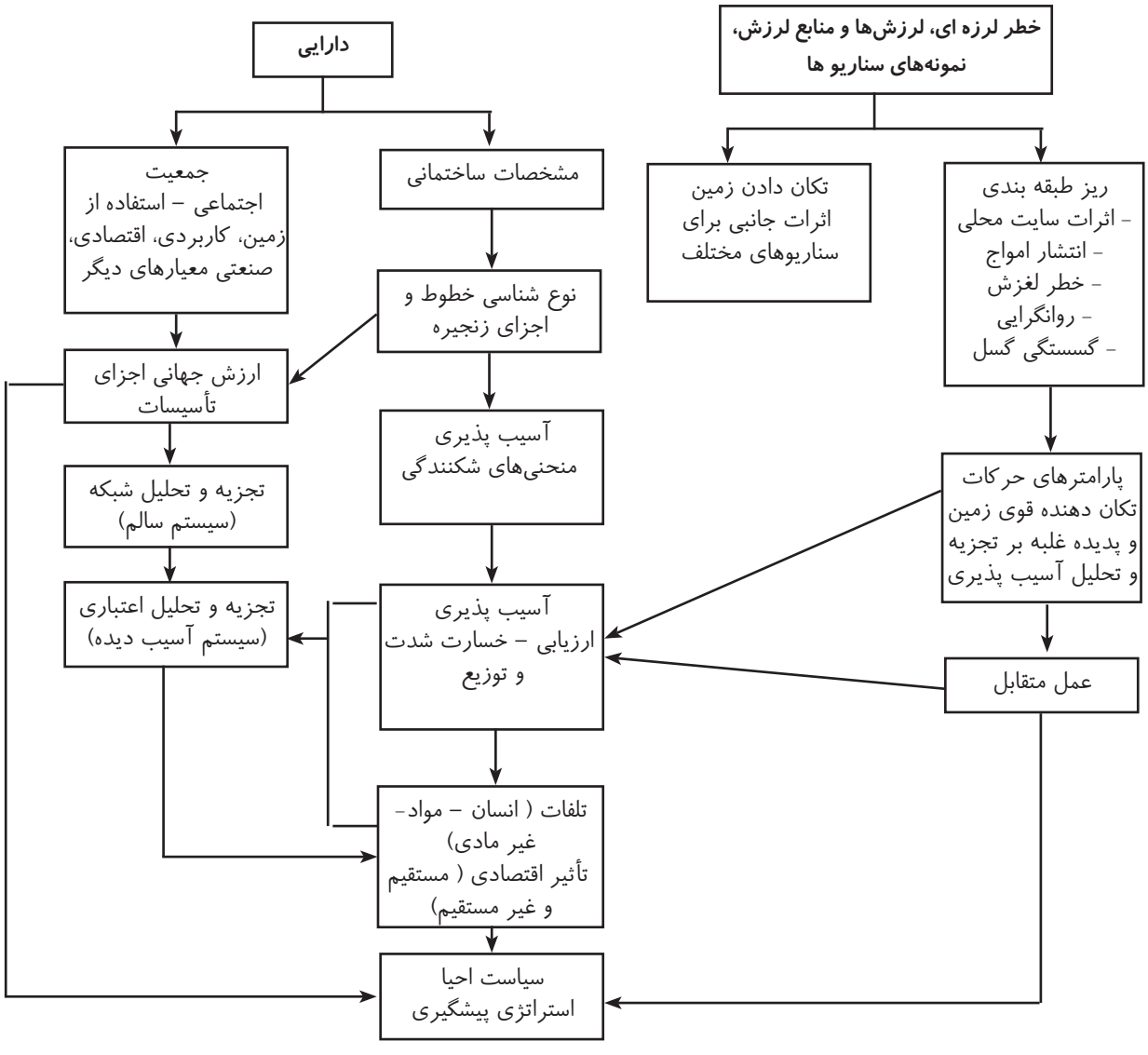
در بیست سال گذشته در سراسر جهان زمین لرزه‌های مخرب عظیم در مناطق شهری بزرگ رخ داده است که محققان را به انجام مطالعات در مقیاس بزرگ بر روی ضرر و زیان‌های قابل پیش بینی در اثر زلزله‌های بزرگ اصلی وادار نموده است و مطالعاتی از این قبیل، اهداف اصلی استراتژی‌های طرح پیشگیری و برنامه ریزی اورژانس و بهبود اقدامات را مد نظر قرار می دهد. بیشتر چهارچوب‌های روش شناختی موجود در ایالات متحده آمریکا گسترش یافته است. هزوس (HAZUS) یک روش ارزیابی خطر پذیری برای تجزیه و تحلیل پتانسیل‌های ضرر و زیان حاصل از سیل، طوفان، زمین لرزه توزیع شده توسط FEMA است. هزوس (HAZUS) دانش علمی و مهندسی را با تکنولوژی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS) جمع می کند تا خسارت مربوط به خطر را قبل و پس از اتفاق فاجعه بار برآورد کند. اخیراً تأثیر زمین لرزه‌ها در آمریکای مرکزی موضوع " پروژه طراحی پاسخگویی به زلزله فاجعه بار منطقه لرزه خیز نیو مادرید" قرار گرفته و توسط FEMA بودجه گذاری و با همکاری مرکز زمین لرزه آمریکای میانه دنبال شده است. این پروژه شامل تحقیقات چند مرحله ای از سناریوهای زلزله‌های ممکن، ارزیابی اثرات زمین لرزه تحلیلی و برآورد اثرات اجتماعی است که به دولتهای فدرال، ایالت و محلی کمک خواهد کرد تا نقشه پاسخ هماهنگ برای آن توسعه دهد. در آمریکای لاتین ابزار بسیار جالبی از فرصت‌های مشابه وجود دارد. در اروپا، از میان تلاش‌های انجام شده دیگر، ما یک نرم افزار توسعه یافته توسط گروه مهندسی زلزله از دانشگاه بوگازیسی، رصد خانه کندیلی و مؤسسه تحقیقات زلزله کوری را بیان کردیم که از روش ارزیابی خسارت برای تجزیه و تحلیل برآورد خسارت بالقوه زمین لرزه‌ها (تجزیه و تحلیل برآورد آسیب ساختمان، خسارات و ضررهای اقتصادی مسقیم و تلفات با آسیب‌های مرتبط به آن) انجام شده است. مثال دیگر بسته نرم افزاری (LNECLOSS) است که توسط لابراتور (NACIONAL DE ENGENHCRIA) مدنی در لیسبون پرتغال ارائه شده است. اگرچه کاربرد مستقیم این یافته‌ها در مناطق متفاوتند از آن چیزی که آنها توسعه داده اند اما شفاف نیست و مستلزم تنظیمات مجدد می باشد. علاوه بر این، در حالیکه به مسائل اقتصادی، اجتماعی از طریق یک راه بسیار ساده اشاره شده، رفتار سیتماتیک یک شبکه پیچیده از تأسیسات و زیر ساخت‌ها هنوز ناشناخته است.

اخیراً در یونان روش کلی قیاسی برای ارزیابی آسیب پذیری و مدیریت خطر پذیری لرزه ای تأسیسات و زیر ساخت‌ها (آب آشامیدنی، فاضلاب، گاز، برق، مخابرات، آتش نشانی، جاده، راه آهن، فرودگاه، بندر، تأسیسات حیاتی) را در چارچوب طرح‌های پژوهشی ملی و اتحادیه اروپا توسعه داده شده است. یک توصیف کلی از ارزش به همراه برنامه‌های تحلیلی کاربردی در زیر آورده شده است در حالیکه برخی از جنبه‌های مهم روش کاهش خطرات مورد بحث قرار گرفته که رهنمودهای خاصی را برای مدیریت و کاهش خطر پذیری لرزه ای تأسیسات، شریان‌های حیاتی و زیر ساخت‌ها در محیط‌های شهری ارائه کرده است.

روش

چار چوب کلی روش در شکل ۱ نشان داده شده است.و آسیب پذیری ساختمان‌ها و سیستم‌های تأسیسات در شهر برای سناریوهای مختلف لرزه ای تعیین شده است. برآورد ضرر و زیان شامل ضررهای مستقیم و غیر مستقیم است که به طبقه بندی دارایی و نوع عناصر در معرض خطر، مدل‌های آسیب پذیر و تعامل‌های بین اجزای تأسیسات بستگی دارد. دارایی یک گام ضروری برای شناسایی، مشخص نمودن و طبقه بندی انواع اجزای تأسیسات بر طبق نوع خاص و هندسی شان و ویژگی‌های ساختاری و عملکردی است. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) جایگاه دقیق و بی نقص را برای هر جستجوگر ارائه و نمایان می کند. در این زمینه آسیب زمین لرزه بطور مستقیم به مشخصات ساختاری عناصر تأسیسات مرتبط است. نوع شناسی توصیف گر اصلی یک سیستم است که از فهرست هریک از عوامل خطر پذیری سطح حرکت لرزه ای ورودی براساس تجزیه و تحلیل پاسخ زمین مورد بررسی برروی احتمالات مختلفی که بیشتر واقع می شود تعریف شده است. بنابراین تجزیه و تحلیل خطر براساس سناریوهای لرزه ای و جزئیات نقشه برداری پاسخ زمین است. ارزیابی آسیب پذیری به طور عمده با میزان خسارت هریک از اجزاء ریسک و با استفاده از اصول آسیب پذیری مناسب سر و کار دارد. با توجه به توزیع فضایی ویژگی‌های حرکت زمین، سناریوهای تخریب ساختمان

ها، سیستم‌های حمل و نقل و شریان‌های حیاتی، امکانات انتقادی و ساختمان‌های استراتژیک با استفاده از داده‌های دارایی و روابط آسیب پذیر مناسب ایجاد می شود. علاوه بر این مدل سلسله ای به منظور بررسی و تعیین کمیت اهمیت نسبی عناصر مختلف در خطر پذیری و سیستم‌ها ارائه شده است و همچنین مناطق شهرستان و بخش با معیارهای مختلف از جمله روابط عملکردی و فعالیت‌های شهری و ارتباطات تأسیسات با اطراف شهرها یا فضای روستایی در نظر گرفته می شود. (به دیدگاه ارزش جهانی در ریسک یو ای ۲۰۰۴-۲۰۰۱ نگاه کنید) ارزیابی "ارزش جهانی" (فیزیکی و غیر فیزیکی) به منظور طبقه بندی اهمیت هریک از عناصر تأسیسات در دوره‌های زمانی مختلف (عادی، بحرانی، بازسازی) و اولویت بندی مؤثرترین راه‌های پیش زلزله، مقاوم سازی اقدامت و تلاش‌های بازسازی پس از زلزله انجام شده است. براساس سلسله مراتب اهمیت اجزای تأسیسات و همچنین روش‌های موجود، نیروی انسانی، مواد و تجهیزات برآورد فرآیند بازسازی انجام می شود. یک گام مهم برای اجرای" راهبرد پیشگیری مؤثر" شامل قابلیت تجزیه و تحلیل ساده و پیشرفته سیستم آسیب دیده و سالم به منظور تخمین سطح خدمات باقیمانده آن است که به شدت با عملکرد جامعه بستگی دارد. بنابراین یک فرآیند مدیریت بحران دقیق پیشگیری، آمادگی، پاسخ (واکنش) و فعالیت‌های بازتوانی را می تواند در برگیرد.



شکل ۱. رویکرد پیشگیری و کاهش خطر لرزه ای برای شریان‌های حیاتی و زیر ساخت ها

سناریوهای لرزه ای – تجزیه و تحلیل سایت ویژه پاسخ زمین

خطر لرزه ای برای تجزیه و تحلیل آسیب پذیری و ارزیابی خطر پذیری تأسیسات شریان‌های حیاتی و زیر ساخت‌ها باید با توجه به نیازهای دقیق برای اجزا و شبکه‌های تأسیسات خاص همانند مناسب ترین مدل‌های استفاده شده برای توصیف ارتباط میان آسیب پذیری و شکنندگی مشخص شود. علاوه بر این، براساس محتوای فضایی سیستم‌های تأسیساتی تنوع فضایی ازحرکت زمین باتوجه به موقعیت‌های خاک محلی، از اهمیت سرشاری برخوردار است. (پیتی لاکیز ات آل ۲۰۰۵) تأثیرات سایت نیز در این امر نقش اساسی بازی می کند و با توجه به متغیرهای فضایی و نوع دارایی‌های مختلف، متغیرهای فضایی آنها ممکن است کاملاً از نظر شدت و متغیرهای فضایی خسارات و زیان‌ها تغییر کند. استفاده ساده از کد لرزه ای جدول طبقه بندی خاک به همراه مقدار تشدید طراحی کاملاً برای تجزیه و تحلیل آسیب پذیری و ارزیابی خطر پذیری " فن آوری برتر" نامناسب است. بنابراین اطلاعات زمین شناسی ژئوتکنیک – سطحی خاص مورد نیاز است و مطالعات کافی باید صورت گیرد تا پارامترهای ضروری حرکت زمین در قالب سناریوهای لرزه ای با دوره‌های بازگشت میانی متفاوت برآورد شود. این مطالعات به صورت قراردادی به "مطالعات زیر طبقه بندی" مرسوم است. علاوه بر این، مطالعات تجزیه و تحلیل خطر پذیری لرزه ای پیشرفته، به نقشه‌هایی با توزیع فضایی از پارامترهای حرکت زمین نیاز دارد.

در ادامه دو مثال از جزئیات ریز طبقه بندی و تجزیه و تحلیل‌های پاسخ زمین آورده شده است که در شهرهای تسالونیکی (یونان) و دوز (ترکیه) در چارچوب‌های پروژه‌های پژوهشی ملی و اروپایی (ریسک یو ای ۲۰۰۴-۲۰۰۱ ؛ اس آر ام لایف ۲۰۰۷-۲۰۰۳ ؛ مرپ ۲۰۰۵-۲۰۰۲ ؛ اس آر ام-دی جی سی ۲۰۰۸-۲۰۰۶) با هدف تعریف پارامترهای ورودی حرکت زمین برای ارزیابی آسیب پذیری تأسیسات و زیرساخت‌ها در این دو شهر انجام شده است.

مطالعه ریز طبقه بندی تسالونیکی

در تسالونیکی مطالعه جزئیات ریز طبقه بندی برای ۳ دوره بازگشت میانی متفاوت ۱۰۰۰ و ۴۷۵ و ۱۰۰=TM سال انجام شده است. این مطالعه براساس تجزیه و تحلیل خطر لرزه ای احتمالی می باشد که با در نظر گرفتن لرزه خیزی، مناطق لرزه خیز مرتبط و گسل‌های لرزه در مساحت‌های بزرگتر از داده اخیر استفاده کرده است. (ریسک یو ای ۲۰۰۴-۲۰۰۱؛ اس آر ام لایف ۲۰۰۷-۲۰۰۳) مدل تفضیلی زمین شناسی سطحی و ویژگی‌های ژئوتکنیکی، برای مطالعات اثر سایت، برای محدوده‌های شهری بوجود آمده است. نقشه ژئوتکنیک اولیه براساس داده‌های متعدد توسط تحقیقات ژئوتکنیکی، بررسی‌های ژئوفیزیکی، اندازه گیری‌های لرزه‌های کوچک، آزمایش ژئوتکنیک‌های کلاسیک و دینامیکی ویژه خاک تهیه و پایه گذاری شده است. (پیتی لاکیز ات آل ۱۹۹۲؛ پیتی لاکیز و انستازیدیس ۱۹۹۸ ؛ رپتاکیس ات آل ۱۹۹۴ ؛ رپتاکیس ۱۹۹۵ ؛ استازیادیس ۲۰۰۱ ؛ اپوستولیدیس ات آل ۲۰۰۴) خواص پویا از خصوصیات دینامیکی چینه طبقه بندی خاک اصلی از آزمایشات گسترده من جمله آزمون‌های سه محوری چرخ و ستون تشدید کننده استناج شده است. (پیتی لاکیز ات آل ۱۹۹۲ ؛ انستادیادیس ۱۹۹۴)

تأثیرات سایت بطور عمده به تجزیه و تحلیل پاسخ معادل خطی تک بعدی و به طور جزئی به تجزیه و تحلیل‌های دو بعدی در انتخاب بخش‌های مقطع می پردازد تا اثرات ویژگی‌های ژئوتکنیکی محلی و خواص پویا از خصوصیات دینامیکی چینه بندی خاک اصلی در حرکت زلزله پیش بینی شده را محاسبه کند. تجزیه و تحلیل برای پنج شتاب مختلف مدرج واقعی(برای حرکت سنگ بستر) انجام شده که مناسب با مطالعه خطر لرزه ای برای سه سناریو انتخاب شده است. (پایاانو ۲۰۰۴)

به عنوان مثال؛ ویژگی‌های حرکات زلزله میانی محاسبه شده در سطح آزاد، به عنوان پیک شتاب (PGA) و سرعت (PGV) در شکل ۲ برای سناریوی زلزله با احتمال ۱۰٪ فراتردر ۵۰ سال (دوره بازگشت میانی ۴۷۵ سال) نشان داده شده است. در اینجا مطرح شده که از روش‌های PGA بین ۰٫۱۵ گرم تا ۰٫۵۵ گرم متغیر است در حالیکه اگر تمام تجزیه و تحلیل براساس کد لرزه ای هلنیک Hellenic باشد، طرح PGA باید فقط معادل ۱۶۰. گرم باشد. نقشه‌های مشابه نیز برای همه سناریوهای لرزه ای و چندین پارامترهای دیگر حرکت زمین طراحی شده است.(به عبارت دیگر، گونه‌های زمین، طیف پاسخ در دوره‌های مختلف و غیره).

در نهایت به منظور محاسبه پدیده القاء آبگون گری

(فرونشست)، ارزیابی جابه جایی افقی و عمودی دائمی زمین(گسترش جانبی و کلنی) برای سه سناریو با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل و تجربی اجرا شده است . (سید ات آل۲۰۰۳ ؛ یود ات آل ۲۰۰۱؛ ای سی ۸ ؛ ایس هی هارا و یوشی مینی ۱۹۹۲؛ ال گامال ات آل ۲۰۰۱) شکل ۳ توزیع فضایی دائمی زمین برای سناریوی ۴۷۵ ساله را نشان می دهد.

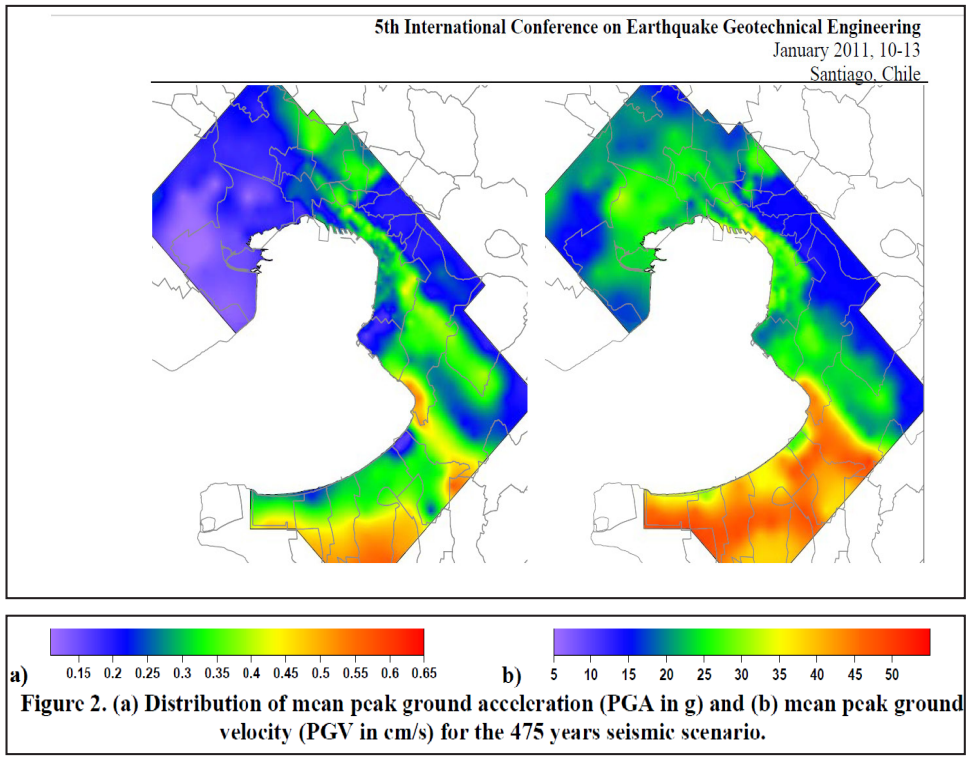


Figure 2. (a) Distribution of mean peak ground acceleration (PGA in g) and (b) mean peak ground velocity (PGV in cm/s) for the 475 years seismic scenario.

شکل ۲. الف)توزیع پیک شتاب میانی زمین (PGA در گرم)

ب) سرعت پیک میانی زمین (PGV در سانتی متر بر ساعت) برای سناریوی لرزه ای ۴۷۵ ساله

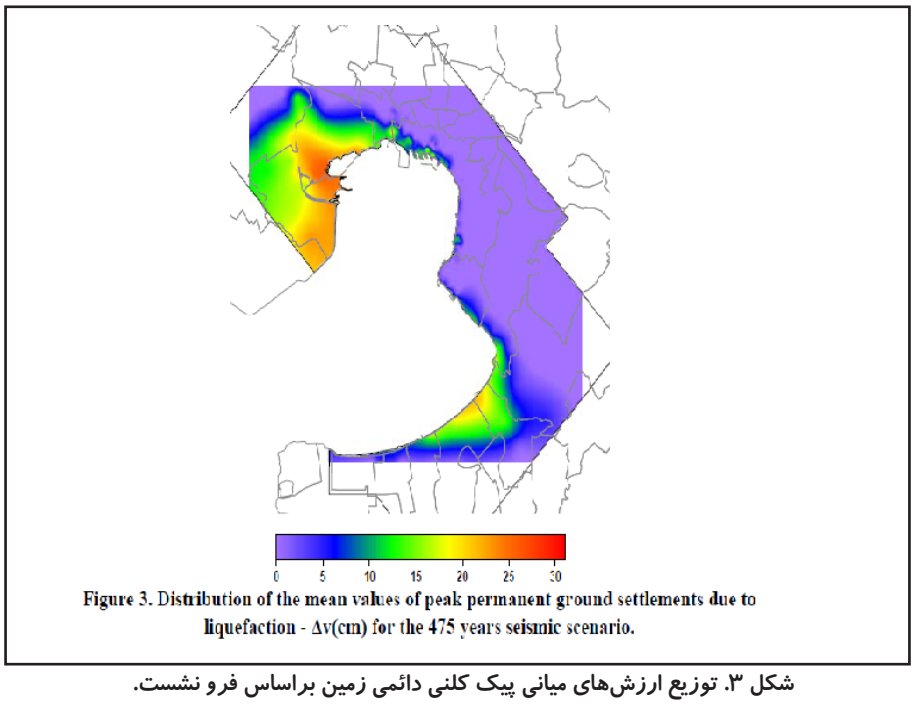


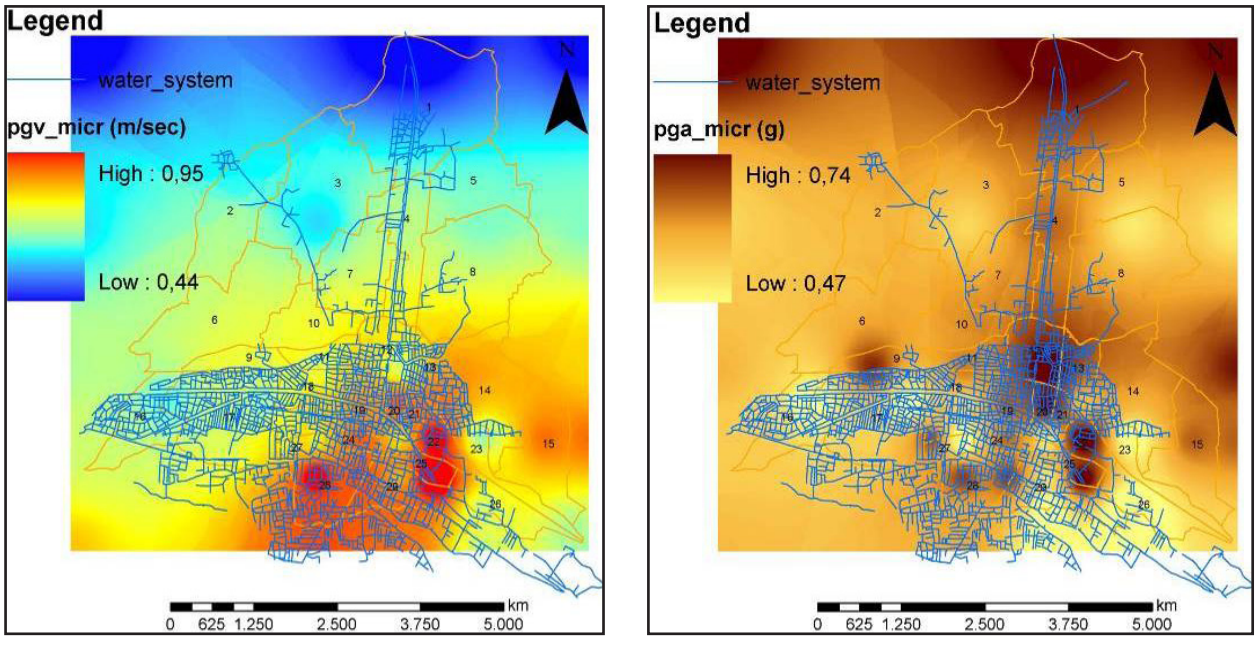
Figure 3. Distribution of the mean values of peak permanent ground settlements due to liquefaction - Δv(cm) for the 475 years seismic scenario.

شکل ۳. توزیع ارزش‌های میانی پیک کلنی دائمی زمین براساس فرو نشست.

مطالعه ریز طبقه بندی دوزجه DUZCE

منطقه دوزجه یکی از زلزله خیزترین مناطق در سراسر جهان است که به گسل آناتولی شمالی (NAF) بسیار نزدیک است. هر دو زلزله‌های کوکالی و دوزج در منطقه گسل آناتولی شمالی اتفاق افتاده است. تجزیه و تحلیل جزئیات پاسخ سایت برای شهر دوزجه برای سناریوهای مختلف زلزله براساس داده‌های زمین شناسی موجود، زلزله شناسی و ژئوتکنیک از یک سو و ازسوی دیگر بررسی ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی خاص برای اهداف این مطالعه انجام شده است. مطالعات در چارچوب چندین پروژه تحقیقاتی صورت گرفته است. (مرپ ۲۰۰۵-۲۰۰۲؛ اس آر ام- دی جی سی ۲۰۰۸-۲۰۰۶)

یک طبقه بندی ساده خاک توسط EC۸ فراهم شده که زمین شناسی جغرافیایی در منطقه دوزج را برای حالت حادثه زلزله ۱۹۹۹ براساس تاریخچه زمان شتاب در هم پیچیده ثبت شده ۱۹۹۹/۱۱/۱۲ دوزجه مد نظر قرار داده است. برآورد پیک شتاب زمین براساس نتایج مطالعه خطر زلزله ای در مورد دوزجه بوده است. سپس یک سری از تجزیه و تحلیل‌های تک بعدی در چندین سایت انتخاب شده و اجرایی شهر دوزج برای چندین سناریوی لرزه ای پیشنهاد شده توسط تجزیه و تحلیل خطر لرزه ای(الکسودی ات آل ۲۰۰۸) اجرا شده است و برای شش نمودار حرکات ورودی جهت در هر سناریو، PGA برای شرایط نموداری، برآورد شده است. این شتاب به تلفیق بخش‌های عبوری ژئوتکنیکی دو بعدی منجر شد. سپس براساس جزئیات این بخش‌های عبوری، ما ۳۰ پروفایل دینامیکی تک بعدی خاک را برای تجزیه و تحلیل پاسخ سایت تک بعدی EQL بدست آوریم.



(a) (b)

شکل ۴. توزیع فضایی ۱- میانگین PGA به گرم ۲- ارزش‌های میانگین PGV(CM/ SEC) در دوزجه

نتایج برآورد شده از مطالعه پاسخ لرزه ای تک بعدی بشتر بررسی شد تا طیف پاسخ شتاب میانگین، ارزش‌های جایگزین و پیک شتاب زمین در سطح آن، ارزش‌های پیک سرعت زمین در عمق آن و ارزش‌های پیک شتاب طیف برای دوره‌های زمانی خاص برآورده گردد. براساس بررسی و تحقیقات ژئوفیزیک و ژئوتکنیک و زمین شناسی، ارتباط نتایج در سایت‌های مجاور به منظور نمایش دادن پهنه شهر در شکل مناطق پاسخ لرزه ای انجام شد. نتایج بصورت جداول، نمودارها و نقشه‌ها در فرمت GIS نشان داده شده اند که توزیع فضایی تکان شدید زمین را نشان می دهد. شکل ۴ توزیع فضایی پیک شتاب متوسط زمین (PGA) و سرعت آن (PGV) در دوزجه را نشان می دهد.

ارزیابی آسیب پذیری و سناریوی ضرر و زیان

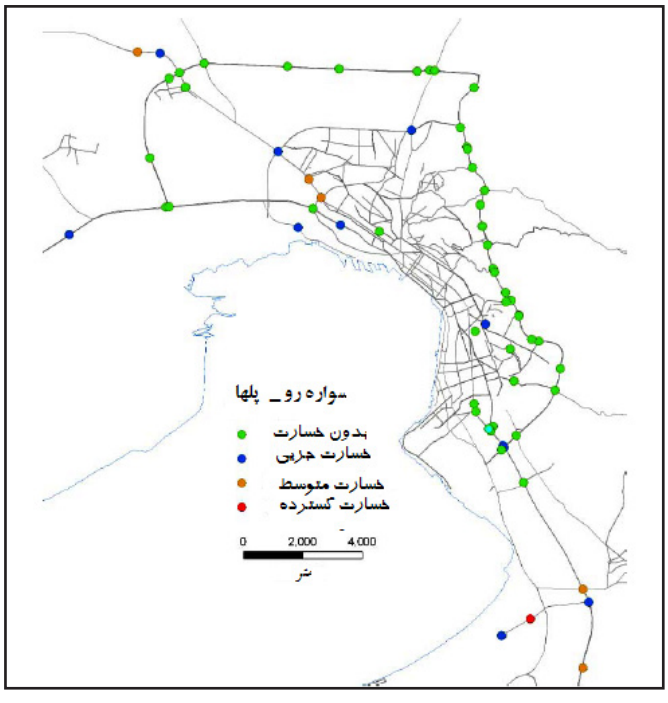
نیاز اساسی برای ارزیابی عملکرد لرزه ای از یک سیستم توانایی تعیین سطح خسارات مرتبط با سطح شدت خطر لرزه ای و البته شناخت نوع هریک از اجزاء و سیستم است. به طور کلی توابع آسیب پذیری یا قطعی یا آماری و یا روابط احتمالی هستند که اجزای خسارت دولت، قابلیت ها، زیان‌های اقتصادی و غیره را با اندازه گیری‌های مناسب شدت خطر زلزله مربوط می سازد. خصوصیات اجزاء براساس ویژگی‌های هرنوع از اجزای توابع آسیب پذیر عمومی است. (نگاه کنید به مثال‌های هزوس؛ ان ای بی اس۲۰۰۴؛ ریسک یو ای۲۰۰۴-۲۰۰۱ ؛ لس نور ۲۰۰۷-۲۰۰۴) در کنار عدم اطمینان‌های زیاد کلید فرعی در ارزیابی آسیب پذیری سیستم‌های تأسیسات و زیرساخت‌ها این است که انتظار می رود ساختارهایی که مشخصه‌های ساختاری مشابه دارند و در شرایط ژئوتکنیکی مشابه نیز هستند، راه‌های مشابهی برای بارگذاری لرزه ای انجام دهند. تغییرات مکانی از حرکت زمین که یکی از اصلی ترین علل خسارت‌های تأسیسات است، عمدتاً به دلیل اتصال ویژگی‌های تقویت سایت‌های مختلف به شرایط سایت محلی می باشد. لبه حوض (BASIH EDG) و اثرات قوس افقی هم در مدل‌های مناسب دو بعدی و سه بعدی حرکت زمین در نظر گرفته شده که حرکت نهایی زمین برای ارزیابی آسیب پذیری را تغییر می دهد. (پیتی لاکیز ات آل ۲۰۱۰ ؛ پیتی ات ال ۲۰۰۱ ؛ پاالوسی و پتی لاکیز ۲۰۰۷)بنابراین توابع آسیب پذیری مربوطه باید براساس ویژگی‌های نوع اجزای ریسک تعریف شده و همچنین تمرین‌های ساختاری ویژه و طرح‌های مجزای مؤثر در رفتارهای لرزه ای در نظر گرفته شوند.

در زیر چند مثال نمایشگر از ارزیابی آسیب پذیری تأسیسات و سیستم‌های زیر ساختی در شهرهای تسالونیکی و دوزجه آورده شده است. سناریوهای آسیب‌های لرزه ای در چارچوب پروژه‌های تحقیقاتی اروپایی و ملی براساس مطالعات ریز طبقه بندی انجام شده در دو شهر برآورد شده است. (ریسک یو ای۲۰۰۴-۲۰۰۱ ؛ اس ار ام لایف ۲۰۰۷-۲۰۰۳؛ لسلور۲۰۰۷-۲۰۰۴ ؛اس ار ام-دی جی سی۲۰۰۸-۲۰۰۶) بدین منظور فهرست‌ها و منحنی‌های آسیب پذیری مناسب انتخاب شده است.

سیستم جاده تسالونیکی

فهرست شبکه جاده ای در منطقه شهری تسالونیکی شامل حدود ۶۰۰ کیلومتر خطوط جاده ای و ۸۰ عدد پل است. سیستم جاده ای بخصوص در مرکز شهر نسبتاً ناکافی است در حالیکه مناطق بافت متراکم یک شبکه پیچیده با خیابان‌های باریک و تعداد ناکافی پارکینگ ایجاد می کنند. جاده‌ها بصورت شاهراه، شریانی اصلی و فرعی، تقاطع‌های اولیه و ثانویه و براساس نقشه هندسی و کاربردی در شبکه تقسیم بندی می شوند. اکثر پل‌ها درجاده کمربندی و خروجی اصلی شهر هستند. طبقه بندی آنها نیز براساس تعداد ظرفیت‌ها (یک یا چند ظرفیتی) طراحی سطح کد لرزه ای (کم یا بطرف بالا)، نوع اسکله (یک یا چند ستونی) و حدود دوام (تکیه گاه ساده یا مداوم) می باشد. تجزیه و تحلیل آسیب پذیری شبکه شامل خسارت‌های مستقیم از جمله پل و خسارت جاده به علت تکان زمین و یا شکست زمین و خسارت غیر مستقیم مانند انسداد خیابان به علت آثار باقیمانده از ساختمان‌های فروریخته می باشد.

سطح منتظره خسارات برای پل‌ها براساس منحنی‌های آسیب پذیری است که در هزوس (HAZUS) برای سناریوهای خطر لرزه ای ورودی و شدت طیف تخمین زده در SEC= ۱٫۵ = T با توجه به تجزیه تحلیل خاص سایت از حرکت زمین ارائه شده است. (آر جی رودیس۲۰۱۰) حالت خسارت تخمین زده برای هر پل در سناریوی لرزه ای ۴۷۵ ساله در شکل ۵ آورده شده است.(پیتی لاکیز ات ال۲۰۱۰) اکثر پل‌ها به طریقی رضایتبخش پاسخگو خواهند بود اما هنوز تعداد کمی از پل‌ها هستند که انتظار می رود خسارت جدی در سناریوی خطر لرزه ای ویژه متحمل شوند و این به سبب آسیب پذیری بیشتر این پل‌ها (تک ستونی بودن- پل تکیه گاهی ساده بودن و یا طراحی لرزه ای نامناسب) و ارزش‌های افزون تر شتاب طیف سطحی مورد انتظار می باشد. در حالت دوم شرایط خاک محلی و نزدیکی منبع لرزه ای (به عنوان مثال بخش جنوب شرقی) نشان داده می شود. برای مثال در قسمت غرب شهر، ته نشست‌های رسوب نرم عمیق از گل‌ها (خاک رس های) ماسه ای لجنی به گلی شدن ماسه ها، لجن ها، با قدرت کم و تراکم بالا (طبقه c و d در Ec۸) بیانگر افزایش بیشتر دوره‌های طولانی تر است.

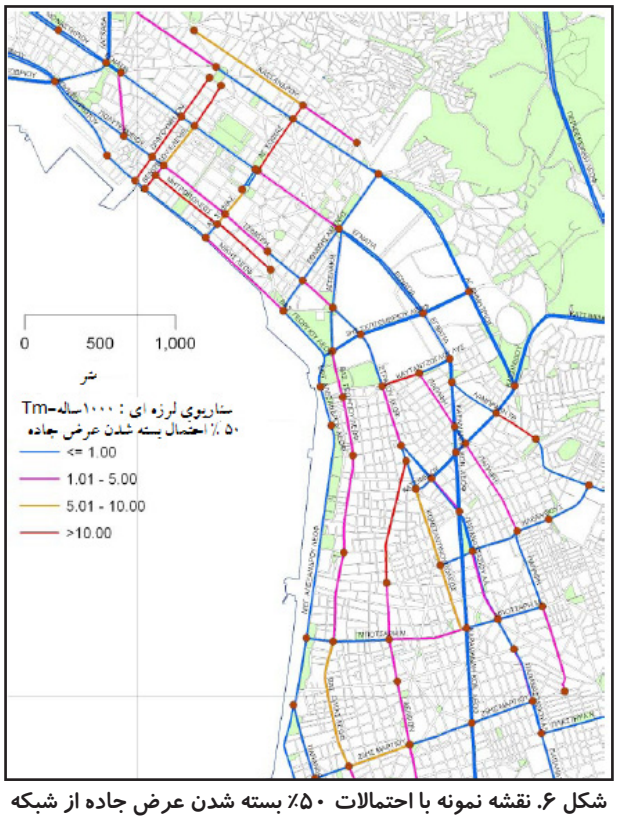


شکل ۵ . توزیع خسارت منتظره برای پلهای جاده ای،تسالونیکی برای سناریوهای لرزه‌های ۴۷۵ساله

برای عملکرد جاده‌ها پس از زمین لرزه یک ارتباط بین ارتفاع ساختمان (به عنوان مثال : تعداد طبقه) و عرض آوار استفاده می شود تا تأثیر سقوط ساختمان‌ها را تخمین بزند. توزیع فضایی ساختمان‌های فرو ریخته و یا به شدت آسیب دیده دوباره به نوع و شرایط سایت بستگی دارد. توزیع Gaussian تغییرات آوار را توصیف می کند که تابعی از زاویه فروریخته ساختمان (Φ) و کاهش حجم ساختمان (kv) است. این مدل جهت برآورد احتمال وقوع سطوح عملکرد جاده‌های خاص (۱۰۰٪ باز، ۵۰٪ باز، ۰٪ بسته یا یک خط باز) استفاده می شود. احتمال سقوط ساختمان براساس مدل‌های آسیب پذیر مناسب که برای انواع ساختمان‌هایی که معمولاً در تسالونیکی هستند ارائه شده، به عنوان یک تابع از پیک شتاب زمین تخمین زده می شود. (کاپوس ات آل۲۰۰۶؛ پنلیس ات آل۲۰۰۲)

تجربه گذشته در یونان نشان می دهد که درصدی از سقوط در محدوده بین ۱۰ و ۲۰ درصدی می تواند چنین حجم و شکلی از آوار را داشته باشد که ممکن است منجر به بسته شدن خیابان شود. احتمال بسته شدن در اثر ریزش ساختمان براساس ترکیب احتمالات فوق هر بخش جاده (برآمده تا برآمده) محاسبه می شود.

شکل ۶ احتمال بسته شدن راه‌های اصلی در شهرستان مرکزی براساس ریزش ساختمان برای سناریویی با دوره بازگشت متوسط ۱۰۰۰ ساله را نشان می دهد. کاهش عرض جاده به فاصله از ساختمان، به عرض جاده و عرض آوار ناشی از آن بستگی دارد. در حالیکه احتمال بسته شدن به تراکم، نوع ساختمان‌های آسیب پذیرتر، طول این بخش از جاده و احتمالات سقوط مجزای مربوط به شرایط سایت محلی بستگی دارد.



شکل ۶. نقشه نمونه با احتمالات ۵۰٪ بسته شدن عرض جاده از شبکه اصلی براساس ریزش ساختمان برای سناریوی لرزه ای ۱۰۰۰ ساله.

سیستم بندر تسالونیکی

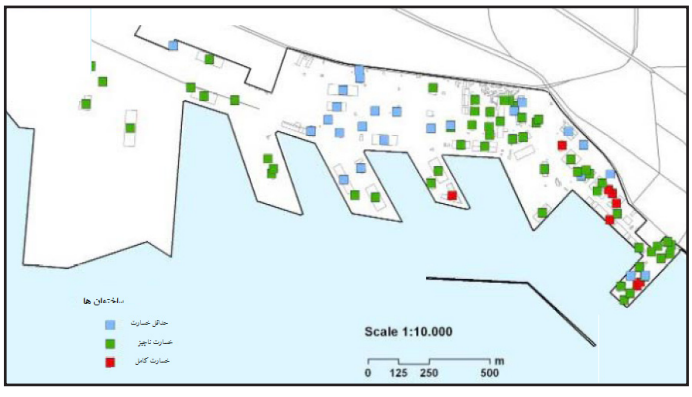
بندر تستالونیکی مساحت ۱/۵۰۰/۰۰۰ مترمربع و مبادلاتی حدود ۱۵/۰۰۰/۰۰۰ تن از زباله سالانه، داشتن ظرفیت ۲۰۰/۰۰۰ کانتینر و ۱۶ اسکله با طول ۶۵۰۰ متر را پوشش می دهد. در همکاری با امور بندر، داده‌های مختلف جمع آوری شده و در فرمت GIS برای ساخت و ساز، ویژگی‌های ساختار و شناخت انواع عناصر، در نظر گرفته شده در شرایط خطر پذیری من جمله بارگیری، تخلیه (گذاشت و برداشت) تجهیزات، ساختار آبنماها، برق، آب قابل شرب، فاضلاب، مخابرات، سیستم‌های جاده و راه آهن و همچنین

ساختمان‌ها و امکانات حیاتی اجرا شده است.

تخمین خسارت برای امکانات بندر، شبکه‌های شریان‌های حیاتی، سیستم حمل و نقل و ساختمان براساس نتایج مطالعه ریز طبقه بندی ویژه سایت که قبلاً ارائه شده و همچنین برای سه سناریوی لرزه ای (TM=۱۰۰،۴۷۵،۱۰۰۰ ساله) انجام شده است. وضعیت خاک بطور خیلی ضعیف توسط نفوذ ته نشست‌های رسوبی سست در عمق زیاد بوجود آمده است. در هر سیستم ویژه، منحنی‌های آسیب پذیری مناسب و یا ارتباطات آنها براساس طرح‌های ویژه انواع عناصر مدنظر در خطر پذیری استفاده می شود. نوع، محتوا، و توزیع فضایی آسیب زلزله ایجاد شده در نقشه‌های موضوعی GIS تعیین و نشان داده شده است. (کاکدری و پیتی لاکیس۲۰۱۱) در ادامه مثالی از ارزیابی آسیب پذیری خسارت تخمین زده شده مستقیم برای ساختارهای ساختمانی بندر تستالونیکی فراهم شده است.

ساختمان‌ها در یک سیستم بندرگاه شامل ساختمان‌های دولت و بازرسی، ساختمان‌های کنترل ترافیک، پایانه‌های مسافربری، ادارات، ساختمان‌های امنیت و نگهداشت کپرها (آلونک ها) و انبارها و دیگر امکانات مهم است. علاوه بر این ساختمان‌هایی نیز در میان سیستم‌های تأسیسات و زیر ساخت‌ها (به عنوان مثال : ایستگاه‌های پمپاژ، موتورخانه ها، پست‌های برق و غیره) مدنظر قرارگرفته است. بندر تستالونیکی شامل ۸۸ عضو از این نوع می باشد. نوع آنها براساس مواد ساخت و ساز، نوع بنا، ارتفاع و سطح کد طرح لرزه ای تعریف می شود.

تجزیه و تحلیل آسیب پذیری ساختمان‌های RIC براساس منحنی آسیب پذیری (بر مبنای PGA) گسترش یافته است که با استفاده از تکنیک‌های هیبریدی همرا با نتایج تحلیلی و اطلاعات آماری اجرا شده است.(کاپرس ات آل ۲۰۰۶) علاوه بر این منحنی‌های آسیب پذیری (بر مبنای هر دو PGA و Sd) برای ساختارهای بنایی است که در یونان برای همه انواع مشترک کاربردی در برنامه‌های اخیر، توسعه یافته است. ارزیابی آسیب پذیری برای سه سناریوی لرزه ای با استفاده از عامل کاهش۰٫۷ برای تبدیل پیک به ارزش‌های کارگر در شتاب زمین انجام شده است. توزیع خسارت برآورده شده برای ساختمان بندرگاه برای سناریوی ۴۷۵ ساله در شکل ۷ نشان داده شده است. ۲۷٪ و ۶۴٪ و ۹٪ تخمین زده شده که به طور تناوبی خسارت کم، جزئی و کامل را متحمل شده اند.



شکل ۷. توزیع خسارت برای ساختارهای ساختمان بندر تسالونیکی (TM=۴۷۵ ساله)

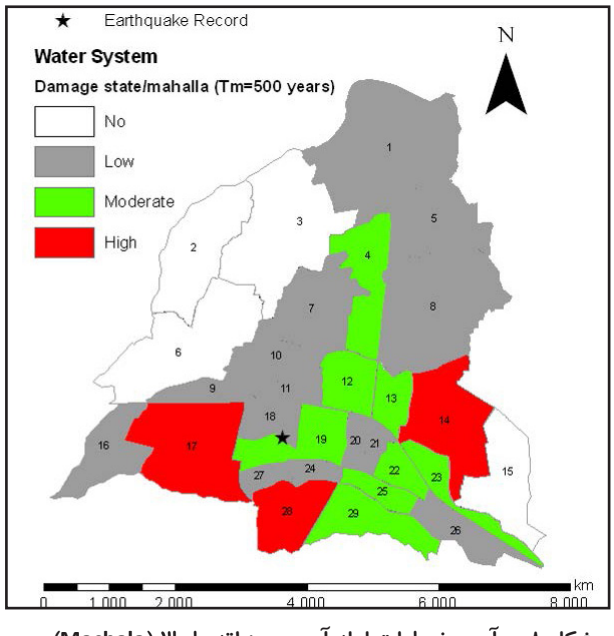
سیستم آب رسانی دوزجه

سیستم آب رسانی دوزجه تا حدود ۵۰۰ کیلومتر طول و درصد زیادی از قدمت به دهه ۱۹۴۰ بر می گردد. شبکه عمدتاً شامل قالب آهنی (Cast iron:CI)، لوله‌های چدنی و سیمان آزبست (AC) می باشد. که می توانند به لوله‌های شکننده طبقه بندی شوند. قطر ۶۰۰ میلی متری لوله (AC) آب خام را از منبع اصلی رودخانه یوگر به دستگاه تسویه آب در جنوب شهر انتقال می دهد. سپس لوله فولادی به قطر ۱۰۰ سانتی متر آب تسویه شده را به سیستم توزیع می برد که به شهر در منطقه آزمیلیلی متصل می شود لوله‌های زوج CI به قطر ۱۲۵ میلی متر، آب را از یک زمین خوب و مخزن حمل می کند تا منبع آب رودخانه اصلی را تکمیل کند. این لوله‌ها در منطقه شمال شرق به شهر متصل می شوند. شبکه خط لوله دیجیتالی، با طول کلی ۲۹۸ کیلومتر، یک سیستم پیچیده است که هر دو بخش ساختاری جدید و قدیم را در بر می گیرد.

ارزیابی آسیب پذیری شبکه منابع آب دوزجه (از نظر نرخ تعمیرات انتظاری در لوله به کیلومتر RR/KM) با استفاده از ترکیبی از نتایج مطالعه ریز طبقه بندی دوزجه انجام می شود که دوره بازگشت متوسط ۴۷۵ ساله را در نظر گرفته و از دو زلزله بخصوص در وارد کردن تاریخچه زمانی Deconvoluted (در هم پیچیده) از زلزله‌های کوکائیلی و دوزجه (kocaelie Duzce) در ایستگاه مترولوژیگال (meteorological) در دوزجه استفاده

می شود. خسارت‌های منتظره (نشست‌ها و یا شکست ها) ناشی از انتشار موج با استفاده از ارتباط آسیب پذیری oRouke و Ayala که توسط هزوس بر طبق نوع خرابی زمین (برای فرضیات انتشار موج ۲۰٪ از خرابی به عنوان شکست و ۸۰٪ به عنوان نشست) برآورد شده است. بارگذاری از طریق پیک سرعت زمین توصیف می شود (PGV). پیش از بکاربری آنها، این عملکرد آسیب پذیری تجربی با خسارت ثبتی در زلزله ۱۹۹۹ دوزجه و زلزله ۲۰۰۳ لفکاس (LEFKAS) یونان اعتبار سنجی شده است.(الکسوری ۲۰۰۵ ؛ پیتی لاکیز ات آل۲۰۰۵) پایگاه ترومانس TROMANS و الکسودی ALEXOUDI برای خطوط لوله آب در دوزجه نیز برای اعتبار سنجی بکار رفته است. درصد خطوط لوله شبکه انتظار می رود چند نوع خسارت برای زلزله‌های کوکائیلی و دوزجه و همچنین برای ارزش‌های متوسط داده شده توسط مطالعه ریز طبقه بندی که به ترتیب ۷٪ و ۹٪ و ۱۳٪ هستند به همراه دارد.(الکسودی ات آل ۲۰۱۰)

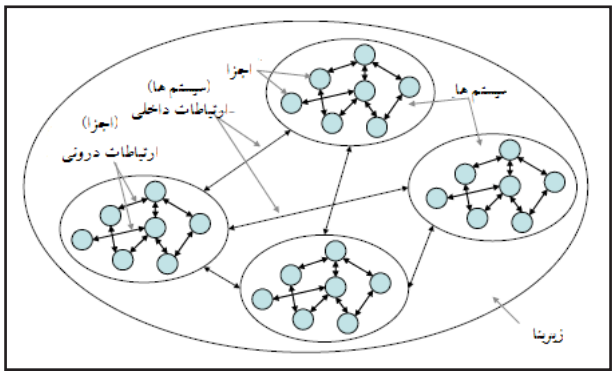
شکل ۸ توزیع فضایی برآورد خسارت لوله آب در هر منطقه از دوزجه برای مطالعه ریز طبقه بندی را نشان می دهد. اکثر خسارات در بخش‌های جنوبی و شرقی شهر تخمین زده شده که با توزیع خسارت ثبت شده در طول توالی زلزله‌های دوزجه و کوکالی یه خوبی مقایسه می شود. (مانو ات آل ۲۰۰۷)



شکل ۸. برآورد خسارات لوله آب در منطقه ماچالا (Machala) در دوزجه برای مطالعه ریز طبقه بندی

آسیب پذیری لرزه ای سیستمیک فیزیکی و اجتماعی – اقتصادی و تجزیه و تحلیل خطر پذیری

اثر یک فاجعه ناشی از خطر طبیعی (مانند رویداد زلزله) روی یک سیستم با مقدار زمان سپری شده از آن رویداد و در مکان رخ داده نمودار می شود. در پی یک رویداد، زیر ساخت‌های آسیب دیده در یک حالت اضطراری عمل می کند و فقط تدریجی به حالت قبلی یا متفاوت از تابع (عمل) معمولی بر می گردد. به همان نسبت، گستره فضایی از علاقه به مطالعه پاسخ زیر ساخت‌ها افزایش یافته است که شامل مناطق مجاور در فاز بهبود اقتصادی و چندین تعامل میان سیستم‌ها و محیط زیست ساخته شده است. یک حالت نمایشگر از تعامل میان سیستم‌های تأسیساتی مختلف در طول دوره بازسازی پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبا توسط هادا و مگورد (Hada & Meguro) گزارش شده است. آنها مشکلات فعالیت‌های بازسازی شبکه آب و گاز در منطقه کوبا را براساس تراکم ترافیک، مسدود شدن خیابان، ساختمان‌های آسیب دیده و آب جریان یافته در لوله‌های گاز خلاصه می کنند و همچنین اثر آنها را بر طبق داده واقعی تجزیه و تحلیل می کنند. در چارچوب مدیریت و تجزیه و تحلیل خطر پذیری جامع تأسیسات تعاملی و سیستم‌های زیرساختی، برای (عملکرد) اجرای لرزه ای آنها باید یک راه دقیق و یکپارچه مد نظر گرفت. این تنها می تواند از طریق ارزیابی عملکرد سیستم‌ها باتوجه به پیچیدگی ساختارها و وابستگی میان سیستم‌ها و اعضایشان بدست آید.



شکل ۹. نمایش نموداری از یک زیرساخت شامل تعدادی از سیستم‌ها با اثر متقابل آنها

ارتباط/ تعامل بین اجزاء را می توان به ارتباط درونی بین اجزای هر سیستم و ارتباط میانی سیستم‌های سازنده زیر ساخت‌ها

مجزا کرد.(شکل ۹) تدوین یک تابع سیستم ارزیابی حالت سیستم را به عنوان تابعی از اجزای آن مجاز (قابل قبول) می کند. دسترسی به چنین توابعی یک پیش نیاز برای ارزیابی سیستم عملکردی است. در اینجا بیان شده که خصوصیات فضایی اجزاء (زیر سیستم) یک زیر ساخت رابطه مستقیم با روش‌های استفاده شده جهت تعریف هر دو مفهوم خطر و آسب پذیری رادارد.

روش‌های متعددی در نظریه‌ها برای کمک به توصیف و روابط موجود بین اجزای سیستم در دسترس است. بعضی از آنها عبارتند از : نظریه گراف (هندسی)، تجزیه و تحلیل درخت خطا (– Fault tree) و تجزیه و تحلیل درخت رویداد (event – tree) سیستم سری موازی (ssp)، مدل‌های مبتنی بر عامل و سیستم‌های تطبیقی پیچیده (امین،۲۰۰۱؛ لیتل،۲۰۰۲ ؛ بران ات آل، ۲۰۰۴؛ برنهارت و مک نیل،۲۰۰۴؛ تولون ات آل، ۲۰۰۴)

ارزیابی احتمالی از عملکرد سیستم (PNET) می تواند با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل سیستم اطمینان انجام شود. این خدمات عبارتند از روش‌های توسعه مانند FORM/SORM یا تکنیک سطح پاسخ(دیت لوسن و مدسن ۱۹۹۶)، همچنین روش‌های شبیه سازی مونت کارلو MONT CARLO (رابینز تین ۱۹۸۱). با توجه به ماهیت عدم اطمینان و گنجایش برای تعیین آنها، روش احتمالی ممکن است با روش‌های احتمالی براساس منطق تیره (FUZZY LOGICS) معروف به شبکه تیره جایگزین یا افزوده شود.

با وجود این واقعیت، اخیراً پیشرفت‌های جالبی در روش‌های غیر شبیه سازی دیده می شود. به عنوان مثال در تجزیه و تحلیل سیستم ماتریس اطمینان(سانگ و درکیورگیان ۲۰۰۳؛ درکیورگیان و سانگ۲۰۰۸)، پیچیدگی سیستم‌های زیر ساختی راه و ساختمان (بخصوص تجزیه و تحلیل شبکه‌های توانمند مانند حمل و نقل، انتقال قدرت و شبکه تأمین آب) و رویکرد فرآینده کمی بر ارزیابی/ پیش بینی رفتار سیستم‌های پیچیدگی دیگر، از نظر اقتصادی و طبیعت اجتماعی، اخیراً روش‌های شبیه سازی مهمترین پیشرفت‌ها را متحمل شده است. این پیشرفت‌های جدید در مجموع به عنوان «روش‌های شبیه سازی مدرن» تفکیک می شوند که شامل تکنیک‌های هوشمند مرتبط با تجزیه و تحلیل حساس و بهینه سازی تصادفی از مدل‌های شبیه سازی کامپیوتری یا شبکه‌های عصبی است.

برخی پژوهشگران تلاش کرده اند تا فراتر از مجموعه‌های ساده از خسارت مستقیم روند که این شامل تعامل بین اجزای سیستم در تعیین بدتر شدن عملکرد سیستم براساس زمین لرزه است. به عنوان مثال : مطالعات انجام شده توسط فرانشین ات آل۲۰۰۶؛ نوتی و ونیز۱۹۹۸؛ باسوز و کیرمیدجیان۱۹۹۶؛ وارنر ات آل ۱۹۹۹؛ شینزوکا ات آل۲۰۰۳؛ دوگلاس ات آل۲۰۰۷ ؛ کاراکا۲۰۰۵؛ ونزیانوات آل ۲۰۰۲)توسط پاچاکیز و کیرمیدجیان۲۰۰۳؛ گیانی ات آل۱۹۹۹؛ونیز ۲۰۰۰-۱۹۹۶ برای شبکه‌های حمل و نقل، تجهیزات بنادر و شبکه‌های منابع الکترونیکی را می توان نام برد. مطالعات برای تجزیه و تحلیل خطر پذیری لرزه ای شبکه جاده از نظر انسداد جاده در اثر سقوط ساختمان‌ها و یا دیوار محدود شده است. (گورتی ۲۰۰۵؛ آستاسیادیس و آرجی رودیس۲۰۰۷؛ آر جی رودیس ۲۰۱۰)

علاوه بر این ارزیابی احتمالی از اجرای لرزه ای هر سیستم باید بعنوان نتیجه بازدهی داشته باشد به مقداری که برای سهام داران و تصمیم گیرندگان معنی دار باشد. تعریف مناسب‌ترین مقدار برای هر سیستم به عنوان " درجه اجرا " اشاره شده که به خودی خود چالش برانگیز است. به عنوان مثال: درجات یا اندازه‌های بکار رفته برای کمیت گذاری کاهش اجرای خسارات شبکه حمل و نقل متراکم در قالب " تأخیر در رانندگی " با کمیت گذاری اجرای امکانات درمانی در «قالب ظرفیت درمانی بیمارستان» یا به عبارت دیگر تعداد بیماران جراحی شده در یک ساعت می باشد. برای اندازه گیری اجرای شبکه‌های انتقال برق یا منابع آب، در قالب "کاهش جریان خدمات "بکار رفته است. به عبارت دیگر مقدار جریانی که می تواند به کاربران در مقیاسی با مقدار تحویل قبل از آسیب / مزاحمت انتقال یابد. (دوناس اوسودیو ات آل۲۰۰۷)

در حرکت به سطح بالاتر، فعل و انفعالات بین زیر ساخت‌های بحرانی مختلف که ممکن است به طور جدی در مدیریت خطر پذیری لرزه ای اثر گذارد (پاسخ، بهبود و پیشگیری) یک ناحیه تحقیقاتی ضروری است که اخیراً به آن سهمی خاص تخصیص داده شده است. برخی پژوهشگران انواع مختلفی از مدل‌های شبیه سازی

وابستگی متقابل پیشنهاد کرده اند. (وانگ و ایسن برگ ۱۹۹۵ ؛ کامدا ۲۰۰۰؛ جیمانی نی رونیز۲۰۰۰؛ رینالدی ات آل ۲۰۰۱؛ پرین بوم ات آل۲۰۰۱؛ امین ۲۰۰۱؛ همیس و جی یانگ۲۰۰۱؛ تونل۲۰۰۲؛ لی و هی۲۰۰۲؛ تنگ ات آل۲۰۰۴؛ یااو ات آل ۲۰۰۴؛ بران ات آل۲۰۰۴؛ بران هاردت و مک نیل۲۰۰۴ ؛ سندوس و هنیمن۲۰۰۴) تنها چند روش از وابستگی در تجزیه و تحلیل خطر پذیری لرزه ای تأسیسات (هوشی یا و اوهنو۱۹۸۵؛ نوجی ما و کامدا۱۹۹۱؛ اسکاسورن۱۹۹۲؛ ایدینگر۱۹۹۳؛ شینوزکی ات آل۱۹۹۳؛ شینوزاکا و تاناکا۱۹۹۶؛ منونی۲۰۰۱؛ دوناراس اوسوریو۲۰۰۷؛ تنگ و ون۲۰۰۹) در یک مسیر کاملاً ساده فاقد نگاه جمعی از پاسخ شبکه‌های زیر بنایی پیچیده در طول دوره‌های مختلف با توجه به وقوع رویداد زلزله گنجانیده شده است.

علاوه بر این مطالعات بسیار کمی در نوشته‌ها می توان یافت که با بالاترین سطح مشکل تعامل سیستم‌های مختلف در مورد آسیب پذیری لرزه ای و برآورد خسارت در ارتباط است.(دوناس ات آل۲۰۰۷؛ کیم ات آل ۲۰۰۷) این مقالات هنوز یک مشخصه شناسایی دارند و براساس مختصر سازی کاملاً نسبی پایه گذاری شده اند که با تجزیه و تحلیل حداکثر دو سیستم محدود می شوند. وابستگی‌های زیر ساخت‌ها معمولاً از طریق تجزیه و تحلیل شبکه عنوان می شوند. نظریه گراف توسط چندین محقق تطبیق شده است. رویکرد بایزین (Bayesian) اغلب برای تجزیه و تحلیل شبکه استفاده می شود. حالت‌های عملکرد سیستم‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل روند جریان (Flow analysis) و تجزیه و تحلیل اتصالی (connectivity analysis) آنالیز می شود. یکی از جامع‌ترین مطالعات موجود که فقط شامل یک بخش از سیستم‌های آسیب پذیر می باشد در کاراکا (karaca) است که توالی زمانی زمین لرزه‌های اصلی در ایالات متحده مرکزی – شرقی را با استفاده از مدل سازی فعالیت اقتصادی در سراسر ایالات متحده است و اختلال‌ها را با توجه به رویدادها کشف می کند. در نهایت برخی از مطالعات اخیر روی پیشنهاد روش ارزیابی زیان‌های مرتبط با عناصر تأسیسات تعاملی برای شدت حرکت قوی زمین و برآورد منحنی‌های آسیب پذیر پیچیده عناصر بهم وابسته متمرکز شده است. (کاکری ات آل۲۰۰۷؛۲۰۰۸؛ الکسودی ات آل۲۰۰۸)

در اغلب مطالعات اخیر در دانشگاه ارسطو تسالونیکی (Aristotle University of Thessaloniki)، یک روش عمومی برای ارزیابی سرویس دهی یک سیستم توسعه داده شده که اگر یک یا چند عنصر تعاملی سیستم توسط زمین لرزه آسیب ببیند ارزیابی و ادغام سطوح مختلف " آسیب‌های فیزیکی " و" غیر عملکردی" صورت می پذیرد. در هر دو حالت یا یک سیستم با اجزای تعاملی بسیار تشکیل می شود (به عنوان مثال: تأسیسات) و یا یک سیستم از سیستم‌ها (به عنوان مثال: یک مجموعه از تأسیسات و زیر ساخت‌ها) مدنظر گرفته می شود، در جائی‌که تعامل میان اجزاء و سیستم‌ها برای آن بحساب می آید. انواع گوناگونی از عدم قطعیت (اتفاقی و معرفتی) با استفاده از استنتاج بایزین (Bayesian) مورد بررسی قرار گرفت. روش پیشنهادی کاملاً کلی است و سرانجام با چند بهبود بیشتر، مفروضات یا خلاصه سازی به سیستم‌های واقعی با درجه‌های مختلف پیچیدگی و دانش جزئیات اجزاء و سیستم، قابل اجرا می باشد.

آنچه از اهمیت بالایی برخوردار است این است که وابستگی‌ها و عواقب زیان‌ها در سیستم‌های فیزیکی (ساختمان ها، تأسیسات، اجزای شبکه حمل و نقل، تجهیزات حساس) به دست آوردهای مستقیم و غیر مستقیم در جامعه و اقتصاد (شهر و مقیاس منطقه ای) به عنوان شاخص‌های اندازه گیری و ارزش‌های خسارت‌های اجتماعی – اقتصادی بستگی دارد که بر مبنای آن سیاست و تصمیم گیری‌ها اتخاذ می شوند. اخیراً تعیین نتایج اجتماعی – اقتصادی بزرگ در سطوح مختلف پیچیدگی صورت می گیرد. اگرچه زیان اصلی و واقعی توسط ضربه زلزله به جامعه تحمیل شده است. اما یک شمارش ساده از زیان‌های پولی جداگانه که توسط سیستم‌های مختلف تحمیل شده است را هنوز مد نظر قرار نداده است. زیان می تواند به اجزای فرعی تر مستقیم و غیر مستقیم تقسیم شود. قبلاً خسارت مستقیم به اجزای فیزیکی سیستم مربوط می شد؛ در حالیکه اکنون از عملکرد خسارت آسیب‌های فیزیکی به عنوان مثال خسارات اقتصادی ناشی از وقفه کسب و کار، زیان بهره وری ناشی از افزایش زمان‌های سفر در شبکه‌های حمل و نقل آسیب دیده با وقفه در فعالیت‌های بندر و غیره مربوط می شود. حتی اگر ضرر غیر مستقیم به احتمال زیاد عامل اصلی در ضرر کلی باشد. معمولاً در راههای تقریبی برآورد می شود.

در حالیکه در تخمین دقیق عواقب اقتصادی عملکرد ضرر یک سیستم به ارزیابی تأثیر آن بر روی سیستم‌های زیربنایی دیگر نیاز دارد.

با توجه به خسارت‌های صرفاً اجتماعی (به عنوان مثال : مرگ و میر، صدمات، بی خانمانی، نیاز به سر پناه و غیره) یکی از روش‌های ضررو زیان اجتماعی مرجع توسط اسپنس۲۰۰۷؛ ای تی سی ۱۳؛ بدل و سمدردزیرا۲۰۰۳؛ کاریلوس ادریک ات آل۲۰۰۳؛ بل ات آل۲۰۰۸؛ پورتر ات آل۲۰۰۸ پیشنهاد شده که برای کشورهای توسعه یافته قابل اعتماد نیست. در دیگر نوشته‌ها عملکردهای توابع در دسترس اقتصادی و اجتماعی جهان شامل روش‌های پیشنهاد شده توسط ATC۱۳،Spence و ... است وضعیت کنونی صنعت در نرم افزار برآورد خسارت زمین لرزه چندین پارامتر پیامدهای اجتماعی – اقتصادی را فراهم می کند که نیاز به حمایت تصمیم گیری مؤثر دارد. این‌ها شامل پارامترهایی از این قبیل تلفات، بی خانمانی، ورشکستگی صنعت می باشد. با این حال ارتباطات ضعیف میان خسارات در سیستم‌ها و نظام سطح سیستم ها، موقعیت‌های آسیب پذیری اقتصادی و اجتماعی، محدودیت‌های قابل توجهی در برآورد ضرر و زیان زلزله موجود بوجود می آورد. از جمله آسیب پذیری اجتماعی برای سطوح بالاتر اطلاعات اجازه می دهد تا از نتایج مدل‌های آسیب پذیری برای استفاده در پاسخ حادثه بهره برداری شود. تعریف و مشخصه آسیب پذیری انسانی، سازمانی و عملکردی (و انعطاف پذیری) شهرستان یا منطقه برای زیر ساخت‌های پیچیده آسیب زلزله در مقوله بهبود اثرات زلزله باید به‌حساب آید.

عواقب اجتماعی و اقتصادی			ارزیابی اثرات		آسیب فیزیکی	رویداد مخاطره
بلند مدت	خانه	کوتاه مدت	آسیب پذیری اجتماعی و اقتصادی		آسیب پذیری سیستماتیک	سهام ساختمان
جانمایی(تغییر مکان) نقل مکان	ضرر اقتصادی	پناهگاه اضطراری خانه‌های موقت				سیستم‌های حمل و نقل
اثرات مالی (مالیاتی) ورشکستگی از دست دادن شغل بازسازی	سلامت	خسارت مستقیم فزایش قیمت وقفه اقتصادی اختلال در تامین/تدارکات				شریان‌های حیاتی و سیستم‌های زیر ساختی
اندوه روانی صدمات سخت	وقفه‌های اجتماعی	تلفات مرگ و میر قطع درمان و بهداشت				
استرس خانواده بی نظمی محله		لوازم اضطراری جدایی خانواده				تاسیسات حیاتی

شکل ۱۰. طرح گرافیکی عمومی از مفهوم و اهداف SYNER-G

در حال حاضر، یک تلاش تحقیقاتی رو به پیشرفت برای افزایش درک آسیب پذیری‌های عناصر اجتماعی مختلف در خطر پذیری یک سیستم (شهرستان، منطقه، شبکه تأسیسات و غیره) به منظور توسعه روش‌ها و ابزارهای مناسب با در نظر گرفتن وابستگی اجزای درونی و سیستم‌های میانی از جمله ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی تحت نظر پروژه اروپایی SYNER-G با همکاری اولین مؤسسه این مقاله وجود دارد. (www.SYNER-g.eu) شکل ۱۰ مفاهیم و اهداف اصلی SYNER-G را به صورت گرافیکی نشان می دهد. علاوه بر انتخاب پیشرفته ترین توابع آسیب پذیری فیزیکی و اجتماعی– اقتصادی، دارایی‌ها (ساختمان‌ها، سیستم‌های شریان‌های حیاتی، زیر ساخت‌های حمل و نقل، جامعه، اقتصاد)، بهبود و توسعه چیزهای جدیدتر در مواقع نیاز با توجه به طرح‌های متمایز و طرح پیشنهادی مناسب ترین ابزارها، انتخاب سناریوهای لرزه ای در سطح سیستم، تلاش‌های پژوهشی مداوم بر توسعه روش منحصر به‌فرد دستیابی آسیب پذیری در یک سطح سیستم با در نظر گرفتن وابستگی‌های بین اجزای خطر پذیری (فیزیکی و غیر فیزیکی) تمرکز دارد، تعلق به سیستم‌های مختلف و میان سیستم‌های مختلف به عنوان یک اصل در شهر و مقیاس منطقه ای وجود دارد. یک ابزار و نرم افزار منبع باز مناسب برای مقابله با آسیب پذیری سیستمیک در جهت پیشرفت مدیریت و ارزیابی خطر پذیری لرزه ای ساخته خواهد شد، در حالیکه اثر روش و ابزارها و مطالعات موردی خاص انتخاب شده در شهر و مقیاس منطقه ای معتبر خواهند شد.

مدیریت و پیشگیری خطر پذیری لرزه ای

تجزیه و تحلیل ارزش جهانی

تجزیه و تحلیل خطر پذیری لرزه ای متداول به ارزیابی اثر مستقیم (معمولاً در شرایط اقتصادی و تلفات) از اجزای جدا شده براساس خطر لرزه ای و آسیب پذیری فیزیکی عناصر، محدود شده است. مطالعات پیشرفته خطر پذیری لرزه ای تأسیسات شریان‌های حیاتی و زیر ساخت‌ها باید شامل آسیب پذیری اجتماعی و کاربردی با در نظر گرفتن روابط کارکردی (عملکردی) بین اجزای مختلف فعالیت‌های شهری (تولید، مصرف، تبادل، تعویض) و روابط بین شبکه ای با محیط اطراف شهر یا روستا می باشد. در این راه هر سیستم به عنوان بخشی لاینفک از سناریوی خطر پذیری لرزه ای به عنوان بخشی از سیستم شهری تجزیه و تحلیل می شود، در حالیکه مسائل اصلی سیستم تأسیسات تشخیص داده می شوند. و این از طریق تجزیه و تحلیل اجزای خطر پذیری "ارزش جهانی" انجام می شود که یک روش ابتکاری توسعه یافته توسط پروژه ریسک یو ای ۲۰۰۴-۲۰۰۱ می باشد.

هدف از تجزیه و تحلیل جهانی، شناسایی مسائل اصلی و اهمیت نسبی هریک از شبکه‌های تأسیسات از طریق رتبه بندی مناسب ارزش عناصر در معرض براساس عوامل مختلف است که نقش هر عضو در سیستم شهری را توصیف می کند. در این راه ارزش جهانی هر عضو ریسک نه تنها به ارزش یا محتوای ویژه مستقیم (فیزیکی و انسانی) بستگی دارد بلکه به ارزش غیر مستقیم /غیر مادی که توسط منفعت و بخش‌های مرتبط در کل سیستم شهری که در زمان ویژه نشان داده شده نیز بستگی دارد. سه دوره عادی، بحرانی و بازسازی در رابطه با وقوع یک رویداد زلزله مشخص شده است. ارزیابی" ارزش جهانی " در دوره‌های مختلف می تواند یک ابزار قدرتمند جهت اولویت بندی اقدامات قبل از زلزله و کمیت اهمیت کلی سیستم‌های تأسیساتی پیوسته و پیچیده متفاوت می باشد. (پیتی لاکیز ات آل۲۰۰۶) معیارهای مختلفی از جمله ویژگی‌های عملیاتی، با استفاده از زمین، جمعیت تحت تأثیر، تلفات انسانی، وزن اقتصادی و اجتماعی زیر متوسط، بحران و شرایط بهبود آن، شناسایی شعاع اثر زیست محیطی و غیره برای آن استفاده می شود. در حالیکه واحدهای اندازه گیری مربوطه برای ارزیابی و شناسایی "اصلی" "مهم" "ثانویه" اجزاء و نقاط ضعف سیستم استفاده می شود، شاخص‌های کمی و کیفی مناسب پس از آن برای هر دو دوره تعریف می شود.

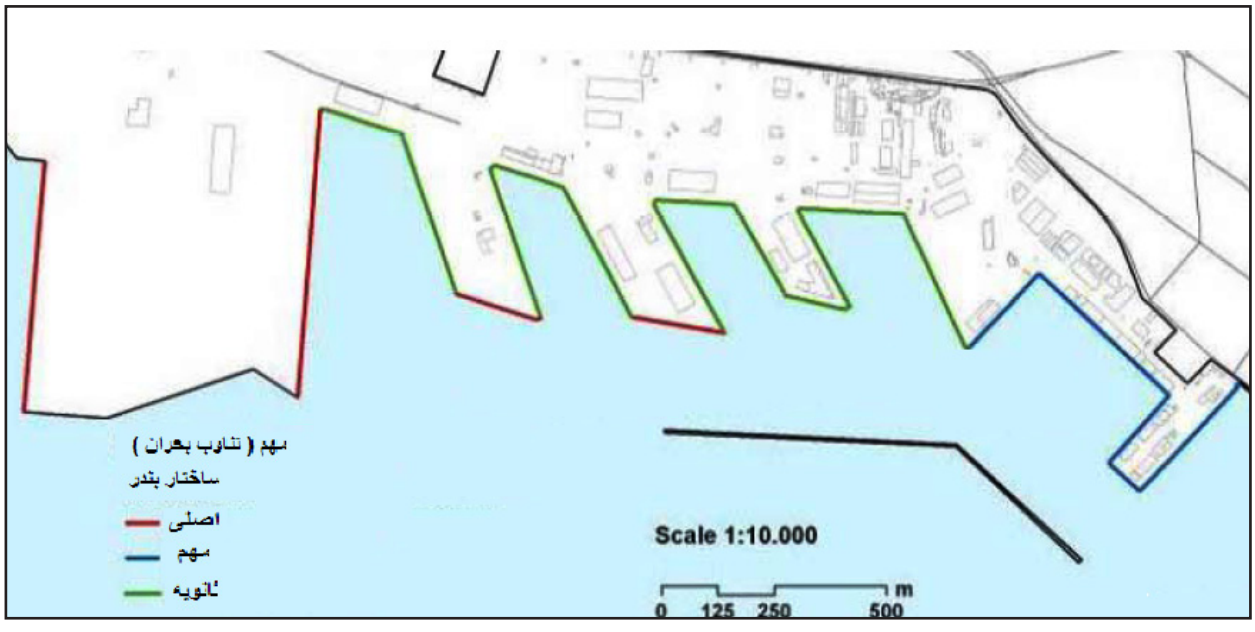
جدول ۱. شاخص‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل ارزش‌های جهانی و طبقه بندی اهمیت ساختار اسکله بندر تسالونیکی

دوره			ساختارهای اسکله		
بازسازی	بحرانی	عادی	توضیحات	شاخص ها	اجزاء
			حداکثر حواله کشتی‌های قادر به لنگر انداختن	عمق عملیات	عملیاتی
		-	تجهیزات جایگزین برای پوشش دادن به فعالیت ها	استفاده از جایگزین (افزونگی)	عملیاتی
			تأثیر شعاع . نوع	تأثیر شعاع	فعالیت‌های شهری و عمل متقابل

یک روش برای تجزیه و تحلیل ارزش جهانی سیستم‌های زیر ساختی و تأسیسات در تسالونیکی در چارچوب پروژه ملی اس آر ام لایف(۲۰۰۷-۲۰۰۳)بکار گرفته شده است. (پیتی لاکیز ات آل ۲۰۰۷؛ پیتی لاکیز ات آل ۲۰۱۰) یک مثال برای شاخص‌های استفاده شده جهت طبقه بندی اهمیت اسکله تجهیزات انتقالی تسالونیکی در جدول ۱ فراهم شده است. عملیات اسکله انتقالی در هنگام بحران و پس از آن برای عکس العمل‌های بازسازی موفق و انعطاف پذیری بدنبال حادثه زمین لرزه بزرگ بسیار مهم است. نقشه GIS نمایشگر مفهوم عناصر عمده اصلی و ثانویه در خطر پذیری دوباره بازسازی شده را نشان می دهد. به عنوان یک مثال نمایشگر، شکل ۱۱ طبقه بندی اهمیت زیر ساخت‌های اسکله بندر تسالونیکی در طول دوره بحران را نشان می دهد.

سیاست احیا و استراتژی پیشگیری

برنامه‌های پیشگیری قبل زلزله باید براساس موازین اولویت بندی مناسب باشد تا تکنیک‌های مهندسی با ابزارهای تجزیه و تحلیل اقتصادی و تصمیم گیری یا جنبه‌های سیاسی را ترکیب کند. شناسایی عناصر "اصلی" " مهم" "ثانویه" در خطر پذیری در دوره



شکل ۱۱. طبقه بندی اهمیت ساختارهای بندر تسالونیکی در طول دوره بحران

عادی یک اولویت بندی براساس اهمیت فعالیت‌ها و ارزش‌های سیاسی و اجتماعی و تقاضای روزانه برای سرویس دهی فراهم می کند.

طرح مدیریت خطر می تواند فعالیت‌های قبل از زلزله را برای مقاوم سازی (یا تقویت) اعضای مهم و حیاتی در محیط شهری افزایش دهد و یک سازمان مؤثر خدمات عمومی و مقامات محلی برای دوره بحران فراهم کند. برای دوره "بازسازی" Recovery یک طرح مدیریت مؤثر باید زمان احیا، تلاش‌ها و هزینه را به حداقل برساند. به منظور دستیابی ارزیابی‌های قابل اعتماد در زمان مورد نیاز برای بازسازی، داشتن تأسیسات و شرکت‌های عامل، همکاری بازیگران محلی (دوامیان) باید منحنی احیا را برای هر عضو در هر سیستم تأسیسات با کارشناسان آنها و استفاده از ارزیابی‌های کیفی اساسی انجام گیرد.

روش استفاده از خط مشی "ارزش جهانی" با استفاده از طبقه بندی اجرای سیستم تأسیسات اصلی، مهم و ثانویه براساس ارزش‌های جهانی آنها (SRM-LIFE) توسعه داده شد. ترکیب ارزیابی "ارزش جهانی" و ارزیابی آسیب پذیری ممکن است در صورت ضرورت با استفاده از "نظر متخصصین" به منظور برآورد اولویت‌ها و حسابرسی برای زیان‌های اجتماعی، اقتصادی، برای سیستم شریان‌های حیاتی ویژه و سناریوی لرزه ای داده شده باشد.

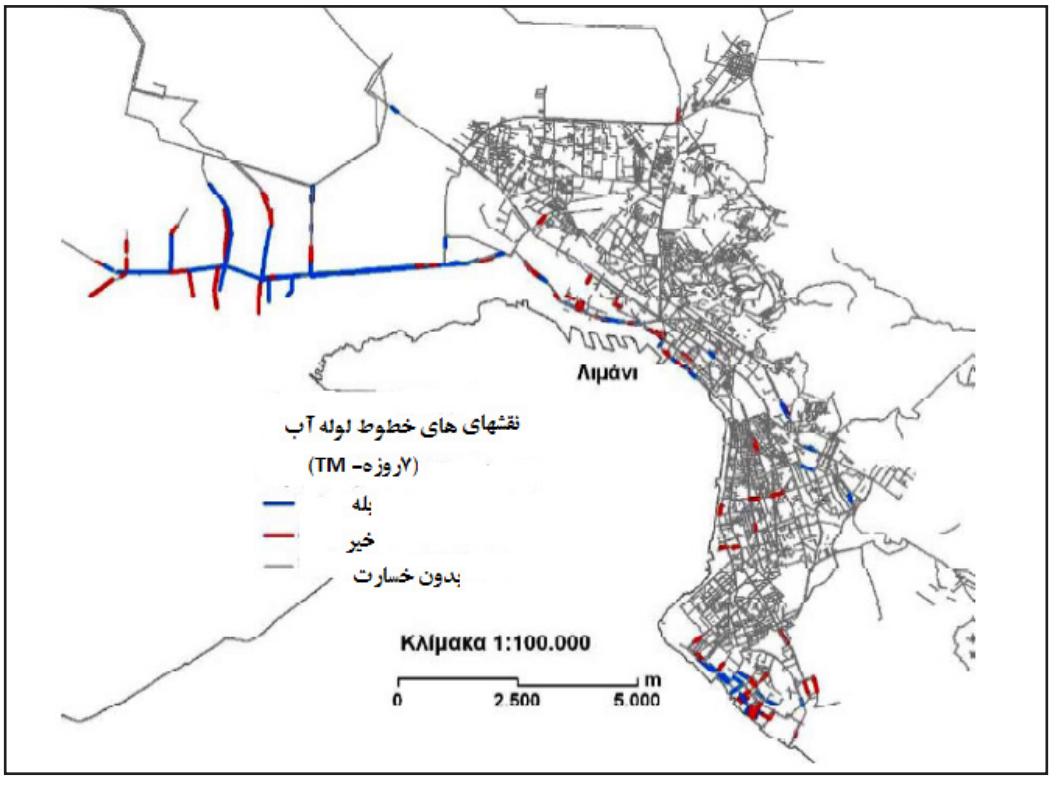
این روش برای شهر تسالونیکی بکار رفته است. (پیتی لاکیز ات آل۲۰۰۷ ؛ پیتی لاکیز ات آل۲۰۱۰) جدول ۲ نمونه ای از اولویت‌های مقاوم سازی خطوط لوله فراهم نموده است. منحنی احیا نیز در همکاری با مقامات محلی براساس نیروی در دسترس بشر و توانایی هایشان، تجربه محلی و تخصص تعریف شده است. شکل ۱۲ سطح عملکرد خطوط لوله آب را در ۷ روز بعد از حادثه لرزه برای سناریوی ۴۷۵ روزه نشان می دهد. با فرض اینکه فرآیند ترمیم بلافاصله پس از زلزله شروع شود

جدول ۲: ماتریس تجزیه و تحلیل خطر پذیری، خطوط لوله‌های لرزه ای اولویت‌های مقاوم سازی

خطر پذیری شهری/خطر لرزه ا ی	اولویت ها		
	اصلی	مهم	ثانویه
شکست	اولویت ۱	اولویت ۱	اولویت ۲
نشست	اولویت ۲	اولویت ۲	اولویت ۴

اقدامات مقاوم سازی – تجزیه و تحلیل تصمیم گیری

احیای لرزه ای سازه بهترین راه برای کاهش زیان‌های لرزه ای است. چندین معیار متضاد و عدم قطعیت‌های ذاتی مختلف در خطر لرزه ای و سیستمهای پاسخگو، بطور سیستماتیک در هر تصمیم گیری برای طرح‌های مداخله گنجانیده شده تا برای کاهش خطر پذیری



شکل ۱۲. نقش خطوط لوله سیستم آب تسالونیکی ۷روز پس از حادثه زلزله ای (سالTM=۴۷۵)

زلزله بکار گرفته شود. (پارک ۲۰۰۴) عوامل مختلف مانند عملکرد ساختاری و یا هزینه ساختاری مستقیم، تلفات جانی و خسارات اقتصادی ثانویه باید مد نظر گرفته شود.

براساس تجزیه و تحلیل تصمیم گیری برای شناسایی سطح قابل اطمینان هدف بهینه برای تاب آوری (rehabitation) یک ساختار داده شده در برابر خطر لرزه ای همانند بهترین راه حل میان چندین طرح تاب آوری متوالی، عملکردهای پیشگیری متفاوت می توانند شناسایی و اجرا شوند. آخرین تصمیم گیری در عملکردهای پیشگیری و سطح مداخله باید براساس نتایج تخمین زده در کاهش زیان‌های بالقوه باشد، هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم برای عملکردهای پیشگیری مختلف و زیان‌های اقتصادی پیش بینی شده برآورد گردد. مدل‌های هزینه – سود برای ارزیابی سودآوری سرمایه دولتی یا خصوصی در مقاوم سازی لرزه ای ارائه شده است. تجزیه و تحلیل هزینه – سود (CBA) یک روش سیستماتیک برای ارزیابی تصمیمات است که درجامعه تأثیر گذار می باشد راه‌های مختلفی برای هدایت کردن وجود دارد که بستگی به اطلاعات یک نفر و ماهیت آن مشکل دارد. در حالت استراتژی‌های پیشگیری لرزه ای، یک مقایسه بین هزینه‌های سرمایه گذاری پیش روی پیشگیری به سود و منفعت پیشگیری (به عنوان مثال: کاهش زیان، کاهش تلفات و کاهش در توقف کارسیستم تأسیسات) به اتمام رسید و مطالعات عمده برای ساختمان‌ها انجام شد. به عنوان مثال کسانی که در Fema,chang and shinozouka,kanda and shah ذکر شده اند. این مدل‌ها اجازه می دهند میان جایگزین‌ها با تعیین ارزش‌های پولی به هزینه‌ها و منافع بوجود آمده در آینده و حسابداری آنها در حال حاضر برای تنزیل نرخ تورم و بهره مقایسه صورت گیرد. در مورد تسالونیکی، اثرات از سه طرح پیشگیری است که می تواند برای کاهش ضررهای احتمالی سهام ساختمان مورد بررسی قرار گرفته، بکار برده شود (پیتی لاکیز ات آل۲۰۰۷) و همچنین از جمله برخی از پیشرفته ترین مدل‌ها برای رفتار سیستم شبکه‌ها بشمار می آید. (آکوستی و کیامبولی۱۹۹۷؛۱۹۹۸؛کونویوتر ات آل۲۰۰۱؛ چنگ ۲۰۰۳؛ سلیگسون ات آل۲۰۰۳) با این حال، گرچه اقدامات خاص پیشگیری به عنوان پذیرش ارزش دیده خواهد شد ولی نتیجه گیری قبلی نیست و به یک ارزیابی دقیق از هزینه‌ها و منافع تحت سناریوهای مختلف خطر نیاز دارد. تصمیم نهایی مشروط به بودجه در دسترس و سطح مطلوب از مداخله و البته سطح پیش بینی شده از آسیب فیزیکی برای سناریوی لرزه ای ویژه است. در نهایت اشاره

شده که یک برنامه مدیریت خطر پذیری مؤثر و دقیق باید براساس نظرات مقایسه ای از ضررهای تخمین زده شده، از طریق ارزیابی اثرات نسبی اقدامات مختلف پیشگیری باشد.

زمان واقعی پیشگیری خطر پذیری لرزه ای

در نهایت یک پیشرفت مهم در مدیریت خطر پذیری تأسیسات با استفاده از داده، برآورد خسارت زمان واقعی تحت سکوهای GIS پیش بینی می شود. داده‌های دقیق تر و در نتیجه قابل اعتمادتر می تواند پایه ای برای خدمات اضطراری، پیش بینی شدت خسارت و توزیع فضایی برای حوادث آینده، برآوردهای ضرر برای هر عنصر مادی و غیر مادی در استراتژی‌های خطر پذیری و پیشگیری باشد. سیستم‌های هشدار دهنده زود هنگام زلزله (EEW) عمدتاً شامل مرحله لرزه ای همزمان است. این‌ها شامل نسل تولید نقشه‌های برآورد زمان واقعی حرکت زمین به عنوان محصولات زمان واقعی زلزله شناسی و یا نسل تولید سیگنال‌های هشدار دهنده مستقیم از داده ابزاری آن- لاین می باشد. سیستم‌های پاسخ سریع بلافاصله پس از زلزله تشکیل می شود و تخمینی از توزیع شدت تکان زمین (نقشه‌های لرزش) یا صدمات فیزیکی و تلفات (نقشه‌های خسارت) را ارائه می دهد. این نقشه‌ها می تواند خدمات مستقیم تیم‌های جستجو و نجات را به نواحی ای که بیشتر نیاز دارد برسانند و به مقامات ایمنی شهر در عملکرد اورژانس کمک می کند.

تاکنون تلاش‌های انجام شده (به عنوان مثال اگوچی ات آل۱۹۹۷؛ شی می زد و یامازاکی ۱۹۹۸؛ ناکایاما ات آل۲۰۰۴) ثابت کرده است که این سیستم‌ها احتمالاً قدرتمند ترین و مؤثرترین راه برای پیشگیری خطر پذیری لرزه ای، کاهش عدم قطعیت‌های مبهم در همه روش‌های دیگر می باشد. خلاصه ای از کار انجام شده در طول دهه‌های گذشته با توجه به توسعه روش‌های جدید و راه اندازی برنامه‌های کاربردی جدید برای سیستم‌های پاسخ سریع زلزله می باشد که نقش برآورد ضررهای زلزله در شبه زمان واقعی بعد از یک زلزله که توسط اردیک ات آل(۲۰۱۰) تهیه شده را به عهده دارد. در حال حاضر ابزارهای برآورد خسارات عملیات نزدیک به زمان واقعی می توانند براساس منطقه تحت پوشش آنها (سیستم‌های محلی و جهانی) به دو گروه اصلی طبقه بندی کرد. سیستم‌های تخمین خسارت نزدیک به زمان واقعی جهانی یا منطقه ای شامل هشدار خطر جهانی و سیستم هماهنگی، آژانس جهانی مانیتورینگ نجومی کاهش خطر پذیری زلزله، ارزیابی سریع زلزله‌های جهانی برای پاسخ، سیستم USGS و روش‌های -NERIES EIERS می باشد. هم اکنون در چند منطقه از جهان چندین سیستم محلی (منطقه، شهر یا امکانات خاص) قادر به محاسبه خسارت و تلفات در نزدیک زمان واقعی وجود دارند. به عنوان مثال سیستم گزارش فوری زمین لرزه تایوان، سیستم تخمین زمان واقعی خطر زلزله در یوکاهاما (READY)، سیستم پیشگیری زمان واقعی خطر زمین لرزه شرکت گاز توکیو (SUPREME) و سیستم پاسخ سریع زلزله استانبول که برآورد خسارت نزدیک زمان واقعی پس از زلزله را فراهم می کند. تقریباً همه این سیستم‌ها براساس ارزیابی تقاضا در زمان واقعی از آرایش (در صف آودن) ابزار حرکت قوی متراکم و برآورد خسارت براساس اختراع شناخته شده از عناصر در معرض خطر و روابط آسیب پذیری مرتبط می باشد. پس از وقوع زلزله نقشه‌های توزیع آسیب و لرزش به صورت اتوماتیک براساس داده اندازه گیری شدت حرکات زمین دریافت شده از ایستگاه زمین، موجودی ساختمان و روابط آسیب پذیری بوجود می آید. دومی احتمالاً یکی از نقاط ضعف می باشد، از آنجائی که آنها در واقع وابسته به زمان نیستند در حالیکه هر دو کیفیت ساختار قدرت و خطر وابسته به زمان هستند. بنابراین توسعه داده موجودی قابل اعتماد در سیستم آسیب پذیری وابسته به زمان و طرح‌های ارزیابی ضرر یک پیش شرط است.

نتیجه گیری

فرآیند مدیریت خطر دقیق شامل پیشگیری، آمادگی، پاسخ و اقدامات بهبود در سه دوره زمانی عادی، بحرانی و بازیابی می باشد. تفکیک بین فرآیندها و دوره‌های مختلف می تواند به ارزیابی توزیع هر فاز در مدیریت ایمنی کامل کمک کند. سیاست کاهش خطر پذیری زلزله معتبر به رویکرد چند رشته ای برای برآورد نیازهای منابع پاسخ اضطراری و اثرات اجتماعی – اقتصادی زلزله‌های بزرگ در مناطق شهری نیاز دارد. عواقب اقتصادی (مستقیم و غیر مستقیم) و نتایج اجتماعی زمین لرزه باید با سطح خطر پذیری قابل تحمل تراضی باشد.

از ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای برای تعیین خسارت‌های بالقوه در یک منطقه مشخص یا در سهام (Portfolio) ویژه تأسیسات، شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌ها براساس زمین لرزه‌های آینده استفاده می شود. وجود برنامه‌های آمادگی براساس برآورد اثر زلزله و کاهش نتایج آنها، مهمترین وظایف ایمنی شهر است. برای تحقق این وظایف، سناریوهای ضرر و زیان زلزله‌های عظیم باید توسعه یابد تا زیان‌های پیش بینی شده را کاهش داده و عملکردهای بازسازی را بهبود بخشد.

سناریوهای خطر پذیری لرزه ای مشخصات موجودی، نوع، آسیب پذیری عناصر مختلف ریسک را همانند خطر لرزه ای، خصوصیات ژئوتکنیکی و پاسخ سایت از خصوصیات دینا میکی چینه بندی خاک اصلی برای سناریوهای لرزه ای مختلف مورد توجه قرار می دهد. بنابراین تخمین آسیب پذیری وضررو زیان تاسیسات وزیر ساختها بر اساس تجزیه وتحلیل خطر لرزه ای ویژه سایت با استفاده از داده موجودی در دسترس ومنحنی‌های شکنندگی کافی ارزیابی می شوند. شرایط محلی سایت و پاسخ لرزه ای ویژه زمین، مرسوم به مطالعه منطقه بندی، نقش کلیدی در تجزیه تحلیل آسیب پذیری و ارزیابی، ایفا می کند.

تجزیه وتحلیل سیستم‌های زیر ساختی فیزیکی در مقوله ابعاد سیستمهای وابسته، برای مثال مشخصات سیستم‌های زیر ساختی، روابط علت ومعلولی درون سیستمی و داخل سیستمی، اثرات زیست محیطی مانند تغییرات آب وهوا، وضع پاسخ، انواع شکست، تعیین خطر پذیری‌های وابسته وگردشی، بازده بینش‌های جدید در وضع سیستم‌های زیر ساختی ویک نتیجه توسعه فکر بر خطر پذیری، بازده‌های تصمیم گیری از زیر ساخت‌های حیاتی است. تجزیه وتحلیل وابسته می تواند روش‌های تخمین ضرر و زیان را افزایش داده و استراتژی‌هایی جهت طرح قوی و رشد زیر ساخت‌ها را نشان دهد.

شناسایی عناصر" اصلی"، "مهم" وثانویه" در معرض خطر در دوره "عادی" اولویت بندی‌هایی با توجه به اهمیت فعالیت ها، ارزش‌های اقتصادی وسیاسی و درخواست‌های روزانه برای سرویس دهی فراهم می کند. طرح مدیریت بحران می تواند فعالیت‌های قبل از زلزله را برای اهمیت مقاوم سازی و اجزای حیاتی در محیط شهری افزایش داده و یک سازمان موثر خدمات عمومی و مقامات محلی برای دوره "بحران " فراهم سازد. برای دوره "بازیابی"طرح مدیریت کارآمد باید زمان مرمت (بازسازی)، تلاش‌ها و هزینه‌ها را به حداقل رساند.

در کل خطر زلزله احتمال ضعیف اما تاثیرات اقتصادی واجتماعی زیادی دارند. هدف از استراتژی مدیریت خطر پذیری،بخصوص برای تاسیسات،حفظ ایمنی جامعه است و همچنین خسارت فیزیکی وآسیب اقتصادی واجتماعی را کاهش می دهد. همه تصمیمات بر اساس انتخاب خطرپذیری مورد قبول برای سناریوی لرزه ای برآورد شده است. انتخاب خطر پذیری قابل قبول و سناریوها یا سناریوی لرزه ای مناسب باید سطح جزئیات خطر لرزه ای مطالعه ریز طبقه بندی شده، تمایلات بازیگران محلی (دوامیان) و مرکزی، بودجه موجود، توانایی مالی جامعه و شهر بدون غفلت از عدم قطعیت‌های فیزیکی و معرفتی درگیر در همه راههای سیاست کاهش خطرپذیری زلزله را ترکیب کند.

آسیب پذیری واقعی و خطرپذیری مربوطه هریک از اعضاء ممکن است با اقدام متقابل پیشگیری مناسب کاهش یابد. تصمیم برای پیشگیری تأسیسات برخلاف خطر لرزه ای یک موضوع کاملا پیچیده شامل بخشهای مختلف مانند دولت، مقامات محلی، شرکت‌های تأسیساتی یا صنعت بیمه است. علاوه بر این تصمیم گیری به تنهایی خیلی مشکل است زیرا باید بر اساس نتایج ارزیابی ریسک لرزه ای تأسیسات گرفته شود که این مقوله شامل عدم قطعیت‌های گوناگون، با توجه به خطر لرزه ای، آسیب پذیری، مراحل برآورد خسارت در اجرا می باشد. نتایج ضرر و زیان برای اولویت بندی اندازه گیری‌های پیشگیری قبل زلزله مانند مقاوم سازی یا افزایش اجزاء با خطرپذیری بالاتر استفاده می شود. علاوه بر این نتایج ضرر و زیان (خسارت) به عنوان راهنمایی برای سیاست مرمت موثر مورد توجه قرار می گیرد.

در نهایت، تاثیر بالقوه زلزله‌های بزرگ در جوامع شهری با استفاده از عملکردهای درست و بموقع پس از یک زلزله ویرانگر را می توان کاهش داد. تکنولوژی مدرن اجازه اندازه گیری در تکان‌های عظیم زمین در نزدیک زمان واقعی برای مناطق شهری در معرض خطرپذیری لرزه ای می دهد و باید بیشتر توسعه یابد .

منابع

Alexoudi M.N., Kakderi, K. and Pitilakis, K.D. (2008c). Seismic Risk of Interdependent Lifeline System

Using Fuzzy Reasoning. Proc. 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE).

Alexoudi, M. (2005). Contribution to seismic assessment of lifelines in urban areas. Development of a

holistic methodology for seismic risk. PhD Thesis, Civil Engineering Department, Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).

Alexoudi, M., Manou, D. and Pitilakis, K. (2008a). Seismic vulnerability analysis of waste-water system.

Methodology and application for Düzce and Kocaeli earthquakes. Proc. 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), Beijing, China.

Alexoudi, M., Manou, D., Chatzigogos, Th. and Pitilakis, K. (2010). Influence Of Local Site Conditions In The Seismic Risk Assessment of The Water System in Düzce (Turkey). Proc. 6th National Conference of Geotechnical and Environmental Engineering, Volos, Greece (in Greek).

Alexoudi, M.N., Kakderi, K.G. and Pitilakis, K.D. (2008b). Advanced Fragility Curves of Interdependent Lifelines Using Decision Making Process. Proc. 1st International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE'08).

Amin, M. (2001). Toward Self-Healing Energy Infrastructure Systems. IEEE Computer Applications in Power, Vol. 14, No. 1, pp. 20-28.

Anastasiadis, A. (1994). Contribution to the determination of the dynamic properties of natural Greek soils. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).

Anastasiadis, A., Raptakis, D. and Pitilakis, K. (2001). Thessaloniki's Detailed Microzoning: Subsurface Structure as basis for Site Response Analysis. Pure and Applied Geophysics – PAGEOPH, Vol. 158 No. 12, pp. 2597-2633.

Anastassiadis, A.J. and Argyroudis, S.A. (2007). Seismic Vulnerability Analysis in Urban Systems and Road Networks. Application to the City of Thessaloniki, Greece. Sustainable Development and Planning, Vol. 2, No. 3, pp. 287-301.

Anderson, E. (2008). Central American Probabilistic Risk Assessment (CAPRA): objectives, applications and potential benefits of an open access architecture. Global Risk Forum, GRF Davos, Switzerland.

Apostolidis, P., Raptakis, D., Roumelioti, Z. and Pitilakis, K. (2004). Determination of S-wave velocity structure using microtremor and SPAC method applied in Thessaloniki (Greece). Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 24, pp. 49-67.

Applied Technology Council (1985). Earthquake Damage Evaluation Data for California. Report ATC-13, Applied Technology Council, Redwood City, California, U.S.A.

Argyroudis, S. (2010). Contribution to seismic vulnerability and risk of transportation networks in urban environment. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece (in Greek).

Argyroudis, S., Pitilakis, K. and Anastasiadis, A. (2005). Roadway Network Seismic Risk Analysis in Urban Areas: The case of Thessaloniki - Greece. Proc. International Symposium of GEOLINE, Lyon. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Augusti, G. and Ciampoli, M. (1997). Optimal distribution of seismic upgrading interventions to maximize the expected flow in a road network. VII IFIP WG 7.5. Boulder, CO: VII IFIP WG 7.5.

Augusti, G. and Ciampoli, M. (1998). Multi objective optimal allocation of resources to increase the seismic reliability of highways. Mathematical Methods of Operations Research, Vol. 47, No. 1, pp. 33–49.

Badal, J. and Samardzhieva, E. (2003). Prognostic estimations of casualties caused by strong seismic impacts. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.

Bal, I.E., Crowley, H. and Pinho, R. (2008a). Displacement-Based Earthquake Loss Assessment for an Earthquake Scenario in Istanbul. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 11 No. 2, pp. 12-22.

Bal, I.E., Crowley, H., Pinho, R. and Gülten Gülay, F. (2008b). Detailed assessment of structural characteristics of Turkish RC building stock for loss assessment models. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 28, No. 10-11, pp. 914-932.

Basoz, N., and Kiremidjian, A. (1996). Risk Assessment for Highway Transportation Systems. Stanford, Calif.: J.A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Report No. 118.

Bernhardt, K.L.S. and McNeil, S. (2004). An Agent Based Approach to Modeling the Behavior of Civil Infrastructure Systems. Engineering Systems Symposium, Tang Center, MIT.

Brown, Th., Beyeler, W. and Barton, D. (2004). Assessing Infrastructure Interdependencies: the Challenge of Risk Analysis for Complex Adaptive Systems. International Journal of Critical Infrastructures, Vol. 1, No. 1, pp. 108-117.

Chang, S.E. (2003). Evaluating disaster mitigations: Methodology for urban infrastructure systems.Natural Hazards Review, Vol. 4, No. 4, pp. 186–196.

Chang, S.E. and Shinozouka, M. (1996). Life-cycle cost analysis with natural hazard risk. Journal of Infrastructure Systems, ASCE, Vol. 2, No. 3, pp. 62–78.

Coburn, A. and Spence, R. (2002). Earthquake protection, Second edition, John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 0-471-49614-6.

Der Kiureghian, A. and Song, J. (2008). Multi-scale Reliability Analysis and Updating of Complex Systems by use of Linear Programming. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 93, No. 2, pp. 288-297.

Ditlevsen, O. and Madsen, H.O (1996). Structural Reliability Methods. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Douglas, J., Serrano, J.J., Comte, J., Bouc, O., Arnal, C., Robida, F., Modaressi, H., Logtmeijer, C., Vowles, G. and Holt, I. (2007). Risk Assessment for the Road Network in the French-Iralian Border Region using web Services. Seventh IIASA-DPRI Forum on Integrated Disaster Risk Management -Stresa - Italie.

Dueñas-Osorio, L., Craig, J.I. and Goodno, B.J. (2007). Seismic Response of Critical Interdependent Networks. Earthquake

Services in Urban Areas. Proc. IX International Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR'05, Rome.

Hada, Y., and Meguro, K. (2000). Optimum Restoration Model Considering Interactions among Lifeline Systems-Interactions Among Restoration Activities of Lifeline Utilities. Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering.

Haimes, Y.Y., and Jiang, P. (2001). Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures. Journal of Infrastructure Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 1-12.

Hoshiya, M. and Ohno, H. (1985). A System Dynamic Model in Seismic Performance Assessment of Electric Power and Water Supply Networks. Proc. Trilateral Seminar – Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan, pp. 181-189.

Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 173-188.

JCSS, (2008). Risk Assessment in Engineering Principles, System Representation & Risk Criteria. Joint Committee for Structural Safety, http://www.jcss.ethz.ch/.

Kakderi, K. and Pitilakis, K. (2011). Seismic performance and reliability of port facilities – The case of Thessaloniki (Greece). Proc. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago, Chile.

Kakderi, K., Alexoudi, M. and Pitilakis, K. (2007). Seismic Risk Analysis of Interdependent Lifeline systems. Proc. 4th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering.

Kakderi, K., Alexoudi, M. and Pitilakis, K. (2008). Seismic Risk Analysis of Interdependent Lifeline Systems. Proc. 3rd Greek Conference on Earthquake Engineering and Engineering Seismology (in Greek).

Kameda, H. (2000). Engineering Management of Lifeline Systems Under Earthquake Risk. Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering.

Kanda, J. and Shah, H. (1997). Engineering role in failure cost evaluation for 790 buildings. Structural Safety, Vol. 19, No. 1, pp. 79–90.

5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Kappos, A., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, Ch. and Penelis, Gr. (2006). A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 4, No. 4, pp. 391-413.

Karaca, E. (2005). Regional Earthquake Loss Estimation: Role of Transportation Network, Sensitivity and Uncertainty, and Risk Mitigation. PhD thesis, MIT, Cambridge, MA.

Kim, Y.S., Spencer, B.F., Song, J., Elnashai, A.S. and Stokes, T. (2007). Seismic Performance Assessment of Interdependent Lifeline Systems. MAEC Report, Mid America Earthquake Research Center, University of Illinois, Urbana-Champaign, CD Release 07-16.

Kunreuther, H., Cyr, C., Grossi, P. and Tao, W. (2001). Using cost-benefit analysis to evaluate mitigation for lifeline systems. MCEER research projects and accomplishments:2000–2001.

LESSLOSS, (2004-2007). Risk Mitigation for Earthquakes and Engineering and Structural Dynamics, Special Issue on Earthquake Engineering for Electric Power Equipment and Lifeline Systems, Vol. 36, No. 2, pp. 285-306.

EC8 (1998). Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance -Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.

Eguchi, R.T., Goltz, J.D., Seligson, H.A., Flores, P.J., Blais, N.C., Heaton, T.H. and Bortugno, E. (1997).

Real Time Loss Estimation as an Emergency Response Decision Support System: The Early Post- Earthquake Damage Assessment Tool (EPEDAT). Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 4, pp. 815-832.

Eidinger, J. (1993). Fire Conflagration and Post-Earthquake Response of Power and Water Lifelines. Proc. 4th DOE of Energy Natural Phenomena Hazards Mitigation Conference, Atlanta, GA.

Elgamal, A., Yang, Z., Parra, E. and Ragheb, A. (2001). CYCLIC 1D. UCSD.

Erdik, M. and Aydinoglu, N. (2002). Earthquake performance and vulnerability of buildings in Turkey. Report prepared for World Bank Disaster Management Facility, Washington, DC. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Erdik, M. and Fahjan, Y. (2006). Damage scenarios and damage evaluation in 'assessing and managing earthquake risk.' In: Oliveira CS, Roca A, Goula X (eds), Assessing and managing earthquake risk. Springer, Netherlands, pp. 213–237.

Erdik, M., Aydinoglu, N., Fahjan, Y., Sesetyan, K., Demircioglu, M., Siyahi, B., Durukal, E., Ozbey, C., Biro, Y., Akman, H. and Yuzugullu, O. (2003). Earthquake risk assessment for Istanbul metropolitan area. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 2, No. 1, pp. 1–25.

Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M.B., Hancilar, U. and Zulfikar C. (2010). Rapid Earthquake Loss Assessment After Damaging Earthquakes. Chapter 21, in Earthquake Engineering in Europe, Garevski, M. and Ansal, A. (Eds), Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering, Vol. 17, Part 6, pp. 523-547, DOI: 10.1007/978-90-481-9544-2_21. FEMA (1992). A benefit–cost model for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA-227Vols. 1 and 2. Sacramento, CA: Federal Emergency Management Report, 1992.

Franchin, P., Lupoi, A. and Pinto, P.E. (2006). On the Role of Road Networks in Reducing Human Losses after Earthquakes. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 2, pp.195-206.

Giannini, R. and Vanzi, A. (2000). Seismic Reliability of Electric Networks and Interaction with other Damage Indicators. Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering.

Giannini, R., Pinto, P.E. and Vanzi, I. (1999). Earthquake Hazard Analysis Software: ASKxELP. Assessment of Seismic Risk for Electric Power Networks and Interaction with other Indicators of Seismic Damage. National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley, U.S.A.

Goretti, A. (2005). A Probabilistic Model Able to Handle Interaction Among Road Network, Buildings and Emergency

No. 12, pp. 1403- 1423. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Nuti, C., Rasulo, A. And Vanzi, I. (2007). Structural Safety Evaluation of Electric Power Supply at Urban Level. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Special Issue on Earthquake Engineering for Electric Power Equipment and Lifeline Systems, Vol. 36, No. 2, pp. 245-263.

O'Rourke, M.J. and Ayala, G. (1993). Pipeline damage due to wave propagation. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 9, pp. 1490-1498.

Ostrom, D.K. (2003). SERA II. Proc. 6th U.S. Conference and Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE, Monograph No. 25, pp. 587-596.

Pachakis, D. and Kiremidjian, A. (2003). The use of Simulation in Disaster Response Planning and Risk Management of Ports and Harbors. Proc. 6th U.S. Conference and Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE, Monograph No. 25.

Pachakis, D. and Kiremidjian, A. (2004). Estimation of Downtime-Related Revenue Losses in Seaports Following Scenario Earthquakes. Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 2, pp. 427–449.

Paolucci, R. and Pitilakis, K., (2007). Seismic Risk Assessment of Underground Structures under Transient Ground Deformations. in Pitilakis K. (Ed.). Earthquake Geotechnical Engineering, Chap.18, pp. 433-459, Springer.

Papaioannou, Ch. (2004). Technical Report Research Program SRM-LIFE, Seismic Hazard Scenarios: Probabilistic Analysis of Seismic Hazard. Coord. K.Pitilakis, Thessaloniki.

Park, J. (2004). Development and application of probabilistic decision support framework for seismic rehabilitation of structural systems. Thesis, Georgia Institute of Technology.

Peerenboom, J., Fisher, R. and Whitfield, R. (2001). Recovering from disruptions of interdependent critical infrastructures. Proc. Workshop on Mitigating the Vulnerability of Critical Infrastructures to Catastrophic Failures, Lyceum, Alexandria, Virginia.

Penelis, Gr.G., Kappos, A.J., Stylianidis, K.C. and Panagiotopoulos, C. (2002). 2nd level analysis and vulnerability assessment of URM buildings. Proc. International Conference on Earthquake Loss Estimation and Risk Reduction, Bucharest, Romania.

Pitilakis, K. and Anastasiadis, A. (1998). Soil and site characterization for seismic response analysis. Proc. XI ECEE, Paris, Invited Lecture, pp.65-90.

Pitilakis, K., Alexoudi, A., Argyroudis, S., Monge O. and Martin, C. (2005a). Chapter 9: Vulnerability assessment of lifelines. C.S. Oliveira, A. Roca and X. Goula ed. Assessing and Managing Earthquake Risk. Geo-Scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk mitigation: Developments, Tools and Techniques. Springer Publ.

Pitilakis, K., Alexoudi, A., Argyroudis, S., Monge, O. and Martin, C. (2006a). Earthquake Risk Assessment of Lifelines. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 4 No.4, Special Issue: The Risk-Ue Project (Ed. Atilla Ansal), pp. 365-390.

Pitilakis, K., Alexoudi, M., Argyroudis, S. and Anastasiadis, A. (2006b). Seismic Risk Scenarios for an Efficient Risk Landslides. Research Project, European Commission, Sixth Framework Programme, Priority 1.1.6.3, Global Change and Ecosystems, Contract Number: GOCE-CT-2003-505448.

Li, J., and He. J. (2002). A recursive decomposition algorithm for network seismic reliability evaluation. Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 8, pp. 1525-1539.

Little, R.G. (2002). Controlling Cascading Failure: Understanding the Vulnerabilities of Interconnected Infrastructures. Journal of Urban Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 109–123.

Liu, G.-Y., Liu, C.-W., Wang, Y.-J. and Jean, W.-Y. (2004). Seismic Risk Analysis of Power Transmission System. Proc. 3rd Taiwan-Japan Workshop on Lifeline Performance and Disaster Mitigation.

Lupoi, G., Franchin, P., Lupoi, A., Pinto, P.E. and Calvi, G.M. (2008). Probabilistic Seismic Assessment for Hospitals and Complex-Social Systems. IUSS Press, Pavia, Italy.

Manou, D., Alexoudi, M., Raptakis, D. and Pitilakis, K. (2007). Düzce (M7.2, 1999) earthquake: Damage Correlation with the microzonation study and vulnerability assessment of the water system in Düzce, Turkey. Proc. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (4ICEGE), Thessaloniki, Greece Paper No. 1621.

Manou, D., Manakou, M., Alexoudi, M., Anastasiadis, A. and Pitilakis, K. (2010). Microzonation study of Düzce, Turkey. Proc. 5th International conference on recent advances in Geotechnical Earthquake engineering and Soil Dynamics and Symposium in honour of professor I. M. Idriss, San Diego, CA, Paper No. 7.12b.

Menoni, S. (2001). Chains of damages and failures in a metropolitan environment: some observations on the Kobe earthquake in 1995. Journal of Hazardous Materials, Vol. 86, No. 1, pp. 101–119.

MERP, (2002-2005). Marmara Earthquake Rehabilitation Programme - An Integrated intervention for the Rehabilitation of Düzce, Research Project, European Commission, Republic of Turkey, Prime Minister Project, Implementation Project, PIU-ID-MERP-2002-2004, 2002-2005.

Mid-America Earthquake Center (MAEC) (2009). MAEviz Software. <http://mae.cee.uiuc.edu/software_and_tools/maeviz.html>.

Nakayama, W., Shimizu, Y. and Koganemaru K. (2004). Development of super dense realtime disaster mitigation system for urban gas supply network. Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Special Issue.

NIBS (2004). HAZUS: Hazard US: Earthquake Loss Estimation Methodology. National Institute of Building Sciences, NIBS document 5200-03, Washington, DC.

Nojima, N. and Kameda, H. (1991). Cross Impact Analysis for Lifeline Interactions. Proc. 3rd US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Los Angeles, California, TCLEE/ASCE, Monograph No. 4, edited by M. A. Cassaro, pp. 629- 638.

Nuti, C. and Vanzi, I. (1998). Assessment of Post-Earthquake Availability of Hospital System and Upgrading Strategies. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27,

Engineering, Beijing, China, 8 pp.

Porter, K.A., Jaiswal, K.S., Wald, D.J., Greene, M. and Comartin, C. (2008b). WHE-PAGER Project: a new initiative in estimating global building inventory and its seismic vulnerability. Proc. 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China 8 pp.Porter et al. (2008).

Raptakis, D. (1995). Contribution to the determination of the geometry and the dynamic characteristics of soil formations and their seismic response. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).

Raptakis, D.G., Anastasiadis, A.J., Pitilakis, K.D. and Lontzetidis, K.S. (1994a). Shear wave velocities and damping of Greek natural soils. Proc. 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, Vol. 1, pp. 477-482.

Raptakis, D.G., Karaolani, E., Pitilakis, K. and Theodulidis, N. (1994b). Horizontal to vertical spectral ratio and site effects: The case of a down-hole array in Thessaloniki (Greece). Proc. XXIV General Assembly, ESC, Athens, Vol. 3, pp.1570-1578.

Rinaldi, S.M., Peerendoom, P. and Kelly, T.K. (2001). Identifying, Understanding, and Analyzing Critical infrastructure interdependencies. IEEE Control Systems Magazine, Vol. 21, No. 6, pp. 11-25.

RISK-UE, (2001-2004). An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios with Applications to Different European Towns. Research Project, European Commission, DG XII2001-2004, CEC Contract Number: EVK4-CT-2000-00014.

Rubinstein, R.Y. (1981). Simulation and Monte Carlo Method. Wiley, New York. Rubinstein, R.Y. and Melamed, B. (1998). Modern Simulation and Modeling. Wiley, New York (ISBN 0-471-17077-1).

Santos, J.R., and Haimes, Y.Y. (2004). Modeling the Demand Reduction Input-Output (I-O) Inoperability Due to Terrorism of Interconnected Infrastructures. Risk Analysis, Vol. 24, No. 6, pp. 1437-1451.

Scawthorn, C. (1992). Lifeline Interaction and Post- Earthquake Functionality. Proc, 5th U.S- Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, pp. 441- 450.

Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J. and Pestana, J.M. (2003). Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Frame work. Proc. 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Keynote Presentation, H.M.S. Queen Mary, Long Beach, California. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Seligson, H.A., Ballantyne, D.B., Huyck, C.K., Eguchi, R.T., Bucknam, S. and Bortugno, E. (2003). URAMP (utilities regional assessment of mitigation priorities) – a benefit-cost analysis tool for water, wastewater and drainage utilities: Methodology development. Proc. 6th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, TCLEE, Long Beach, California.

Selva, J., Kakderi, K., Alexoudi, M. and Pitilakis, K. (2010). Serviceability of a system of interdependent components (submitted).

Shimizu, Y. and Yamazaki, F. (1998). Real-Time City Gas Network Management: The Case of Thessaloniki (Greece). In Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, Eds. S.T. Wasti and G. Ozcebe, Springer, pp.229-244.

Pitilakis, K., Alexoudi, M., Kakderi, K., Manou, D., Batum, E. and Raptakis, D. (2005b). Vulnerability analysis of water systems in strong earthquakes. The case of Lefkas (Greece) and Düzce (Turkey). Proc. International Symposium on the Geodynamics of Eastern Mediterranean: Active Tectonics of the Aegean, Istanbul.

Pitilakis, K., Anastasiadis, A. and Raptakis, D. (1992). Field and Laboratory Determination of Dynamic Properties of Natural Soil Deposits. Proc. 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Vol. 5, pp.1275-1280.

Pitilakis, K., Anastasiadis, A., Kakderi, K., Alexoudi, M. and Argyroudis, S. (2010c). The role of soil and site conditions in the vulnerability and risk assessment of lifelines and infrastructures. The case of Thessaloniki (Greece). Proc. 5th International conference on recent advances in Geotechnical Earthquake engineering and Soil Dynamics and Symposium in honour of professor I. M. Idriss, San Diego, CA. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Pitilakis, K., Anastasiadis, A., Kakderi, K., Argyroudis, S. and Alexoudi M. (2007a). Seismic Zonation, Vulnerability Assessment and Loss Scenarios in Thessaloniki. Proc. 2nd Japan-Greece Workshop on Seismic Design, Observation, and Retrofit of Foundations, Tokyo, Japan.

Pitilakis, K., Anastasiadis, A., Kakderi, K., Argyroudis, S. and Alexoudi M. (2007b). Vulnerability Assessment and Risk Management of Lifelines, Infrastructures and Critical Facilities. The case of Thessaloniki's Metropolitan area. Proc. 4th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering, June 25-28, Thessaloniki, Greece, paper ID: 1774.

Pitilakis, K., Makra, K. and Raptakis, D. (2001). 2D vs 1D site effects with potential applications to seismic norms: The cases of EURO-SEISTEST and Thessaloniki. Invited lecture in XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, pp. 123-133, Istanbul – Turkey.

Pitilakis, K., Raptakis, D., Makra, K., Manakou, M. and Chávez-García, F.J. (2010b). EUROSEISTEST 3D Array for the Study of Complex Site Effects. Akkar, D. Sinan; Gülkan, Polat; Eck, Torild van (Eds.), Earthquake Data in Engineering Seismology, Predictive Models, Data Management and Networks. Series: Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering, Vol. 14.

Pitilakis, K.D., Anastasiadis, A.I., Kakderi, K.G., Manakou, M.V., Manou, D.K., Alexoudi, M.N., Fotopoulou, S.D., Argyroudis, S.A. and Senetakis, K.G. (2010a). Development of comprehensive earthquake loss scenarios for a Greek and a Turkish city: Seismic hazard, Geotechnical and Lifeline Aspects. Earthquakes and Structures, submitted for review.

Porter, K., Jaiswal, K., Wald, D., Earle, P. and Hearne, M. (2008a). Fatality models for the U.S. Geological Survey's Prompt Assesment of Global Earthquake for Response (PAGER) system. Proc. 14th World Conference on Earthquake

Proc. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.

Tolone, W.J., Wilson, D., Raja, A., Xiang, W.-N., Hao, H., Phelps, S. and Johnson, E.W. (2004) Critical Infrastructure Integration Modeling and Simulation. Proc. 2nd Symposium in Intelligence and Security Informatics, Tucson, Arizona.

Tromans, J. (2004). Behaviour of buried water supply pipelines in earthquake zones. PhD Thesis, Imperial College of Science, Department of Civil and Environmental Engineering, University of London.

Vanzi, I. (1996). Seismic Reliability of Electric Power Networks: Methodology and Application. Structural Safety, Vol. 18, No. 4, pp. 311–327. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13 Santiago, Chile

Vanzi, I. (2000). Structural upgrading strategy for Electric Power Networks under Seismic Action. International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 29, No. 7, pp. 1053– 1073.

Veneziano, D., Sussman, J., Gupta, U. and Kunnumkal, S.M. (2002). Earthquake Loss under Limited Trasnsportation Capacity: Assessment, Sensitivity and Remediation. Proc. 7th USNCEE, Boston, MA, USA.

Werner, S.D., Taylor, C E. and Ferritto, J.M. (1999). Seismic Risk Reduction Planning for Ports Lifelines. Proc. 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE, Monograph No. 16.

Wong, F.S. and Isenberg, J. (1995). Effects of Lifeline Interaction on Seismic Performance of Communications Networks. Proc. 4th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE/ASCE, Monograph No.6, edited by J. O' Rourke, pp. 557-564.

Yao, B., Xie, L. and Huo, E. (2004). Study Effect on Lifeline Interaction under Seismic Conditions. Proc. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada. Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Liam Finn, W.D., Harder Jr., L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R.,

Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 10, pp. 817-833.

Damage Estimation System-SIGNAL. Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.

Shinozuka, M. and Tanaka, S. (1996). Effects of Lifeline Interaction Under Seismic Conditions. Proc. 11th World Conference on Earthquake Engineering.

Shinozuka, M., Cheng, T.C., Feng, M. and Mau, S.T. (1999). Seismic performance analysis of electric power systems. Research Progress and Accomplishments 1997–1999, MCEER, pp. 61–69.

Shinozuka, M., Hwang, H. and Tanaka, S. (1993). GIS - Based Assessment of the Seismic Performance of Water Delivery System. Proc. 5th US-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, edited by K. Kawashima, H. Sugita and T. Nakajima, PWRI 3198, Public Works Research Institute, Tsukuba, Japan, pp. 233-249.

Shinozuka, M., Murachi, Y., Dong, X., Zhu, Y. And Orlikowski, M.J. (2003). Seismic performance of highway transportation networks. Proc. China-US Workshop on protection of urban infrastructure and public buildings against earthquakes and man-made disasters, Beijing, China.

Song, J. and Der Kiureghian, A. (2003). Bounds on system reliability by linear programming. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 129, No. 6, pp. 627-636.

Sousa, M.L., Campos Costa, A., Carvalho, A. and Coelho, E. (2004). An automatic seismic scenario loss methodology integrated on a geographic information system. Proc. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada.

Spence, R. Ed (2007). Earthquake disaster scenario predictions and loss modelling for urban areas. LESSLOSS Report 7, IUSS Press, Pavia, Italy.

SRM-DGC, (2006-2008). Development and proposition for implementation of an efficient methodology and appropriate local instruments for the management, prevention and reduction of seismic risk in Düzce -Turkey, Grevena - Greece and Catania – Italy. Research project, Interreg III B Archimed, Code Number. A.1.010.

SRMLIFE, (2003-2007). Development of a global methodology for the vulnerability assessment and risk management of lifelines, infrastructures and critical facilities. Application to the metropolitan area of Thessaloniki. Research Project, General Secretariat for Research and Technology, Greece.

SYNER-G, (2009-2011). Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain. Research Project, European Commission, 7th Framework Programme, Contract Number: 244061.

Tadday, K. and Sahin, M. (2001). Situation analysis and recommendations related to improvement measures for drinking water supply system in Düzce. Proc. Symposium on Water Supply Situation in Earthquake Affected Region, Düzce.

Tang, A., and Wen, A. (2009). An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment. Computers and Geosciences, Vol. 35, No. 5, pp. 871-879.

Tang, A.P., Ou, J.W.A. and Tao, X. (2004). Lifeline Systems Interaction and their Seismic Performance Assessment.