



عنوان :

روشهای موجود برای بررسی شبکه حمل و

نقل بعد از بروز زلزله



بروز زلزله های شدید بخصوص در شهرهای بزرگ می تواند آسیبهای انسانی گسترده ای را به همراه آورد. شبکه حمل و نقل برای نجات جان و مجروحین زلزله را ارائه سریع و خدمات درمانی به آنان ، نقش اساسی دارد. لذا از شبکه حمل و نقل بعنوان شریان حیاتی نامرده می شود. برای کاهش آسیبهای انسانی احتمالی زلزله در هر شهر یا منطقه ای نیازمند به ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل در پاسخگویی به تقاضا، برای سفرهای امدادی بعد از زلزله می باشیم تا بتوانیم ضمن کسب آمادگی لازم برای مقابله با بحران، اولویت بندی اجزاء شبکه را از نظر بازسازی تعیین نماییم.

در این سمینار به ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل برای انجام سفرهای امدادی بعد از بروز زلزله با توجه به عرضه و تقاضا پرداخته شده است روش ارائه شده دارای پنج مرحله است.

ابتدا سناریو های مختلف زلزله تعیین می گردد. سپس میزان آسیبهای احتمالی شبکه حمل و نقل و وضعیت مراکز امدادی (عرضه) و تعداد مجروحین (تقاضا) شبیه سازی می گردد. برای اینکار از نمونه سازی مونت کارلو و LHS و توابع خرابی اجزاء آسیب دیده شبکه بدست می آید در مرحله بعدی توزیع و تخصیص سفرها انجام می شود و سرانجام معیارهای ارزیابی شبکه، مانند زمان سفر برای هر سناریو برآورد می گردد. در این سمینار شبکه های مختلفی مورد تحلیل قرار گرفته است. به کمک این روش می توان ضمن ارزیابی شبکه حمل و نقل بعد از زلزله، به برآوردی از وضعیت بحران بعد از زلزله دست یافت. همچنین مسیرها را اولیت بندی نموده و برای توسعه یا ایجاد دست یافت. همچنین مسیرها را اولیت بندی نموده و برای توسعه یا ایجاد راههای جدید تصمیم گیری کرد.



مراکز امدادی موجود را از نظر انجام تقویت اولیت بندی کرده و یا مراکز امدادی جدید را امکان یابی کرد، برای اولیت بندی کرده و یا مراکز امدادی جدید را مکان یابی کرد. برای مدیریت بحران و کنترل ترافیک پیش‌بینیها لازم انجام داده و تاثیر آنها را در عملکرد اجزاء شبکه حمل و نقل محاسبه کرد. این روش جدای از زلزله می تواند در مورد دیگری که شبکه حمل و نقل اعم ا شهری یا منطقه ای در معرض آسیب و کاهش ظرفیتهای احتمالی قرای می گیرد. مانند بارش باران یا برف سنگین و بروز تصادفات یا بمبارانهای هوائی مورد استفاده قرار گیرد.



|  |    |
|--|----|
| ۱-۱ مقدار  | ۲  |
| ۲-۱ اهداف و دست آوردهای پروژه                    | ۵  |
| ۲ بررسی کارهای انجام شده تاکنون                  | ۸  |
| ۱-۲ عملکرد اجزای شبکه بصورت مستقل                | ۹  |
| ۱-۱-۲ عملکرد فیزیکی و آسیب پذیری                 | ۱۰ |
| ۲-۱-۲ کارایی                                     | ۱۱ |
| ۱-۲-۲ ازائه معیارهای کارایی                      | ۱۱ |
| ۲-۲-۲ بررسی تأخیرهای وارد از خرابی               | ۱۷ |
| ۳-۲-۲ اولیت دهی پلها برای بازسازی                | ۲۰ |
| ۳-۲ عملکرد کلی شبکه حمل و نقل                    | ۲۳ |
| ۱-۳-۲ بررسی معیارهای کارایی شبکه تخریب شده       | ۲۴ |
| ۳-۳-۲ برآورد تأخیرهای وارده از خرابی             | ۳۵ |
| ۴-۳-۲ ارزیابی سیستم بیمارستانی منطقه‌ای          | ۳۸ |
| ۵-۳-۲ ارزیابی ریسک منطقه‌ای                      | ۴۲ |
| ۶-۳-۲ زمان جمع شدن افراد امداد رسان              | ۴۷ |
| ۴-۲ سفرهای ترافیکی بعد از زلزله                  | ۵۰ |
| ۱-۴-۲ رابطه بین حجم سفرها و بازسازی بعد از زلزله | ۵۰ |



- ۴-۱ عملکرد شبکه‌های حمل و نقل ایران در زلزله‌های گذشته ..... ۵۴
- ۴-۲ عملکرد شبکه‌های ح ۰ مل و نقل دنیا در زلزله‌های اخیر ..... ۵۵
- ۴-۲-۱ زلزله کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۵۶
- ۴-۲-۱-۱ پلها و راههای اصلی کوبه ..... ۵۷
- ۴-۲-۱-۲ راه آهن کوبه ..... ۵۹
- ۴-۲-۱-۳ سیستم متروی کوبه ..... ۶۰
- ۴-۲-۱-۴ فرودگاههای اطراف کوبه ..... ۶۰
- ۴-۲-۲ زلزله نورث ریج. کالیفرنیا آمریکا ۱۹۹۴ ..... ۶۰
- ۴-۲-۳ زلزله لوما پریتا، آمریکا ۱۹۸۹ ..... ۶۱
- ۴-۲-۴ زلزله ارمنستان ۱۹۸۸ ..... ۶۲
- ۴-۲-۵ زلزله کاستاریا ۱۹۹۱ ..... ۶۳
- ۴-۲-۶ زلزله مکزیکوسیتی، مکزیک ۱۹۹۵ ..... ۶۳
- ۴-۲-۷ زلزله فیلیپین ۱۹۹۰ ..... ۶۳
- ۴-۲-۸ زلزله ازمیت ترکیه ۱۹۹۹ ..... ۶۳
- ۵-۵ ستاریوی زلزله ..... ۶۸
- ۵-۱ کارهای انجام شده در دنیا در زمینه طراحی برمبنای سناریوی زلزله ..... ۶۹
- ۵-۲ پارامترهای موثر در تعریف سناریو ..... ۶۹
- ۵-۲-۱ زلزله ..... ۷۰
- ۵-۲-۲ مقیاس اندازه گیری زلزله ..... ۷۲

- ۵-۲-۳ آنالیز زلزله ..... ۷۲
- ۵-۲-۴ پهنه بندی لرزه ای ..... ۷۲
- ۵-۲-۵ روش پهنه بندی حرکات زمین تحت اثر زلزله ..... ۷۳
- ۵-۲-۱-۵ لرزه خیزی ..... ۷۳
- ۵-۲-۲-۵ کاهش شدت حرکات زمین در اثر دورشدن از مرکز زلزله ..... ۷۳
- ۵-۲-۳-۵ اثرات وضعیت محل بر روی حرکات زمین لرزه ..... ۷۴
- ۵-۲-۶ بررسی اثرات وضعیت محل برای پهنه بندی با دقت کم ..... ۷۴
- ۵-۲-۷ بررسی اثرات وضعیتی محل برای پهنه بندی با دقت کم ..... ۷۴
- ۵-۲-۸ بررسی اثرات وضعیت محل برای پهنه بندی با دقت زیاد ..... ۷۵
- ۵-۲-۹ کارهای انجام شده در دنیا در زمینه پهنه بندی لرزه ..... ۷۶
- ۶ تقاضا ..... ۷۹
- ۶-۱ سفرهای خدماتی ..... ۸۰
- ۶-۲ سفرهای امدادی ..... ۸۲
- ۶-۳ برآورد مجروحین ..... ۸۴
- ۶-۳-۱ ناحیه بندی ساختمانها ..... ۸۵
- ۶-۳-۲ طبقه بندی ساختمانها ..... ۸۶
- ۶-۳-۳ برآورد آسیبهای وارده به ساختمانها ..... ۸۶
- ۶-۳-۴ نسبت تلفات انسانی ..... ۹۱
- ۶-۳-۴-۱ اعتبار سنجی تلفات برای شهر تهران ..... ۹۵

- ۶-۳-۲ برآورد تلفات برای شهر تهران ..... ۹۶
- ۷ بررسی رفتارهای انسانی ..... ۹۹
- ۷-۱ رفتار رانندگان در هنگام وقوع زلزله ..... ۱۰۰
- ۷-۱-۱ عوامل موثر در وضعیت رفتار رانندگان ..... ۱۰۰
- ۷-۱-۲ مشکلات احتمالی ناشی از رفتار رانندگان وعوامل تشدید کننده آن ..... ۱۰۲
- ۷-۱-۲-۱ اشغال سطح خیابانها ..... ۱۰۲
- ۷-۱-۲-۴ بروز تصادفات احتمالی ..... ۱۰۳
- ۷-۱-۲-۵ وسایل نقلیه رها شده ..... ۱۰۴
- ۷-۱-۲-۶ هراس ناشی از زلزله و عواقب آن ..... ۱۰۴
- ۷-۱-۲-۷ افزایش طول سفرها در اثر عدم اطلاع ..... ۱۰۴
- ۷-۱-۳ راههای مواجهه با این مشکلات ..... ۱۰۴
- ۷-۱-۳-۱ آموزش و اطلاع رسانی ..... ۱۰۵
- ۷-۱-۳-۲ تخلیه و بازگشایی مسیر ..... ۱۰۵
- ۷-۲ رفتار رانندگان در استفاده از شبکه بعد از زلزله ..... ۱۰۶
- ۷-۳ رفتار نیروهای امنیتی و امدادی ..... ۱۰۷
- ۷-۴ رفتار نیروهای مدیریت امدادی و انتظامی ..... ۱۱۱
- ۸ برآورد عرضه ..... ۱۱۵
- ۸-۱ برآورد شبکه حمل و نقل بعد از زلزله ..... ۱۱۵
- ۸-۱-۱ اجزاء شبکه ..... ۱۱۵



- ۱۱۵..... ۱-۱-۱-۸ راهها
- ۱۱۷..... ۲-۱-۱-۸ تقاطعات
- ۱۱۹..... ۳-۱-۱-۸ پلها
- ۱۲۰..... ۲-۱-۸ پارامترهای ارزیابی شبکه
- ۱۲۱..... ۳-۱-۸ خرابی‌های مستقیم شبکه حمل و نقل بعد از زلزله
- ۱۲۲..... ۱-۳-۱-۸ خرابی بدنه راه
- ۱۲۴..... ۲-۳-۱-۸ تونل
- ۱۲۵..... ۳-۳-۱-۸ خرابی پل
- ۱۲۶..... ۴-۳-۱-۸ منحنیهای شکنندگی یا خرابی پلها
- ۱۳۰..... ۴-۱-۸ خرابی های غیر مستقیم شبکه حمل و نقل بعداززلزله
- ۱۳۱..... ۱-۴-۱-۸ خرابی تأسیسات جانبی مسیر
- ۱۳۱..... ۲-۴-۱-۸ عوامل ترافیکی
- ۱۳۲..... ۲-۸ برآورد مراکز امداد رسانی
- ۱۳۳..... ۱-۲-۸ پارامترهای مهم برای ارزیابی مراکز امدادی
- ۱۳۴..... ۲-۲-۸ ظرفیت پذیرش مجروح
- ۱۳۵..... ۳-۲-۸ عملکرد بیمارستان بعد از زلزله
- ۱۳۶..... ۴-۲-۸ خرابی بیمارستانها
- ۱۴۰..... ۹ توزیع
- ۱۴۰..... ۱-۹ شبیه سازی



- ۱-۱-۹ روشهای ضریب رشد ..... ۱۴۲
- ۲-۱-۹ ضریب رشد بکنواخت ..... ۱۴۳
- ۳-۱-۹ روش میانگین ضریب رشد ..... ۱۴۳
- ۴-۱-۹ مدل فراتر ..... ۱۴۴
- ۵-۱-۹ مدل دیترویت ..... ۱۴۵
- ۶-۱-۹ ضرایب رشد با محدودیت دوگانه (روش فورنیس) ..... ۱۴۵
- ۷-۱-۹ مزایا و معایب ضریب رشد ..... ۱۴۶
- ۸-۱-۹ مدل جاذبه ..... ۱۴۷
- ۹-۱-۹ محدودیتهای مدل جاذبه ..... ۱۴۹
- ۱۰-۱-۹ مدل فرصت بینابینی ..... ۱۵۰
- ۲-۹ توزیع به کک مدل‌های برنامه ریزی خطی ..... ۱۵۲
- ۳-۹ مقایسه بین مدل‌های توزیع ..... ۱۵۵
- ۱۰ مدل‌های تخصیص ..... ۱۵۹
- ۱-۱۰ تخصیص به روش هیچ یاهمه (کوتاهترین مسیر) ..... ۱۶۰
- ۱-۱-۱۰ الگوریتم کوتاهترین مسیر ..... ۱۶۱
- ۲-۱۰ تخصیص تعادل ی (ظرفیت محدود) ..... ۱۶۲
- ۱-۲-۱۰ روند تخصیص افزایشی ..... ۱۶۴
- ۲-۲-۱۰ روند با سرعت تغییرات زیاد و کم ..... ۱۶۵
- ۳-۳-۱۰ روند میانگین متوالی ..... ۱۶۵

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| ۱۰-۳     | تخصیص احتمالاتی                                  | ۱۶۶ |
| ۱۰-۳-۱   | تخصیص احتمالاتی بر مبنای شبیه سازی               | ۱۶۶ |
| ۱۰-۳-۲   | تخصیص احتمالاتی نسبی                             | ۱۶۸ |
| ۱۰-۴     | روش برنامه ریزی خطی                              | ۱۶۸ |
| ۱۰-۵     | روش <b>McLaughlin</b>                            | ۱۶۹ |
| ۱۱       | تحلیل ریسک                                       | ۱۷۱ |
| ۱۱-۱     | شبیه سازی مونت کارلو                             | ۱۷۱ |
| ۱۱-۱-۱   | مزایای نمونه سازی مونت کارلو                     | ۱۷۳ |
| ۱۱-۲     | نمونه سازی <b>Latin Hyper cube</b> یا <b>LHS</b> | ۱۷۳ |
| ۱۱-۳     | مقایسه بین نمونه سازی <b>LHS</b> و مونت کارلو    | ۱۷۵ |
| ۱۱-۴     | توابع توزیع برای شبیه سازی                       | ۱۷۶ |
| ۱۱-۴-۱   | توابع توزیع                                      | ۱۷۷ |
| ۱۱-۵     | دقت برآوردهای احتمالاتی                          | ۱۷۷ |
| ۱۲       | ارائه مدل  | ۱۸۲ |
| ۱۲-۱     | سناریوی زلزله                                    | ۱۸۲ |
| ۱۲-۲     | برآورد تقاضا                                     | ۱۸۴ |
| ۱۲-۳     | برآورد عرضه                                      | ۱۸۸ |
| ۱۲-۳-۱   | برآورد شبکه حمل و نقل                            | ۱۸۹ |
| ۱۲-۳-۲-۱ | <b>@ Risk</b>                                    | ۱۹۲ |

- ۱۲-۴-۱ الگوریتم کوتاهترین مسیر ..... ۱۹۴
- ۱۲-۴-۲ برنامه ریزی خطی ..... ۱۹۵
- ۱۲-۴-۳ نرم افزار مدل ..... ۱۹۶
- ۱۲-۴-۴ قابلیت توسعه ..... ۱۹۷
- ۱۲-۴-۴-۱ در نظر گرفتن ترافیک غیرامدادی رسانی ..... ۱۹۷
- ۱۲-۴-۴-۲ در نظر گرفتن وضعیت کنترل بر ترافیک ..... ۱۹۸
- ۱۲-۴-۴-۳ در نظر گرفتن احتمالی ظرفیت مراکز امداد شده رسانی ..... ۱۹۹
- ۱۲-۴-۴-۴ در نظر گرفتن احتمالی ظرفیت مراکز امداد رسانی ..... ۱۹۹
- ۱۲-۴-۴-۵ مبدا و مقصدها مجازی ..... ۱۹۹
- ۱۲-۴-۴-۶ استفاده از تابع ارزش زمان ..... ۱۹۹
- ۱۲-۵-۱ ارزیابی شبکه ..... ۲۰۰
- ۱۲-۵-۱-۱ ارزیابی کل شبکه ..... ۲۰۲
- ۱۲-۵-۲ ارزیابی اجزاء شبکه ..... ۲۰۴
- ۱۲-۵-۲-۱ تحلیل حساسیت ..... ۲۰۴
- ۱۳ بکارگیری مدل ..... ۲۰۲
- ۱۳-۱ شبکه ساده با یک مبدا و مقصد ..... ۲۰۸
- ۱۳-۱-۱ روند انجام تحلیل شبکه ..... ۲۰۹
- ۱۳-۲ شبکه متشکل از چند مبدا و مقصد ..... ۲۱۲
- ۱۳-۲-۱ نتایج تحلیل ..... ۲۱۴



۱۴- پیشنهادات برای کارهای آینده ..... ۲۱۹



|  |    |
|--|----|
| شکل ۱-۲ تابع کارآیی زمان   | ۱۴ |
| شکل ۲-۲  | ۲۱ |
| شکل ۳-۲ تابع عملکرد منطقی (a) حداقل معبرها (b) کوتاهترین مسیر                          | ۲۱ |
| شکل ۴-۲ قابلیت اطمینان بهینه شبکه حمل و نقل باتوجه به منابع در دسترس                   | ۲۳ |
| شکل ۵-۲ حداکثر جریان ترافیک در شبکه حمل و نقل بر حسب منابع در دسترس                    | ۲۳ |
| شکل ۶-۲ رابطه بین معیارهای کارایی T,D,Q نسبت به مقادیر قبل از زلزله برای قبل مختلف نرخ |    |
| خرابی ۱  | ۲۶ |
| شکل ۷-۲ همبستگی بین Q و D (نمونه نسبت به مقادیر از زلزله سنجیده شده‌اند)               | ۲۶ |
| شکل ۸-۲ فاصله نسبی جمعیت ساکن منطقه از مراکز امدادی                                    | ۲۸ |
| شکل ۹-۲ رابطه بین درصد جمعیت آسیب دیده و شدت زلزله                                     | ۳۹ |
| شکل ۱۰-۲ رابطه بین تعداد تخت کمپ بیمارستانی و فاصله حمل مجروح                          | ۴۱ |
| شکل ۱-۶ فلوچارت برآورد خرابی برای ساختمانهای مسکونی                                    | ۸۷ |
| شکل ۲-۶ نسبت خسارت وارده به ساختمانهای مسکونی در زلزله منجیل                           | ۸۸ |
| شکل ۳-۶ تابع آسیب پذیری ساختمانهای مسکونی به کاررفته در مطالعه JICA                    | ۸۸ |



شکل ۴-۶ میانگین ضریب خرابی بر حسب نمره سازه‌ای برای سازه‌های PCI و  $PGA = 0.22$

۹۰.....

شکل ۵-۶ نسبت تلفات زلزله در ایران ۹۴.....

شکل ۶-۶ نسبت تعداد تلفات زلزله روز هنگام به شب هنگام ۹۴.....

شکل ۷-۶ اعتبار سنجی تلفات برآورد شده کوپرن واسپنس ۹۵.....

شکل ۸-۶ توزیع تلفات انسانی در شب بدون نیروهای نجات (مدل گسل ری) ۹۱.....

شکل ۸-۱ توابع خرابی برای حالت‌های مختلف خرابی راه‌های شهری ۱۲۴.....

شکل ۸-۲ توابع آسیب‌پذیر برای حالت‌های مختلف خرابی اجرا شده به روش حفاری و

خاکبردای ۱۲۵

شکل ۸-۳ احتمال خرابی برای پلهای فولادی ۱۲۸.....

شکل ۸-۴ احتمال خرابی برای پلهای بتنی ۱۲۸.....

شکل ۸-۵ احتمال خرابی برای پل نوع ۱ ث اب برای شتاب  $g = 0.8$   $PGA = 0.8$  ۱۲۹.....

شکل ۸-۶ احتمال خرابی برای پل نوع ۳ ث اب برای شتاب  $g = 0.8$   $PGA = 0.8$  ۱۳۰.....

شکل ۸-۷ احتمال خرابی برای پل نوع ۶ ث اب برای شتاب  $g = 0.8$   $PGA = 0.8$  ۱۳۰.....

شکل ۸-۸ نمودار خرابی ساختمان بیمارستانها ۱۳۸.....

شکل ۹-۱ تفاوت بین توابع مختلف جاذبه ۱۴۸.....

شکل ۹-۲ مقایسه مابین روش جاذبه، فرصت بینابینی و فرصت بینابینی رقابتی ۱۵۶.....

شکل ۱۰-۱ توزیع هزینه‌هایی که در هر اتصال رانندگان آن رادرک می‌کنند ۱۶۷.....

شکل ۱۱-۱ رابطه بین  $X$  و  $F(x)$  و  $G(x)$  ۱۷۲.....

- شکل ۱۱-۲ مثال روش نمونه سازی آغازین بدون جایگزین ..... ۱۷۴
- شکل ۱۱-۳ مقایسه بین ث بپ و مونت کارلو ..... ۱۷۵
- شکل ۱۱-۴ ..... ۱۷۹
- شکل ۱۲-۱ روند کلی ارزیابی شبکه حمل و نقل بعد از بروز زلزله ..... ۱۸۴
- شکل ۱۲-۲ روند برآورد تقاضا (سفرهای امدادی) بعد از بروز زلزله ..... ۱۸۵
- شکل ۱۲-۳ روند برآورد عرضه مراکز امدادی ..... ۱۸۹
- شکل ۱۲-۴ تابع آسیب پذیری تول **Hazus 99** ..... ۱۹۱
- شکل ۱۲-۵ روند برآورد شبکه حمل و نقل ..... ۱۹۲
- شکل ۱۲-۶ وضعیتهای مختلف کنترل ترافیک ..... ۱۹۸
- شکل ۱۲-۷ روند توزیع و تخصیص در شبکه حمل و نقل بعد از بروز زلزله ..... ۲۰۰
- شکل ۱۲-۸ روند ارزیابی شبکه حمل و نقل بعد از بروز زلزله ..... ۲۰۱
- شکل ۱۳-۱ احتمال خرابی برای پل نوع **HBRI** برای شتاب  $g = 0.8$  **PGA** ..... ۲۰۷
- شکل ۱۳-۲ شبکه ساده با یک مبدا و مقصد ..... ۲۰۸
- شکل ۱۳-۲ نمودار تورنادو، تحلیل حساسیت برای متوسط زمان حمل مجروح برای شدت زلزله  $g = 60$  به روش نمونه سازی مونت کارلو ..... ۲۱۲
- شکل ۱۳-۵ شبکه متشکل مونت کارلو ..... ۲۱۲
- شکل ۱۳-۶ نمودار تورنادو، تحلیل حساسیت برای متوسط خرابی کل شبکه برای شدت زلزله  $g = 0.2$  با نمونه سازی **LHS** ..... ۲۱۵

شکل ۷-۱۳ نمودار تورنادو، تحلیل حساسیت برای متوسط خرابی کل شبکه برای شدت

زلزله  $g$  و ۰/۴ با نمودار LHS ..... ۲۱۶

شکل ۸-۱۳ نمودار تورنادو، تحلیل حساسیت برای متوسط خرابی کل شبکه برای شدت

$g$  ۰/۶ با نمونه سازی LHS ..... ۲۱۱

تصویر الف-۱ خرابی در بزرگراه هانشین کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۱

تصویر الف-۲ آتش سوزی بعد از زلزله در شهر کوبن ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۲

تصویر الف-۳ ترافیک بعد از زلزله در شهر کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۲

تصویر الف-۴ واژگونی پل در بزرگراه هانشین شهر کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۳

تصویر الف-۵ خرابی در بزرگراه هانشین شهر کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۳

تصویر الف-۶ خرابی پایه پل بزرگراه هانشین، کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۴

تصویر الف-۷ خرابی پل نیشینومیاکو با دهانه ۲۵۲ متری کوبه ژاپن ۱۹۹۵ ..... ۲۲۴

تصویر الف-۸ خرابی خط آهن وانسدا در راههای جانبی، کوبه ژاپن ..... ۲۲۵

تصویر الف-۹ خرابی پل گاویون کانیون نورث ریج، کالیفرنیا آمریکا ۱۹۹۴ ..... ۲۲۵

تصویر الف-۱۰ استفاده از ژاکت فولادی نورث ریج آمریکا ۱۹۹۴ ..... ۲۲۶

تصویر الف-۱۱ انفجار خط لوله گاز و تاثیر آن بر راه مجاور، نورث ریج ۱۹۹۴ ..... ۲۲۶

تصویر الف-۱۲ خرابی در آزاد راه نیمیتز، اکلندا، زلزله لوما پریتا آمریکا ۱۹۸۹ ..... ۲۲

تصویر الف-۱۳ پل خلیج اکلندا، لوما پریتا آمریکا ۱۹۸۹ ..... ۲۲۷

تصویر الف-۱۴ ماشین آتش نشانی در ترافیک شهر لنینکان، ارمنستان ۱۹۸۸ ..... ۲۲۸

تصویر الف-۱۵ تخریب بدنه راه بر اثر روانگرایی، کاستاریکا ..... ۱۹۹۱





- تصویرالف-۱۶ تخریب شدید بدنه راه بر اثر روانگرایی، کاستاریکا ..... ۱۹۹۱
- تصویرالف-۱۷ واژگونی تریلی درجاده، کاستاریکا ۱۹۹۱ ..... ۲۲۹
- تصویرالف-۱۸ تخریب بیمارستان، مکزیکو سیتی مکزیک ۱۹۹۵ ..... ۲۳۰
- تصویرالف-۱۹ خرابی پل کارمن، فیلیپین ۱۹۹۰ ..... ۲۳۰
- تصویرالف-۲۰ روانگرایی در مرکز شهر داگویان، فیلیپین ۱۹۹۰ ..... ۲۳۱
- تصویرالف-۲۱ بیمارستان رستم آباد، منجیل ایران ۱۹۹۰ ..... ۲۳۱
- تصویرالف-۲۲ تخریب پل قدیمی، منجیل ایران ۱۹۹۰ ..... ۲۳۲
- تصویرالف-۲۳ تخریب بزرگراه اروپایی، ازمیت ترکیه ۱۹۹۹ ..... ۲۳۲



| صفحه     | عنوان   |
|----------|---|
| ۴۹.....  | جدول ۱-۲- مثالی از ضرایب تاخیر (برای پیاده روی)                     |
| ۹۱.....  | جدول ۱-۶- نمره مقدماتی خطر سازه BSH بر مبنای ATC-21                 |
| ۹۱.....  | جدول شماره ۲-۶- نمادهای ضرایب اصلاح کارائی ساختمان                  |
| ۹۳.....  | جدول ۳-۶- نسبت تلفات در زلزله های ایران                             |
| ۱۱۸..... | جدول ۱-۸- طبقه بندی تقاطعات در تحلیل لرزه شبکه                      |
| ۱۲۰..... | جدول ۲-۸- معیارهای کارایی شبکه حمل و نقل در شرایط عادی              |
| ۱۲۳..... | جدول ۳-۸- مقادیر میانه و ضریب توزیع نرمال لگاریتمی برای راههای شهری |
| ۱۲۵..... | جدول ۴-۸- پارامترهای توابع خرابی تونل HAZUS99                       |
| ۱۲۷..... | جدول ۵-۸- خلاصه خرابی های ثبت شده در زلزله کوبه ۱۹۹۵                |
| ۱۲۸..... | جدول ۶-۸- ضرایب منحنیهای خرابی                                      |
| ۱۳۵..... | جدول ۷-۸- احتمال خرابی کامل و کوتاه مدت بیمارستان بر حسب درصد       |
| ۱۳۶..... | جدول ۸-۸- احتمال وقفه در خدمات بیمارستان                            |
| ۱۶۰..... | جدول ۱-۱۰- نمایی از طبقه بندی روشهای تخصیصی ترافیک                  |
| ۱۶۴..... | جدول ۲-۱۰- ضرایب اصلاح شده BPR و NCHRP 356 و 1988                   |
| ۲۰۷..... | جدول ۱-۱۳- درصد احتمال وقوع وضعیت خرابی برای سه نوع پل انتخابی      |
| ۲۰۹..... | جدول ۲-۱۳- مشخصات شبکه ساده با یک مبداء و مقصد                      |
| ۲۱۰..... | جدول ۳-۱۳- مقایسه بین نتایج روشهای مختلف نمونه سازی و مقدار تئوری   |



جدول ۱۳-۴ مقادیر آماری تحلیل معیارهای کارایی شبکه ساده (روش مونت کارل). ۲۱۱

جدول ۱۳-۵ مشخصات شبکه متشکل از دو مبدا و مقصد ..... ۲۱۳

جدول ۱۳-۶ مشخصات آماری معیاری ارزیابی شبکه برای سناریوهای مختلف (به روش

..... (LHS ۲۱۴



## فصل اول

### بیان مسئله و اهداف



زلزله های اخیر که در شهرهای بزرگ دنیا، در کشورهای چون ترکیه (۱۹۹۲)، تایوان، ژاپن (۱۹۹۵)، آمریکا (۱۹۹۴)، مزیک (۱۹۹۰)، ارمنستان (۱۹۸۶) روی داده است، یادآور وضعیت خطرناکی است که در صورت وقوع زلزله در شهرهای بسیار بزرگ می تواند رخ دهد. امروزه با وسعت گرفتن شهرها و افزایش تراکم شهری بخصوص در شهرهای واقع در کشورهای در حال توسعه، این خطر بیشتر خود را نشان می دهد. زیرا بسیاری از این شهرها از شبکه مناسب حمل و نقل شهری برخوردار نیستند و یا در مناطق با زلزله خیزی بالا قرار گرفته اند. بعلاوه اکثریت ساختمانهای مسکونی و خدماتی برمبنای آئین نامه ها ساختمانی مقاوم در برابر زلزله ساخته نشده اند. بروز زلزله ای با شدت بالا در این ابر شهرها می تواند حجم بالای تلفات انسانی و در عین حال آسیب گسترده امدادی و از بین رفتن شبکه حمل و نقل شهری را در پی داشته باشد. مدیریت بحران، بخصوص در ساوات و روزهای اولیه حادثه، برای کاهش ضایعات انسانی، دارای اهمیت بالایی است. این مسئله در زلزله ارمنستان (۱۹۸۶) بگونه ای و در زلزله کوبه ژاپن (۱۹۹۵) به صورتی دیگر کاملاً دیده شد. برای برنامه ریزی و آمادگی در برابر این وضعیت داشتن برآوردی از شدت تخریب و آسیبها، میزان نیازها و نحوه پاسخگویی مهم می باشد و در این راستا نقش شبکه های حیاتی بویژه حمل و نقل دارای اهمیت زیادی خواهد بود.

در خلال قرن بیستم بیش از ۱۰۰۰ زلزله منجر به تلفات انسانی در دنیا ثبت شده است. در حدود ۱/۵ تا ۲ میلیون نفر در این زلزله ها جان خود را از دست داده اند. (Pomonis et al. 1993) حدود یک سوم از این تلفات در چین بوده است که بزرگترین زلزله ثبت



شده در تایخ در آن رخ داده است. زلزله تانگشستان چین در سال ۱۹۷۶ در حدود ۲۵۰/۰۰۰ تا ۷۵۰/۰۰۰ کشته برجای گذاشت. این زلزله در نیمه های شب و در شهری که یک میلیون نفر از مردم آن در خانه ها غیر مقاوم خود خوابیده بودند، ۹۰٪ خانه ها مسکونی و ۷۵٪ ساختمانهای صنعتی تخریب شدند. در زلزله کانزو چین در سال ۱۹۲۰ بیش از ۱۸۰/۰۰۰ نفر کشته شدند و اکثر آنان در اثر شکست شیب و لغزش زمین در زیر خاک مدفون گشتند.

آسیبهای غیر مستقیم زلزله هم تلفات بالایی به بار می آورد. نمونه آن آتش سوزی ناشی از زلزله بزرگ کانتو ژاپن در سال ۱۹۲۳ می باشد که باعث تخریب شهرهای توکیو و یوکوهاما گردید. در این زلزله ۱۶۰/۰۰۰ نفر کشته شدند. بروز آتش سوزی و سبب بعلت وقوع زلزله در حوالی ظهر بود. در آن زمان در حدود یک میلیون اجاق ذغالی در خانه های چوبی برای تهیه غذا روشن بودند و این وضعیت باعث آتش سوزی وسیع گردید.

وضعیت ساختمانها با هم در تلفات انسانی نقش زیادی دارد. در زلزله سال ۱۹۹۲ ارزشمندان ترکیه ۵۴۷ نفر زنده ماندند، بسیاری از آنها به علت اینکه در هنگام وقوع زلزله در مسجد محل خود نماز می خواندند از آسیب مصون ماندند، ساختمان این مسجد تازه ساز و مقاوم در برابر زلزله بود. برعکس در زلزله سال ۱۹۹۳ در ایالت ماهاراشترای هند، زلزله ای با همان بزرگی باعث کشته شدن ۸۰۰۰ نفر مردمی شد که در خانه های غیر ایمن خود در خلال روز خوابیده بودند. زلزله جدای از تلفات انسانی خود آثار تخریبی زیادی دارد. زلزله های اخیر در شهرهای بزرگ دنیا واقع در کشورهای توسعه یافته



خسارتهای فراوان اقتصادی وارد کرده است. زلزله سال ۱۹۹۴ نورث ریج آمریکا ۲۰ میلیارد دلار و زلزله سال ۱۹۹۵ کوبن ژاپن ۱۰۰ میلیارد دلار خسارت ایجاد نمود.

کشور ما یکی از خطرناکترین موقعیتهای را در برابر زلزله دارا می باشد. عدم امکان پیشبینی وقوع آن، ضعف ساختانها و تأسیسات شهری در برابر زلزله و عدم آمادگی لازم برای مدیریت بحرانی تاکنون باعث شده است که تلفات بالای انسانی را در زلزله های اخیر داشته باشیم. زلزله اردبیل و مشکین شهر در شمال ایران با بزرگی ۵.۵ در سال ۱۳۷۶ اتفاق افتاد و مرگ ۸۰۰ نفر و ویرانی ۸۵۰ خانه مسکونی را در برداشت. زلزله بیرجند با بزرگی ۳ و ۷ در شرق ایران در هان سال باعث ۱۵۶۸ نفر کشته و ویرانی کامل ۶۵۰ و ۱۳ خانه گشت. در سال ۱۳۶۹ زلزله یکی از معروفترین زلزله ها در سالهای گذشته است که در اثر آن منطقه آبی به وسعت ۶۰۰/۰۰۰ کیلومتر مربع به لرزه در آمد و ۳۰/۰۰۰ کیلومتر مربع را در محوره در سفید رود شامل سه شهر لوشان، منجیل و رودبار را به کلی تخریب کرد و به منطقه روستائی وسیعی شامل ۱۶۰۰ روستا آسیب عمده وارد نمود. بیش از ۲۱۴۰۰۰ واحد مسکونی ۲۰۰ مرکز بهداشتی، دو بیمارستان ۱/۲۹۷ مدرسه و تعداد زیادی واحدهای تجاری، ۶۸ کارخانه صنعتی و همچنین اراضی تاسیسات کشاورزی، شبکه های ارتباطی و شبکه های نفت، گاز، آب، برق و تلفن دچار آسیبهای کلی گردید. میزان تلفات و آسیبهای انسانی در چند سال اخیر ایران را در جمله کشورهای آسیب پذیر دنیا از نظر زلزله قرار داده است. درحالی که در زلزله های نامبرده کانونهای زلزله و گسترده تاثیر آن بیشتر مناطق با تراکم مسکونی پایین را در برمی گرفته



است. بروز همین زلزله ها در مناطق مسکونی شهرها پرجمعیت کشور ما آثار بسیار وسیعی را در برخواهد داشت.

شهر تهران به عنوان پایتخت کشور، مزکز تصمیم گیری مدیریت نیروهای امداد و نجات در زلزله های گذشته بوده است. اما خود این شهر در صورتی که یک زلزله ۹ نسبتا شدیدی در آن رهخ دهد. با مسائل بسیاری مواجه خواهد شد. بر مبنای مطالعات پهنه بندی زلزله ای شهر تهران که با پشتیبانی آژانس همکاریهای بین المللی ژاپن JICA انجام شده است برای تهران دوره بازگشت زلزله ۱۵۰ سال را پیش بینی کرده اند. در حالیکه از آخرین زلزله تهران ۱۷۰ سال می گذرد. در این شهر و اطراف آن سه گروه گسل وجود دارد که هر کدام می تواند زمینه بروز یک زلزله بزرگ باشد.

شهر تهران گستره و وسیعی را در بر می گیرد. متوسط تراکم جمعیت آن ۱۱۰ نفر در هر هکتار می باشد در حالی که در بعضی مناطق شهری این تراکم در حدود ۳۵۰ نفر در هکتار می رسد. جمعیت شهر بر مبنای آمار ۱۳۷۵ برابر ۶/۷۴۲/۱۶۵ نفر است که این آمار در طول روز کاری بالاتر نیز می رود. نزدیک به ۴۶٪ از ساختمانهای قدیمی بوده و باقیمانده ساختمانها نیز لزوما از وضعیت سازه ای خوبی برخوردار نیستند. و در بعضی مناطق این نسبت به ۷۵٪ می رسد.

این در حالی است که در بعضی از مناطق تهران مانند منطقه ۱۷ که جمعیتی در حدود ۲۹۰/۰۰۰ را شامل می گردد، تنها دو بیمارستان و یک ایستگاه آتش نشانی قرار دارد. کوچه های ۳ و ۶ متری، درصد بالایی از کل مسیرهای شهری این منطقه را دربر می گیرد.





فضاهای باز و قابل دسترسی در این منطقه محدود می باشد. قدمت زیاد ساختمانها و کیفیت ساختمانی پایین و تراکم بالای جمعیت بیانگر فاجعه ای خواهد بود که در صورت بروز زلزله در این گونه مناطق خواهیم داشت. بررسی های انجام شده توسط JICA نشان می دهد که بروز زلزله ای به بزرگی ۷ و ۶ ریشتر توسط گسل ری می تواند ۳۸۰/۰۰۰ کشته بر جای بگذارد و در مناطقی مانند ۱۲ و ۱۱ شهر تهران، آمار کشته شدگان نزدیک به ۱۵ تا ۲۰ درصد کل جمعیت ساکن این منطقه خواهد بود.

بررسی های دیگر نیز که در مورد شهر تهران انجام شده است، آمار مشابهی از زلزله احتمالی شهر تهران ارائه می دهند. بر طبق یکی از این بررسیها در شهر تهران وقوع زلزله با بزرگی بیش از ۷ ریشتر محتمل است و در سطوح شهر می تواند حداکثر شتاب  $g$  برابر با ۰/۴ را ایجاد کند. در این صورت نسبت خرابی در حدود ۶۰٪ خواهد بود و ساختمانهای مسکونی و سیستم شریانهای حیاتی بیش از ۴ هفته از کار خواهد بود و حدود ۱/۶ میلیون نفر آسیب دیده و ۴۰۰/۰۰۰ نفر نیز خواهند مرد. در تهران ۱۴۵ بیمارستان وجود دارد و از ۲۷ ایستگاه آتش نشانی در سال ۱۳۷۰، ۴ عدد از آنها غیر مقاوم، ۱۸ تای آنها نیمه مقاوم و ۵ تای آنها مقاوم بوده اند. احتمال خرابی بعضی از پلهای بتنی روگذر وجود دارد (Eshgi ۱۹۹۱) در صورت بروز زلزله احتمال قطع برق کل شهر تهران بسیار بالا می باشد. خرابی در ایستگاههای برق قدیمی تر می تواند تمامی عملکرد شبکه را تحت تاثیر قرار دهد (Eshgi ۱۹۹۱) و باز سازی آن تا یک سال ممکن است طول بکشد. تهران پایتخت و مرکز تصمیم گیری کشور بوده و نزدیک به ۷۱٪ نیروی کاری کشور شامل ادارات دولتی، وزارتخانه ها و دیگر سازمانها در آن واقع شده اند که به



دیگر بخش های دیگر کشور سرویس می دهند. آسیب به این سیستم می تواند آثار منفی اجتماعی در برداشته و حتی بر ساختار حکوتی تاثیر بگذارد. مانند آنچه در بنگلادش بعد از سیل در ۱۹۷۴ اتفاق افتاد و یا آنچه بعد از زلزله ۱۹۷۲ نیکاراگوا و خشکسالی ۷۴- ۱۹۷۲ اتیوپی رخ داد.

اگر چه نمیتوان جلوی بروز زلزله را گرفت ولی می توان شدت آسیب های احتمالی را کاهش داد. امروزه در دنیا بطور وسیعی برای کاهش بلا یا تلاش می گردد. مناطق و شهرهای در معرض آسیب، دارای برنامه های مدیریت بحران بوده و با انجام اقدامات مختلف خود را مهیا برای مقابله با بروز حوادث می کنند. مردم کشور ما نیز مستحق این توجه و تلاش در جهت افزایش سطح ایمنی زندگی آنان می باشند و باید نجات جان افراد و خانواده آنها در صورت بروز زلزله های احتمالی مورد توجه قرار گیرد.

بعد از بروز زلزله از جمله با اهمیت ترین مسائل مطرح امداد رسانی و نجات مجروحین باقیمانده از حادثه است. مطمئناً دسترسی نیروهای امداد به ساختمانهای تخریب شده اهمیت زیادی دارد. برای انجام آن وجود راهپالی و مسیرهایی بین مراکز امداد و محل های تخریب شده مهم خواهد بود. نقش و ارزش هر مسیر با توجه به موقعیت آن در زمان بعد از زلزله و نقشی که تاکنون برای ما روشن است که با بروز زلزله های محتمل گسل های اطراف تهران تعداد قابل توجهی از پلها تخریب خواهد شد، بر اثر عوامل مختلف راهها بسته می گردد و همچنین شدت آسیب در بعضی مناطق شهر به مراتب بیشتر خواهد بود. اما هنوز برداشت درستی از انواع مشکلات و نحوه برخورد با آن وجود ندارد اندازه گیری زمان سفر درطول شبکه بعد از زلزله و یا زمانهای دسترسی و امداد برای



مناطق مختلف نمایانگر وضعیت بحران است. در مناطقی که میزان آسیبهای بالاتر باشد، مسیرهای منتهی به آن مناطق دارای ارزش بیشتری خواهد بود. سعی ما ارائه روش جدیدی برای ارزیابی شبکه حمل و نقل بعد از بروز زلزله با توجه به عرضه و تقاضا است.

#### ۱-۲- اهداف و دست آوردهای پروژه:

هدف اصلی این مطالعات با بررسی روشهای موجود ارائه روشی است که به کمک آن بتوان وضعیت شبکه حمل و نقل را بعد از بروز زلزله بررسی نمود. و از آن برای ارزش



گذاری اجزاء شبکه استفاده کرد. ملاک ارزیابی اندازه گیری متوسط زمان سفرهای امدادی بر روی شبکه می باشد.

انجام این مطالعات نتایج زیر را می تواند در برداشته باشد:

طراحی سناریوی زلزله و برآورد نسبی از وضعیت و شدت بحران بعد از زلزله  
ارائه الگوی ساختار بانکهای اطلاعاتی مربوط به ساختمانها و جمعیت، شبکه راهها و مراکز امدادی که برای تحلیل مورد نیاز می باشند. این بانکها می توانند منبع با ارزشی برای مطالعات دیگری در رابطه با آثار زلزله باشند.

شناسائی قسمتهای مهم و کلیدی شبکه جهت برنامه ریزی برای تقویت و بهینه سازی آن و تخصیص بودجه لازم

امکان ارزش گذاری بری راهها و الویت بندی برای سرمایه گذاری و بهبود و اصلاح آنها  
بررسی پایداری اجزاء شبکه حمل و نقل در برابر زلزله

بررسی شبکه امداد رسانی (بیمارستانها) در برابر زلزله

مکان یابی نقاط بحرانی در شهر با زمان دسترسی بسیار طولانی

مکان یابی نقاط جدید باری بیمارستانها و مراکز امداد رسانی

فراهم آوردن روشی برای اصلاح ساختار شبکه و ایجاد راهها و مسیرها جدید

کاهش یزان تلفات و آسیبهای انسانی با توجه به افزایش سرعت امدادرسانی در ساعات

اولیه حادثه در صورت بکارگیری روش پیشنهادی

تعیین اهمیت و ضرورت اعمال مدیریت بحران و بررسی راههای مختلف اعمال این

مدیریت و ارائه برنامه های اجرایی



جدای از این نتایج، این روش برای ارزیابی احتمالاتی شبکه حمل و نقل، کاربرد و کارایی خواهد داشت. در وضعیتهایی که اجزای شبکه دارای ظرفیتهای احتمالاتی بوده و یا میزان عرضه و تقاضا نیز به صورت احتمالی باشد. می توان از این روش استفاده کرد، برای مثال می توان به بررسی ریسک تصادفات در شبکه پرداخت و تاثیر آن بر افزایش زمان سفرها را بدست آورد، بارندگیهای شدید. احتمال آب گرفتگی سطح شبکه می تواند مورد بررسی قرار گیرد و یا به کمک آب گرفتگی سطح شبکه می تواند مورد بررسی قرار گیرد و یا به کمک آن به بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل در معرض بمبارانهای هوایی پرداخت.



## فصل دوم

### سناریوی زلزله



## ۲- سناریوی زلزله

تلاش ما در راستای شبیه سازی برآورد وضعیتی در آینده است که برای ما کاملاً روشن نیست. ما نمی دانیم زلزله در شب و یا روز اتفاق می افتاد، بزرگی آن به چه میزان و گسترده توزیع آن به چه شکل می باشد.

ما برای تحلیل درستی از وضعیت بعد از زلزله، از میان دهها حالت مختلف نیازمند به انتخاب و ایجاد وضعیتهای فرضی هستیم تا بتواند بیانگر حالتیهای محتمل مورد نظر در آینده باشد. بعد از تعریف هر کدام از این وضعیتهای که آن را یک سناریو می نامیم، احتمال وقوع زلزله و ارزش احتمالاتی رخداد مربوط به سناریو را بدست خواهیم آورد.

ما نیازمند به تعریف سناریو هستیم چون زلزله یک پدیده احتمالاتی است، زمان وقوع زلزله، محل وقوع آن، بزرگی زلزله، نحوه گسترش زلزله، روابط آسیب پذیری. آسیبهای وارده به ساختمانها، تلفات و آسیبهای انسانی همگی احتمالاتی می باشند و برای هر کدام از آنها و در هر محلی می توان تابع توزیع احتمالاتی فرض کرد. لذا تعداد حالتیهای محتمل که پس از زلزله با آن روبرو می شویم. بسیار زیاد خواهد بود. اما لزوماً همه این حالتها مد نظر نیستند، هر طراحی بدنبال هدف خاصی از تحلیل خود می باشد. مانند برآورد ریسک زلزله از دیدگاه انسانی - اقتصادی، ارزیابی روشهای مقابله و آمادگی در



برابر زلزله، تخصیص بودجه و اولویت بندی تقویت اجزاء آسیب پذیر در برابر زلزله، شناسایی عوامل آسیب پذیر و موارد متعدد دیگر که می تواند هدف تحلیل باشد.

تعریف صحیحی از سناریوی زلزله و طراحی تحلیل بر مبنای آن می تواند تحلیل را هدفمند و نتایج آن را قابل تفسیر و کاربردی نماید.

سناریویی هم که در این رساله تعریف می گردد، مواردی چون بزرگی زلزله، زمان وقوع زلزله و احتمال وقوع زلزله را مشخص می نماید.

کارهای مختلفی در زمینه تحلیل و ارزیابی و طراحی بر مبنای سناریو در دنیا انجام شده است. این کارها در کشورهای مختلفی که در معرض خطر زلزله هستند انجام شده است. در کشورهایی مانند آمریکا و ژاپن، کلمبیا، ایتالیا، رومانی، مقدونیه، ایران و تایوان و زلاندنو از تحلیل مبتنی بر سناریو برای کاهش ریسک زلزله و بر آورد آسیبهای احتمالی و آمادگی در برابر زلزله استفاده کرده اند که در این فصل به آنها اشاره می گردد.

## ۲-۵ کارهای انجام شده در دنیا در زمینه طراحی بر مبنای سناریوی زلزله

در تعدادی از شهرهای دنیا که در معرض زلزله قرار دارند، با انجام ریزپهنه بندی، به برآورد زلزله های محتمل و دوره های بازگشت آنها، نحوه گسترش شدت زلزله در سطح منطقه و به آسیبهای احتمالی از وقوع آنها پرداخته اند. یکی از این شهرها، شهر بوگاتو در کلمبیا است که به انجام پهنه بندی لرزه ای در این شهر به برآورد سناریوهای آسیب زلزله پرداخته اند تا ریسک زلزله را کاهش دهند در این پروژه خطر زلزله براساس زلزله فرضی محتمل، برآورد گردید و سناریوی فرضی برای سه گسل اطراف شهر در نظر گرفته شد. یکی از این گسلها در حدوده اقیانوس پاسفیک قرار داشته و حداکثر شتاب بر روی بستر





صخره ای آن  $g \ 0.03$  می باشد. گسل دیگر در ناحیه شرق در حدود ۶۰ کیلومتری شهر قرار دارد و با شتاب برروی بستر صخره ای آن  $g \ 0.12$  بوده و احتمال وقوع آن  $0.40$  در طول ۵۰ سال و با میانگین دوره بازگشت زلزله ۱۰۰ سال می باشد. این زلزله بعنوان زلزله متوسط شهر در نظر گرفت شد. گسل سو توانایی ایجاد زلزله ای با بزرگی  $7/2$  در مقیاس ریشتر و شتاب برروی بستر صخره ای در حدود  $g \ 0.2$  را دارد. احتمال رخداد آن  $0.10$  در طول ۵۰ سال بوده و دوره بازگشت آن ۴۷۵ سال می باشد.

در کشور روماین هم با توجه به اینکه بیش از  $0.50$  کشور که شامل بخشهای مهم کشور می باشد، در منطقه زلزله خیز قرار دارد، سناریوهای زلزله ای با دوره های بازگشت ۵۰ تا ۲۰۰ سال برای زلزله های با بزرگی بالا در نظر گرفته شده است و در مجموع یک سیستم سناریویی برای شرایط رومانی پیشنهاد شده است. در ایران نیز برای شهر تهران توسط JICA بر مبنای سه گسل شهر تهران و یک زلزله فرضی، چهار سناریوی متفاوت



را در نظر گرفته اند. در آمریکا و ژاپن هم موارد زیادی را شاهد هستیم که در فصل سوم به بعضی از آنها اشاره شده است.

#### ۵-۲ پارامترهای موثر در تعریف سناریو

تعریف سناریو در واقع به نوعی منعکس کننده اهداف تحلیل و از طرفی چارچوبه تحلیل می باشد. هر سناریو می تواند برای خود ارزشی داشته باشد تا امکان مقایسه نتایج آن با سناریوهای دیگر فراهم گردد.

پارامترهای موثر در سناریو و در تحلیل شبکه حمل و نقل عبارتند از بزرگی زلزله، احتمال و نوع و زمان آن. برای آشنایی با این مفاهیم ابتدا زلزله و عوامل ایجاد کننده آن را بررسی می کنیم.

#### ۱-۵-۲ زلزله

زلزله در اثر حرکت ناگهانی زمین ایجاد می گردد. این حرکت در طول ناحیه ای رخ می دهد که از نر زمین شناسی دچار ضعف است و آن را گسل می نامند. هنگامی که انرژی ذخیره شده در طول گسل بیش از مقاومت آن گردد، موجب لغزش لایه های زمین



در طول گسل و باعث آزاد شدن انرژی ناگهانی می گردد که خرابی ها و خسارات زیادی را می تواند فراهم کند.

محل آزاد شدن انرژی یا مرکز زلزله می تواند در جایی بین سطح زمین و ۷۰۰ کیلومتری زیر سطح زمین باشد. زلزله ها با عمق کم در کمتر از ۴۰ کیلومتر رخ می دهند و اثرات تخریبی به مراتب بیشتری دارند.

گسل، معرف صفحه ای می باشد که در طول آن حرکات زمین رخ می دهد، و مبدأ حرکت زمین در یک زلزله می باشد. چندین نوع گسل در پوسته زمین وجود دارد که بعضی از آنها به حرکات موجود در صفحات تکنونیک ارتباط دارند.

گسلهای نرمال: صخره های دو طرف گسل تمایل به جدا شدن از یکدیگر داشته و ایجاد کشش در گسل می کند.

گسلهای فشاری یا معکوس: صخره های دو طرف گسل تمایل به فشردن یکدیگر داشته و در گسل فشار ایجاد می کنند. (مانند گسل زاگرس).

گسل های لغزشی جانبی: حرکت در طول یک صفحه گسل تقریباً به شکل قائم و به صورت لغزشی انجام می شود.

ترکیبی از گسل قائم و لغزش جانبی و یا گسل معکوس لغزش جانبی می تواند وجود داشته باشد.

به زلزله هایی که بوسیله رهایی ناگهانی انرژی ذخیره شده در زمین ایجاد می شود. زلزله تکنونیک گفته می شود و به زلزله های کوچکتري که به علت لغزش زمین، ریزش کوهها



فرو ریختن غارها و صخره های زیر زمینی و فعالیت آتشفشانی بوقوع می پیوندند زلزله های غیر تکتونیک گفته می شود.

چهار نوع امواج ارتجاعی که در زمین لرزه ها احساس شده و خسارت ایجاد می کنند. دو نوع از آنها که در داخل حجم و جسم صخره ها منتشر می شوند امواج حجمی گفته می شوند که عبارتند از : موج اولیه یا موج  $P$  سرعت آن از همه موجها بیشتر است. موج ثانوی یا موج برشی یا  $S$  ، این امواج در جهت امتداد عمود بر جهت انتشار ایجاد برش می کنند. (در آب منتشر نمی شود)

در اکثر زلزله ها ابتدا موج  $P$  احساس می شود. اثر آنها مشابه به یک غرش صوتی اسشت که باعث تکان دادن و به صدا در آمدن پنجره می شود امواج  $S$  چندثانیه بعد می رسد و حرکت بالا و پایین و پهلو به پهلو ایجاد می کند.

نوع دیگر از امواج، امواج سطحی است. حرکت آنها محدود به سطح زمین می باشد. بیشتر این حرکات در سطح خارجی صورت می گیرد و تغییر مکان ناشی از آن با زیاد



شدن عمق بتدریج کاهش می یابد. حرکت موج سطحی مانند موج S بدون تغییر مکان قائم بوده و سبب لرزش افقی می گردد.

امواج ری لی مانند امواج اقیانوس ها باعث حرکت دادن قطعات صخره ها هم در جهت قائم و هم در جهت افقی در یک صفحه قائم در امتداد انتشار امواج می گردد.

امواج ری لی می توانند به علت مولفه حرکت قائم بر روی حجم زیاد از آب (مانند دریاچه) اثر بگذارند. ولی امواج لاو از میان آب منتشر نمی شوند و فقط می توانند در روی آبهای سطحی کناره های دریاچه و خلیج اقیانوسها اثر کنند.

امواج حجمی S,P در سطح مشترک انواع متفاوت حفره ها منعکس و منکسر می شوند، یا مقداری از انرژی یک نوع موج به انرژی موج نوع دیگر منتشر می شود.

وقتی امواج S,P به سطح زمین می رسند. بیشتر انرژی آنها به داخل پوسته زمین منعکس می شود. به طور یکه سطح زمین به طور همزمان تحت تاثیر حرکات رو به بالا و رو به پایین قرار می گیرد. دامنه امواج در سطح زمین نیز در بعضی از مواقع به دو برابر دامنه امواج وارد شونده می رسد. البته نوع خاک و توپوگرافی زمین بر روی امواج زلزله تاثیر می گذارند.

انرژی کلی ناشی از زلزله با فاصله از مرکز زلزله کاهش می یابد ولی این نکته در ارزیابی خسارت وارده بر ساختمانها ممکن است گمراه کننده باشد. آن قسمت از حرکات زمین که دارای پرید کم (فرکانس زیاد) می باشند، در فواصل کم بتدریج مستهلک می شوند. ولی امواج از زمین که دارای پرید زیاد (فرکانس کم) می باشند ممکن است صدها



کیلومتر حرکت کنند. این ارتعاشات با پریودزیاد می تواند با پریود طبیعی سازه های بلند منطق گردیده و باعث تشدید ارتعاشات آنها شود.

### ۲-۲-۲- مقیاس اندازه گیری زلزله

اندازه گیری زلزله با مقیاسهای مختلفی انجام می شود یکی از آنها مقیاس بزرگی ریشتر است. که با فرمول  $M = \log_{10} \frac{A}{A_0}$  محاسبه می گردد.

$A$  دامنه ماکزیممی است که بوسیله یک لرزه نگار استاندارد، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از مرکز زلزله ثبت می شود و دامنه مبنا  $A_0$  برابر یک هزارم میلیمتر می باشد.

مقیاس دیگر مقیاس اصلاح شده شدت مرکالی است. این مقیاس بین I تا XII تقسیم شده است.

### ۲-۲-۳- آنالیز زلزله

برای آنالیز زلزله در سالهای اخیر از نقشه های پهنه بندی استفاده می گردد. در این نقشه ها مناطقی که از نظر احتمال وقوع خرابی ژئوتکنیکی با یکدیگر متفاوت هستند مشخص شده اند. از نقشه های پهنه بندی برای طرح کاربر د اراضی، تصمیم گیری درباره



اقدامات لازم جهت پیش گیری و تهیه آئین نامه ها و مقررات ساختمانی استفاده می نمایند.

برای پهنه بندی نیاز به شناخت منابع لرزه ای مسیر و فاصله و اثرات محل مورد بررسی داریم. لرزه خیزی با استفاده از اطلاعات لرزه شناسی و زمین شناسی تعیین می گردد.

## ۴-۲-۲ پهنه بندی لرزه ای

در برنامه های کاهش ریسک زلزله یا برآورد قابلیت اطمینان یا آسیب پذیری یک سیستمی که در سطح یک منطقه گسترده یافته است. پهنه بندی لرزه ای صورت می گیرد تا به کمک آن توزیع شدت زلزله احتمالی در آینده را در سطح یک منطقه برآورد نمایند. شبکه حمل و نقل هم یک سیستم با گسترش جغرافیایی و وسیع است، اجزاء آسیب پذیر آن مانند پلها در قسمتهای متفاوتی قرار می گیرند و برای یک زلزله خاص با توجه به نوع خاک محل و فاصله آن از مرکز زلزله با شدت زلزله های مختلفی مواجه می گردند. از طرفی دربرآورد آسیبهای انسانی ناشی از تخریب ساختمانها در سطح یک منطقه وسیع، ناچارا باید علاوه بر شناخت ساختمانها و نحوه رفتار آنها در برابر زلزله و جمعیت ساکن در آنها، از شدت زلزله ای که ساختمان در محل خود با آن مواجه می گردد مطلع شویم.

پهنه بندی لرزه ای در بسیاری از شهرهای دنیا انجام شده است و اینکار در تهران نیز با همکاری مشترک ایران و ژاپن صورت گرفته است.

## ۵-۲-۲ روش پهنه بندی حرکات زمین تحت اثر زلزله



مشخصات حرکت زمین تحت اثر زلزله، بستگی به فاکتور هایی نظیر منبع، مسیر و اثرات محل دارد. بنابراین در پهنه بندی حرکات زمین باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:

الف - لرزه خیزی

ب- اثرات وضعیت محل بر روی حرکات زمین در حین زلزله

اثرات وضعیت محلت حتی در یک ناحیه کوچک نیز دارای تغییرات شدید است و به همین علت به عنوان مهمترین فاکتور در پهنه بندی حرکات زمین قلمداد می شود.

۲-۵-۱ لرزه خیزی

برای پهنه بندی ابتدا منطقه مورد نظر از نظر لرزه خیزی مورد مطالعه قرار می گیرد تا احتمال وقوع زلزله های شدید در آینده معلوم گردد. لرزه خیزی منطقه را می توان با استفاده از اطلاعات لرزه شناسی و زمین شناسی تعیین نمود. برای این کار می توان از اطلاعات مربوط به زلزله های ثبت شده دستگاهی و یا اطلاعات تاریخی مربوط به زلزله های قدیمی استفاده نمود.

اطلاعات زلزله های قدیمی اگر چه قابل اعتماد نیستند اما این اطلاعات پرIOD زمانی طولانی تری را شامل می گردد. اطلاعات گسل شناسی نیز برای ارزیابی پهناسیل لرزه خیزی خصوصاً در محلهایی که اطلاعات مربوط به زلزله ها تاریخی محدود است مهم می باشند. اطلاعات گسل شناسی عبارتند از میزان جابجایی گسل در طول زمان، ابعاد هندی گسل. تغییر مکان ایجاد شده در اثر زلزله، دوره بازگشت زلزله ها و مدت زمان سپری شده از تاریخ آخرین زلزله، از این داده ها برای ارزیابی خیزی منطقه و پیش بینی





احتمالی ترین زلزله آینده بکار می رود. با استفاده از این اطلاعات لرزه شناسی دو مسئله مورد بررسی قرار می گیرد:

- تخمین زلزله هایی که احتمالاً در آینده قابل پیش بینی بوقوع خواهند پیوست.
  - مشخص نمودن احتمال وقوع یک زلزله با شدت معین و یک دوره زمانی مشخص
- ۲-۵-۲-۲ کاهش شدت حرکات زمین در اثر دورشدن از مرکز زلزله
- پس از ارزیابی لرزه خیزی، با استفاده از یک رابطه تجربی که قانون کاهش نامیده می شود، شدت حرکات زمین برای نقطه مرجع در منطقه مورد مطالعه محاسبه می شود. منظور از نقطه مرجع سنگ یا خاکهای هستند که موجب تشدید حرکات ناشی از زلزله نمی شوند. با استفاده از رکودهای حرکات شدید زمین، قوانین کاهش را می توان برای پارامترهایی نظیر دامنه، سرعت یا شتاب ماکزیمم زمین به دست آورد. اگر چه قانون کاهش بیشتر برای شتاب ماکزیمم به کار برده می شود، اما اخیراً به پارامترهایی نظیر سرعت ماکزیمم و دامنه طیفی بیشتری می شود.
- با استفاده از قوانین کاهش می توان شتاب یا سرعت ماکزیمم حرکت زمین در محل مورد نظر را برحسب مشخصات زلزله، خاک محل و فاصله از مرکز زلزله یا گسل تخمین زد.

#### ۲-۵-۳ اثرات وضعیت محل بر روی حرکات زمین لرزه

اگر چه شدت حرکات زمین در نقطه مرجع توسط قانون کاهش تعیین می گردد، اما مشاهداتی که در حین زلزله های گذشته صورت گرفته است، نشان می دهد که تغییرات



شدت حرکات زمین قویا به شرایط وضعیت محل ارتباط دارد. بررسی اثرات وضعیت محل یک فاکتور مهم و ضروری برای پهنه بندی به شمار می رود. بسیته به یزان دسترسی به اطلاعات مورد نیاز و درجه دقت پهنه بندی در قالب سه روش، اثرات وضعیت محل برای پهنه بندی با دقت کم. پهنه بندی با دقت متوسط و پهنه بندی با دقت زیاد مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۶-۲-۲ بررسی اثرات وضعیت محل برای پهنه بندی با دقت کم

پهنه بندی با دقت کم براساس اطلاعات به دست آمده از مدارک قدیمی، گزارشهای منتشر شده و سایر منابع قابل دسترس انجام می شود، به همین علت هزینه کمتری را تحمیل نموده و در عوض کم دقت و خام به شمار می رود. این نوع پهنه بندی می تواند برای پوشش دادن مناطق وسیع یک کشور، ایالت و یا استان به کار برود. مقیاس نقشه ه در این پهنه بندی می تواند در محدوده تقریبی  $1/000/000$  تا  $1/150/000$  باشد. در پهنه بندی با دقت کم دو روش برای بررسی اثرات وضعیت محل به کار می رود

الف) بررسی شد زلزله های گذشته و آسیبهای ناشی از آن

ب) بررسی زمین شناسی سطحی

## ۷-۲-۲ بررسی اثرات وضعیت محل برای پهنه بندی با دقت متوسط

با صرف هزینه و وقت بیشتر در زمینه جمع اوری اطلاعات، می توان میزان دقت پهنه بندی را بالاتر برده و پهنه بندی با دقت کم را به پهنه های با دقت متوسط تبدیل نمود. مقیاس نقشه های در پهنه بندی با دقت متوسط در حدود  $1/10/000$  تا  $1/1/000/000$



است. برای بررسی اثرات وضعیت محل بر زمین لرزه برای این نوع پهنه بندی می توان روشهای مختلفی را به کار برد که از جمله آنها مطالعات ژنتیکی می باشد.

برای پهنه بندی با دقت متوسط و یا زیاد مطالعات ژئوتکنیکی می تواند شامل حفر گمانه ها، آزمایشهای نفوذ استاندارد، تعیین سرعت امواج S.P در لایه های خاک و نمونه برداری از خاک محل برای آزمونهای آزمایشگاهی باشد. همچنین باید عمق لایه های خاک تا سنگ کف تعیین گردد روش مناسب و آسان برای تعیین مشخصات لایه های خاک. استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد (Spt) و یا آزمایش نفوذ مخروط (CPT) است.

سرعت موج برشی را می توان به طریق مستقیم و با استفاده از روش لرزه نگاری نیز به دست آورد. برای ثبات کار معمولاً از دو روش سطح به گمانه به گمانه استفاده می شود. در روش سطح به گمانه. زمان عبود امواج برشی که توسط یک منبع در سطح زمین تولید شده و به وسیله تعدادی گیرنده و در داخل گمانه دریافت می شوند. محاسبه می شود و در روش گمانه به گمانه، این زمان برای امواج برشی به این صورت در نظر گرفته می شود که توسط یک منبع مستقر در کف یک گمانه تولی شده و توسط پرندۀ مستقر در داخل یک گمانه دیگر دریافت می شود. سپس با استفاده از زمان محاسبه شده و مسافت پیموده شده، سرعت موج برشی محاسبه می گردد. چنانچه مطالعات تحلیل دقیقتری برای بررسی واکنش زمین مورد نیاز باشد، بایستی از تحلیل غیر خطی واکنش خاک استفاده نمود. اما از آنجا که برای هر واحد زمین شناسی تغییرات میزان تشدید زمین لرزه زیاد



است بهتر است که طبقه بندی زمین براساس اطلاعات گمانه‌ای و زمین شناسی دقیق صورت گیرد.

درمحل‌های که اطلاعات گمانه‌ای در دسترس نباشد، طبقه بندی زمین را می‌توان با استفاده از اندازه گیری میکروترموورها انجام داد. میکروترموورها ارتعاشات خفیف وجود در درون زمین هستند که به وسیله منابع طبیعی یا مصنوعی نظیر باد، امواج دریا، ترافیک و ماشین آلات کارخانجات ایجاد می‌شوند. کانای و همکارانش در سال ۱۹۶۱ با استفاده از میکروترموورها روشی را برای طبقه‌بندی زمین پیشنهادی کرده‌اند و اندازه گیری سرعت موج برشی در لایه خاک پرداخته‌اند.

پروفیل سرعت موج برشی نیز می‌تواند برای ارزیابی تحلیلی تشدید محل به کار رود.

## ۲-۸ بررسی اثرات وضعیت محل برای پهنه بندی با دقت زیاد

هنگامی که پهنه بندی با دقت بالا و پرداختن و جزئیات مد نظر باشد، بایستی تحقیقات اضافی ویژه‌ای نظیر گمانه زنی و انجام آزمایشات خاک در واحدهای مختلف زمین شناسی انجام گیرد. نتایج این تحقیقات در آنالیز کامپیوتری واکنش زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. مخارج آن نوع پهنه بندی عموماً زیاد است، اما برای محل‌هایی که پنانسیل خطر زلزله بالا است و یا تاسیسات موجود و یا تاسیساتی که بعداً بر روی آنها بنا می‌شوند حیاتی است، این نوع پهنه بندی قابل توجیه است. مقیاس نقشه‌ها در این پهنه بندی در



حدود ۱/۲۵/۰۰۰ تا ۱/۵/۰۰۰ است. برای این نوع پهنه بندی می توان از روشهای زیر استفاده نمود:

الف) آنالیز یک بعدی لایه های خاک

ب) آنالیز غیر خطی

ج) آنالیز دو یا سه بعدی

۲-۲-۹ - کارهای انجام شده در دناى در زمینه پهنه بندی لرزه ای

برای بسیاری از شهرهای مختلف دنیا که در معرض خطر زلزله هستند این پهنه بندی انجام شده است . یکی از این شهرها که برای آن برآورد خطر زلزله و پهنه بندی انجام شده است شهر بوگاتا در کلمبیا است.

در این شهر ابتدا مطالعاتی بر روی زلزله شناسی تاریخی و تکتونیک و نئوتکتونیک با هدف تعیین موقعیت و فعالیت گسلهای مهم انجام می گردید. فهرستی از زلزله های گذشته مرور و بررسی شده و اطلاعات این زلزله با داده های جدیدی که از شتابدهنده های دیجیتالی شبکه جدید ماهواره ای زلزله شناسی بدست آمده بود، کامل گردید.

این تحقیقات نشان داد شه ربوگاتو بیشتر از طرف مجموعه ای از گسلها در ناحیه شرق تهدید می گردد. این گسلها امکان ایجاد زلزله ای با بزرگی ۷ تا ۷/۵ ریشتر دارند در حدود ۶۰ کیلومتری شرق شهر قرار دارند. و همچنین وجود گسلهای نزدیک دیگر و قابلیت تشدید زلزله ها بخاطر نوع خاکهای محلی، ناحیه بوگاتو را از نظر زلزله خیزی خطرناک می کنند. با در نظر گرفتن اطلاعات موجود و کامل کردن آن با مطالعات ژئولوژی، نقشه ای از منطقه زلزله خیز بدست آمد. تحلیل پاسخ زلزله ای یک بعدی و دو



بعدی با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری **Quad4 M , MNSYS , SHAK91** انجام شد. مدل نیز با استفاده از داده‌های شتاب تاریخ - زمانی ثبت شده در مکانهایی با خاک نرم و سخت کالیبره گردید. ۱۱۷ اندازه‌گیری توسط میکرومتر برای تهیه یک نقشه اولیه از رفتار دینامیکی با مقادیر مختلف پیوندهای لرزه‌های انجام گردید. بعلاوه ۳۸ حفاری عمیق با عمقهای بین ۲۰ تا ۲۰۰ متر برای تعیین مشخصات خاک‌ها با انجام آزمایشات دینامیکی خاک انجام شد و مشاهده گردید که دیوهای خاک لاکوستوین رفتار الاستیکی زیادی از خود نشان می‌دهند و بگونه‌ای که باعث تشدید شتاب برروی بستر صخره‌ای به میزان سه تا ده برابر می‌گردند.

در این مطالعات با توجه به پهنه بندی ۵ ناحیه تعیین شدند و برای هر ناحیه طیف طراحی برای تحلیل و طراحی ساختمان مشخص گردید. در نهایت با توجه به طیف پاسخ برای هر سناریو، برآورد خرابی ساختمانها و شریانهای حیاتی را بدست آوردند. در فصل سوم به سیار کارهای انجام شده در این زمینه اشاره شده است و علاوه بر آن می‌توان به پهنه بندی زلزله شهر تهران اشاره کرد.