

دستاوردهای جدید در بررسی اثرات زلزله بر شبکه حمل و نقل

محمد هوشمندزاده ، ایرج رحیمی

کارشناس عمران، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

کارشناس ارشد مهندسی زلزله - شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

hooshmandzadeh_civil@yahoo.com

چکیده

زلزله یکی از حوادث مهیب عصر حاضر است که باعث تخریب بسیاری از سازه های ساخت دست انسان می شود و هزینه های فراوانی بردوش بشر وارد می کند. یکی از این سازه ها ، شبکه های حمل و نقل می باشد که سالم ماندن آنها پس از وقوع زلزله نقش مهمی در کمک رسانی خواهد داشت. در این مقاله کوشش می شود تا اثرات زلزله بر شبکه حمل و نقل و جدید ترین تحقیقات صورت گرفته در این زمینه بصورت اجمالی مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

کلیدواژه ها: خاکریز ، پل ، ترافیک ، کالیفرنیا ، تیسن

۱- مقدمه

زلزله یکی از مهیب ترین بلایای طبیعی است که خسارات جانی و مالی فراوانی را در منطقه زلزله زده موجب می گردد [۱]. طی دو دهه اخیر ، جمعاً سه میلیون نفر به دلیل بلایای طبیعی از قبیل سیل ، بهمن ، زلزله و... جان خود را از دست داده اند. بیشترین تلفات به زلزله اختصاص دارد و با نگرش کلی به قرن بیستم ، نیمی از کشته شدگان بلایای طبیعی به علت بروز زلزله های مکرر و شدید بوده است . بطوریکه با رشد سریع جمعیت جهان از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۰ و به همراه آن توسعه شهرسازی از ۱۴ درصد به ۴۵ درصد احتمال خسارات جبران ناپذیر رفته است [۲]. کشور ما در قرن حاضر شاهد بیش از بیست زلزله مخرب بوده است. اهمیت جهانی این زلزله ها به اندازه ای است که در فهرست هایی که از زلزله های بزرگ سده بیستم تنظیم می شود ، حداقل یکی دو فقره از زلزله های ایران در میان ده دوازده زلزله بزرگ جهان به چشم می خورد. معیار اهمیت این زلزله ها معمولاً تلفات انسانی است. زلزله های اخیر که در شهرهای بزرگ دنیا ، در کشورهایی چون ترکیه (۱۹۹۹) ، تایوان ، ژاپن (۱۹۹۵) ، آمریکا (۱۹۹۴) ، مکزیک (۱۹۸۵) ، ارمنستان (۱۹۸۶) روی داده است ، یاد آور 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 به خصوص در شهرهای واقع در کشورهای در حال توسعه این خطر بیشتر خود را نشان می دهد [۲]. سیستم های تامین انرژی، آب و فاضلاب ، حمل و نقل و اطلاع رسانی که از آنها به عنوان تاسیسات زیربنایی و یا فراسازه (Infra-Structure) یاد میشود مهمترین نشانه توسعه کشورها محسوب میشوند. عواملی که باعث تبدیل این سیستمها به شریانهای حیاتی (Lifelines) شده اند عبارتند از: ۱- گسترش روزافزون این سیستم ها در دهه های اخیر. ۲- وابستگی هرچه بیشتر حیات شهری و حتی روستایی به آنها.

اطلاق کلمه حیاتی به سیستم های مزبور از دو جنبه مطرح می باشد: ۱- تداوم حیات جامعه به خصوص در شرایط بحرانی و پس از آن به حفظ عملکرد این سیستم ها بستگی دارد. ۲- آسیب دیدن این سیستم ها خود می تواند باعث وخیم تر گشتن اوضاع بحران و اضافه شدن صدمات به خصوص اختلال در امر امداد و نجات گردد.

در حال حاضر شبکه هایی که در توزیع خدمات یا حمل و نقل و یا انرژی در کشور ما مورد استفاده قرار می گیرند به گونه ای گسترش یافته اند که از کار افتادن هر کدام از آنها مشکلات فراوانی را در زندگی روزمره مردم ایجاد می کند.

۲- ویژگی های شریانهای حیاتی و خطرات زلزله برای آنها

شریانهای حیاتی دارای سه ویژگی بارز بوده که آنها را از ساختمانها و سایر تاسیسات ساختمانی متمایز می سازد این سه ویژگی عبارتند از:

- ۱- گستردگی: این ویژگی باعث می شود که شریانهای حیاتی بطور همزمان تحت اثر تعدادی از و یا حتی تمامی خطرات زلزله قرار گیرند. این خطرات عبارتند از: ۱- تکانهای شدید. ۲- روانگرایی ۳- آبتاز و آبتاب ۴- گسلش و نشستهای بزرگ و ناگهانی
- ۲- پیچیدگی و تنوع مولفه ها: این ویژگی ، سیستم شریانهای حیاتی و تنوع مولفه های آنها علاوه بر آنکه بررسی آنها را در برابر زلزله نیازمند به همکاری نزدیک متخصصین گوناگون در رشته های خاک و پی ، سازه ، مکانیک ، هیدرولیک و یا برق و مخابرات می نماید. بلکه ارزیابی و مطالعه رفتار آن سیستم ها را در برابر زلزله مشکل می سازد.

۳- اندرکنش عملکردی - آسیبی: یکی از مشکلترین ویژگی ها در تحلیل آسیب پذیری لرزه ای و ایمن سازی در مقابل زلزله می باشد. اصطلاح عملکردی - آسیبی به این مفهوم است که اولاً: عملکرد برخی از شریانهای حیاتی به عملکرد برخی دیگر بستگی دارد. برای مثال به دلیل قطع کلی برق سیستم های مخابراتی نیز دچار اختلال می گردند. ثانیاً: آسیب دیدن برخی از شریانها می تواند مستقیماً یا بطور غیر مستقیم به شریانهای دیگر آسیب وارد کند. مثلاً ترکیدن لوله های اصلی آب می تواند هم به سطح خیابانها آسیب رسانده و عبور و مرور را مختل کند و هم با نفوذ آب به پی سایر تاسیسات مثلاً دکلهای انتقال نیرو باعث واژگونی آنها شود. نکته قابل تذکر آنکه از ۴ روش کلی کاهش آسیب پذیری سیستم های سازه ای در مقابل تحریکات زلزله ، یعنی الف- دوری از خطر یا انتخاب مناسب ساختگاه . ب- ممانعت از ورود تحریکات به سیستم یا جداسازی لرزه ای. پ- کنترل اثر تحریک در درون سازه بصورت های انفعالی و یا فعال . ت- طراحی مقاوم اجزا و مولفه های سیستم.

۳- پیشینه مطالعات درباره عملکرد فیزیکی و آسیب پذیری اجزای شبکه

در این زمینه می توان به فعالیتهای Britz و همکارانش در سال ۱۹۷۷ ؛ Hendrickson و همکارانش در سال ۱۹۸۰ ، Langinow و همکارانش در سال ۱۹۷۷ ، Panoussis در سال ۱۹۷۴ و Shinauzake در سالهای ۱۹۷۹ و ۱۹۷۷ اشاره نمود. تقریباً کل کارهای صورت گرفته در زمینه کارایی شبکه حمل و نقل بعد از سال ۱۹۸۵ می باشد. برای نگاهی به فعالیتهای انجام شده تا این زمان ، می توان به مطالعات Oppenheim و همکارانش اشاره نمود. آنها از جمله کسانی هستند که ایده های خوبی در حدود ۱۹۸۷ برای ارزیابی ریسک لرزه ای سیستم های حمل و نقل ارائه نمودند و به بررسی کارهای صورت گرفته تا آن زمان پرداختند. از جمله فعالیتهای مورد بررسی ایشان ، یکی از پروژه های تحت حمایت FRMA می باشد. در این پروژه ، داده های مورد نیاز برای ارزیابی خرابی زلزله در کالیفرنیا توسط Rajham (۱۹۸۵) گرد آوری گردید و سعی شد تا روابط خرابی، توابع آسیب پذیری و دوره بازسازی ارائه گردد. Oppenheim و همکارانش در رابطه با تحلیل لرزه ای شبکه شریانهای حیاتی، به کنفرانسهایی انجام شده از سال ۱۹۷۷ توسط ASCE و یا سمینارهای بین آمریکا و ژاپن از سال ۱۹۷۶ و کارهای افرادی مانند Kawakami (۱۹۸۳) و Moghtaderizadeh و همکاران (۱۹۸۲) اشاره می نمایند. با توجه به خرابیهای رخ داده در شهر کوبه، که گسترده ترین خرابی پلها و تاسیسات حمل و نقل تا کنون بوده است، به ارائه منحنیهای خرابی پل پرداخته اند و احتمال وقوع چهار نوع خرابی را برای گروههای مختلف پل و شدت زلزله های متفاوت ارائه کرده اند و این مقادیر را با مقادیر ارائه شده توسط ATC-13 مقایسه نموده اند. Hwang (۲۰۰۰) روشی را برای ارزیابی آسیبهای وارده به پل ها و بزرگراهها ناشی از زلزله ارائه کرد. مطالعات Taleb-Agha (۱۹۷۷) و Shinozuka-Koike-Kameda (۱۹۸۸) منتج به ارائه روشی قابل اطمینان برای شبکه های حمل و نقل گردید.

۴- علل اهمیت ایمنی راهها در برابر زلزله

در کشور ما لازم است که راهها در مقابل زلزله از آسیب پذیری نسبتاً کمتری برخوردار باشند و در صورت بروز ضایعه و معایب بتوان در اسرع وقت و کمترین زمان ممکن نسبت به ترمیم و به کارگیری و بهره برداری مجدد آنها اقدام نمود. ایمنی راهها در کشور به دلایل زیر دارای اهمیت ویژه است: ۱- جمعیت و آبادیها در کشور پراکنده و از مراکز درمانی و بیمارستانها دور می باشند. ۲- به دلیل کوهستانی بودن کشور در رشته جبال البرز و زاگرس بسیاری از آبادیها و راههای کشور در مناطق کوهستانی و صعب العبور قرار دارند ۳- جوان بودن کوههای کشور و عدم پایداری و تثبیت کامل آنها. ۴- قرار گرفتن قسمت اعظم کشور در محدوده کمربندی لرزه خیزی جهان

۵- اثرات زلزله بر اجزای شبکه حمل و نقل

تجربیات بعد از وقوع زلزله تاکنون نشان داده است که در اثر زلزله پلها ، تونلها و دیوارها به دلیل طرح سازه ای مناسب چندان صدمه ای ندیده اند که بطور جدی موجب مسدود شدن راه شوند ولی مساله اساسی ریزش سنگ یا ناپایداری جدار ترانشه ها در محدوده اثر زلزله بر روی راه بوده است . بدین ترتیب که سنگهای فراوانی که حتی قطعات بسیار بزرگ نیز در میان آنها یافت می شوند بر روی دامنه کوه مشرف به راه غلتیده و انبوهی از سنگ و خاک را بر روی راه انباشته اند. راه در نقاط مختلفی کاملاً بسته می شود و عملاً امداد رسانی برای مدتی نسبتاً طولانی از طریق راه غیر ممکن می شود. برداشتن و حمل مصالح و پاک کردن سطح راه و حتی با بکارگیری ماشینهای راهسازی و با وجود بسیج کامل راهداران مدتی بطول می انجامد. در مورد تونلها به خصوص تونلهایی که با مصالح سنگی پوشش شده اند اثرات زلزله محدود به ریزش سر در تونلها و افتادن برخی از مصالح سنگی پوشش بوده است. در مورد پلها ، حرکت های طولانی یا عرضی عرشه یا ایجاد ترکهایی در پلهای طاقی سنگی بوده است و یا ترکهایی در پایه های کناری پلها مشاهده شده است. در جسم راه و در نقاطی که بصورت خاکریز نسبتاً مرتفع بر روی جداره دامنه کوه بوده است در اثر زلزله ترکهای طولی ایجاد گردیده است. اکنون آسیبهای متداول وارده به اجزای شریانهای ترابری بصورت جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند

۱-۳- راه

گسیختگی لایه های روسازه و زیر سازه ، آسیب به روسازی راه شامل ترک خوردگی ، نشست لایه ها ، نشست عمودی ناهمسان.

۲-۳- خاکریز

ریزش خاک و سنگ ، شکست و یا ترک خوردگی دیوارهای حائل بتن مسلح و آجری ، شکست و یا ترک خوردگی دیگر دیوارهای حائل از قبیل صندوقه ای ، خاک مسلح ، خاک یافته

شکست و فروپاشی شاهتیرها ، کج شدگی ، حرکات جانبی شاهتیرها ، کماتش و ترک خوردگی شاهتیرها ، آسیب به تکیه گاههای پل ، ترک خوردگی و پوسته شدن بتن زیر سازه ، پی ها و شمع ها ، نشست دال های دسترسی.

گسیختگی آستر بتنی ، پوسته شدن و ترک خوردگی آستر بتنی

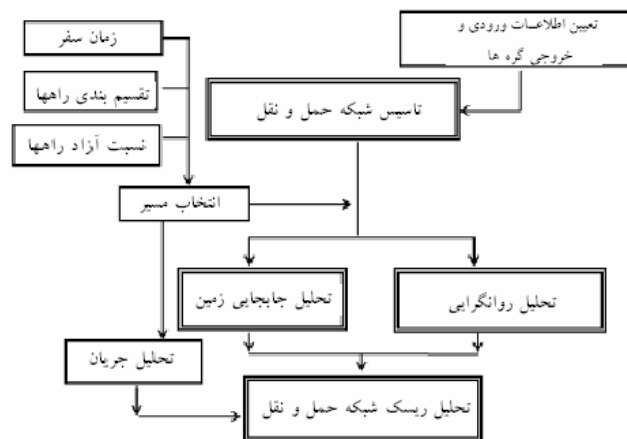
آسیب دیدگی تاسیسات در کنار راه (ساختمانهای وابسته مانند راهنمایی و رانندگی ، واژگونی ستونهای چراغ برق و...). همچنین آسیب دیدگی دیگر شریانهای حیاتی مانند (لوله های آب و فاضلاب و جمع آوری آبهای سطحی ، سیستم برق و گاز و خطوط تلفن).

۶- کارائی اجزاء شبکه بصورت مستقل

با توجه به اینکه پل می تواند آسیب پذیرترین عضو شبکه باشد، تحقیقات بر روی توابع خرابی و عملکرد آن متمرکز بوده است. در این بررسیها تنها به موقعیت پل و شرایط خاص آن توجه شده است و در برآوردهای کارایی نیز، مواردی چون ظرفیت عبوری از روی پل، حجم ترافیک عبوری از روی پل و نوع راهی که پل بر روی آن قرار دارد، وجود یا عدم وجود راه جانشین در موقع خرابی پل مد نظر قرار گرفته است. علاوه بر پل، اجزای دیگری مانند تونل و سطح راه نیز مورد توجه قرار گرفته اند. Britz و همکارانش در سال ۱۹۹۷ به مسئله آسیبهای اقتصادی ناشی از عملکرد سیستم بزرگراهی در دوران بازسازی بعد از زلزله پرداخته اند. آنها آسیبها را به دو گروه هزینه های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم نموده اند. هزینه های مستقیم را شامل هزینه های بازسازی و هزینه های مربوط به افزایش زمان سفر و فاصله دانسته و هزینه های غیر مستقیم را اثرات وارده از خرابی شبکه بر اقتصاد می دانند بخصوص بخشی از اقتصاد که وابستگی زیادی به حمل و نقل دارد. موضوعات مطرح شده از طرف آنان بیشتر یک بحث اقتصادی کلامی و در حد کلان است و به جزئیات مسئله نمی پردازد. Nojima در سال ۱۹۹۹ روشی را برای اولویت بندی پلها ارائه نموده است. او ابتدا به بررسی روشهای اولویت بندی پلها پرداخته است. از نظر او روشهای اولویت بندی پلها که به صورت کاربردی تا سال ۱۹۹۸ در آمریکا ارائه شده اند شامل روش امتیاز دهی سیستمی است که از این روش برای بزرگراهها تا زمان زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا در آمریکا استفاده می گردید. علاوه بر آن روشهای متفاوتی توسط شورای تکنولوژی کاربردی آمریکا (ATC)، دپارتمان حمل و نقل کالیفرنیا (Caltrans) دپارتمان حمل و نقل ایالت واشنگتن (WSDOT) و دپارتمان حمل و نقل ایلونیز (ILDOT) ارائه شده اند.

۱-۶- مراحل بررسی پایایی لرزه ای شبکه حمل و نقل

بررسی پایایی شبکه حمل و نقل بطور خلاصه شامل مراحل زیر است: ۱- ارزیابی ناحیه ای لرزه خیزی ۲- بررسی شرایط خاک و وضعیت زمین شناسی در هر گره از شبکه حمل و نقل ۳- پاسخ لرزه ای و تجزیه و تحلیل سیستم ۴- تجزیه و تحلیل شبکه. از فلوچارت زیر می توان برای تحلیل ریسک خطر لرزه ای شبکه حمل و نقل استفاده نمود.



تصویر (۱) - فلوچارت تحلیل ریسک خطر لرزه ای شبکه حمل و نقل

۲-۶- ارائه مدل ریاضی برای بررسی آسیبهای وارده به شبکه حمل و نقل در اثر جابجایی زمین

آیین نامه های مختلفی برای مطالعه درباره اثر جابجایی زمین بر شبکه حمل و نقل ارائه شده است که از جمله آنها می توان به آیین نامه HAZUS-99 اشاره نمود. این آیین نامه از اصلاح آیین نامه HAZ برای بررسی خطر لرزه ای در کشور تایوان که توسط مرکز ملی علوم این کشور صورت گرفته ، بدست آمده است. روابط ریاضی متفاوتی نیز در این زمینه پیشنهاد شده است که از جمله آنها رابطه ای است که مرکز نامبرده بصورت زیر ارائه شده است:

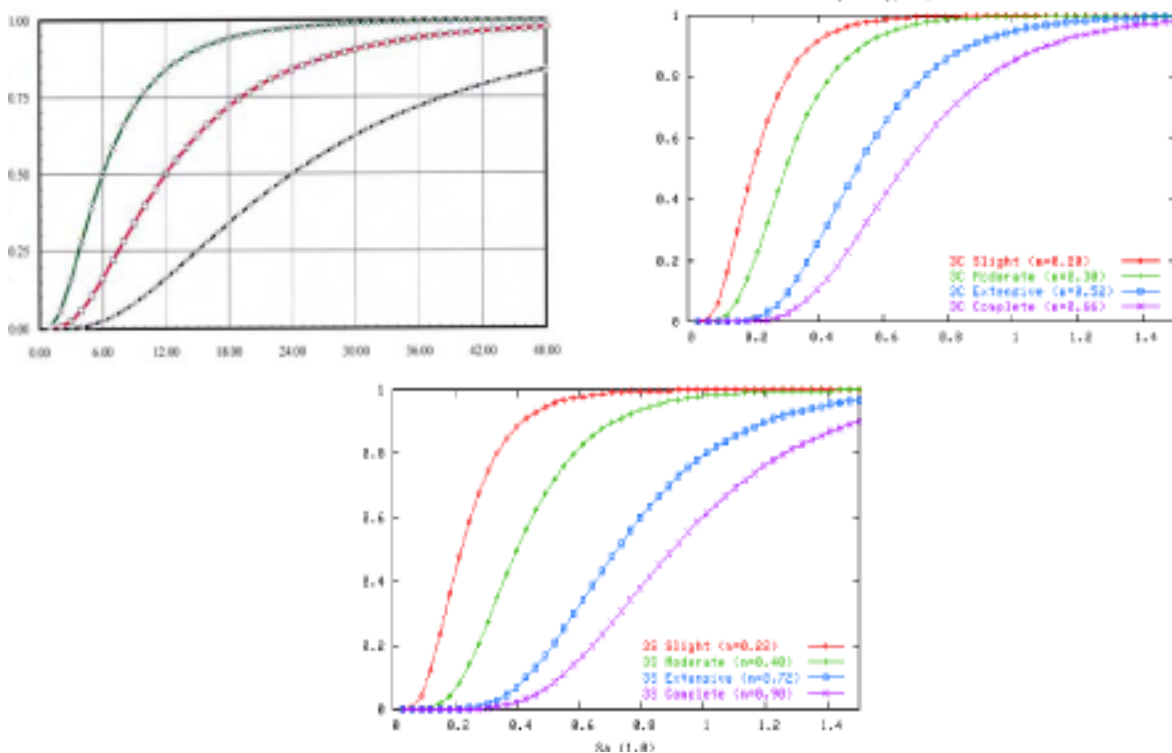
$$IM = Y_r = f(M, R) = b_1 e^{b_2 M} [R + b_4 \exp(b_3 M)]^{-b_3} \quad (1)$$

که در آن IM شدت اندازه گیری شده خطر لرزه ای که بصورت بیشینه شتاب جابجایی زمین یا شتاب طیفی در هر دوره تناوب تعریف می شود. M بزرگای زلزله ، R فاصله محل تا منبع زلزله ، b_1 تا b_5 ثوابتی هستند که برترتیب به بزرگای زلزله ، عمق کانونی ، مرکز زلزله و یا گسیختگی ناشی از گسل روی سطح زمین بستگی دارند. میزان خطر لرزه ای برای شتاب بیشینه زمین و طیف پاسخ بدست آمده است . با کمک اطلاعات زلزله های کشور تایوان مقدار پارامترهای موجود در تابع فوق بصورت زیر بدست آمده اند.

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	$\sigma_{\ln(Err)}$
PGA	۰/۰۰۳۶۹۴۴	۱/۷۵۳۷۶۶۶	۲/۰۵۶۴۴۴۶	۰/۱۲۲۱۹۵۵	۰/۷۸۳۱۵۰۸	۰/۶۸-۰/۷۵
S_{as}	۰/۰۰۹۷۳۶	۱/۷۳۴۸۴۱۶	۲/۰۸۵۷۲۱۳	۰/۱۱۳۶۵۳۳	۰/۸۰۰۳۱۶۲	۰/۶۷-۰/۷۵
S_{al}	۰/۰۰۲۷۹۱۴	۱/۷۷۳۰۴۶۳	۲/۰۴۱۹۰۰۵	۰/۱۱۵۴۱۷۵	۰/۷۷۱۳۹۲۴	۰/۸۵

جدول (۱) - مقادیر عددی پارامترهای معادله ۱

آیین نامه HAZU99 منحنی های شکست زیر را برای جاده های شهری برای جابجایی های دائمی زمین و همچنین منحنی های شکست زیر را برای پل های از نوع سوم ارائه نموده است.



نمودارهای (۱ و ۲) - منحنی های تجربی شکست پل

برای تحلیل یک پل بخصوص ، بایستی منحنی های شکست برای آن توسعه و تعمیم یابند. $F_N(. / EQ)$ بصورت مقدار احتمال که از منحنی های شکست بدست می آید تعریف می شود. برای مثال چهار نوع شکست بصورت زیر تعریف شده است: ۱- ریزش و متلاشی شدن C ۲- آسیب شدید ۳- آسیب متوسط M ۴- آسیب جزئی S. احتمال وقوع هر یک از این آسیبها با استفاده از عبارات زیر بدست می آیند:

$$P[N_i(C) / EQ] = F_N(C / EQ) \quad (۲)$$

$$P[N_i(E) / EQ] = F_N(E / EQ) - F_N(C / EQ) \quad (۳)$$

$$P[N_i(M) / EQ] = F_N(M / EQ) - F_N(E / EQ) - F_N(C / EQ) \quad (۴)$$

$$P[N_i(S) / EQ] = 1 - P[N_i(M) / EQ] - P[N_i(E) / EQ] - P[N_i(C) / EQ] \quad (۵)$$

باوقوع ارتعاشات ناگهانی و جابجایی های زمین به بزرگراهها در شبکه های حمل و نقل آسیب وارد می شود. برای ارزیابی احتمال وقوع آسیب به هر یک از اجزای شبکه بزرگراهها در اثر جابجایی های مداوم زمین ، بایستی اثر روانگرایی خاک را در مطالعات نیز در نظر گرفت. در این مقاله آروش برای

ارزیابی احتمال وقوع این پدیده ارائه می شود: ۱- روش اول که توسط لوه^۱ و همکاران (۱۹۹۵) پیشنهاد شده است. در این روش بر اساس نظریه ارتعاش تصادفی و پاسخ لرزه ای لایه خاک ، احتمال وقوع روانگرایی بدست می آید. ۲- دومین روش توسط آیین نامه HAZUS-97 پیشنهاد شده که در آن احتمال وقوع روانگرایی با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$P[L_{SC}] = \frac{P[L_{SC}|PGA = a]}{K_M K_w} P_{ml} \quad (6)$$

که در آن K_M و K_w ضرایب تصحیح برای عمق آب و بزرگای زلزله و $P[L_{SC}|PGA = a]$ احتمال شکست برای زلزله ای با $PGA = a$ ، بزرگای ۷/۵ و عمق آب ۱/۵ متر می باشد. روش های مختلفی برای تخمین فرو نشست زمین در اثر روانگرایی پیشنهاد شده است. برای این کار خاک به ۶ دسته خیلی سفت ، سفت ، متوسط ، ضعیف ، خیلی ضعیف و نیز خاکی که جزو هیچ یک از این انواع نیست تقسیم می شود. نمودار () ارتباط میان فرونشست خاک در اثر روانگرایی و PGA را برای خاکهای مختلف نمایش می دهد. بیان ریاضی این نمودار بصورت زیر است:

$$S = \bar{S}_i \int_0^A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i x} e^{-\frac{\left[\ln\left(\frac{x}{m_i}\right)\right]^2}{\sigma_i^2}} dx = S_i \Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{A}{m_i}\right)}{\sigma_i} \right] \quad (7)$$

برای بررسی عملکرد لرزه ای شبکه حمل و نقل از یک پارامتر مقایسه ای استفاده می شود. شینزوکا و همکاران (۲۰۰۰) اندیسی به نام "تاخیر حرکتی" را ارائه نمودند که بصورت افزایش کل تاخیرهای زمان سفر برای کلیه مسافرت ها شامل وسائل حمل و نقل که مکرراً در رفت و آمد هستند و نیز اتومبیل هایی که در رابطه با فعالیت های اقتصادی می باشند و به خاطر وقوع زلزله در حرکت آنها وقفه ایجاد می شود تعریف می گردد. تفاوت میان کلیه سفرهای روزانه برای تمام وسائل موجود در شبکه حمل و نقل به شبکه آسیب دیده و نیز به شبکه اولیه قبل از وارد شدن آسیب های ناشی از زلزله بستگی دارد.

$$TT = \sum_a x_a t_a(x_a) \quad (8)$$

تاخیر از رابطه زیر محاسبه می شود:

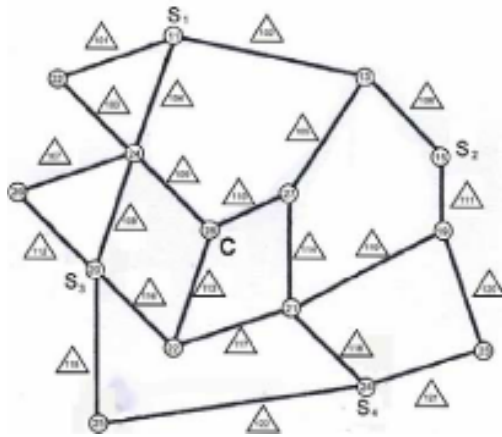
$$\sum_a x'_a t'_a(x'_a) - \sum_a x_a t_a(x_a) \quad (9)$$

رابطه اخیر تاخیر تمامی سفرها را در کل شبکه حمل و نقل در هر ساعت از روز بدست می آورد. x_a جریان در اتصال a بر حسب تعداد اتومبیل های عبوری در واحد ساعت ، t_a زمان سفر بر روی اتصال a بر حسب ساعت برای تعداد واحد اتومبیل های عبوری می باشد.

مهمترین مولفه های تحلیل ریسک خطر لرزه ای شبکه های حمل و نقل عبارتند از: ۱- نمایش خطر لرزه ای ۲- وضعیت و شکل اجزای بزرگراه و شبکه حمل و نقل ۳- آثار و نتایج تحلیل

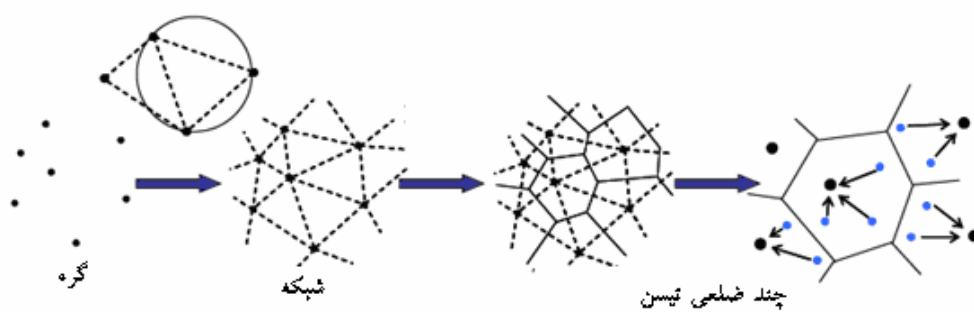
یک سیستم حمل و نقل بزرگ از لحاظ مقدار جریان عبوری به دو بخش تقسیم می شود: الف- جریان ترافیک اندک ب- جریان ترافیک زیاد بدون توجه به جریان ترافیک هر شبکه حمل و نقل به تعدادی زیر مجموعه که شامل تعدادی گره و اتصال (لینک) است تقسیم می شود. نمونه ای از شبکه بندی در تصویر (۲) نشان داده شده است که در آن n گره و m اتصال وجود دارد. توپولوژی این شبکه توسط ماتریس زیر تعریف می شود.

¹-Loh



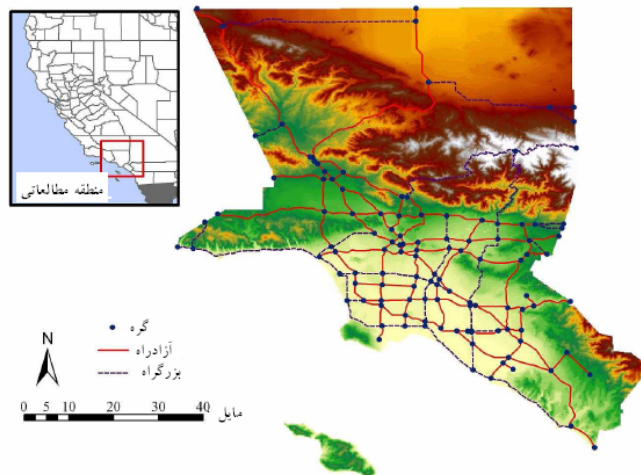
تصویر (۲) - شبکه بندی حمل و نقل

نخستین گام برای تحلیل یک شبکه ، تقسیم بندی آن به اجزای کوچکتر می باشد. برای این کار از چند ضلعی های تیسن استفاده می شود. روش این کار را می توان در تصویر (۳) ملاحظه نمود.



تصویر (۳) - شبکه بندی تیسن برای تحلیل سیستم حمل و نقل

نمونه این شبکه بندی در تصویر (۴) نشان داده شده است. محدوده مطالعاتی در ایالت لس آنجلس در آمریکا می باشد.



تصویر (۴) - نمونه شبکه بندی حمل و نقل در ایالت کالیفرنیا آمریکا

ارتباط زمان - جریان با استفاده از فرمول زیر که توسط موسسه راههای ملی آمریکا (۱۹۶۴) ارائه شده بدست می آید:

$$t_a = t_a^0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right] \quad (10)$$

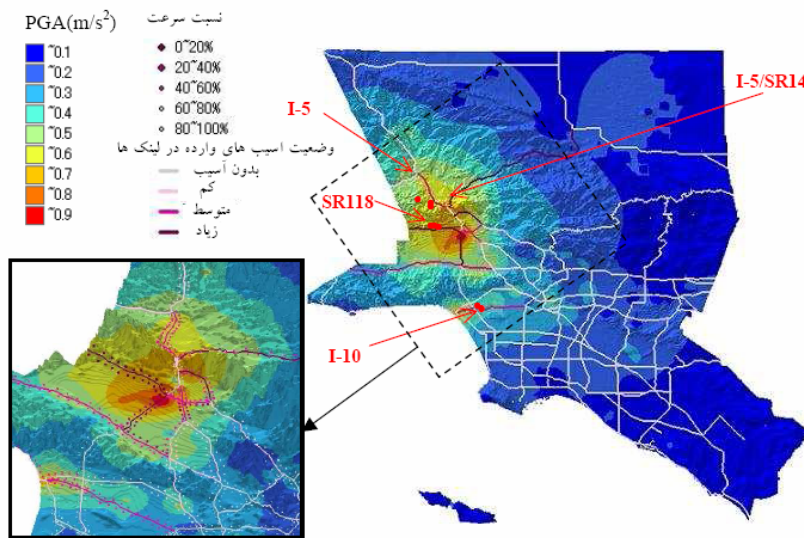
چکه در آن زمان سفر در جریان بر روی اتصال a ، C_a ظرفیت تجربی اتصال (لینک) و α و β ضرایب متغیر می باشند. رابطه فوق بصورت زیر نیز نوشته می شود.

$$t_k(h_k, C_k, \alpha, \beta) = t_k(0) \left[1 + \alpha \left(\frac{h_k}{C_k} \right)^\beta \right] \quad (11)$$

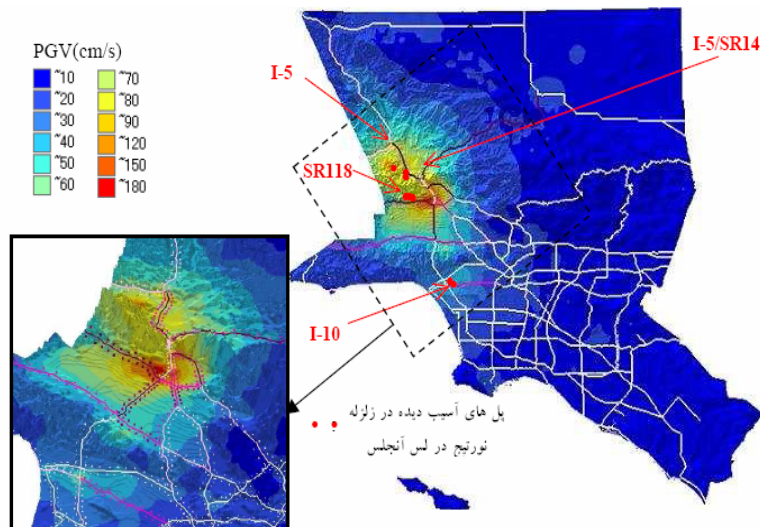
از فرمول زیر برای تحلیل عددی ترافیک در شرایط تعادل استفاده می شود:

$$\eta_a = \frac{S_a'}{S_a} \quad (12)$$

که در آن η_a نسبت سرعت در اتصال a ، S_a سرعت جریان در اتصال a تحت شرایط بدون آسیب و S_a' سرعت جریان در اتصال a در شرایط وارد شدن آسیب به شبکه حمل و نقل می باشد. در تصاویر (۵) و (۶) میانگین نتایج ۱۰ شبیه سازی شامل متوسط ۱۰ حالت آسیب و ۱۰ نسبت سرعت آمده است.



تصویر (۵) -



تصویر (۶) -

۷- نتیجه گیری

درباره اثرات زلزله بر شبکه حمل و نقل تحقیقات زیادی در کشورهای لرزه خیز دنیا مانند ژاپن و آمریکا صورت گرفته و پیشرفت ها و نتایج بسیار مطلوبی حاصل شده است ولی متأسفانه در ایران تا بحال چنین کاری صورت نگرفته است. با توجه به لرزه خیز بودن کشورمان ضرورت این مساله شدیداً احساس می شود.

مراجع

- ۱- جلالیان، کریم؛ مبانی طراحی و نیازهای پژوهشی در مورد راهها از نظر شریانهای حیاتی و مهندسی زلزله، اولین همایش ملی مهندسی زلزله شریانهای حیاتی، تهران، سال ۱۳۷۷
- ۲- زند، کارن، آسیب پذیری راهها و عناصر وابسته آن در برابر زلزله، اولین همایش ملی مهندسی زلزله شریانهای حیاتی، تهران، سال ۱۳۷۷
- 3- TriNet ShakeMap, <http://www.trinet.org/shake/>
- 4-HAZUS 99, ©1997-2000 Federal Emergency Management Agency, http://www.fema.gov/hazus/hz_index.shtm
- 5- Shinozuka, N. Shiraki, and H Kameda, Performance of Highway Network Systems under Earthquake Damage, pp. 303-317, Proceedings of the Second International Workshop on Mitigation of Seismic Effects on Transportation Structures, Taiwan, Sep. 1315 2000
- 6-M Shinozuka, M. Q. Feng, H. Kim, T. Uzawa, and T. Ueda, Statistical Analysis of Bridge Fragility Curves, MCEER Technical Report 2001 <http://shino8.eng.uci.edu/journalpapers.htm>
- 7-N. Shiraki, Performance of Highway Network Systems under Seismically Induced Traffic Delays, M. S. Thesis, Kyoto University, Kyoto, Japan, 2000
- 8-ArcGIS 8.2, ©1999-2002 ESRI Inc., <http://www.esri.com>
- 9-E. Stephanie Chang, M. Shinozuka, J. Moore, Probabilistic Earthquake Scenarios: Extending Risk Analysis Methodologies to Spatially Distributed Systems, Earthquake Spectra, Vol.16, No.3, August 2000 pp-557-572
- 10-Southern California Association of Governments, 199 Origin -destination survey, Los Angeles, CA, 1993
- 11-J.D. Goltz, The Northridge, California Earthquake of January 17, 1994 General Reconnaissance Report, Technical Report NCEER-94-0005 March 11, 1994
- 12-R.T. Eguchi, J.D. Goltz, H.A. Seligson, P.J. Flores, N.C. Blais, T.H. Heaton and E. Bortugno, Real-time Loss Estimation as an Emergency Response Decision Support System: the Early Post-Earthquake Response Tool (EPDAT), Earthquake Spectra, Vol.13 1997, pp 815-832
- 13-M. Shinozuka, S.H. Kim, S. Kushiyama and J.H. Yi, Fragility Curves of Concrete Bridges Retrofitted by Column Jacketing, The Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol.1, No.2, Dec. 2002