به نام خدا

۹۶۱۰۵

برآورد احتمالاتی هزینه در اثر خسارات ناشی از زلزله

استاد راهنما: دکتر ع. سروقد مقدم

حامد حسینی

۱۳۸۷/۵/۱۳

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

بسمه تعالي

تاییدیه هیات داوران

آقای **حامد حسینی** پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۶ واحدی خود را با عنوان « **براورد احتمالاتی هزینه در اثر خسارات ناشی از زلزله** » که در تاریخ ۸۶/۱/۲۶ ارایه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران با گرایش مهندسی زلزله پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضا
۱- استاد راهنما	آقای دکتر عبدالرضا سروقدمقدم	
۲- استاد مشاور	-	
۳- استادان ممتحن خارجی	آقای دکتر غلامرضا قدرتی‌امیری	
داخلی	آقای دکتر محسن شهروزی	
۴- مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی):	آقای دکتر علی کاوه	

کلیه حقوق، اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس برای پژوهشکده ساختمان و مسکن محفوظ می‌باشد.

با تشکر از استاد گرانقدرم، دکتر سروقد مقدم، به خاطر بزرگواری همیشگی‌شان و دوستانم به خاطر کمک‌ها و دلگرمی‌هایشان.

چکیده:

در این پروژه به برآورد هزینه های اقتصادیِ به جا مانده در اثر زلزله در یک ساختمان خسارت پذیر پرداخته شده است. این مطالعه بر روی یک ساختمان ۵ طبقه با سیستم سازه ای قاب خمشی بتنی در سطح اجزاء ساختمان انجام شده است. منظور از عبارتِ « در سطح اجزاء ساختمان » این است که هزینه ناشی از زلزله به طور کلی برای ساختمان برآورد نشده است بلکه هر دسته از اجزاء ساختمان به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و در انتها با جمع بندی نتایج حاصل، هزینه ناشی از زلزله (در شدت لرزهٔ مورد نظر) برای کل ساختمان برآورد شده است.

در فصل اول این پروژه کلیاتی دربارهٔ « خسارت »، « هزینه »، اهداف برآورد هزینه و خسارت و روش های انجام آن آورده شده است. در فصل دوم روشی که مرکز تحقیقات مهندسی زلزلهٔ اقیانوس آرام (PEER) برای برآورد هزینه معرفی کرده است، به همراه مفاهیم و فرمول بندی های مربوط به آن شرح داده شده است. در فصل سوم ساختمان مورد بررسی به عنوان نمونهٔ مطالعاتی معرفی شده است و در فصل چهارم (که قسمت اصلی این پروژه را تشکیل می دهد) روند برآورد هزینه با فرضیات، عملیات و محاسبات مختلفِ مربوط به آن که در این پروژه پی گیری شده است، مورد شرح و بسط قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها:

برآورد هزینه، تحلیل خسارت، هزینه، خسارت، خسارات مستقیم و غیر مستقیم، اجزاء سازه‌ای و غیر سازه‌ای.

فهـــــــــــــــــرست مطالب

مقدمه	۱
فصل اول: خسارت و تحلیل هزینه	۳
۱-۱ تعریف خسارت	۳
۱-۲ انواع خسارت	۳
۱-۳ ارزیابی احتمالاتی خسارت به روش PEER	۵
فصل دوم: الگوریتم روش PEER	۱۲
۲-۱ تحلیل خطر زلزله	۱۲
۲-۲ تحلیل سازه	۱۷
۲-۳ تحلیل خسارت	۲۳
۲-۴ تحلیل هزینه	۲۸
۲-۵ فرمول بندی کلی روش PEER	۳۳
فصل سوم: معرفی ساختمان مورد مطالعه	۳۸
۳-۱ مشخصات طراحی	۳۸
۳-۲ مشخصات بارگذاری	۴۱
۳-۳ مشخصات مصالح	۴۱
۳-۴ مشخصات معماری	۴۲
فصل چهارم: نحوه انجام تحلیل خسارت و برآورد هزینه در این پروژه	۴۳
۴-۱ تحلیل خطر	۴۳
۴-۲ تحلیل سازه	۴۴
۴-۲-۱ مشخصات مفاصل ستون ها	۴۵
۴-۲-۲ مشخصات مفاصل تیرها	۵۰
۴-۲-۳ تحلیل استاتیکی برای تعیین خصوصیات مفاصل	۵۵
۴-۲-۴ نحوه تعریف مفاصل خمشی در برنامه SAP2000	۵۹
۴-۲-۵ رکوردهای لرزه مورد استفاده	۶۳
۴-۲-۶ مقیاس کردن رکوردها	۶۳
۴-۲-۷ نحوه اعمال رکوردهای لرزه به سازه	۶۴
۴-۳ تحلیل خسارت	۶۶
۴-۳-۱ کلیات	۶۶
۴-۳-۲ تحلیل خسارت برای دیوارهای جدا کننده	۶۸
۴-۳-۳ منحنی های شکنندگی و برآورد خسارت در تیرها	۷۶
۴-۳-۴ منحنی های شکنندگی و برآورد خسارت در ستون ها	۸۸
۴-۴ برآورد هزینه	۹۵
۴-۴-۱ کلیات	۹۵
۴-۴-۲ رسم منحنی احتمال وقوع ویرانی	۹۶

۳-۴-۴ برآورد هزینه بازسازی ساختمان ۹۹
۴-۴-۴ هزینه احتمالاتی نوسازی ساختمان در صورت عدم ویرانی ۱۰۴
۵-۴-۴ مجموع هزینه های احتمالاتی برای کل سازه ۱۱۴
۶-۴-۴ مجموع هزینه احتمالاتی برای یک دسته از اعضا ۱۲۰
نتیجه گیری و پیشنهاد ها ۱۲۳
منابع و مراجع ۱۲۴

فهـــــــــــــــــرست اشکال

شکل ۱-۱ : انواع خسارت حاصل از زلزله ۴
شکل ۱- ۲ مراحل مختلف مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد ۷
شکل ۲-۱ مراحل تحلیل خطر لرزه ای ۱۳
شکل ۲-۲ تعیین گسل های فعال به شعاع ۱۰۰ کیلومتر در اطراف تهران ۱۴
شکل ۳-۲ منحنی شکنندگی برای دیوارهای جدا کننده ۲۴
شکل ۴-۲ : منحنی شکنندگی برای یک ساختمان ۲۵
شکل ۵-۲: توابع شکنندگی برای اتصالات تیر- ستون مطابق نتایج آماری جدول ۱-۲ ۲۷
شکل۶-۲ نمایش گرافیکی نحوه محاسبه هزینه مورد انتظار (میلیون دلار) r به صورت تابعی از شدت لرزه ۲۹
شکل ۱-۳ پلان تیر ریزی طبقات ۳۹
شکل ۲-۳ مقطع محور ۱ ساختمان ۳۹
شکل ۳-۳ مقطع محور ۳ ساختمان ۴۰
شکل ۴-۳ مقاطع تیرها و ستون ها ۴۰
شکل ۵-۳: پلان معماری طبقات ساختمان ۴۲
شکل ۱-۴: منحنی خطر زلزله برای شهر تهران ۴۴
شکل ۲-۴: نمودار عمومی $\frac{M_3}{M_y}-\theta$ برای مفاصل تیرها ۶۰
شکل ۳-۴: نمودار $\frac{M_3}{M_y}-\theta$ برای مفاصل M3-1 ۶۱

شکل ۴-۴ منحنی شکنندگی سطح خسارت اول برای دیوارهای جداکننده ۷۲
شکل ۴-۵ منحنی شکنندگی سطح خسارت دوم برای دیوارهای جدا کننده ۷۲
شکل ۴-۶ منحنی PGA-IDR برای طبقات مختلف ساختمان ۷۳
شکل ۴-۷ نمونه ای از منحنی شکنندگی اعضا ۷۷
شکل ۴-۸ نمونه ای از منحنی های احتمال رخداد یک سطح خسارت مشخص نسبت به درصد اعضای دچار خسارت شده در شدت 0.2g ۸۱
شکل ۴-۹ منحنی های احتمالاتی حاصل از میانگین عددی داده ها نسبت به شدت لرزه برای سطوح خسارت مختلف ۸۵
شکل ۴-۱۰ منحنی های شکنندگی تهیه شده با استفاده از توزیع Lognormal برای تیرها در سطوح خسارت مختلف ۸۷
شکل ۴-۱۱ منحنی های شکنندگی تیرها برای هر سه سطح ۸۸
شکل ۴-۱۲ منحنی های چند جمله ای برازش شده به همراه معادلات مربوط به آنها برای ستون‌های طبقات مختلف ۹۳
شکل ۴-۱۳ منحنی شکنندگی ستون های طبقه اول (سطح خسارت ۱) ۹۴
شکل ۴-۱۴ منحنی شکنندگی ستون های طبقات ۲ و ۳ ۹۴
شکل ۴-۱۵ منحنی شکنندگی ستون های طبقات ۴ و ۵ ۹۴
شکل ۴-۱۶ نمایش گرافیکی نحوه محاسبه هزینه مورد انتظار ۹۵
شکل ۴-۱۷ احتمال وقوع ویرانی نسبت به شدت لرزه ۹۸
شکل ۴-۱۸ احتمال عدم وقوع ویرانی نسبت به شدت لرزه ۹۸
شکل ۴-۱۹ احتمال وقوع ویرانی نسبت به شدت لرزه ۹۹
شکل ۴-۲۰ احتمال عدم وقوع ویرانی نسبت به شدت لرزه ۹۹
شکل ۴-۲۱ هزینه بازسازی نسبت به شدت لرزه ۱۰۴
شکل ۴-۲۲ هزینه احتمالاتی در کل سازه در صورت عدم ویرانی ۱۱۶
شکل ۴-۲۳ هزینه مورد انتظار در کل سازه نسبت به شدت های مختلف لرزه ۱۱۸
شکل ۴-۲۴ ضریب هزینه (نسبتی از هزینه بازسازی سازه) در برابر شدت لرزه ۱۱۹
شکل ۴-۲۵ هزینه مورد انتظار در تیرها نسبت به شدت های مختلف لرزه ۱۲۱
شکل ۴-۲۶ ضریب هزینه تیرها (نسبتی از هزینه بازسازی تیرها) ۱۲۲

فهرست جداول

جدول ۱-۲: پارامترهای آماری برای توابع شکنندگی و خسارت اتصالات تیرستون ۲۶
جدول ۱-۴ : پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش مفاصل مربوط به ستون ها ۴۹
جدول ۲-۴ : پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش مفاصل مربوط به تیرها ۵۵
جدول ۳-۴ مشخصات سطوح خسارت در دیوارهای جداکننده ۶۹
جدول ۴-۴ میانگین درصد اعضای تجاوز کرده از هر یک از سطوح خسارت نسبت به شدت لرزه ۸۳
جدول ۵-۴ میانگین درصد اعضای تجاوز کرده از هر یک از سطوح خسارت نسبت به شدت لرزه برای ستون های طبقه اول ۹۰

جدول ۶-۴ میانگین درصد اعضای تجاوز کرده از هر یک از سطوح خسارت نسبت به شدت لرزه برای ستون های طبقات دوم و سوم ۹۱
جدول ۷-۴ میانگین درصد اعضای تجاوز کرده از هر یک از سطوح خسارت نسبت به شدت لرزه برای ستون های طبقات چهارم و پنجم ۹۱
جدول ۸-۴ احتمال وقوع ویرانی با استفاده از توزیع نرمال ۹۷
جدول ۹-۴ هزینه بازسازی هر یک از ستون های طبقه اول ۱۰۰
جدول ۱۰-۴ هزینه بازسازی هر یک از ستون های طبقات ۲و ۳ ۱۰۱
جدول ۱۱-۴ هزینه بازسازی هر یک از ستون های طبقه ۴ ۱۰۱
جدول ۱۲-۴ هزینه بازسازی هر یک از ستون های طبقه ۵ ۱۰۲
جدول ۱۳-۴ هزینه بازسازی یک تیر سه دهانه ۱۰۲
جدول ۱۴-۴ هزینه نوسازی دیوارهای جداکننده هر طبقه ۱۰۳
جدول ۱۵-۴ مشخصات سطوح خسارت دردیوارهای جداکننده غیر سازه ای ۱۰۶
جدول ۱۶-۴ مشخصات سطوح خسارت درتیرها ۱۰۶
جدول ۱۷-۴ مشخصات سطوح خسارت درستون های طبقه ۱۰۷
جدول ۱۸-۴ مشخصات سطوح خسارت درستون های طبقات۲ و ۳ ۱۰۷
جدول ۱۹-۴ مشخصات سطوح خسارت درستون های طبقات۴ و ۵ ۱۰۷
جدول ۲۰-۴ تغییر مکان بین طبقه ای احتمالی(با استفاده از منحنی های شکل ۶-۴) ۱۰۸
جدول ۲۱-۴ احتمال رخداد سطح خسارت ۱ در دیوارها (با استفاده از منحنی احتمالاتی شکل ۴-۴) ۱۰۹
جدول ۲۲-۴ احتمال رخداد سطح خسارت ۲ در دیوارها (با استفاده از منحنی احتمالاتی شکل ۵-۴) ۱۰۹
جدول ۲۳-۴ هزینه احتمالاتی در دیوارهای هر طبقه در شدت های مختلف لرزه بر حسب ریال (با استفاده از رابطه ۵-۴) ۱۱۰
جدول ۲۴-۴ احتمال رخداد هر سطح خسارت برای تیرها (با استفاده از روابط احتمالاتی منحنی های شکل ۱۰-۴) ۱۱۱
جدول ۲۵-۴ هزینه احتمالاتی در تیرها در سطوح مختلف لرزه (با استفاده از رابطه ۵-۴) ۱۱۲
جدول ۲۶-۴ احتمال رخداد هر سطح خسارت برای ستون ها (با استفاده از روابط احتمالاتی شکل ۱۵-۴) ۱۱۳
جدول ۲۷-۴ هزینه احتمالاتی به جا مانده در هر دسته از ستون ها و مجموع هزینه کل ستون ها در شدت های مختلف لرزه ۱۱۴
جدول ۲۸-۴ هزینه احتمالاتی به جا مانده در کل سازه به شرط عدم ویرانی نسبت به شدت های مختلف لرزه ۱۱۵
جدول ۲۹-۴ هزینه احتمالاتی در سازه نسبت به شدت های مختلف لرزه ۱۱۷
جدول ۳۰-۴ هزینه احتمالاتی در تیرهای سازه نسبت به شدت های مختلف لرزه ۱۲۱

فهرست علائم

A شتاب مبنای طرح
Ag مساحت مقطع کامل بتنی
B ضریب بازتاب ساختمان

C	ضریب زلزله
C	حالت فروریزش
CP	سطح عملکرد در آستانه فروریزش
DM	اندازه خسارت
DV	متغیر تصمیم سازی
E[....]	تابع هزینه
EAL	هزینه مورد انتظار سالیانه
EDP	پارامتر نیاز مهندسی
I	ضریب اهمیت ساختمان
IDA	روش تحلیل جزء به جزء دنامیکی
IO	سطح عملکرد کاربری بی وقفه
IDR	تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای
IM	اندازه شدت
K	ضریب هزینه
LS	سطح عملکرد ایمنی جانی
M	لنگر خمشی
NC	حالت عدم فروریزش
P[...]	تابع احتمال
P	نیروی محوری
PGA	شتاب بیشینه ثبت شده زمین
R	ضریب رفتار ساختمان
R	شعاع منطقه لرزه خیز
Sa	شتاب بیشینه طیفی
Sd	جابجایی بیشینه طیفی
Sv	سرعت بیشینه طیفی
T	زمیان تناوب ساختمان
T0	زمین تناوب زمین ساختگاه
V	نیروی برشی
bw	عرض مقطع بتنی
d	ارتفاع مقطع بتنی
dmi	سطح خسارت معین iام
fc	مقاومت فشاری بتن
g	شتاب ثقل زمین
n	تعداد داده ها
λ	فرکانس بازگشت
μ	میانگین

دوران مفصل خمشی	θ
انحراف معیار	σ

مقدمه:

آنچه تا به امروز از علم مهندسی زلزله بیشتر در کشور ما مورد توجه قرار گرفته است، تحلیل خطر زلزله و تحلیل سازه بوده است. حال آنکه با رشد روز افزون علم مهندسی زلزله، و همچنین اهمیت سرمایه گذاری‌ها، آنچه امروزه اهمیت یافته است، ارائه طرحی هرچه اقتصادی‌تر برای سازه-های مقاوم در برابر زلزله است. در واقع مهندسی زلزله وقتی ارزشمند و هنرمندانه می شود که منجر به ساخت سازه‌هایی هر چه مقاوم‌تر با هزینه‌ای هرچه کمتر شود. به بیان بهتر در طراحی سازه های مقاوم و همچنین مقاوم‌سازی سازه های موجود، بحث استفاده از مهندسی ارزش در کنار مهندسی زلزله مطرح شده است. این مهم امروزه با تولد مهندسی زلزله بر اساس عملکرد (PBEE) رو به گسترش می باشد. در واقع دیگر تأمین ایمنی سازه‌ها، تنها دغدغه مهندسین زلزله نیست.

امروزه مهندسی زلزله بر اساس عملکرد از حد طراحی سازه‌ها فراتر رفته و در بهسازی لرزه ای هم وارد شده است. یعنی کارفرمایان انتظار دارندکه سازه موجود آنها به اقتصادی‌ترین شکل و با بهترین عملکرد ممکن بهسازی شود. از دیدگاه یک مهندس زلزله تأمین این خواسته در ابتدا نیازمند دانستن پاسخ های سازه موجود در برابر زلزله احتمالی و همچنین پاسخ های احتمالی سازهٔ بهسازی شده (به شکل های مختلف) در برابر این زلزله می باشد. سپس باید هزینه ای که در اثر زلزله به بار آمده است تخمین زده شود. حاصل این روند در نهایت می‌تواند منجر به یک تصمیم-گیریِ اقتصادی و در عین حال ایمن و با بهترین عملکرد باشد. آنچه سعی می شود در این پژوهش معرفی و بررسی شود روشی برای انجام این مهم می‌باشد.

اساس این پروژه بر ارائه روشی است که با استفاده از آن مهندسین قادر خواهند بود خسارات مالی ناشی از زلزله را به صورت جزء به جزء در یک ساختمان بر آورد کرده و به کارفرمایان این امکان را بدهند که درباره نحوه ساخت یا بهسازی ساختمان خود تصمیم گیری کنند. در این پروژه هدف به دست آوردن یک طرح بهینهٔ سازه ای برای بهسازی یک ساختمان نیست بلکه هدف، آن

است که به کارفرما امکان داده شود با بررسی وضعیت ساختمان و مقایسه با یک یا چند طرح بهسازی درباره نحوه مقاوم کردن ساختمان خود از جنبه اقتصادی تصمیم گیری کند. واضح است که این روش در طراحی اولیهٔ یک ساختمان نیز قابل استفاده است.

در این پروژه تحلیل هزینه ها برروی یک ساختمان فرضی آسیب پذیر (البته با تعدادی فرض ساده کننده) انجام شده است. به این ترتیب روند کلی انجام این عملیات مورد بررسی و انجام قرار گرفته است. واضح است که این عملیات را می توان برروی چند طرح بهسازی شدهٔ مختلف نیز، با تفاوت در نوع بهسازی و سطح بهسازی نیز انجام داد و سطح وسیع تری را برای مقایسه فراهم نمود.

فصل اول: خسارت و تحلیل هزینه

۱-۱: تعریف خسارت:

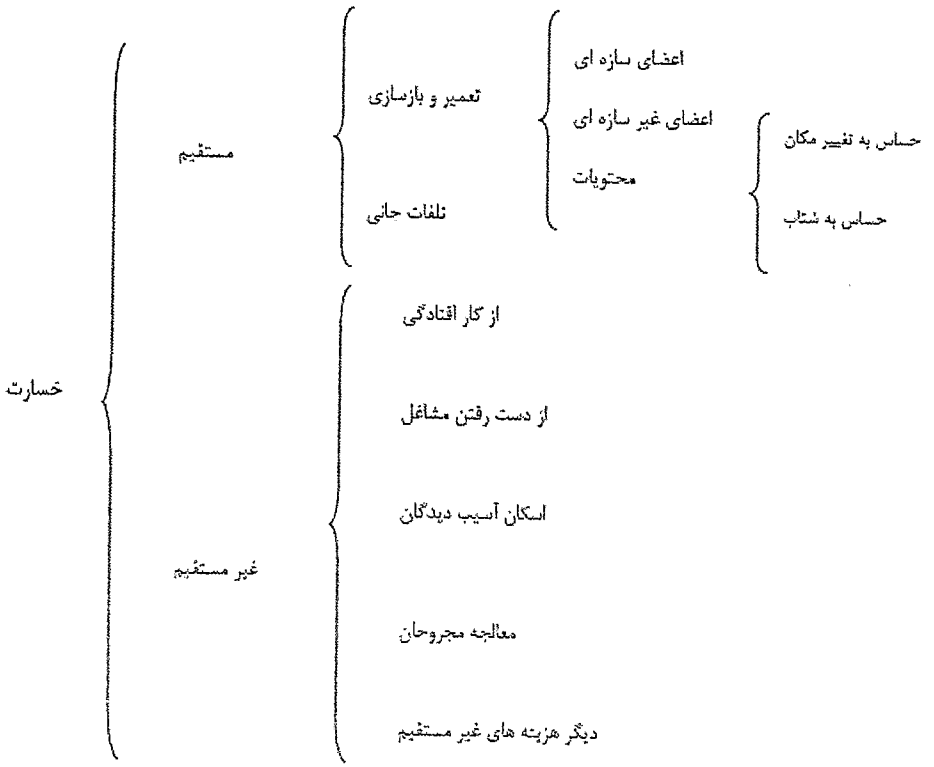
اثرات به جا مانده از زلزله در مقیاس کلی بسیار وسیع می باشد. این اثرات می تواند از خسارت-های وارد به محتویات یک ساختمان مسکونی تا تأثیرگذاری در روند اشتغال در یک جامعه را شامل شود. هنگامی که کلمه «خسارت» به صورت کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد همه این موارد را شامل می‌شود.

۱-۲: انواع خسارت:

به طور کلی خسارات ناشی از زلزله به دو دسته «خسارات مستقیم» و «خسارات غیرمستقیم» تقسیم می شوند. خسارات مستقیم شامل خسارات وارد بر ساختمان می باشد که بر اعضای سازه‌ای، غیر سازه‌ای و محتویات ساختمان وارد می شود.

هر زلزله بدون تردید پس از رخداد هزینه هایی غیر مستقیم به دنبال دارد. در یک برآورد جامع بررسی هزینه‌ها می‌تواند چنین مواردی را نیز شامل شود. مواردی همچون؛ هزینه درمان مجروحان، اسکان آسیب دیدگان(موقت یا دائم)، از کار افتادگی و از دست دادن شغل و ... از این گونه اند.

در شکل زیر انواع خسارت به طور خلاصه آورده شده است.



شکل ۱-۱ : انواع خسارت حاصل از زلزله

البته چنانچه از «خسارت» مفهومی گسترده و اجتماعی و نه در مورد یک سازه خاص برداشت شود، مواردی چون؛ آسیب دیدگی شریان‌های حیاتی، آتش‌سوزی‌ها، آسیب‌دیدگی‌های سازه‌های خاص مانند سدها و نیروگاه‌ها و مواردی از این دست نیز می توانند به عنوان انواعی از خسارت قلمداد شوند.

در این مطالعه منظور از خسارت، خسارت های مستقیم وارد به ساختمان می باشد. همانطور که در شکل بالا دیده می شود خسارت های مستقیم به سه گروه از اعضا وارد می شوند؛ اعضای سازه ای (مانند تیرها، ستون ها و دیوارهای برشی)، اعضای غیر سازه ای (مانند دیوارهای جداکننده، نمای ساختمان، درها و پنجره ها) و همچنین محتویات ساختمان که خسارت ایجاد شده در آنها

ممکن است وابسته به میزان تغییر مکان (مانند لوله کشی، کانال ها و ..) و یا وابسته به میزان شتاب طبقه (مانند قفسه ها و ماشین آلات) باشد.

از آنجا که در هر ساختمان ممکن است محتویات و کاربری ها متفاوت باشد در این مطالعه بر روی خسارات وارد بر اعضای سازه ای و غیرسازه ای تمرکز شده است. واضح است که روش تشریح شده می تواند برای برآورد خسارت در محتویات ساختمان نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱: ارزیابی احتمالاتی خسارت ساختمان ها به روش PEER

PEER (Pacific Earthquake Engineering Research center) موسسه‌ای در ایالات متحده است که عمده‌ترین فعالیت‌های مطالعاتی آن در زمینه مهندسی زلزله است. یکی از زمینه های فعالیت این موسسه، مهندس زلزله بر اساس عملکرد می باشد. برآورد احتمالاتی خسارت در ساختمان‌ها در واقع بخش اصلی مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد می باشد. هدف از این فعالیت تهیه روشی برای مالکان، بنگاه های اقتصادی و دیگر علاقه‌مندان در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز درباره کاربری لرزه‌ای سازه، می باشد. یکی از موضوعات مهم در این زمینه خسارت مستقیم اقتصادی وارد به ساختمان می باشد. روش‌های مختلفی می‌توانند در برآورد این خسارات اقتصادی مورد کاربرد قرار گیرند.

PEER روشی را بر مبنای تحلیل های آماری به منظور در نظر گرفتن میزان تأثیر عدم قطعیت‌های موجود دریک آنالیز هزینه پیشنهاد می کند. این عدم قطعیت‌ها از چهار منشأ اصلی ریشه می گیرند: عدم قطعیت مربوط به رخداد یک زلزله خاص، عدم قطعیت مربوط به نیازها و عکس‌العمل‌های لرزه‌ای ساختمان دریک زلزله، عدم قطعیت مربوط به خسارت وارده دریک عضو و عدم قطعیت در هزینه تعمیر و جایگذاری یک عضو. در واقع این منابع مختلف عدم قطعیت ، گام های چهارگانه برآورد هزینه را که در ادامه شرح داده شده اند، پی‌ریزی می‌کنند. همچنین در این

روش، ارتباط بین میزان خسارات وارده در هر یک از اعضای خاص و میزان خسارت کلی ساختمان و احتمال گذشتن از مقادیر مختلف هزینه مالی تحت یک شدت مشخص لرزه مورد توجه قرار گرفته است.

روش موجود خسارات را در دو سطح برآورد می کند : ۱. سطح المان ها (جزء به جزء) ۲. سطح سیستم (کلی)

ارزیابی خسارت اقتصادی در سطح المان دارای چهارگام زیر می باشد:

۱. برآورد پارامتر نیاز مهندسی در هر عضو به عنوان تابعی از شدت لرزه زمین
۲. برآورد سطح خسارت در عضو به عنوان تابعی از سطح پارامتر نیاز مهندسی
۳. برآورد خسارت مربوط به تعمیر یا جایگذاری عضو در هر یک از سطوح خسارت
۴. برآورد هزینه مورد انتظار عضو و توزیع خسارت به عنوان تابعی از شدت لرزه

برآورد هزینه در سطح سیستم (کل ساختمان) دارای سه گام زیر می باشد:

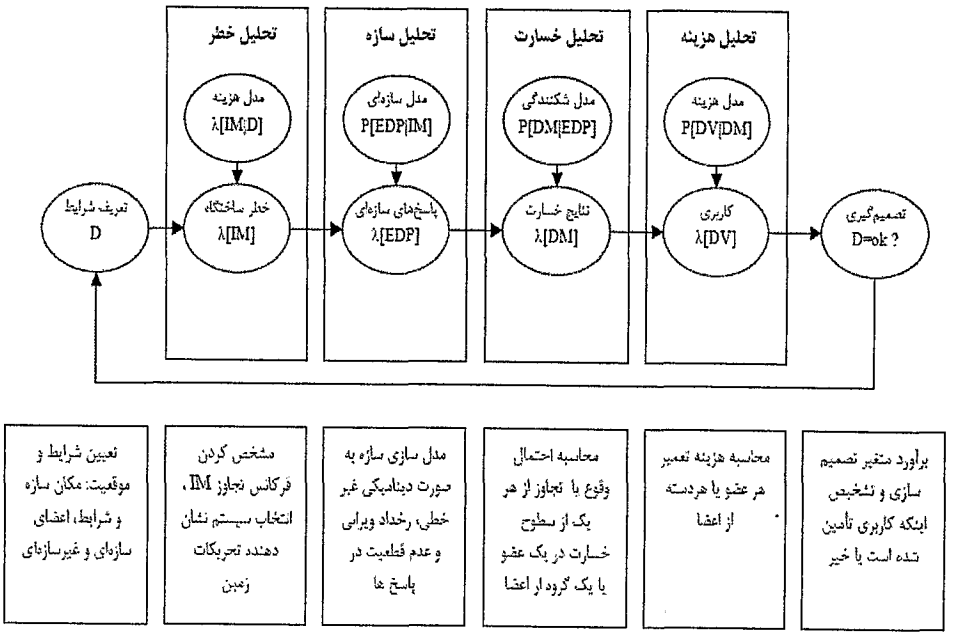
۱. برآورد خطر لزره ای در ساختگاه
۲. برآورد ارتباط بین خسارات در اعضای مشخص
۳. برآورد خسارت سالانه مورد انتظار و احتمال تجربه یک خسارت اقتصادی بزرگتر از یک مقدار هزینه ریالی معین در ساختمان به عنوان تابعی از خسارت اعضاء [۴].

در اکثر روش هایی که محققین یا موسسات تحقیقاتی مختلف ارائه کرده اند، مانند FEMA ، ATC13 و EERI و به خصوص در برنامه HAZUS از برآورد هزینه در سطح سیستم استفاده شده است، اما واضح است که بررسی هزینه در سطح المان نه تنها دقیق تر است بلکه اطلاعات مختلفی

نیز در زمینه هزینه ناشی از خسارت در اعضای مختلف و مقایسه این هزینه ها در اختیار کاربر قرار می دهد.

آنچه در ادامه می آید غالباً بر مبنای برآورد هزینه در سطح المان (جزء به جزء) می باشد.

در شکل زیر نمودار کلی روش PEER در مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد آورده شده است:



شکل ۱- ۲ مراحل مختلف مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد [۳]

این روش، راهکاری جامع برای برآورد هزینه احتمالاتی زلزله در یک سازه را ارائه می کند.

همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می شود این روش دارای چهار گام اصلی می باشد:

۱. تحلیل خطر لرزه ای

۲. تحلیل سازه ای

۳. تحلیل خسارت

۴. تحلیل هزینه

هر یک از چهارگام فوق الذکر یک تحلیل احتمالاتی را شامل می شود. در هر گام احتمال تجاوز پارامتر اصلی (IM، EDP ، DM , DV) از مقادیر مشخص نسبت به شدت‌های مختلف متغیر (که در واقع پارامتر اصلی گام قبل است) سنجیده می شود. البته همانطور که بعداً توضیح داده خواهد شد، در بعضی مطالعات گام تحلیل خسارت و تحلیل سازه در هم ادغام شده و در یک گام انجام می‌شوند. در هر یک از این چهارگام اصلی پارامترهایی به عنوان پارامترهای پایه وجود دارند. به منظور آشنایی با روش PEER و درک بهتر هریک از چهارگام فوق الذکر اطلاع از مفهوم این پارامترها الزامی است:

- **اندازه شدت (IM)**

اندازه شدت لرزه (Intensity Measure) معیاری است که بر اساس آن شدت زلزله در یک مطالعه احتمالاتی سنجیده می‌شود. پارامترهای مختلف می توانند به عنوان IM در نظر گرفته شوند. پارامترهایی همچون؛ شتاب بیشینه ثبت شده (PGA)، شتاب بیشینه طیفی (Sa)، سرعت بیشینه طیفی (Sv)، جابجایی بیشینه طیفی (Sd) و ... . اینکه در یک مطالعه کدام یک از این موارد به عنوان IM مورد استفاده قرار بگیرد، به این امر بستگی دارد که چه پارامتری بیشتر اهداف مطالعه را برآورده می کند و از نظر مهندسی تعیین‌کننده‌تر است. به طور مثال در ساختمانی که حاوی تجهیزات حساس به شتاب می باشد شتاب طیفی یا PGA معیار مناسب تری است.

واضح است که در یک تحلیل سازه‌ای یا تحلیل خسارت هنگامی می توان نتایج دو یا چند تحلیل را با هم مقایسه کرد و یا دریک گروه آماری قرارداد که این نتایج از یک شدت لرزه برابر به دست آمده باشند. بنابراین در چنین تحقیقی رکوردهای مختلف وارده به سازه باید به شدت‌های