٩٦٢٩٦

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
پژوهشکده ساختمان و مسکن

پا یان نامه کارشناسی ارشد
مهندسی زلزله

# بررسی آسیب پذیری لغزشی قطعات غیرسازه ای بلوک مانند مهار نشده

۱۳۸۷ /۵/ ۲۵

استاد راهنما :
آقای دکتر طارق مهدی

دانشجو :
رضا اتحادی

مهر ماه ۸۵

۹۶۲۹۶

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

**تقدیم به :**

پدرم که هر چه دارم از اوست

مادرم که یگانه دلگرمی من است

و خانواده ام، بزرگترین پشتوانه و گرمترین کانونی که می شناسم.

## قدردانی

برخود لازم می دانم از جناب آقای دکتر طارق مهدی به سبب راهنمایی های پدرانه شان در کلیه مراحل انجام این تحقیق، کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم. همچنین مراتب قدر دانی خود را از استاد گرانقدر جناب آقای پرفسور کاوه، مدیر پژوهشکده ساختمان و مسکن ابراز می دارم. اخلاق حسنهٔ ایشان، نوید بخش آینده ای روشن برای همهٔ کسانی است که راه علم را برگزیده اند. زحمات بی دریغ سر کارخانم بصیری در بخش آموزش نیز شایسته سپاسگذاری است. همینطور، از همکاری دوستانهٔ مسئولین محترم کتابخانه و بخش کامپیوتر مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن، کمال امتنان را دارم. امید آنکه این نوشتار پاسخی به همکاری این عزیزان بوده باشد.

## چکیده

در طول سال‌های اخیر، طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها، گسترش چشم‌گیری داشته و پیوسته دستخوش تحول و پیشرفت بوده است. با این حال، هنوز اجزای غیرسازه‌ای موجود در ساختمان‌ها، به ندرت با همان حساسیت که در مورد سازه اعمال می‌شود، طراحی می‌گردند و نتیجه‌اش آن است که، اغلب ساختمان‌هایی که پایداری سازه‌ای خود را پس از زلزله‌های قوی حفظ می‌کنند، به سبب آسیب‌های وارد به سیستم‌های لوله‌کشی، وسایل ارتباطی و سایر انواع اجزای غیرسازه‌ای، کارایی خود را از دست می‌دهند.

در این تحقیق به بررسی آسیب‌پذیری آن دسته از اجزای غیرسازه‌ای بلوک مانند مهار نشده پرداخته می‌شود که در مقابل تحریکات پایه صرفاً به صورت لغزشی پاسخ می‌دهند. در این راستا، سایر پاسخ‌های ممکن از سوی این دسته از اجزای غیرسازه‌ای نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

دو حالت خرابی مربوط به لغزش عبارتند از جابجایی نسبی بیش از حد و شتاب مطلق بیش از حد. نشان داده می‌شود که یک مقدار حدی قطعی، برای پاسخ شتاب مطلق قابل ارزیابی است و یک معادلهٔ ساده و در عین حال کامل برای آن ارائه می‌شود. برعکس، در مورد حالت خرابی جابجایی نسبی بیش از حد، منحنی‌های آسیب‌پذیری به عنوان وسیله‌ای مناسب

برای ارزیابی، ارائه شده است. منحنی‌های آسیب‌پذیری تولید شده نشان می‌دهند که ارزیابی آسیب‌پذیری حاصله، بدون در نظر گرفتن شتاب پایهٔ عمودی در محاسبات، مخصوصاً برای مقادیر بزرگتر ضریب اصطکاک، به وضوح غیرمحافظه‌کارانه است.

اما آنچه که اختصاصاً در این تحقیق مورد بررسی است، تولید منحنی آسیب‌پذیری براساس استاندارد ۲۸۰۰ و نیز پیشنهاد ICC و مقایسهٔ نتایج حاصل است. نتیجهٔ این مقایسه نشان می دهد که برای ارزیابی آسیب پذیری لغزشی المان های غیر سازه ای بلوک مانند، استفاده از پیشنهاد ICC برای مقادیر کوچک ضریب اصطکاک محافظه کارانه است و برای مقادیر بزرگ تر ضریب اصطکاک، آسیب پذیری حاصل از ICC معادل متوسطی از آسیب پذیری های حاصل از ۲۸۰۰ برای مقادیر مختلف نسبت شتاب عمودی به افقی است.

**کلید واژه ها :** آسیب پذیری، اجزای غیر سازه ای، بلوک های صلب، پاسخ لغزشی.

## فهرست مطالب

چکیده

۱ مقدمه..... ۱

۱-۱ اجزای غیرسازه‌ای..... ۱

۱-۲ ضرورت مطالعات غیرسازه‌ای..... ۲

۱-۳ اجزای غیرسازه‌ای بلوک مانند و پاسخ آنها در مقابل زلزله..... ٤

۱-٤ تاریخچه..... ٦

۱-٥ دورنما..... ۷

۲ آسیب پذیری اجزای غیر سازه ای..... ۹

۲-۱ تعریف خرابی..... ۹

۲-۲ اجزای غیر سازه ای..... ۱۰

۲-۳ آسیب پذیری اجزای غیر سازه ای..... ۱۱

۲-٤ خرابی در اجزای غیرسازه‌ای..... ۱٤

۲-٥ مطالعات عملکردی اجزای غیر سازه ای..... ۱٥

۲-٥-۱ تحلیل خطر زلزله..... ۱۷

۲-٥-۲ محاسبهٔ پاسخ..... ۱۹

۲-٥-۳ توابع آسیب‌پذیری..... ۲۲

۲-٦ محدودهٔ طرح..... ۲۳

۳ اجسام صلب بلوک مانند..... ۲۵

۳-۱ مقدمه..... ۲۵

۳-۲ روابط حاکم برحرکت جسم صلب..... ۲٦

۳-۳ حرکت لغزشی..... ۲۸

۳-٤ شرایط حرکت لغزشی..... ۲۹

۳-۵ ساده کردن روابط حرکت لغزشی..... ۳۰

۳-٦ عملکرد بلوک های صلب آزاد تحت اثر لغزش..... ۳٤

۳-۷ حالات خرابی برای پاسخ لغزشی..... ۳۵

۳-۷-۱ جابجایی نسبی بیش از حد..... ۳۵

۳-۷-۲ شتاب مطلق بیش از حد..... ۳۵

٤ تولید زلزله مصنوعی..... ۳۸

٤-۱ مقدمه..... ۳۸

٤-۳ نرم‌افزار SIMQKE..... ۳۹

٤-۳-۱ معرفی نرم‌افزار..... ۳۹

٤-۳-۲ اطلاعات ورودی نرم‌افزار..... ٤۰

٤-۳-۳ اطلاعات خروجی نرم‌افزار..... ٤٤

٤-٤ زلزله‌های تولید شده..... ٤٦
٤-٤-١ کلیات..... ٤٦
٤-٤-٢ تنظیم فایل ورودی..... ٤٧
٤-٤-٣ ساخت زلزلهٔ مصنوعی بر مبنای طیف پاسخ استاندارد ٢٨٠٠ ویرایش سوم..... ٤٩
٥-٢-٢ ساخت زلزلهٔ مصنوعی بر مبنای طیف پیشنهادی ICC ..... ٥٢

٥ تحلیل پاسخ بلوک و تشکیل منحنی های آسیب پذیری..... ٥٧
٥-١ مقدمه..... ٥٧
٥-٢ تحلیل پاسخ بلوک..... ٥٨
٥-٣ تشکیل منحنی های آسیب‌پذیری..... ٦٥

٦ نتایج و پیشنهادات..... ٧٢
٦-١ نتایج..... ٧٢
٦-٢ پیشنهادات..... ٧٣
منابع ..... ٧٥
پیوست ..... ٧٧

# ۱ مقدمه

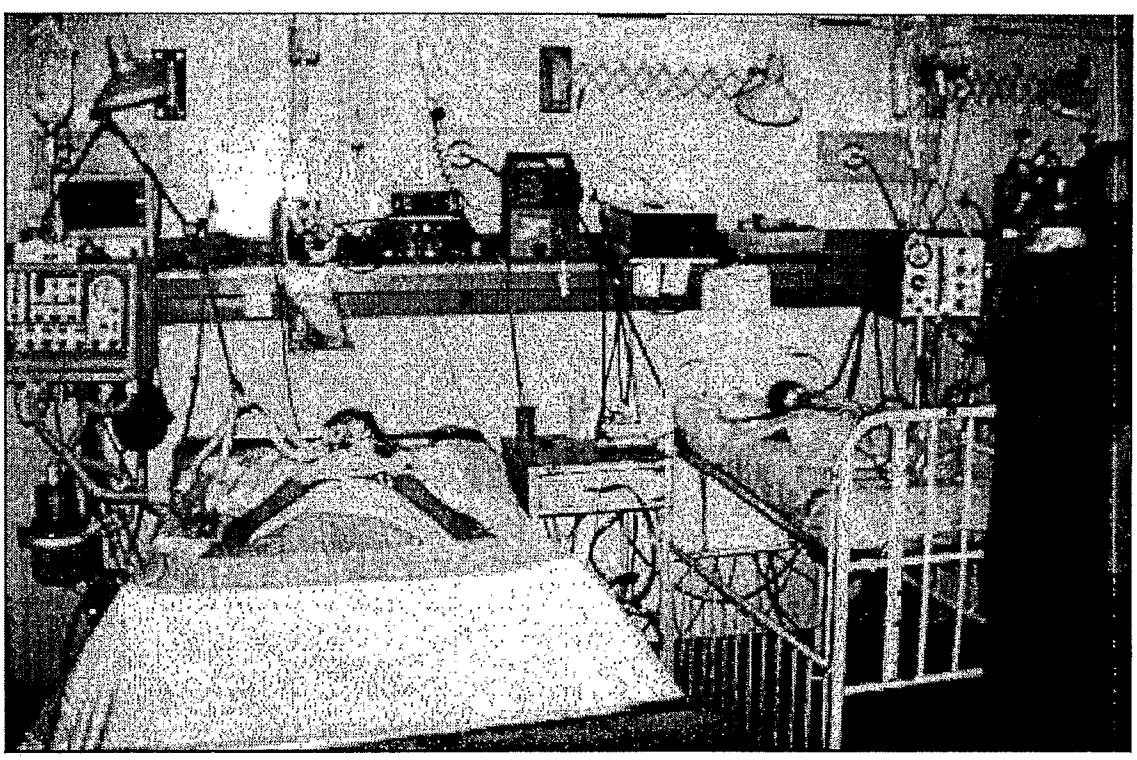
## ۱-۱ اجزای غیرسازه‌ای

به طور کلی، اجزای غیرسازه‌ای[1] عبارتند از کلیهٔ اجزای موجود در یک ساختمان به جز آن دسته از المانها که برای عملکرد سازه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. به عبارت ساده‌تر اگر اسکلت اصلی ساختمان که وظیفهٔ باربری ثقلی و جانبی را دارد و سایر قسمت‌هایی که به نحوی در تحمل نیروها مؤثرند مانند پی را کنار بگذاریم، هر آنچه که در یک محیط بسته که مؤید تصور ما از ساختمان است، وجود دارد، جزو اجزای غیرسازه‌ای می‌باشد. با این تعریف، واضح است که اجزای غیرسازه‌ای گسترهٔ وسیعی از تجهیزات مکانیکی و الکتریکی، المان‌های معماری (مانند دیوارهای جداکننده و سقف‌های کاذب) و محتویات داخل ساختمان (مثل مبلمان داخلی در منازل و تأسیسات پزشکی در بیمارستان‌ها) را در بر می‌گیرد و همین امر یکی از علل اصلی پیچیدگی‌های موجود در مطالعات غیرسازه‌ای است.

[1] - Non-structural Components

البته نباید اجزای غیرسازه‌ای را با اجزای ثانویه[1] اشتباه گرفت. اجزای غیرسازه‌ای کاملاً جدا از سیستم سازه‌ای باربر است. به عبارت دیگر اجزای غیرسازه‌ای تنها از طریق نیروهای اینرسی بر رفتار سازهٔ اصلی اثر می‌گذارند و به افزایش یا کاهش سختی آن تأثیری ندارند. در حالی که اجزای ثانویه بر رفتار لرزه‌ای سازه مؤثرند[۱۰].

**عکس ۱ : نمونه‌ای از اجزای غیر سازه ای در یک ساختمان با اهمیت زیاد[٤]**



## ۱-۲ ضرورت مطالعات غیرسازه‌ای

آسیب‌های وارد بر اجزای غیرسازه‌ای به دو شکل کلی می‌تواند موجب خسارت شود. خسارات جانی و خسارات اقتصادی. در موارد خاص خسارات جانی حاصل از آسیب‌های وارد بر اجزای غیرسازه‌ای بسیار شدیدتر از خرابی سازه‌ای می‌باشد. این مسئله بعد از زلزلهٔ

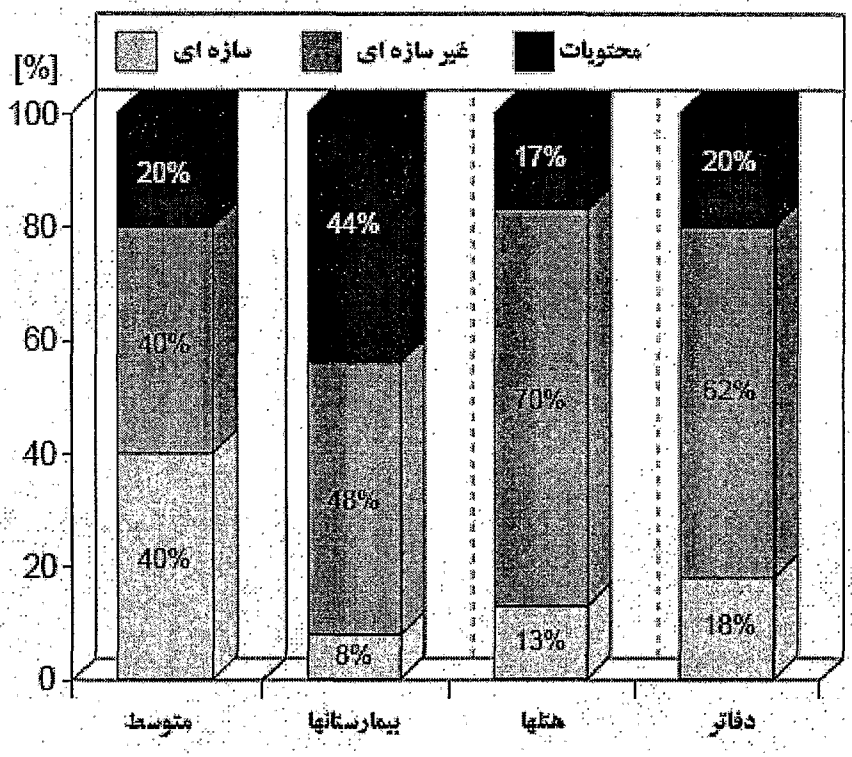
[1] - Secondary Components

۱۹۷۱ سانفرناندو توجه مهندسین را به خود جلب کرد، چرا که بررسی بسیاری از بیمارستان‌های قدیمی نشان داد علی‌رغم آن که ساختمان آنها از نظر سازه‌ای ایستایی خود را حفظ کرده بودند لیکن به دلیل خسارات وارد بر تجهیزات و امکانات ضروری موجود، بعد از زلزله بیمارستان‌ها قادر به خدمت‌رسانی به مصدومین حادثه نبودند[۱۰]. علاوه بر این‌گونه خسارات غیرمستقیم، اجزای غیرسازه‌ای می‌توانند تحدیدی مستقیم برای سلامت و حتی زندگی افراد مستقر در یک ساختمان باشند. یک کمد یا قفسهٔ سنگین در طول زلزله نه تنها می‌تواند روی ساکنین واژگون شود بلکه با قرار گرفتن در مسیر گریز زلزله‌زدگان و ایجاد تأخیر در خروج از ساختمان می‌تواند سبب حوادث جبران‌ناپذیری گردد. البته این ساده‌ترین و ملموس‌ترین مثالی است که در این ارتباط می‌توان بیان داشت.

در مناطق زلزله‌خیز خسارات اقتصادی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای بسیار زیاد است. نگاهی به نسبت خسارات اقتصادی وارد بر اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای جالب توجه است. در گزارشی که Kanda و Hirakawa ارائه داده‌اند تعداد ۲۱۰ ساختمان که در زلزلهٔ ۱۹۹۵ Hyogo-ken آسیب دیده‌اند بررسی شده‌اند[۸]. با توجه به این که محتویات ساختمان نیز جزو اجزای غیرسازه‌ای محسوب می‌شوند، نزدیک به ۶۰ درصد از خسارات متوجه این المان‌ها بوده است و این مقدار در مورد بیمارستان‌ها به بیش از ۹۰ درصد رسیده است، چرا که تجهیزات پزشکی موجود در این مراکز، قیمت زیادی دارند. با توجه به آنچه گفته شد، فعالیت درخصوص کاهش امکان آسیب به اجزای غیرسازه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. همچنین لازم است که مهندسین درک صحیحی از عملکرد اجزای غیرسازه‌ای در طول زلزله داشته باشند. در این راستا بررسی آسیب‌پذیری[1] اجزای غیرسازه‌ای در مقابل زلزله برای جلوگیری از خسارات در آینده بسیار مهم و راهگشاست.

---

[1] - Fragility

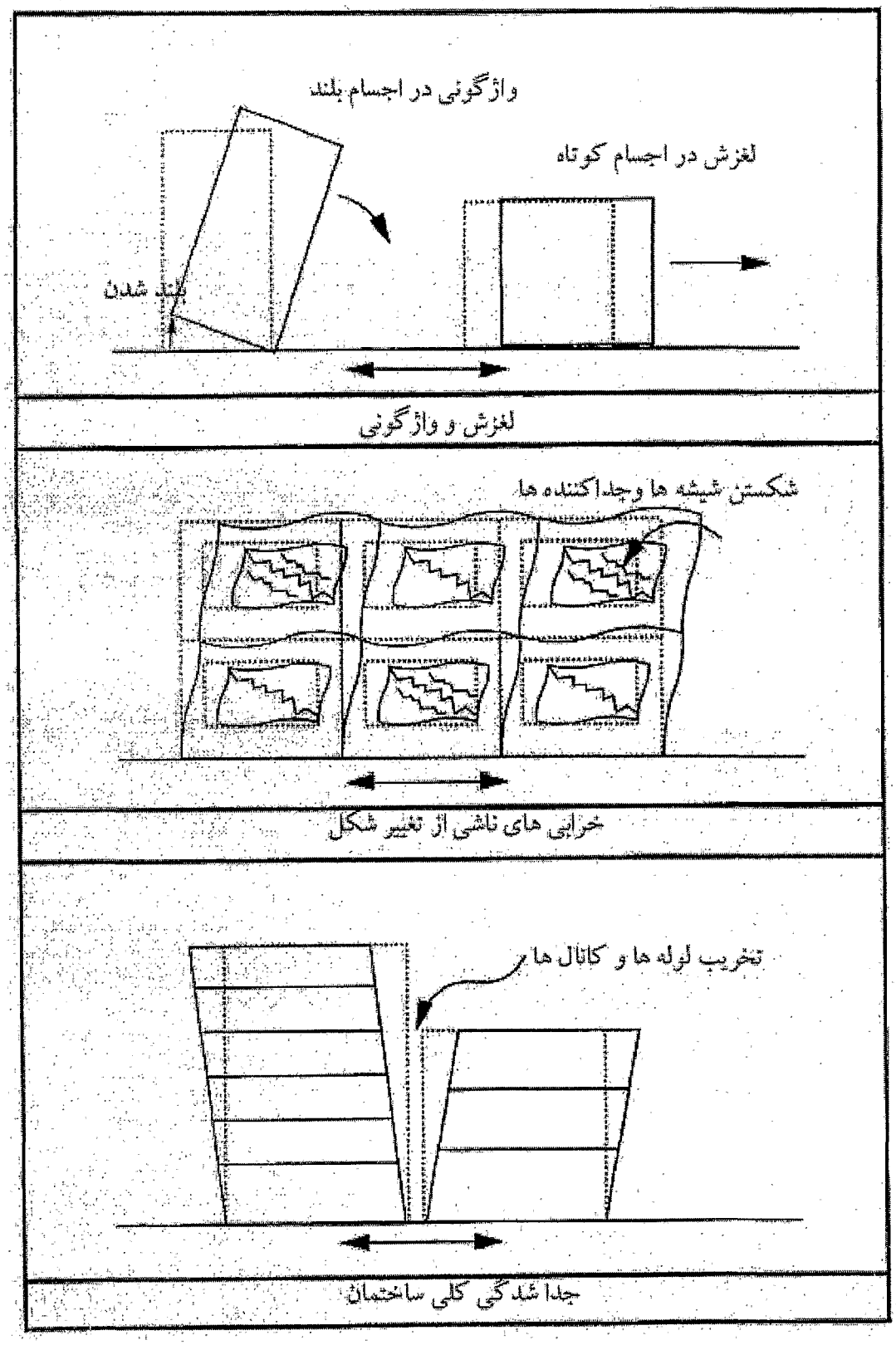



شکل ۱-۱: درصد خسارات حاصل از زلزله به تفکیک نوع اجزا. [۸]

## ۱-۳ اجزای غیرسازه‌ای بلوک مانند[1] و پاسخ آنها در مقابل زلزله

تحریکات ناشی از زلزله سه اثر عمده بر اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌ها دارند، که عبارتند از آثار ناشی از حرکت یا اینرسی[2] در خود اجزای غیرسازه‌ای، آسیب‌های وارد بر اجزای غیرسازه‌ای به سبب لرزش و جابجایی سازه ساختمان و جدا شدن یا برخورد در محل تماس دو سازهٔ مجاور. این سه اثر در شکل ۱-۲ قابل مشاهده است (FEMA, 1994).

[1] - Block-type non-structural Components
[2] - Inertial or shakig effects




**شکل ۱-۲: اثر زلزله بر اجزای غیرسازه‌ای (FEMA, 1994)**

تحقیق حاضر درخصوص عملکرد لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای که به سبب اثر اینرسی یا جابجایی، آسیب می‌بینند، می‌باشد (بخش اول در شکل ۲).

این دسته از اجزای غیرسازه‌ای به علت نوع پاسخشان به تحریکات زلزله به خوبی این قابلیت را دارند که به شکل بلوک‌های یک تکه مدل شوند و از این طریق مورد بررسی قرار گیرند. چنان که در فصل سوم خواهیم دید اساساً چهار نوع پاسخ در مقابل تحریکات پایه برای اجزای بلوک مانند قابل تصور است: بدون حرکت[1]، لغزش[2]، حرکت گهواره‌ای[3] و بالا پریدن[4]، که البته ترکیبات مختلفی از این حرکات اصلی نیز می‌تواند برای بلوک روی دهد.

مشخصاً، لغزش یک شکل خرابی مهم برای تجهیزات بلوک مانند می‌باشد که در معرض خطر زلزله قرار دارند. البته لغزش صرفاً یک عامل مخرب نیست بلکه در حقیقت می‌توان از لغزش به عنوان یک عامل مؤثر برای جداسازی پایه‌ای افقی[5] بهره جست و به این ترتیب شتاب مطلق وارد بر اجزا را کاهش داد. در عین حال لغزش بیش از حد، می‌تواند موجب آسیب به خود عضو غیرسازه‌ای و یا اشیای اطرافش شود.

## ۱-۴ تاریخچه

یک سیر سیستماتیک در پیشبرد اطلاعات آسیب‌پذیری اجزای غیرسازه‌ای، منجر به تقسیم‌بندی این اجزا به سه گروه زیر می‌گردد[۱۲]:

- اجزای غیرسازه‌ای مهار نشده
- اجزای غیرسازه‌ای مهار شده
- سیستم‌های غیرسازه‌ای متشکل از مجموعه‌ای از اجزای غیرسازه‌ای.

---

[1] - at rest
[2] - Sliding
[3] - Rocking
[4] - Jumping
[5] - Horizontal base isolation

مطالعات آسیب‌پذیری برای دو گروه اول به دو شکل تحلیلی و تجربی، تحت حالات خرابی مختلف قابل پیشبرد است. [Zhu and Soong 1998] اولین گام‌ها را در این خصوص آغاز کردند و پس از آن [ Chong and Soong 2000] همچنین [Lopez and Soong] 2003 a,b Garcia در این راستا فعالیت نمودند. استفاده از طیف پاسخ طبقه برای مشخص کردن تحریکات ورودی، از سوی آنها، وسیله‌ای مناسب برای بررسی کمی خطر زلزله برای این دسته از اجزا تعیین گردید.

Lupoi 2003 و همکارانش این مطالعات را به صورت آزمایشگاهی انجام داده‌اند. در یک کار مشابه که در دانشگاه برکلی- کالیفورنیا [Konstantinidis and Makris 2003]، کارهای آزمایشگاهی برای بررسی عملکرد بلوک‌های صلب که به شکل آزاد ایستاده‌اند تحت اثر لغزش انجام گرفت. نتایج حاصله با استفاده از میز لرزان حاکی از آن بودند که حداکثر تغییر مکان بر اثر لغزش مستقیماً به حد اکثر شتاب پایه و مدت دوام شتاب حاکم وابسته هستند. میراندا، اسلانی و تقوی (۲۰۰٤) نیز از دیدگاه طراحی براساس سطح عملکرد، مسئله اجزای غیرسازه‌ای را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. بررسی فعالیت آنها روشنگر جایگاه مطالعات سایرین و این تحقیق خواهد گشت.

### ۱-۵ دورنما

هدف ما در این تحقیق بررسی آسیب‌پذیری اجزای غیرسازه‌ای بلوک مانند صلب می‌باشد. در واقع ما بلوک‌هایی را مطالعه خواهیم کرد که هیچ‌گونه پارامتر دینامیکی داخلی‌ای ندارند. در بدو امر منحنی‌های آسیب‌پذیری برای این‌گونه المان‌ها در شرایطی تولید می‌شود که شتابنگاشت‌های مورد استفاده منطبق بر یکی از طیف‌های شتاب استاندارد ۲۸۰۰ باشد. سپس براساس طیف پاسخ پیشنهادی ICC که به عنوان معیار پذیرش برای آزمایش‌های ارزیابی

لرزه‌ای توسط میز لرزان برای اجزای غیرسازه‌ای منتشر شده است، بدون تغییر سایر پارامترها شبتابنگاشت‌ها مجدداً بازسازی شده و منحنی‌های آسیب‌پذیری حاصله با نتایج قبلی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در نهایت با استفاده از چند شتابنگاشت واقعی مهم کشور همین مراحل تکرار می‌شود.

ارائه تعریف اولیه از خرابی، بازشناسی اجزای غیرسازه‌ای و آشنایی با مطالات آسیب‌پذیری اجزای غیرسازه‌ای رئوس مطالبی است که در فصل دوم بررسی می‌شود. سپس با تلفیق این عناوین، یک تقسیم‌بندی علمی از اجزای غیر سازه ای حاصل می‌شود که معیار آن علل ایجاد خرابی در المان‌هاست. مفاهیم معیار شدت (IM) و پارامتر تقاضای مهندسی (EDP) نیز در فصل دوم ارائه خواهد شد و در نهایت مرز مطالعات انجام گرفته در این تحقیق تشریح شده است.

فصل سوم مربوط است به روابط حاکم بر حرکت بلوک‌های صلب. با بررسی این روابط انواع پاسخ یک بلوک به تحریکات پایه مشخص می‌شود. در این میان پاسخ لغزشی، با حساسیت بیشتری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این که تحت چه شرایطی یک بلوک صلب صرفاً به صورت لغزشی عمل می‌کند و معادلات مفسر این حرکت چیست در فصل سوم مشخص می‌شود.

در فصل چهارم با نرم افزار تولید زلزله مصنوعی آشنا می‌شویم. اما فصل پنجم بخش عمده‌ای از فعالیت‌های این تحقیق را در خود جای داده است. در این فصل منحنی‌های آسیب‌پذیری بلوک بر پایهٔ دو گروه زلزله مصنوعی و چند زلزله واقعی و با بهره‌گیری ازیک برنامه تحلیل‌گر به زبان C++ تولید می‌شود و ضمن بررسی حساسیت منحنی آسیب‌پذیری به پارامترهای مختلف معادله حرکت، منحنی‌های حاصل از گروه‌های مختلف زلزله، مقایسه می‌شود.

## ۲ آسیب پذیری اجزای غیر سازه ای

### ۲-۱ تعریف خرابی

به طور کلی عملکرد یک سیستم، بر حسب نیاز مصرف کننده به دو دسته مطلوب و نا مطلوب تفکیک می‌گردد. یک سیستم مطلوب نیازهای مصرف کننده را تأمین می‌کند در حالی که سیستم نامطلوب نمی‌تواند تمام نیازهای او را برآورده سازد. از آنجا که مرز تفکیک فوق بر اساس نیازهای استفاده کننده تعریف می‌شود، این تعریف نسبی است و مطلق نمی‌باشد. به عبارت دیگر، یک سیستم می‌تواند بر حسب مورد، مطلوب یا نامطلوب باشد و یا آن که برای منظور خاصی مطلوب و برای منظوری دیگر نامطلوب باشد.

در مورد سیستم‌های سازه‌ای این مرز قدری مشخص‌تر است. زیرا نیازهای استفاده کننده از یک سازه به دو دسته نیازهای باربری و بهره بردای تقسیم می‌شود. هر چند این نیازها بسته به نحوه بهره‌برداری از سازه می‌توانند متغیر باشند، اما به هر حال حدود مشخص و تعریف شده‌ای دارند. به این ترتیب، هر سیستم سازه‌ای که فاقد باربری لازم باشد و یا برای بهره‌برداری خاصی مناسب نباشد سیستم نامطلوب تعریف می‌شود. اما در مورد اجزای غیرسازه‌ای مسئله کمی متفاوت است.

برای آن‌که دیدگاه صحیحی از خرابی در اجزای غیر سازه ای داشته باشیم پیش از هر چیز باید شناختمان از این اجزا، انواع آنها، کاربردشان و خطرهای ناشی از خرابی آنها، در حد کافی باشد.

## ۲-۲ اجزای غیر سازه ای

در طراحی هر سازه‌ای که در معرض حرکات لرزه‌ای قرار می‌گیرد باید اجزاء غیر سازه‌ای نظیر سقف‌ها، صفحه‌ها، دیوارهای جدا کننده، پنجره و درها و نیز امکانات و تجهیزات و تسهیلات، تأسیسات مکانیکی و بهداشتی که باید در مقابل تغییر مکان‌ها و حرکات سازه مقاومت نمایند را مدّ نظر قرار داد. به علاوه، باید خاطر نشان کرد که تحریک وارد بر اجزاء غیر سازه‌ای، که به وسیله‌ی حرکات سازه ایجاد می‌شود، به طور کلی بیشتر از تحریک وارد شده بر فنداسیون بنا است، به این معنی که در بسیاری از موارد ایمنی اجزاء غیرسازه‌ای بیش از ایمنی خود سازه در معرض خطر است.

علیرغم موارد فوق، به طور کلی توجه اندکی به این اجزاء در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها به عمل آمده است، تا آن حد که بسیاری از کدهای طراحی استانداردی برای مؤلفه‌های غیر سازه‌ای لحاظ نکرده است. این مسئله در زمین لرزه‌های اخیر مشهود است چرا که در این زمین لرزه‌ها سازه‌های طراحی شده بر طبق معیارهای جدید مقاومت در مقابل زمین لرزه بخوبی عمل کردند، ولی متأسفانه پاسخ کافی و وافی از طرف اجزاء غیرسازه‌ای وجود نداشت. اگر ایمنی ساکنان یک ساختمان، هزینه‌های نقل و انتقال و زیان‌های جانی و مالی که در حاصل وقفه در عملکرد ساختمان است، مورد توجه قرار بگیرند، اهمیت طراحی لرزه‌ای اجزاء غیرسازه‌ای را می‌توان درک کرد.