

## مقایسه روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های مسکونی در تبریز با بکارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

سیدعلی موسوی خلخالی<sup>۱</sup>، مهدی پورشاء<sup>۲\*</sup>، حسن افشین<sup>۳</sup> و محمدرضا چناقلو<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

(دریافت: ۹۵/۱۱/۱۰، پذیرش: ۹۶/۶/۴، نشر آنلاین: ۹۶/۶/۵)

### چکیده

با توجه به عدم مقاوم بودن آن‌دسته از ساختمان‌های مسکونی در شهر لرزه‌خیز تبریز که بر اساس آیین‌نامه‌های قدیمی یا بدون ملاحظات آیین-نامه‌ای ساخته شده‌اند، لازم است که در مدت زمان اندک نسبت به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای این ساختمان‌ها اقدام شود. از این‌رو باید روشی برای برآورد سریع آسیب‌پذیری ساختمان‌ها با توجه به شرایط منطقه لرزه‌خیز تهیه شود. برای رسیدن به نتایج مناسب لازم است که دقت ارزیابی و سازگاری روش‌های مختلف موجود با شرایط و ویژگی‌های ساختمان‌های منطقه مورد نظر مورد بررسی قرار گیرد و پس از مقایسه آن‌ها، مناسب‌ترین روش برای ارزیابی سریع ساختمان‌های منطقه انتخاب شود. برای انجام این امر می‌توان از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که یکی از روش‌های آنالیز تصمیم-گیری چندمعیاره است، استفاده نمود. برای تعیین دقت روش‌های ارزیابی سریع که یکی از معیارهای تعیین شده برای مقایسه این روش‌ها است، دو ساختمان فولادی با سیستم مهاربندی همگرا و یک ساختمان بنایی غیرمسلح که در فاصله زمانی سال‌های ۶۵ تا ۷۴ در شهر تبریز ساخته شده‌اند، با روش‌های ارزیابی سریع و کمی، مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد. ارزیابی کمی این ساختمان‌ها نیز بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و با استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی انجام می‌شود. روش‌های ارزیابی سریع مورد مقایسه در این پژوهش، شامل روش‌های ارائه شده در دستورالعمل‌های FEMA154، NRC، ایران (نشریه‌های ۳۶۴ و ۳۷۶) و همچنین روش آریای تکمیل شده می‌باشد. این روش‌ها با استفاده از روش AHP بر مبنای ۷ معیار تعیین شده، با یکدیگر مورد مقایسه می‌گیرند و از بین آن‌ها روشی مناسب برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های مسکونی در تبریز معرفی می‌شود. مقایسه نتایج ارزیابی سریع و کمی نشان می‌دهد که ارزیابی سریع مطابق FEMA154 دارای دقت و اطمینان بیشتری نسبت به سایر روش‌های یاد شده در ارزیابی ساختمان‌های مورد مطالعه می‌باشد. همچنین این روش در بین روش‌های یاد شده مناسب‌ترین گزینه برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مسکونی در تبریز می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع، ارزیابی کمی (تحلیلی)، ساختمان‌های مسکونی تبریز، سیستم مهاربندی همگرا، ساختمان بنایی غیرمسلح، روش AHP.

### ۱- مقدمه

است که حاصل آن به روش‌های تحت عنوان ارزیابی سریع لرزه‌ای منتج شده است. هدف از ارزیابی سریع لرزه‌ای ساختمان‌ها، شناسایی سریع و کم‌هزینه میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها و تعیین سطح ایمنی آنها می‌باشد (محمودزاده و مسکین‌نواز، ۱۳۹۰). برای رسیدن به نتایج مناسب لازم است دقت ارزیابی و سازگاری روش‌های مختلف موجود، با شرایط و ویژگی‌های ساختمان‌های منطقه مورد نظر مورد بررسی قرار گیرد و پس از مقایسه آن‌ها، مناسب‌ترین روش برای ارزیابی سریع ساختمان‌های منطقه مورد نظر انتخاب شود. در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری

یکی از گام‌های اساسی جهت حفظ سرمایه‌های مالی و کاهش خطر زلزله، مطالعه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و شناخت نقاط ضعف آن‌ها در برابر بارهای وارده و سعی در برطرف نمودن نواقص آن به شمار می‌رود (محسنی، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه در برخی موارد، دستیابی به اطلاعات مورد نیاز از ساختمان‌ها غیر قابل دسترسی است، بنابراین از روش‌های تحلیلی نمی‌توان استفاده نمود. بر این اساس، تحقیقات گسترده‌ای در جهان به منظور یافتن روش‌های کارآمد و قابل اعتماد صورت پذیرفته

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۴۵۹۳۸۸

آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، شامل واحدهای مسکونی معمولی غیرآپارتمانی واقع در تبریز، دارای سه طبقه و کمتر می‌باشد که سال اتمام ساخت آن‌ها بین سال‌های ۶۵ تا ۷۴ بوده و دارای سیستم ساختمانی اسکلت فلزی یا بنایی است. با توجه به این که بر اساس مطالعات انجام شده، بیشتر ساختمان‌های ساخته شده در بازه زمانی یادشده دارای ویژگی‌های مشابه بودند، برای تعیین دقت ارزیابی روش‌های ارزیابی سریع که یکی از معیارهای مقایسه این روش‌ها در این تحقیق می‌باشد، سه نمونه ساختمان مسکونی واقع در تبریز شامل دو ساختمان فولادی با سیستم مهاربندی همگرا و یک ساختمان بنایی غیرمسلح با روش‌های ارزیابی سریع و کمی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در نهایت روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع، با استفاده از روش AHP مورد مقایسه قرار گرفته و یک روش مناسب برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مورد مطالعه معرفی می‌شود. بنابراین، یکی از جنبه‌های جدید و مهم این تحقیق، بررسی دقت روش‌های ارزیابی سریع و مقایسه آنها با یکدیگر با استفاده از روش AHP می‌باشد.

## ۲- مفاهیم و روش‌های ارزیابی لرزه‌ای

### ۲-۱- مفاهیم آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری اصطلاحی است که جهت نشان دادن وسعت و میزان آسیب و خسارتی که احتمالاً در اثر وقوع سوانح طبیعی به جوامع، ساختمان‌ها و مناطق جغرافیایی وارد می‌شود، استفاده می‌گردد. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نیز در واقع یک نوع پیش‌بینی خسارت‌دیدگی آن‌ها در مقابل زلزله-های احتمالی است (زهراپی و همکاران، ۱۳۸۲).

### ۲-۲- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

به طور کلی می‌توان روش‌های تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای را به دو گروه روش‌های کیفی و کمی طبقه‌بندی نمود: ارزیابی کیفی در اغلب اوقات به صورت ارزیابی سریع با کمک فرم‌های مخصوص صورت می‌گیرد. معمولاً در فرم‌های ارزیابی کیفی، به عواملی نظیر میزان خطر زلزله در ساختگاه ساختمان، شرایط خاک محل، تپ و نوع ساختمان و سازه آن، انواع نامنظمی‌های موجود در پلان و ارتفاع و اهمیت ساختمان و در برخی فرم‌ها به اجزای غیرسازه‌ای توجه شده است و به هر مورد با کمک جدول‌هایی امتیازی داده می‌شود که در نهایت امتیاز ساختمان تعیین می‌شود. این امتیاز برای طبقه‌بندی و رده‌بندی ساختمان مناسب است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

لرزه‌ای ساختمان‌ها مطالعات فراوانی صورت گرفته است. از قدیمی‌ترین تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به پژوهش Steinbrugge و همکاران (۱۹۶۹) اشاره نمود که روشی را برای برآورد آسیب ناشی از زلزله به ساختمان‌های چوبی واقع در کالیفرنای آمریکا پیشنهاد کردند (محسنی، ۱۳۸۷).

شاید بتوان گفت که گسترده‌ترین تحقیقات در زمینه ارزیابی سریع لرزه‌ای در سال‌های اخیر مربوط به آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا (FEMA) است. از گزارش‌های مربوط به این تحقیقات می‌توان به FEMA 154 (FEMA, ۲۰۰۲) و FEMA 155 (FEMA, ۲۰۰۲) اشاره کرد که بحث مربوط به ارزیابی سریع لرزه‌ای را به‌طور ویژه مورد بررسی قرار می‌دهد (محمودزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

Kaplan و همکاران (۲۰۰۸)، روشی جدید بر اساس روش HAZUS (۱۹۹۷) برای ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های ترکیه پیشنهاد کردند.

Achs و Adam (۲۰۱۲)، با معرفی یک روش ارزیابی سریع چشمی (RVS)، گروهی از ساختمان‌های تاریخی آجری شهر وین را مورد ارزیابی قرار دادند.

Alam و همکاران (۲۰۱۲)، تعدادی از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای را مورد مقایسه قرار دادند. در این راستا روش پیشنهادشده توسط Hill و Rossetto (۲۰۰۸)، توسعه داده شد و به‌همراه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در مقایسه روش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین یک روش ترکیبی جدید نیز برای ارزیابی ساختمان‌ها پیشنهاد گردید.

زهراپی و همکاران (۱۳۸۲)، به‌بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین پرداختند. در این تحقیق به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، روش ارزیابی آسیب‌پذیری آریا انتخاب گردید. جهت استفاده از این روش، مجموعه‌ای از اصلاحات تکمیلی در بندهای کلی جدول آریا برای ارزیابی تمامی سیستم‌های ساختمانی منطقه و رسیدن به جواب‌های دقیق‌تر صورت گرفت.

غلامین (۱۳۸۷)، پس از انجام مراحل کارشناسی، با انتخاب روش آریا از میان روش‌های موجود، ۲۰۰ ساختمان شامل ساختمان‌های موجود و در حال ساخت تبریز را مورد ارزیابی قرار داد.

شایانفر و خدام (۱۳۸۸)، با ارزیابی کیفی ۷۰ ساختمان توسط روش‌های آریا و ATC به مقایسه نتایج به دست‌آمده از این دو روش پرداختند.

در پژوهش حاضر محدوده ساختمان‌هایی که برای مقایسه روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع و انتخاب روش مناسب از بین

بیشتر شدن نمره نهایی ساختمان از حداقل نمره قابل قبول، ساختمان در گروه ۱ و در صورت کمتر شدن از آن در گروه ۲ از طبقه بندی بالا قرار می گیرد.

### ۳-۲- روش دستورالعمل NRC

دستورالعمل NRC (NRCC، ۱۹۹۳) که در سال ۱۹۹۳ توسط انجمن تحقیقات ملی کانادا (NRCC) منتشر شد، برگرفته از ATC-21 است که با عنوان "ارزیابی چشمی سریع ساختمانها برای خطرات لرزه ای بالقوه" توسط FEMA در سال ۱۹۸۸ میلادی منتشر گردید. در این روش یک فرم ارزیابی لرزه ای دو صفحه ای ارائه شده است که پس از بازدید از ساختمان و تکمیل فرم، دو شاخص سازه ای و غیر سازه ای تعیین می گردد و از مجموع آنها شاخص اولویت لرزه ای که نمره نهایی ساختمان محسوب می شود، به دست می آید. در این روش بر اساس مقدار به دست آمده برای نمره نهایی، ساختمانها به لحاظ اولویت برای ارزیابی بیشتر، به سه گروه با اولویت پایین، متوسط و بالا و همچنین در سطحی بالاتر با عنوان ساختمانهای خطرناک طبقه بندی می شوند.

### ۳-۳- روش آریای تکمیل شده

روش ارزیابی کیفی آریا توسط Arya (۱۹۶۷)، میلادی پیشنهاد شده است. این روش بر مبنای ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای بنایی پایه گذاری شده است که توسط زهرایی و همکاران (۱۳۸۳)، طی بررسیهای کارشناسی، روش آریا به روش تکمیل شده اصلاح گردید که طی آن مجموعه ای از اصلاحات تکمیلی در بندهای کلی جدول آریا صورت گرفت. روش ارزیابی آسیب پذیری آریا دارای جدولی شامل پارامترها و شاخصهای اصلی آسیب پذیری و ضرایب خسارت است. در این روش، ضرایب خسارت بین ۰ و ۴ بر حسب مقدار تأثیر شاخص در میزان خسارت به ساختمان برای سه شدت زمین لرزه ۷، ۸ و ۹ در مقیاس MSK تعیین شده اند. در این روش میزان آسیب با نسبت خسارت ساختمان که از مجموع اثر ضرایب خسارت با استفاده از معادله نسبت خسارت به دست می آید، به صورت عددی بین (۰-۱) تعیین می شود و میزان خسارت وارده به ساختمان بر اساس مقدار نسبت خسارت حاصل مشخص می گردد. پس از تعیین نسبت خسارت، ساختمانها به لحاظ میزان خسارت، در یکی از گروههای خسارت کم، متوسط، زیاد و احتمال ریزش ساختمان قرار می گیرند.

### ۳-۴- روش نشریه های ۳۶۴ و ۳۷۶ ایران

در کشورمان برای ارزیابی لرزه ای سریع ساختمانهای موجود دو روش پیشنهاد شده است که در نشریه های ۳۶۴

چنانچه سازه ای در ارزیابی کیفی مشکوک باشد یا ساختمان از درجه اهمیت بالایی برخوردار باشد، باید از روشهای ارزیابی کمی استفاده نمود. در روشهای کمی، ساختمان با دقت و جزئیات بیشتری مورد مطالعه قرار می گیرد و انجام آزمایش روی اعضای سازه ای و غیر سازه ای ضروری است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در این روش مدل سازی و تحلیل سازه انجام می شود. این نوع ارزیابی بر اساس مطالعه مقاومت، سختی و ظرفیت تغییر شکل اجزاء ساختمان و بر اساس تحلیلهای کامپیوتری انجام می گردد و در نهایت ظرفیتهای لرزه ای ساختمان مورد مطالعه، با ظرفیت لرزه ای که دستورالعملهای موجود برای ساختمانهای جدید توصیه می کنند، مقایسه می شود (محسنی، ۱۳۸۷).

### ۳- روشهای ارزیابی سریع آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها

روشهای مختلفی برای ارزیابی سریع آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها در کشورهای مختلف جهان ارائه شده است. روشهایی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته اند عبارتند از: روش ارائه شده در دستورالعملهای FEMA154، NRC، نشریه های ۳۶۴ و ۳۷۶ ایران و روش آریای تکمیل شده. در ادامه شرح مختصری از روشهای یاد شده ارائه می شود.

### ۳-۱- روش دستورالعمل FEMA154

ارزیابی سریع چشمی ساختمانها برای خطرات بالقوه لرزه ای در سال ۱۹۸۸ میلادی با انتشار گزارش FEMA 154 (FEMA، ۲۰۰۲) ظهور پیدا کرد. این دستورالعمل توسط آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا (FEMA) برای مهندسیین و متصدیان امر ساختمان و افراد آموزش دیده نوشته شده است. در این روش کاربران با بازرسی ساختمانها، آنها را به دو دسته طبقه بندی می کنند:

۱- ساختمانهایی که خطر آنها برای ایمنی جانی قابل قبول باشد.

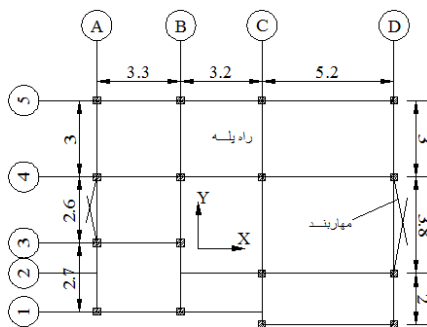
۲- ساختمانهایی که ممکن است از نظر لرزه ای خطرناک باشند و باید به وسیله افراد متخصص و با تجربه با جزئیات بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرند.

در این روش سه فرم جمع آوری اطلاعات برای مناطق با لرزه خیزی پایین، متوسط و بالا ارائه شده است. ارزیابی با توجه به لرزه خیزی منطقه یکی از فرمها را انتخاب کرده و اقدام به بازدید از ساختمان و تکمیل برگه ارزیابی می کند. پس از تکمیل برگه و جمع جبری نمرات پایه و اصلاح شده موجود بر روی برگه، نمره نهایی ساختمان به دست می آید. این نمره با حداقل نمره قابل قبول پیشنهاد شده ( $S=2$ ) مقایسه می شود که در صورت

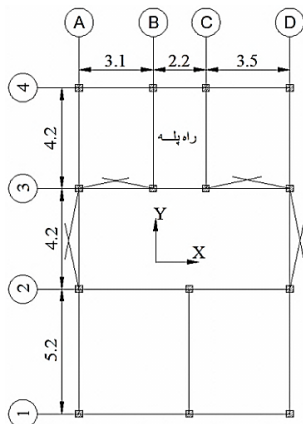
آسیب‌پذیری به دست آمده، مشابه روش ارزیابی تکمیل شده می‌باشد.

#### ۴- معرفی ساختمان‌های مورد ارزیابی

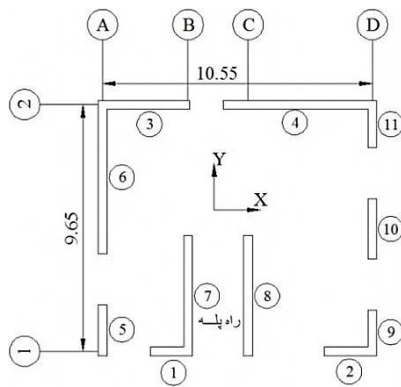
برای بررسی میزان دقت روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای، دو ساختمان فولادی با سیستم مهاربندی همگرا (BR1 و BR2) و یک ساختمان بنایی غیر مسلح (M1) در شهر تبریز انتخاب گردید که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۱- پلان سازه ساختمان‌های مورد بررسی:

(الف) ساختمان BR1، (ب) ساختمان BR2، (پ) ساختمان M1

(معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۸۷) و ۳۷۶ (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۶) ارائه شده است. به دلیل این که نشریه ۳۶۴ برای ارزیابی ساختمان‌های با سیستم سازه‌های فولادی و بتنی موجود و نشریه ۳۷۶ برای ارزیابی ساختمان‌های بنایی غیر مسلح موجود ارائه شده است، لذا در این مقاله هر دو نشریه به اختصار با عنوان روش ایران با سایر روش‌ها مقایسه خواهند شد.

نشریه ۳۶۴ در سال ۱۳۸۷ در راستای پروژه‌های مقاوم‌سازی و بهسازی ساختمان‌های مهم، تأسیسات زیربنایی و شریان‌های حیاتی کشور و لزوم توجه به امر اولویت‌بندی و ارزیابی سریع ساختمان‌های موجود، تدوین شد. فرآیند ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های موجود در این نشریه در دو مرحله ارزیابی چشمی و ارزیابی کیفی صورت می‌گیرد. این ارزیابی علاوه بر معرفی شاخصی کمتی تحت عنوان شاخص ارزیابی لرزه‌ای ساختمان، در قالب برگه‌های از پیش تعیین شده اطلاعاتی کیفی از رفتار ساختمان ارائه می‌کند. ساختار کلی برگه ارزیابی سریع چشمی ارائه شده در نشریه ۳۶۴ برگرفته از فرم ارائه شده در دستورالعمل FEMA154 است. در این روش نیز ارزیاب اقدام به بازدید از ساختمان و تکمیل برگه ارزیابی می‌کند. از جمع جبری نمره‌های پایه و اصلاحی، شاخص ارزیابی لرزه‌ای به دست می‌آید. پس از تعیین کرانه پایین شاخص ارزیابی لرزه‌ای (SL)، کرانه بالای شاخص ارزیابی لرزه‌ای (SU) و شاخص ارزیابی لرزه‌ای پایه (SB)، طبقه‌بندی ساختمان‌ها انجام می‌گیرد. این نشریه ساختمان‌ها را در چهار گروه با سطوح آسیب‌پذیری کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی می‌کند.

نشریه ۳۷۶ در سال ۱۳۸۶ برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های با مصالح بنایی غیر مسلح شامل کلاف‌دار و بدون کلاف که در آنها تمام و یا قسمت عمده بارهای قائم و جانبی توسط دیوارهای آجری یا بلوک سیمانی و یا سنگی تحمل می‌شود، تدوین شد. در این دستورالعمل روش کیفی خود به دو دسته روش‌های سریع و تفصیلی تقسیم شده است که در این تحقیق با توجه به موضوع، روش ارزیابی کیفی سریع مورد بررسی قرار خواهد گرفت. روش ارزیابی کیفی سریع بیشتر برای اولویت‌بندی ساختمان‌ها برای بهسازی به کار می‌رود. در این روش، ۱۰ پارامتر کلی مؤثر در میزان آسیب‌پذیری ساختمان در نظر گرفته می‌شود. پس از بازدید از ساختمان و برداشت مشخصات و ویژگی‌های ساختمان، از جدول مربوط به ارزیابی کیفی سریع، به هر یک از پارامترهای این روش، عددی نسبت داده می‌شود. درصد آسیب‌پذیری با استفاده از اعداد نسبت داده شده به هر یک از پارامترهای ۱۰ گانه، با استفاده از رابطه ارائه شده در نشریه تعیین می‌شود. طبقه‌بندی ساختمان‌ها نیز بر اساس درصد

در جدول‌هایی که در این مقاله ارائه می‌شوند، جهت اختصار، ARYA، NRC، FEMA، 364 و 376 به ترتیب نمایانگر روش‌های FEMA154، NRC، آریای تکمیل‌شده، نشریه ۳۶۴ و ۳۷۶ می‌باشند. لازم به ذکر است به دلیل لرزه‌خیزی بسیار زیاد شهر تبریز و سابقه زلزله‌های ویرانگر در آن، نتایج مربوط به شدت ۹ در مقیاس MSK به‌عنوان نتایج ارزیابی ساختمان‌های مورد مطالعه با روش آریای تکمیل شده در نظر گرفته شده است. مقادیر پیشنهادی نشریه ۳۶۴ برای SL، SB و SU نیز به‌ترتیب برابر صفر، ۲ و ۳ است.

#### ۶- ارزیابی کمی لرزه‌ای ساختمان‌های مورد ارزیابی

برای ارزیابی کمی ساختمان‌های مورد نظر، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover) مورد استفاده قرار گرفته است و مدل‌سازی و تحلیل سازه‌ها در نرم‌افزار SAP2000 (Computers and Structures Inc) انجام شده است. پس از مدل‌سازی و تحلیل سازه هر سه ساختمان مورد بررسی، کنترل‌های لازم بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲) انجام شده است که در ادامه تشریح می‌شود.

#### ۶-۱- دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲) اولین بار توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در سال ۱۳۸۱ منتشر شد که در سال ۱۳۸۵ مورد بازنگری قرار گرفته است. این دستورالعمل آخرین بار در سال ۱۳۹۲ مورد تجدید نظر قرار گرفته و توسط معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور منتشر شده است.

#### جدول ۲- سطوح آسیب‌پذیری پیش‌بینی‌شده در روش‌های ارزیابی سریع

سطح عملکرد	364	376 و ARYA	NRC	FEMA
قابلیت استفاده بی‌وقفه	آسیب‌پذیری کم	خسارت (آسیب‌پذیری) کم	اولویت ارزیابی بیشتر پایین	ایمنی قابل قبول
ایمنی جانی	آسیب‌پذیری متوسط	خسارت (آسیب‌پذیری) متوسط	اولویت ارزیابی بیشتر متوسط	قبول
آستانه فروریزش	آسیب‌پذیری زیاد	خسارت (آسیب‌پذیری) زیاد	اولویت ارزیابی بیشتر بالا	ساختمان خطرناک
تأمین نمی‌کند	آسیب‌پذیری بسیار زیاد	احتمال ریزش ساختمان	ساختمان خطرناک	خطرناک

#### جدول ۳- نتایج ارزیابی ساختمان BR1 با روش‌های ارزیابی سریع

روش ارزیابی سریع	ساختمان BR1		ساختمان BR2		ساختمان M1
	نمره ساختمان	نتیجه ارزیابی سریع	نمره ساختمان	نتیجه ارزیابی سریع	نمره ساختمان
FEMA	۱/۱	ساختمان خطرناک	۱/۳	ساختمان خطرناک	۰/۵
NRC	۱۸	اولویت متوسط	۱۶	اولویت متوسط	۳۷
ARYA	۰/۵	خسارت زیاد	۰/۴۶	خسارت متوسط	۱
364	۰/۶	آسیب‌پذیری زیاد	۱/۳	آسیب‌پذیری زیاد	۷۵/۳

#### جدول ۱- مشخصات ساختمان‌های مورد مطالعه

نام اختصاری	تعداد طبقات	نوع خاک	تاریخ ساخت
BR1	۳	III	۱۳۷۱
BR2	۲	II	۱۳۷۴
M1	۱	III	۱۳۶۶

نوع سقف در هر سه ساختمان طاق ضربی است که در سقف‌های دو ساختمان فولادی، تیرآهن‌ها به‌وسیله‌ی میلگردهای فولادی به‌صورت ضربدری به یکدیگر بسته شده‌اند. پلان سازه ساختمان‌های BR1، BR2 و M1 در شکل (۱) نشان داده شده است. واحد ابعاد بر حسب متر می‌باشد. مهاربندهای محور ۳ در ساختمان BR2 از نوع قطری و سایر مهاربندها ضربدری می‌باشند. با توجه به عدم وجود سیستم باربر جانبی در یک امتداد ساختمان BR1، آسیب‌پذیر بودن آن در بالاترین سطح به‌عنوان نتیجه ارزیابی سریع و کمی بدیهی است. با توجه به این که هدف مقاله حاضر، مقایسه نتایج ارزیابی سریع و کمی ساختمان‌ها می‌باشد، در صورت در نظر گرفتن امتداد بدون سیستم باربر جانبی در ارزیابی آن، مقایسه مفیدی میان نتایج ارزیابی سریع و کمی صورت نخواهد گرفت. بنابر این این ساختمان فقط در امتداد دارای مهاربند، مورد ارزیابی سریع و کمی قرار می‌گیرد.

#### ۵- ارزیابی سریع لرزه‌ای ساختمان‌های مورد بررسی

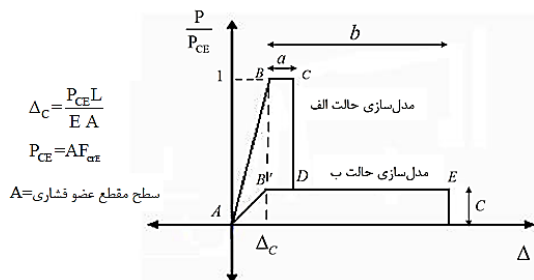
در هر یک از روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای، سطوحی از آسیب‌پذیری پیش‌بینی شده است که ساختمان‌ها پس از ارزیابی در یکی از این سطوح قرار می‌گیرند (شکل (۲)). ساختمان‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری، مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج ارزیابی آن‌ها بر اساس جدول (۲)، در جدول (۳) ارائه شده است.

ارزیابی آن در یک امتداد و بی تأثیر بودن اعمال اثر یادشده، از اعمال آن صرف نظر شده است.

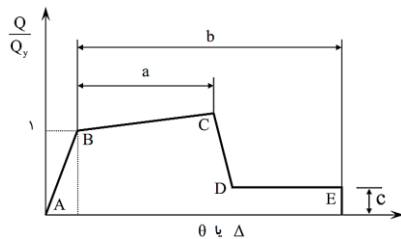
#### ۵-۶- مدل رفتار غیرخطی اعضا

با توجه به این که مهاربندها و ستون‌های دهانه مهاربندی نقش اصلی در عملکرد ساختمان‌های فولادی در برابر نیروهای جانبی دارند، بنابراین برای مدل‌سازی غیر خطی فقط به این اعضا مفصل پلاستیک اختصاص داده شده است. کشش و فشار محوری در مهاربندها طبق دستورالعمل بهسازی با رفتار تغییر شکل کنترل و ستون‌های دهانه مهاربندی با رفتار نیرو کنترل در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین مقاومت مورد انتظار برای مهاربندها و کرانه پایین مقاومت برای ستون‌ها در کشش و فشار مطابق دستورالعمل بهسازی و مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان (دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲) محاسبه شده است. برای اعضای مهاربندی در فشار و کشش، رفتار غیرخطی مطابق منحنی نیرو- تغییر شکل ارائه شده در دستورالعمل بهسازی که به ترتیب در شکل (۲) و شکل (۳) نشان داده شده است، اختصاص داده می‌شود.

جهت تعریف و اختصاص رفتار غیر خطی برای دیوارهای بنایی مطابق نشریه ۳۶۰، ابتدا مقاومت جانبی مورد انتظار آنها بر اساس مودهای شکست برشی لغزشی و حرکت گهواره‌ای و کرانه پایین مقاومت جانبی آنها بر اساس مودهای شکست قطری و تنش فشاری پنجه دیوار بر مبنای این نشریه محاسبه شده است.



شکل ۲- منحنی نیرو- تغییر شکل برای مهاربندهای فولادی فشاری (نشریه ۳۶۰، ۱۳۹۲)



شکل ۳- منحنی نیرو- تغییر شکل برای مهاربندهای فولادی کششی (نشریه ۳۶۰، ۱۳۹۲)

در این دستورالعمل نحوه ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها برای طوح مختلف عملکرد ارئه شده است و در مورد بسیار از اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای ایران، معیارهای پذیرش و بهسازی مناسب عرضه شده است.

#### ۲-۶- کنترل صلبیت دیافراگم

برای کنترل صلبیت دیافراگم مطابق دستورالعمل بهسازی، پس از تحلیل استاتیکی معادل برای ساختمان‌ها و به دست آمدن نیروی جانبی وارد بر طبقه، دیافراگم بام به صورت تیر عمیق بر روی تکیه‌گاه‌هایی با سختی متفاوت (تکیه‌گاه فنی) مدل‌سازی شده و نیروی افقی وارد بر طبقه، متناسب با توزیع جرم در آن بر روی تیر اعمال شده است. با توجه به این که نسبت حداکثر تغییر شکل افقی دیافراگم (حداکثر تغییر شکل تیر عمیق) به متوسط تغییر مکان نسبی طبقه بام در هر دو ساختمان فولادی از عدد ۰/۵ کمتر و در ساختمان بنایی از آن بیشتر به دست آمده است، دیافراگم ساختمان‌های فولادی و بنایی به ترتیب صلب و نیمه‌صلب در نظر گرفته شده است.

#### ۳-۶- کنترل در نظر گرفتن پیچش اتفاقی

برای کنترل نیاز یا عدم نیاز به در نظر گرفتن پیچش اتفاقی، پس از انجام تحلیل استاتیکی خطی بر اساس نشریه ۳۶۰، ضریب تغییر مکان  $\eta$  برای هر طبقه محاسبه می‌گردد. مطابق این نشریه اگر تحت کل لنگر پیچشی (جمع لنگر پیچشی واقعی و اتفاقی) ضریب تغییر مکان در تمام طبقات کوچک‌تر از ۱/۸ باشد و یا اثر لنگر پیچشی اتفاقی کوچک‌تر از ۲۵ درصد اثر لنگر پیچشی واقعی باشد، می‌توان از اثر پیچش اتفاقی صرف نظر کرد. پس از کنترل موارد یادشده خروج از مرکزیت اتفاقی در تحلیل ساختمان BR1 و M1 در نظر گرفته شده است و از اعمال آن در تحلیل ساختمان BR2 صرف نظر شده است.

#### ۴-۶- کنترل نامنظمی

با توجه به ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در طبقات هر دو ساختمان فولادی مورد بررسی، حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان با احتساب پیچش تصادفی بیشتر از ۲۰ درصد با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف دارد. در ساختمان بنایی نیز فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در امتداد Y از ۲۰ درصد بعد آن در این امتداد بیشتر است. بنابراین هر سه ساختمان نامنظم در نظر گرفته شده‌اند. بر این اساس در تحلیل ساختمان BR2 و M1 اثر هم-زمان مؤلفه‌های افقی زلزله (ترکیب ۳٪) مطابق دستورالعمل بهسازی در نظر گرفته شده است. در ساختمان BR1 به دلیل

مکان هر محور در تراز بام به تغییر مکان مرکز جرم بام (ratio) محاسبه شده است. در نهایت، برای هر محور مقاوم جانبی تغییر مکان هدف از حاصل ضرب نسبت‌های به دست آمده در تغییر مکان هدف سازه با دیافراگم صلب حاصل می‌گردد که در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- تعیین تغییر مکان هدف محورهای مقاوم جانبی در امتداد X برای ساختمان M1

محور	نسبت	نسبت نهایی	$\Delta_i$ (cm)
۱	۱/۶	۱/۶	۲۰/۲۹
۲	۰/۲۷	۱	۱۲/۶۸

#### ۶-۷- نقطه کنترل و حالات بارگذاری

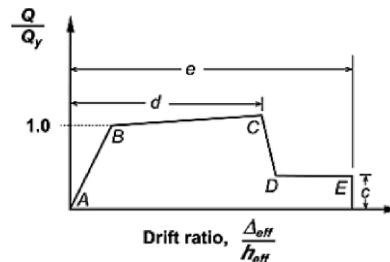
مطابق دستورالعمل بهسازی نقطه کنترل برای ساختمان‌های مورد ارزیابی در مرکز جرم بام در نظر گرفته شده است. همچنین مطابق دستورالعمل، سازه تحت بارگذاری ترکیب بارهای ثقلی و جانبی قرار گرفته و به هنگام رسیدن نقطه کنترل به تغییر مکان هدف، مورد ارزیابی قرار گرفته است. ترکیب بارها به این صورت در نظر گرفته شده‌اند که دو نوع توزیع بار جانبی شکل مود اول نوسان سازه و یکنواخت متناسب با وزن طبقات، در دو جهت خلاف یکدیگر، در ادامه حد پایین و بالای اثرات بارهای ثقلی بر سازه وارد می‌شوند.

#### ۶-۸- نتایج تحلیل و ارزیابی سازه

پس از انجام تحلیل سازه برای ساختمان‌های مورد ارزیابی تغییر شکل ایجاد شده در اعضای تغییر شکل کنترل و نیروی وارد شده بر اعضای نیرو کنترل تحت ترکیب بار بحرانی به هنگام رسیدن تغییر مکان نقطه کنترل به تغییر مکان هدف، بر اساس معیارهای پذیرش ارائه شده در دستورالعمل بهسازی کنترل شده‌اند که نتایج آن در جدول‌های (۵)، (۶) و (۷) ارائه شده است.

جدول ۵- کنترل سطح عملکرد مهاربندها و نسبت نیرو به ظرفیت ستون‌ها در طبقه اول ساختمان BR1

طول دهانه مهاربندی (m)	عضو	نوع نیرو	سطح عملکرد	ستون	نوع نیرو	نیروی وارده (kg)	مقاومت (kg)	نسبت نیرو به ظرفیت
۲/۶	۱	فشاری	تأمین نمی‌کند	A3	فشاری	۹۸۰۷۳	۶۴۱۶۶	۱/۵۳
		کششی	ایمنی جانی		کششی	۴۶۲۷۰	۸۱۹۰۰	۰/۵۶
۳/۸	۲	فشاری	تأمین نمی‌کند	A4	فشاری	۹۸۸۹۷	۶۴۱۶۶	۱/۵۴
		کششی	ایمنی جانی		کششی	۴۵۶۱۵	۸۱۹۰۰	۰/۵۶
۳/۸	۱	فشاری	تأمین نمی‌کند	D2	فشاری	۸۹۰۱۴	۶۴۱۶۶	۱/۳۹
		کششی	ایمنی جانی		کششی	۲۹۱۳۶	۸۱۹۰۰	۰/۳۶
۳/۸	۲	فشاری	تأمین نمی‌کند	D4	فشاری	۹۲۱۲۸	۸۵۱۰۹	۰/۰۸
		کششی	ایمنی جانی		کششی	۲۶۰۲۲	۱۰۲۶۰۰	۰/۲۵



شکل ۴- نمودار رابطه بین نسبت نیرو و نسبت تغییر مکان عضو برای اعضای مصالح بنایی (نشریه ۳۶۰، ۱۳۹۲)

در صورتی که مقاومت جانبی مورد انتظار داخل صفحه دیوارها و پایه‌ها کمتر از کرانه پایین مقاومت آن‌ها باشد، به صورت تغییر شکل کنترل و در غیر این صورت نیرو کنترل در نظر گرفته می‌شود. برای تعریف رفتار غیر خطی برای دیوارها می‌توان از منحنی عمومی نیرو- تغییر شکل مطابق شکل (۴) استفاده نمود.

#### ۶-۶- محاسبه تغییر مکان هدف

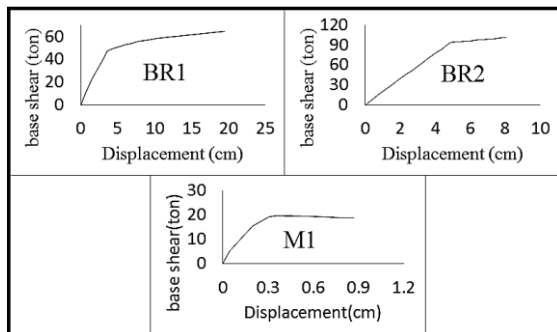
برای تعیین تغییر مکان هدف از روش ضرایب تغییر مکان ارائه شده در دستورالعمل بهسازی استفاده شده است. با توجه به این که تغییر مکان هدف با استفاده از منحنی ظرفیت به دست آمده از تحلیل غیرخطی سازه به دست می‌آید، پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی اولیه با تغییر مکان هدف فرضی و به دست آمدن طیف ظرفیت، مطابق دستورالعمل بهسازی، دو خطی‌سازی آن انجام شده و تغییر مکان هدف نهایی سازه تعیین شده است. تغییر مکان هدف به دست آمده برای ساختمان BR1 برابر ۱۲/۷ سانتی‌متر، برای ساختمان BR2 در هر دو امتداد سازه برابر ۵ سانتی‌متر و برای ساختمان M1 در امتداد Y برابر ۰/۷۴ سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به این که دیافراگم ساختمان M1 در امتداد X نیمه‌صلب فرض شده است، بر اساس نشریه ۳۶ پس از محاسبه تغییر مکان هدف برای حالت دیافراگم صلب که برابر ۱۲/۶۸ سانتی‌متر به دست آمد، تحلیل دینامیکی طیفی انجام شده و برای هر محور مقاوم در برابر بار جانبی، نسبت تغییر

جدول ۶- کنترل سطح عملکرد مهاربندها و نسبت نیرو به ظرفیت ستون‌ها در طبقه اول ساختمان BR2

دهانه	طول دهانه مهاربندی (m)	عضو	نوع نیرو	سطح عملکرد	ستون	نوع نیرو	نیروی وارده (kg)	مقاومت (kg)	نسبت نیرو به ظرفیت
3A-3B	۳/۱	۱	فشاری	تأمین نمی‌کند	A2	فشاری	۴۰۹۴۹	۵۲۸۱۳	۰/۷۸
			کششی	قابلیت استفاده بی‌وقفه		کششی	۰	۶۶۶۰۰	۰/۰۰
3C-3D	۳/۵	۱	فشاری	تأمین نمی‌کند	D2	فشاری	۹۳۸۸۲	۵۲۸۱۳	۱/۷۸
			کششی	قابلیت استفاده بی‌وقفه		کششی	۱۰۴۴۴	۶۶۶۰۰	۰/۱۶
A2-A3	۴/۲	۱	فشاری	ایمنی جانی	A3	فشاری	۲۲۷۲۶	۵۲۸۱۳	۰/۴۳
			کششی	قابلیت استفاده بی‌وقفه		کششی	۰	۶۶۶۰۰	۰/۰۰
D2-D3	۴/۲	۲	فشاری	ایمنی جانی	B3	فشاری	۱۶۴۳۱۴	۵۲۸۱۳	۳/۱۱
			کششی	قابلیت استفاده بی‌وقفه		کششی	۰	۶۶۶۰۰	۰/۰۰
		۱	فشاری	تأمین نمی‌کند	C3	فشاری	۱۵۶۵۹۰	۵۲۸۱۳	۲/۹۶
			کششی	ایمنی جانی		کششی	۰	۶۶۶۰۰	۰/۰۰
		۲	فشاری	تأمین نمی‌کند	D3	فشاری	۹۷۴۵۳	۵۲۸۱۳	۱/۸۵
			کششی	ایمنی جانی		کششی	۵۰۷۴۹	۶۶۶۰۰	۰/۷۶

جدول ۷- تغییر شکل پلاستیک به وجود آمده در دیوارهای تغییر شکل کنترل و سطح عملکرد آن‌ها

شماره دیوار	نوع نیرو	تغییر شکل پلاستیک (cm)	CP (cm)	LS (cm)	IO (cm)	سطح عملکرد
۱	برشی	۴/۹۰	۳/۶۷	۲/۴۳	۰/۲۷	تأمین نمی‌کند
۲	برشی	۴/۷۷	۳/۵۶	۲/۳۵	۰/۲۶	تأمین نمی‌کند
۵	برشی	۶/۲۸	۴/۶۷	۳/۰۷	۰/۲۷	تأمین نمی‌کند
۹	برشی	۶/۲۸	۴/۶۵	۳/۰۵	۰/۲۵	تأمین نمی‌کند
۱۱	برشی	۶/۸۱	۵/۰۶	۳/۳۳	۰/۲۷	تأمین نمی‌کند



شکل ۵- منحنی نیرو- تغییر مکان حاصل از تحلیل پوش‌آور

#### ۷- انتخاب روش مناسب برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های مسکونی در تبریز

جهت انتخاب روش مناسب برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مسکونی در تبریز، روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند. برای مقایسه این روش‌ها و انتخاب روشی مناسب از بین آن‌ها برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های مسکونی در تبریز نیاز به روشی است که بتوان معیارهای مختلف و تأثیرگذار از قبیل دقت روش، قابلیت روش برای ارزیابی سیستم‌های ساختمانی متداول، سرعت روش در ارزیابی و ... را در مقایسه روش‌ها دخیل کرد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

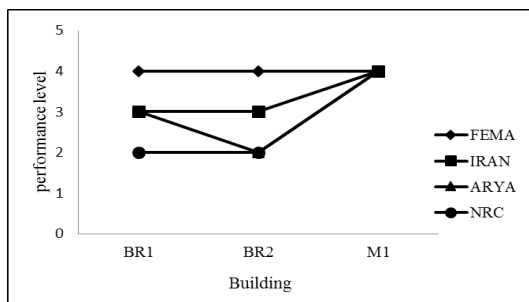
با توجه به این که بیش‌ترین اثرات بارهای جانبی و ثقلی در طبقه اول ساختمان‌ها ایجاد می‌شود و مشخصات اعضا در طبقات دو ساختمان فولادی یکسان هستند، طبقه اول این دو ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول‌های (۵)، (۶) و (۷) منظور از عبارت "تأمین نمی‌کند" این است که عضو، هیچ سطح عملکردی حتی سطح عملکرد آستانه فروریزش را نیز تأمین نمی‌کند. پس از ارزیابی ستون‌های دو ساختمان فولادی و دیوارهای نیرو کنترل در ساختمان بنایی مشخص شد که نیروی وارد بر برخی از اعضا در هر سه ساختمان از ظرفیت آن‌ها تجاوز کرده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که هر سه ساختمان مورد ارزیابی نه تنها سطح عملکرد ایمنی جانی بلکه سطح عملکرد آستانه فروریزش را نیز تأمین نمی‌کند.

منحنی نیرو- تغییر مکان (پوش‌آور) برای هر یک از ساختمان‌های مورد بررسی در شکل (۵) ارائه شده است. ارزیابی کمی لرزه‌ای ساختمان‌ها که برای تعیین سطح عملکرد آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تحقیق با توجه به دقیق‌تر بودن نتایج حاصل از ارزیابی کمی، دقت روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای از طریق مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی سریع و کمی بررسی و مشخص می‌شود.



در دو سطح آسیب‌پذیری طبقه‌بندی می‌کند و برای کلیه ساختمان‌های قرار گرفته در گروه ساختمان‌های خطرناک اولویت یکسانی برای ارزیابی بیشتر و دقیق‌تر آن‌ها در نظر می‌گیرد و همچنین با توجه به این که هر سه ساختمان مورد نظر را در سطح خطرناک به لحاظ لرزه‌ای طبقه‌بندی کرده است، از اطمینان و دقت بیشتری برای ارزیابی ساختمان‌های مسکونی برخوردار است. همچنین مطابق جدول (۸) سطح آسیب‌پذیری یاد شده سطح عملکرد "تأمین نمی‌کند" را نیز شامل می‌شود. بنابر این نتایج ارزیابی سریع با روش FEMA154 سازگاری بیشتری با نتایج ارزیابی کمی داشته و از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است. در شکل (۶) روش‌های ارزیابی سریع به لحاظ دقت ارزیابی مورد مقایسه قرار گرفته است. در این نمودار اعداد محور عمودی از ۱ تا ۴ به ترتیب نشانگر سطوح عملکرد "قابلیت استفاده بی‌وقفه" تا "تأمین نمی‌کند".

مطابق جدول (۸) می‌باشد. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود، روش FEMA 154 ساختمان‌ها را در بالاترین سطح آسیب‌پذیری و مطابق با پایین‌ترین سطح عملکرد آن‌ها قرار داده است. همچنین روش IRAN نسبت به روش‌های آریای تکمیل شده و NRC از دقت بالاتری برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های مسکونی برخوردار است. روش آریای تکمیل شده نیز از این نظر عملکرد بهتری نسبت به روش NRC دارد.



شکل ۶- مقایسه روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای به لحاظ دقت ارزیابی

(AHP) روشی ساده و جامع برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. بنابر این در این پژوهش برای مقایسه روش‌های ارزیابی سریع این روش مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۷-۱- بررسی دقت روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع

به منظور تعیین دقت روش‌های ارزیابی سریع، نتایج ارزیابی سریع و کمی برای ساختمان‌های مورد ارزیابی مورد مقایسه قرار گرفته است. مطابق نشریه ۳۶۰، سطح عملکرد ساختمان میزان آسیب‌پذیری اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را نشان می‌دهد. بنابر این برای سهولت در مقایسه نتایج ارزیابی ساختمان‌ها با روش‌های ارزیابی سریع و کمی، سطوح آسیب‌پذیری هر یک از روش‌های ارزیابی سریع با سطوح عملکرد ساختمان به صورت جدول (۸) مطابقت داده شده‌اند.

با توجه به جدول (۸) هر سه ساختمان مورد بررسی، بر اساس نتیجه ارزیابی کمی هیچ یک از سطوح عملکردی را تأمین نمی‌کنند. بنابر این از بین روش‌های ارزیابی سریع، روشی که این ساختمان‌ها را در سطح آسیب‌پذیری معادل با سطح عملکرد "تأمین نمی‌کند" مطابق جدول (۸) قرار دهد، دارای دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها در ارزیابی ساختمان‌ها است. به عبارت دیگر روشی که ساختمان‌ها را در بالاترین سطح آسیب‌پذیری خود قرار می‌دهد، دارای دقت و اطمینان کافی برای ارزیابی سریع ساختمان‌ها است. همان‌طور که در جدول (۳) و جدول (۴) ملاحظه می‌شود، در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی ساختمان‌های فولادی به روش‌های NRC و آریای تکمیل شده، این روش‌ها از اطمینان کافی برخوردار نیستند و ساختمان‌های مورد نظر را در سطوح بالایی از آسیب‌پذیری قرار نداده‌اند. توجه به این نکته نیز می‌تواند مهم باشد که نمره به دست آمده در ارزیابی ساختمان BR1 با روش آریای تکمیل شده، در مرز ورود آن به سطح خسارت زیاد قرار دارد. با این که روش نشریه ۳۶۴ سطح آسیب‌پذیری زیاد را برای ساختمان‌های مورد مطالعه نتیجه داده است، ولی آن‌ها را در اولویت اول برای ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای قرار نداده است و مطابق جدول (۸) معادل با سطح عملکرد آستانه فروریزش می‌باشد. روش FEMA 154 طبق ماهیت خود در ارزیابی ساختمان‌ها که آن‌ها را

جدول ۸- تطابق سطوح آسیب‌پذیری روش‌های ارزیابی سریع با سطوح عملکرد ساختمان

سطح عملکرد	364	ARYA و 376	NRC	FEMA
سطح عملکرد	364	ARYA و 376	NRC	FEMA
وقفه‌قابلیت استفاده بی	آسیب‌پذیری کم	خسارت (آسیب‌پذیری) کم	اولویت ارزیابی بیشتر پایین	ایمنی قابل
ایمنی جانی	آسیب‌پذیری متوسط	خسارت (آسیب‌پذیری) متوسط	اولویت ارزیابی بیشتر متوسط	قبول
آستانه‌ی فروریزش	آسیب‌پذیری زیاد	خسارت (آسیب‌پذیری) زیاد	اولویت ارزیابی بیشتر بالا	ساختمان
تأمین نمی‌کند	آسیب‌پذیری بسیار زیاد	احتمال ریزش ساختمان	ساختمان خطرناک	خطرناک

۷-۲- روش تحلیل سلسله‌مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از تکنیک‌های قدرتمند تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که توسط Saaty (۱۹۸۰)، ارائه شد. این روش به دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا، سهولت استفاده، دارا بودن ارزش، اعتبار، درستی و دقت نتایج، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد (عطایی، ۱۳۸۹).

۷-۳- مراحل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

در این قسمت به‌همراه توضیح هر مرحله در روش AHP، عملیات مربوط به هر مرحله برای روش‌های ارزیابی سریع نیز انجام خواهد شد. در انجام فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. کاربرد عملی این فرآیند شامل چهار مرحله اساسی است:

- ۱- ساختن نمودار سلسله‌مراتبی
- ۲- تنظیم ماتریس‌های مقایسه زوجی
- ۳- محاسبه وزن و انتخاب بهترین گزینه
- ۴- آزمون سازگاری

۷-۳-۱- ساختن نمودار سلسله‌مراتبی

در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مسأله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود. برای ساختن مدل تصمیم‌گیری، در بالاترین سطح، هدف و در سطح یا سطوح میانی، معیارها و در سطح پایین، گزینه‌های ممکن گذاشته می‌شود (عطایی، ۱۳۸۹). هدف، معیارها و گزینه‌های مربوط به پژوهش حاضر، در ساختار سلسله‌مراتبی مربوط به روش AHP در شکل (۷) نشان داده شده است.

۷-۳-۲- تنظیم ماتریس‌های مقایسه زوجی

در این مرحله، عناصر هر سطح نسبت به عناصر سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسه زوجی

تشکیل می‌شوند. تخصیص امتیازهای عددی مربوط به مقایسه زوجی دو گزینه یا دو معیار بر اساس جدول (۹) صورت می‌گیرد.

جدول ۹- مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی (قدسی‌پور، ۱۳۹۲)

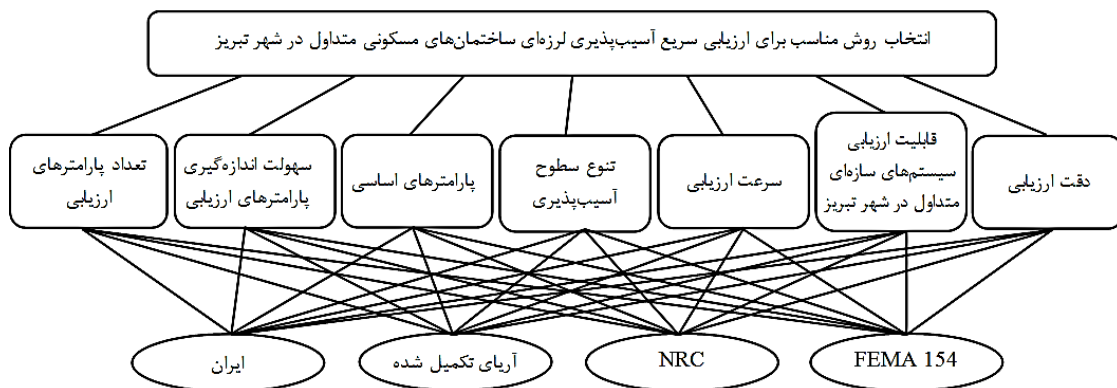
امتیاز عددی	مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا مهم‌تر یا مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا مهم‌تر یا مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸	ترجیحات بین فواصل

جدول ۱۰- نمادگذاری برای معیارها

نماد	معیار
A	دقت ارزیابی
S	قابلیت ارزیابی سیستم‌های سازه‌ای متداول شهر تبریز
V	سرعت ارزیابی
L	تنوع سطوح آسیب‌پذیری
B	پارامترهای اساسی
F	سهولت اندازه‌گیری پارامترها
N	تعداد پارامترهای ارزیابی

جدول ۱۱- ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف

	A	S	V	L	B	F	N
A	۱	۴	۷	۷	۸	۹	۹
S	۱/۴	۱	۵	۵	۶	۷	۷
V	۱/۷	۱/۵	۱	۱	۳	۵	۵
L	۱/۷	۱/۵	۱	۱	۳	۵	۵
B	۷/۸	۷/۶	۱/۳	۱/۳	۱	۴	۴
F	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱	۱
N	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱	۱



شکل ۷- نمودار سلسله‌مراتبی مربوط به مقایسه روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای

امتیازی در نظر گرفته شده است که به صورت جدول (۱۲) تعریف شده است. سپس با توجه به نتایج ارزیابی سریع ساختمان‌های فولادی و بنایی مورد مطالعه و تطابق آن‌ها با سطوح عملکرد ساختمان مطابق جدول (۸) برای هر یک از روش‌های ارزیابی سریع به ازای هر ساختمان یاد شده امتیازی اختصاص داده شده و با یکدیگر جمع شده است که جزئیات آن در جدول (۱۳) نشان داده شده است. نمره بالاتر برای یک روش نسبت به روش دیگر در جدول (۱۳) نشان‌دهنده بالاتر بودن دقت ارزیابی آن روش نسبت به دیگری است و در مقایسه زوجی با آن دارای ارجحیت است. برای سهولت در تعیین ماتریس مقایسه زوجی، مجموع اعداد به دست آمده در جدول (۱۳) مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱۲- سطوح عملکرد ساختمان و امتیاز آن‌ها

ردیف	سطح عملکرد	امتیاز
۱	قابلیت استفاده بی‌وقفه	۱
۲	ایمنی جانی	۲
۳	آستانه فروریزش	۳
۴	تأمین نمی‌کند	۴

جدول ۱۳- نمره‌دهی به روش‌های ارزیابی سریع به لحاظ دقت

آن‌ها در ارزیابی ساختمان‌های مورد بررسی					
ردیف	ساختمان	FEMA	NRC	ARYA	IRAN
۱	BR1	۴	۲	۳	۳
۲	BR2	۴	۲	۲	۳
۳	M1	۴	۴	۴	۴
مجموع		۱۲	۸	۹	۱۰

برای استفاده دقیق‌تر، این اعداد با امتیازهای عددی جدول (۹) به صورت جدول (۱۴) مطابقت داده شده‌اند. ماتریس مقایسه زوجی نیز برای روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع نسبت به معیار دقت ارزیابی (A) به صورت جدول (۱۵) تعیین شده است. در مقایسه زوجی نسبت به معیار A، روش FEMA با بیش‌ترین نمره (۱۲) نسبت به روش NRC با کم‌ترین نمره (۸) بر اساس جدول (۹) کاملاً مرجح در نظر گرفته شده است. بنابراین عدد ۹ در مقایسه زوجی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. علت این انتخاب، عدم دقت و اطمینان به روش NRC در ارزیابی هر دو ساختمان فولادی مورد بررسی و دقت و اطمینان بالا در ارزیابی این ساختمان‌ها به روش FEMA 154 است.

ماتریس‌های مقایسه زوجی برای روش‌های ارزیابی سریع نسبت به سایر معیارها نیز تعیین شده‌اند که در جدول (۱۶) نشان داده شده‌اند.

برای سهولت به هر یک از معیارها نمادی تعریف شده است که در جدول (۱۰) نشان داده شده است. همچنین ماتریس مقایسه زوجی معیارها در جدول (۱۱) تشکیل داده شده است. در جدول (۱۱) در مقایسه معیار A با بیش‌ترین اهمیت نسبت به معیار N با کم‌ترین اهمیت، بالاترین ترجیح با امتیاز عددی ۹ در نظر گرفته شده است و در سایر مقایسه‌های زوجی بین معیارها با توجه به اهمیتی که به هر یک از معیارها نسبت به دیگری داده شده است، یکی از امتیازهای عددی مطابق جدول (۹) مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که در ماتریس مقایسه زوجی معیارها ملاحظه می‌شود، برای معیار دقت ارزیابی (A) در مقایسه زوجی آن با معیارهای دیگر، اعداد بزرگ‌تری نسبت به سایر معیارها در مقایسه آن‌ها با یکدیگر اختصاص داده شده است. این نشان‌دهنده اهمیت زیادی است که به معیار A نسبت به سایر پارامترها داده شده است. اهمیت معیارها به ترتیب از معیار A تا N کم‌تر می‌شود.

در تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوط به گزینه‌ها (روش‌های ارزیابی سریع) به صورت زیر عمل شده است:

از مجموع تعداد سیستم‌های ساختمانی قابل ارزیابی با هر یک از روش‌ها در معیار S، مجموع تعداد پارامترهای ارزیابی قابل نمره‌دهی در هر یک از روش‌ها در معیار N و مجموع تعداد سطوح آسیب‌پذیری برای طبقه‌بندی ساختمان‌ها در هر یک از روش‌ها در معیار L، برای هر گزینه در هر یک از این سه معیار یک عدد به دست می‌آید. همچنین برای به دست آوردن عددی برای گزینه‌ها در سایر معیارها، ابتدا سطوحی از معیار مورد نظر تعریف شده و به هر یک عددی اختصاص داده می‌شود. سپس هر یک از پارامترهای موجود در روش، در یکی از سطوح قرار گرفته و عدد مربوط به آن به پارامتر اختصاص می‌یابد. از مجموع اعداد اختصاص داده شده، عدد نهایی برای گزینه‌ها در هر معیار به دست می‌آید. برای نمونه در پارامتر V با توجه به پارامترهای ارزیابی، چهار سطح تعریف شده است که عبارت‌اند از: مدت‌زمان بسیار کم، مدت‌زمان کم، مدت‌زمان متوسط و مدت‌زمان زیاد که با توجه به سرعت تعیین پارامترهای ارزیابی، برای هر یک به ترتیب، اعداد ۰، ۱، ۲ و ۵ اختصاص داده شده است. در نهایت به کمک اعداد به دست آمده برای هر گزینه در معیارها با روش یاد شده، امتیازات عددی بر اساس جدول (۹) بین دو گزینه تعیین شده و ماتریس‌های مقایسه زوجی به دست می‌آیند. برای نمونه جزئیات تعیین ماتریس مقایسه زوجی نسبت به معیار A در ادامه ارائه می‌شود. برای تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی نسبت به سایر معیارها نیز روند مشابهی مورد استفاده قرار گرفته است.

برای تعیین ماتریس مقایسه زوجی روش‌های ارزیابی سریع نسبت به معیار دقت ارزیابی به این صورت عمل شده است که ابتدا به هر یک از سطوح عملکرد ساختمان با توجه به جدول (۸)

می‌آید. در نتیجه گزینه دارای بیشترین وزن نهایی به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد (عطایی، ۱۳۸۹). در این پژوهش یکی از روش‌های تقریبی با عنوان میانگین حسابی مورد استفاده قرار گرفته است که در آن اعداد هر ستون از ماتریس، نسبت به مجموع اعداد آن ستون نرمال شده و سپس از میانگین اعداد هر سطر ماتریس به دست آمده، بردار وزن به دست می‌آید. وزن نسبی معیارها بر اساس ماتریس مقایسه زوجی معیارها (جدول (۱۱)) و همچنین وزن نسبی روش‌های ارزیابی سریع در هر معیار بر اساس ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها و وزن نهایی آنها در جدول (۱۷) ارائه شده است. برای این که وزن‌های نهایی به دست آمده در جدول (۱۷) برای روش‌های ارزیابی سریع مورد قبول واقع شود، لازم است سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی بررسی گردد. در صورت قابل قبول بودن مقایسه‌ها، این وزن‌های نهایی به عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۱۴- مطابقت مجموع اعداد به دست آمده در جدول (۱۳) با امتیازهای عددی برای مقایسه زوجی

امتیاز عددی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
مجموع نمره‌ها	۸	۸/۵	۹	۹/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱/۵	۱۲

جدول ۱۵- ماتریس مقایسه زوجی برای روش‌های ارزیابی سریع

نسبت به معیار A				
	FEMA	NRC	ARYA	IRAN
FEMA	۱	۹	۷	۵
NRC	۱/۹	۱	۱/۳	۱/۵
ARYA	۱/۷	۳	۱	۱/۳
IRAN	۱/۵	۵	۳	۱

۷-۳-۳- محاسبه وزن نسبی و نهایی

در این مرحله، وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها محاسبه می‌شوند. وزن نسبی هر گزینه نسبت به معیارها سهم آن گزینه در معیار مربوط به آن می‌باشد. وزن نهایی هر گزینه نیز از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه از آن معیار به دست

جدول ۱۶- ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها (روش‌های ارزیابی سریع)

سرعت ارزیابی				قابلیت ارزیابی سیستم‌های سازه‌ای متداول شهر تبریز					
	FEMA	NRC	ARYA	IRAN		FEMA	NRC	ARYA	IRAN
FEMA	۱	۵	۷	۱	FEMA	۱	۱	۱/۵	۱/۵
NRC	۱/۵	۱	۲	۱/۵	NRC	۱	۱	۱/۵	۱/۵
ARYA	۱/۷	۱/۳	۱	۱/۷	ARYA	۵	۵	۱	۱
IRAN	۱	۵	۷	۱	IRAN	۵	۵	۱	۱
پارامترهای اساسی				تنوع سطوح آسیب‌پذیری					
	FEMA	NRC	ARYA	IRAN		FEMA	NRC	ARYA	IRAN
FEMA	۱	۱	۱/۵	۱/۴	FEMA	۱	۱/۵	۱/۵	۱/۵
NRC	۱	۱	۱/۵	۱/۴	NRC	۵	۱	۱	۱
ARYA	۵	۵	۱	۲	ARYA	۵	۱	۱	۱
IRAN	۴	۴	۱/۲	۱	IRAN	۵	۱	۱	۱
تعداد پارامترهای ارزیابی				سهولت اندازه‌گیری پارامترها					
	FEMA	NRC	ARYA	IRAN		FEMA	NRC	ARYA	IRAN
FEMA	۱	۱/۴	۱/۵	۱/۲	FEMA	۱	۶	۷	۲
NRC	۴	۱	۱/۲	۲	NRC	۱/۶	۱	۲	۱/۶
ARYA	۵	۲	۱	۳	ARYA	۱/۷	۱/۲	۱	۱/۶
IRAN	۲	۱/۲	۱/۳	۱	IRAN	۱/۲	۶	۶	۱

جدول ۱۷- وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها و وزن نهایی گزینه‌ها

ب) وزن نسبی معیارها			الف) وزن نسبی گزینه‌ها (روش‌های ارزیابی سریع) در هر معیار						
وزن نسبی	معیارها	گزینه‌ها	A	S	V	L	B	F	N
۰/۴۴۳	A	FEMA	۰/۶۴۳	۰/۰۸۳	۰/۵۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۹۷	۰/۵۹۸	۰/۰۸۵
۰/۲۴۳	S	NRC	۰/۰۴۸	۰/۰۸۳	۰/۱۲۵	۰/۳۱۳	۰/۰۹۷	۰/۰۹۶	۰/۲۳۳
۰/۱۰۰	V	ARYA	۰/۱۰۱	۰/۴۱۷	۰/۰۶۱	۰/۳۱۳	۰/۵۵۵	۰/۰۶۳	۰/۵۴۲
۰/۱۰۰	L	IRAN	۰/۲۰۸	۰/۴۱۷	۰/۲۵۱	۰/۳۱۳	۰/۲۵۲	۰/۲۴۴	۰/۱۴۰
۰/۰۶۲	B	پ) وزن نهایی گزینه‌ها (روش‌های ارزیابی سریع)							
۰/۰۲۶	F		FEMA	NRC	ARYA	IRAN			
۰/۰۲۶	N		۰/۳۸۹	۰/۱	۰/۲۲۴	۰/۲۷۶			

جدول ۱۸- شاخص ناسازگاری تصادفی (R.I.I) (فدسی پور،

(۱۳۹۲)

n	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
R.I.I	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

توماس ساتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌کند و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (عطایی، ۱۳۸۹). نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی (I.R) به همراه مقادیر به دست آمده برای  $\lambda_{max}$  و I.I در جدول (۱۹) نشان داده شده است. همچنین نرخ ناسازگاری سلسله‌مراتبی به صورت زیر محاسبه شده است.

$$\overline{I.R} = \frac{\overline{I.I}}{R.I.I} = \frac{۰/۱۵۲}{۲/۲۲} = ۰/۰۶۸ \quad (۵)$$

جدول ۱۹- نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی (I.R)

	$\lambda_{max}$	I.I	I.R
معیار	۷/۷۱۵	۰/۱۱۹	۰/۰۹
A	۴/۱۷۴	۰/۰۵۸	۰/۰۶۴
S	۴	۰	۰
V	۴/۱۲۱	۰/۰۴	۰/۰۴۵
L	۴	۰	۰
B	۴/۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۶
F	۴/۱۵۶	۰/۰۵۲	۰/۰۵۸
N	۴/۰۵۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹

همان‌طور که ملاحظه می‌شود نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی و نرخ ناسازگاری سلسله‌مراتبی کمتر از ۰/۱ به دست آمده است. بنابر این قضاوت‌ها منطقی و قابل قبول هستند. در نتیجه وزن‌های نهایی به دست آمده برای روش‌های ارزیابی سریع در جدول (۱۷) قابل قبول است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، برای روش ارزیابی مطابق FEMA 154 در مقایسه با سایر روش‌ها بیشترین وزن نهایی به دست آمده است. بنابر این، این روش مناسب‌ترین روش برای ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی متداول در شهر تبریز انتخاب می‌شود. همچنین به لحاظ مناسب بودن روش‌ها برای هدف یاد شده، روش‌های ایران، آریای تکمیل شده و NRC در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شکل (۸) مقایسه شده است.

مهم‌ترین عامل انتخاب FEMA 154 به عنوان مناسب‌ترین روش برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مورد مطالعه از بین روش‌های مورد بررسی را می‌توان دقت و سرعت بالای این روش در ارزیابی سریع ساختمان‌ها در نظر گرفت که در روش AHP به

۷-۳-۴- آزمون سازگاری و انتخاب بهترین گزینه

یکی از مزایای روش AHP کنترل سازگاری تصمیم است، به طوری که می‌توان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. اگر گزینه A دو برابر B اهمیت داشته باشد و B سه برابر C اهمیت داشته باشد، چنانچه A شش برابر C اهمیت داشته باشد، این قضاوت را سازگار می‌گوییم. اگر ترجیح A نسبت به C عددی غیر از ۶ مثلاً ۵ باشد، در این صورت از سازگاری قضاوت‌ها کم می‌شود (عطایی، ۱۳۸۹).

نرخ ناسازگاری که معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد، با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۱)$$

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \quad (۲)$$

$$\overline{I.R} = \frac{\overline{I.I}}{R.I.I} \quad (۳)$$

در رابطه (۱)،  $n$  بعد ماتریس و  $\lambda_{max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس است که مقدار تقریبی آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$AW = \lambda_{max} W \rightarrow \lambda_{max} = \frac{AW}{W} \quad (۴)$$

در رابطه (۴)  $A$  ماتریس مورد نظر و  $W$  بردار ستونی وزن نسبی مربوط به آن ماتریس است. با محاسبه میانگین عناصر بردار ستونی  $\lambda_{max}$  تخمینی از آن به دست می‌آید.

در رابطه (۲)، I.I شاخص ناسازگاری ماتریس، R.I.I شاخص ناسازگاری تصادفی ماتریس (جدول (۱۸)) و I.R نرخ ناسازگاری ماتریس است. همچنین در رابطه (۳)،  $\overline{I.R}$  نرخ ناسازگاری سلسله‌مراتبی است. برای به دست آوردن I.I و R.I نیز به صورت زیر عمل می‌شود:

I.I ضرب شاخص ناسازگاری هر ماتریس در وزن معیاری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است و محاسبه حاصل-جمع آن‌ها.

R.I.I ضرب شاخص ناسازگاری تصادفی هر ماتریس در وزن معیاری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است و محاسبه حاصل جمع آن‌ها.

نتایج این دو روش برای این سه ساختمان مورد مقایسه قرار گرفت. پس از مقایسه روش‌های ارزیابی سریع با روش AHP، روش مناسب برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مورد مطالعه انتخاب گردید. نتایج حاصل از این پژوهش شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- روش ارزیابی FEMA154 با توجه به طبقه‌بندی ساختمان‌ها در دو سطح آسیب‌پذیری، به طور طبیعی از اطمینان و دقت بیشتری برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های مورد مطالعه برخوردار است. این موضوع را می‌توان به دلیل قرار گرفتن کلیه ساختمان‌های مشکوک به لحاظ آسیب‌پذیری لرزه‌ای در طبقه ساختمان‌های خطرناک با اولویت یکسان برای ادامه مطالعات بهسازی در نظر گرفت.

۲- روش نشریه ۳۶۴ نسبت به روش‌های NRC و آریای تکمیل شده، در ارزیابی سریع ساختمان‌های فولادی مهاربندی دارای دقت بیشتری می‌باشد.

۳- برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های مورد مطالعه، روش FEMA154 از روش‌های NRC، آریای تکمیل شده و ایران (نشریه‌های ۳۶۴ و ۳۷۶) مناسب‌تر است. همچنین برای این منظور روش‌های ایران، آریای تکمیل شده و NRC به ترتیب در اولویت‌های بعدی در نظر گرفته می‌شوند.

۴- با توجه به این که روش ایران در بیشتر معیارهای مورد مقایسه عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد، در صورت فرض اولویت یکسان برای ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های قرار گرفته در سطوح آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد در روش نشریه ۳۶۴، می‌توان روش ایران را بهترین گزینه برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مورد مطالعه در نظر گرفت.

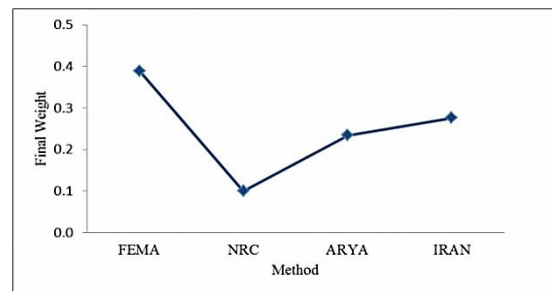
۵- با توجه به این که ساختمان‌های مورد مطالعه در این پژوهش جزء ساختمان‌های متداول در شهر تبریز هستند، در صورت ارزیابی آنها با روش ارزیابی سریع FEMA 154، گروه بزرگی از ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز در گروه ساختمان‌های خطرناک به لحاظ لرزه‌ای قرار می‌گیرند.

۶- با توجه به این که ساختمان‌های موردی مورد ارزیابی، نمونه‌ای از ساختمان‌های مشابه ساخته شده در منطقه و در بازه زمانی انتخابی برای مطالعه در این پژوهش هستند، بنابراین نتایج به دست آمده از این پژوهش برای ساختمان‌های مورد ارزیابی را می‌توان فقط برای ساختمان‌های محدوده انتخابی معتبر دانست.

#### ۱۰- مراجع

دفتر امور مقررات ملی ساختمان، "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، مبحث دهم، ویرایش ۴، ۱۳۹۲.  
زهایی س م، وطنی اسکویی ا، ارشاد ل، "بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین"، مرکز تحقیقات

این دو معیار اهمیت بالاتری نسبت به سایر معیارها داده شده است. همچنین روش ایران در مرتبه بالاتر از روش آریای تکمیل شده قرار گرفته است. البته اختلاف کمی بین وزن نهایی این دو روش وجود دارد. با دقت در ماتریس‌های مقایسه روش‌های ارزیابی سریع نسبت به معیارهای مختلف می‌توان دریافت که روش ایران در معیارهای دقت، سرعت و سهولت ارزیابی و روش آریای تکمیل شده در معیارهای پارامترهای اساسی و تعداد پارامترها بهتر عمل کرده است. با این که روش ایران با اختلاف کمی نسبت به روش آریای تکمیل شده در دقت ارزیابی عملکرد بهتری داشته است، با این وجود به دلیل اهمیت و وزن نسبی بالای این معیار می‌توان گفت تأثیر بیشتری در قرار گرفتن محسوس روش ایران در رتبه بالاتر از روش آریای تکمیل شده داشته است. برخلاف روش FEMA علت اصلی قرار گرفتن روش NRC در پایین‌ترین مرتبه نسبت به سایر روش‌ها، دقت ارزیابی پایین این روش است. البته این ضعف مربوط به ارزیابی ساختمان‌های فولادی با این روش می‌شود که در ارزیابی این ساختمان‌ها از دقت و اطمینان پایینی برخوردار بوده و نتایج دست بالا به دست می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع به لحاظ مناسب بودن آنها برای ارزیابی سریع ساختمان‌های مسکونی متداول در شهر تبریز

#### ۹- نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت انتخاب روش مناسب برای ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی، ۴ روش از بین روش‌های ارزیابی سریع موجود که روند ارزیابی تقریباً مشابهی دارند، با استفاده از روش AHP نسبت به ۷ معیار پیش‌بینی شده، با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. در این راستا ساختمان‌های مسکونی غیر آپارتمانی متداول در شهر تبریز که در محدوده زمانی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۴ ساخته شده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفتند. برای تعیین دقت ارزیابی که جزء یکی از معیارهای مقایسه می‌باشد، دو نمونه ساختمان فولادی با سیستم مهاربندی همگرا و یک نمونه ساختمان بنایی غیر مسلح، مورد ارزیابی سریع و کمی آسیب‌پذیری قرار گرفته و

- Structural Analysis Program, CSI, Berkeley, 2013.
- Federal Emergency Management Agency, "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards", A Handbook, Edition 2, FEMA154, Washington, DC. 2002.
- Federal Emergency Management Agency, "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards", Supporting Documentation, Edition 2, FEMA155, Washington, DC, 2002.
- HAZUS Earthquake loss estimation methodology technical manual prepared by the National Institute of Building Sciences for Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1997.
- Hill M, Rosseto T, "Comparison of Building Damage Scales and Damage Descriptions for Use In Earthquake Loss Modelling in Europe", Bull Earthquake Engineering, 2008, 6, 335-365.
- Kaplan H, Yilmaz S, Akyol E, Sen G, "A new rapid seismic vulnerability assessment method for turkey", The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- National Research Council of Canada, "Manual for screening of buildings for seismic investigation", NRCC 36943, Ottawa, 1993.
- Saaty TL, "The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority", Resource Allocation, RWS Publications, USA, 1980.
- Steinbrugge KV, McClure FE, Snow AJ, "Studies In Seismicity And Earthquake Damage Statistics", Report (Appendix A) COM-71-00053, Washington, DC, U.S, Department of Commerce, 1969.
- ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۸۳.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیر مسلح موجود"، نشریه شماره ۳۷۶، ۱۳۸۶.
- شایانفر م، خدام ع، "بررسی و مقایسه دستورالعمل‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر زلزله: روش‌های آریا و ATC"، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران اردیبهشت ۱۳۸۸، دانشگاه شیراز، ایران.
- عطایی م، "تصمیم‌گیری چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۹.
- غلامین ش، "روش‌های کمی و کیفی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای انواع ساختمان‌های متداول شهری در ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، ۱۳۸۷.
- قدسی پور س ح، "فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.
- محسنی ص، "مقایسه روش‌های ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و انتخاب روش مناسب ضمن برآورد آسیب‌پذیری کمی چند ساختمان شهر بندرعباس"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- محمودزاده ا، پیراسته س، بهنام‌فر ف، تاجیک ت، تاجمیر ریاحی ا، "ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی با معرفی روش جدید شاخص‌سازان"، انتشارات علم‌آفرین، اصفهان، ۱۳۸۹.
- محمودزاده ا، مسکین‌نواز س، "دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس آیین‌نامه کانادا"، انتشارات علم‌آفرین، اصفهان، ۱۳۹۰.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، "دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های موجود"، نشریه شماره ۳۶۴، ۱۳۸۷.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود"، تجدید نظر اول، نشریه شماره ۳۶۰، ۱۳۹۲.
- Achs G, Adam C, "Rapid seismic evaluation of historic brick-masonry buildings in Vienna (Austria) based on visual screening", Bull Earthquake Engineering, 2012, 10, 1833-1856.
- Alam N, Shahria Alam M, Tesfamariam S, "Buildings' Seismic Vulnerability Assessment Methods: A Comparative Study", Nat Hazards, 2012, 62, 405-424.
- Arya AS, "Design and construction of Masonry Building in Seismic Areas", Bulletin, Indian Society of Earthquake Technology, 1967.
- Computers and Structures Inc, SAP2000 V16.0.0,

## EXTENDED ABSTRACT

# A Comparison of Rapid Seismic Vulnerability Assessment Methods for Existing Residential Buildings in Tabriz using the Analytical Hierarchy Process (AHP): Case Study

Seyyed Ali Mousavi Khalkhali, Mehdi Poursha\*, Hasan Afshin, Mohammadreza Chenaglou

Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Received: 29 January 2017; Accepted: 26 August 2017

### Keywords:

Rapid seismic assessment methods, Quantitative assessment method, Residential buildings in Tabriz, Concentrically braced frame (CBF), Unreinforced masonry buildings, Analytical hierarchy process (AHP).

## 1. Introduction

Residential buildings in Tabriz, which were constructed according to the requirements of old seismic codes or considering no seismic code, should be assessed under the effect of seismic loads. To this end, the first step is the seismic vulnerability assessment of buildings within a short time before an earthquake occurs. To achieve reasonable results, it is necessary to study the accuracy and compatibility of existing seismic vulnerability assessment methods according to the conditions and characteristics of buildings in the region. Therefore, it is possible to select the most appropriate method for the rapid seismic vulnerability assessment (RSVA) by comparing the methods. In order to increase the accuracy of the comparison, the multi-criteria decision analysis method is used. To determine the accuracy of RSVA methods, three typical residential buildings were evaluated using rapid and quantitative (analytical) assessment methods. The structures examined in this investigation include two steel concentrically braced frame (CBF) buildings and one unreinforced masonry building.

## 2. FE modeling and analysis

Rapid seismic vulnerability assessment (RSVA) or rapid visual screening (RVS) methods studied in this paper include the modified ARYA method and those proposed in the guidelines FEMA 154, NRC, Code376&364. Quantitative assessment of the buildings was carried using the non-linear static analysis (pushover analysis) in accordance with the guideline of seismic rehabilitation of existing buildings (code 360). The analytical hierarchy process (AHP) that is a multi-criteria decision analysis method was used for the comparison of RSVA methods. The method provides a comprehensive and rational framework for structuring a decision problem. Therefore, the RSVA methods were compared based on seven criteria with the aid of the AHP method.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Determination of the accuracy of RSVA methods

In order to determine the accuracy of the RSVA methods, the results of rapid (qualitative) and analytical (quantitative) methods were compared for the buildings examined. Also, the vulnerability levels of rapid

\* Corresponding Author

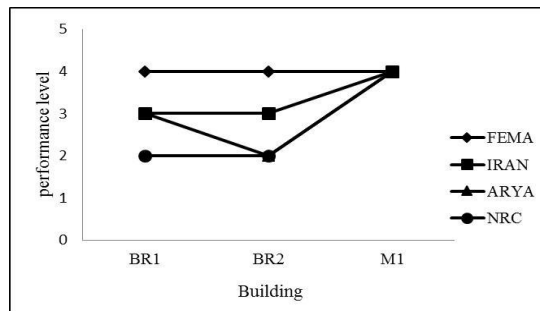
E-mail addresses: seyyedamk@yahoo.com (Seyyed Ali Mousavi), poursha@sut.ac.ir (Mahdi Poursha), hafshin@sut.ac.ir (Hasan Afshin), mrchenaglou@sut.ac.ir (Mohammadreza Chenaglou).



assessment methods were matched with the performance levels of the buildings in Table 1. The accuracy of rapid assessment methods is shown in Fig. 1. Values 1, 2, 3 and 4 on the vertical axis in Fig. 1. indicate the performance levels including the immediate occupancy, life safety, collapse prevention and “does not satisfy a performance level”, respectively.

**Table 1.** A comparison of vulnerability levels of rapid seismic assessment and performance levels of buildings

FEMA	NRC	376 . ARYA	364	Performance level
Acceptable	Low priority for more detailed investigation	Low (vulnerability) damage	Low vulnerability	Immediate Occupancy
safety	Moderate priority for more detailed investigation	Moderate (vulnerability) damage	Moderate vulnerability	Life Safety
Hazardous	High priority for more detailed investigation	High (vulnerability) damage	High vulnerability	Collapse Prevention
building	Hazardous building	Possibility of building collapse	Very high vulnerability	Does not satisfy a performance level



**Fig. 1.** A comparison of accuracy of rapid seismic vulnerability assessment methods

### 3.2. Selection of an appropriate method for the rapid seismic evaluation of residential Buildings in Tabriz

To select an appropriate method for the rapid seismic vulnerability assessment of residential buildings in Tabriz, rapid seismic evaluation methods are compared by using the analytical hierarchy process (AHP) method in which different influential criteria are incorporated. To this end, 7 criteria listed in Table 2, were considered. The results of the comparison are shown in Fig. 2. The Figure indicates that FEMA 154 method has gained a higher final weight and is the most appropriate method among those used.

**Table 2.** Influential criteria considered in the analytical hierarchy process (AHP) method

Symbol	Criterion
A	Accuracy of evaluation
S	Capability of evaluation of common structures in Tabriz
V	Rapidity of evaluation
L	Variety of vulnerability levels
B	Basic parameters
F	Facility of measurement of parameters
N	Number of evaluation parameters

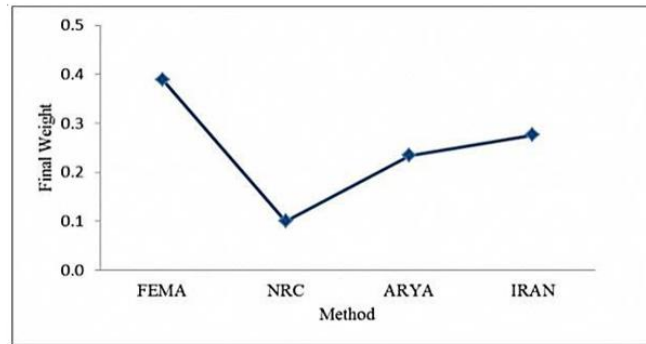


Fig. 2. Final weights obtained for rapid seismic vulnerability assessment methods

#### 4. Conclusions

The results obtained by the quantitative assessment methods demonstrate that these buildings do not meet the performance level of collapse prevention. A comparison between the results obtained by rapid and quantitative assessment methods shows that the rapid assessment in accordance with the FEMA 154 provides acceptable accuracy in comparison with the other methods studied in this investigation. Furthermore, it is the best method for the rapid seismic assessment of residential buildings. Since the buildings, studied in this paper, are common ones in Tabriz, similar buildings can be characterized as dangerous ones when evaluated by FEMA 154. It is also emphasized that the results derived, can be only generalized to buildings that are similar to those investigated in this paper.

#### 5. References

- Federal Emergency Management Agency, "Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards", A Handbook, Edition 2, FEMA154, Washington, DC, 2002.
- National Research Council of Canada, "Manual for screening of buildings for seismic investigation", NRCC 36943, Ottawa, 1993.
- Arya AS, "Design and construction of masonry building in seismic areas", Bulletin, Indian Society of Earthquake Technology, 1967.
- Saaty TL, "The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority", Resource Allocation, RWS Publications, USA, 1980.
- Department of President Planning and Strategic Supervision, "Rapid seismic assessment guideline of existing buildings", Publication No. 364, Iran, 2008.
- Management and Planning Organization, "Guideline of seismic rehabilitation of existing unreinforced masonry building", Publication No. 376, Iran, 2007.
- Department of President Planning and Strategic Supervision, "Seismic rehabilitation guideline of existing buildings", Publication No. 360, Iran, 2013.