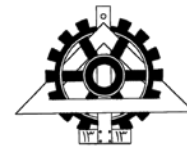




قطب علمی مهندسی و
مدیریت زیر ساختها

مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساختها
دانشکده فنی دانشگاه تهران - آبان ماه ۱۳۸۸



پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی عمران

نحوه مدل سازی و تحلیل غیر خطی ساختمان بنایی غیر مسلح موجود و ارائه راهکارهای بهسازی

امیر کیانی

دانشجوی دکتری مهندسی عمران - مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله IIEES

Email: A.kiani@iiees.ac.ir , amirkianii@yahoo.com , info@afzir.com

جلال فلاح اصغری، الهام مودب

Email: Jalal.fallah@gmail.com, queenelham2001@yahoo.com

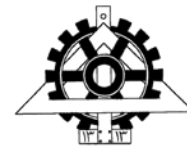
چکیده

مقاومت ساختمان های با مصالح بنایی در برابر زلزله بستگی به مقاومت درون صفحه ای و بیرون صفحه ای دیوارهای بنایی در پلان متعامد دارد. هنگامی که یک ساختمان با مصالح بنایی تحت تحریک زلزله قرار می گیرد، هر دو مکانیزم مقاوم برشی و خمشی تشکیل می شود و شکست در محل با مقاومت کمتر ایجاد می گردد. در این مقاله ضمن بررسی حالت های شکست ساختمان های بنایی، نحوه مدل سازی یک ساختمان موجود در نرم افزار Sap2000 شرح داده می شود و سپس ساختمان تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی می گردد و با ارائه راهکارهای بهسازی، نتایج تحلیل pushover قبل و بعد از بهسازی مقایسه می گردد.

نتایج بدست آمده حاکی از آن است که، ایده آل سازی نمودار ظرفیت سازه با یک نمودار دو خطی در روش ضرایب تغییر مکان وابسته به قضاوت مهندسی و دقت به کار رفته ساخت آن می باشد که این امر در پراکندگی نتایج تاثیرگذار است. تاثیر الگوی بارگذاری جانبی در منحنی ظرفیت سازه و در نتیجه بر روی نقطه عملکردی محاسبه شده تقریباً زیاد است. دقت در انتخاب نوع الگوی بارگذاری جانبی بخصوص در ساختمان های با زمان تناوب بالا از اهمیت بیشتری برخوردار است. تاثیر ترکیب بارگذاری ثقلی در منحنی ظرفیت ساختمان های با مصالح و در نتیجه بر روی نقطه عملکردی محاسبه شده قابل توجه و زیاد می باشد.

کلمات کلیدی

کلمات کلیدی: بهسازی ساختمان های بنایی غیر مسلح، تحلیل استاتیکی غیر خطی، بهسازی لرزه ای



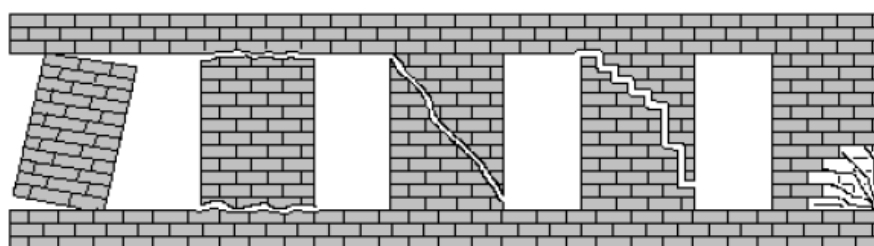
مقدمه

ایران یکی از مناطق لرزه خیز جهان به شمار می رود که هر چند یکبار شاهد وقوع زمین لرزه های به بزرگی بیش از ۵ در مقیاس ریشتر می باشد. آمار وحشتناکی از تلفات جانی و مالی در زمین لرزه های سالهای گذشته گزارش شده است. در تمامی این رخدادها اکثر ساختمان های آسیب دیده، ساختمان های با مصالح بنایی و به ویژه در مناطق روستایی بوده که از کیفیت اجرایی پایینی برخوردار بوده اند. این آمار نشان دهنده اهمیت مقاوم سازی ساختمان های بنایی در مقابل زلزله می باشند. مقاومت و شکل پذیری اندک، وزن زیاد و کاهش شدید مقاومت تحت بارهای لرزه ای از جمله دلایل شکست سازه های آجری می باشد. شناخت این ضعف ها مقدمه ای بر انتخاب روشی مناسب برای مقاوم سازی آنها می باشد. در این مقاله ضمن بررسی حالت های شکست ساختمان های بنایی، نحوه مدل سازی یک ساختمان موجود در نرم افزار Sap2000 شرح داده می شود و سپس ساختمان تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی می گردد و با ارائه راهکارهای بهسازی، نتایج تحلیل pushover قبل و بعد از بهسازی مقایسه می گردد.

حالت های شکست ساختمان های بنایی

مقاومت ساختمان های با مصالح بنایی در برابر زلزله بستگی به مقاومت درون صفحه ای و بیرون صفحه ای دیوارهای بنایی در پلان متعامد دارد. از شکست برون صفحه می توان با اتصال مناسب بین دیوارهای عمودی که انتظار تحمل بار ثقیل و جانبی می رود جلوگیری کرد. هنگامی که یک ساختمان با مصالح بنایی (URM) تحت تحریک زلزله قرار می گیرد، هر دو مکانیزم مقاوم برشی و خمشی تشکیل می شود و شکست در محل با مقاومت کمتر ایجاد می گردد. بر اساس نسبت عرض به ارتفاع المان های بنایی و مقادیر نسبی نیروهای نرمال، لنگر خمشی و نیروی برشی سه مکانیزم شکست مطابق شکل (۱) مشخص می گردد:

- شکست خمشی (ROCKING) شامل ترک های اولیه ی مصالح در کشش و متعاقبا شکست گوشه فشاری المان
- شکست برشی قطری شامل اتصالات ابتدایی و انتهایی وابسته به مقاومت اجرا
- شکست لغزشی - برشی در طول بستر بنا

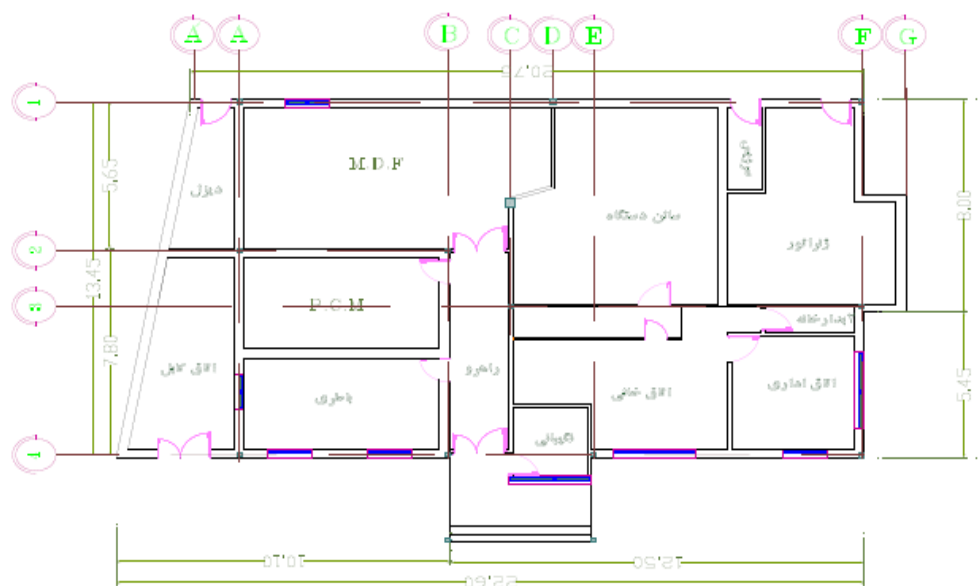
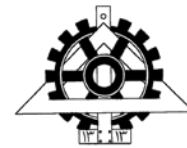


(a) Rocking (b) Sliding (c) Diagonal tension (d) Toe crushing

شکل ۱: مکانیزم های شکست دیوارهای با مصالح بنایی

معرفی سازه

ساختمان موجود یک ساختمان بنایی یک طبقه با دیوارهای اصلی در پیرامون سازه برای تحمل بارهای ثقیل و جانبی مطابق شکل (۲) می باشد.



شکل ۲: پلان ساختمان مورد نظر

بررسی مقدار دیوار نسبی و ضریب آسیب پذیری

با توجه به اطلاعات موجود و ارزیابی کیفی مقدار آسیب پذیری ۳۸/۶ بدست آمد که با توجه به اینکه $25\% < LR < 50\%$ ساختمان جزء ساختمان های با آسیب پذیری متوسط تلقی می شود.

مطابق جدول (۱) مشاهده می گردد که مقدار دیوار نسبی از مقدار حداقل دیوار نسبی برای ساختمان های

آجری یک طبقه برای راستای شرقی- غربی مناسب ولی برای راستای شمالی- جنوبی رعایت نشده است. (4%)

جدول ۱: مقادیر دیوار نسبی

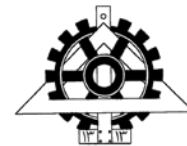
مقدار دیوار نسبی	سطح زیر بنا	سطح مقطع دیوارها	دیوار نسبی
0.042867918	298.3	12.7875	شرقی- غربی
0.02740228	298.3	8.1741	شمالی- جنوبی

تحلیل استاتیکی خطی

با استفاده از دستورالعمل شماره ۳۷۶، برای ساختمان بنایی تحلیل استاتیکی خطی انجام می پذیرد و مقدار برش پایه بین دیوارها مطابق جدول (۲) تقسیم می گردد و در خاتمه مقادیر DCR کنترل می گردد و ملاحظه می شود در بعضی دیوارها بزرگتر از ۲ می باشد. در تحلیل استاتیکی خطی مقدار برش پایه برابر مقدار زیر بدست آمد که این مقدار برش بین دیوارها به نسبت سختی آنها تقسیم می شود:

$$W = 391270.4 + 500 * 298.27 * 0.2 = 4210982 \text{ N}$$

$$V = BAW = 2.63 * 0.35 * W = 3876200 \text{ N}$$



$$E_{me}=550*3.6=1980$$

$$G_{me}=\%40*E_{me}=792$$

$$F_{me}=1.2*3=3.6$$

مدول الاستیسیت

مدول برشی

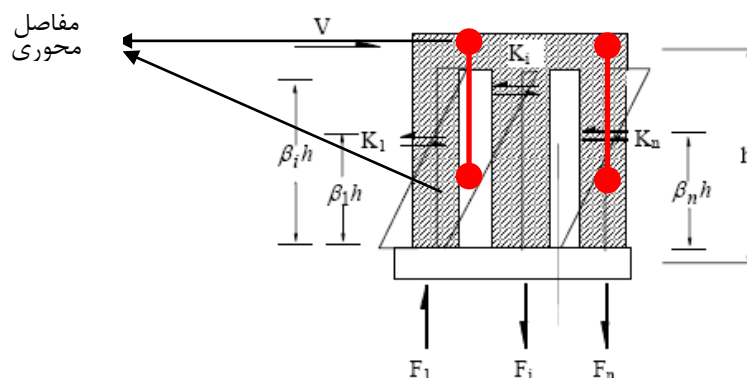
مقاومت فشاری مصالح بنایی

جدول ۲: نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی

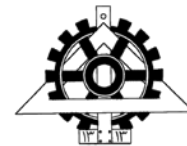
شماره دیوار	طول دیوار	$I(m^4)$	سهم برش دیوار	$V_{me}(N/m^2)$	$m*k*Q$	برش دیوار	DCR
1	1.6	0.11264	436.6152	236711.65	813409.095	25.27065	0.202192
2	3	0.7425	287.8079	211590.91	6284250	19.20104	0.916627
3	0.7	0.009433	3.656226	473993.51	369500.302	0.336619	0.030744
4	5.2	3.86672	1498.818	168420.02	8670262.5	63.13733	2.184616
5	1.7	0.135108	52.37037	350561.5	1528055.69	2.527065	0.128496
6	1.9	0.188623	73.11385	214174.64	992698.353	5.908236	0.439969
7	2	0.22	85.2764	315397.73	1856379.85	6.787327	0.326059
8	1.7	0.135108	52.37037	247085.56	974637.895	2.527065	0.182308
9	2	0.22	85.2764	291363.64	1678824.64	6.787327	0.352955
10	16.35	120.1949	46589.94	187114.26	30287250	135.315	1.340316
11	2	0.22	85.2764	251605.11	1382865.88	6.787327	0.408729
12	0.6	0.00594	2.302463	266136.36	134229.404	0.213219	0.040463
13	1.5	0.092813	35.97598	145113.64	136303.727	1.07441	0.149574
14	1.7	0.135108	52.37037	145113.64	393917.771	4.876202	0.598978
15	4.5	2.505938	971.3515	145113.64	6464812.5	53.19615	2.468571
16	3.5	1.179063	457.0282	145113.64	1669720.65	30.89186	1.843121
17	13.57	66.91131	25936.16	145113.64	19495001.3	297.5814	4.579349

تحلیل استاتیکی غیر خطی

برای تحلیل استاتیکی غیر خطی، دیوارهای پیرامونی با ستونهای معادل مدل می گردد و هر دیوار غیر مسلح بنایی در راستای طول به سه قسمت مساوی مطابق شکل (۳) تقسیم می گردد که برای هر قسمت یک مفصل غیرخطی برشی در نظر گرفته می شود و برای دو المان کناری مفاصل محوری در ابتدا و انتها با خصوصیات زیر تعریف می گردد:

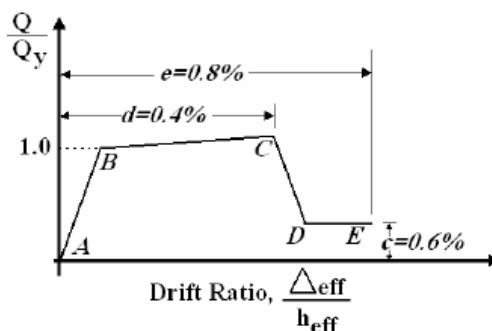


شکل ۳: نحوه مدلسازی دیوار با مصالح بنایی

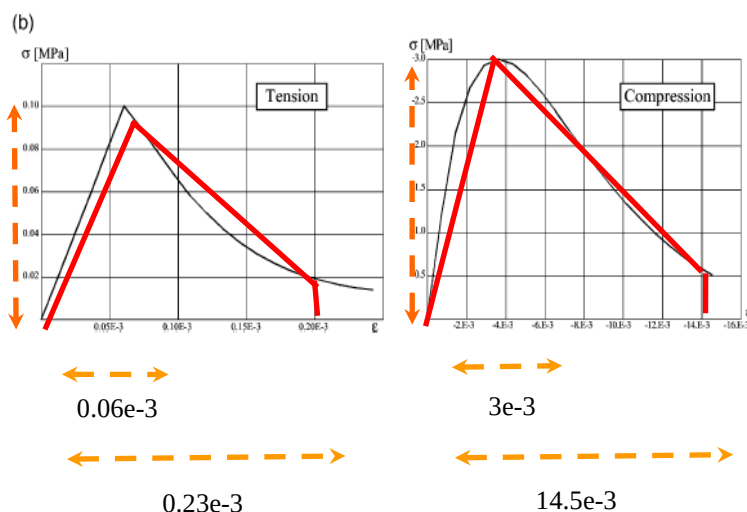


خصوصیات مفاصل غیر خطی

مفصل غیر خطی برشی مطابق دستور العمل ۳۷۶ و خصوصیات مفاصل محوری با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست می آیند. اشکال (۴) و (۵).



شکل ۴: خصوصیات مفاصل خمشی



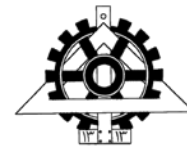
شکل ۵- خصوصیات مفاصل محوری

برای مدل سازی المان spandrel از مفاصل خمشی و برشی استفاده می گردد.

راهکارهای بهسازی

انسجام سقف طاق ضربی

- فاصله بین تیرآهن ها از یک متر تجاوز نمی کند
 - برای بهسازی تیر آهن ها باید به وسیله میلگرد به صورت ضربدری به یکدیگر بسته می شوند به طوری که طول مستطیل ضربدری شده بیش از 1.5 برابر عرض آن نباشد و ثانیا مساحت تحت پوشش هر ضربدری از 25 متر مربع تجاوز نکند.
 - تکیه گاه مناسبی برای پاتاق آخرین دهانه طاق ضربی تعبیه می گردد.
- حداقل سطح مقطع میلگرد مورد استفاده برای مهار بندی ضربدری میلگرد 14 میلیمتری می باشد.



طوق سیمانی مسلح یا بتن مسلح

زمانی که تقویت دیوار به منظور بهسازی کل سازه ضروری است و کارهای بنایی قابل اجرا باشد، از این روش استفاده می شود که شامل پوشش های بتنی یا سیمانی مسلح روی یک یا هر دو وجه دیوار می باشد، البته پوشش در هر دو وجه کاملاً توصیه می شود. مصالح مسلح کننده ممکن است شبکه های میلگردی، الیاف کربنی و یا کامپوزیت های دیگر باشد. مراحل اجرای پوشش سیمان مسلح روی اجر چینی یا بلوک چینی عبارت است از:

- در مواردی که دیوار بنایی اندود شده است، اندود باید برداشته شود
 - ملات بندی های افقی تا عمق 15mm برداشته شود
 - ترک های موجود در دیوار با دوغاب پر شوند
 - سطح دیوار تمیز شده، با آب مرطوب شود و به دوغاب سیمان آغشته شود سپس اولین لایه به صورت ملات سیمان با ضخامت 10-15mm اجرا شود. مقاومت فشاری مخلوط سیمانی باید حدود 20MPa باشد.
 - شبکه فولادی به قطر 4-6mm در فواصل 100-150mm می باشد.
 - سوراخ ها در دیوار برای بست های متقاطع ایجاد می شوند، 4 تا 6 سوراخ در هر متر مربع
 - میلگرد ها (مهارها) به قطر 6mm از سوراخ ها عبور داده شده و سپس سیمان یا چسب اپوکسی تزریق می شود
 - شبکه فولادی به مهارها متصل می شود. کمینه طول گیرداری شبکه فولادی باید 300mm باشد.
 - لایه دوم سیمان به ضخامت 10-15mm اجرا می شود.
- برای تعیین سختی جانبی دیوار تقویت شده با پوشش سیمان مسلح از معادله زیر استفاده می شود:

$$K_{e,eq} = K_{e,w} + K_{e,coat}$$

$$K_{e,eq}$$

سختی جانبی دیوار معادل

$$K_{e,w}$$

سختی جانبی دیوار بنایی اصلی

$$K_{e,coat}$$

سختی جانبی پوشش سیمان مسلح

تخمین محافظه کارانه مقاومت برشی طرح با استفاده از معادله زیر بدست می آید:

$$H_{e,eq} = C_{rh} \cdot A_{rh} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} + C_{rv} \cdot A_{rv} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$H_{e,eq}$$

مقاومت برشی طرح دیوار معادل

$$C_{rh}=0.9$$

ضریب کاهش ظرفیت فولاد گذاری افقی

$$C_{rv}=0.2$$

ضریب کاهش ظرفیت فولاد گذاری عمودی

$$A_{rh}$$

سطح مقطع عرضی میلگردهای افقی

$$A_{rv}$$

سطح مقطع عرضی میلگردهای عمودی

$$F_{yk}$$

تنش تسلیم میلگرد

$$\gamma_s = 1$$

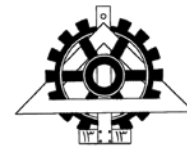
ضریب ایمنی جزئی فولاد



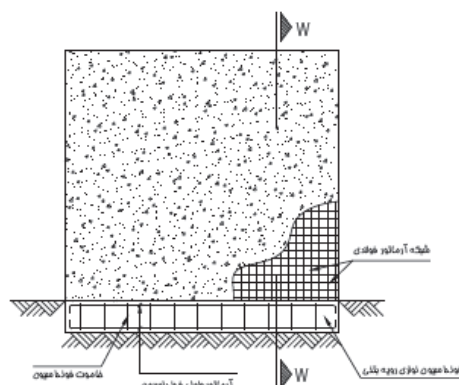
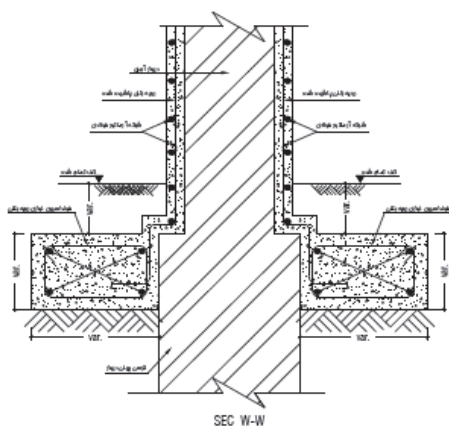
قطب علمی مهندسی و
مدیریت زیرساختها

مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساختها

دانشکده فنی دانشگاه تهران - آبان ماه ۱۳۸۸



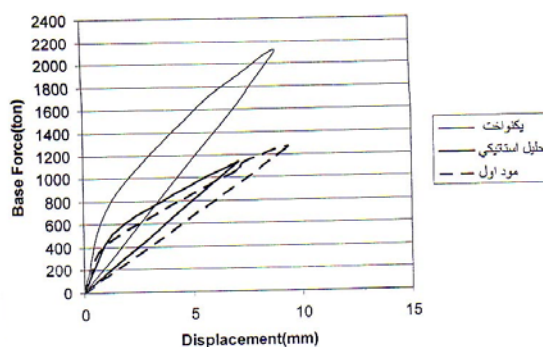
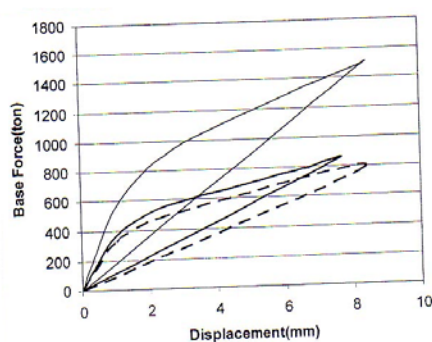
پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی عمران



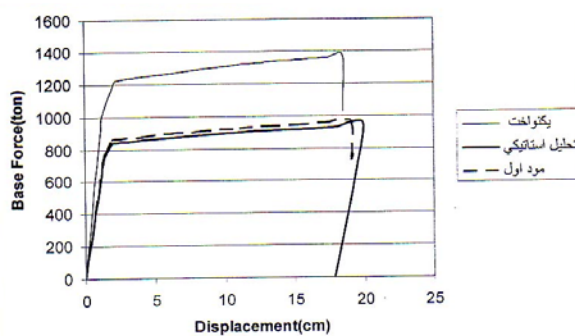
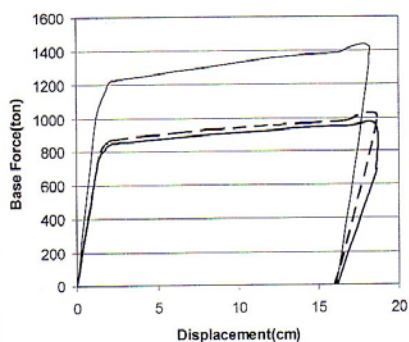
شکل ۶- تقویت دیوار با روکش دو طرفه بتن مسلح

تقویت پی دیوار

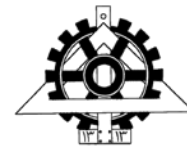
نیروی افقی ناشی از زلزله که به دیوارهای تقویت شده وارد می شود باید به زمین منتقل گردد و از آنجا که شالوده اولیه دیوار آجری است بایستی به نحو مناسبی تقویت گردد، برای تقویت شالوده باید توجه داشت که وزن مصالح تقویت نیز باید به نحو مناسبی به زمین منتقل شود، ولی چون فرض بر این است که شالوده قدیمی وظیفه تحمل بارهای ثقیلی قبل از تقویت دیوارها را بر عهده دارد، می بایست تقویت آن به طور کامل انجام شود.



شکل ۷: منحنی ظرفیت برای توزیع بار جانبی یکنواخت مدل بهسازی نشده



شکل ۸: منحنی ظرفیت برای توزیع بار جانبی یکنواخت مدل بهسازی شده



نتیجه گیری

- ایجاد روکش بتنی مسلح (شاتکریت) در دیوارهای آجری باعث شکل پذیری زیاد این سازه ها می گردد که مشکل اساسی ساختمان های با مصالح بنایی عدم شکل پذیری آنها می باشد.
- ایده آل سازی نمودار ظرفیت سازه با یک نمودار دوخطی در روش ضرایب تغییر مکان وابسته به قضاوت مهندسی و دقت به کار رفته ساخت آن می باشد که این امر در پراکندگی نتایج تاثیر گذار است.
- تاثیر الگوی بارگذاری جانبی در منحنی ظرفیت سازه و در نتیجه بر روی نقطه عملکردی محاسبه شده تقریباً زیاد است. دقت در انتخاب نوع الگوی بارگذاری جانبی بخصوص در ساختمانهای با زمان تناوب بالا از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- تاثیر ترکیب بارگذاری ثقلی در منحنی ظرفیت ساختمان های با مصالح بنایی و در نتیجه بر روی نقطه عملکردی محاسبه شده قابل توجه و زیاد می باشد پس بنابراین انتخاب یک ترکیب بارگذاری منطقی برای بدست آوردن منطقی اهمیت بسزایی دارد.
- در طی بررسی ها ملاحظه گردید که تغییر مکان بام در نقطه عملکرد برای حالت توزیع بار جانبی متناسب با تحلیل استاتیکی خطی بیشترین مقدار و برای حالت توزیع بار جانبی متناسب با وزن کمترین مقدار را دارد. همچنین برش پایه نظیر نقطه عملکرد در حالت توزیع بار جانبی متناسب با وزن، بیشترین مقدار را دارد.

منابع

۱. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای بنایی، نشریه شماره ۳۷۶، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.
۲. تسنیمی، عباسعلی، رفتار ساختمانهای با مصالح بنایی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۳.
۳. عبد شریف آبادی، هوشمند، زلزله و ساختمانهای متداول، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۰.
۴. غلامرضا باغبان گل پسند، بهمن فرهمن آذر، بررسی رفتار لرزه ای ساختمانهای با مصالح بنایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز، ۱۳۸۶.
5. Applied Technology Council (ATC), Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings, ATC40, 1996.
6. Bendetti, D; Castoldi, A; Dynamic and Static Experimental Analysis of Ston Masonry Buildings, 1998.
7. American Society of Civil Engineers, Presentad and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, 2000.