

## تاثیر پلان و معماری سازه‌های نامنظم L-شکل روی رفتار آن در مقابل زلزله

سید محمد باقر رضوی زاده<sup>۱</sup>، محسن اعتمادی<sup>۲</sup>، محمد قاسم سبحان<sup>۳</sup>، کاوه استاد علی عسکری<sup>۴</sup>\*

۱. دانشجو کارشناسی ارشد دانشکده عمران دانشگاه تبریز

۲. استادیار دانشکده عمران و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استادیار دانشکده عمران و عضو هدثت علمی دانشگاه تبریز

۴. کارشناس ارشد مهندسی عمران شرکت مهندسین مشاور رویناب نقش جهان

\*نویسنده مسئول kaveh\_oaa2001@yahoo.com

### چکیده

در این پژوهش، تاثیر پلان معماری یا شکل هندسی سازه روی رفتار ساختمان در مقابل زلزله، باروش‌های استاتیکی معادل و دینامیکی، ارزیابی شده و نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی و همچنین ترکیب‌های خاصی از مقادیر تحلیل استاتیکی معادل مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. سپس انواع مختلفی از ساختمان‌های نامنظم L-شکل، با نسبت‌های مختلف نامنظمی (نسبت‌های مختلف بیرون زدگی) و در ارتفاع‌های مختلف مدل و به دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی تحلیل گردید. میزان پیچش در ساختمان‌های نامنظم، معیار مقایسه قرار گرفت. طبقه بندی نتایج هر دو تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی و مقایسه آنها، نشان داد در ساختمان‌های نامنظم با تعداد طبقات متفاوت، مقادیر پیچش استاتیکی معادل (در امتداد بحرانی) و پیچش دینامیکی ماکزیمم، تقریباً یکسان است ولی در ساختمان‌های نامنظم L-شکل، اینگونه نیست. در ساختمان‌های نامنظم L-شکل، چنانچه تعداد طبقات ساختمان مدل شده، کمتر از ۵ طبقه باشد، اختلاف اندکی بین مقادیر پیچش استاتیکی معادل (در امتداد بحرانی) و پیچش دینامیکی ماکزیمم، ملاحظه می‌گردد تا حدی که می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. ولی با افزایش تعداد طبقات به بیشتر از حد مذکور، این اختلاف پیچش حاصل از دو تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی زیاد می‌شود و هرچه بر تعداد طبقات افزوده می‌شود، این اختلاف بیشتر می‌گردد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق پیشنهاد می‌شود در ساختمان‌های نامنظم L-شکل، جهت استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل، محدودیت‌هایی قائل شود. همچنین به نظر می‌رسد تحت شرایط خاص با ایجاد ترکیبات مناسب از مقادیر پیچش حاصل از تحلیل استاتیکی در دو جهت اصلی متعامد، می‌توان به مقادیر پیچش ماکزیمم حاصل از تحلیل دینامیکی رسید. این ترکیبات در مواردی که امکان تحلیل دینامیکی ممکن نیست می‌تواند کارگشا باشد، چراکه منجر به جواب‌های تقریباً یکسانی با پیچش ناشی از تحلیل دینامیکی می‌گردند.

کلمات کلیدی: پیچش - ساختمان‌های نامنظم - ساختمان‌های L-شکل

## ۱- مقدمه

### ۱-۱- پیکر بندی، منظمی و نا منظمی در پلان‌ها

یکی از مواردی که در طراحی ساختمان‌ها بایستی به آن دقت کافی شود، بحث پیکربندی و منظمی و نا منظمی در پلان ساختمان‌ها و توجه به تاثیر آن روی رفتار ساختمان‌ها در مقابل زلزله است.

پیکر بندی ساختمان، راههایی را که نیروهای زلزله در سرتاسر ساختمان توزیع می‌شوند را به مقدار زیاد معین می‌کند و ضمناً بر مقدار نسبی این نیروها تاثیر می‌گذارد. وقتی ضوابط مربوط به مقاومت ساختمان در مقابل زلزله در سازه آن اعمال شد، طراحی معماری و تصمیماتی که منجر به آن می‌شود، نقش مهمی را در کارایی لرزه ای ساختمان بازی می‌کند. توصیه ای که در همه آیین نامه های زلزله، که در مورد پیکربندی بحث می‌کنند وجود دارد این است که اشکال ساختمانی متقارن نسبت به اشکال نا متقارن ترجیح دارند. /۱/

### ۱-۲- مشکلات پیکر بندی در پلان نا منظم با گوشه های تو رفته

یک پلان با گوشه تورفته عبارت است از مشخصه مشترک در پیکربندی کلی ساختمانهایی که شکل آنها در پلان شبیه  $H$ ،  $T$ ،  $L$ ،  $+$  و یا ترکیبی از آنهاست. در ارتباط با این ساختمان‌ها دو مشکل عمده ممکن است ایجاد شود:

اولین مسأله این است که در قسمت‌های مختلف ساختمان سختی‌های متفاوت و بنابراین حرکات تفاضلی ایجاد می‌شود که باعث یک تمرکز تنش موضعی در شیار گوشه تورفته می‌شود. /۱/

مشکل بعدی مسئله پیچش است. علت به وجود آمدن این مشکل این است که مرکز جرم و مرکز سختی در این اشکال، برای تمامی امتدادهای محتمل زلزله‌ها نمی‌توانند از نظر هندسی بر هم منطبق باشند. /۱/

در نتیجه چرخش ایجاد می‌شود که تمایل به ایجاد تغییر شکل‌هایی در ساختمان دارد که از نظر ماهیت و اندازه تابع ماهیت و امتداد حرکت زمین است و نیروهایی ایجاد می‌کند که تحلیل و پیش بینی آنها بسیار مشکل است. /۲/

دو راه حل اساسی برای این مشکل وجود دارد: جدا کردن ساختمان از نظر سازه ای به صورت شکل‌های ساده (درزهای جدا کننده استفاده شود)، و یا بستن قطعات ساختمان به یکدیگر به صورت قوی در محل خطوط تمرکز تنش و قرار دادن اعضای مقاوم برای کم کردن پیچش میتوان استفاده کرد. /۲/

## ۲- تاریخچه مطالعات

نمونه های مربوط به صدمات وارد آمده به ساختمانهای با گوشه های تورفته فراوان اند و این مشکل یکی از اولین مواردی است که بعد از وقوع زلزله توسط یک مشاهده گر شناسایی می‌شده و می‌شود. البته قبل از شروع قرن حاضر به این مسئله پی برده شده بود و تا سالهای دهه ۱۹۲۰ متخصصان در این موارد به آگاهی کافی رسیده بودند. به عنوان مثال نائیتو /۵/ صدمات اساسی حاصل از زلزله سال

۱۹۲۳ کانتو را به این عامل نسبت داد. خرابیهای مشابه نیز برای زلزله‌های سانتا باربارا در سال ۱۹۲۵، آلاسکا در سال ۱۹۶۴، و مکزیکوسیتی در سال ۱۹۸۵ نیز به دلیل مذکور گزارش شده اند/۵/

در زلزله‌های گذشته آسیب پذیری بیشتر ساختمان‌های نامتقارن نسبت به ساختمان‌های متقارن مشهود بود و بر اساس آن ضوابط طراحی لرزه‌ای ویژه‌ای براساس ساختمان‌های نامتقارن وضع شد. هازنر و آتینن/۶/ در سال ۱۹۸۵ نشان دادند که نتایج حاصل از آنالیز استاتیکی که در آن خروج از مرکزیت نیروی برش طراحی برابر با فاصله مرکز سختی از مرکز جرم (خروج از مرکزیت استاتیکی) در نظر گرفته می‌شود. عملاً در حاشیه اطمینان نبوده و تاثیر ممان اینرسی جرمی طبقه و رفتار دینامیکی پیچشی سبب به وجود آمدن لنگرهای پیچشی بزرگتری نسبت به لنگر پیچشی استاتیکی می‌گردد/۶/

در سال ۱۹۶۰ و پس از آن محققین با تعریف مفهوم خروج از مرکزیت دینامیکی سعی کردند تا با استفاده از نتایج آنالیزهای دینامیکی و کالیبره کردن نتایج آن با نتایج آنالیز استاتیکی خروج از مرکزیت طراحی را با تشدید خروج از مرکزیت استاتیکی تعریف نمایند/۷/. این امر منجر به معرفی روابط متداول خروج از مرکزیت طراحی گشت این موضوع که نتایج حاصل از آنالیز استاتیکی در مورد ساختمان‌های نامنظم عملاً در حاشیه امنیت نمی‌باشد به گونه‌ای دیگر در بخش تفسیر ضوابط توصیه شده برای نیروهای جانبی و تفسیر آنها به دفعات آورده شده که از آن جمله به تفسیر ارائه شده توسط مهندسان سازه کالیفرنیا (SEAOC)/۸/ می‌توان اشاره کرد:

روش استاتیکی معادل برای ساختمان‌ها و شرایط یکنواخت نوشته شده است. کاربرد این استانداردهای کمینه (روش استاتیکی معادل) در ساختمانها یا شرایط غیر معمول، در بسیاری از حالات منجر به برآوردهای غیر واقعی می‌شود. بنابراین هر قدر ساختمان از مدل منظم فاصله داشته باشد، به همان میزان نیروهای به دست آمده از این ضوابط، غیر واقعی تر خواهد بود/۳/

### ۳- مشخصات مدل‌های مورد بررسی

همان‌طور که در مباحث پیشین آمد یکی از مشکلات در ساختمان‌های نامنظم با گوشه‌های تورفته، مسأله پیچش است. علت این مشکل هم این است که مرکز جرم و مرکز سختی در این شکل‌های نامنظم، برای تمامی امتدادهای محتمل زلزله نمی‌تواند برهم منطبق باشد.

لذا جهت مطالعه تاثیر شکل هندسی و معماری سازه‌های نامنظم L-شکل روی رفتار آن در مقابل زلزله شکل‌های متعددی از ساختمان‌های منظم و نامنظم L-شکل توسط نرم افزار ETABS (V:9.17) تهیه و مشخصات یکسانی برای همه مدل‌ها تعریف گردید که بدین شرح است:

- نوع ساختمان: بتنی

- نوع سیستم سازه: قاب خمشی بتن مسلح متوسط با شکل پذیری متوسط و ضریب رفتار  $R=7$

- محل ساختمان: اصفهان ( $A=0.30$ )

- خاک منطقه: نوع ۳

- ضریب اهمیت ساختمان:  $I=1.0$

- بار مرده طبقات: کیلوگرم بر مترمربع  $DL=650$

- بار زنده طبقات: کیلوگرم بر مترمربع  $LL=200$

- بار زنده دستگاه پله: کیلوگرم بر مترمربع  $LL=350$

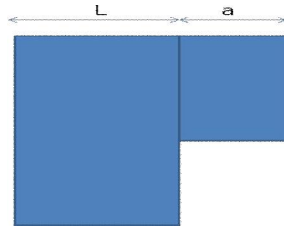
- بار دیوار محیطی ساختمان: ۶۵۰ کیلوگرم بر متر

- ارتفاع طبقات متر  $h=3.00$

لازم به توضیح است که نا منظمی ها، از طریق انتخاب نسبت های مختلف بیرون زدگی پلان ها تعریف گردید و البته این بیرون زدگی صرفاً در یک امتداد (محور  $X$  ها) متغیر شد و بیرون زدگی در امتداد دیگر (محور  $Y$  ها) ثابت ماند. هر نامنظمی در پلان نیز از دو تا هشت طبقه مدل گردید و هر کدام به دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی تحلیل شد و طبق بند ۲-۴-۲ آیین نامه طراحی ساختمان ها در مقابل زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران، مقادیر برش پایه تعدیل و طبق بند ۲-۵ همان آیین نامه تغییر مکان نسبی همان طبقات محدود گردید و نسبت های بیرون زدگی  $a/L = 1/0.5, 0/0.7, 0/0.35, 0/0.0$  برای بیان نامنظمی در پلان تعریف شد.

#### ۴- معرفی نسبت بیرون زدگی

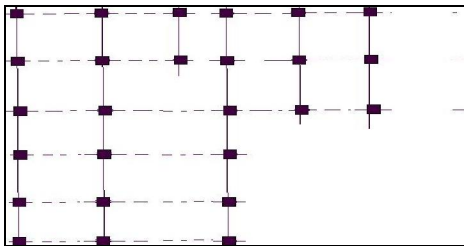
برای نامگذاری و شناسایی آسان مدل ها ضابطه ای بر اساس نسبت بیرون زدگی و تعداد طبقات تعریف گردید که بدین شرح می باشد:  
در این معرفی  $a/L$  نسبت بیرون زدگی و  $n$  تعداد طبقات مدل نامنظم  $L$ - شکل می باشد.



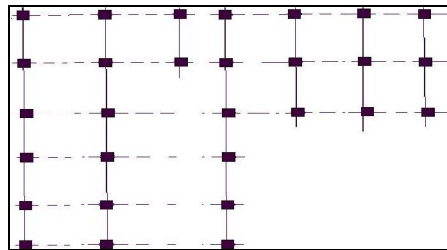
شکل ۱- معرفی نسبت بیرون زدگی ( $a/L$ )

#### ۵- پلانهای $L$ -شکل مدل شده

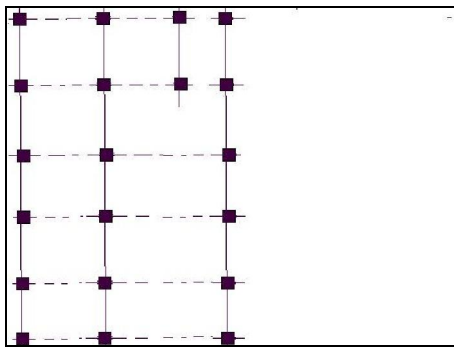
مشخصات هندسی پلانهای نامنظم  $L$ -شکل با نسبت مختلف بیرون زدگی ( $a/L$ ) که در این پژوهش مدل شدند، به صورت زیر می باشند:



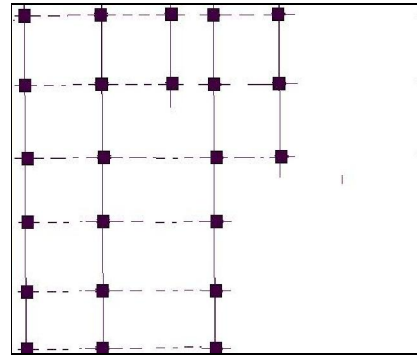
شکل ۳- پلان  $L$ -شکل با نسبت  $a/L=0.70$



شکل ۲- پلان  $L$ -شکل با نسبت  $a/L=1.05$



شکل ۵- پلان L-شکل با نسبت  $a/L=0.00$



شکل ۶- پلان L-شکل با نسبت  $a/L=0.35$

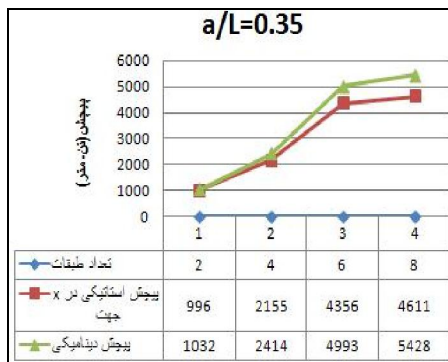
## ۶- بررسی نتایج تحلیلی

۱.۶ ( قسمت اول): همانطور که پیش‌تر بیان شد با مشاهده تجربیات گذشته، ناکارآمدی روش‌های تحلیل استاتیکی معادل،

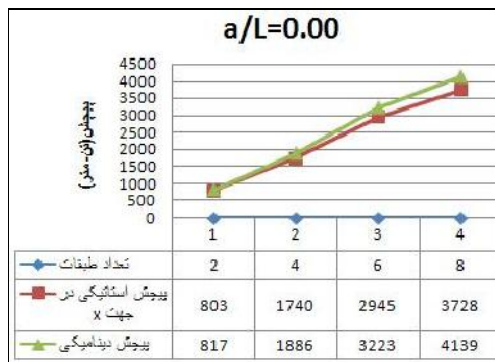
برای ساختمان‌های نامنظم با تعداد طبقات زیاد،  $f/4$  روشن می‌شود. لذا ضرورت استفاده از روش‌های اصلاح شده یا روش‌های تحلیل دینامیکی، برای این گونه از ساختمان‌ها، قابل انکار نیست.

بنابراین با هدف بررسی مقادیر خروجی حاصل از تحلیل‌های استاتیکی معادل و دینامیکی در ساختمان‌های نامنظم L-

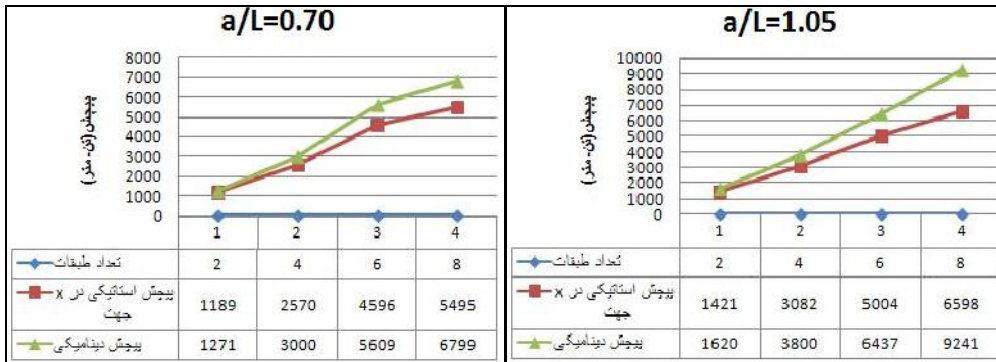
شکل، که موضوع بحث این پژوهش است، پلان‌های شکل‌های ۲ تا ۵ طبق مشخصات بنده ۳ و در تعداد دو تا هشت طبقه مدل و به دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی تحلیل شدند. نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی هر کدام از مدل‌های نامنظم و نامنظم فوق، در گراف شکل‌های ۶ تا ۹ نشان داده شده است.



شکل ۷- تغییرات پیچش به نسبت  $a/L=0.35$



شکل ۸- تغییرات پیچش به نسبت  $a/L=0.00$



شکل ۹- تغییرات پیش‌بینی به نسبت  $a/L=1.05$

شکل ۸- تغییرات پیش‌بینی به نسبت  $a/L=0.70$

مشاهده گراف تغییرات پیش‌بینی نسبت به افزایش تعداد طبقات برای ساختمان‌های با پلان‌های نامنظم  $L$  - شکل ولی با نسبت‌های مختلفی بیرون‌زدگی نشان می‌دهد، بر خلاف مدل‌های منظم که مقادیر پیش‌بینی استاتیکی (در امتداد بحرانی) و پیش‌بینی دینامیکی ماکزیمم، در کلیه طبقات تقریباً یکسان است و اختلاف ناچیزی بین آنها مشاهده می‌شود، در این مدل‌های نامنظم، در طبقات کمتر از ۵ طبقه، اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی استاتیکی معادل (در جهت بحرانی) با مقادیر پیش‌بینی دینامیکی تقریباً کم و ناچیز می‌باشد و رفته رفته با افزایش تعداد طبقات به بیشتر از ۵ طبقه، این اختلاف مقادیر پیش‌بینی استاتیکی و دینامیکی زیاد می‌شود. بررسی نتایج نشان می‌دهد جهت استفاده از روش استاتیکی معادل در ساختمان‌های نامنظم، باید محدودیت‌هایی قائل شد  $(\frac{1}{6}, \frac{1}{7})$  این محدودیت در صورتی که یک بعدی بررسی شود می‌تواند، صرفاً از طریق ایجاد محدودیت در ارتفاع حداکثر یا تعداد طبقات حداکثر جهت استفاده از روش استاتیکی معادل باشد. با دقت در مقادیر درصد اختلاف بین پیش‌بینی ماکزیمم حاصل از تحلیل استاتیکی معادل در امتداد بحرانی و پیش‌بینی ماکزیمم حاصل از تحلیل دینامیکی که در جدول شماره ۱، دسته‌بندی شده است، می‌توان دریافت هرچه نسبت بیرون‌زدگی  $(a/L)$  برای ساختمان‌های نامنظم  $L$ -شکل بیشتر باشد، اختلاف مقادیر پیش‌بینی حاصل از دو نوع تحلیل نیز بیشتر می‌شود.

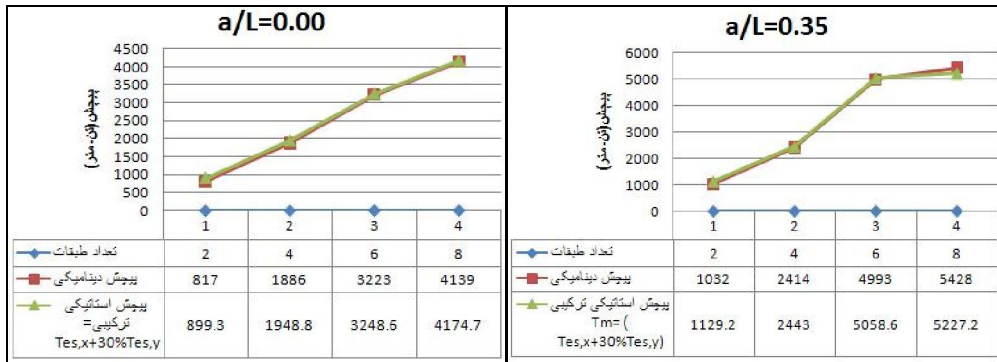
جدول شماره ۱- مقادیر در صداختلاف بین  $T_{dy}$  و  $T_{es,x}$  برای نسبت‌های مختلف بیرون‌زدگی  $(a/L)$  و برای تعداد طبقات

مختلف  $(\frac{1}{9}, \frac{1}{8})$

n \ a/L	۲	۴	۶	۸
۰/۰۰	۱/۷	۷/۷	۸/۵	۹/۹
۰/۳۵	۳/۵	۱۰/۷	۱۲/۸	۱۵/۰۵
۰/۷۰	۶/۵	۱۴/۳	۱۸/۱	۱۹/۲
۱/۰۵	۱۲/۳	۱۸/۹	۲۲/۳	۲۸/۶

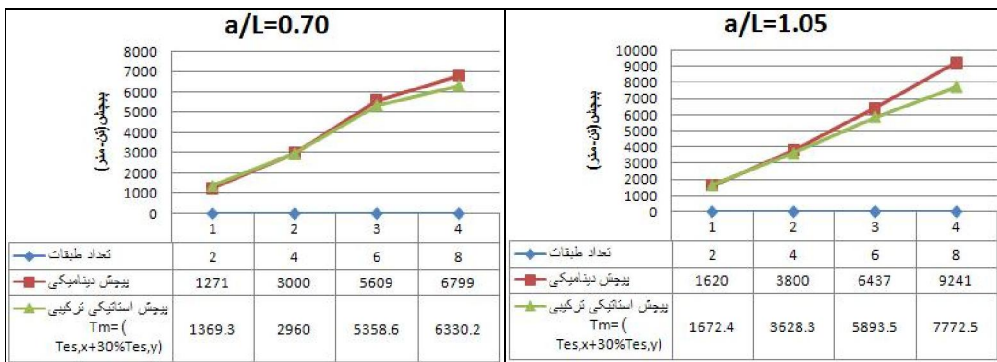
یعنی به منظور افزایش بهره‌وری در تحلیل، می‌توان یک محدودیت دوبعدی جهت استفاده از روش استاتیکی معادل ایجاد کرد. بدین گونه که با کاهش نسبت بیرون‌زدگی  $(a/L)$ ، محدودیت ارتفاع حداکثر یا تعداد طبقات حداکثر افزایش یابد و برعکس با افزایش نسبت بیرون‌زدگی، ارتفاع حداکثر مجاز یا تعداد طبقات حداکثر مجاز جهت استفاده از روش استاتیکی معادل، کاهش یابد.

**۲.۶) قسمت دوم:** این قسمت از پژوهش، به بررسی مقادیر ترکیبی پیچش‌های ناشی از تحلیل استاتیکی معادل و پیچش ناشی از تحلیل دینامیکی می‌پردازد. این مقایسه بین ترکیب صد در صد مقدار پیچش ناشی از تحلیل استاتیکی معادل در امتداد بحرانی (Tes,x) به علاوه سی در صد پیچش ناشی از تحلیل استاتیکی معادل در امتدادی عمود بر امتداد بحرانی (30% Tes,y)، با مقدار پیچش ماکزیمم ناشی از تحلیل دینامیکی (Tdy,max) می‌پردازد. به عبارتی با در نظر گرفتن این نکته که در تمام مدل‌های تهیه شده، امتداد x-x، امتداد بحرانی است، مقایسه و بررسی بین مقادیر  $Tm = Tes,x + 0.30 Tes,y$  و  $Tdy = Tdy,max$  صورت می‌گیرد. (گراف‌های ۱۰ تا ۱۳)



شکل ۱۱- تغییرات پیچش به نسبت  $a/L=0.35$

شکل ۱۰- تغییرات پیچش به نسبت  $a/L=0.00$



شکل ۱۳- تغییرات پیچش به نسبت  $a/L=0.35$

شکل ۱۲- تغییرات پیچش به نسبت  $a/L=0.00$

همانطور که مشاهده شد با ایجاد این ترکیب حاصل از تحلیل استاتیکی معادل، مقادیر ترکیبی پیچش ( $Tm$ )، از نظر مقدار بسیار نزدیک به پیچش ماکزیمم ناشی از تحلیل دینامیکی ( $Tdy$ ) می‌شوند، به طوری که باعث می‌شود در بسیاری از موارد گراف‌های آنها بر هم منطبق شود.

با دقت در جدول شماره ۲ و مقایسه مقادیر درصد اختلاف بین پیچش دینامیکی ماکزیمم ( $Tdy$ ) و پیچش استاتیکی ترکیبی ( $Tm$ )، برای نسبت‌های مختلف بیرون زدگی ( $a/L$ ) و تعداد طبقات مختلف ( $n$ ) مشاهده می‌شود، مقدار پیچش استاتیکی ترکیبی برای تعداد طبقات کمتر از ۵ طبقه، اکثراً بیشتر از مقدار پیچش دینامیکی است و برای تعداد طبقات بیشتر از ۵ طبقه نیز، این اختلاف مقدار

ناچیز است و البته هر چه نسبت بیرون زدگی و تعداد طبقات (یا ارتفاع از تراز پایه) افزایش یابد، این اختلاف درصد افزایش می‌یابد.  
(جدول شماره ۲)

جدول شماره ۲- درصد اختلاف بین  $(T_m)$  و  $(T_{dy})$  برای نسبت‌های مختلف بیرون زدگی  $(a/L)$  و تعداد طبقات مختلف  $(n)$

$a/L \backslash n$	۲	۴	۶	۸
۰/۰۰	۱۰/۱۰ +	۳/۳ +	۰/۷ +	+ ۰/۹
۰/۳۵	- ۹/۴	۱/۲ -	۱/۳ -	+ ۳/۷
۰/۷۰	- ۷/۷	+ ۱/۳	۴/۵	+ ۶/۹
۱/۰۵	- ۳/۲۰	+ ۴/۵	۸/۴ +	+ ۱۵/۹

از آنچه گفته شد و مقادیر جدول شماره ۲ چنین برمی‌آید که با انتخاب ترکیبات خوب از مقادیر پیش‌استاتیکی مختلف در دو جهت متعامد، یکی در جهت بحرانی و دیگری متعامد با جهت بحرانی، می‌توان محدودیت‌های ارتفاعی که برای ساختمان‌های نامنظم وجود را اصلاح یا تعدیل کرد. /۹/

در هر حال مقایسه مقادیر جدول ۲ و گراف‌ها نشان می‌دهد در صورتیکه امکان تحلیل دینامیکی برای یک ساختمان نامنظم  $L$  - شکل فراهم نباشد، با انجام تحلیل استاتیکی در دو جهت متعامد و ایجاد ترکیب عددی فوق  $(T_m)$ ، می‌توان به مقدار پیش‌دینامیکی ماکزیمم نزدیک شد و هر چه نسبت این نامنظمی (نسبت  $a/L$ ) و تعداد طبقات  $(n)$  کمتر باشد، این مقادیر ترکیبی پیش‌استاتیکی، به مقادیر پیش‌دینامیکی نزدیک‌تر خواهد بود. /۹/

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، عملکردهای ساختمان‌های نامنظم  $L$  - شکل، با آرایش‌های نامنظمی (نسبت‌های بیرون زدگی متفاوت) و با تعداد طبقات متغیر از ۲ تا ۸، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالب ارائه شده و در محدوده مدل‌های مورد بررسی قرار گرفته، نتایج زیر را می‌توان ارائه نمود:

۱- در ساختمان‌های نامنظم، مقادیر پیش‌دینامیکی حاصل از تحلیل استاتیکی معادل در جهت بحرانی، با مقادیر پیش‌دینامیکی ماکزیمم حاصل از تحلیل دینامیکی در ساختمان‌های با تعداد طبقات متفاوت، تقریباً یکسان است. به عبارتی استفاده از هر روش استاتیکی معادل دینامیکی منجر به نتایج یکسانی برای پیش‌دینامیکی می‌شود و هیچ محدودیتی برای استفاده از هر کدام در محدوده ارتفاع‌های متعارف ساخت و ساز، برای آنها نیست.

۲- برخلاف ساختمان‌های نامنظم، که مقادیر پیش‌دینامیکی معادل (در امتداد بحرانی) و پیش‌دینامیکی ماکزیمم، در کلیه مدل‌های با تعداد طبقات متفاوت، تقریباً یکسان بود، در ساختمان‌های نامنظم  $L$  - شکل، اینگونه نیست. به طوری که در مدل‌های نامنظم



L- شکل، چنانچه تعداد طبقات ساختمان مدل شده، کمتر از ۵ طبقه باشد، اختلاف اندکی بین مقادیر پیچش استاتیکی معادل (در امتداد بحرانی) و پیچش دینامیکی ماکزیمم، ملاحظه می‌گردد، که البته می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. ولی با افزایش تعداد طبقات به بیشتر از حد مذکور، این اختلاف پیچش حاصل از دو تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی زیاد می‌شود و هرچه بر این تعداد طبقات افزوده می‌شود، این اختلاف حادث‌تر و بیشتر می‌شود. بنابراین استفاده از روش استاتیکی معادل برای ساختمان‌های نامنظم L- شکل، چنانچه تعداد طبقات کمتر از ۵ طبقه باشد، منجر به نتایج تقریباً یکسانی با روش دینامیکی می‌گردد، ولی با افزایش تعداد طبقات ساختمان به بیشتر از حد مذکور، مقادیر پیچش حاصل از تحلیل استاتیکی معادل پذیرفتنی نیست.

۳- در ساختمان‌های نامنظم L- شکل، جهت استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل، باید محدودیت‌هایی قائل شد. این محدودیت را می‌توان صرفاً در حداکثر ارتفاع ساختمان نامنظم L- شکل یا حداکثر تعداد طبقات آن در نظر گرفت.

۴- با ایجاد ترکیبات مناسب از مقادیر پیچش حاصل از تحلیل استاتیکی معادل در دو جهت اصلی متعامد، می‌توان به مقادیر پیچش ماکزیمم حاصل از تحلیل دینامیکی رسید. این ترکیبات در مواردی که امکان تحلیل دینامیکی ممکن نیست می‌تواند کارگشا باشد، چراکه منجر به جواب‌های یکسانی با پیچش ناشی از تحلیل دینامیکی می‌گردد. یکی از آن ترکیبات قابل قبول، که می‌توان به آن اشاره کرد ترکیبی است که از حاصل جمع پیچش حاصل از تحلیل استاتیکی معادل در امتداد بحرانی با سی درصد مقدار پیچش ناشی از تحلیل استاتیکی معادل در امتداد عمود بر امتداد بحرانی به دست می‌آید. بررسی نتایج جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که پیچش حاصل از این ترکیب، برای ساختمان‌های نامنظم L- شکل تقریباً برابر با پیچش دینامیکی ماکزیمم می‌باشد. البته هرچه تعداد طبقات کمتر و میزان نامنظمی (نسبت  $a/L$ ) کمتر باشد، این دقت بیشتر خواهد بود.

## ۸- مراجع

۱. نعیم، ف.، (۱۳۷۴)، "طرح سازه‌ها در برابر زلزله"، جلد اول، انتشارات دانشگاه گیلان.
۲. واکابایاشی، م.، (۱۳۷۴)، "ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، (۱۳۸۵)، "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استانداردها ۸۴-۲۸۰۰"، مجموعه استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران، چاپ هفتم، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
4. Dragomir, C.S., (2009), "Comparative study on masonry building protection to seismic actions" (in Romanian), Proc. of 19th National Conf. AICPS on Issues Resulted in Application of the New Generation of Regulation in Building Design, Bucharest, Romania, pp 12-22.
5. Naito, T., (1977), "Earthquake-Proof Construction," Bull. Seizm. Soc. Am. 17, No. 2.
6. Housner, G.W. and Outinen, H., (1958), "The Effect of Torsional Oscillation on Earthquake Stresses," Bulletin of Seismological Society of America, 48, pp 221-229.
7. Rutnberg, A., (1992), "Nonlinear Response of Asymmetric Building Structures and Seismic Codes: A State of The Art Review," European Earthquake Engineering, 2, pp 3-19.
8. American Society of Civil Engineers (ASCE), (2000), "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," Reston, VA
9. Shah, H.C., Zsutty, T.C. and Padilla, L., (1977), "The Purpose and Effects Of Earthquake Codes," Internal Study Report No.1, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford Univ.