

بررسی تحلیلی و آیین‌نامه‌ای نامنظمی‌های پیچشی در سازه‌های کوتاه تا میان مرتبه

بیژن صنعتی*

استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوکان، بوکان، ایران

جمال احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، ایران

Sanaaty1@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۱۲/۰۴

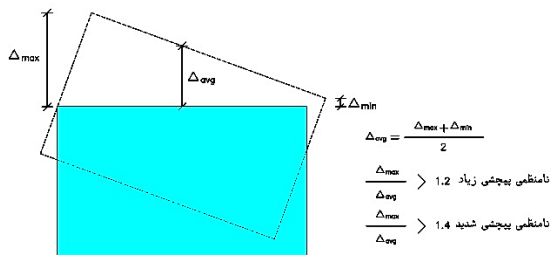
چکیده:

زلزله‌های اخیر نشان داده‌اند که وجود نامنظمی پیچشی در سازه‌ها، عاملی است که باعث آسیب شدید سازه‌ای می‌شود. در ویرایش‌های قبلی استاندارد ۲۸۰۰، بحثی از نامنظمی پیچشی نشده بود. در ویرایش چهارم، ضوابط این نوع نامنظمی هم گنجانده شده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی این ضوابط با استفاده از نتایج روش تحلیلی خطی طیفی در نرم افزار ETABS 2015، سازه به حالت شبه دینامیکی تحلیل و پیش تصادفی در نظر گرفته شده، مقایسه نتایج به دست آمده با ضوابط سایر آیین‌نامه‌ها است. پارامترهای بررسی شده عبارت‌اند از: موقعیت دیوارهای برشی، تعداد طبقات و تعداد محورها. به منظور بررسی نامنظمی پیچشی در جهت Y پلان، موقعیت دیوارهای برشی حول محور X و Y به ترتیب متقارن و نامتقارن در نظر گرفته شده‌اند. با آنالیز ۹۶ مدل تحلیلی مشخص گردید که حداکثر مقدار ضریب نامنظمی پیچشی با کاهش تعداد طبقات سازه افزایش می‌یابد. طبقات بالاتر دارای ضریب نامنظمی پیچشی کمتری نسبت به طبقات پایین‌تر هستند. نتایج به دست آمده برای دوران کف طبقات، برعکس نتیجه مربوط به ضریب نامنظمی پیچشی است. یک رابطه نیز برای ارتباط دادن مستقیم ضریب نامنظمی پیچشی و زاویه چرخش طبقات ارائه شده است.

کلید واژگان: استاندارد ۲۸۰۰، بررسی تحلیلی، نامنظمی پیچشی، چرخش کف، ضریب نامنظمی

۱. مقدمه

مواردی که حداکثر تغییر مکان نسبی در یک انتهای ساختمان در هر طبقه، با احتساب پیچش تصادفی و با منظور کردن $A_j=1.0$ بیشتر از ۲۰ درصد متوسط تغییر مکان نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد، در این موارد نامنظمی پیچشی «زیاد» و در مواردی که این اختلاف بیشتر از ۴۰ درصد باشد، نامنظمی پیچشی «شدید» توصیف می‌شود. نامنظمی‌های پیچشی تنها در مواردی که دیافراگم‌های کف‌ها صلب و یا نیمه‌صلب هستند، کاربرد پیدا می‌کنند.



شکل ۱- نامنظمی پیچشی

پس می‌توان رابطه‌های بحث نامنظمی پیچشی را به صورت رابطه (۱) در زیر نوشت

$$\begin{aligned} \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} &\leq 1.2 \quad \text{سازه نامنظم پیچشی نیست} \\ 1.2 < \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} &\leq 1.4 \quad \text{رابطه (۱) سازه نامنظم پیچشی زیاد است} \\ \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} &> 1.4 \quad \text{سازه نامنظم پیچشی شدید است} \end{aligned}$$

Δ_{max} ، Δ_{avg} : حداکثر تغییر مکان طبقه z و میانگین تغییر مکان دو انتهای ساختمان در طبقه z که با فرض $A_j=1.0$ محاسبه شده‌اند. برون مرکزی اتفاقی در تراز هر طبقه e_{aj} ، به منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مؤلفه پیچشی زلزله از سوی دیگر، در نظر گرفته می‌شود. این برون مرکزی باید در هر دو جهت حداقل برابر با ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه، در امتداد عمود بر نیروی جانبی اختیار شود، در مواردی که ساختمان مشمول نامنظمی پیچشی می‌شود، برون مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگ‌نمایی A_j در رابطه زیر، ضرب شود.

$$\text{رابطه (۲)} \quad 1 \leq A_j \leq 3 \quad A_j = \left(\frac{\Delta_{max}}{1.2 \Delta_{avg}} \right)^2$$

در بررسی زیر، ضریب نامنظمی پیچشی (Ratio Torsional) به عنوان پارامتر اصلی در نظر گرفته شده است.

۳- ساختارهای (سازه‌های) نمونه

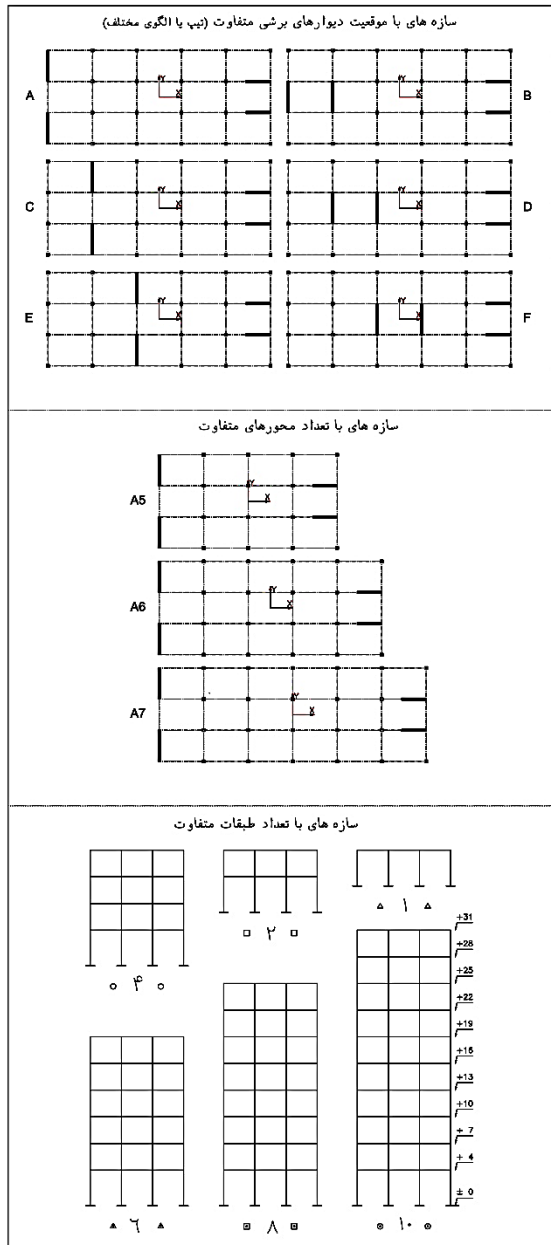
مطابق شکل (۲) شش گروه سازه نمونه (A, B, C, D, E و F) با توجه به موقعیت دیوارهای برشی که برای انجام مطالعه پارامتری انتخاب شده‌اند، همگی از مدول‌های $5/0 \times 3/50$ مترمربع تشکیل شده‌اند که در ساختار نمونه A، دیوارهای برشی در جهت Y بر روی لبه سمت چپ پلان هستند. پلان‌های شماتیک ساختارهای نمونه نوع A با ۵، ۶ و ۷ محور در جهت Y به منظور تحلیل نامنظمی پیچشی تشکیل شده‌اند و پلان‌های نمونه‌های A, B, C, D, E و F با همان تعداد محور

با توجه به نامنظمی پیچشی، بسیاری از آیین‌نامه‌ها دارای اصول مشابهی بر اساس استانداردهای شناخته شده [۱] (IBC06 (2006)، [۲] (UBC97 (1997) و [۳] (ASCE7-10 (2010) هستند. تعداد زیادی از مطالعات به بحث و تفسیر مفاد UBC97، IBC06 و دیگر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای اختصاص یافته‌اند. اوزمن و همکاران (۲۰۱۲)، نامنظمی پیچشی در ساختمان‌های بلندمرتبه را بررسی کردند [۴]، اوزمن (۲۰۰۲) در مطالعاتی به بررسی جنبه‌های مختلف نامنظمی پیچشی از جمله نامتقارنی هندسی پرداخته است [۵]، اوژندکسی (Ozhendekci) و پولات (۲۰۰۸) نامنظمی پیچشی در ساختمان، مقایسه و بحث درباره آیین‌نامه‌ها را بررسی کردند [۶].

نامنظمی پیچشی که در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای به رسمیت شناخته شده است، به عواملی از جمله پلان هندسی، ابعاد و موقعیت عناصر ساختاری سازه‌ای و تعداد طبقات بستگی دارد. هدف از این مطالعه در درجه اول، تعیین شرایط برای نامنظمی پیچشی (زیاد و شدید) و سپس بحث در مورد اعتبار مفاد آیین‌نامه‌هاست. به منظور دستیابی به این هدف، تحقیقات پارامتری برای شش گروه از سازه‌های معمولی با در نظر گرفتن موقعیت‌های مختلف دیواربرشی، طبقه و تعداد محور انجام می‌شود. تعداد محورها در سازه‌های معمولی بین ۴، ۵، ۶ و ۷ متغیر است؛ در حالی که تعداد طبقات ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ انتخاب شده‌اند. همه سازه‌ها در پلان محور X متقارن انتخاب شده‌اند. از این رو، رفتار سازه‌ها تنها برای بارگذاری جانبی در جهت Y بررسی خواهد شد.

۲- نامنظمی پیچشی در آیین‌نامه‌ها

تحقیقات در زمینه زلزله نشان می‌دهد که سازه‌های نامنظم نسبت به سازه‌های منظم، آسیب بیشتری می‌بینند. نامنظمی پیچشی سازه‌ها یکی از مهم‌ترین عواملی است که باعث آسیب شدید (حتی فروپاشی) سازه می‌شود. نامنظمی پیچشی که در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای به رسمیت شناخته شده است، به عواملی از جمله پلان هندسی، ابعاد و موقعیت عناصر سازه‌ای و تعداد طبقات بستگی دارد. در ویرایش‌های قبلی آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، بحثی از نامنظمی پیچشی نشده بود، اما در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران، این بحث آمده است [۷]. در این مطالعه با توجه به اهمیت بحث نامنظمی پیچشی، به بررسی ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در درست لحاظ کردن اثر نامنظمی پیچشی در تعیین رفتار واقعی سازه‌ها با استفاده از روش تحلیلی (استفاده از نرم افزار ETABS 2015) و روش مقایسه‌ای با سایر آیین‌نامه‌ها خواهیم پرداخت. در گروه‌بندی ساختمان‌ها به لحاظ خصوصیات کالبدی شامل: شکل هندسی، توزیع جرم و توزیع سختی در پلان، یکی از نامنظمی‌ها در پلان، نامنظمی پیچشی است. نامنظمی پیچشی مطابق شکل ۱ به این صورت که در



شکل ۲- شکل های شماتیک ساختارهای نمونه با تفاوت در:

موقعیت دیوارهای برشی، تعداد محورها و تعداد طبقات

مطابق جدول (۱) تعداد نمونه های ۵ محوره ۲۴، تعداد نمونه های ۶ محوره ۳۶، تعداد نمونه های ۷ محوره ۳۶ که بررسی های کلی در ۹۶ نمونه انجام شده است، صنعتی بیژن واحمدی جمال (۲۰۱۷)، مطابق کار انجامی در بررسی تحلیلی و آیین نامه ای نامنظمی های پیچشی در سازه های کوتاه تا بلند مرتبه [۸]. درنامگذاری سازه ها، موقعیت دیوارهای برشی با حروف (A, B, C, D, E و F) معلوم و تعداد محورها، ۵، ۶ یا ۷ محور و تعداد طبقات، ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ متغیر است مثلاً B 6، 8، موقعیت دیوارهای برشی (B) عدد وسط، تعداد محور (۶ محوری) و عدد مانده راست، نمایانگر تعداد طبقات (۸ طبقه) است.

نیز مشابه این نمونه هستند و در سازه های الگو، تعداد طبقات ۶ نوع، یعنی طبقات ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ متغیر است. ضخامت همه دیوارهای برشی ۲۵ سانتی متر و سطح مقطع تیرها ۵۰ × ۲۵ سانتیمتر مربع است. ابعاد ستون ها بین ۳۰ × ۳۰ سانتیمتر مربع و ۴۵ × ۷۰ سانتیمتر مربع متغیر است. ارتفاع طبقات برای تمام ساختارهای نمونه در اولین طبقه ۴/۰۰ متر و در طبقات بالا ۳/۰۰ متر است. تحقیقات پارامتری این تحقیق از اندازه نیروهای لرزه ای مؤثر بر سازه مستقل است. باین حال، هدف ما به دست آوردن نتایج واقع بینانه است و پارامترهای لرزه ای در آنالیز به شرح زیر است:

R_u (مقادیر ضریب رفتار ساختمان) برابر ۶ منظور شده است، چون گروه بندی ساختمان ها برحسب سیستم سازه ای، در هر دو جهت X و Y سیستم دوگانه یا ترکیبی (قاب خمشی بتن آرمه متوسط + دیوار برشی بتن آرمه با شکل پذیری متوسط) در نظر گرفته شده اند.

A (نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب نقل) برابر ۰/۳۵ است، چون محل ساخت پروژه، شهر تبریز آذربایجان شرقی، با خط نسبی زلزله بسیار زیاد است.

I (ضریب اهمیت ساختمان) برابر ۱ است، چون کاربری ساختمان های مسکونی گروه ۳، ساختمان های «با اهمیت متوسط» است.

نوع خاک مطابق استاندارد ۲۸۰۰، از تیپ ۳ در نظر گرفته شده است. درکار انجامی روش تحلیل طیفی به کار برده شده، سازه به حالت دینامیکی تحلیل می شود و پیشش تصادفی در نظر گرفته شده است. فرض بر این است که مراکز ثقل طبقات در مراکز هندسی پلان قرار دارند. تمام ساختارهای نمونه در محور X متقارن هستند و بررسی ها تنها برای بارهای جهت Y انجام شده اند. در تجزیه و تحلیل بار جانبی، خروج از مرکز تصادفی نامطلوب ۵٪ در نظر گرفته شده است.

F و برابر ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ است. بنابراین، تعداد ساختارهای نهایی بررسی شده برای این گروه ۳۶ عدد است.

۴-۴ - الگوی ۱۰ طبقه سازه A در سازه‌های دارای شش

محور

بارهای جانبی، حداکثر تغییر مکان نسبی، متوسط تغییر مکان نسبی و ضریب نامنظمی پیچشی الگوی A در جدول (۳) نشان داده شده است. در اینجا نیز حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی در طبقه اول رخ می‌دهد.

جدول ۳- بارهای جانبی، حداکثر تغییر مکان نسبی، متوسط تغییر مکان

نسبی و ضریب نامنظمی پیچشی A ۶ ۱۰

ضریب نامنظمی پیچشی	متوسط تغییر مکان نسبی	حداکثر تغییر مکان نسبی	بار جانبی (قن)	شماره طبقات
1.321	0.005136	0.006783	87.4528	10
1.391	0.006954	0.009673	157.3878	9
1.411	0.00752	0.010611	210.7376	8
1.447	0.008468	0.012256	255.1772	7
1.461	0.008677	0.012673	293.1541	6
1.492	0.009105	0.013587	326.3696	5
1.509	0.008694	0.013116	356.7956	4
1.548	0.008489	0.013142	384.4295	3
1.584	0.007344	0.011636	406.4376	2
1.658	0.003835	0.006359	419.8264	1
1.658			حداکثر A610	

۴-۵ - سازه‌های دارای هفت محور

تحلیل لرزه‌ای سازه‌های دارای هفت محور انجام و حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی مشخص شد. تعداد طبقات الگوهای A، B، C، D، E و F برابر ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ است. بنابراین، تعداد ساختارهای نهایی بررسی شده برای این گروه ۳۶ عدد است.

۴-۶ - الگوی ۱۰ طبقه سازه A در سازه‌های دارای هفت

محور

بارهای جانبی، حداکثر تغییر مکان نسبی، متوسط تغییر مکان نسبی و ضریب نامنظمی پیچشی الگوی A در جدول (۴) نشان داده شده است. در اینجا نیز حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی در طبقه اول رخ می‌دهد.

جدول ۴- بارهای جانبی، حداکثر تغییر مکان نسبی، متوسط تغییر مکان

نسبی و ضریب نامنظمی پیچشی A ۷ ۱۰

ضریب نامنظمی پیچشی	متوسط تغییر مکان نسبی	حداکثر تغییر مکان نسبی	بار جانبی (قن)	شماره طبقات
1.339	0.005362	0.007181	102.7049	10
1.407	0.00729	0.010256	185.7484	9
1.427	0.007694	0.010979	249.0846	8
1.451	0.008704	0.012634	301.8169	7
1.46	0.008907	0.013	346.3311	6
1.477	0.009408	0.013898	385.5871	5
1.49	0.008928	0.013304	421.776	4
1.534	0.008655	0.013275	454.5124	3
1.575	0.007421	0.011692	480.421	2
1.642	0.00438	0.007192	496.1467	1
1.642			حداکثر A710	

جدول ۱- تعداد ساختارهای (سازه‌های) نمونه

تعداد کل نمونه	تعداد طبقات	تیب نمونه های شامل شده	تعداد محورها
24	1, 2, 4, 6, 8, 10	A, B, C, D	5
36	1, 2, 4, 6, 8, 10	A, B, C, D, E, F	6
36	1, 2, 4, 6, 8, 10	A, B, C, D, E, F	7

۴- بررسی ضریب نامنظمی پیچشی

در این بخش، گروه‌های سازه‌ها با ۵، ۶ و ۷ محور در نظر می‌شود، حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی هر گروه، تعیین و درباره نتایج بحث خواهد شد. ابتدا، تحلیل‌های یک گروه با تعداد محور مشخص برای سازه‌های ۱۰ طبقه نوع A انجام و سپس نتایج تمام ساختارها در آن گروه در جداول ارائه می‌شود. درباره تغییرات حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی و نتایج، پس از بررسی همه ساختارها بحث خواهد شد. اعداد پرنرنگ در هر سطر از جداول، حداکثر مقدار را نشان می‌دهد. تفسیر نتایج در یک بخش جداگانه ارائه می‌گردد.

۴-۱ - سازه‌های دارای پنج محور

در این بخش، آنالیز لرزه‌ای گروه سازه‌های با پنج محور انجام می‌شود. از آنجاکه الگوهای E و F نتایج نامطلوب از نامنظمی پیچشی به دست نمی‌دهند، این بررسی شامل تجزیه و تحلیل لرزه‌ای برای این الگوها نیست. تعداد طبقات الگوهای A، B، C، D از ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ متغیر است؛ بنابراین، تعداد ساختارهای نهایی سازه‌های پنج محوره بررسی شده در این گروه ۲۴ عدد است.

۴-۲ - الگوی ۱۰ طبقه سازه A در سازه‌های دارای پنج

محور

بارهای جانبی، حداکثر تغییر مکان نسبی، متوسط تغییر مکان نسبی و ضریب نامنظمی پیچشی الگوی A در جدول (۲) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی در طبقه اول رخ می‌دهد.

جدول ۲- بارهای جانبی، حداکثر تغییر مکان نسبی، متوسط تغییر مکان

نسبی و ضریب نامنظمی پیچشی A ۵ ۱۰

ضریب نامنظمی پیچشی	متوسط تغییر مکان نسبی	حداکثر تغییر مکان نسبی	بار جانبی (قن)	شماره طبقات
1.286	0.004838	0.006221	72.102	10
1.371	0.006446	0.008838	129.0425	9
1.412	0.007087	0.010006	172.3685	8
1.451	0.008005	0.011616	208.5815	7
1.466	0.008255	0.0121	239.9692	6
1.494	0.008715	0.013019	267.0645	5
1.512	0.008413	0.01272	291.6299	4
1.544	0.008297	0.012813	314.1382	3
1.577	0.006429	0.01014	332.3323	2
1.678	0.003765	0.006318	343.5061	1
1.678			حداکثر A510	

۴-۳ - سازه‌های دارای شش محور

تحلیل لرزه‌ای سازه‌های دارای شش محور انجام و حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی مشخص شد. تعداد طبقات الگوهای A، B، C، D، E

تعداد طبقات	ضریب نامنظمی پیچشی تیپ های سازه های ۷ محوره					
	A	B	C	D	E	F
1	1.971	1.858	1.944	1.803	1.883	1.641
2	1.945	1.843	1.897	1.755	1.810	1.554
4	1.877	1.798	1.804	1.720	1.681	1.466
6	1.786	1.739	1.692	1.641	1.567	1.385
8	1.694	1.677	1.620	1.603	1.515	1.384
10	1.642	1.634	1.587	1.560	1.469	1.374

۴-۷ - همه سازه های دارای پنج محور

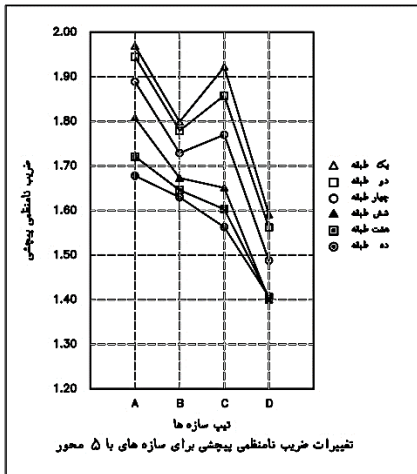
تجزیه و تحلیل مشابه بند ۲.۴ برای الگوهای B، C و D نیز انجام شده است، حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی برای همه الگوها با پنج محور در جدول (۵) و به صورت گرافیکی در شکل (۳) نشان داده شده است. حداکثر مقدار هر ردیف پرنگ شده اند که این ضریب برای الگوی A در همه طبقات، حداکثر است.

۴-۸ - همه سازه های دارای شش محور

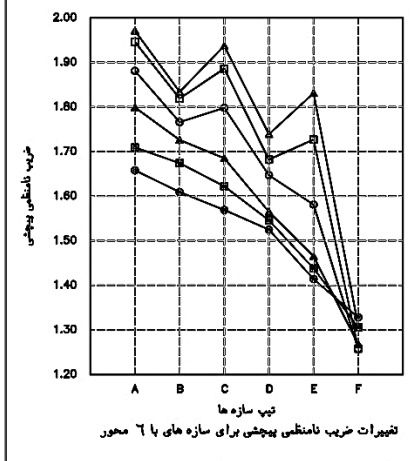
حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی برای همه الگوها با شش محور در جدول (۵) و به صورت گرافیکی در شکل (۳) نشان داده شده است. حداکثر مقدار هر ردیف پرنگ شده اند که مشاهده می شود این ضریب برای الگوی A در همه طبقات، حداکثر است.

۴-۹ - همه سازه های دارای هفت محور

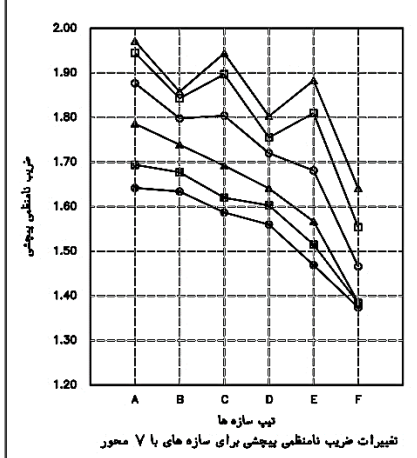
حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی برای همه الگوها با هفت محور در جدول (۵) و به صورت گرافیکی در شکل (۳) نشان داده شده است. حداکثر مقدار هر ردیف پرنگ شده اند که مشاهده می شود این ضریب برای الگوی A در همه طبقات، حداکثر است.



تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی برای سازه های با ۵ محور



تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی برای سازه های با ۶ محور



تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی برای سازه های با ۷ محور

جدول ۵- حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی تیپ های سازه های ۵، ۶ و ۷ محوره

تعداد طبقات	ضریب نامنظمی پیچشی تیپ های سازه های ۵ محوره			
	A	B	C	D
1	1.969	1.799	1.922	1.591
2	1.945	1.779	1.858	1.562
4	1.889	1.729	1.770	1.488
6	1.808	1.673	1.651	1.4006
8	1.721	1.646	1.603	1.406
10	1.678	1.630	1.563	1.407

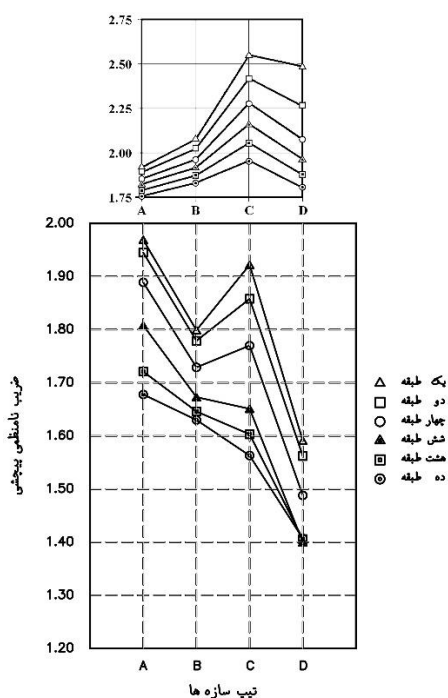
تعداد طبقات	ضریب نامنظمی پیچشی تیپ های سازه های ۶ محوره					
	A	B	C	D	E	F
1	1.970	1.834	1.937	1.739	1.831	1.309
2	1.946	1.819	1.886	1.682	1.727	1.258
4	1.884	1.766	1.798	1.647	1.581	1.257
6	1.799	1.726	1.685	1.565	1.465	1.268
8	1.709	1.674	1.622	1.546	1.438	1.306
10	1.658	1.609	1.569	1.525	1.414	1.328

شکل ۳- تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی برای سازه های با ۵، ۶ و ۷ محور

۲- حداکثر نامنظمی برای تمام تعداد طبقات زمانی رخ می‌دهد که دیوار برشی نامتقارن تا حد امکان نزدیک به مراکز جرم (در ۵ محوره تیپ C و در ۶ و ۷ محوره تیپ E) قرار گیرد.

۳- موقعیت دیوار برای حداکثر مقدار ضریب نامنظمی پیچشی کاملاً غیر منتظره است.

برای مقایسه نتایج بدست آمده در تحقیق مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (ویرایش چهارم) با نتایج بدست آمده در تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲)، برای سازه‌های با محور در شکل (۴) و برای سازه‌های با محور در شکل (۵) و برای سازه‌های با محور در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۴- مقایسه تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی حداکثر برای سازه‌های با ۵ محور مطابق تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲) (شکل بالایی) با نتایج آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (شکل پایینی)

۴- ۱۰- برآورد (ارزیابی) ضریب نامنظمی پیچشی و مقایسه نتایج بدست آمده در تحقیق مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (ویرایش چهارم) با نتایج بدست آمده در تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲)، نامنظمی پیچشی در ساختمان‌های بلندمرتبه [4]

در بخش‌های قبل نتایج بدست آمده در تحقیق مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (ویرایش چهارم)، تجزیه و تحلیل لرزه‌ای ۹۶ سازه با تعداد محور، تعداد طبقات و موقعیت دیوار برشی متفاوت انجام شد. حداکثر ضریب نامنظمی در جدول (۵) و حداکثر ضریب نامنظمی به صورت گرافیکی در شکل (۳) نشان داده شده است که:

- طبق تعریف نامنظمی پیچشی ۸۷ مورد از ۹۶ سازه بررسی شده (۹۰/۶۳٪) در معرض نامنظمی پیچشی شدید، همچنین ۹ مورد از ۹۶ سازه بررسی شده (۹/۳۷٪) در معرض نامنظمی پیچشی زیاد قرار دارند (به صورت کم‌رنگ‌تر در جدول (۵) معلوم‌اند) و هیچ کدام از سازه‌ها از نظر پیچشی منظم نیستند.

- حداکثر نامنظمی برای تمام الگوها دارای نامنظمی پیچشی شدید در نمونه‌های یک طبقه رخ می‌دهد.

- حداکثر نامنظمی برای تمام الگوها زمانی رخ می‌دهد که دیوار برشی نامتقارن تا حد امکان دورتر از مرکز جرم (تیپ A) قرار گیرد.

موقعیت دیوار برای مقدار حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی در تیپ A، سازه‌های با دیوار نزدیک به لبه‌های کف، حاصل شده است. همچنین در تحقیقات مشاهده شده بود که زاویه چرخش کف تا حدودی برای سازه‌های با دیوار نزدیک به لبه‌های کف و همچنین سازه‌های با تعداد طبقات بالاتر، بیشتر است. اعتقاد بر این است که زاویه چرخش کف رفتار پیچشی سازه‌ها را به طور واقع‌گرایانه‌تری منعکس می‌کند. بنابراین، چرخش کف ساختمان باید در جزئیات بررسی شود. در ادامه، زاویه چرخش کف بررسی خواهد شد و با ضرایب نامنظمی پیچشی مقایسه می‌گردد.

نتایج بدست آمده در تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲)، بصورت زیر می‌باشد:

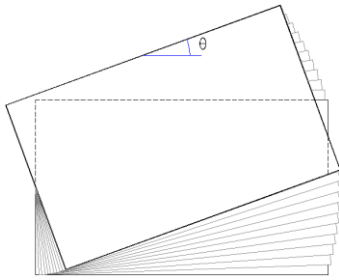
- ۴۰ مورد از ۹۶ سازه مورد بررسی (۴۲٪) در معرض نامنظمی پیچشی شدید قرار دارند.

- در تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی حداکثر:

۱- حداکثر نامنظمی برای تمام الگوها در نمونه‌های یک طبقه رخ می‌دهد

۵- بررسی چرخش (دوران) کف

در آنالیز لرزه‌ای ارائه شده در بخش قبل، طبقات به عنوان دیافراگم صلب در صفحه خود عمل می‌کنند و سازه تحت جابه‌جایی در شکل (۷) به صورت شماتیک نشان داده شده است. همان‌طور که می‌توان در شکل مشاهده کرد، تمام طبقات تحت چرخش و جابه‌جایی در دو جهت قرار می‌گیرند. در ادامه، گروه سازه‌های با ۵۶ و ۷ محور در نظر گرفته شده و این چرخش بررسی خواهد شد.

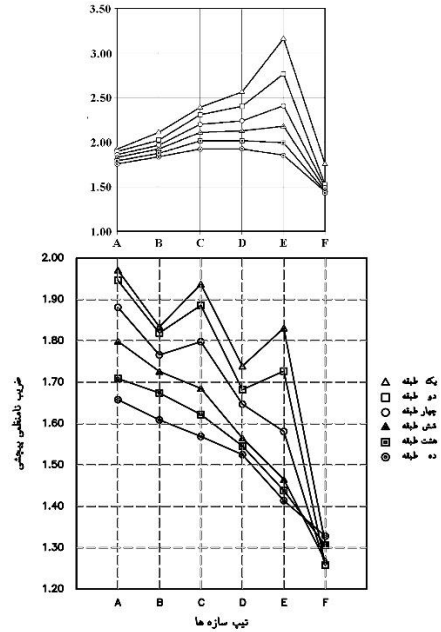


شکل ۷- دیاگرام شماتیک جابه‌جایی

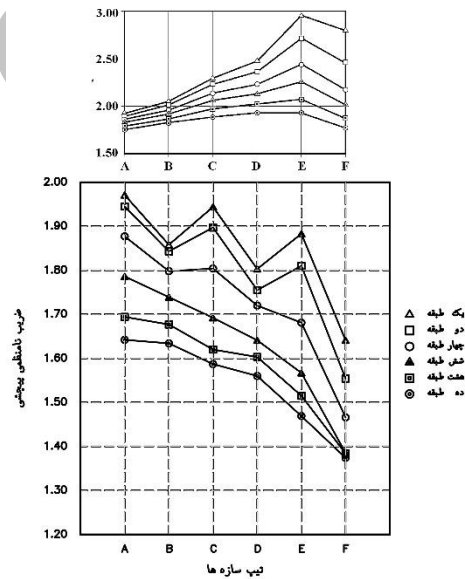
۵-۱- چرخش (دوران) کف سازه‌های دارای

پنج، شش و هفت محور الگوی ۱۰ طبقه سازه A

برای تحلیل لرزه‌ای انجام شده بر روی سازه‌ها، نمونه‌ای از سازه‌های با پنج، شش و هفت محور، ضرایب نامنظمی پیچشی (RT) و چرخش کف یا R_z یا θ (Rotation Z) برحسب رادین در الگوی سازه A در جدول (۶) نشان داده شده است. در ادامه، زیاد شدن جابه‌جایی طبقه نیز به صورت شماتیک در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که با بررسی جدول (۶) و شکل (۸) مشاهده می‌شود، زاویه چرخش کف به سمت بالا افزایش می‌یابد، درحالی‌که ضرایب نامنظمی پیچشی کم می‌شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که ضرایب نامنظمی پیچشی (RT)، انجام رفتار پیچشی را به دقت نشان نمی‌دهد.

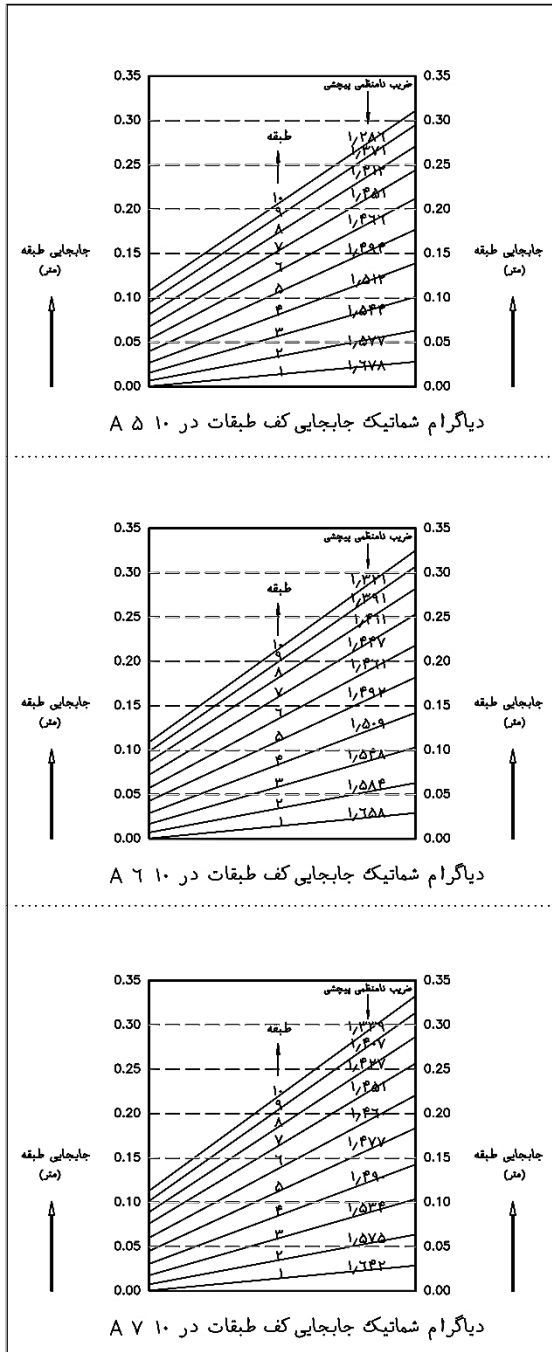


شکل ۵- مقایسه تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی حداکثر برای سازه‌های با ۶ محور مطابق تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲) (شکل بالایی) با نتایج آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (شکل پایینی)



شکل ۶- مقایسه تغییرات ضریب نامنظمی پیچشی حداکثر برای سازه‌های با ۷ محور مطابق تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲) (شکل بالایی) با نتایج آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (شکل پایینی)

جدول ۶- جابجایی‌های کف و ضرایب نامنظمی پیچشی و چرخش‌های کف در A510، A610 و A710



شکل ۸- دیگرام شماتیک جابجایی کف طبقات در A710 و A610، A510

۲-۵- چرخش (دوران) کف سازه‌ها برای همه الگوهای

سازه‌های با پنج، شش و هفت محور

حداکثر زاویه چرخش برای همه الگوهای سازه‌های با پنج، شش و هفت محور در جدول (۷) و به صورت گرافیکی در شکل (۹) نشان داده شده است.

حداکثر مقدار هر ردیف پررنگ شده‌اند که مشاهده می‌شود این ضریب برای الگوی C یا A در همه طبقات، حداکثر است.

شماره طبقات	حداقل جابجایی	حداکثر جابجایی	ضریب نامنظمی پیچشی	چرخش $\times 1000$
10	0.107706	0.311013	1.286	17.999
9	0.094792	0.294741	1.371	16.875
8	0.08123	0.2714	1.412	15.418
7	0.067312	0.244172	1.451	13.753
6	0.053305	0.211672	1.466	11.834
5	0.039598	0.176908	1.494	9.804
4	0.026766	0.138744	1.512	7.622
3	0.01546	0.100972	1.544	5.480
2	0.006552	0.062667	1.577	3.358
1	0.000366	0.02841	1.678	1.498
A510	0.107706	0.311013	1.678	17.999

شماره طبقات	حداقل جابجایی	حداکثر جابجایی	ضریب نامنظمی پیچشی	چرخش $\times 1000$
10	0.108884	0.325058	1.321	15.508
9	0.098405	0.307248	1.391	14.477
8	0.08695	0.281613	1.411	13.155
7	0.072126	0.252627	1.447	11.686
6	0.057172	0.21823	1.461	10.008
5	0.042516	0.181754	1.492	8.250
4	0.02878	0.141889	1.509	6.376
3	0.016654	0.102932	1.548	4.559
2	0.007079	0.0633644	1.584	2.777
1	0.000398	0.028763	1.658	1.231
A610	0.108884	0.325058	1.658	15.508

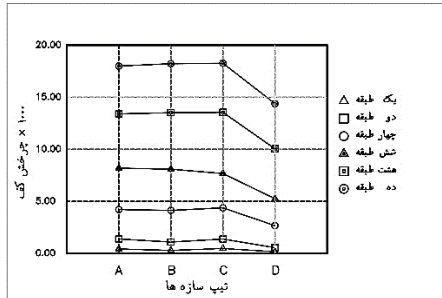
شماره طبقات	حداقل جابجایی	حداکثر جابجایی	ضریب نامنظمی پیچشی	چرخش $\times 1000$
10	0.11286	0.333041	1.339	13.540
9	0.101507	0.31415	1.407	12.601
8	0.089306	0.286908	1.427	11.405
7	0.076117	0.256835	1.451	10.101
6	0.060397	0.221298	1.460	8.623
5	0.044965	0.183832	1.477	7.083
4	0.030486	0.143027	1.49	5.451
3	0.017675	0.103503	1.534	3.882
2	0.007538	0.063816	1.575	2.353
1	0.000428	0.028769	1.642	1.038
A710	0.11286	0.333041	1.642	13.540

جدول ۷- حداکثر زاویه چرخش برای سازه‌های دارای ۵، ۶ و ۷ محور

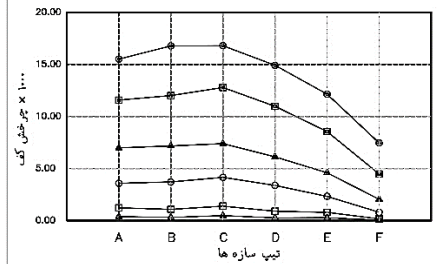
تعداد طبقات	حداکثر دوران کف تیپ های سازه های ۵ محوره			
	A	B	C	D
10	17.999	18.224	18.267	14.387
8	13.402	13.521	13.551	10.051
6	8.190	8.097	7.676	5.256
4	4.214	4.135	4.381	2.668
2	1.391	1.091	1.381	0.558
1	0.427	0.289	0.475	0.161

تعداد طبقات	حداکثر دوران کف تیپ های سازه ۶ محوره					
	A	B	C	D	E	F
10	15.508	16.781	16.801	14.920	12.148	7.458
8	11.579	12.008	12.787	10.982	8.555	4.478
6	6.983	7.176	7.391	6.128	4.595	2.045
4	3.585	3.712	4.160	3.383	2.328	0.805
2	1.228	1.081	1.392	0.907	0.792	0.171
1	0.387	0.312	0.476	0.270	0.283	0.043

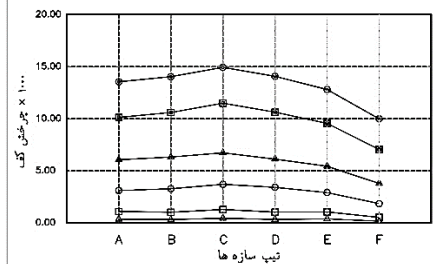
تعداد طبقات	حداکثر دوران کف تیپ های سازه ۷ محوره					
	A	B	C	D	E	F
10	13.540	14.037	14.929	14.070	12.803	9.984
8	10.128	10.592	11.487	10.627	9.548	7.040
6	6.060	6.316	6.723	6.119	5.435	3.781
4	3.097	3.273	3.698	3.405	2.901	1.847
2	1.088	1.016	1.279	1.032	1.049	0.523
1	0.349	0.312	0.437	0.322	0.371	0.161



تغییرات چرخش کف برای سازه های دارای ۵ محور



تغییرات چرخش کف برای سازه های دارای ۶ محور



تغییرات چرخش کف برای سازه های دارای ۷ محور

شکل ۹- تغییرات چرخش کف برای سازه‌های دارای ۵، ۶ و ۷ محور

۵-۳- برآورد (ارزیابی) چرخش (دوران) کف

حداکثر چرخش کف حاصل از تجزیه و تحلیل لرزه‌ای ۹۶ سازه با تعداد محور، تعداد طبقات و موقعیت دیوار برشی متفاوت در جدول (۷) ارائه شده است و حداکثر چرخش کف به صورت گرافیکی در شکل (۹) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که:

الف) حداکثر چرخش کف برای تمام الگوها در سازه‌های ۱۰ طبقه رخ می‌دهد که در تمام نمونه‌ها حداکثر چرخش کف در طبقه آخر (بالاترین) رخ می‌دهد.

ب) حداکثر چرخش کف برای سازه‌های با ۵ محور با تعداد طبقات ۲ و ۶ طبقه در تیپ A و با تعداد طبقات ۱، ۴، ۸ و ۱۰ طبقه در تیپ C حاصل شده است. حداکثر ضریب چرخش کف برای سازه‌های با ۶ و ۷ محوره در تیپ C (موقعیت دیوارهای برشی در سازه) به دست آمده است.

۶- نتیجه گیری

- در این مطالعه، یک بررسی پارامتری در شش الگو از سازه‌های نمونه با در نظر گرفتن موقعیت‌های متفاوت دیوارهای برشی، تعداد طبقات و تعداد محورها انجام شد. یافته‌ها به صورت نتایج زیر خلاصه می‌گردد:
- برای سازه‌های با نامنظمی پیچشی شدید، با کاهش تعداد طبقات، ضرایب نامنظمی پیچشی افزایش می‌یابد.
- حداکثر نامنظمی برای تمام الگوهای دارای نامنظمی پیچشی شدید در سازه‌های یک طبقه‌ای رخ می‌دهد که فاصله مرکز جرم و سختی، حداکثر است.
- در تمام نمونه‌ها حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی در طبقه اول رخ می‌دهد، اما کمترین ضریب نامنظمی پیچشی همیشه در بالاترین طبقه نیست.
- ضرایب نامنظمی پیچشی زمانی که موقعیت دیوار برشی در دورترین فاصله از مراکز جرم قرار دارد، به حداکثر می‌رسند.
- مطابق نتایج تحقیقات اوزمن و همکاران (۲۰۱۲) [4] ضرایب نامنظمی پیچشی زمانی که دیوار برشی تا حد امکان در نزدیکی مراکز جرم (بدون انطباق) قرار گیرد، به حداکثر می‌رسند.
- چرخش کف با افزایش تعداد طبقات متناسب است؛ یعنی حداکثر چرخش کف برای سازه با بیشترین تعداد طبقه رخ داده و در بالاترین طبقه، حداکثر است.
- حداکثر چرخش کف برای تمام الگوهای این تحقیق در سازه‌های ۱۰ طبقه رخ می‌دهد که در تمام نمونه‌ها، حداکثر و حداقل مقدار به ترتیب در طبقه آخر و طبقه اول است.
- چرخش کف، برای سازه‌هایی که در آن موقعیت دیوارها از موقعیت مراکز جرم دور است، بیشتر می‌شود.
- مشاهده شد که نتایج به دست آمده برای ضریب نامنظمی پیچشی و چرخش طبقه کاملاً برعکس هستند.
- چرخش کف را که نماینده رفتار پیچشی واقعی سازه است، می‌توان علاوه بر ضریب نامنظمی، معیاری جدید در نظر گرفت.
- رابطه‌ای بین ضریب نامنظمی پیچشی و دوران کف پیشنهاد شده است.

پراکندگی چرخش کف با توجه به ضرایب نامنظمی پیچشی در شکل (۱۰) نشان داده شده است. به وضوح دیده می‌شود که چرخش کف به عنوان شاخص واقعی رفتار پیچشی با ضرایب نامنظمی پیچشی سازگار نیست. در واقع، می‌توان گفت این مقادیر با معکوس یکدیگر متناسب هستند؛ بنابراین

- ضرایب نامنظمی پیچشی که در مقررات تعریف شده است، ویژگی‌های پیچشی واقعی سازه‌ها را نشان نمی‌دهد و اعتقاد بر این است که زاویه چرخش کف، رفتار پیچشی سازه‌ها را به طور واقع‌گرایانه‌تری منعکس می‌کند و باید تعاریف آیین‌نامه‌ها از ضرایب نامنظمی پیچشی اصلاح شود.

۵- ۴- تعریف پیشنهادی نامنظمی پیچشی

چون رفتار پیچشی سازه با توجه به زاویه چرخش کف‌های صلب به واقعیت نزدیک‌تر است، تعریف جدیدی برای ضریب نامنظمی پیچشی پیشنهاد می‌شود:

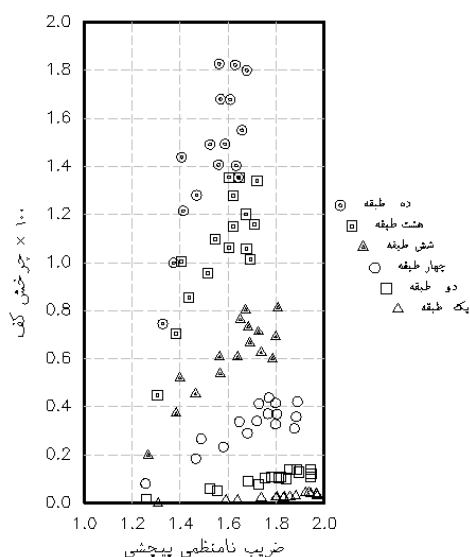
رابطه (۳)

= حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی هر طبقه

$$| \text{حداکثر زاویه چرخش کف آن طبقه} | \times K$$

که در آن زاویه چرخش طبقه برحسب رادیان است. با توجه به سازه‌های بررسی شده در این مطالعه مطابق جدول ۱. برای ۹۶ نمونه که در کل ۴۹۶ طبقه در رابطه خطی (حداکثر ضریب نامنظمی پیچشی هر طبقه با حداکثر زاویه چرخش کف آن طبقه) با عرض از مبدا صفر، مقدار اولیه ۱۵۷ برای ضریب K توصیه می‌شود.

این پیشنهاد موقتی است، اصلاح تعریف ضریب نامنظمی پیچشی به نظر ضروری است اما باید تحقیقات جامع بیشتر در این زمینه انجام شود.



شکل ۱۰ - پراکندگی چرخش کف با توجه به ضرایب نامنظمی پیچشی

۷- منابع و مراجع

1. International Building Code (2006) IBC06, international code council (ICC), USA.
2. UBC97, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, Vol.2, Structural Engineering Design Provisions, USA, (1997)
3. American Society of Civil Engineers (2010) ASCE 7-10, minimum design loads for buildings and other structures, p 658.
4. Ozmen G, Girgin K, Durgun Y (2012) Torsional irregularity in multistory structures.
5. Ozmen G, Structural Aspects of Torsional Irregularity, Fifth International Congress on advances in Civil Engineering, Istanbul, 2002.
6. Ozhendekci N, Polat Z, Torsional irregularity of buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Oct. 12-17, Beijing, China, (2008).

۷. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم).

۸. صنعتی بیژن و احمدی جمال، بررسی تحلیلی و آیین نامه ای نامنظمی های پیچشی در سازه های کوتاه تا بلند مرتبه، دهمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران- ایران ۳۰ و ۳۱ فروردین ماه ۱۳۹۶.

Archive of SID

Analytical and Code-based Assessment of Torsional Irregularity in Low to Medium Rise Buildings

Bijan Sanaati

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Bookan Branch, Bookan, Iran

Jamal Ahmadi

M.Sc., Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran

Abstract:

Recent earthquakes have shown that torsional irregularity of buildings is a factor caused collapse of buildings. In previous edition of standard 2800, Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings, there was no discussion on torsional irregularity. In the fourth edition, the regulations about this type of irregularity are also included. The aim of this study is to validate the regulations using analytical results and comparison of results with those regulations of other seismic codes. Parameters studied are location of shear walls in the plan, number of stories and number of axes. To study torsional irregularity in the Y plane, shear walls are considered symmetrical and asymmetrical about X and Y axis. Analyzing 96 analytical models, specified that maximum value for torsional irregularity coefficient increases by reducing the number of stories of the building. The upper stories have less torsional irregularity coefficient than the lower stories. The results of rotation angle of floor contrasts to that of torsional irregularity coefficient. A direct relationship proposed to relate the torsional irregularity coefficient and rotation angle of floor.

Keywords: 2800 standard code, torsional irregularity coefficient, floor rotation angle