



شاهین شمس‌نژادبابکی  
کارشناس ارشد عمران

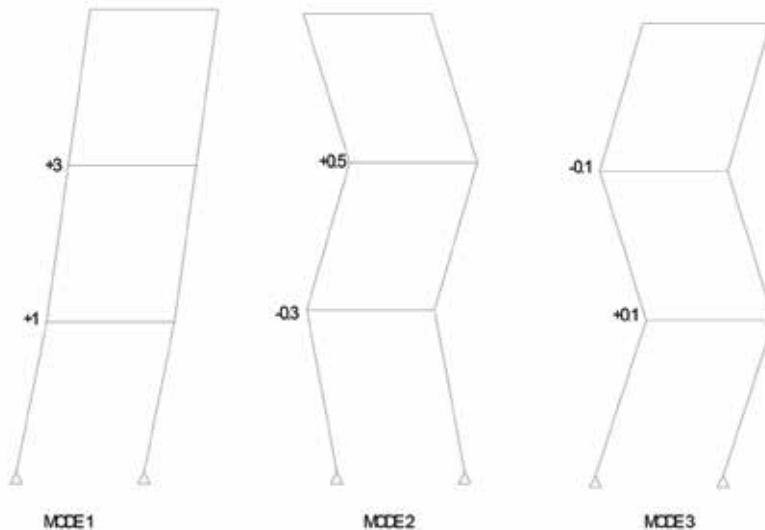
## بررسی و کنترل تغییر مکان نسبی و نامنظمی پیش‌سازه‌ها تحت اثر تحلیل طیفی



### مقدمه

محاسبه و کنترل تغییر مکان نسبی یک سازه تحت اثر زلزله یکی از بخش‌های طراحی آیین‌نامه‌های مختلف است. از آنجایی که در تحلیل دینامیکی طیفی این مسأله توسط نرم‌افزارهای تجاری موجود در بازار با درصدی اختلاف پیاده‌سازی می‌شود؛ بنابراین در این مقاله سعی شده است ابتدا اصول و مبانی این موضوع توضیح داده شود و در نهایت با ارائه راه‌کاری کنترل دقیق آن نیز انجام گیرد. برای کنترل تغییر مکان نسبی سازه تحت اثر تحلیل طیفی با توجه به مبانی نظری این نوع تحلیل، دریافت سازه، بایستی در هر مود به صورت جداگانه محاسبه و سپس با یکی از روش‌های آماری مقدار ماکزیمم آن برآورد شود. براساس ضوابط آیین‌نامه‌ها، مقدار تغییر مکان نسبی مرکز جرم طبقه است که بایستی در محدوده‌ی مجاز قرار گیرد. در برنامه‌ی Etabs مقادیر تغییر مکان نسبی مرکز جرم ارائه نمی‌شود و برای به دست آوردن مقدار صحیح تغییر مکان نسبی استفاده از تغییر مکان (displacement) دو نقطه‌ی مورد نظر با روش‌های آماری و سپس اقدام به محاسبه‌ی این متغیر از نظر تئوری با خواسته‌ی آیین‌نامه مغایرت دارد. برای حل این مشکل دو راه حل ارائه می‌شود. در روش اول که ساده‌تر است؛ ولی دارای تقریب بیش‌تری است، می‌توان نقطه‌ای در حوالی مرکز جرم انتخاب کرد و از مقادیر دریافت نقطه‌ای برنامه‌ی (joint drift) تحت تحلیل طیفی استفاده کرد. در روش دوم بایستی از مقادیر عددی نتایج تحلیل استفاده کرد که در ادامه برای درک بهتر این موضوع مثال عددی زیر ارائه می‌شود.

در این مثال قابی از یک ساختمان سه طبقه در نظر گرفته شده است. هدف به دست آوردن تغییر مکان نسبی طبقه دوم است. مقادیر تغییر مکان در سه مود مختلف نشان داده شده است. نقاط A, B دو نقطه در روی قاب مورد نظر هستند که در طبقه‌ی اول نقطه‌ی B و در طبقه‌ی دوم نقطه‌ی A است. در ستون‌های اول تا سوم جدول شماره ۱ تغییر مکان مطلق نقاط، تحت مودهای مختلف ارائه شده است. در ستون‌های چهارم تا ششم تغییر مکان نسبی نقاط است. ستون هفتم و هشتم مقدار تغییر مکان مطلق و نسبی ناشی از ۳ مود مورد نظر بر اساس نتایج تحلیل آماری ارائه شده است. در ستون نهم مقدار تغییر مکان نسبی ناشی از سه مود با استفاده از روش‌های آماری SRSS تقسیم بر ارتفاع نمایش داده شده است. اختلاف ستون نهم با ستون هفتم نشان دهنده‌ی اختلاف استفاده از روش‌های آماری با محاسبات برنامه‌ی Etabs است.



شکل شماره ۱

	DISP.	DISP.	DISP.	DRIFT	DRIFT	DRIFT	SSRS DRIFT	SSRS DISP.	DRFIT SSRS	اختلاف %
	MODE1	MODE2	MODE3	MODE1	MODE2	MODE3				
POINT A	3	0.5	-0.1	0.006667	0.002667	0.000667	0.0072111	3.0430248	0.0066474	7.817335
POINT B	1	-0.3	0.1					1.0488088		

جدول شماره ۱

روش گام به گام نرم‌افزاری محاسبه‌ی تغییر مکان نسبی توسط برنامه‌ی ETABS-16.2.1 برای به دست آوردن مقادیر تغییر مکان مرکز جرم در برنامه‌ی ETABS مراحل زیر بایستی انجام شود.  
۱- ابتدا مقادیر مطلق هر مود محاسبه شده در برنامه را باید برداشت کرد؛

با توجه به نتایج بالا، دیده می‌شود هر اندازه مقادیر مشارکت مودهای دوم و سوم و ... بیشتر شود، این اختلاف بیش‌تر قابل مشاهده است. در منابع مختلف نیز استفاده از این روش محاسبه‌ی تغییر مکان توصیه شده است که برای نمونه در کتاب راهنمای آیین‌نامه‌ی 16-ASCE07 [1] استفاده از ترکیب آماری مقادیر دریافت توصیه شده است.

1. Obtain the scaling for each mode as the response-spectrum modal amplitude through Display > Show Tables > Analysis > Results > Modal Results > Response Spectrum Modal Information:

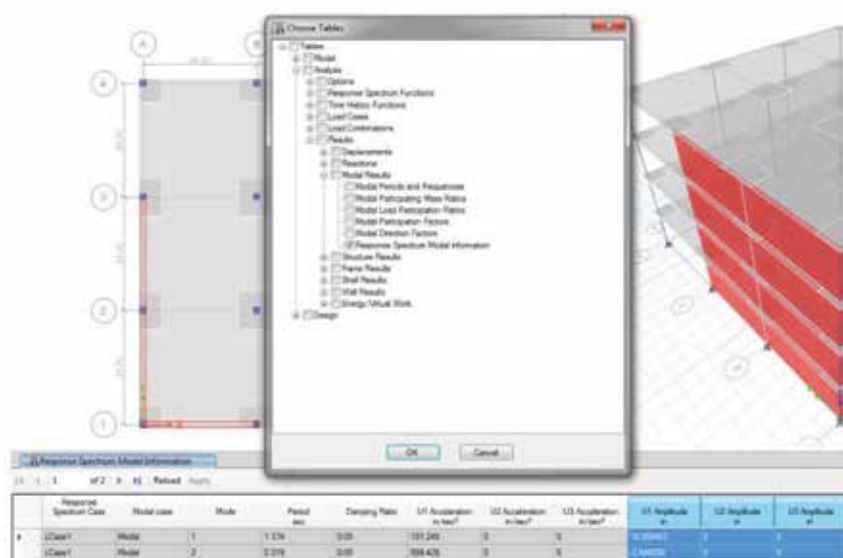


Figure 1 - Table: Response Spectrum Modal Information

2. Select Define > Load Combinations > Add New Combo. Select Modal in drop down list under Load Name and enter Mode number and Scale factor for the specific mode from Response Spectrum Modal information Table as given in item 1. Add each mode in a separate load combination, as shown in Figure 2:

شکل شماره ۲



۲- برای هر مود یک ترکیب بارگذاری با مقدار مطلق گام اول  
تعریف شد:

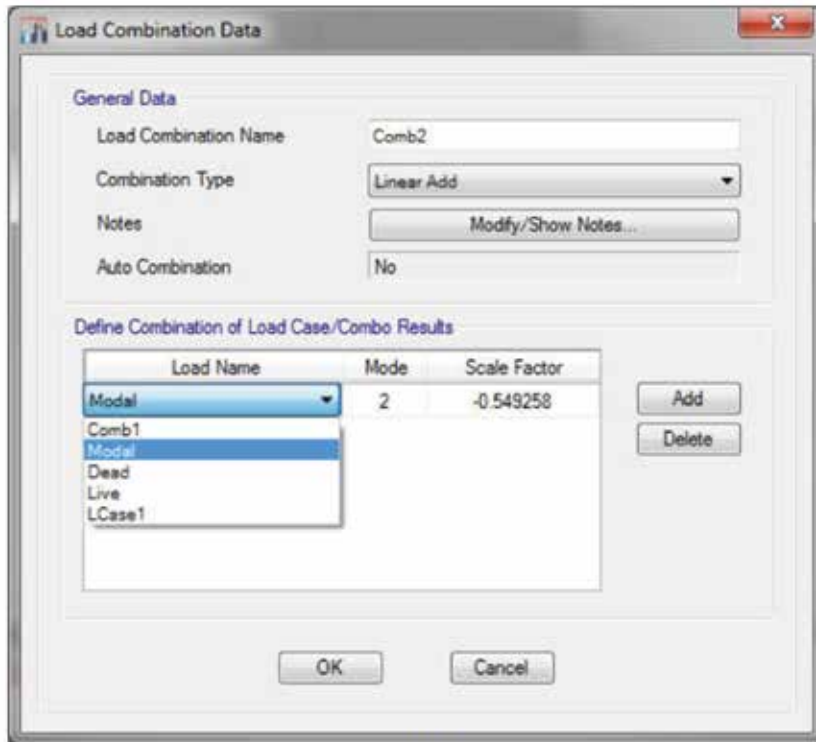


Figure 2 - Load combination data

3. Obtain joint displacements for each mode per item 2 by selecting Display > Show Tables > Tables > Analysis > Results > Displacements > Joint Displacements.

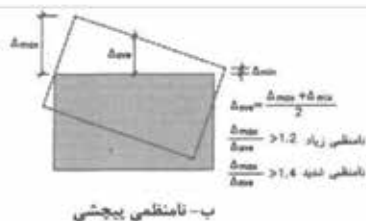
شکل شماری ۳

در بعضی آیین‌نامه‌ها برای کنترل‌هایی مانند تغییر مکان نسبی یا کنترل نامنظمی پیچشی با استفاده از تحلیل طیفی، به دلیل نوع رفتار آماری این تحلیل با نتایج، استفاده از تحلیل استاتیکی را مناسب و کافی می‌داند و به مهندسان این اطمینان داده می‌شود که استفاده از تحلیل استاتیکی برای کنترل این ضوابط از دقت کافی

۳- دریفت برای هر مود تحت اثر بارهای ساخته شده در مرحله ۲ محاسبه شود؛  
۴- ماکزیمم دریفت مودهای مختلف با یکی از روش‌های آماری محاسبه شود.

Table 12.3-1 Horizontal Structural Irregularities

Type	Description	Reference Section	Seismic Design Category Application
1a.	<b>Torsional Irregularity:</b> Torsional irregularity is defined to exist where the maximum story drift, computed including accidental torsion with $A_2 = 1.0$ , at one end of the structure transverse to an axis is more than 1.2 times the average of the story drifts at the two ends of the structure. Torsional irregularity requirements in the reference sections apply only to structures in which the diaphragms are rigid or semirigid.	12.3.3.4 12.7.3 12.8.4.3 12.12.1 Table 12.6-1 16.3.4	D, E, and F B, C, D, E, and F C, D, E, and F C, D, E, and F D, E, and F B, C, D, E, and F
1b.	<b>Extreme Torsional Irregularity:</b> Extreme torsional irregularity is defined to exist where the maximum story drift, computed including accidental torsion with $A_2 = 1.0$ , at one end of the structure transverse to an axis is more than 1.4 times the average of the story drifts at the two ends of the structure. Extreme torsional irregularity requirements in the reference sections apply only to structures in which the diaphragms are rigid or semirigid.	12.3.3.1 12.3.3.4 12.3.4.2 12.7.3 12.8.4.3 12.12.1 Table 12.6-1 16.3.4	E and F D D B, C, and D C and D C and D D B, C, and D



ب- نامنظمی پیچشی: در مواردی که حداکثر تغییر مکان نسبی در یک انتهای ساختمان در هر طبقه، با احتساب پیچش تصادفی و با منظور کردن  $A_2 = 1/0$  بیشتر از ۲۰ درصد متوسط تغییر مکان نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد. در این موارد نامنظمی "زیاد" و در مواردی که این اختلاف بیشتر از ۴۰ درصد باشد، نامنظمی "شدید" پیچشی توصیف می‌شود.

شکل شماری ۴



آنالیزهای دینامیکی و ترکیب آماری مودها استفاده از آنالیز استاتیکی را با توجه به دقت آن توصیه کرده است.

### روش پیشنهادی شرکت CSI

در این روش پس از محاسبه‌ی دریفت‌ها مانند مراحل گفته شده در قسمت محاسبه‌ی تغییر مکان نسبی، برای ترکیب آثار مدهای مختلف از روش **SRSS** استفاده می‌شود و در نهایت بر جذر تعداد مدها تقسیم می‌شود.

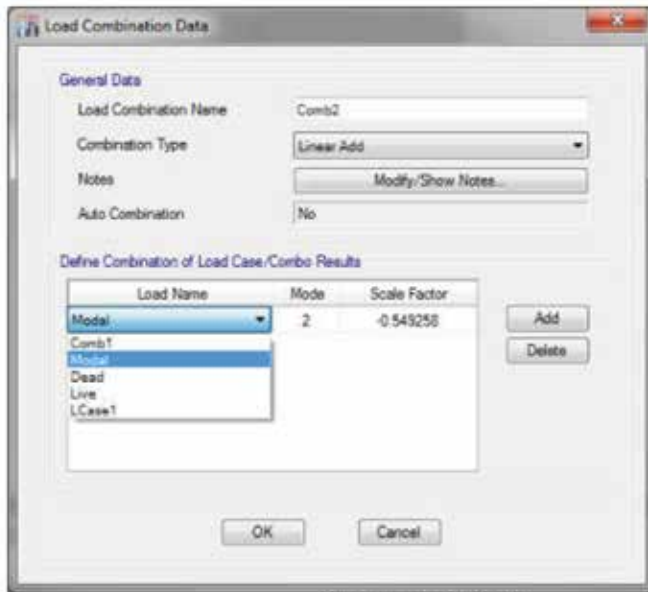


Figure 2 • Load combination data

3. Obtain joint displacements for each mode per item 2 by selecting Display > Show Tables > Analysis > Results > Displacements > Joint Displacements.
4. Compute the average story drift at two ends of the building, then compare with the maximum story drift for that specific mode i.e.  $D_{max}/D_{av} < 1.2$  or  $1.4$  for each mode.
5. Combine all modes using the SRSS or ABS method to determine whether Torsional Irregularity or Extreme Torsional Irregularity is applicable to the model. For example:  $\sqrt{(\sum D_{max}/D_{av})^2} < (1.2 \text{ or } 1.4) \times \sqrt{\text{number of modes}}$ .

شکل شماره ۴

### نتیجه گیری

برای دستیابی به مقادیر صحیح نتایج تحلیل سازه در روش‌های آنالیز دینامیکی، به دلیل استفاده از نتایج آماری، روش‌های مختلفی با دقت‌های متفاوت و راه‌های متنوعی وجود دارد که یک طراح بر اساس نیاز طراحی خود از این نتایج مختلف استفاده می‌کند. همچنین، با بررسی آیین‌نامه‌ها و نشریات مختلف می‌توان به کفایت دقت استفاده از نتایج تحلیل استاتیکی در این موارد پی برد.

### مراجع

- [1]: *Seismic Loads: Guide to the Seismic Load Provisions of ASCE 7-10*
- [2]: *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-1050-1) 2015 Edition*
- [3]: *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures .ASCE07-16*
- [4]: *2012 IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual, Vol. 1*

برخوردار است؛ به طوری که در نشریه‌ی **FEMA1051** [۲] برای کنترل نامنظمی پیچشی استفاده از روش تحلیل استاتیکی توصیه کرده است.

توضیحات آیین‌نامه‌ی **ASCE07-16** [۳]، به اهمیت و دقت آنالیز استاتیکی می‌پردازد؛ به طوری که در قسمت هم ارز کردن مقادیر تحلیل استاتیکی و طیفی، عمل کرد سازه‌هایی که با نتایج تحلیل استاتیکی طراحی شده‌اند را مناسب اعلام می‌کند و کاهش ۱۵ درصدی مقادیر برش پایه در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و ویرایش‌های قبلی خود را مجاز نمی‌داند. البته گفتنی است منابع دیگری مانند نشریه‌ی **IBC2012** [۴] استفاده از نتایج آنالیز طیفی را توصیه می‌کند.

### بررسی و کنترل نامنظمی پیچشی در پلان تحت اثر تحلیل طیفی

در ابتدا به تعاریف این نوع نامنظمی در آیین‌نامه‌ی **ASCE07** و استاندارد ۲۸۰۰ ایران در شکل شماره ۴ اشاره می‌شود.

کنترل این نامنظمی نیز به همان روش که در محاسبه‌ی تغییر مکان نسبی توضیح داده شده بایستی انجام شود. با این تفاوت که در مرحله‌ی شماره ۴ به دلیل وجود نسبت تغییر مکان ماکزیمم به میانگین استفاده از

روش‌های آماری دچار اشکال می‌شود و منابع مختلف روش‌های گوناگونی ارائه داده‌اند. بنابراین، با توجه به دقت آنالیز استاتیکی و توصیه‌ی بعضی از منابع، استفاده از روش استاتیکی توصیه می‌شود. آیین‌نامه و نشریات گوناگون، روش‌های مختلفی برای کنترل این بند از آیین‌نامه ارائه داده‌اند که در ادامه به چندین مورد این روش‌ها اشاره خواهد شد.

طبق نشریه‌ی **IBC2012**، برای کنترل این نامنظمی ابتدا باید تغییر مکان ماکزیمم و میانگین برای هر مود به دست آورده شود و سپس با استفاده از یکی از روش‌های آماری **SRSS** یا **CQC** نتایج ترکیب شوند و در انتها با برش پایه کد زلزله‌ی مورد نظر، مقیاس شود.

در نشریه‌ی **FEMA 1050** توصیه شده است با آن که آیین‌نامه‌های زلزله، استفاده از روش تحلیل استاتیکی برای کنترل بعضی نامنظمی‌ها در ساختمان‌هایی که بایستی از روش‌های تحلیل دینامیکی استفاده شود را مجاز نمی‌داند؛ ولی برای کنترل نامنظمی پیچشی با توجه به دقت آنالیز استاتیکی استفاده از این روش پذیرفتنی است.

نشریه‌ی راهنمای **ASCE07-10** نیز با توجه به مشکلات عددی

