دوره تخصصی طراحی سازه

احسان شادمند

کارشناس ارشد سازه

www.shadmand.org

ehsan_shadmand@yahoo.com

1

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

2

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

ما در مقابل کسانی که جان خود را به دانش فنی ما سپرده اند مسئولیم.....

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

3

مقدمه

- از جمله توانایی های مورد انتظار از یک مهندس عمران به خصوص افرادی که در زمینه ساختمان فعالیت دارند توانایی طراحی سازه است. امروزه با گسترش کاربرد رایانه به منظور سرعت بخشیدن در انجام محاسبات تسلط به نرم افزار های طراحی اهمیت ویژه ای پیدا کرده است. ولی نکته بسیار مهمی که در این مقوله می بایستی مورد توجه قرار گیرد استفاده اصولی و منطبق با آیین نامه های طراحی است.
- در این جزوه که به منظور ارائه در کلاس دوره جامع محاسبات سازه تدوین گردیده است. سعی شده تا بند های مهم آیین نامه و نحوه رعایت آنها در نرم افزار Etabs مورد توجه و تاکید قرار گیرد و سعی می گردد این جزوه به همراه سایر جزوات به مرور زمان بروزرسانی و در اختیار مهندسین عزیز قرار گیرد. بی شک این نوشتار خالی از نقص نمی باشد بدین منظور از شما مهندسین عزیز تقاضا می گردد انتقادات و پیشنهادات خود را به نشانی رایانامه ehsan_shadmand@yahoo.com ارسال نمایید.

احسان شادمند
۱۴ اسفند ۱۳۹۴

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

4

نیروی برش پایه

$V_u = CW$ (۱-۳)

در این رابطه:

V_u: نیروی برشی درحد مقاومت. حد مقاومت و حد تنش مجاز در "تعاریف" آیین‌نامه توضیح داده شده‌اند. برای تعیین این نیرو در حد تنش مجاز مقدار آن باید بر ضریب ۱/۴ تقسیم شود.

W: وزن مؤثر لرزه‌ای، شامل مجموع بارهای مرده و وزن تأسیسات ثابت و وزن دیوارهای تقسیم‌کننده به اضافهٔ درصدی از بار زنده و بار برف، مطابق جدول (۳-۱). بار زنده باید به صورت تخفیف‌نیافته، مطابق ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شود.

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

5

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

ضریب زلزله

$C = \frac{ABI}{R_u}$ (۲-۳)

در این رابطه:

A: نسبت شتاب مبنای طرح مطابق بند (۲-۲)

B: ضریب بازتاب ساختمان مطابق بند (۲-۳)

I: ضریب اهمیت ساختمان مطابق بند (۳-۳-۴)

R_u: ضریب رفتار ساختمان مطابق بند (۳-۳-۵)

$V_{u\,min} = 0.12AIW \Rightarrow C_{min} = 0.12AI \Rightarrow \frac{B}{R_u} \geq 0.12$

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

6

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

ضریب اهمیت

۳-۳-۴ ضریب اهمیت ساختمان، I

ضریب اهمیت ساختمان با توجه به گروه طبقه‌بندی آنها، در بند (۱-۶)، مطابق جدول (۳-۳) تعیین می‌گردد:

جدول ۳-۳ ضریب اهمیت ساختمان

طبقه‌بندی ساختمان	ضریب اهمیت
گروه۱	۱/۴
گروه۲	۱/۲
گروه۳	۱/۰
گروه ۴	۰/۸

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

7

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

ضریب رفتار

۳-۳-۵ ضریب رفتار ساختمان، R_u

۳-۳-۵-۱ ضریب رفتار ساختمان در برگیرنده خصوصیاتی مانند شکل‌پذیری، نامعینی و اضافه مقاومت موجود در سازه ساختمان است. این ضریب با توجه به نوع سیستم باربر ساختمان و تمهیداتی که برای شکل‌پذیرکردن آن به‌کاربرده شده است، با رعایت محدودیت‌های بندهای (۳-۳-۵-۲) تا (۳-۳-۵-۷)، از جدول (۳-۴) تعیین می‌گردد.

جدول ۳-۴ مقادیر ضریب رفتار ساختمان، R_u، همراه با حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان H_m

سیستم سازه	سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی	R_u	Ω_0	C_d	H_m (متر)
الف- سیستم دیوارهای باربر	۱- دیوارهای برشی بتن‌آرمه ویژه	۵	۲/۵	۵	۵۰
	۲- دیوارهای برشی بتن‌آرمه متوسط	۴	۲/۵	۴	۵۰
	۳- دیوارهای برشی بتن‌آرمه معمولی [۱]	۳/۵	۲/۵	۳/۵	-
	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	۳	۲/۵	۳	۱۵
	۵- دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سرد نورد و مهارهای تسمه‌ای فولادی	۴	۲	۳/۵	۱۵

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

8

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

نسبت شتاب مبنای طرح A

جدول ۲-۱ نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف

منطقه	توصیف	نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل
۱	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	۰/۳۵
۲	پهنه با خطر نسبی زیاد	۰/۳۰
۳	پهنه با خطر نسبی متوسط	۰/۲۵
۴	پهنه با خطر نسبی کم	۰/۲۰

ردیف	مرکز جمعیتی	استان	خطر نسبی زلزله			
			کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد
۱	آب بر	زنجان				*
۲	آب پخش	بوشهر			*	
۳	آباد	بوشهر			*	
۴	آبادان	خوزستان	*			
۵	آباده	فارس			*	

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

9

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

ضریب بازتاب ساختمان

۲-۳ ضریب بازتاب ساختمان، B

ضریب بازتاب ساختمان بیانگر نحوه پاسخ ساختمان به حرکت زمین با توجه به نوع آن است. این ضریب با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$B=B_1N \qquad (۲-۱)$$

در این رابطه B_1 ضریب شکل طیف و N ضریب اصلاح طیف است.

۲-۳-۱ ضریب شکل طیف، B_1، با درنظرگرفتن بزرگ‌نمایی خاک در پریودهای مختلف و میزان لرزه‌خیزی منطقه مشخص می‌شود. این ضریب با استفاده از روابط زیر و یا از شکل‌های (۲-۱-الف) و (۲-۱-ب) تعیین می‌گردد.

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

10

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

ضریب شکل طیف

$$B_1=S_0+(S-S_0+1)(T/T_0) \qquad 0<T<T_0$$
$$B_1=S+1 \qquad T_0<T<T_s \qquad (۲-۲)$$
$$B_1=(S+1)(T_s/T) \qquad T>T_s$$

در این روابط:

T: زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه است. این زمان طبق بند (۳-۳-۳) تعیین می‌شود.

T_0، T_s، S و S_0: پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند. مقادیر این پارامترها در جدول (۲-۲) و انواع زمین‌ها در بند (۲-۴) مشخص شده‌اند.

11

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

پارامتر های خاک و نوع زمین

جدول ۲-۲ پارامترهای مربوط به روابط (۲-۲)

نوع زمین	T_0	T_s	خطر نسبی کم و متوسط		خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد	
			S	S_0	S	S_0
I	۰/۱	۰/۴	۱/۵	۱	۱/۵	۱
II	۰/۱	۰/۵	۱/۵	۱	۱/۵	۱
III	۰/۱۵	۰/۷	۱/۷۵	۱/۱	۱/۷۵	۱/۱
IV	۰/۱۵	۱/۰	۲/۲۵	۱/۳	۱/۷۵	۱/۱

12

زمان تناوب اصلی ساختمان

۳-۳-۳ زمان تناوب اصلی نوسان، T

۳-۳-۳-۱ ساختمان‌های متعارف

ساختمان‌های متعارف به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که توزیع جرم و سختی در ارتفاع آنها عمدتاً به صورت متناسب تغییر کند. در این ساختمان‌ها زمان تناوب اصلی نوسان را می‌توان از روابط تجربی زیر به‌دست آورد.

الف- برای ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی

۱- در مواردی که جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد ننمایند:

- در قاب‌های فولادی

$$T = 0.08H^{0.75} \quad (۳-۳)$$

- در قاب‌های بتن‌آرمه

$$T = 0.05H^{0.9} \quad (۴-۳)$$

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

13

زمان تناوب اصلی ساختمان

۲- در مواردی که جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد نمایند:
مقدار T باید برابر با ۸۰ درصد مقادیر عنوان شده در بالا در نظر گرفته شود.

ب- برای ساختمان‌های با سیستم مهاربندی واگرا، مشابه قاب‌های فولادی، از رابطه (۳-۳)

پ- برای ساختمان‌های با سایر سیستم‌های مندرج در جدول (۳-۵)، به‌غیر از سیستم کنسولی، با یا بدون وجود جداگرهای میانقابی:

$$T = 0.05H^{0.75} \quad (۵-۳)$$

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

14

ارتفاع ساختمان

درروابط بالا H ارتفاع ساختمان از تراز پایه است و در محاسبه آن ارتفاع خرپشته، در صورتی‌که وزن آن بیشتر از ۲۵درصد وزن بام باشد، باید منظور گردد. در بام‌های شیب‌دار، H متوسط ارتفاع بام از تراز پایه است.

تبصره- در این ساختمان‌ها، در کلیه موارد، می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان را با استفاده از تحلیل دینامیکی تعیین و در محاسبات نیروها منظور نمود، ولی مقدار آن در هر حالت نباید از ۱/۲۵ برابر مقادیر به‌دست آورده شده از روابط تجربی بالا بیشتر در نظر گرفته شود.

زمان تناوب ساختمان های غیر متعارف

۳-۳-۳-۲ ساختمان‌های غیرمتعارف

ساختمان‌های غیرمتعارف به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شوند که مشمول تعریف بند (۳-۳-۳-۱) نمی‌گردند، مانند ساختمان مساجد، آمفی‌تئاترها، سالن‌های ورزشی، گنبدها و... . در این ساختمان‌ها زمان تناوب اصلی نوسان باید با استفاده از تحلیل دینامیکی ساختمان و با منظور داشتن ضوابط زیر تعیین گردد:

الف- در مواردی که جداگرهای میانقابی در مدل تحلیلی منظور شده باشند:

$$T = T_D$$

ب- در مواردی که جداگرهای میانقابی در مدل تحلیلی منظور نشده باشند:

$$T = 0.8T_D$$

در این روابط T_D زمان تناوب اصلی انتقالی در تحلیل دینامیکی است.

تراز پایه

۳-۳-۱-۲ ترازپایه

تراز پایه، بنا به تعریف، به ترازی در ساختمان اطلاق می‌شود کـه در هنگـام زلزلـه از آن تراز به پایین اختلاف حرکتی بین ساختمان و زمین وجود نداشته باشند. تراز پایـه بـرای طراحی ساختمان‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- برای ساختمان‌های بدون زیرزمین یا ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل نباشند، تراز پایه باید در سطح بالای شالوده در نظر گرفته شود.

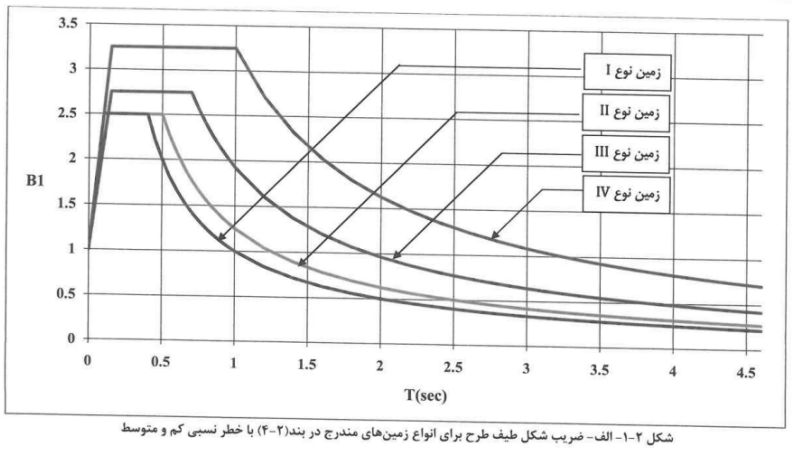
۲- برای ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل باشـند و فضای بین خاکبرداری و دیوار نگهبان زیرزمین با خاک متراکم پر شـده باشـد، تـراز پایه می‌تواند در نزدیک‌ترین سقف زیرزمین به زمین طبیعی اطـراف در نظـر گرفتـه شود، منوط بر آنکه اولاً خاک طبیعی موجود در اطراف ساختمان متراکم باشد و ثانیاً دیوارهای نگهبان زیرزمین بتن‌آرمه بوده و آخرین سقف زیرزمین نیـز دارای صـلبیت کافی باشد. در این راستا می‌توان از صلبیت تیرها و یا مجموعـه تیـر و دال سـقف‌هـا برای افزایش صلبیت سقف استفاده نمود.

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

17

ضریب شکل طیف



شکل ۲-۱- الف- ضریب شکل طیف طرح برای انواع زمین‌های مندرج در بند(۲-۴) با خطر نسبی کم و متوسط

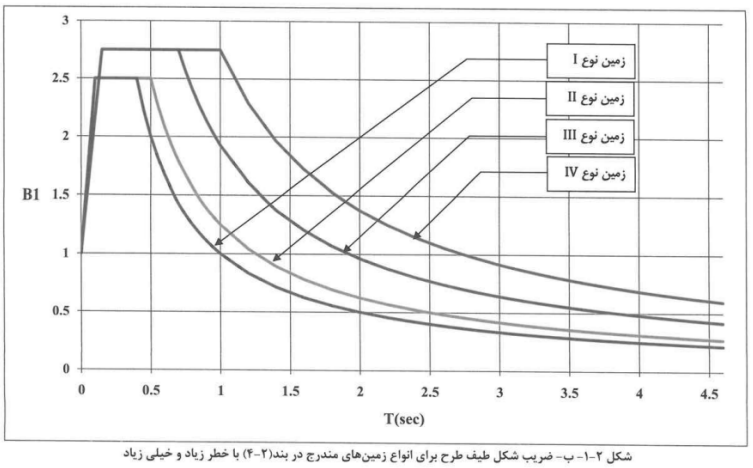
www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

18

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

ضریب شکل طیف



شکل ۲-۱- ب- ضریب شکل طیف طرح برای انواع زمین‌های مندرج در بند(۲-۴) با خطر زیاد و خیلی زیاد

19

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

ضریب اصلاح طیف

۲-۳-۲ ضریب اصلاح طیف، N، به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف- برای پهنه‌های باخطر نسبی خیلی زیاد و زیاد

$$N=1 \quad T<T_s$$

$$N=\frac{0.7}{4-T_s}(T-T_s)+1 \quad T_s<T<4\ \text{sec} \qquad (۲-۳)$$

$$N=1.7 \quad T>4\ \text{sec}$$

ب- برای پهنه‌های باخطر نسبی متوسط وکم

$$N=1 \quad T<T_s$$

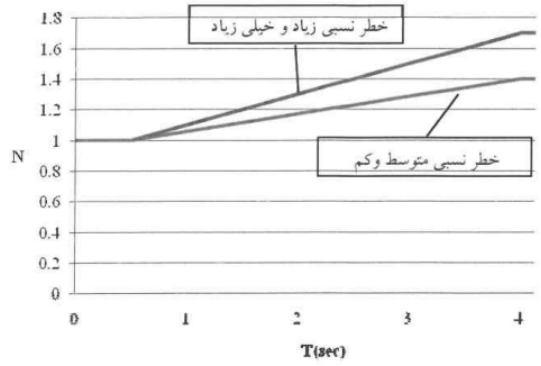
$$N=\frac{0.4}{4-T_s}(T-T_s)+1 \quad T_s<T<4\ \text{sec} \qquad (۲-۴)$$

$$N=1.4 \quad T>4\ \text{sec}$$

روابط فوق برای خاک نوع II در شکل (۲-۲) نشان داده شده‌اند.

20

ضریب اصلاح طیف



شکل ۲-۲ ضریب اصلاح طیف، N ، خاک نوع II

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

21

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

توزیع نیروی زلزله در ارتفاع

۳-۳-۶ توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان

نیروی برشی پایه V_u، که طبق بند (۳-۳-۱-۱) محاسبه شده است، مطابق رابطه زیر در ارتفاع ساختمان توزیع می‌گردد:

$$F_{ui} = \frac{W_i h_i^{\ k}}{\sum_{j=1}^{n} W_j h_j^{\ k}} V_u \qquad (۶-۳)$$

در این رابطه:

F_{ui}: نیروی جانبی در تراز طبقه i

W_i: وزن طبقه i شامل وزن سقف و قسمتی از سربار آن مطابق جدول (۳-۱) و نصف وزن دیوارها و ستون‌هایی که در بالا و پایین سقف قرار گرفته‌اند.

h_i: ارتفاع تراز سقف طبقه i از تراز پایه

n: تعداد طبقات ساختمان از تراز پایه به بالا

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

22

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

توزیع نیروی زلزله در ارتفاع

k: ضریبی است که با توجه به زمان تناوب نوسان اصلی سازه T از رابطه زیر به‌دست آورده می‌شود:

$$K=0.5T+0.75 \qquad 0.5 \le T \le 2.5 \ Sec \qquad (۳-۷)$$

مقدار K برای مقادیر T کوچک‌تر از ۰/۵ ثانیه و بزرگ‌تر از ۲/۵ ثانیه باید به ترتیب برابر با ۱/۰ و ۲/۰ در نظر گرفته شود.

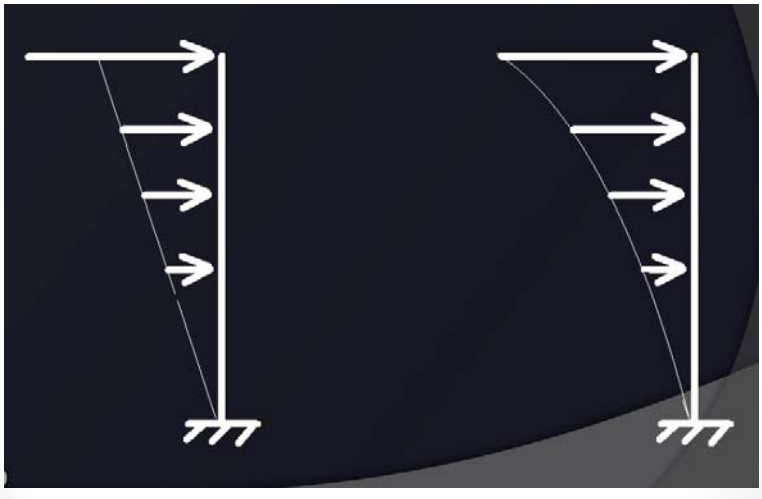
تبصره: در صورتی که وزن خرپشته ساختمان بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، باید به عنوان یک طبقه مستقل محسوب شود. در غیر این صورت خرپشته به عنوان بخشی از بام در نظر گرفته می‌شود.

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

23

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

توزیع نیروی زلزله در ارتفاع



آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

24

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

وزن مؤثر لرزه ای

W: وزن مؤثر لرزه‌ای، شامل مجموع بارهای مرده و وزن تأسیسات ثابت و وزن دیوارهای تقسیم‌کننده به اضافهٔ درصدی از بار زنده و بار برف، مطابق جدول (۳-۱). بار زنده باید به صورت تخفیف‌نیافته، مطابق ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شود.

جدول ۳-۱ درصد میزان مشارکت بار زنده و بار برف در محاسبه نیروی جانبی زلزله

محل بار زنده	درصد میزان بار زنده
بام‌های ساختمان‌ها در مناطق با برف زیاد، سنگین و فوق سنگین	۲۰
بام‌های ساختمان‌ها در سایر مناطق	-
ساختمان‌های مسکونی، اداری، هتل‌ها و پارکینگ‌ها	۲۰
بیمارستان‌ها، مدارس، فروشگاه‌ها، ساختمان‌های محل اجتماع یا ازدحام	۲۰
کتابخانه‌ها و انبارها (با توجه به نوع کاربری)	حداقل ۴۰
مخازن آب و یا سایر مایعات	۱۰۰

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

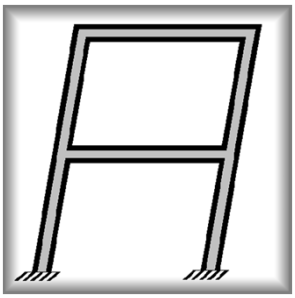
25

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

۳-۵-۱ تغییر مکان جانبی نسبی واقعی هر طبقه، که اختلاف بین تغییر مکان‌های جانبی واقعی مراکز جرم کف‌های بالا و پایین آن طبقه است، نباید از مقدار مشخصی که در این بند تعیین شده، تجاوز نماید. این تغییر مکان تنها با استفاده از تحلیل غیرخطی سازه قابل محاسبه است، ولی می‌توان آن را با تقریب خوبی از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$\Delta_M = c_d . \Delta_{eu} \qquad (۱۱-۳)$$



آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

26

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

$$\Delta_M = c_d . \Delta_{eu} \qquad (۱۱-۳)$$

در این رابطه:

Δ_M = تغییر مکان جانبی نسبی غیرخطی و یا تغییر مکان نسبی واقعی طبقه

C_d = ضریب بزرگنمایی مطابق جدول (۳-۴)

Δ_{eu} = تغییر مکان جانبی نسبی طبقه زیر اثر زلزله طرح، مطابق رابطه (۳-۱)

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

27

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

۳-۵-۲ مقدار Δ_M که با منظور کردن اثر $P-\Delta$ در محاسبه Δ_M به‌دست می‌آید نباید از مقدار مجاز Δ_a زیر تجاوز نماید.

- در ساختمان‌های تا ۵ طبقه $\Delta_a = 0.025h$

- در سایر ساختمان‌ها $\Delta_a = 0.020h$

در این روابط h ارتفاع طبقه است.

$$C_d . \Delta_{eu} = 0.025 \times h$$

- $\frac{\Delta_{eu}}{h} = \frac{0.025}{C_d}$

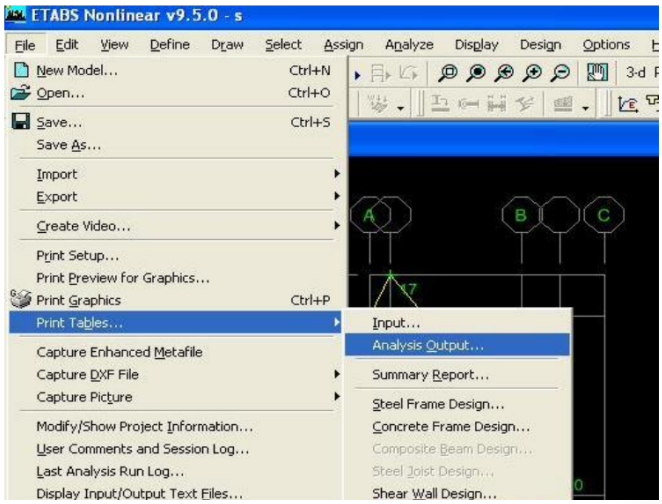
- $\frac{\Delta_{eu}}{h} = \frac{0.025}{4.5} = 0.0056$

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

28

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات



تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

از منوی

File ⟶ Print Tables … ⟶ Analysis Output …

قسمت Displacements و Print to File را فعال گردد. (طبق شکل زیر)
پس از ok کردن یک فایل با پسوند txt و هم نام با فایل ETABS در همان محل ذخیره می شود.
با باز کردن فایل txt در قسمت DISPLACEMENTS AT DIAPHRAGM CENTER OF MASS
(طبق شکل زیر)

BASE	35	EY		0.0000	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000

ETABS v9.5.0 File:S Units:Kgf-m June 3, 2013 11:00 PAGE 2

DISPLACEMENTS AT DIAPHRAGM CENTER OF MASS

STORY	DIAPHRAGM	LOAD	POINT	X	Y	UX	UY	RZ
STORY-KH	D1	EX	818	6.135	7.184	0.0587	-0.0021	-0.00326
STORY-KH	D1	EY	818	6.135	7.184	0.0054	0.0220	-0.00170
STORY5	D1	EX	819	3.156	7.925	0.0567	0.0066	-0.00295
STORY5	D1	EY	819	3.156	7.925	0.0058	0.0257	-0.00164
STORY4	D1	EX	820	3.185	7.786	0.0452	0.0052	-0.00245
STORY4	D1	EY	820	3.185	7.786	0.0044	0.0202	-0.00138
STORY3	D1	EX	821	3.200	7.757	0.0318	0.0037	-0.00180
STORY3	D1	EY	821	3.200	7.757	0.0031	0.0141	-0.00103
STORY2	D1	EX	822	3.222	7.711	0.0180	0.0020	-0.00106
STORY2	D1	EY	822	3.222	7.711	0.0017	0.0079	-0.00061
STORY1	D1	EX	823	3.224	7.654	0.0062	0.0007	-0.00038
STORY1	D1	EY	823	3.224	7.654	0.0005	0.0026	-0.00021

ETABS v9.5.0 File:S Units:Kgf-m June 3, 2013 11:00 PAGE 3

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

مقادیر UX و UY را برای هر دو طبقه متوالی استخراج کرده و مقدار تغییر مکان جانبی نسبی را محاسبه کرد:

story1 ➔ $Drift_x = \frac{|0.018 - 0.0062|}{3.20} = 0.0037$ $Drift_y = \frac{|0.0079 - 0.0026|}{3.20} = 0.0016$

(مقدار 3.20 ارتفاع طبقه 1 می باشد)

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

31

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

32

www.shadmand.org مدرس: احسان شادمند