

ترکیبات بارگذاری؛ فلسفه و آموزش ساخت

فلسفه ساخت ترکیبات بارگذاری آن است که احتمال وقوع بارهای مختلف مثل بار مرده، بار زنده، بار زلزله و ... در کنار هم دیده شود. در این مقاله قصد داریم ترکیب بارهای طراحی سازه های فولادی و بتنی را ارائه داده و با فلسفه ترکیب بارها آشنا شویم

به طور کلی برای طراحی اعضای یک سازه، لازم است نیروها و لنگرهای ناشی از بارهای مختلف با یکدیگر با ضرایب مناسبی ترکیب شوند. به این کار ساخت ترکیبات بارگذاری میگویند. ضرایب مورد استفاده در ترکیبات بارگذاری، بر اساس آیین نامه های مرتبط با طراحی سازه به دست می آیند

در ترکیبات بارگذاری، باید برای بارهایی که احتمال خطا در تخمین آن بیشتر است، از ضرایب بزرگتری استفاده کرد. به طور مثال عدم قطعیت در رابطه با بار زنده بیش تر از بار مرده است لذا در ترکیب بارهایی که بار مرده و زنده با هم حضور دارند، بار زنده ضریب بزرگتری دارد

ترکیبات بارگذاری سازه های فولادی

در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در بند (۶-۲-۳-۳) ترکیب بارهای طراحی سازه های فولادی هیچ تفاوتی ندارد. همچنین طبق ([ASCE](#)) موجود است که با ترکیب بارهای آیین نامه بارگذاری آمریکا دستورالعمل سازمان نظام مهندسی استان تهران ترکیب بارهای سازه های فولادی دقیقا مشابه ترکیب می باشد ASCE بارهای مبحث ششم و

ترکیب بارهای طراحی سازه های فولادی طبق دستورالعمل سازمان نظام مهندسی تهران، مبحث ششم مقررات ملی و آیین نامه بارگذاری آمریکا مطابق زیر است

دستورالعمل نظام مهندسی

1.4D
1.2D+1.6L
1.2D+L+E
0.9D+E
1.2D+1.6L+1.6Soil
0.9D+1.2L+1.6Soil
1.2D+0.5L+1.2T
1.2D+1.6L+T
1.2D+1.2T

مبحث ششم

- ۱) $\frac{1}{4}D$
- ۲) $\frac{1}{2}D + \frac{1}{6}L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۳) $\frac{1}{2}D + \frac{1}{6}(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.5(1/4W)]$
- ۴) $\frac{1}{2}D + \frac{1}{10}(1/4W) + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۵) $\frac{1}{2}D + \frac{1}{10}E + L + 0.2S$
- ۶) $0.9D + \frac{1}{10}(1/4W)$
- ۷) $0.9D + \frac{1}{10}E$
- ۸) $\frac{1}{2}D + 0.5L + 0.5(L_r \text{ یا } S) + \frac{1}{2}T$
- ۹) $\frac{1}{2}D + \frac{1}{6}L + \frac{1}{6}(L_r \text{ یا } S) + \frac{1}{10}T$

ASCE

1. $1.4(D + F)$
2. $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.8W)$
4. $1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5. $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6. $0.9D + 1.6W + 1.6H$
7. $0.9D + 1.0E + 1.6H$

در این ترکیبات بارگذاری منظور از D بار مرده، L بار زنده طبقات به جز بام، L_r بار زنده طبقه بام، S بار برف، R بار باران، W بار باد، E بار زلزله و T بار اثرات خودکرنشی یا همان تغییر درجه حرارت محیط است.

ترکیبات بارگذاری سازه های بتنی

برای طراحی سازه های بتنی، آیین نامه بتن آمریکا (ACI) از همان ترکیب بارهای معرفی شده در آیین نامه ASCE ، که در قسمت ترکیبات بارگذاری سازه های فولادی مطرح شد استفاده می شود. همان طور که ذکر شد این ترکیب بارها مشابه ترکیب بارهای معرفی شده در بند (۶-۲-۳-۳) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می باشد. علت این تشابه این است که روش طراحی در آیین نامه های بتن و فولاد آمریکا روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) است .

شاید این سوال برای شما مطرح شده باشد که چرا در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ضرایب بارهای موجود در ترکیبات بارگذاری کاملاً متفاوت است و در این جا هیچ اشاره ای به آن نشده است؟

پاسخ سوال این است که ترکیبات بارگذاری موجود در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان برای طراحی سازه های بتنی مطابق آیین نامه بتن کانادا (CSA-۹۴) است.

ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۹۲ برای طراحی و اجرای سازه های بتنی در برخی موارد منطبق بر آیین نامه بتن آمریکا و در برخی دیگر، به ضوابط آیین نامه بتن کانادا (CSA-۹۴) شبیه است. در آیین نامه بتن آمریکا طراحی سازه ها بر اساس روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) مشابه با آیین نامه فولاد آمریکا و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان است، صورت می گیرد. اما آیین نامه بتن کانادا (CSA-۹۴) از روش طراحی حالت حدی نهایی برای طراحی سازه های بتنی استفاده می کند

در روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) برای در نظر گرفتن ضرایب اطمینان طراحی، پس از محاسبه مقاومت اسمی، با اعمال یک ضریب مقاومت را کاهش می دهیم. دقت شود در این روش برای هر نوع از نیرو مقدار ضریب کاهش مقاومت متفاوت است. به عنوان مثال مقدار ضریب کاهش مقاومت برای نیروی برشی و لنگر خمشی با هم متفاوت است.

در روش حالت حدی نهایی ضرایب کاهش مقاومت بر خلاف روش ضرایب بار و مقاومت به خصوصیات مصالح ارتباط پیدا می کند. در این روش مقاومت بتن با ضریب ۰,۶۵ و مقاومت بتن با ضریب ۰,۸۵ کاهش داده می شود.

مطابق بند (۹-۱-۳) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان مبنای طراحی در این آیین نامه بر اساس حالت های حدی است که مشابه روش آیین نامه کانادا است. اما این آیین نامه در برخی موارد کنترلی و یا طرح لرزه ای از ضوابط آیین نامه بتن آمریکا استفاده می کند. به عبارت دیگر مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ترکیبی از دو آیین نامه بتن آمریکا و کانادا است.

ترکیبات بارگذاری آیین نامه بتن کانادا (CSA-۹۴) تنها در طراحی ستون ها که تحت نیروی محوری و لنگر خمشی همزمان هستند، مجاز بوده و برای طراحی سایر المان ها کاربردی ندارد.

با این حساب باید برای طراحی سازه های بتنی باید از ترکیب بارهای موجود در دستورالعمل سازمان نظام مهندسی استان تهران که مطابق ترکیبات بارگذاری آیین نامه بتن آمریکا (ACI) است استفاده شود. این ترکیبات بار همان طور که ذکر شد مطابق شکل زیر بوده و کاملاً مشابه ترکیبات بارگذاری سازه های فولادی است. در شکل زیر ترکیبات بارگذاری برای طراحی سازه های بتنی موجود در آیین نامه بتن آمریکا، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و دستورالعمل سازمان نظام مهندسی استان تهران آورده شده است.

ACI 318

$$U = 1.4(D + F) \quad (9-1)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \quad (9-2)$$

$$+ 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \quad (9-3)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \quad (9-4)$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S \quad (9-5)$$

$$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H \quad (9-6)$$

$$U = 0.9D + 1.0E + 1.6H \quad (9-7)$$

مبحث ششم

$$1.25D$$

$$1.25D + 1.5L$$

$$D + 1.2L + 0.85E$$

$$0.85D + 0.85E$$

$$1.25D + 1.5L + 1.5\text{Soil}$$

$$0.85D + 1.5\text{Soil}$$

$$D + 1.2L + T$$

$$1.25D + 1.5T$$

دستورالعمل نظام مهندسی

1.4D

1.2D+1.6L

1.2D+L+E

0.9D+E

1.2D+1.6L+1.6Soil

0.9D+1.6Soil

1.2D+1.6L+1.2T

1.2D+1.6T

در ادامه این نوشته به تعریف حالت های بار و سپس ترکیبات بارگذاری برای سازه های فولادی و بتنی در نرم افزار ایتبس می پردازیم. برای تعریف حالت های بار در نرم افزار ایتبس ورژن ۹,۷,۴ باید از طریق منوی Define گزینه ی Static Load Case انتخاب شود. این کار در ایتبس ۲۰۱۶ از طریق منوی Define و گزینه ی Load Patterns انجام می شود.

تعریف حالت های بار در سازه فولادی

برای طراحی سازه فولادی لازم است تا حالت های بار مطابق زیر در نرم افزار Etabs تعریف شود:

LOAD	TYPE	S.W.M	A.L.L
DL	DEAD	۱	
SDL	SUPER DEAD	۰	
LL	LIVE	۰	
LL۰,۵	LIVE	۰	
L PART	LIVE	۰	
LLR	LIVE ROOF	۰	
S	SNOW	۰	
WALL	OTHER	۰	
NDLX	NATIONAL	۰	AUTO
NDLY	NATIONAL	۰	AUTO
NSDLX	NATIONAL	۰	AUTO
NSDLY	NATIONAL	۰	AUTO
NLLX	NATIONAL	۰	AUTO
NLLY	NATIONAL	۰	AUTO
NLL۰,۵X	NATIONAL	۰	AUTO
NLL۰,۵Y	NATIONAL	۰	AUTO
NLPARTX	NATIONAL	۰	AUTO
NLPARTY	NATIONAL	۰	AUTO
NLLRX	NATIONAL	۰	AUTO
NLLRY	NATIONAL	۰	AUTO
NSX	NATIONAL	۰	AUTO
NSY	NATIONAL	۰	AUTO
EX	QUAKE	۰	U.C
EY	QUAKE	۰	U.C
EXP	QUAKE	۰	U.C
EXN	QUAKE	۰	U.C
EYP	QUAKE	۰	U.C
EYX	QUAKE	۰	U.C
EZ	QUAKE	۰	U.C

منظور از بار **Dead (DL)** بارهای مرده ساختمان که عبارتند از وزن اجزای دائمی ساختمان ها مانند تیر، ستون، دیوار، کف، بام، راه پله، نازک کاری، پوشش ها و دیگر بخش های سهم در اجزای سازه ای و معماری و هم چنین وزن تاسیسات و تجهیزات ثابت است.

منظور از بار **Super Dead SDL** بار مرده ثانویه که شامل بارهای مرده غیر سازه ای مانند کفسازی و ملات ها و ...

از این بار در سقف های کامپوزیت و عرشه فولادی استفاده می شود

منظور از بار **LL** بار زنده طبقات به جز بام، پارکینگ و محل هایی که بار زنده آن ها بیش تر از ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع دارند.

منظور از بار **LL۰.۵** تمامی بارهای زنده به جز بارهای زنده ای که در قسمت **LL** گفته شد.

منظور از بار **LPart** بار پارتیشن بندی یا بار دیوار های تقسیم کننده در طبقات است.

منظور از بار **LLR** بار زنده بام مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان است.

منظور از بار **S** بار برف مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان است.

منظور از بار **Wall** بار اصلاح جرم طبقات برای در نظر گرفتن وزن موثر لرزه ای سازه است.

منظور از بارهای **Notional** بارهای فرضی است. این بارهای فرضی مطابق آیین نامه تنها در سازه های فولادی لازم است در نظر گرفته شود.

منظور از بارهای **Ex** و **Ey** زلزله های بدون برون محوری و منظور از بارهای **Exp**، **Exn**، **Eyp** و **Eyn** زلزله های دارای برون محوری است که در مقاله ضریب زلزله و اثر صد سی زلزله به طور کامل به بررسی آن ها پرداختیم.

منظور از بار **Ez** بار زلزله قائم است که باید طبق استاندارد ۲۸۰۰ بر سازه هایی که لازم است اثر زلزله قائم در نظر گرفته شود، اعمال گردد.

ترکیب بارهای لرزه ای استاتیکی

در ترکیب بارهای لرزه ای، در نظر گرفتن بارهای فرضی لازم نیست. در این ترکیب بارها باید اثر ۱۰۰- ۳۰ لحاظ شود. هم چنین می دانیم در صورت وجود الزامات و شرایط گفته شده در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ لازم است تا اثر مؤلفه قائم زلزله در سازه دیده شود.

زلزله قائم

مطابق بند (۳-۳-۹) استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ در صورت وجود شرایطی باید اثر قائم نیروی زلزله در تحلیل و طراحی سازه منظور شود. این شرایط و محل اعمال زلزله قائم در سازه به طور خلاصه عبارتند از:

- در صورت قرار گیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد، زلزله قائم باید به کل سازه اعمال شود.
- در صورت وجود تیرهایی با دهانه بیش از ۱۵ متر در سازه، زلزله قائم باید به آن تیر و ستون ها و دیوارهای تکیه گاهی آن وارد شود.
- در صورت اعمال بار متمرکزی برابر مقدار حداقل نصف مجموع بارهای وارد بر تیر، زلزله قائم باید به آن تیر و ستون ها و دیوارهای تکیه گاهی آن وارد شود.
- در صورت وجود بالکن ها و پیش آمدگی هایی که به صورت طره ساخته می شوند، زلزله قائم باید به آن طره وارد شود.

مقدار این بار از رابطه زیر در استاندارد ۲۸۰۰ به دست می آید

$$F_{Vu}=0.6 AIW_p$$

(۱۰-۳)

در این رابطه:

A و I مقادیری هستند که برای محاسبه نیروی برشی پایه منظور شده‌اند.
 W_p : در مورد بند الف بالا بار مرده و در مورد سایر بندها بار مرده به اضافه کل سربار است.
 نیروی قائم زلزله باید در هر دو جهت رو به بالا و روبه پایین، جداگانه به سازه اعمال شود.
 در نظر گرفتن نیروی قائم در جهت رو به بالا در طراحی پی ساختمان ضروری نیست.

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ مقدار W_p در رابطه زلزله قائم در صورت قرارگیری ساختمان در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد برابر بار مرده ساختمان است و باید زلزله قائم به کل سازه وارد شود .
 همچنین مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ برای در نظر گرفتن اثر زلزله قائم در سایر موارد مقدار W_p برابر با مجموع بار مرده و زنده است. هم چنین این آیین نامه الزام می کند که نیروی قائم زلزله باید در هر دو جهت رو به بالا و رو به پایین و جداگانه به سازه وارد شود.

همان طور که پیش تر گفتیم در صورت قرار گیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد مقدار W_p در رابطه زلزله قائم برابر با بار مرده سازه است. لذا داریم:

$$E_z = 0.6 \times 0.35 \times 1 \times (\text{Dead load})$$

$$E_z = 0.21 \times (\text{Dead load})$$

$$\text{ترکیب بار لرزه ای اولیه} : 1.2D + E + L + 0.2 S$$

$$\text{ترکیب بار لرزه ای نهایی} : (1.2 + 0.21 = 1.41)D + E + L + 0.2S$$

با این کار به جای آن که به صورت دستی بار قائم زلزله را محاسبه و وارد کنیم، آن را به بار مرده موجود در ترکیب بار اضافه می کنیم تا نرم افزار به صورت خودکار این محاسبه را برای ما انجام دهد.

ترکیب بار اول لرزه ای :

$$D+E+L+0.2S1,2$$

با فرض قرارگیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد ترکیب بار به صورت های زیر در می آید:

$$1.41DL + 1.41SDL + EXP + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EXP - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EXP + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EXP - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EXN + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EXN - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EXN + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EXN - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EYP + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EYP - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EYP + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EYP - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EYN + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL + EYN - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EYN + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.41DL + 1.41SDL - EYN - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

در صورتی که علاوه بر شرط قرارگیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد، سازه دارای سایر شرایطی که در آیین نامه ۲۸۰۰ برای زلزله قائم گفته شده است باشد، بار قائم زلزله به صورت جداگانه به عضو هایی که مطابق آیین نامه در آن باید اثر زلزله قائم دیده شود، وارد گردد. در این صورت داریم:

$$E_z = 0.6 \times 0.35 \times 1 \times (\text{Dead load} + \text{Live load})$$

$$E_z = 0.21 \times (\text{Dead load} + \text{Live load})$$

در این صورت مقدار بار زلزله قائم به دو قسمت تقسیم می شود. قسمت ۰,۲۱ Dead Load×در ترکیبات بارگذاری منظور شده است و کافی است مقدار ۰,۲۱ Live Load×تحت الگوی بار Ez به المان های مورد نظر آیین نامه ۲۸۰۰ در نرم افزار Etabs وارد شود. در این صورت ترکیب بار به صورت زیر تغییر می کند:

$$\begin{aligned} &1.41DL + 1.41SDL + EXP + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EXP - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EXP + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EXP - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EXN + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EXN - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EXN + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EXN - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EYP + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EYP - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EYP + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EYP - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EYN + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL + EYN - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EYN + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.41DL + 1.41SDL - EYN - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \end{aligned}$$

در صورتی که سازه ما در منطقه با خطر لرزه خیزی زیاد، متوسط یا کم باشد و در آن سایر شرایط زلزله قائم مثل طره و پیش آمدگی هم وجود نداشته باشد ترکیب بار شماره پنج به صورت زیر باید بر سازه وارد شود:

$$1.2DL + 1.2SDL + EXP + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EXP - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EXP + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EXP - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EXN + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EXN - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EXN + 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EXN - 0.3EY + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EYP + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EYP - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EYP + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EYP - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EYN + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL + EYN - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EYN + 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

$$1.2DL + 1.2SDL - EYN - 0.3EX + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S$$

و در صورتی که سازه ما در منطقه با خطر لرزه خیزی زیاد، متوسط یا کم باشد و در آن سایر شرایط زلزله قائم مثل طره و پیش آمدگی وجود داشته باشد ترکیب بار شماره پنج به صورت زیر باید بر سازه وارد شود:

$$\begin{aligned} &1.2DL + 1.2SDL + EXP + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EXP - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EXP + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EXP - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EXN + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EXN - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EXN + 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EXN - 0.3EY + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EYP + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EYP - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EYP + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EYP - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EYN + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL + EYN - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EYN + 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \\ &1.2DL + 1.2SDL - EYN - 0.3EX + EZ + LL + LLP + LL0.5 + 0.2S \end{aligned}$$

به عنوان مثال اگر سازه در مناطق با خطر نسبی زیاد و متوسط و کم باشد و در سازه دارای بالکن و پیش آمدگی بصورت طره باشد . فرض بار مرده کف آن ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع باشد و بار زنده کف آن ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد . آنوقت داریم:

$$EZ = ۰,۶ \times A \times I \times (\text{Dead loads} + \text{Live loads}) = ۰,۶ \times A \times I \times (۵۰۰ + ۳۰۰)$$

مقدار بار به دست آمده از رابطه بالا به کف بالکن و یا پیش آمدگی از نوع EZ و رو به پایین در نرم افزار ایتبس وارد می کنیم.

ترکیب بار دوم لرزه ای : D+E۰,۹

با فرض قرارگیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد ترکیب بار به صورت های زیر در می آید

$$\begin{aligned} &0.69DL + 0.69SDL + EXP + 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL + EXP - 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL - EXP + 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL - EXP - 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL + EXN + 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL + EXN - 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL - EXN + 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL - EXN - 0.3EY \\ &0.69DL + 0.69SDL + EYP + 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL + EYP - 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL - EYP + 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL - EYP - 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL + EYN + 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL + EYN - 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL - EYN + 0.3EX \\ &0.69DL + 0.69SDL - EYN - 0.3EX \end{aligned}$$

حال ممکن است این سوال مطرح شود که چرا در این ترکیب بار زلزله قائم وارد نشده است؟

پاسخ اینجاست که همان طور که گفته شد صورت قرار گیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد مقدار W_p در رابطه زلزله قائم برابر با بار مرده سازه بوده و باید به کل سازه اعمال شود. لذا داریم:

$$E_z = 0.6 \times 0.35 \times 1 \times (\text{Dead load})$$

$$E_z = 0.21 \times (\text{Dead load})$$

$0.9D+E$: ترکیب بار لرزه ای اولیه

$(0.9-0.21=0.69)D+E$: ترکیب بار لرزه ای نهایی

در ترکیب بار لرزه ای اول مقدار بار قائم زلزله به بار مرده اضافه شده است اما در این ترکیب بار مقدار بار قائم زلزله از بار مرده کم شده است. فلسفه این کار به این صورت است که آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ بیان می کند که اثر زلزله قائم باید هم به صورت رو به بالا و هم رو به پایین دیده شود. در ترکیب بار لرزه ای اول بارهای مرده و زنده به همراه بار زلزله نقش ایفا می کنند. به دلیل این که بار مرده و بار زنده به صورت رو به پایین اعمال می شود، زلزله قائم را هم رو به پایین در نظر گرفتیم تا حالت بحرانی برای سازه به وجود آید. اما در ترکیب بار دوم لرزه ای که تنها بار مرده به همراه زلزله وجود دارد، برای در نظر گرفتن حالت بحرانی بلند شدگی ستون بار زلزله قائم را به صورت رو به بالا در نظر گرفتیم.

در صورتی که علاوه بر شرط قرارگیری سازه در منطقه با خطر لرزه خیزی خیلی زیاد، سازه دارای سایر شرایطی که در آیین نامه ۲۸۰۰ برای زلزله قائم گفته شده است باشد، بار قائم زلزله به صورت جداگانه به عضو هایی که مطابق آیین نامه در آن باید اثر زلزله قائم دیده شود، وارد گردد. در این صورت داریم:

$$E_z = 0.6 \times 0.35 \times 1 \times (\text{Dead load} + \text{Live load})$$
$$E_z = 0.21 \times (\text{Dead load} + \text{Live load})$$

در این صورت مقدار بار زلزله قائم به دو قسمت تقسیم می شود. قسمت ۰,۲۱ Dead Load در ترکیبات بارگذاری منظور شده است و کافی است مقدار ۰,۲۱ Live Load تحت الگوی بار E_z به المان های مورد نظر آیین نامه ۲۸۰۰ در نرم افزار Etabs وارد شود. در این صورت ترکیب بار به صورت زیر تغییر می کند:

$$\begin{aligned}
&0.69DL + 0.69SDL + EXP + 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EXP - 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EXP + 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EXP - 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EXN + 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EXN - 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EXN + 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EXN - 0.3EY - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EYP + 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EYP - 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EYP + 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EYP - 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EYN + 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL + EYN - 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EYN + 0.3EX - EZ \\
&0.69DL + 0.69SDL - EYN - 0.3EX - EZ
\end{aligned}$$

در صورتی که سازه ما در منطقه با خطر لرزه خیزی زیاد، متوسط یا کم باشد و در آن سایر شرایط زلزله قائم مثل طره و پیش آمدگی هم وجود نداشته باشد ترکیب بار به صورت زیر باید بر سازه وارد شود:

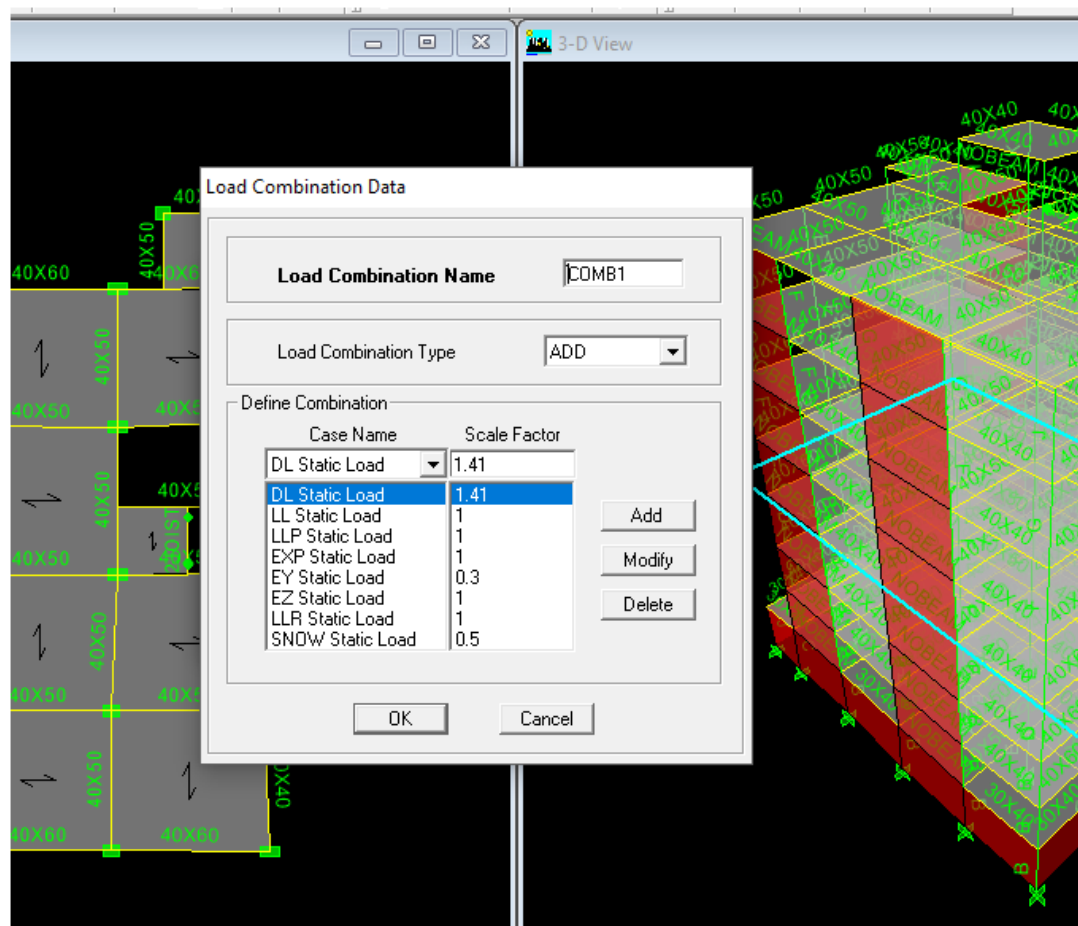
$0.9DL + 0.9SDL + EXP + 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL + EXP - 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXP + 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXP - 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL + EXN + 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL + EXN - 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXN + 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXN - 0.3EY$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYP + 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYP - 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYP + 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYP - 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYN + 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYN - 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYN + 0.3EX$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYN - 0.3EX$

و در صورتی که سازه ما در منطقه با خطر لرزه خیزی زیاد، متوسط یا کم باشد و در آن سایر شرایط زلزله قائم مثل طره و پیش آمدگی وجود داشته باشد ترکیب بار به صورت زیر باید بر سازه وارد شود:

$0.9DL + 0.9SDL + EXP + 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EXP - 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXP + 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXP - 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EXN + 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EXN - 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXN + 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EXN - 0.3EY - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYP + 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYP - 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYP + 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYP - 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYN + 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL + EYN - 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYN + 0.3EX - EZ$
 $0.9DL + 0.9SDL - EYN - 0.3EX - EZ$

ترکیبات بارگذاری در Etabs

برای وارد کردن ترکیبات بارگذاری در نرم افزار ایتبس باید از طریق منوی Define گزینه Load combination انتخاب شود. سپس برای تعریف ترکیب بارهای جدید از گزینه Add New Combo انتخاب گردیده و مطابق شکل زیر ترکیب بارها یک به یک وارد شوند.



تعریف حالت های بار در سازه بتنی

حالت های بار برای سازه بتنی دقیقاً مشابه با سازه های فولادی می باشد تنها با این تفاوت که در سازه های بتنی نیازی به در نظر گرفتن بارهای **Notional** یا فرضی نیست. سایر موارد مثل زلزله قائم و ترکیبات بارگذاری در سازه های بتنی دقیقاً مشابه با سازه های فولادی است و لذا از ذکر مجدد آن ها خودداری می شود.