۲ـ۱۲ نیروهای ناشی از زلزله

پس از خرابی‌های متعددی که بعد از وقوع زلزله در پل‌ها مشاهده گردید، محاسبهٔ پل‌ها در مقابل نیروی زلزله اهمیت بیشتری به‌خود گرفت. مهمترین نقاط ضعف یک پل در مقابل زلزله را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱ـ ***تکیه‌گاه عرشهٔ پل در روی پایه‌ها***: اگر این تکیه‌گاه‌ها در مقابل نیروهای زلزله به‌دقت طراحی نشوند، در هنگام وقوع زلزله عرشهٔ پل ممکن است از روی پایهٔ پل سقوط نماید (شکل ۲ ـ ۱۶).

۲ـ ***پایه‌های پل***: در اثر نیروی افقی ناشی از وزن مردهٔ عرشهٔ پل، در پایه‌های پل هم لنگر خمشی و هم نیروی برشی تولید می‌شود که پایه باید برای آن کنترل گردد. نیروی برشی ممکن است باعث جدا شدن پایه از روی شمع‌ها و یا لغزش شالوده شود (شکل ۲ ـ ۱۸).

۳ـ ***پایه‌های کناری پل***: که در هنگام زلزله در معرض افزایش فشار ناشی از خاک می‌باشند که این مسئله باید مورد بررسی قرار گیرد.

مقدار نیروی ناشی از زلزله بستگی به‌طبیعت زلزله، پریود طبیعی ارتعاش سازهٔ پل و پریود طبیعی ارتعاش خاک زیر شالوده دارد. در طراحی پل‌های استثنایی با دهانهٔ خیلی بزرگ و یا پل‌هایی که در نزدیکی گسل‌ها قرار دارند، محاسبهٔ نیروهای ناشی از زلزله احتیاج به‌یک‌سری مطالعات دقیق دینامیکی که در برگیرندهٔ سه عامل فوق باشد، دارد.

Scanned by CamScanner

۲ـ۱۲ـ۲ آیین‌نامهٔ زلزلهٔ ایران (طرح پل‌های جاده و راه‌آهن در برابر زلزله)

آیین‌نامهٔ آشتو در سال ۱۹۹۲ تغییرات اساسی در آیین‌نامهٔ زلزله به‌وجود آورد. براساس این آیین‌نامه و حفظ شکل کلی آیین‌نامهٔ زلزلهٔ ایران برای ساختمان‌های معمولی (آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰)، مرکز تحقیقات مسکن آیین‌نامهٔ طرح لرزه‌ای پل‌های جاده و راه‌آهن را تهیه و منتشر نمود.

۱ـ هدف

هدف این آیین‌نامه تعیین حداقل ضوابط و مقررات جهت طرح و اجرای پل‌ها، اعم از پل‌های شوسه و راه‌آهن، در مقابل اثرهای ناشی از زلزله است به‌طوری که پل‌ها در برابر زلزله ایستایی خود را از دست ندهند و تلفات جانی و خسارات مالی، حداقل باشد. با رعایت این آیین‌نامه انتظار می‌رود پل‌ها در برابر زلزله‌های با شدت کم و متوسط (تا درجه ۷ مقیاس اصلاحی مرکالی) بدون آسیب

Scanned by CamScanner

عمده و در برابر زلزله‌های شدید (تا درجه ۹) بدون فرو ریختن، قادر به‌مقاومت باشند.

۲ - حدود کاربرد

الف: این آیین‌نامه برای طرح و اجرای پل‌های فولادی، بتن آرمه، مختلط و بتن پیش‌تنیده به‌کار برده می‌شود.

ب: پل‌هایی که پایه‌های آنها با بتن بدون آرماتور یا با مصالح بنایی ساخته می‌شوند، مشمول این آیین‌نامه نمی‌شوند. **در مورد این پل‌ها فقط ضابطه مندرج در تبصره ۱ در بند ۹ رعایت می‌گردد.**

پ: پل‌های مدفون در خاک (آبروها) نیاز به‌محاسبه خاصی برای زلزله ندارند. پل‌های مدفون به‌پل‌هایی اطلاق می‌شود که به‌شکل قاب در خاک مدفون بوده و حداقل ۶۰ سانتی‌متر خاک روی تاج آنها وجود دارد.

۳ - ضوابط کلی

الف: پل‌ها باید در دو امتداد عمود بر هم متعامد قادر به‌تحمل نیروهای جانبی ناشی از زلزله باشند و در هر یک از این امتدادها نیروهای جانبی را به‌نحوی مناسب به‌شالوده‌ها برسانند. این دو امتداد معمولاً محور طولی پل و محور عمود بر آن انتخاب می‌شوند. در مورد پل‌هایی که در پلان قوسی شکل‌اند، یکی از محورها را می‌توان موازی خطی که کوله‌ها را به‌هم متصل می‌کند در نظر گرفت.

ب: در پل‌هایی که پایه‌های آنها نسبت به‌محور طولی مورب‌اند، دو امتداد عمود بر هم گفته شده در بند فوق را می‌توان در امتداد محور پایه‌ها و عمود بر آنها در نظر گرفت.

پ: عرشهٔ پل‌ها در راه‌های شوسه و راه‌آهن معمولاً از صلبیت کافی برخوردارند و نیازی به‌محاسبه برای بارهای ناشی از زلزله ندارند. اما به‌عنوان دیافراگم باید بتوانند نیروهای ناشی از زلزله را به‌نحوی مطلوب به‌تکیه‌گاه‌ها منتقل نمایند. ضوابط اتصال عرشه به‌پایه‌ها و کوله‌ها و نیز تکیه‌گاه‌ها در بخش ۲ - ۱۳ ارایه شده است.

ت: کوله‌های پل‌ها و دیوارهای حایل باید بتوانند فشار خاک اضافی ناشی از زلزله را تحمل نمایند (بخش ۲ - ۱۴).

ث: در پل‌های یک‌دهانهٔ قوسی، مشروط بر آنکه طول دهانهٔ آنها کمتر از ۱۵ متر باشد، نیازی به‌محاسبه برای نیروی زلزله نیست.

۴ - گروه‌بندی پل‌ها برحسب اهمیت

در این آیین‌نامه، پل‌ها از نظر اهمیت به‌سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

Scanned by CamScanner

الف - پل‌های با اهمیت زیاد

این گروه شامل پل‌های زیر است:

- پل‌های راه‌های اصلی، آزاد راه‌ها و پل‌های شبکه اصلی راه‌آهن کشور.
- پل‌های راه‌های دسترس به‌صنایع حیاتی کشور و تأسیسات مهم نظامی.

ب - پل‌های با اهمیت متوسط

این گروه شامل پل‌های زیر است:

- پل‌های راه‌های فرعی درجه یک و پل‌های خطوط فرعی راه‌آهن
- پل‌های راه‌های دسترس به‌سایر صنایع و تأسیسات نظامی

پ - پل‌های با اهمیت کم

این گروه شامل پل‌های راه‌های فرعی درجه دو و درجه سه (روستایی) است.

۵- گروه‌بندی پل‌ها برحسب شکل

در این آیین‌نامه، پل‌ها به‌لحاظ شکل به‌دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

الف - پل‌های منظم

این گروه شامل کلیه پل‌هاست به‌جز مواردی که در بند (ب) گفته شده است.

ب - پل‌های نامنظم

این گروه شامل پل‌های زیر است:

I - پل‌هایی که توزیع جرم در طول آنها یکنواخت نبوده و تغییرات ناگهانی داشته باشد.

II - پل‌هایی که سختی پایه‌های میانی برنده بارهای جانبی در طول آنها یکنواخت نباشد. چنانچه اختلاف سختی پایه‌های میانی متوالی بیش از ۲۵ درصد مقدار کوچکتر باشد، پل در این گروه محسوب می‌شود. در محاسبه سختی پایه‌ها، سختی سیستم تکیه‌گاهی باید منظور شود.

III - پل‌هایی که در پلان قوسی شکل‌اند و زاویه قوس بیش از ۹۰ درجه است.

۶- محاسبهٔ پل‌ها در برابر نیروی زلزله - کلیات

الف: در محاسبه پل‌ها فقط مؤلفه افقی نیروی زلزله در نظر گرفته می‌شود و از اثر مؤلفه قائم صرفنظر می‌گردد.

ب: پل‌ها در دو امتداد عمود بر هم محاسبه می‌شوند. محاسبه در هر یک از این دو امتداد مستقل

Scanned by CamScanner

از یکدیگر صورت گرفته و اثرهای آنها همزمان بر روی پل تأثیر داده نمی‌شود.

پ: نیروی زلزله، در هر یک از امتدادهای پل در هر دو جهت این امتداد یعنی به‌صورت رفت و برگشت در نظر گرفته می‌شود.

ت: محاسبه پل‌ها در برابر نیروهای زلزله و باد به‌تفکیک انجام می‌شود و اثر هر یک از این دو نیرو که بیشتر باشد، ملاک عمل است.

۷ - بار زنده

الف: در محاسبه نیروی جانبی زلزله، در صورتی که مقدار بار زنده کمتر از نصف بار مرده عرشه باشد، بار زنده منظور نمی‌گردد. در غیر این صورت دوسوم مجموع بار مرده و زنده عرشه در محاسبات منظور می‌شود.

ب: در محاسبه نیروی جانبی زلزله در پل‌های شهری، اعم از راه‌آهن، حداقل نصف بار زنده منظور می‌شود.

۸ - روش محاسبه در برابر زلزله

الف: محاسبه پل‌ها در برابر نیروی زلزله، با یکی از سه روش زیر انجام می‌گیرد:

I ـ روش تحلیلی استاتیکی معادل

II ـ روش تحلیل دینامیکی طیفی (با استفاده از آنالیز مدها و طیف بازتاب طرح)

III ـ روش تحلیل دینامیکی (با استفاده از شتاب نگاشت‌ها)

موارد کاربرد هر یک از این روش‌ها برای پل‌های منظم و غیرمنظم در بندهای (ب) و (پ) در زیر مشخص شده‌اند.

ب: پل‌های منظم، به‌جز مواردی که در بند (پ) گفته شده است، در صورتی که دارای دهانه‌های با طول کمتر از ۱۰۰ متر و پایه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر باشند، می‌توانند با استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل محاسبه شوند. در غیر این صورت برای محاسبه این پل‌ها باید یکی از دو روش دیگر را به کار برد.

پ: پل‌های منظم از نوع معلق، ترکه‌ای، باسکولی، قوسی و پل‌هایی که در پلان قوسی هستند و کلیهٔ پل‌های نامنظم به‌انتخاب طراح، با استفاده از روش تحلیل شبه‌دینامیکی و یا روش تحلیلی دینامیکی محاسبه می‌شوند.

Scanned by CamScanner

۹- روش تحلیل استاتیکی معادل

در این روش، نیروی جانبی زلزله، بر مبنای زمان تناوب اصلی نوسان پل و با استفاده از طیف بازتاب طرح تعیین می‌گردد. این نیرو با توجه به‌شکل نوسان پل در مود اصلی و با استفاده از یکی از روش‌های شناخته شده در طول پل توزیع می‌گردد. برای انجام دادن این محاسبات می‌توان از روش ارایه شده در بخش ۱۲ استفاده نمود.

در پل‌هایی که رفتارشان در برابر زلزله، مشابه رفتار آونگ وارونه است، نیروی جانبی زلزله مؤثر بر عرشه پل از رابطهٔ (۲ ـ ۸) به‌دست می‌آید:

(۲ ـ ۸)

$$F=C.W$$

در این رابطه:

F= نیروی مؤثر بر عرشه پل که در مرکز جرم آن اثر می‌کند.

W= وزن مرده عرشه پل به‌اضافه مقداری از بار زنده روی پل که در بند ۷ مشخص شده است.

C= ضریب زلزله که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

(۲ ـ ۹)

$$C=\frac{ABI}{R}\geq 0.25A$$

در این رابطه:

A= شتاب بر مبنای طرح (نسبت به‌شتاب ثقل g).

B= ضریب بازتاب پل (رابطهٔ ۲ ـ ۱۰)

I= ضریب اهمیت پل، طبق جدول ۲ ـ ۲

R= ضریب رفتار پل، طبق جدول ۲ ـ ۳

در پل‌هایی که دارای پایه‌های سنگی یا بتنی بدون آرماتور می‌باشند، ضریب جانبی زلزله مؤثر بر عرشه و پایه‌ها $C=0.8A$ در نظر گرفته می‌شود.

شتاب مبنای طرح (A) در مناطق مختلف کشور به‌شرح زیر تعیین می‌شود:

منطقه	توصیف	مقدار شتاب مبنای طرح
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 پایین	۰/۲۰

Scanned by CamScanner

ضریب بازتاب پل (B) که منعکس‌کنندهٔ بازتاب پل نسبت به‌شتاب مبنای طرح است، طبق رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$0.6 \leq B=2.5\left(\frac{T_0}{T}\right)^{2/3} \leq 2.5 \qquad (۲ - ۱۰)$$

در این رابطه:

T= زمان تناوب اصلی نوسان پل به‌ثانیه

T_0= عددی که برحسب نوع زمین به‌شرح زیر تعیین می‌شود.

طبقه‌بندی نوع زمین براساس جدول ۲ ـ ۱	T_0
نوع ۱	۰/۴
نوع ۲	۰/۵
نوع ۳	۰/۷
نوع ۴	۱

در زمین‌های نوع ۴ در مناطق با خطر نسبی کم و متوسط، مقدار B باید ۳۰ درصد افزایش یابد، لیکن مقدار محاسبه شده لازم نسبت از ۲/۵ بیشتر باشد.

در صورت وجود تردید در انطباق زمین محل ساختمان، با مشخصات زمین‌های مندرج در جدول ۲ ـ ۱ باید نوع زمین که ضریب بازتاب بزرگتری به‌دست می‌دهد، انتخاب شود.

زمان تناوب اصلی نوسان پل (T) را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{W}{Kg}}=2\pi\sqrt{\frac{M}{K}}=0.21\sqrt{\frac{W}{K}} \qquad (۲ - ۱۱)$$

در این رابطه:

K= سختی جانبی پل در جهت مورد نظر که از تقسیم نیروی جانبی فرضی که در مرکز جرم عرشهٔ پل وارد می‌شود به‌تغییرمکانی که در عرشهٔ پل ایجاد می‌شود، به‌دست می‌آید. (شکل ۲ ـ ۱۹)

M= جرم عرشه پل (W= وزن عرشهٔ پل)

g= شتاب ثقل

Scanned by CamScanner

جدول ۲ ـ ۱ طبقه‌بندی نوع زمین

نوع زمین	توصیف مواد متشکل	سرعت موج برشی
۱	الف ـ سنگ‌های آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگ‌های رسوبی و بسیار مقاوم و سنگ‌های دگرگونی توده‌ای (گنایس‌ها ـ سنگ‌های متبلور سیلیکاته). ب ـ طبقات کنگلومرایی، شن و ماسه متراکم و رس متراکم شده (آرژیلیت) تا ضخامت ۶۰ متر روی بستر سنگی.	>750
۲	الف ـ سنگ‌های آذرین سست (مانند توف)، سنگ‌های سست رسوبی، سنگ‌های دگرگونی متورق و به‌طور کلی سنگ‌هایی که بر اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده‌اند. ب ـ طبقات کنگلومرایی، شن و ماسه متراکم و رس متراکم شده (آرژیلیت) با ضخامت بیش از ۶۰ متر روی بستر سنگی	≤750 ≥375
۳	الف ـ سنگ‌های متلاشی شده در اثر هوازدگی. ب ـ طبقات شن و ماسه با پیوند ضعیف بین‌دانه‌ای و یا منفصل، رس متراکم نشده (گل سنگ) تا ضخامت ۱۰ متر روی بستر سنگی	<375 ≥175
۴	الف ـ نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی. ب ـ طبقات شن و ماسه با پیوند ضعیف بین‌دانه‌ای و یا منفصل، رس متراکم نشده (گل‌سنگ) با ضخامت بیش‌از ۱۰ متر روی بستر سنگی	<175

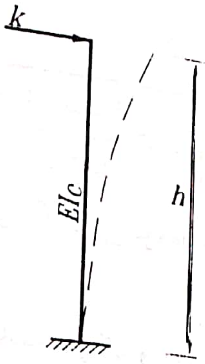
جدول ۲ ـ ۲ ضریب اهمیت پل (I)

گروه پل	ضریب اهمیت پل
گروه با اهمیت زیاد	۱/۲
گروه با اهمیت متوسط	۱/۰
گروه با اهمیت کم	۰/۸

پایه‌های پل باید علاوه بر نیروی زلزله ناشی از وزن عرشه، نیروی زلزله ناشی از وزن خود را تحمل کنند. نیروی اخیر، از حاصلضرب ضریب زلزله که در محاسبه نیروی زلزله عرشه به‌کار رفته است، در وزن پایه‌ها به‌دست می‌آید. محل تأثیر این نیرو در مرکز جرم پایه‌ها ست (شکل ۲ ـ ۲۰).

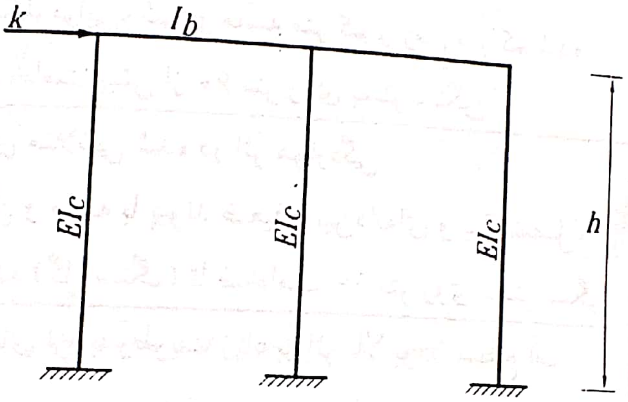
Scanned by CamScanner

پایهٔ تک‌ستونی



$$K=\frac{3EI_c}{h^3}$$

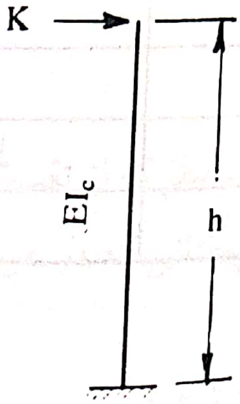
پایهٔ چندستونی در امتداد عرضی



$$I_b=0 \rightarrow K=\sum_{1}^{n}\frac{3EI_c}{h^3}$$

$$I_b=\infty \rightarrow K=\sum_{1}^{n}\frac{12EI_c}{h^3}$$

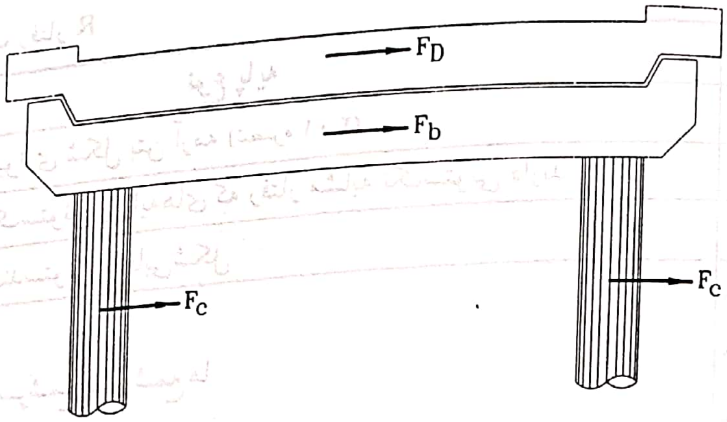
پایهٔ چندستونی در امتداد طولی



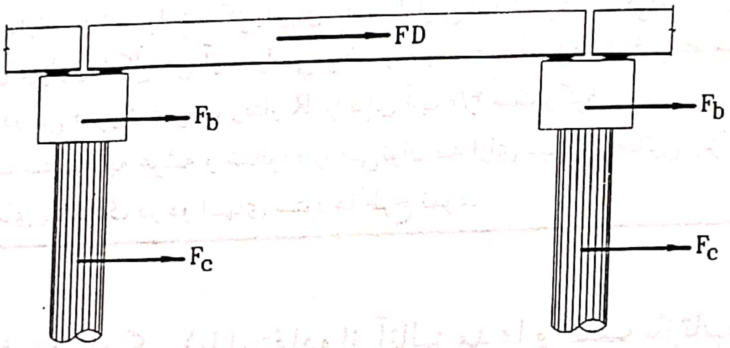
$$K=\sum_{1}^{n}\frac{3EI_c}{h^3}$$

شکل ۲ ـ ۱۹

Scanned by CamScanner



مؤلفهٔ عرضی نیروی زلزله



مؤلفهٔ طولی نیروی زلزله

$F=F_D+F_b+F_c$

$F_D=C\,W_D=$ نیروی زلزله عرشه

$F_b=C\,W_b=$ نیروی زلزله سرستون

$F_c=C\,W_c=$ نیروی زلزله ستون

وزن ستون $=W_c$

وزن سرستون $=W_b$

وزن عرشه $=W_D$

شکل ۲ ـ ۲۰

Scanned by CamScanner

جدول ۲ - ۳ ضریب رفتار R

نوع پایه		ضریب رفتار R
پایه‌های دیواری شکل بتن آرمه (تبصره ۱ و ۲)		۳/۰
۱	پایه‌های دیواری شکل بتن آرمه (تبصره ۱ و ۲)	۳/۰
۲	پایه‌های تک‌ستونی یا پایه‌های که رفتار مشابه تک‌ستونی دارند	۴/۰
۳	پایه‌های چندستونی یا قابی‌شکل	۶/۰
۴	شالوده‌ها، سرشمع‌ها و شمع‌ها	نصف مقدار R که در محاسبه پایه‌ها به‌کار برده شده است
۵	اتصالات عرشه به‌پایه‌ها و کوله‌ها، اتصالات ستون‌ها به‌سرستون‌ها، اتصالات پل‌ها به‌شالوده (تبصره ۳)	نصف مقدار R که در محاسبهٔ پایه‌ها به‌کار برده شده است

تبصره (۱): در طراحی پایه‌های بتن‌آرمه و به‌طورکلی کلیه اعضای بتن آرمه که در تحمل بارهای جانبی زلزله شرکت دارند، باید ضوابط شکل‌پذیری متوسط آیین‌نامهٔ آبا رعایت گردد.

تبصره (۲): پایه‌های دیواری شکل بتن آرمه را می‌توان در جهت ضعیف مطابق ضوابط ستون‌ها طراحی نمود و در این صورت ضریب رفتار R را برای آنها ۴/۰ منظور کرد.

تبصره (۳): اتصالات ستون‌ها به عرشه و شالوده را می‌توان به ازای نیروی جانبی زلزله، نظیر تشکیل مفصل‌های پلاستیک در دو انتهای ستون‌ها طرح نمود.

Scanned by CamScanner

مثال ۲ - ۳ برای پایه میانی a در پل نشان داده شده در شکل مطلوب است تعیین نیروی زلزله در امتداد عرضی ۲ - ۲۲. وزن مردهٔ عبورگاه مساوی ۱۶ تن بر متر برآورد گردیده و آزمایشگاه مکانیک خاک نوع زمین را ۱ معرفی کرده است.

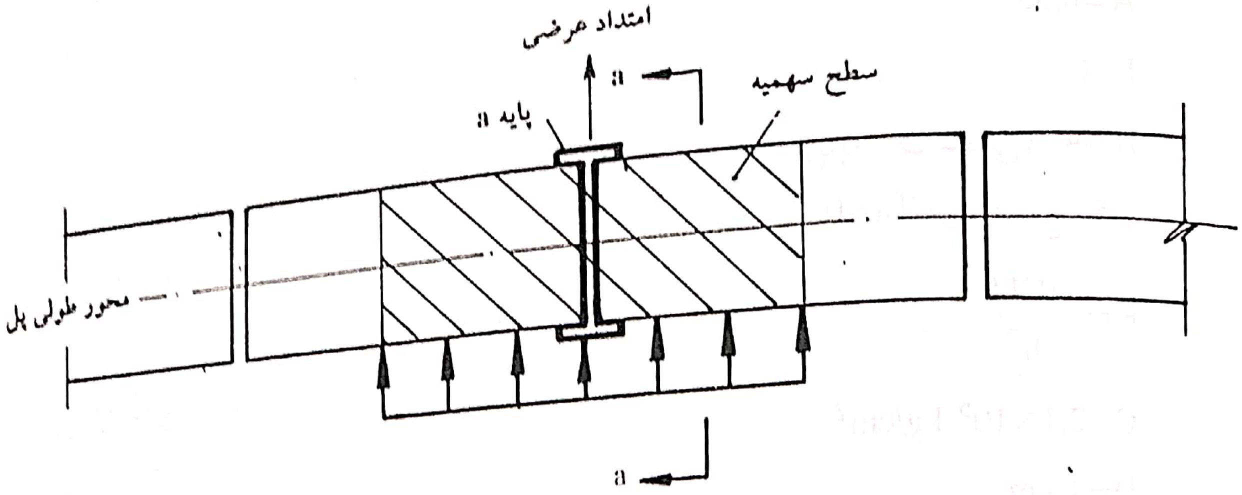
حل:

باتوجه به‌اینکه عبورگاه پل به‌طور ساده در روی پایه تکیه نموده است، با توجه به‌سختی مساوی پایه‌ها، توزیع نیروی زلزله به‌نسبت سطح بارگیر هر پایه صورت می‌گیرد. محاسبات را برمبنای آیین‌نامه لرزه‌ای ایران انجام دهید.

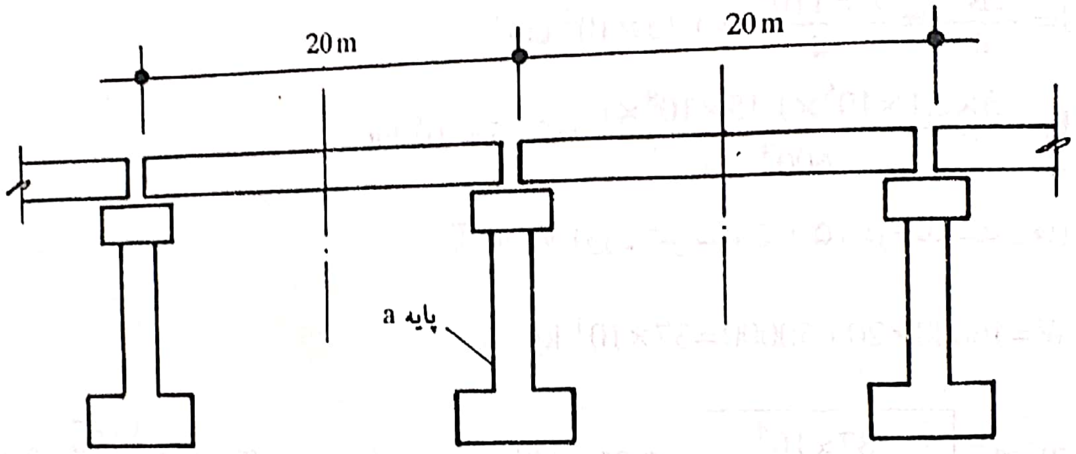
$$F=CW$$

$$C=\frac{ABI}{R}$$

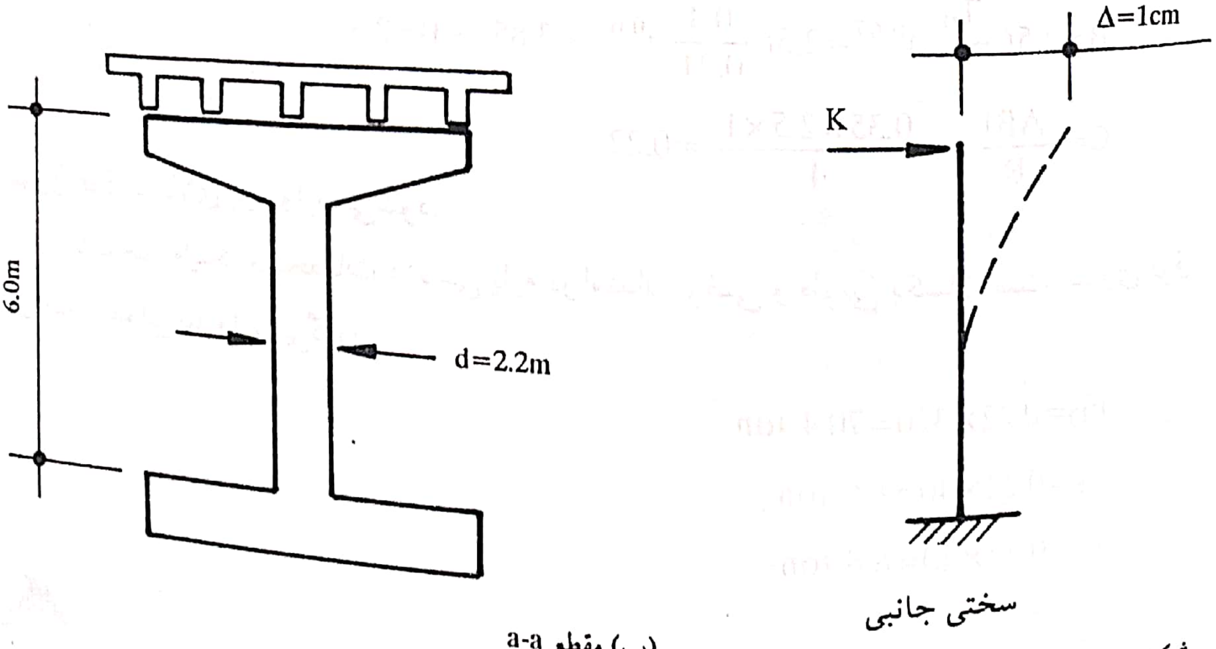
Scanned by CamScanner



(الف) پلان



(ب) نما



(پ) مقطع a-a

شکل ۲ ـ ۲۲

Scanned by CamScanner

$A=0.35$

$I=1$

$R=4$ (پایه تک‌ستونی)

(زمین نوع یک) $T_0=0.4$

$$K=\frac{3EI\Delta}{h^3}$$

$E=2.1\times10^5\ kg/cm^2$

$D=1\ cm$

$h=600\ cm$

$$I=\frac{\pi R^4}{4}=\frac{\pi\times110^4}{4}=1.15\times10^8\ cm^4$$

$$K=\frac{3\times2.1\times10^5\times1.15\times10^8\times1}{600^3}=3.35\times10^5\ kg$$

(وزن تیر ستون + ۲۵ درصد ستون‌ها) # 50 T

$$W=16000\times20+50000=37\times10^4\ kg$$

$T=2\pi\sqrt{\dfrac{37\times10^4}{3.35\times10^5\times981}}=0.21$ ثانیه یا $T=0.21\sqrt{\dfrac{370}{335}}=0.21$

$$B=2.5\left(\frac{T_0}{T}\right)^{0.67}=2.5\left(\frac{0.4}{0.21}\right)^{0.67}=3.85\rightarrow B=2.5$$

$$C=\frac{ABI}{R}=\frac{0.35\times2.5\times1}{4}=0.22$$

نیروی فوق بر بالای پایه وارد می‌شود.

با توجه به‌اینکه مشخصات هندسی پایه در امتداد عرضی و طولی یکسان است، نیروی فوق در امتداد طولی نیز وارد می‌گردد.

$F_D=0.22\times320=70.4\ ton$

$F_h=0.22\times40=8.8\ ton$

$F_c=0.22\times40=8.8\ ton$

Scanned by CamScanner

۲ ـ ۱۵ روش آیین‌نامهٔ ایران برای تعیین فشار خاک در پشت کوله‌ها و دیوارها در هنگام زلزله

اثر نیروی جانبی زلزله بر خاکریزهای پشت‌کوله‌ها، و دیوارها موجب افزایش فشار فعال خاک بر روی این سازه‌ها می‌گردد. اضافه فشار فعال ناشی از زلزله، بر این سازه‌ها از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

(۲ ـ ۲۹)

$$\Delta p_{ae}=1.25\ A.K_a.\gamma.H$$

در این رابطه:

ΔP_{ae}= اضافه فشار فعال خاک

A= شتاب مبنای طرح

K_a= ضریب فشار فعال خاک در حالت عادی

γ= وزن مخصوص خاک

H= ارتفاع کوله یا دیوار

اضافه فشار فعال خاک به‌صورت زیر در ارتفاع کوله یا دیوار توزیع می‌شود:

الف ـ درکوله‌ها و دیوارهای کنسولی که رأس آنها می‌تواند تغییرمکان جانبی داشته باشد، این فشار به‌صورت دیاگرام مثلثی شکل که قاعده آن در رأس دیوار قرار دارد، توزیع می‌شود.

ب ـ در کوله‌ها و دیوارها که رأس آنها تغییرمکان جانبی ندارد، پخش فشار به‌صورت یکنواخت صورت می‌گیرد.

پ ـ برای حالت‌های بین (الف) و (ب) پخش فشار به‌صورت دیاگرام ذوزنقه‌ای که مشخصات آن با قضاوت مهندس طراح تعیین می‌شود، صورت می‌گیرد.

مثال ۲ ـ ۴

دیوار حایلی با ارتفاع ۶ متر مفروض من باسد. مطلوب ست تعیین فشار استاتیکی د دینامیکی خاک در پشت دیوار در حالت عادی و زلزله.

$H=6\ m$

$\gamma=1.9\ ton/m^3$ $\phi=30 \rightarrow K_a=0.33$

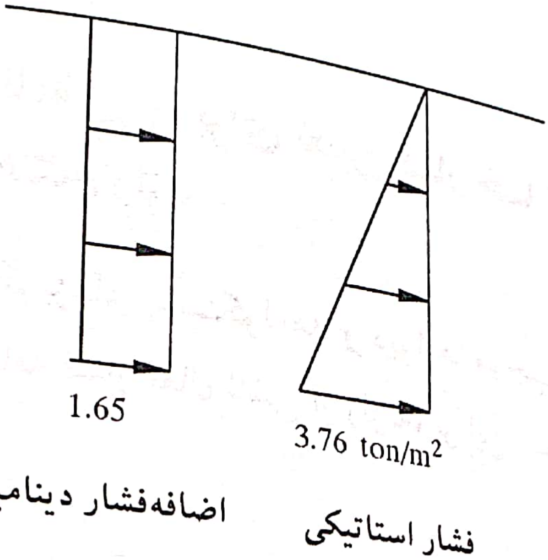
$A=0.35$

(الف) روش آیین‌نامه لرزه‌ای پل‌ها:

$\Delta P_{ae}=1.25\times0.35\times0.33\times1.9\times6=1.65\ ton/m^2$

(استاتیکی) $P_a=0.33\times1.9\times6=3.76\ ton/m^2$

Scanned by CamScanner



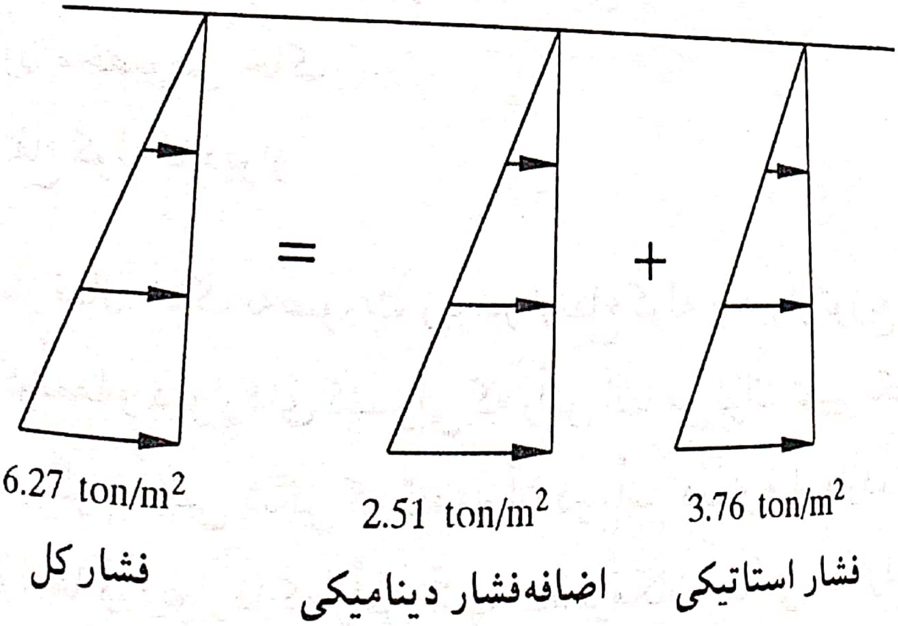
ب) روش سید و ویتمان:

$A=0.35 \Rightarrow K_h=\nu_1\nu_2\nu_3 K_0=0.29$

$K_{ae}=K_a+0.75\,K_h$

$K_{ae}=0.33+0.75\times0.29=0.55$

کل $P_a=0.55\times1.9\times6=6.27\ ton/m^2$



Scanned by CamScanner

۲ـ۱۷ آثار دما و تغییرات آن، جمع‌شدگی و خزش بتن، نشست پایه‌ها و تغییرشکل دستگاه‌های تکیه‌گاهی

۲ـ۱۷ـ۱ اثر دما

تغییرات دما در کوتاه‌مدت و درازمدت (روزانه و فصلی) باعث بروز تغییرشکل در اجزای سازهٔ پل می‌شود. این تغییرات شامل موارد زیر است:

تغییر دما

اثر تغییر یکنواخت دما باید در محاسبهٔ تمامی اجزای باربر پل مورد توجه قرار گیرد. این تغییرات برای پل‌های سطحی که خاکریزی روی آنها صورت نمی‌گیرد، معادل ۳۵ درجه سانتی‌گراد و برای پل‌های زیرخاکی کم‌عمق (با ارتفاع خاکریزی ۳ متر یا کمتر) معادل ۲۰ درجه سانتی‌گراد منظور می‌شود.

اختلاف دما (گرادیان حرارتی)

اگر اختلاف دما بین سطوح فوقانی و تحتانی عرشهٔ پل با این فرض که تغییر دما در ضخامت مقطع خطی است، در محاسبات وارد می‌شود. این اختلاف تابع اوضاع فصلی است که خود به‌یکی از دو حالت زیر ظاهر می‌شود:

حالت ۱ ـ تابش خورشید روی سطح فوقانی و سایه در سطح تحتانی عرشهٔ پل

حالت ۲ ـ یخبندان روی سطح فوقانی عرشه پل

مقدار اختلاف دما با توجه به‌شرایط یادشده و نوع پل از جدول شماره ۲ ـ ۵ به‌دست می‌آید.

جدول ۲ ـ ۵ اختلاف دما در سطوح فوقانی و تحتانی عرشه پل‌ها به‌درجه سانتی‌گراد

نوع پل / اوضاع فصلی	فلزی	بتنی	مرکب
حالت ۱	۱۰	۷	۱۰
حالت ۲	۵	۳/۵	۷

۲ـ۱۷ـ۲ اثر جمع‌شدگی و خزش بتن

اثر جمع‌شدگی و خزش بتن باید در طراحی مورد توجه قرار گیرد. برای منظور کردن این اثر باید

به‌آیین‌نامه‌های معتبر بتن آرمه و بتن پیش‌تنیده مراجعه شود.

۲-۱۷-۳ اثر نشست یا کوتاه شدن پایه‌ها

چنانچه نشست یا کوتاه‌شدگی نامساوی بین دو یا چند پایه پل محتمل باشد باید اثر آن در طراحی پل منظور شود.

۲-۱۷-۴ تغییرشکل دستگاه‌های تکیه‌گاهی

در طراحی تکیه‌گاه‌ها علاوه بر اثر بارهای اصلی باید اثر تغییرشکل‌هایی که به‌علت تغییرات دما، پیش‌تنیدگی و جمع‌شدگی و خزش بتن در عرشهٔ پل ایجاد می‌شوند و نیز اثر نشست و دوران پایه‌ها، هم در نظرگرفته شود. به‌علاوه نیروهای داخلی حاصل از تغییرشکل این دستگاه‌ها هم باید در محاسبهٔ پایه‌ها در نظرگرفته شوند.

۲-۱۸ نرده و جان پناه

۲-۱۸-۱ تعریف

به‌منظور حفاظت از وسایل نقلیه و تأمین ایمنی عابران پیاده لازم است اعضا و قطعات محافظ (جان‌پناه یا نرده) در دو لبهٔ عرشهٔ پل نصب شوند.

۲-۱۸-۲ نرده‌های ایمنی

در پل‌هایی که سطح جاده در دو طرف به‌دو پیاده‌رو با اختلاف ارتفاع حداقل ۲۵ سانتی‌متر ختم می‌شود، برای حفاظت جان عابران پیاده باید نرده‌های ایمنی در دو طرف عرشه پل نصب شوند. حداقل ارتفاع نرده، از سطح پیاده‌رو ۱ متر در نظر گرفته می‌شود. حداقل بار طراحی برای نرده‌ها یک بار خطی به‌میزان ۰/۸۰ تن بر متر طول است که به‌صورت قائم و افقی بر لبهٔ نرده اعمال می‌شود. به‌علاوه باید بار قائم متمرکزی به‌میزان ۰/۱۰ تن در هر نقطه از اجزای افقی نرده، در نظر گرفته شود.

۲-۱۸-۳ جان پناه

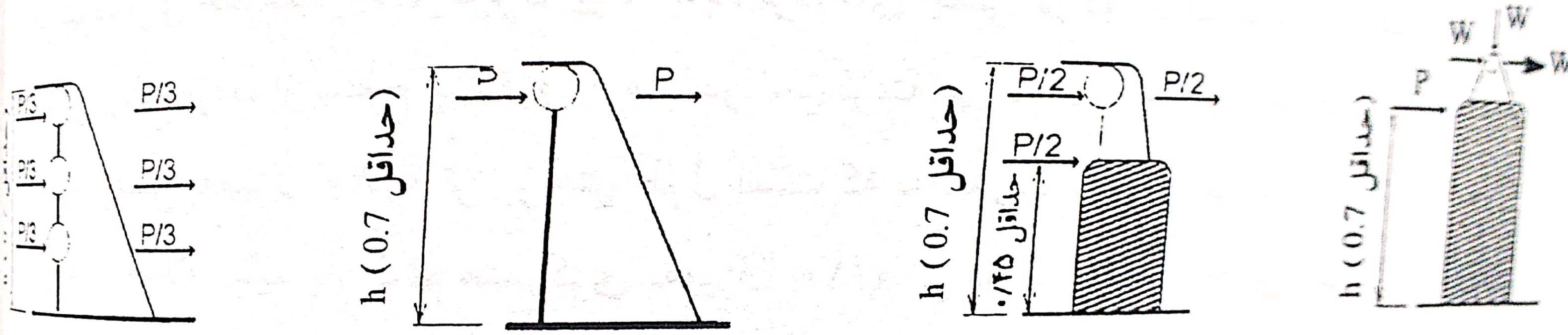
۱ - **مشخصات** : در پل‌های بدون پیاده‌رو یا در مواردی که اختلاف رقوم سطح پیاده‌رو نسبت به‌سطح جاده کمتر از ۲۵ سانتی‌متر بوده و احتمال انتقال اتفاقی بخشی از چرخ‌های وسیله نقلیه

Scanned by CamScanner

به‌سطح پیاده‌رو وجود داشته باشد، به‌جای نرده‌های ایمنی، جان‌پناهی مناسب در طرفین عرشه پل تعبیه می‌شود. جان پناه باید از مصالح فولادی با تغییر طول نسبی گسیختگی بیش از ۱۰ درصد یا آلیاژی سبک نورد شده با تغییر طول نسبی بیش از ۶ درصد ساخته شود. حداقل ارتفاع جان‌پناه از سطح تمام شده لبه عرشه ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع معمول آن بین ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر است.

۲ - بارگذاری : جان‌پناه پل برای مجموعه بارهای عرضی که در شکل ۲ - ۲۷ نشان داده شده محاسبه شود. در این شکل مقادیر p و w به‌ترتیب معادل ۴/۵ تن و ۱ تن بر متر طول در نظر گرفته می‌شوند. در مواردی که ارتفاع جان‌پناه (h) از ۸۵ سانتی‌متر بیشتر باشد، بارهای طراحی به‌میزان ۳۵ درصد افزایش می‌یابند. در امتداد طول جان‌پناه باری به‌میزان نصف بار عرضی روی یک پایه اعمال و حداکثر بین چهار پایه تقسیم می‌شود. در پل‌های درون‌شهری باید یک جان‌پناه در حدفاصل پیاده‌رو و سطح سواره‌رو تعبیه شود.

Scanned by CamScanner



توضیحات:

۱) بار اعضای طولی جان‌پناه (نرده) در طرف چپ هر شکل نشان داده شده است.
۲) بار اعضای قائم جان‌پناه (پایه) در طرف راست هر شکل نشان داده شده است.
۳) تمامی ابعاد برحسب متر است.
۴) p مساوی ۴/۵ تن، w مساوی ۱ تن بر متر طول و L مساوی فاصلهٔ پایه‌های جان‌پناه.

شکل ۲ ـ ۲۷ بارگذاری جان‌پناه سواره‌رو.

Scanned by CamScanner

گروه دو: شامل گروه‌یک + بارهای بهره‌برداری همراه با اثر ضربه، اثر ترمز و گریز از مرکز

گروه سه (الف): شامل گروه یک + اثر باد

گروه سه (ب): شامل گروه دو + اثر باد

گروه چهار (الف): شامل گروه یک + اثر تغییر دما

گروه چهار (ب): شامل گروه دو + اثر تغییر دما

گروه پنج: شامل گروه یک + اثر زمین‌لرزه

گروه شش: شامل گروه یک + بارهای ویژه

Scanned by CamScanner

۲ـ۲۰ ترکیبات بارگذاری

با توجه به‌همزمانی بارهای ارایه‌شده در آیین‌نامهٔ بارگذاری ۱۳۹، ترکیبات بارگذاری در طراحی به‌روش تنش مجاز و روش حدی به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.

ترکیبات بارگذاری در طراحی به‌روش تنش مجاز

ترکیبات بارگذاری در طراحی به‌روش تنش مجاز مطابق جدول ۲ ـ ۶ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲ ـ ۶ ترکیبات بارگذاری در طراحی به‌روش تنش مجاز

گروه	ترکیب بار	تنش مجاز برحسب درصد از تنش مجاز پایه
۱	D+B+R+S+ST+PF+SF+E	۱۰۰
۲	گروه ۱ + L+I+LF+CF	۱۰۰
۳ ـ الف	گروه ۱ + W	۱۳۳
۳ ـ ب	گروه ۲ + W + WL	۱۳۳
۴ ـ الف	گروه ۱ + T	۱۳۳
۴ ـ ب	گروه ۲ + T	۱۳۳
۵	گروه ۱ + EQ	۱۳۳
۶	بارهای ویژه + گروه ۱	طبق نیاز

Scanned by CamScanner

حالات حدی

ترکیبات بارگذاری در طراحی به‌روش حالات حدی

در صورتی‌که طراح بخواهد از طراحی به‌روش حالات حدی (آیین‌نامهٔ بتن ایران ـ آبا و یا آیین‌نامهٔ طراحی سازه‌های فولادی به‌روش حالات حدی) استفاده نماید، ترکیبات بارگذاری مطابق جدول ۲ ـ ۷ می‌باشد.

جدول ۲ ـ ۷ ترکیبات بارگذاری در طراحی به‌روش حالات حدی

گروه	ترکیب
۱	1.25(D+B+R+S+ST+PF+SF+E)
۲	گروه ۱ + 1.5*(L+I)+1.25(LF+CF)
۳ ـ الف	0.8 (گروه ۱) + 1.5 W)
۳ ـ ب	0.8 (گروه ۲) + 1.5 W + 1.5 WL)
۴ ـ الف	گروه ۱ + 1.25 T
۴ ـ ب	0.8 (گروه ۲) + 1.25 T)
۵	0.8 (گروه ۱) + 1.5 E)
۶	گروه ۱ + 1.5 (بارهای ویژه)

* توصیه می‌شود ضریب بار زنده و ضربه، به‌جای ۱/۵ مساوی ۱/۶ منظور شود.

تعریف اختصارات به‌کار رفته

D= بار مرده

L= بار زنده

I= ضربهٔ بار زنده

E= فشار زمین

B= نیروی غوطه‌وری

W= بار باد در روی سازه

WL= بار باد در روی بار زنده

PF= نیروی حاصل از پیش‌تنیدگی

ST= نیروهای ناشی از نشست تکیه‌گاهی

LF= نیروی طولی در اثر بار زنده (نیروی ترمز)

CF= نیروی گریز از مرکز

Scanned by CamScanner

R= اثر حاصل از کوتاه شدن قوس و تیرهای پیش‌تنیده

S= نیروی حاصل از افت مصالح

EQ= نیروی حاصل از زلزله

T= نیروی حاصل از تغییرات دما

SF= نیروی حاصل از جریان رودخانه

۲ـ۲۱ ترکیبات بارگذاری طبق آیین‌نامهٔ آشتو

آیین‌نامه آشتو در چاپ سال ۲۰۰۰ خود مفاهیم طراحی به‌روش حالات حدی را وارد آیین‌نامه نموده و سطوح طراحی مختلف و ضرایب بار مربوطه را به‌شیوهٔ نوینی مطرح کرده است. اصولاً این مجموعه طوری تنظیم شده که طراح براساس آیین‌نامه‌های رایج در کشور بتواند از آن استفاده نماید و وارد شدن به‌مقوله‌های جدید، مثل چیزی که در آیین‌نامه آشتو مورد توجه قرار گرفته، در برنامهٔ آن نیست. ولی به‌هر حال برای آشنایی سطحی، جداول ترکیبات بار آن ارایه می‌گردد.

جدول ۲ ـ ۸ جدول ترکیب بار طبق آیین‌نامه آشتو ۲۰۰۰ (حالات حدی)

ترکیبات بار / حالات حدی	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS	SA	SW	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Use One of these at a Time			
										EQ	IC	CT	CV
مقاومت ۱	Y_p	1.75	1.00	–	–	1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SF}	–	–	–	–
مقاومت ۲	Y_p	1.35	1.00	–	–	1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}	–	–	–	–
مقاومت ۳	Y_p	–	1.00	1.40	–	1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}	–	–	–	–
مقاومت ۴	Y_p 1.5	–	1.00	–	–	1.00	0.50/1.20	–	–	–	–	–	–
مقاومت ۵	Y_p	1.35	1.00	0.40	0.40	1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}	–	–	–	–
اتفاق حدی ۱	Y_p	Y_{EQ}	1.00	–	–	1.00	– –	–	–	1.00	–	–	–
اتفاق حدی ۲	Y_p	0.50	1.00	–	–	1.00	–	–	–	–	1.00	1.00	1.00
بهره‌برداری ۱	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}	–	–	–	–
بهره‌برداری ۲	1.00	1.30	1.00	–	–	1.00	1.00/1.20	–	–	–	–	–	–
بهره‌برداری ۳	1.00	0.80	1.00	–	–	1.00	1.00/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}	–	–	–	–
خستگی	–	0.75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Scanned by CamScanner