

آیین نامه آشتو عرض آزاد پل، فاصله خالص بین دو لبه جدول را مساوی عرض روسازی به علاوه عرض شانه‌های خاکی توصیه می‌کند. ابعاد وزارت راه و ترابری ایران، عرض هر خط عبور را در راه‌های شوسه درجه ۱، مساوی ۳/۶۵ متر و در راه‌های روستایی درجه ۱، مجموع دو خط را ۵/۵ متر و در راه‌های روستایی درجه ۲، مجموع دو خط را ۴ متر مقرر می‌دارد. عرض شانه‌های خاکی نیز بین ۰/۷۵ تا ۳ متر توصیه می‌شود. بنابراین در راه‌های شوسه درجه ۱ دو خطه در دشت، عرض آزاد حداقل پل مساوی $7/80 = 2 \times 3/65 + 0/75$ متر به دست می‌آید. این مقدار حداقل در مورد راه‌های کوهستانی دو خطه، ۷/۵ متر می‌باشد. با مطالعه طرح‌های موجود، مشاهده می‌گردد که عرض آزاد پل در راه‌های شوسه درجه ۱ بین ۸ تا ۱۰ متر انتخاب گردیده است. به هر حال عرض آزاد پل در مطالعات مرحله ۱ با در نظر گرفتن توسعه‌های احتمالی آینده و مسائل اقتصادی و نظرات کارفرما مورد مطالعه قرار گرفته و انتخاب می‌گردد.

عرض پیاده‌روی پل، در پل‌های شهری بستگی به حجم افراد پیاده دارد. در مورد راه‌های کوهستانی نیز دستورالعمل مشخصی وجود ندارد. ولی عرض کافی برای عبور دو فرد پیاده از کنار یکدیگر، ۱/۲۵ متر می‌باشد. غالباً عرض‌های بین ۱ تا ۱/۵ متر برای عرض پیاده‌رو در پل‌های بیابانی مشاهده شده است.

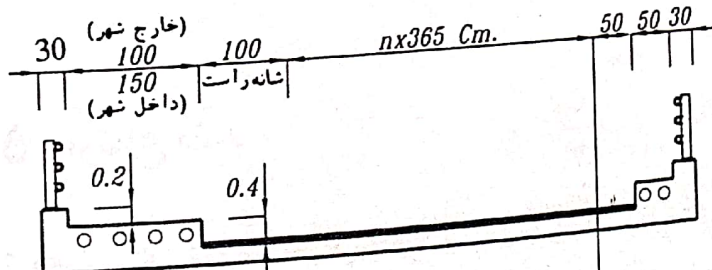
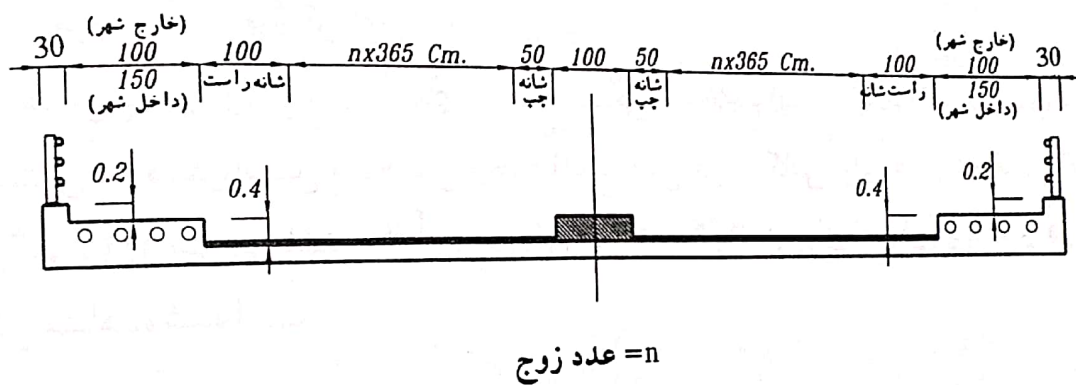
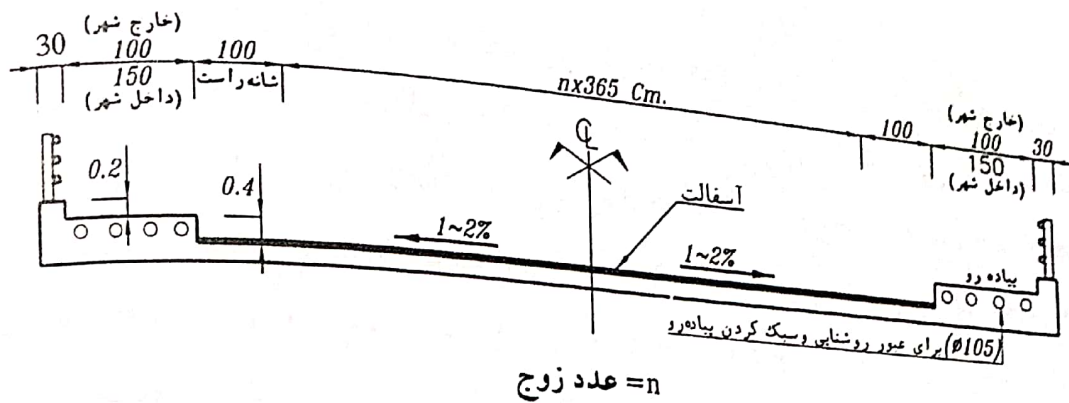
۱-۴-۱ مقطع عرضی

مقطع عرضی پل‌های راه، عموماً شامل سه بخش متمایز سواره‌رو، پیاده‌رو و جان‌پناه‌هاست. در شکل ۱-۲۲ مقطع عرضی تیب برای پل‌های دو خطه ارائه شده است.

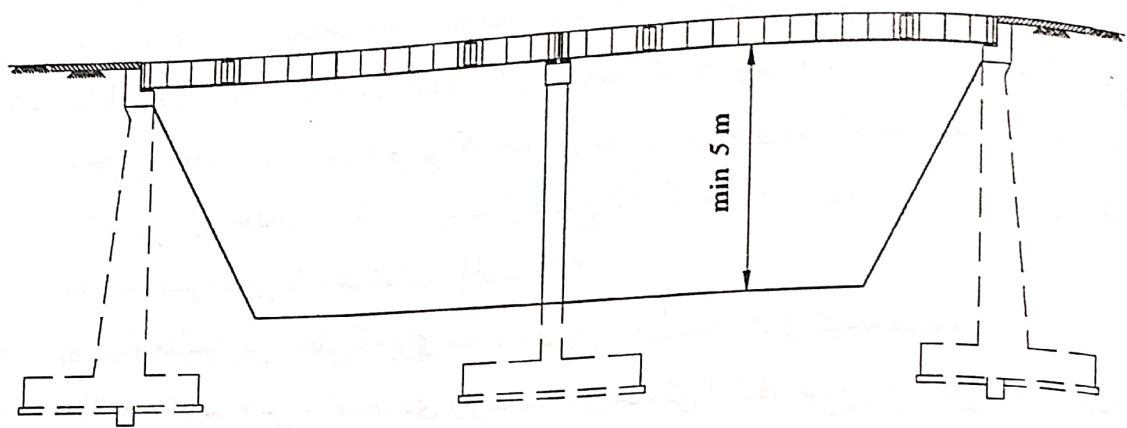
۱-۵ ارتفاع مفید

ارتفاع مفید برای عبور وسایل نقلیه از زیر پل، که از روی آسفالت جاده تا زیر عرشه پل یا قطعات الحاقی در نظر گرفته می‌شود، باید معادل ۵ متر اختیار شود (شکل ۱-۲۳).

تبصره ۱: دستگاه‌های اجرایی مجاز می‌باشند که بر حسب نوع راه، نحوه بهره‌برداری و نوع وسایل نقلیه‌ای که معمولاً از زیر پل عبور خواهند نمود، در مورد تعیین ارتفاع خاص برای یک یا چند دستگاه پل واقع بر یک محور، با ارایه توجیه فنی و اقتصادی، ارتفاع پل را تا ۵/۶۰ متر اختیار نمایند.



شکل ۱-۲۲ مقطع متداول پل در ایران با پیاده‌رو و جان پناه.



شکل ۱-۲۳ ارتفاع آزاد زیر پل.

تبصره ۲: قاب ارتفاع سنج (گاباری) چند منظوره مطابق ارتفاع مفید پل، باید قبل از ورودی پل نصب گردد.

تبصره ۳: انجام روکش زیر گذرها باید به نحوی صورت پذیرد که باعث کاهش ارتفاع مفید پل نگردد.

۱-۶ دستورالعمل مطالعه و تهیه پروژه پل های بزرگ

خدماتی که مهندس مشاور برای مطالعه پل های بزرگ انجام می دهد در دو مرحله و حاوی مدارک زیر می باشد:

مرحله اول

- ۱- مطالعات هیدرولوژی (چنانچه مطالعات هیدرولوژی قبلی برای رودخانه مورد پروژه انجام نگرفته باشد، باید مطالعات براساس جداولی که از طرف دفتر فنی در اختیار مهندسین مشاور قرار گرفته است انجام پذیرد).

بارهای وارد بر پل

معرفی

بارهای وارد بر پل به سه دسته عمده تقسیم می‌شوند:

- ۱- بارهای قائم
- ۲- بارهای جانبی
- ۳- بارهای خودکرنشی^۱

(الف) بارهای قائم

بارهای قائم شامل بارهای مرده، زنده و موارد مشابه می‌باشند که در امتداد ثقل اثر نموده و عرشه و پایه‌های پل را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این بارها غالباً حاکم بر طراحی عرشه می‌باشند و از طریق عرشه به پایه‌ها اعمال می‌شود.

(ب) بارهای جانبی

این بارها شامل بارهایی از قبیل بار باد، زلزله، فشار جانبی خاک، نیروی جریان، نیروی گریز از مرکز نیروی ترمز، نیروی برخورد و موارد مشابه می‌باشند که اکثراً پایه‌های پل را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در واقع این نیروها غالباً در عرشه ایجاد می‌شوند، لیکن عامل اصلی مقاومت در مقابل آنها، پایه‌ها می‌باشند.

(پ) بارهای خودکرنشی

این بارها شامل آثار دما، خزش، تغییر طول ناشی از پیش‌تنیدگی و موارد مشابه می‌باشند که

می‌توانند باعث ایجاد تغییر شکل در تمام سازه‌ها و ایجاد نیروی داخلی در سازه‌های نامعین گردند. در مجموع بارهای محاسباتی در طراحی پل‌ها به شرح زیر تعریف می‌شوند که در ادامه طبق آیین‌نامه بارگذاری پل‌ها (نشریه ۱۳۹ سازمان برنامه‌ریزی و مدیریت کشور) - ویرایش دوم، مورد تشریح قرار می‌گیرند:

- بارهای دایمی (بار مرده)
- بارهای بهره‌برداری و هرگونه اثر مربوط به آنها مانند اثر ضربه، ترمز و نیروی گریز از مرکز
- بارهای وارد بر پیاده‌رو
- اثر باد
- اثر تغییرات دما
- اثر غوطه‌وری و جریان آب
- اثر تغییر شکل‌های تابع زمان مصالح
- اثر نشست یا کوتاه شدن پایه‌ها
- اثر زمین لرزه
- بارهای وارد بر جان‌پناه و نرده‌ها
- بارهای ویژه مانند اثر برخورد وسایل نقلیه، کشتی‌ها و قطعات یخ به پایه‌های پل‌ها

قسمت اول: بارهای قائم

۲-۱ بارهای مرده

با توجه به شکل ۲-۱، بار مرده پل شامل وزن اقلام زیر می‌باشد:

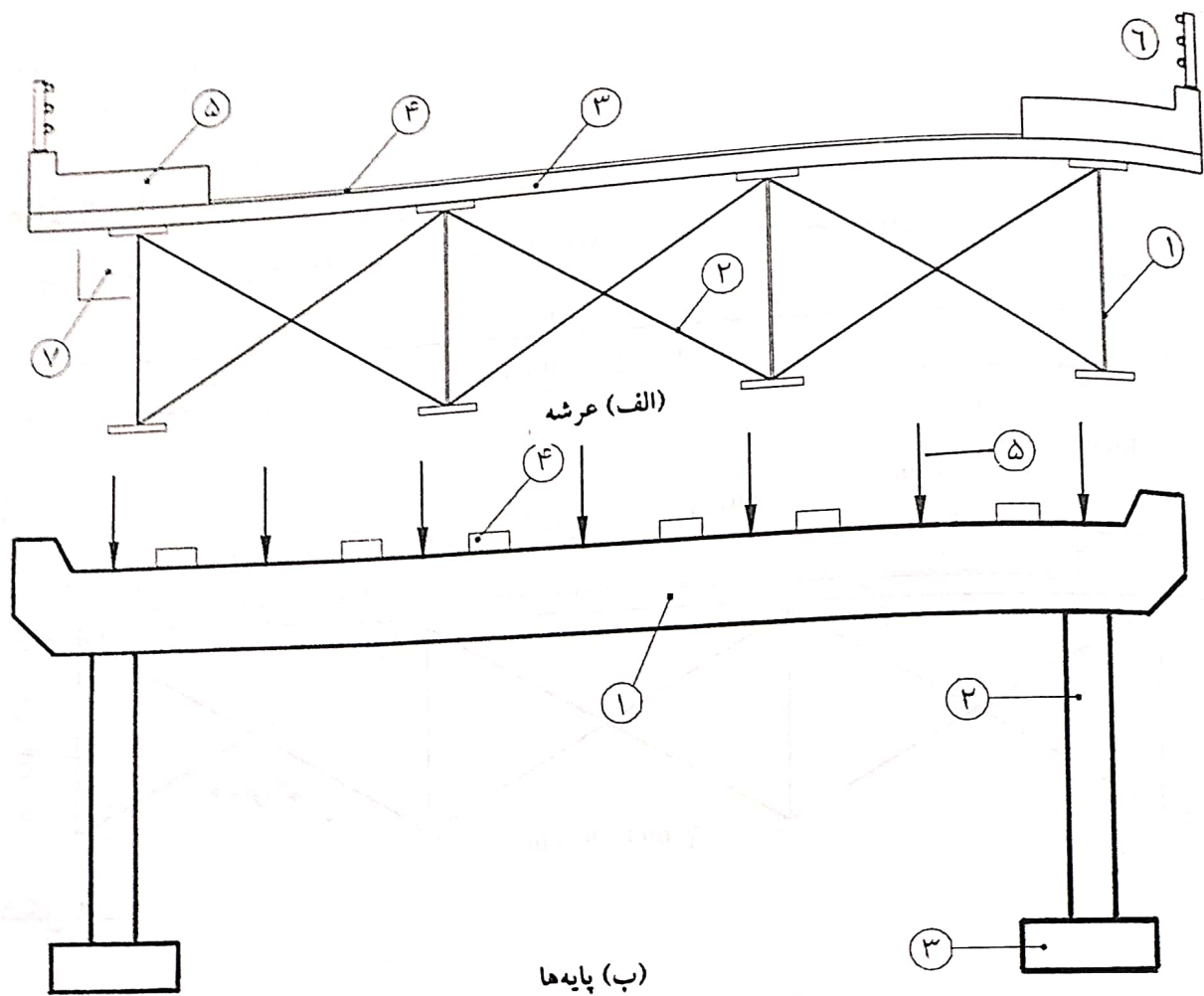
(الف) بار مرده عرشه

- ۱- تیرها، ۲- دیافراگم‌ها، ۳- دال بتنی، ۴- عایق و آسفالت، ۵- اضافه ضخامت پیاده‌رو، ۶- نرده‌ها، ۷- خدمات شهری

(ب) بار مرده پایه

- ۱- تیر سرستون، ۲- پایه‌ها، ۳- شالوده، ۴- بلوک برشی، ۵- بار مرده منتقله از عرشه، ۶- وزن خاک در کوله‌ها

برای محاسبه بار مرده نیاز به وزن مخصوص مصالح می‌باشد. اوزان مخصوص مصالح در



شکل ۱ - ۲ اقسام بار مرده پل ها.

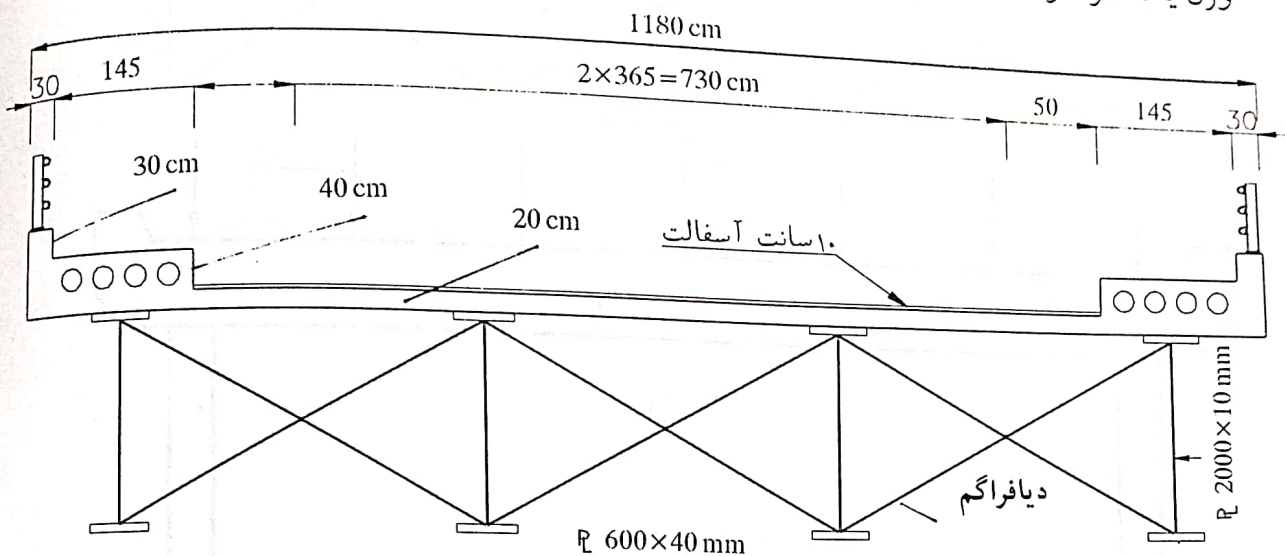
آیین نامه ۵۱۹ ارایه شده است. در جدول زیر وزن مخصوص مصالحی که در مهندسی پل مورد استفاده قرار می گیرند ارایه شده است.

وزن مخصوص بارهای مرده

وزن مخصوص بر حسب تن بر مترمکعب	نوع مصالح
۷/۸۵	فولاد
۷/۲	چدن
۲/۸	آلیاژهای آلومینیوم
۰/۸	چوب
۲/۴	بتن
۲/۵	بتن مسلح
۱/۹	ماسه، خاک، شن و بالاست متراکم
۱/۶	ماسه، خاک و شن غیرمتراکم
۲/۲۵	ماکادام یا سنگ قلوه
۲/۷۰	بنایی با سنگ
۲/۲	آسفالت

مثال ۱-۲

وزن یک متر طول از عرشه نشان داده شده در شکل ۲-۲ را محاسبه نمایید.



شکل ۲-۲

$$A = (200 \times 1 + 2 \times 60 \times 4) = 680 \text{ cm}^2$$

مساحت هر تیر ورق

$$W = 680 \times 10^{-4} \times 7850 = 533.8 \text{ kg/m} = 0.53 \text{ ton/m}$$

وزن هر تیر ورق

$$W = 1.1 \times 0.53 = 0.6 \text{ ton/m}$$

وزن با احتساب سخت کننده ها

$$W = 4 \times 0.6 = 2.4 \text{ ton/m}$$

وزن کل شاه تیرها

$$W = 0.24 \text{ ton/m}$$

وزن شاه تیرها $\cong 10\%$ دیافراگم ها

$$\text{دال} = 11.8 \times 0.2 \times 2.5 = 5.9 \text{ ton/m}$$

$$\text{آسفالت} = 0.1 \times 8.30 \times 2.2 = 1.83 \text{ ton/m}$$

$$\begin{aligned} \text{اضافه ضخامت پیاده رو} &= (2 \times 1.75 \times 0.4 + 0.3 \times 0.3 \times 2 - 10 \times \frac{\pi}{4} \times 0.3^2) \times 2.5 \\ &= 2.18 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\text{نرده های پل} = 2 \times 0.15 = 0.3 \text{ ton/m}$$

$$\text{وزن واحد طول عرشه} = 2.4 + 0.24 + 5.9 + 1.83 + 2.18 + 0.3 = 12.85 \text{ ton/m}$$

۲-۲ بارهای زنده (بارهای بهره برداری)

۱-۲-۲ تعریف

طبق آیین نامه، بارهای بهره برداری شامل سه نوع بار فرضی هستند که اثر آنها معادل اثر بارهای

واقعی مؤثر بر اجزای پل است. تعداد و موقعیت این بارها با هدف دست یافتن به بحرانی‌ترین شرایط با توجه به منحنی‌های تأثیر نیروهای داخلی تعیین می‌شود. مشخصات این بارها به شرح زیر است.

۲-۲-۲ بار نوع اول

این بارگذاری که «بار عادی» نامیده می‌شود، معرف اثر محورهای سنگین، اثر قطار کامیون‌ها و وسایل نقلیه معمولی است که به‌طور معمول در سطح راه‌های کشور تردد نموده و به شرح زیر می‌باشند:

مشخصات

بار عادی هر خط عبور مطابق شکل ۲-۳ شامل دو قسمت است:

- ۱- یک کامیون به وزن ۴۰ تن و به طول ۱۰ متر که ۳ متر جلو و ۳ متر عقب آن خالی است.
- ۲- در بقیه طول خط عبور بار یکنواختی به میزان $1/5$ تن بر متر طول که به‌طور پیوسته یا ناپیوسته و به طول‌های لازم که بحرانی‌ترین اثر موزد نظر را ایجاد کند، قرار داده می‌شود.

نحوه استقرار بار عادی روی عرشه پل

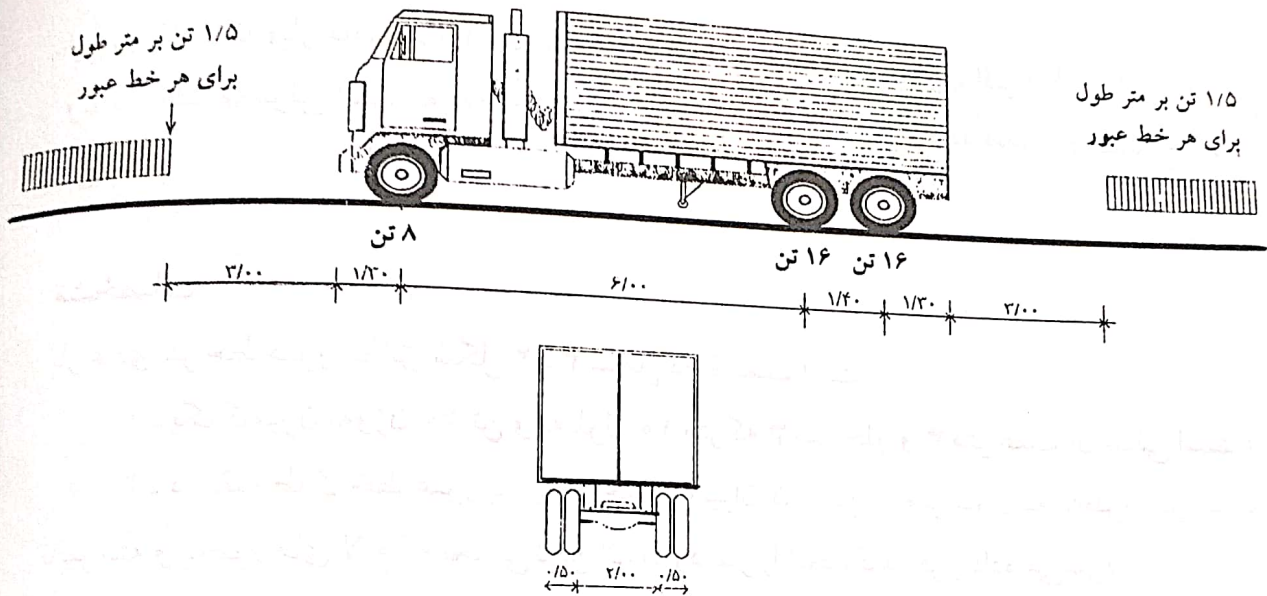
در امتداد عرض، بار عادی یک خط عبور محاسباتی را اشغال کرده و حداکثر تعداد آن به تعداد خط‌های عبور ترافیکی محدود می‌شود. نحوه استقرار این بار در عرض سواره‌رو مطابق شکل ۲-۴ است. عرض خط عبور محاسباتی ۳ متر می‌باشد.

تبصره: ضریب کاهش به مناسب همزمانی بارها

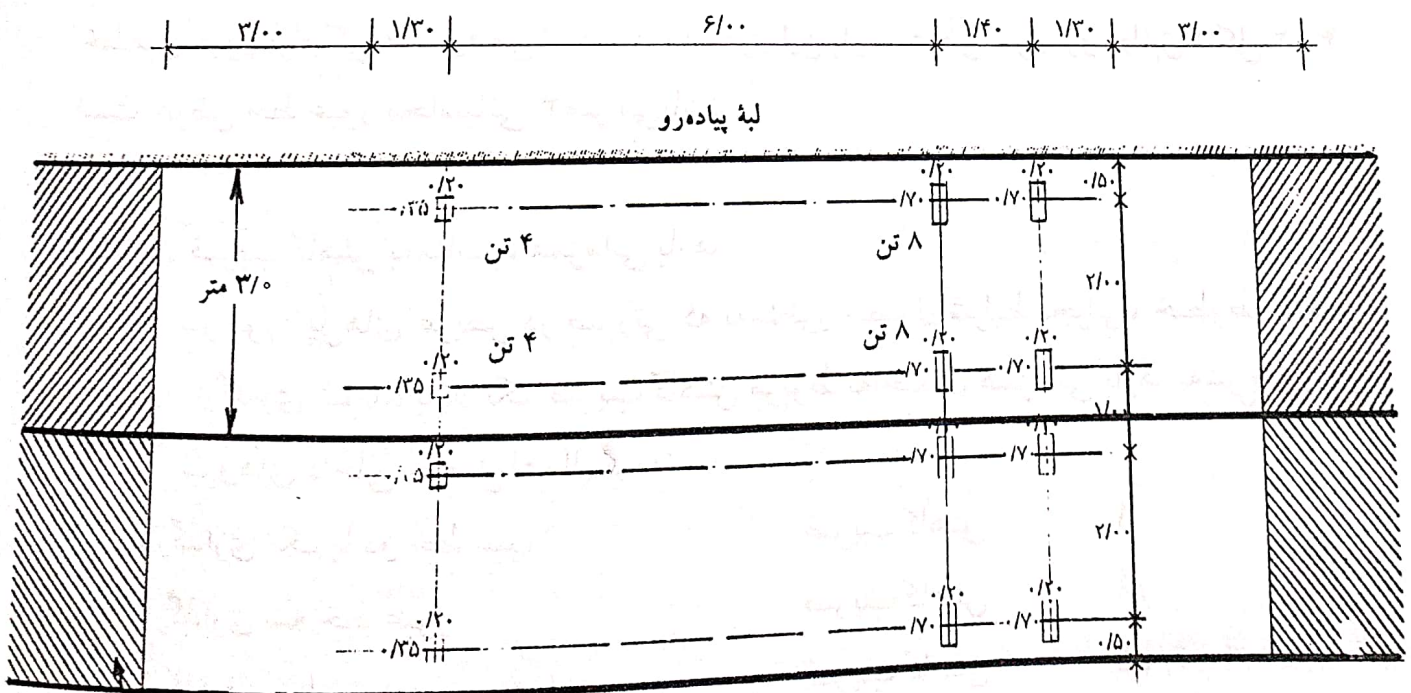
در مورد پل‌های عریض در صورتی که به منظور حصول شرایط بحرانی، خطوط متعدد بارگذاری شوند، باید یک ضریب کاهش مربوط به احتمال همزمانی بارها به شرح زیر در نیروهای داخلی حاصل اعمال گردد:

۱	ضریب کاهش	بارگذاری یک یا دو خط عبور
۰/۹	ضریب کاهش	بارگذاری سه خط عبور
۰/۷۵	ضریب کاهش	بارگذاری چهار خط عبور و بیشتر

۳-۲-۲ بار نوع دوم
این بار معادل ۸ تن است که سطح اثر آن مربعی به ابعاد ۳۰ سانتیمتر فرض می شود و موقعیت آن در محدوده سواره رو متغیر است.



شکل ۳-۲ بار بهره برداری عادی (کامیون ۴۰ تن).



بار یکنواخت هر خط عبور در ۳ متر عرض اعمال می شود.

شکل ۴-۲ نحوه استقرار بار عادی در عرض سواره رو.

۲-۲-۴ بار نوع سوم

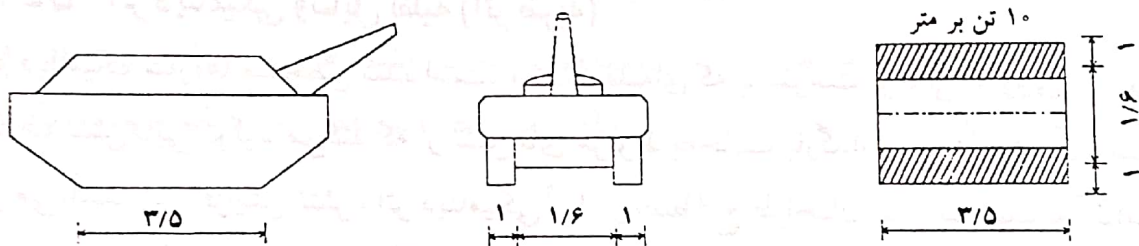
در طرح تمامی پل‌هایی که امکان عبور تانک یا تریلی تانک بر از روی آنها وجود دارد باید اثر بار «غیر عادی» شامل دو نوع بار نظامی به شرح زیر در محاسبات منظور شود:

۲-۲-۴-۱ بار تانک

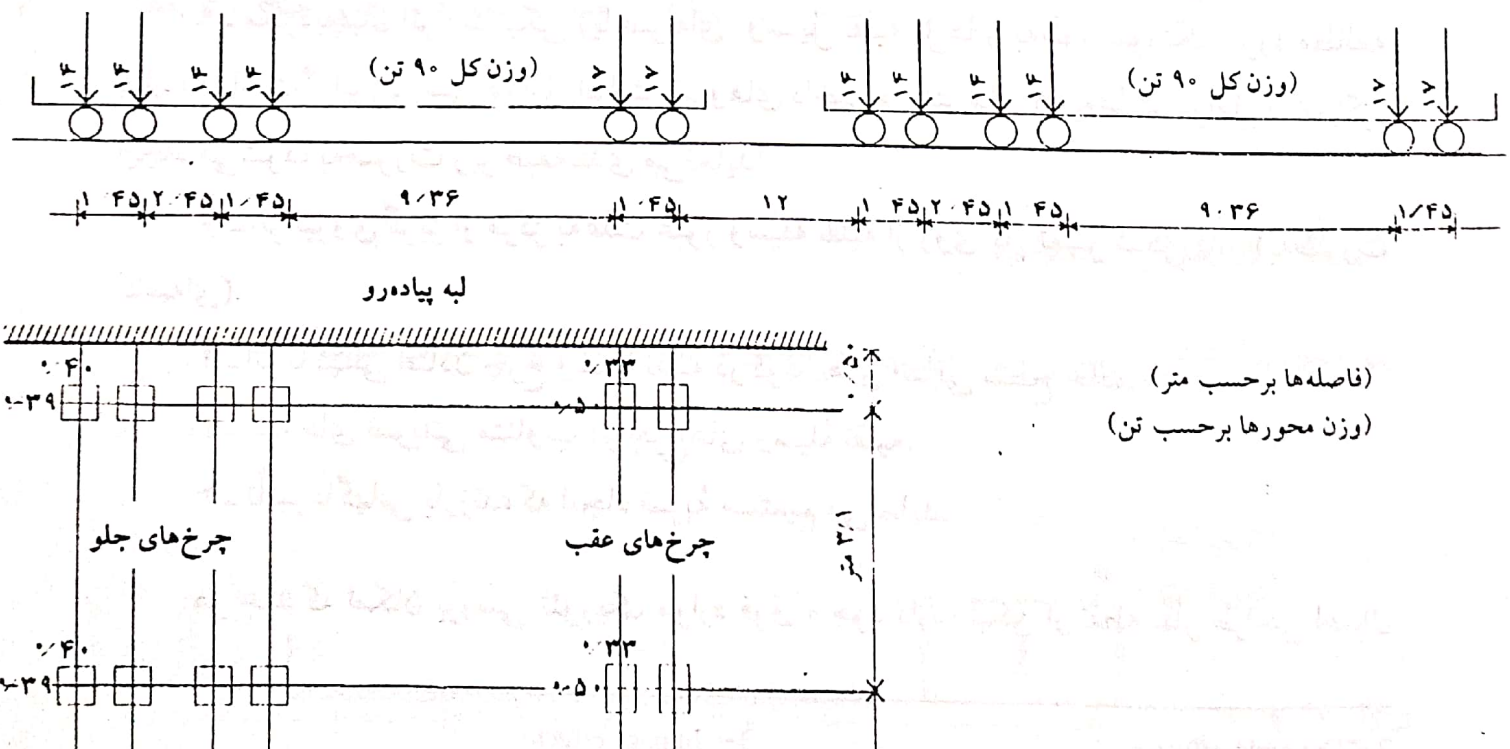
این بار به میزان ۷۰ تن روی دو زنجیر به ابعاد ۱/۰۰ متر $\times$ ۳/۵۰ متر مطابق شکل شماره ۲-۵ در نظر گرفته می‌شود. در هر قسمت از عرض سواره‌رو پل تنها یک تانک، و در امتداد طول پل حداقل فاصله وسط تا وسط تانک‌های متوالی ۳۰ متر منظور می‌شود.

۲-۲-۴-۲ بار تریلی تانک بر

این وسیله نقلیه که برای حمل تانک مورد استفاده قرار می‌گیرد مطابق شکل ۲-۶ دارای ۶ محور



شکل ۲-۵ بار تانک ۷۰ تن (اندازه‌ها بر حسب متر).



شکل ۲-۶ بار تریلی تانک بر ۹۰ تن.

به وزن کل ۹۰ تن است. در عرض پل تنها یک تریلی و در طول پل حداکثر دو دستگاه تریلی تانک بر با حداقل فاصله بین چرخ‌های دو وسیله متوالی ۱۲ متر در نظر گرفته می‌شود. فاصله محور تا محور چرخ‌ها در تریلی تانک بر، در جهت عرض تریلی، معادل ۳/۱۰ متر و حداقل فاصله چرخ‌های آن از لبه پیاده‌رو ۵۰/۰ متر می‌باشد.

تبصره: (الف) برای عبور بارهای نظامی استثنایی و سنگین تر از مفروضات فوق، باید قبلاً مجوز عبور از پل از مقامات ذیربط کسب شود.

(ب) حداقل سربار قائم برای خاکریز پشت پایه‌های کناری پل‌ها، ۱ تن بر مترمربع در نظر گرفته می‌شود.

(پ) حداقل شعاع گردش تریلی‌های تانک بر ۵۰ متر است.

۲-۲-۵ اثر دینامیکی وسایل نقلیه (اثر ضربه)

از علم دینامیک سازه‌ها مشخص شده است، وسیله نقلیه‌ای که با سرعت نرمالی از روی پل عبور می‌نماید، تنش‌هایی تولید می‌کند که از تنش‌های مربوط به حالت بارگذاری استاتیک آن وسیله بزرگتر می‌باشد. این افزایش تنش، اثر دینامیکی^۲ یا در اصطلاح طراحان پل اثر ضربه^۳ نامیده می‌شود. البته اصطلاح دوم مقداری گمراه‌کننده است، چون این استنباط را به وجود می‌آورد که افزایش تنش تن‌ها به دلیل افتادن ناگهانی چرخ وسیله نقلیه در پستی بلندی‌های سطح پل می‌باشد. آ- مگردیچیان اثر دینامیکی (یا ضربه‌ای) وسایل نقلیه پل‌ها را به طور تئوریک مورد مطالعه قرار داده است^{*}. این بررسی عوامل افزایش نیروهای داخلی و تنش‌ها را که به علت عوامل دینامیکی ایجاد می‌شود، به صورت زیر طبقه‌بندی می‌نماید:

۱- اثر نیروی گریز از مرکز به علت عبور وسیله نقلیه از روی پل تغییر شکل داده (به صورت کاسه‌ای).

۲- اثر ناگهانی افتادن چرخ وسیله نقلیه در گودال‌های اتفاقی سطح جاده.

۳- نیروهای ضربانی متناوب در چرخ‌های وسیله نقلیه.

۴- تأثیر ناگهانی بارزنده که ایجاد ضربه مستقیم می‌نماید.

هر چند که امکان بررسی تئوریک موارد فوق وجود دارد، لیکن از نقطه نظر طراحی اعمال

روش‌های تئوریک بسیار خسته‌کننده و پرکار خواهد بود. به‌همین جهت آیین‌نامه‌ها با تلفیق نتایج حاصل از مطالعات فوق و تجربه، روابط ساده‌تری برای اثر دینامیکی و ضربه و سایل نقلیه در پل‌ها پیشنهاد می‌نمایند. نکته قابل توجه در این روابط، کاهش اثر دینامیکی با بزرگ شدن دهانه می‌باشد که این مسئله به‌طور نظری به‌غیر از مورد ۱، برای تمام موارد ۲ و ۳ و ۴ مذکور در فوق، صادق است.

ضریب دینامیکی (ضربه)

اثر بار عادی (بار کامیون ۴۰ تن و بار خطی همراه با آن) باید در ضریبی به‌نام ضریب دینامیکی (ضربه) ضرب شود که مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta = 1.3 - 0.005L - 0.15h \geq 1 \quad (۱-۲)$$

در این رابطه h ارتفاع خاکریز روی پل بر حسب متر است. مقدار L بر حسب متر برای حالت‌های مختلف به‌ترتیب زیر تعیین می‌شود:

- در پل‌های ساده، L طول دهانه است.

- در پل‌های یکسره یا پیوسته، در محاسبه لنگر خمشی مثبت هر دهانه، L طول همان دهانه و

در محاسبه لنگرهای خمشی تکیه‌گاهی، L مقدار متوسط طول‌های دو دهانه مجاور تکیه‌گاه موردنظر است.

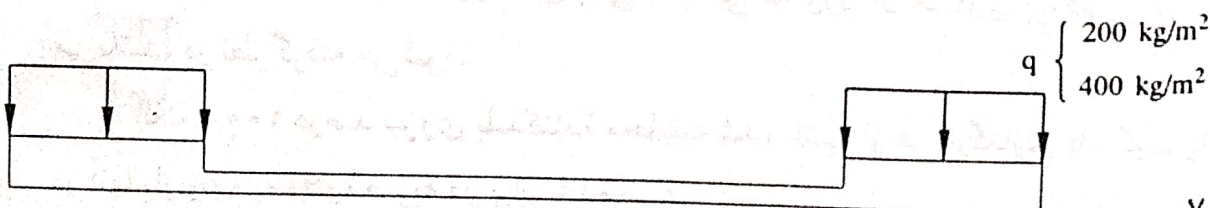
- در مورد تیرهای عرضی و دال‌ها، L طول دهانه مربوط است.

- در محاسبه اجزای طره‌ای، L طول طره است.

ضریب ضربه باید در محاسبه تمامی اعضای عرشه پل منظور شود. دیوارهای حایل، کوله‌ها و پی‌ها از این قاعده مستثنی هستند.

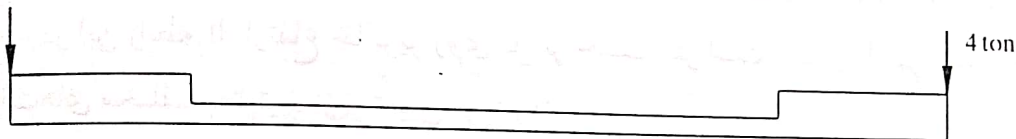
۲-۳ بارهای پیاده‌رو

برای محاسبه اجزای عرشه پل، بارهای پیاده‌رو به‌دو شکل زیر در نظر گرفته می‌شوند:



شکل ۲-۷

۲-۳-۱ پل‌های سواره‌رو
در صورتی که بار کامیون محاسباتی یا بار معادل روی سطح سواره‌رو قرار داده شود، مقدار بار اعمال شده روی هر پیاده‌رو معادل ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع است، (شکل ۲-۷).
در محاسبه اجزای ثانوی عرشه پل، غیر از تیرهای باربر و اصلی، باید باری معادل ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در سطح هر پیاده‌رو اعمال شود، (شکل ۲-۷).
در شرایط استثنایی باید اثر یکی از چرخ‌های جلوی کامیون محاسباتی با بار ۴ تن در سطحی به ابعاد ۲۰×۳۵ سانتی متر در نامناسبترین موقعیت روی سطح پیاده‌رو منظور شود. اثر این بار با بارهای مذکور در ردیف‌های فوق ترکیب نمی‌شود، (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸

۲-۳-۲ پل‌های عابر پیاده

در مورد پل‌های عابر پیاده مقدار بار محاسباتی از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$P = 200 + \frac{15000}{L + 50} \quad (2-2)$$

در این رابطه L طول بارگذاری شده بر حسب متر و P بار محاسباتی بر حسب کیلوگرم بر مترمربع است.

۲-۴ نیروهای بلندکننده

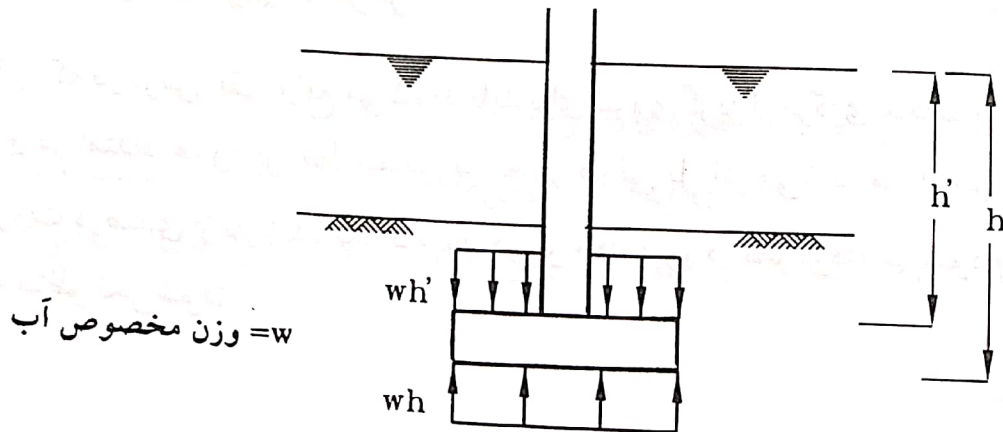
در دهانه‌های یکسره وقتی که بارهای زنده در اولین دهانه داخلی قرار گیرند، گاهی مواقع می‌توانند تولید نیروی بلندکننده در پایه‌های دیگر نمایند. در این حالت تدابیری برای اتصال کافی عبورگاه پل به پایه‌های پل به وسیله ایجاد وزنه‌های بتنی یا بنایی که وزن آن مساوی بزرگترین دو حالت زیر می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود:

الف - ۱۰۰ درصد نیروی بلندکننده محاسبه شده ناشی از هر بارگذاری یا ترکیب بارگذاری که در آنها بار زنده به علاوه ضربه دو برابر شده است.

ب - ۱۵۰ درصد نیروی بلندکننده محاسبه شده در بارهای خدمت.

۵-۲ غوطه‌وری

در حالتی که قسمتی از سازه پل در آب به حالت غرق درآید، اثر نیروی غوطه‌وری باید در طرح در نظر گرفته شود. در خیلی از سازه‌های کوچک که با آن روبرو هستیم. اثر این نیرو کم اهمیت خواهد بود و در نظر گرفتن آن هیچ اثر اقتصادی در طراحی فونداسیون‌ها نخواهد داشت. در سازه‌های بزرگ اثر این نیرو در طراحی و فونداسیون‌ها باید در نظر گرفته شود. مقدار نیروی به طرف بالای غوطه‌وری در شمع‌ها به ۴۰ درصد بار مجاز طراحی محدود می‌گردد.

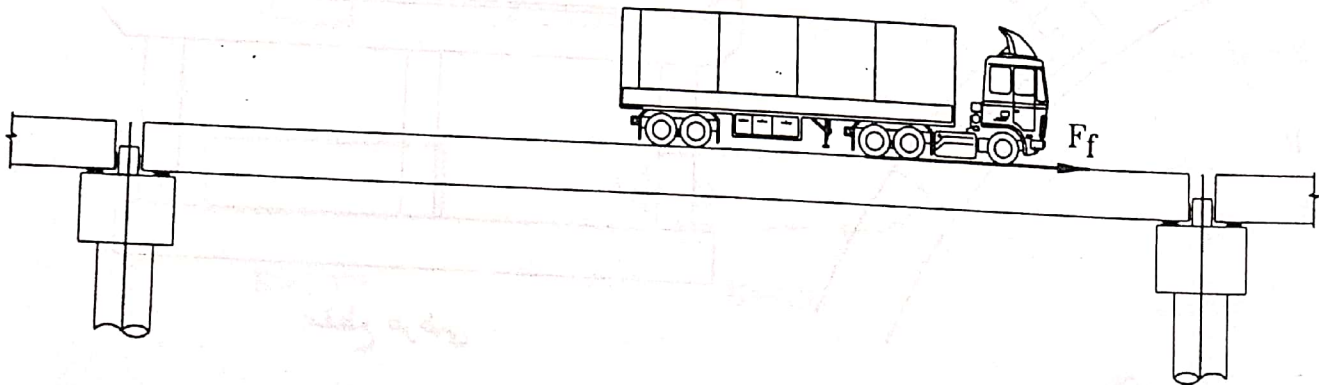


شکل ۹-۲ اثر غوطه‌وری.

قسمت دوم: بارهای جانبی

۶-۲ اثر ترمز

برای تعیین اثر ترمز وسایل نقلیه روی پل، فرض می‌شود فقط یک نیروی افقی در یکی از خطوط



شکل ۱۰-۲ نیروی ترمز.

$$F_f = 10 + 0.7L \leq 40 \text{ ton}$$

عبور اعمال شود، که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

(۳-۲)

در رابطه فوق L فاصله دو درز انبساط متوالی بر حسب متر و F_f نیروی ترمز بر حسب تن است. حداکثر نیروی ترمز به وزن یک کامیون محاسباتی یعنی ۴۰ تن، محدود شده و ضریب ضربه به آن اعمال نمی شود.

۲-۲ نیروی گریز از مرکز

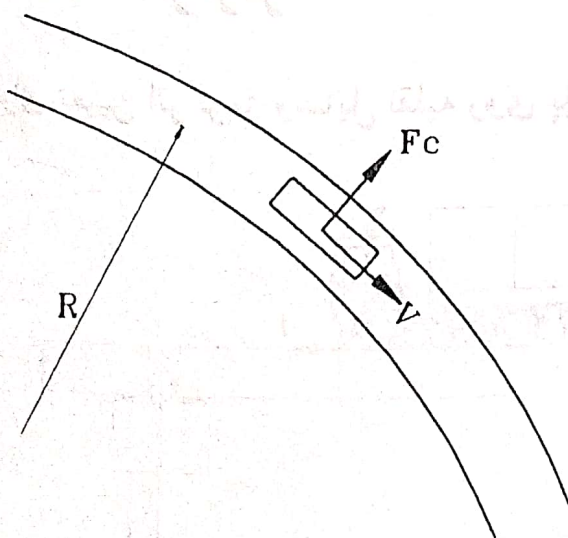
پل هایی که در قوس افقی واقع می شوند باید برای نیروی گریز از مرکزی محاسبه شوند که به صورت افقی و در امتداد عمود بر خط مماس بر محور طولی پل اثر می کند. مقدار این نیرو از رابطه زیر به صورت درصدی از بار زنده یک کامیون در هر خط عبور در نظر گرفته می شود و در محاسبه آن اثر ضربه منظور نمی شود:

$$F_c = K_c \cdot W$$

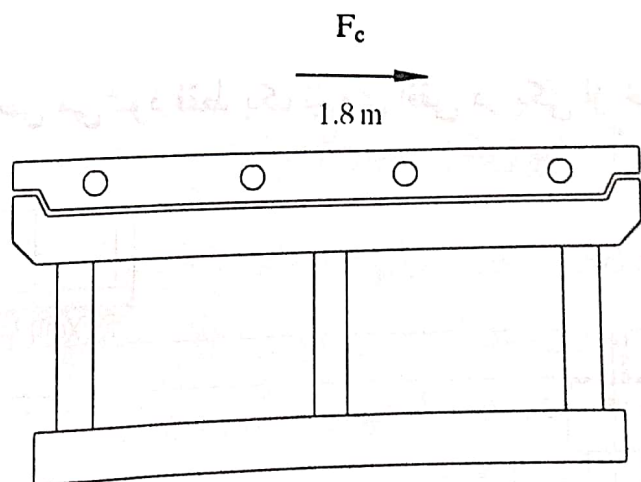
$$K_c = \frac{V^2}{Rg}$$

(۴-۲)

در روابط فوق V سرعت طرح بر حسب متر بر ثانیه، R شعاع انحنای محور اصلی پل بر حسب متر، g شتاب ثقل زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه، W وزن هر کامیون و F_c نیروی گریز از مرکز بر حسب تن است که در فاصله ۱/۸ متر، و در بالای عرشه پل اعمال می شود.



پلان



مقطع عرضی

۲-۸ برخورد وسایل نقلیه و قطعات یخ به پایه‌ها

۲-۸-۱ پل‌های روگذر

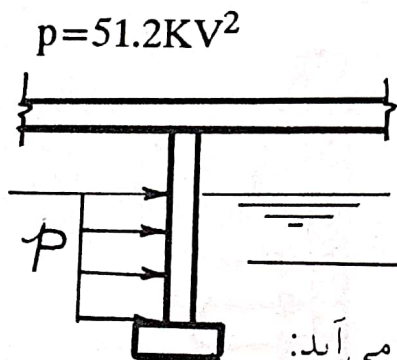
پایه‌هایی از پل‌های سواره‌رو که در کناره راه واقع می‌شوند باید برای جلوگیری از برخورد وسایل نقلیه، به وسیله دیواره یا جان‌پناه محافظت شوند. چنانچه این‌گونه محافظت‌ها به عمل نیاید باید روی پایه پل، در امتداد موازی محور راه زیر پل، نیرویی افقی معادل ۸۰ تن و در امتداد عمود بر محور راه زیر پل، نیرویی افقی معادل ۳۰ تن در نظر گرفت. هر یک از دو نیروی فوق به تنهایی و در ارتفاع یک متری از سطح راه بر پایه پل اثر می‌کند.

۲-۸-۲ پل‌های واقع روی رودخانه‌ها و آبروها

چنانچه احتمال برخورد کشتی یا قطعات یخ به پایه‌های پل، بدون هرگونه سیستم محافظ و مستهلک‌کننده، وجود داشته باشد، لازم است بارهای مربوط با توجه به مدارک علمی معتبر تعیین و در محاسبات وارد شوند.

۲-۹ نیروهای ناشی از جریان آب و فشار یخ

فشار یخ معادل ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در نظر گرفته می‌شود. ضخامت یخ و ارتفاعی که در آن فشار یخ بر پایه وارد می‌گردد، باید با توجه به مطالعات محلی تعیین شود. فشار ناشی از جریان آب بر روی پایه‌ها، توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:



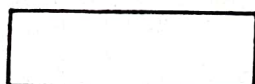
(۲-۵)

که در آن:

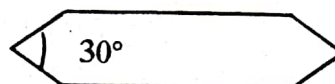
P = فشار وارده بر حسب کیلوگرم بر مترمربع.

V = سرعت آب بر حسب متر بر ثانیه.

K = ضریبی که با توجه به شکل پایه، از شکل زیر به دست می‌آید:



$K=1.375$



$K=0.5$



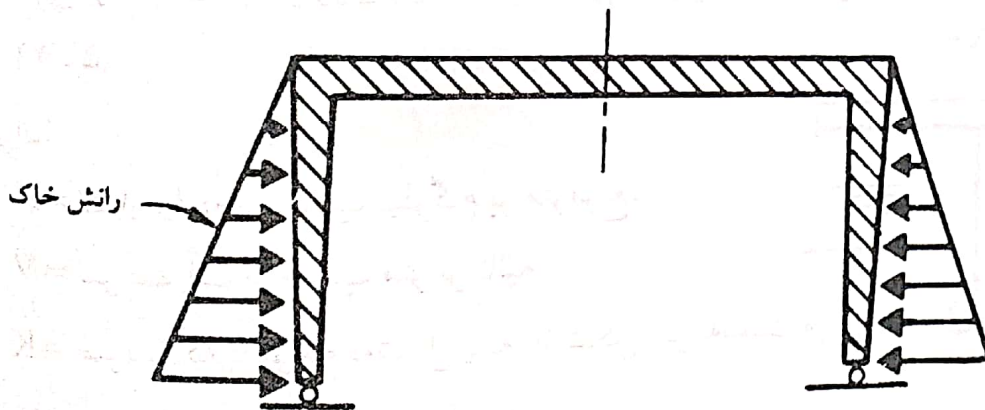
$K=0.67$

توزیع فشار فوق در ارتفاع پایه به صورت گسترده یکنواخت فرض می‌شود.

۲-۱۰ فشار جانبی خاک

اثر فشار جانبی خاک‌ها بر اعضای پل باید به دقت محاسبه گردد. رابطه محاسبه فشار جانبی خاک، رابطه رانکین خواهد بود ولی در هر حال اعضای مقاوم در مقابل رانش باید حداقل قادر باشند رانش رابطه رانکین را تحمل نمایند. ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب را تحمل نمایند. نظیر مایعی با وزن مخصوص ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب تا فاصله‌ای افقی برابر نصف ارتفاع دیوار حایل در صورتی که چرخ‌های وسایل نقلیه بتوانند تا فاصله‌ای افقی برابر نصف ارتفاع دیوار حایل به آن نزدیک شوند، باید اثر فشار آنها را به صورت رانش افقی بر چنین دیواری در نظر گرفت. ولی در هر حال این رانش از رانش نظیری که با افزایش ۱۰۰ سانتیمتر بر ارتفاع واقعی خاک با وزن مخصوص ۱/۸ تن بر متر مکعب، به دست می‌آید، کمتر نگردد. در صورتی که یک پیش دال بتن مسلح مطمئن که یک سر آن در روی پایه پل تکیه دارد، در طرح پل در نظر گرفته شود، سربار ناشی از بار زنده را می‌توان حذف کرد.

در سازه‌هایی از نوع قاب صلب (شکل ۲-۱۲)، فشارهای جانبی باعث کاهش لنگر مثبت وسط دهانه در ترکیب با بارهای قائم (مرده یا زنده) می‌گردد. به همین علت در طراحی این‌گونه سازه‌ها آیین‌نامه پیشنهاد می‌کند که قاب در دو حالت، یکی حالتی که تحت تأثیر رانش مایعی با وزن مخصوص ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب قرار دارد و دیگری در حالتی که تحت تأثیر رانش مایعی با وزن مخصوص ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب (نصف حالت قبل) قرار دارد، حل شود و سپس برای بحرانی‌ترین نیروهای دو حالت فوق طراحی گردد.



شکل ۲-۱۲

۲-۱۱ اثر باد

۲-۱۱-۱ کلیات

در حالت کلی اثر باد به عواملی چون موقعیت جغرافیایی، ارتفاع منطقه از سطح دریا، وضعیت توپوگرافی محل و مشخصات هندسی پل بستگی دارد.

زیرگذرها

۱-۲۰ مقدمه

در این فصل پل‌هایی مورد بحث قرار می‌گیرند که زیر خاکریز راه دفن می‌شوند. سازه‌های زیرخاکی دیگر نظیر لوله‌ها، لوله‌های قوسی و قوس‌های طراحی شده از مصالح شکل‌پذیر و سخت تحت پوشش معیارهای طراحی این فصل قرار نمی‌گیرند. سازه‌های مورد بحث این فصل عبارت هستند از: قاب‌های صلب نظیر روگذرهای شوسه در محل تقاطع با راه‌آهن، زیرگذرهای عبور پیاده‌رو^۱ و مجاری آبرو جعبه‌ای^۲.

سازه‌های فوق دو مشخصه بارز دارند؛ ۱- بارهای زنده در خاکریز موجود در بالای آنها به مقدار زیادی توزیع می‌شوند. ۲- فشارهای افقی خاک بر روی دیوارهای قائم سازه، بسیار قابل توجه می‌باشد.

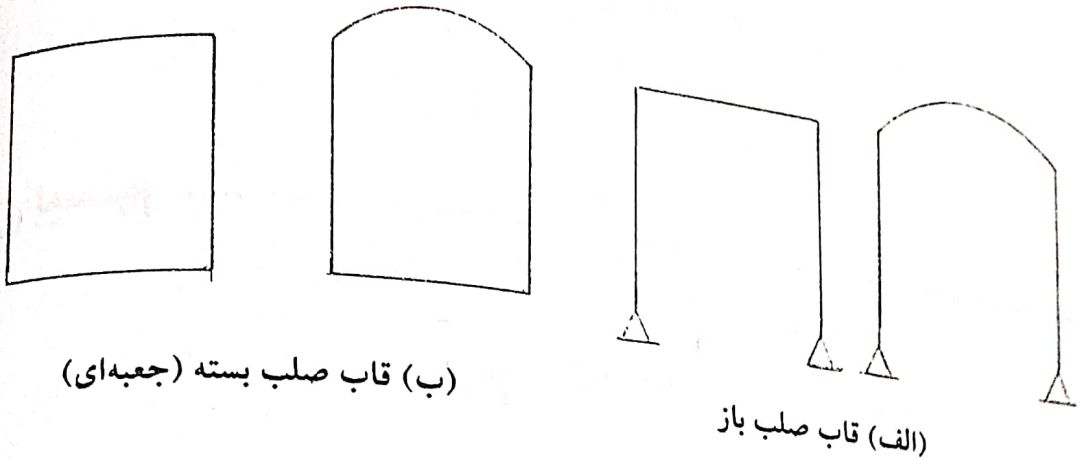
۲-۲۰ انتخاب نوع سازه

در مورد سازه‌های زیرگذر، دو سیستم متداول وجود دارد:

- ۱- قاب صلب باز
- ۲- قاب صلب بسته (مقطع جعبه‌ای)

1-Pedestrian

2-Box culvert



(ب) قاب صلب بسته (جعبه‌ای)

(الف) قاب صلب باز

اختلاف دو سیستم فوق در مسئله دال کف می‌باشد که در سیستم اول یا دال کف وجود ندارد و یا در صورت وجود از سیستم قاب مجزا است.

در سیستم دوم، دال کف با قاب یکپارچه است. اغلب سازه‌های زیر خاکی در دهانه‌های بزرگتر از ۴ متر به صورت باز طراحی می‌شوند. در چنین سازه‌هایی اتصالات صلب در گوشه حائز اهمیت می‌باشد و لنگر منفی به وجود آمده در این اتصالات باعث کاهش لنگر مثبت وسط دهانه می‌گردد. در دهانه کوچکتر از ۴ متر گاهی مواقع اتصال دال سقف به دیوارها به صورت ساده در نظر گرفته می‌شود.

زیرگذرهای عبور پیاده معمولاً به صورت قاب صلب باز طراحی می‌گردد. تونل‌ها و ایستگاه‌های متروهای زیرزمینی به صورت قاب‌های صلب بسته (مقطع جعبه‌ای) می‌باشند. مجاری آبروی جعبه‌ای تک دهانه که دهانه آن از $1/8$ متر تجاوز می‌کند، به صورت قاب صلب در نظر گرفته می‌شود. همچنین در مورد مجاری آبروی چند دهانه که ارتفاع آنها بزرگتر از دهانه می‌باشد، به صورت فوق عمل می‌گردد. در دهانه‌های کمتر از $1/8$ متر، آبروها به صورت مقاطع جعبه‌ای ساخته می‌شوند. به هر حال استفاده از یکی از دو سیستم قاب صلب باز یا بسته به قضاوت مهندسی طراح بستگی دارد.

۳-۲۰ بارهای خاک

وزن مخصوص خاک بالای سازه‌های مدفون در خاک معمولاً مساوی 1950 کیلوگرم بر متر مکعب فرض می‌گردد.

فشار جانبی خاک مساوی فشار مایع معادلی با وزن مخصوص 580 کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می‌شود.

وقتی که سازه مدفون در خاک به صورت قاب صلب باشد، می دانیم که در اثر فشار جانبی در روی دیوارهای سازه، لنگر مثبت وسط دهانه در سقف و کف سازه کاهش پیدا می کند و اگر فشار جانبی مورد نظر در خاک به وجود نیاید، مقاطع وسط سقف و کف در معرض خطر قرار خواهند گرفت. لذا آیین نامه های محاسباتی توصیه می نمایند که در چنین مواردی دو گونه فشار جانبی در ترکیب با بارهای قائم در نظر گرفته شود:

- ۱- فشار مایع معادل با وزن مخصوص ۵۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای محاسبه لنگرهای منفی.
- ۲- فشار مایع معادل با وزن مخصوص ۲۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای محاسبه لنگر مثبت وسط دهانه سقف و کف.

همچنین در هنگام محاسبه حداکثر واکنش در شمع های ردیف عقب فونداسیون دیوار، فشار مایع معادل با وزن مخصوص ۴۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می شود.

در مورد آبروهای با دهانه کوچکتر یا مساوی ۶ متر می توان فشار قائم و فشار جانبی خاک را ۳۰ درصد کاهش داد. این دستورالعمل وقتی قابل استفاده است که عمل قوسی خاک (*arch action*) امکان پذیر باشد. برای به وجود آمدن چنین حالتی، حداقل ارتفاع خاک روی تاج آبرو (یا هر سازه زیرزمینی) لااقل باید ۲ برابر عرض پشت به پشت سازه زیرزمینی باشد. آیین نامه آشتو در آخرین چاپ خود این دستورالعمل را لغو و کاهش فشار را فقط طبق تئوری های شناخته شده مکانیک خاک مجاز دانسته است.

توضیح: در هنگام طرح یک سازه مدفون در خاک و یا یک دیوار حایل، مشکلترین کار مهندس محاسب قضاوت ضریب فشار جانبی خاک است که با توجه به نوع خاک و امکان وجود آب زیرزمینی در محل، مقدار آن تعیین می گردد. اعدادی که آیین نامه آشتو به عنوان وزن مایع معادل پیشنهاد می شود تقریباً مربوط به فشار جانبی خاکی دانه ای با وزن مخصوص 1.95 T/m^2 و $K_{ac}=0.3$ می باشد. استدلال آیین نامه در مورد این انتخاب در دست نیست. عاقلانه این است که مقدار توصیه شده توسط آیین نامه را به عنوان حداقل فشار جانبی بپذیریم. مقدار مطمئن فشار جانبی با توجه به آزمایش های مکانیک خاک محل و وجود یا عدم وجود آب زیرزمینی تعیین می شود که در این مورد مهندس خاک مورد مشاوره مهندس محاسب قرار می گیرد.

فشار حالت سکون در سازه های زیرزمینی^۳
به تجربه ثابت شده است که به مرور زمان به علت پدیده خزش در خاک، فشار وارد بر دیوارهای

سازه‌های زیرزمینی از حالت فعال به حالت سکون افزایش می‌یابد. ضریب فشار سکون برای خاک‌های دانه‌ای می‌تواند از رابطه $1 - \sin \phi$ محاسبه گردد. برای خاک‌های رسی برحسب سختی خاک رس و قابلیت تورم آن، عددی بین ۰/۵ تا ۰/۷ به عنوان ضریب فشار جانبی در حالت سکون قابل توصیه است. به عنوان یک دستورالعمل طراحی، در صورتی که در روابط فشار جانبی اکثراً مقادیر ϕ و c خاک با $\frac{2}{3}\phi$ و $\frac{2}{3}c$ جایگزین گردند، نتیجه حاصل فشار جانبی در حالت سکون خواهد بود.

۲-۴ بارهای زنده

وقتی که ارتفاع خاک روی سازه مدفون در خاک کمتر از ۶۰ سانتی متر باشد، توزیع بار چرخ در روی سازه همانند حالتی خواهد بود که بار چرخ مستقیماً روی دال بتنی قرار می‌گیرد (به فصل سوم مراجعه نمایید).

وقتی که ارتفاع خاکریز روی دال ۶۰ سانتی متر یا بیشتر باشد، بار چرخ روی مربعی به ضلع ۱/۷۵ برابر ارتفاع خاکریز توزیع می‌شود. هنگامی که این مربع‌ها رویهم قرار می‌گیرند، بار چرخ‌ها روی سطح کل توزیع می‌گردد^۳. همچنین وقتی که ارتفاع خاکریز بزرگتر از ۶۰ سانتی متر باشد، احتیاج به میلگردهای توزیع نمی‌باشد.

هنگامی که ارتفاع خاکریز از بزرگترین دو مقدار ۲/۴ متر یا طول دهانه در سازه یک دهانه (یا فاصله دو دیوار خارجی در سازه چند دهانه) تجاوز کند، اثر بار زنده کامیون را می‌توان نادیده گرفت. در مثال‌های حل شده، کاربرد دستورات فوق تشریح می‌شود.

گاهی مواقع از روی سازه‌های مدفون در خاک، بارهای سنگین غیرعادی نظیر بار تانک یا وسایل سنگین خاکبرداری عبور می‌نمایند که بار آنها ممکن است کنترل‌کننده طرح باشد. در چنین مواردی اجازه هیچ‌گونه اضافه تنش نیست و طراحی باید به صورت عادی صورت پذیرد. البته اگر چنین عبورهایی موقتی باشد، در هنگام عبور این وسایل می‌توان در زیر دهانه شمع زد و سازه را برای بارهای عادی طراحی نمود. البته طبق دستورالعمل بارگذاری ایران، بار تانک همیشه باید در محاسبات وارد شود.

اگر بار زنده، بار قطار راه‌آهن باشد، از دستورالعمل‌های آیین‌نامه‌های مربوط به این کار می‌توان استفاده کرد.

برای در نظر گرفتن فشار جانبی ناشی از بار کامیون در روی دیوارها، ۶۰ سانتی متر اضافه

^۳ به مثال حل شده در قسمت ۹ همین فصل مراجعه کنید.

ارتفاع خاک در نظر گرفته می شود. البته در مورد بار قطار و بار وسایل خاکبرداری سنگین، این اضافه ارتفاع به مقدار زیادی افزایش می یابد.

ضربه

به علت وجود خاک در بالای عرشه از اثر ضربه به مقدار زیادی کاسته می شود. جمله مربوط به ارتفاع h در رابطه ضریب ضربه آیین نامه ۱۳۹ (بارگذاری پل ها) برای منظور کردن این حقیقت است (L و h بر حسب متر).

$$\delta = 1.3 - 0.005 L - 0.15 h \geq 1$$

۲۰-۵ بارهای دیگر

در مورد سازه های مدفون در خاک، اثر حرارت به ندرت مسئله ساز خواهد بود. لیکن برای سازه های بلند باید اثر جمع شدگی^۵ (افت) کنترل شود. برای کنترل اثر افت، درزهای انبساط در سقف و دیوار سازه های مدفون در خاک تعبیه می شود. در اثر نشست خاکریز روی سازه، کشش طولی در سازه های مدفون در خاک ایجاد می گردد. به منظور جلوگیری از باز شدن درزهای انبساط، کف و یافونداسیون دیوارها به صورت یکپارچه ساخته می شود و هیچ گونه درزی در آنها تعبیه نمی گردد.

در سازه های مدفون در خاک که زیر سطح آب زیرزمینی ساخته می شوند، باید اثر غوطه وری حتماً کنترل گردد.

فشار آب ممکن است که علامت لنگرها را عوض کند و بر لنگر مثبت وسط دهانه کف بیفزاید که این مورد نیز باید کنترل شود.

در مورد نیروهای حاصل از زلزله در سازه های مدفون در خاک تا زمان حاضر دستورالعمل خاصی تدوین نشده و در شرایط حاضر فعلاً کنترل نیروی زلزله صورت نمی گیرد^۴.

در حالت کلی اثر بارهای باد، نیروهای گریز از مرکز و نیروهای طولی ترمز در محاسبات

سازه های مدفون در خاک در نظر گرفته نمی شود.

4- Sureshurge

5- Shrinkage

* برای طراحی سازه های زیرزمینی در مقابل زلزله هر چند که دستورالعمل مورد تأیید آیین نامه ای وجود ندارد، لیکن روش های زیر از طرف سازمان ها و مهندسان مشاور توصیه شده است:

- ۱- اعمال اعوجاجی مساوی تغییر شکل برشی خاک در هنگام زلزله.
- ۲- فشار جانبی خاک در حالت سکون در یک طرف و فشار اکتیو در طرف مقابل.
- ۳- یک طرف و نصف همین فشار در طرف دیگر.

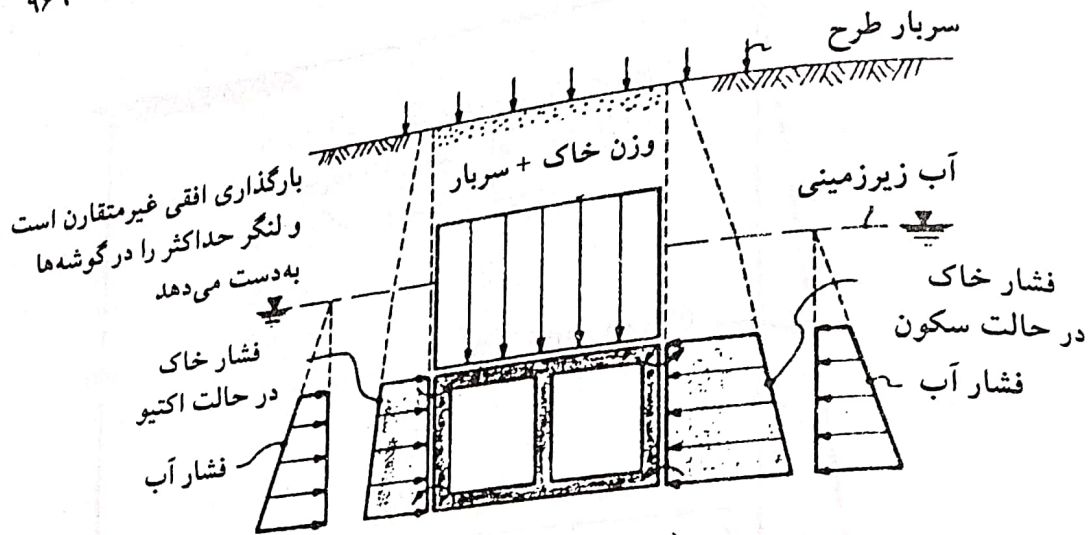
ترکیبات بارگذاری در سازه‌های زیرزمینی شکل ۲۰ - ۱ نشان دهنده ترکیبات بارگذاری به کار رفته در طراحی خطوط متروی شهر واشنگتن می باشد که اجرای آن به صورت ترانشه باز است. در تمام ترکیبات بارگذاری، فشار قائم، مساوی وزن کل خاک روی سازه به علاوه سربار زنده منظور گردیده است. برای مطالعه لنگر خمشی حداکثر سقف در وسط دهانه، ترکیب فشار قائم با فشار جانبی فعال (اکتیو) خاک در نظر گرفته شده است که در واقع نشان دهنده بارگذاری کوتاه مدت می باشد (شکل ۲۰ - ۱ - الف). فشار ناشی از آب های زیرزمینی نیز در حالت پایین ترین سطح آب زیرزمینی انتخاب شده است. برای مطالعه حداکثر لنگر خمشی در ارتفاع دیوار، ترکیب فشار قائم با فشار جانبی حالت سکون با تراز آب زیرزمینی در بالاترین وضعیت منظور شده است که نشان دهنده اثر دراز مدت بارگذاری می باشد (شکل ۲۰ - ۱ - ب). در حالت سوم برای تعیین لنگرهای حداکثر در محل گره ها، بارگذاری نامتقارن، یکطرف فشار سکون و طرف مقابل فشار فعال (اکتیو)، در نظر گرفته شده است (شکل ۲۰ - ۱ - پ). این نحوه بارگذاری با دستورالعمل آیین نامه آشتو در مورد قاب های صلب که مقرر می دارد، فشار جانبی در دو حالت تمام فشار جانبی و نصف فشار جانبی مطالعه شود، ارتباط منطقی دارد.

۲۰-۶ طرح یک زیرگذر عابر پیاده

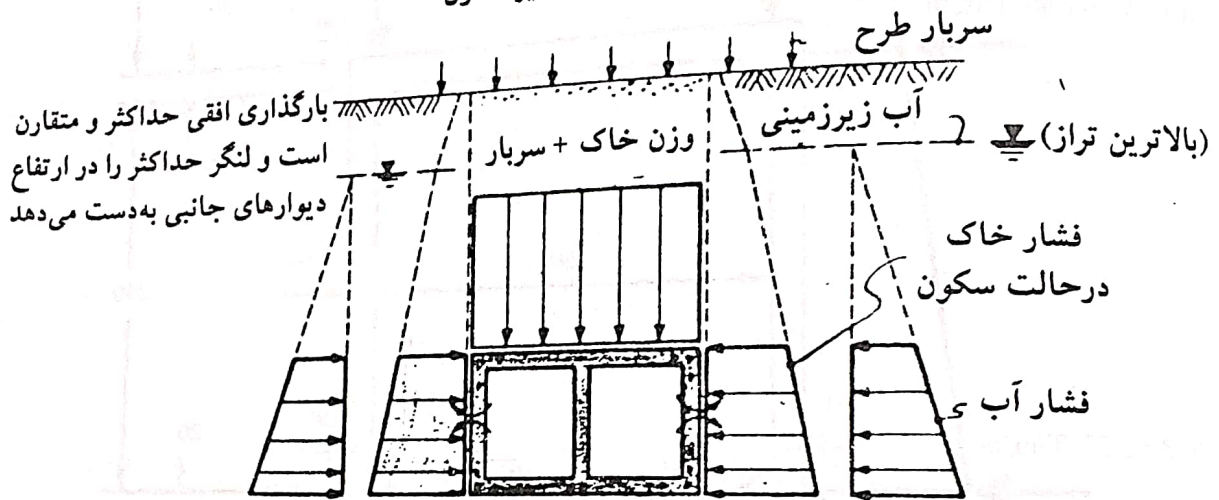
۲۰-۶-۱ مقدمه

شکل ۲۰ - ۲ - الف، نشان دهنده مقطع یک زیرگذر عابر پیاده می باشد. در این شکل علاوه بر مشخصات هندسی زیرگذر، بار قائم و فشار جانبی ناشی از خاک نیز نشان داده شده است. با علم به تشکیل عمل قوسی و کوچکتر بودن دهانه زیرگذر از ۶ متر، در فشار خاک و وزن قائم آن ۳۰ درصد کاهش در نظر گرفته شده است. بارهای نشان داده شده برای پهنای ۱ متر زیرگذر می باشند. با توجه به اینکه ارتفاع خاکریز روی زیرگذر بزرگتر از فاصله بین دو دیوار خارجی می باشد، اثر بار زنده در طرح در نظر گرفته نمی شود.

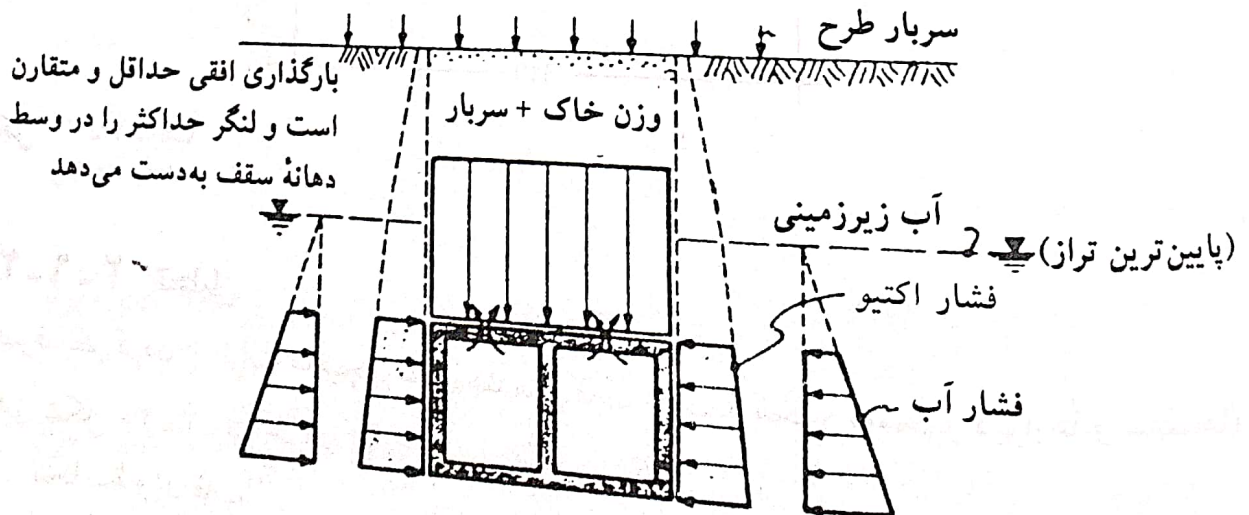
همچنین لازم به تذکر است که زمین منطقه عاری از هرگونه آب زیرزمینی و خاک منطقه مضربه حال بتن تشخیص داده نشده است. با این وجود قبل از خاکریزی، محیط خارجی زیرگذر باید دولا فیروگونی شده و یک تیغه ۱۱ سانت به منظور محافظت قیر و گونی روی آن اجرا شود. همچنین با توجه به دانه ای بودن خاک منطقه، فشار جانبی خاک را می توان طبق آیین نامه آشتو در نظر گرفت. در این مثال، کاهش ۳۰ درصد از فشار قائم و جانبی برای دهانه کوچکتر از ۶ متر طبق دستورات آیین نامه قدیم صورت گرفته است. در طرح های جدید، کاهش فشار باید منطبق بر قوانین مکانیک خاک باشد.



(پ) بارگذاری غیرمتمقارن



(ب) بارگذاری درازمدت



(الف) بارگذاری کوتاه‌مدت

شکل ۲۰-۱ ترکیبات بارگذاری در طراحی متروی شهر واشنگتن

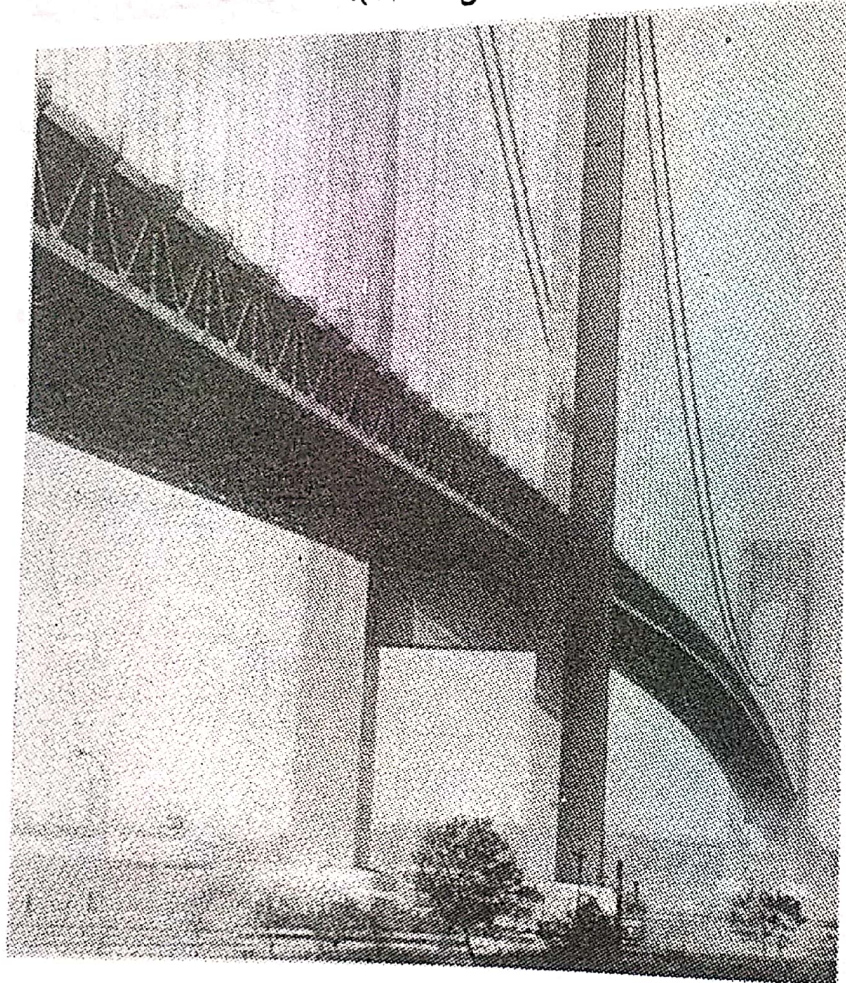
۱۱-۲ اثر باد

۱-۱۱-۲ کلیات

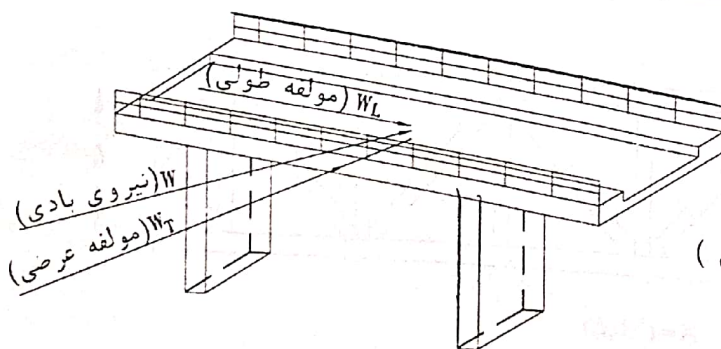
در حالت کلی اثر باد به عواملی چون موقعیت جغرافیایی، ارتفاع منطقه از سطح دریا، وضعیت توپوگرافی محل و مشخصات هندسی پل بستگی دارد.

۲-۱۱-۲ روش محاسبه

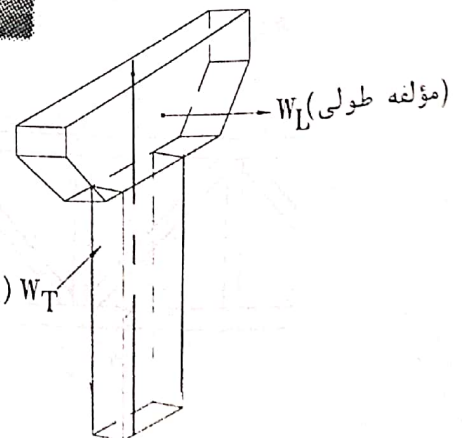
در شرایط متعارف برای تخمین فشار باد بر پل‌ها می‌توان فرض‌های ساده‌کننده زیر را در نظر گرفت:
الف: امتداد باد افقی است و شدت آن روی سطح بادگیر، در دوران بهره‌برداری، بدون بار ترافیک معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و با، بار ترافیک به میزان ۱۲۵ کیلوگرم بر مترمربع خواهد بود. نیروی باد بر مرکز ثقل سطح بادگیر اعمال می‌شود. بار باد در دو امتداد طولی و عرضی به‌طور جداگانه اثر می‌کند، و ترکیب اثر دو امتداد لازم نیست (شکل ۲-۱۳).



خرابی پل معلق تاکوما
تحت بادی با سرعت ۱۳۵
کیلومتر بر ساعت. این
خرابی منشأ تحقیقات
زیادی در زمینه اثر باد بر
پل‌های معلق شد.



(الف) باد وارد بر عرشه



(ب) باد وارد بر پایه

شکل ۲-۱۳

ب: سطح بادگیر عرشه پل و وسایل نقلیه در امتداد عرضی، سطح نمای قائم آنها در امتداد محور طولی پل است و در امتداد طولی نصف همین مقدار در نظر گرفته می شود. در مورد پل های با عرشه متشکل از تیر مشبک، مساحت واقعی محاسبه شده برای تیر مشبک، در ضریب $1/5$ ضرب می شود. در صورتی که جان پناه روی سطح پل اجرا شود، سطح بادگیر آن مشابه سطح عرشه و در صورت تعبیه نرده، سطح بادگیر مشابه تیرهای مشبک محاسبه می شود. ارتفاع سطح بادگیر وسایل نقلیه از روی سطح سواره رو به میزان ۲ متر در سراسر طول پل منظور می شود (شکل ۲ - ۱۴).

پ: نیروی باد

نیروی باد از رابطه زیر به دست می آید:

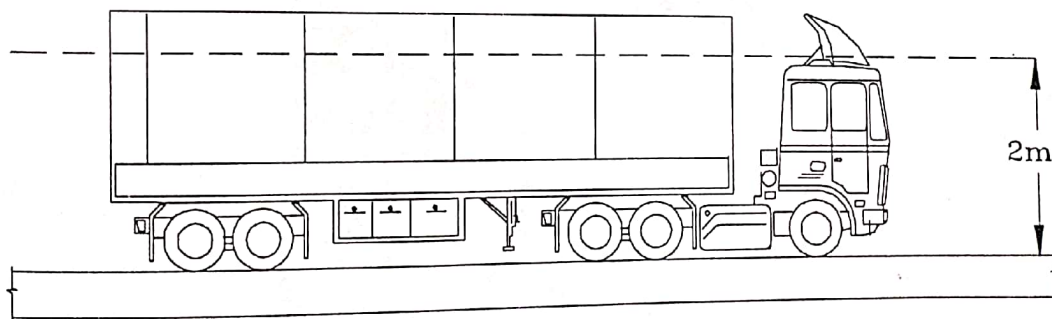
$$(۲ - ۶)$$

در رابطه فوق:

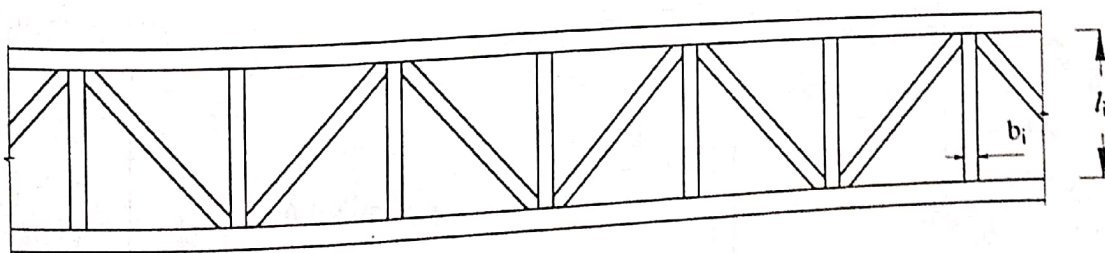
W = نیروی باد

P = شدت بار باد طبق تعریف بند الف

A = سطح بادگیر طبق بند ب (شکل ۲ - ۱۴).



(الف) سطح بادگیر باد روی وسایل نقلیه



$$A = (\sum b_i / i)$$

(ب) سطح بادگیر پل های خربابی

شکل ۲ - ۱۴

۳-۱۱-۲ در موارد خاص نظیر پل‌های معلق و ترکیه‌ای یا پل‌های باریک با دهانه بزرگ که در آنها نیروهای ثقلی و اینرسی محدود است و نیز در روش‌های ویژه اجرایی یا شرایط خاص منطقه‌ای به لحاظ بادخیز بودن، انجام محاسبات آئرو دینامیکی با فرض امتدادهای مختلف برای مسیر باد، بنا به نظر مهندس طراح، ضروری است.

۴-۱۱-۲ سطح بادگیر پایه‌ها در امتداد عرضی، سطح نمای قائم آنها در امتداد محور طولی پل، و در امتداد طولی بزرگترین سطح نمای قائم پایه (سطح واقعی پایه) در نظر گرفته می‌شود، (شکل ۲-۱۳-ب).

تبصره: در صورتی که زاویه مسیر باد مشخص باشد بار باد بر روی پل در امتداد واقعی در نظر گرفته می‌شود.

۵-۱۱-۲ ملاحظات طراحی برای دوران ساخت

۱- مؤلفه افقی فشار باد در دوران ساخت ۱۷۵ کیلوگرم بر مترمربع و سطوح بادگیر عرشه مانند بند ۲-۱۱-۲ در نظر گرفته می‌شود. سطوح بادگیر تجهیزات و ماشین‌آلات روی عرشه پل در زمان اجرا بزرگترین سطح نمای آنهاست.

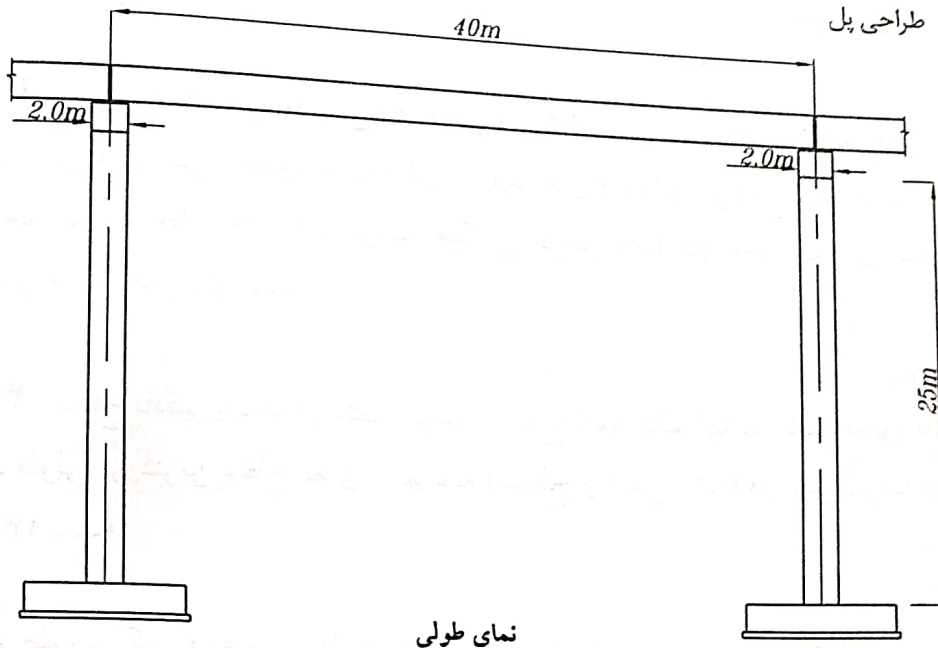
۲- مؤلفه قائم فشار باد در دوران ساخت، به‌ویژه در پل‌های طره‌ای، معادل ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع سطح افقی عرشه در نظر گرفته می‌شود.

۳- اگر عرشه به‌روش طره‌ای آزاد یا روشی مشابه آن اجرا شود، بحرانی‌ترین وضعیت آن است که، مؤلفه افقی یا قائم بار باد به‌طور غیریکنواخت بر روی سطح بادگیر در نظر گرفته شود. به این منظور در یک طرف بازو بار باد به‌طور کامل و در طرف دیگر نصف بار باد اعمال می‌گردد.

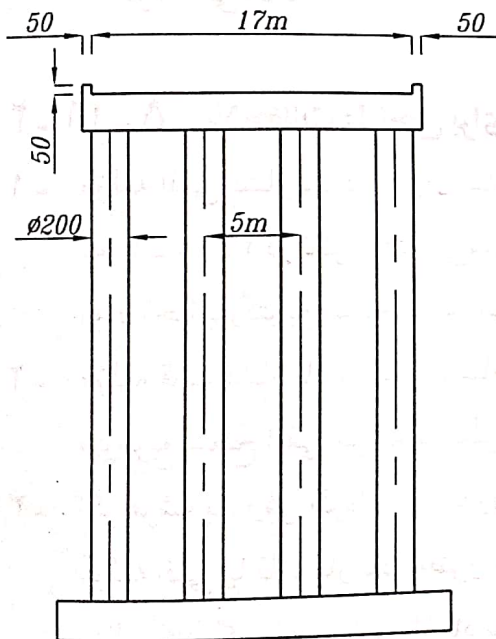
اگر بخشی از عملیات اجرایی در زمان کمتر از یک روز انجام شود، می‌توان مؤلفه افقی فشار باد را به ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و مؤلفه قائم فشار باد را به ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع تقلیل داد، مشروط بر اینکه در این زمان سرعت باد کمتر از ۲۰ متر بر ثانیه باشد.

مثال ۲-۲

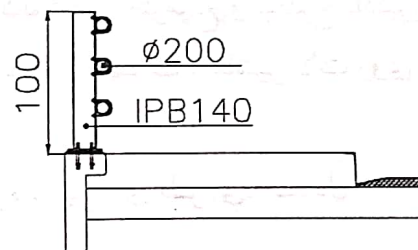
پلی با مشخصات نشان داده شده در شکل ۲-۱۵ مفروض است. نیروی باد عرضی و طولی وارد بر عرشه و پایه را در دو حالت با و بدون ترافیک تعیین کنید. بار باد برای یک پایه در نظر گرفته می‌شود و عرض بادگیر هر پایه از وسط تا وسط دو دهانه مجاور منظور می‌گردد.



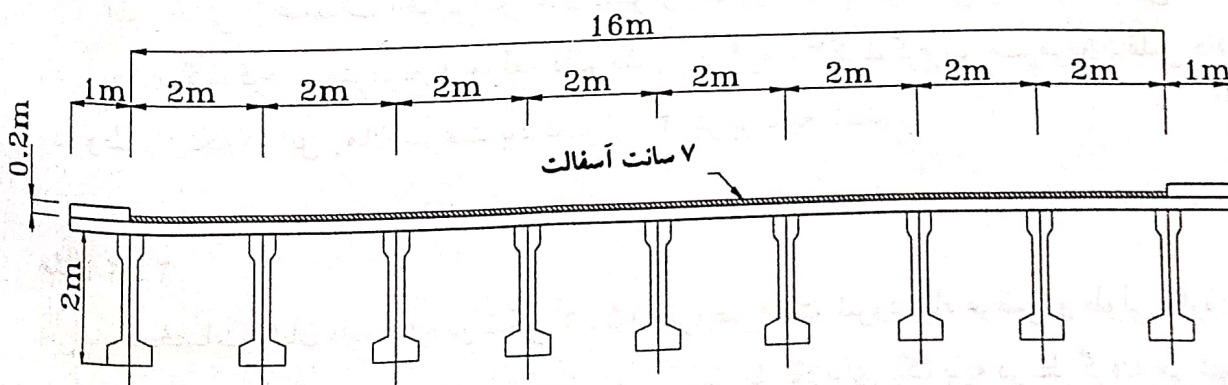
نمای طولی



مقطع عرضی پایه



جزئیات نرده



شکل ۲-۱۵ مقطع عرضی عرشه:

باد عرضی - محاسبه سطوح بادگیر

$$\text{مساحت پایه} = 1 \times 2 \times 25 = 50 \text{ m}^2$$

$$\text{مساحت سر ستون} = 2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح جانبی تیر} = 2 \times 40 = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح بادگیر وسیله نقلیه} = 2 \times 40 = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح بادگیر دال و پیاده‌رو} = 0.4 \times 40 = 16 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح بادگیر نرده با ضریب } 1/5 = 1.5 \left(\left[\frac{40}{3} + 1 \right] \times 1 \times 0.14 + 2 \times 40 \times 0.2 \right) = 26.9 \text{ m}^2$$

باد عرضی بدون ترافیک

$$\text{سطح بادگیر عرضی بدون ترافیک} = 80 + 16 + 26.9 = 122.90 \text{ m}^2$$

$$V_w = 122.9 \times 0.25 = 30.73 \text{ T} \approx 31 \text{ ton}$$

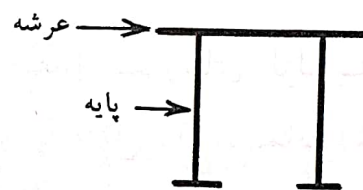
$$V_w = (50 + 4) \times 0.25 = 13 \text{ ton}$$

باد عرضی یا ترافیک

$$\text{سطح بادگیر عرضی با ترافیک} = 80 + 80 + 16 = 176 \text{ m}^2$$

$$V_w = 176 \times 0.125 = 22 \text{ ton}$$

$$V_w = (50 + 4) \times 0.125 = 6.75 \text{ ton}$$



حالت بدون ترافیک حاکم بر طرح می باشد.

باد طولی - محاسبه سطوح بادگیر

$$\text{مساحت پایه} = 4 \times 2 \times 25 = 200 \text{ m}^2$$

$$\text{مساحت سر ستون} = 18 \times 2 = 36 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح جانبی تیر} = \frac{1}{2} \times 80 = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح بادگیر وسیله نقلیه} = \frac{1}{2} \times 80 = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح بادگیر دال و پیاده‌رو} = \frac{1}{2} \times 16 = 8 \text{ m}^2$$

$$\text{سطح بادگیر نرده} = 26.9 \times \frac{1}{2} = 13.45 \text{ m}^2$$

باد طولی بدون ترافیک

$$\text{سطح بادگیر عرشه} = 40 + 8 + 13.45 = 61.45 \text{ m}^2$$

$$V_w = 61.45 \times 0.25 = 15.36 \text{ ton}$$

$$V_w = (200 + 36) \times 0.25 = 59 \text{ ton}$$

باد طولی با ترافیک

$$\text{سطح بادگیر عرشه} = 40 + 40 + 8 = 88 \text{ m}^2$$

$$V_w = 88 \times 0.125 = 11 \text{ ton}$$

$$V_m = (200 + 36) \times 0.125 = 29.5 \text{ ton}$$