



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

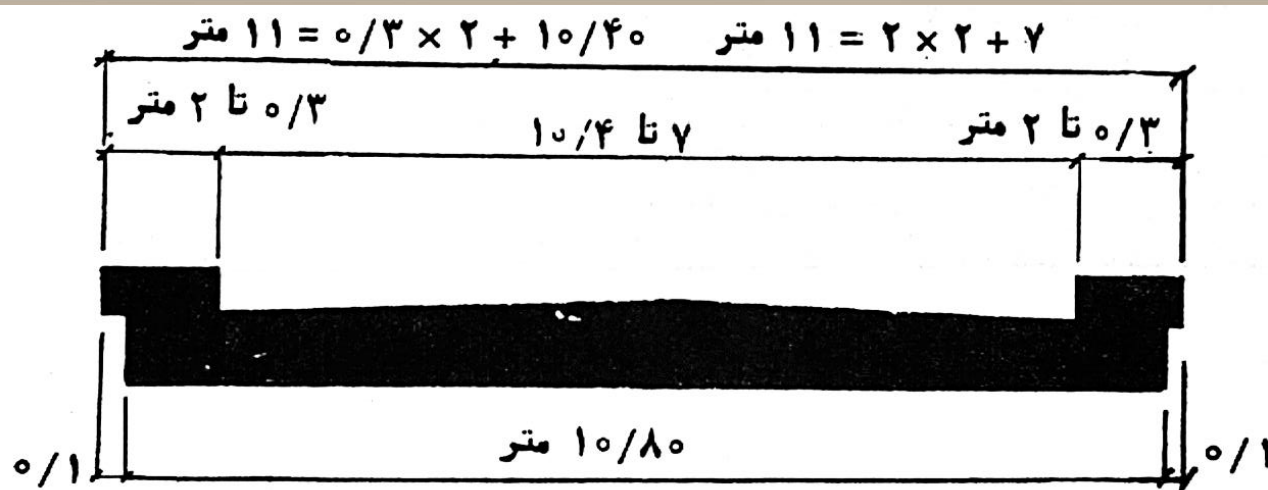


- انتخاب عرض پل ماشین رو و پیاده رو

1.5 - 2.0 m	دو نفر در عرض	پیاده رو
3.0 m	چهار نفر در عرض	

عرض کل	پیاده رو	عرض هر خط عبور	پل های شهری ماشین رو
به اندازه خیابان منتهی به پل	0.3m - 2.0m	3 m	

عرض کل	پیاده رو	عرض سواره رو	تعداد خط عبور	پل های جاده ای	
11-13 m	در هر طرف 2 – 3m	7 m	2	تردد زیاد پیاده	درجه 1
11 m	در هر طرف 0.3m	10.4 m	2	تردد اضطراری پیاده	
7.5-8m	در هر طرف 1m	5.5-6m	2		درجه 2



عرض کل	پیاده رو	عرض سواره رو	تعداد خط عبور	پل های جاده ای	
11-13 m	در هر طرف 2 – 3m	7 m	2	تردد زیاد پیاده	درجه 1
11 m	در هر طرف 0.3m	10.4 m	2	تردد اضطراری پیاده	
7.5-8m	در هر طرف 1m	5.5-6m	2		درجه 2

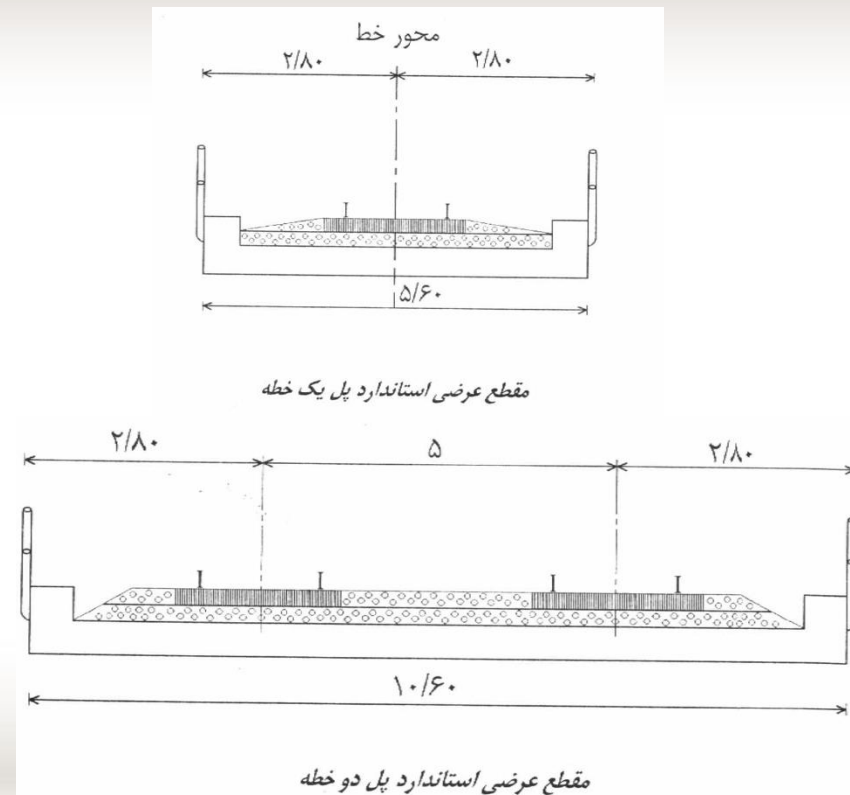
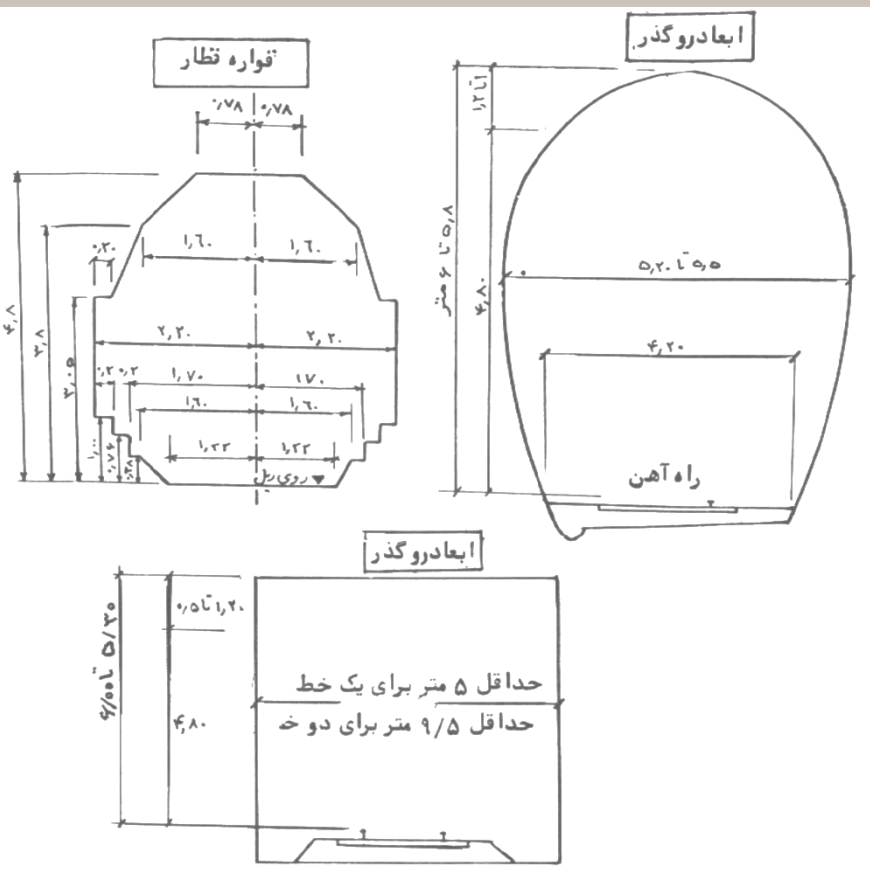


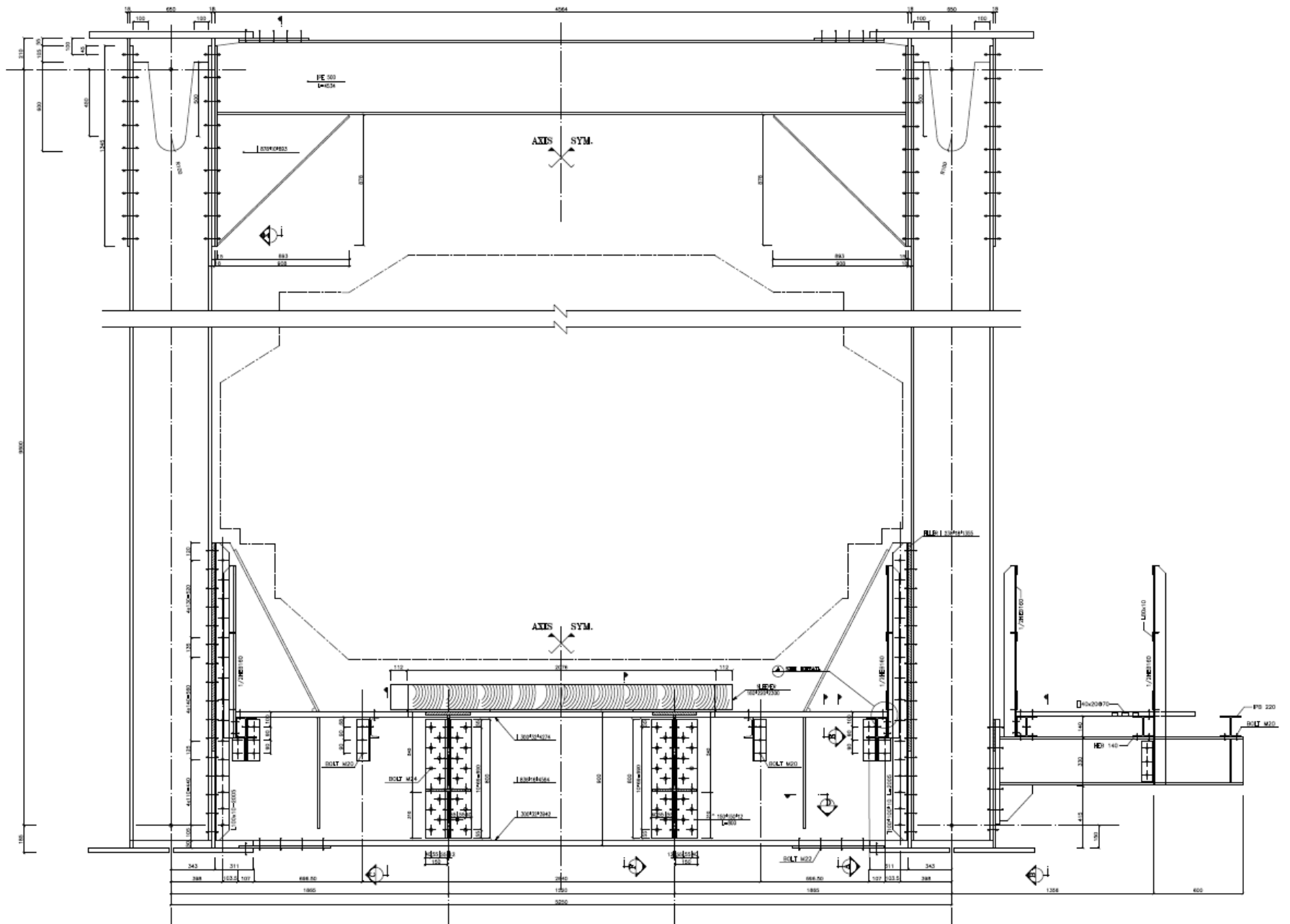
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



- انتخاب عرض پل راه آهن





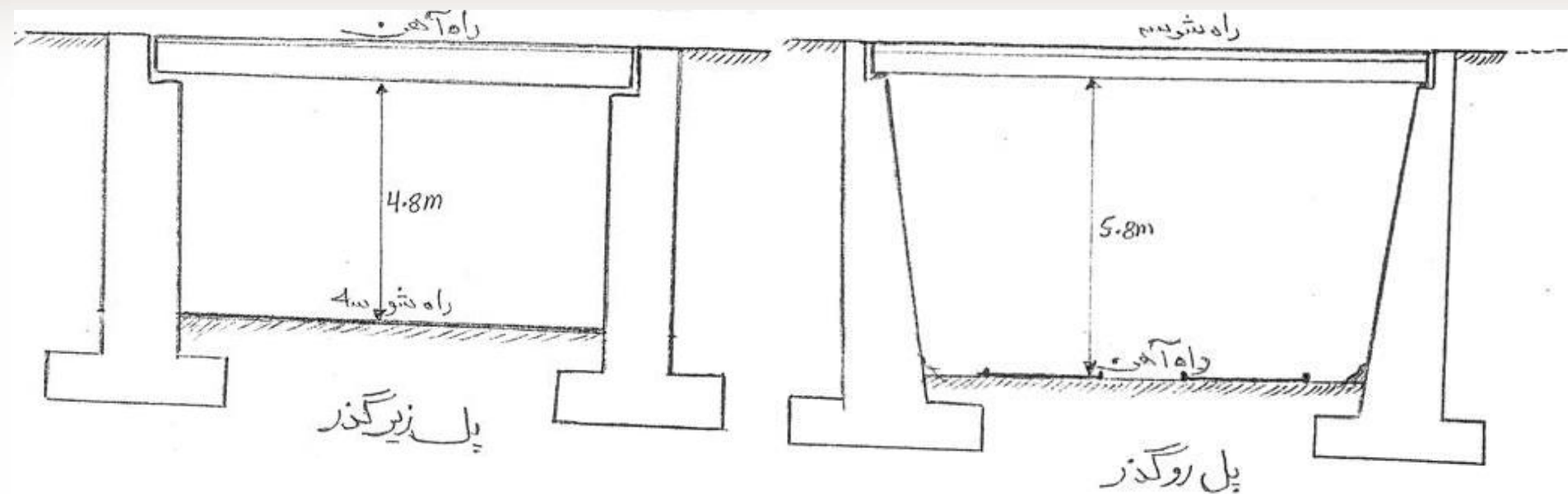


اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



- حداقل ارتفاع آزاد زیر پل



- ارتفاع آزاد برای زیر گذر پیاده معمولاً ۳٫۵ متر در نظر می گیرند



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



طراحی سازه پل

- بارگذاری

- تحلیل

- طراحی



آیین نامه های بارگذاری

۱ بارهای مرده

برای محاسبه وزن قطعات، وزن مخصوص مصالح باید طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی تعیین شود.

۲ بارهای زنده و سایر بارها بجز بار زلزله

بارهای زنده باید طبق مقررات نشریه ۱۳۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری محاسبه شود.

۳ بارهای زلزله

بارهای زلزله باید طبق مقررات نشریه ۴۶۳ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری محاسبه شود.

برای ترکیب بارگذاری پل های فولادی و بتنی از نشریات ۳۹۵ و ۳۸۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری استفاده می شود.



بارهای محاسباتی در نشریه ۱۳۹

D = بارمرده

L = بارزنده

I = ضریب ضربه بارزنده

LF = روی ترمز بار زنده

CF = نیروی گریز از مرکز بار زنده

W = بارباد روی سازه

WL = بارباد روی بارزنده

E = فشار خاک

ST = نیروهای ناشی از نشست تکیه گاهی

T = نیروی حاصل از تغییرات دما

B = نیروی غوطه وری

SF = نیروی حاصل از جریان رودخانه

PF = نیروی حاصل از پیش تنیدگی

R = اثر حاصل از کوتاه شدن قوس و تیرهای پیش تنیده

IP = نیروی برخورد یخ، کشتی و وسائط نقلیه

PA = نیروی وارد بر جان پناه و نرده



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



بارهای وارد بر پل به سه دسته عمده تقسیم می شوند:

بارهای قائم

بارهای جانبی

بارهای خودکرنشی

الف) بارهای قائم

بارهای قائم شامل بارهای مرده، زنده و موارد مشابه می باشند که در امتداد ثقل اثر نموده و عرشه و

پایه های پل را تحت تأثیر قرار می دهند. این بارها غالباً حاکم بر طراحی عرشه می باشند و از طریق

عرشه به پایه ها اعمال می شود.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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 می باشند که اکثراً پایه های پل را تحت تأثیر قرار می دهند. در واقع این نیروها غالباً در عرشه ایجاد می شوند، لیکن عامل اصلی مقاومت در مقابل آنها، پایه ها می باشند.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



پ) بارهای خودکرنشی

این بارها شامل آثار دما، تغییر طول ناشی از پیش تنیدگی و موارد مشابه می باشند که می توانند باعث ایجاد تغییر شکل در تمام سازه ها و ایجاد نیروی داخلی در سازه های نامعین گردند.

در مجموع بارهای محاسباتی در طراحی پل ها به شرح زیر تعریف می شوند که در ادامه طبق آیین



اصول مهندسی پل

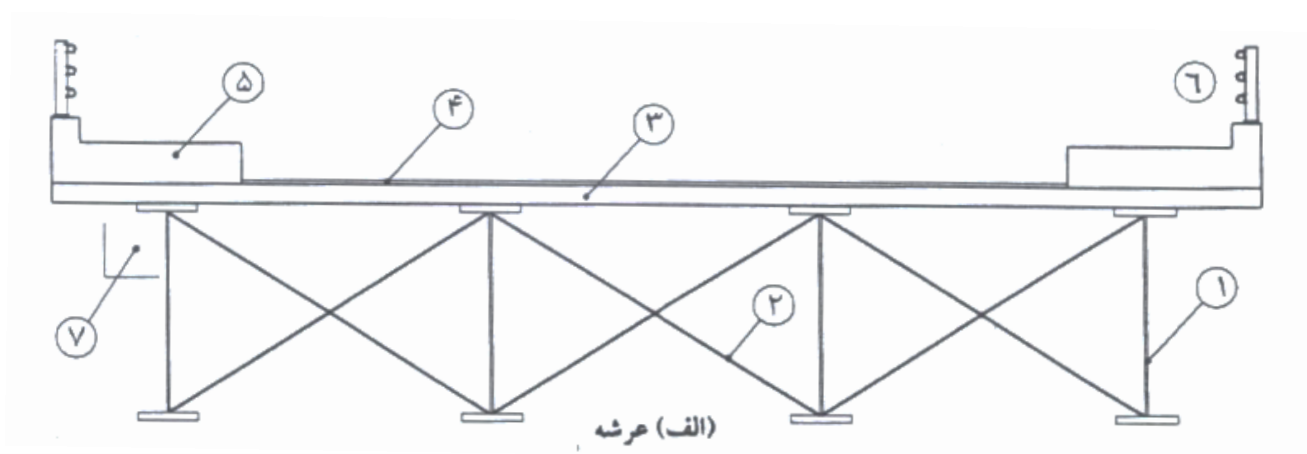
دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



بار مرده عرشه

۱- تیرها، ۲- دیافراگم ها، ۳- دال بتنی، ۴- عایق و آسفالت، ۵- اضافه ضخامت پیاده رو، ۶- نرده ها،

۷- خدمات شهری





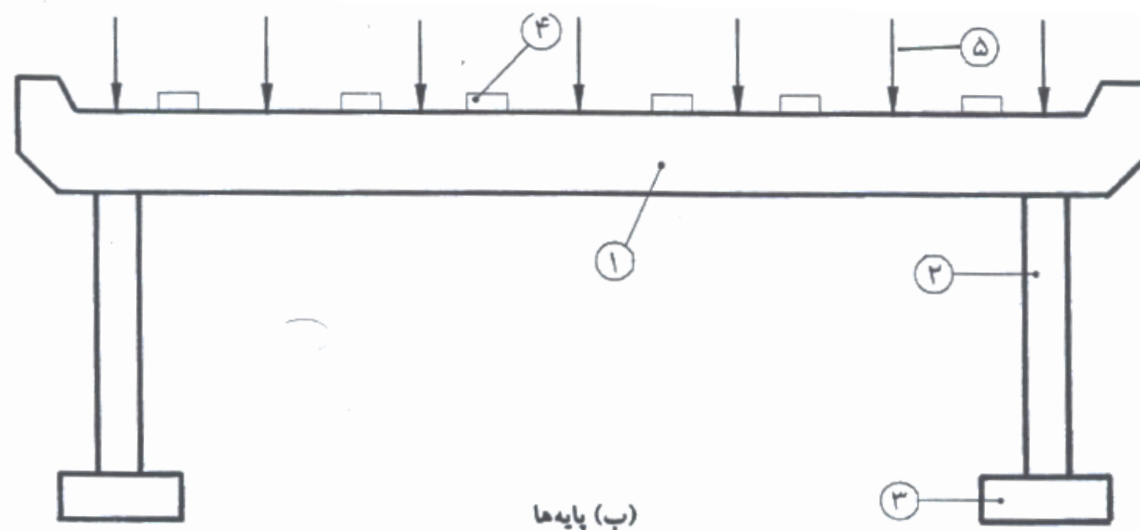
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



بار مرده پایه

۱- تیرسرسون، ۲- پایه ها، ۳- شالوده، ۴- بلوک برشی، ۵- بار مرده منتقله از عرشه، ۶- وزن خاک در کوله ها





اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



وزن مخصوص بارهای مرده

وزن مخصوص بر حسب تن بر متر مکعب	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 غیر متراکم
۲/۲۵	ماکادام یا سنگ قلوه
۲/۰۷	بنایی با سنگ
۲/۲	آسفالت



اصول مهندسی پل

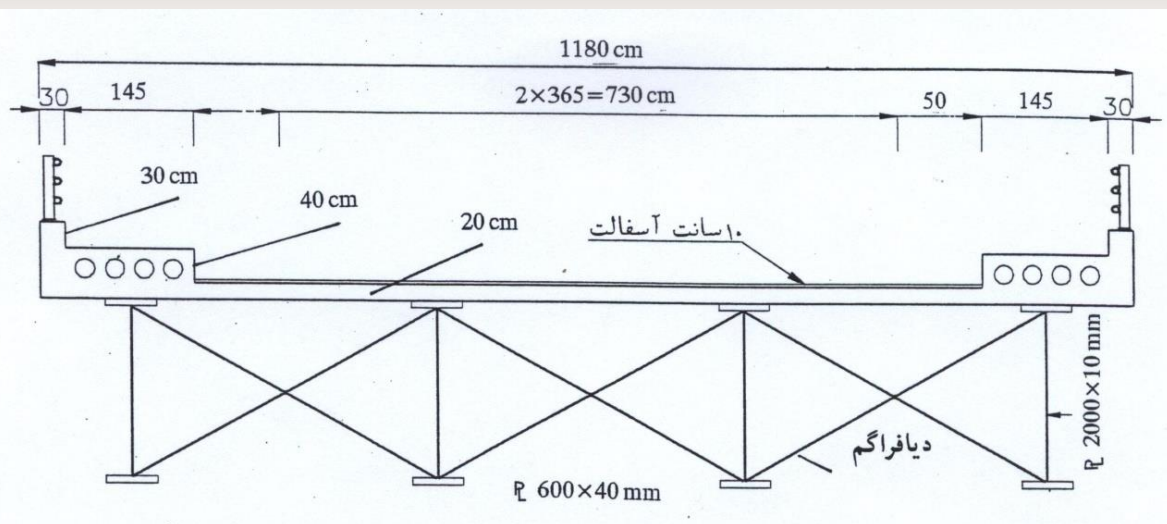
دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



مثال ۱

وزن یک متر طول از عرشه نشان داده شده در شکل ۱ را محاسبه نمایید.

شکل ۱



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

هر تیر ورق سطح

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

هر تیر ورق

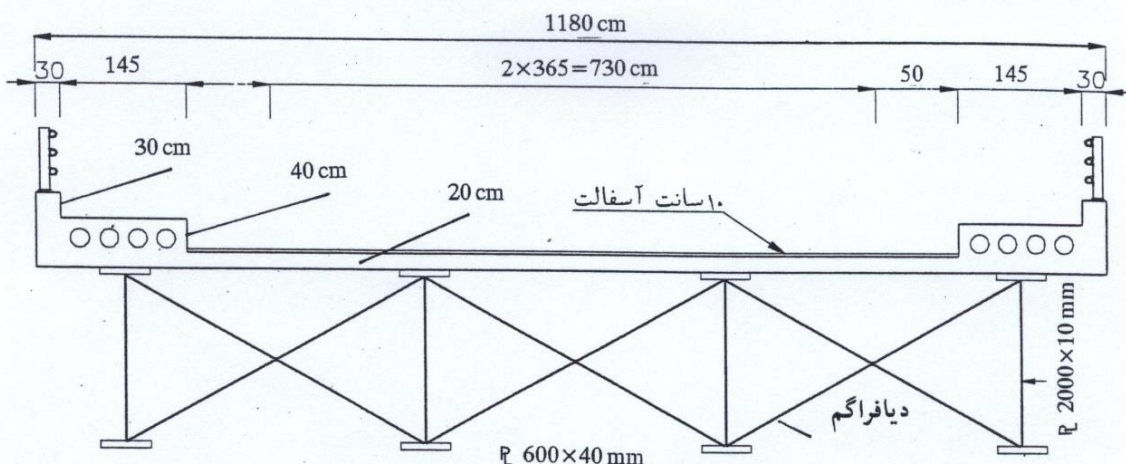
$$W = 1.1 \times 0.53 = 0.6 \text{ ton/m}$$

با احتساب سخت کننده ها



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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

شاهتیرها $W = 0.24 \text{ ton/m}$

$\cong 10\%$ دیافراگم ها

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

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

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



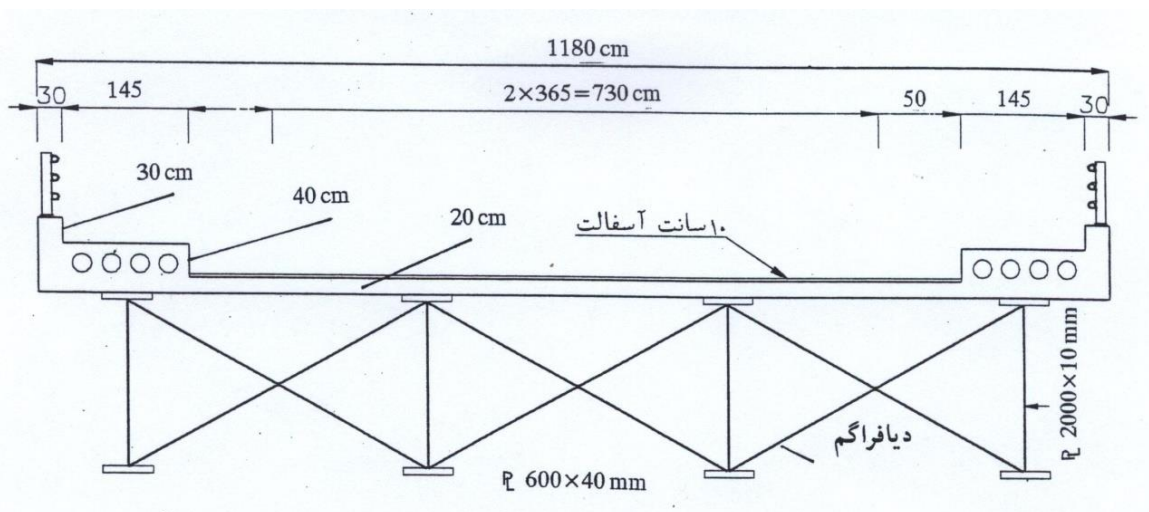
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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

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





بارهای زنده (بارهای بهره برداری)

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 بحرانی ترین شرایط با توجه به منحنی های تأثیر نیروهای داخلی تعیین می شود. مشخصات این بارها به شرح زیر است.



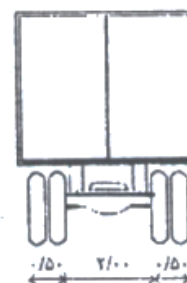
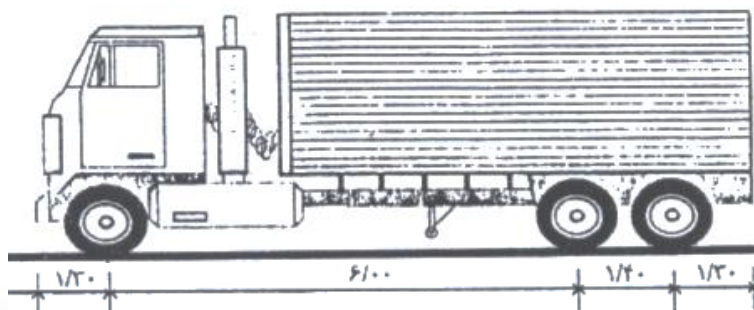
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



بار نوع اول

این بارگذاری که «بار عادی» نامیده می شود، معرف اثر محورهای سنگین، اثر قطار کامیون ها و وسایل نقلیه معمولی است که به طور معمول در سطح راه های کشور تردد نموده و به شرح زیر



می باشند:



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

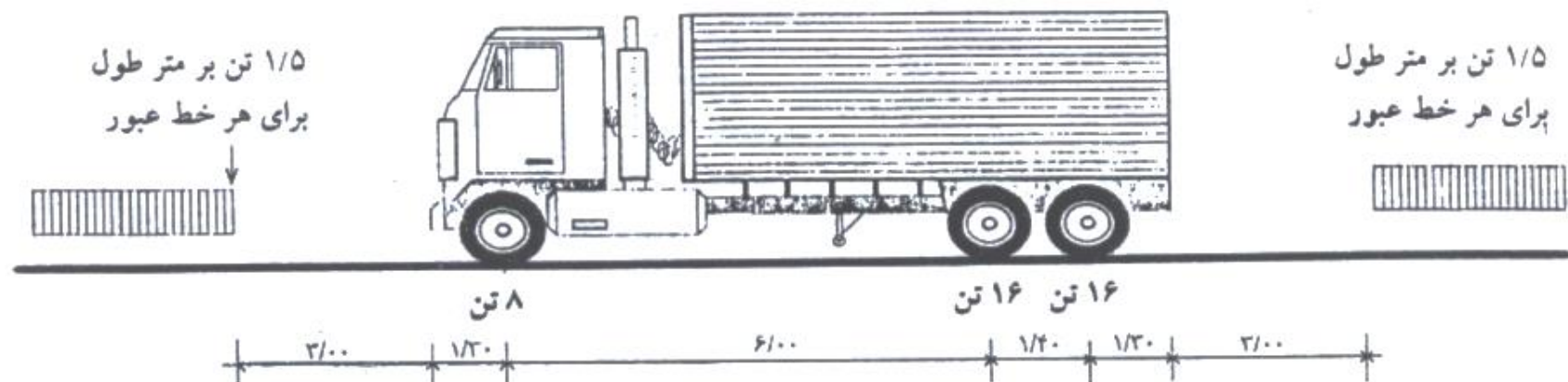


بار عادی هر خط عبور مطابق شکل شامل دو قسمت است

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 به طور پیوسته یا ناپیوسته و به طول های لازم

که بحرانی ترین اثر مورد نظر را ایجاد کند، قرار داده می شود.





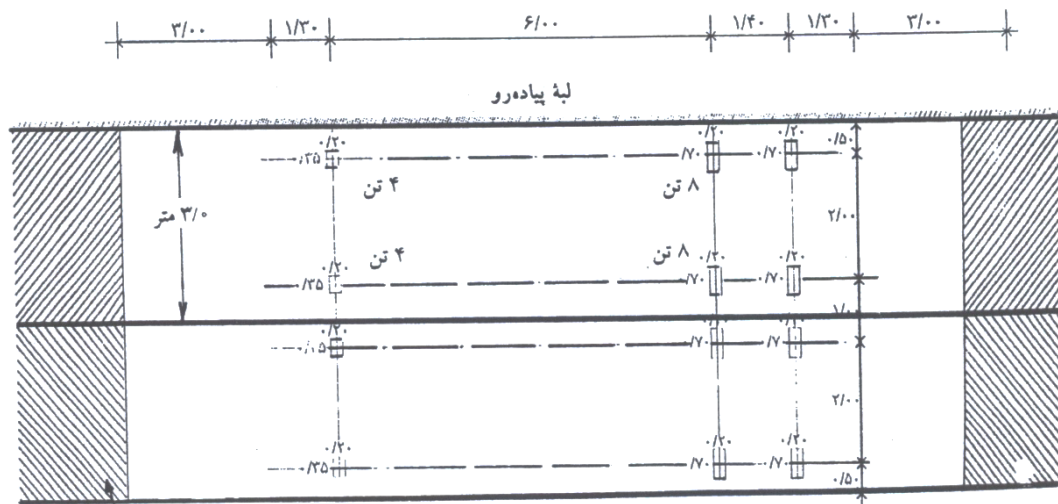
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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 خط های عبور ترافیکی محدود می شود. نحوه استقرار این بار در عرض سواره رو مطابق شکل ۲-۴ است. عرض خط عبور محاسباتی ۳ متر می باشد.



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



تبصره: ضریب کاهش به مناسب همزمانی بارها

در مورد پل های 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
۹/۰	ضریب کاهش	بارگذاری سه خط عبور
۷۵/۰	ضریب کاهش	بارگذاری چهار خط عبور و بیشتر



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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.



بار نوع سوم

در طرح تمامی پل هایی 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:

- ۱- بار تانک (۷۰ تن) ۲- بار تریلی تانک بر (۹۰ تن)

تبصره:

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

ب) حداقل سربار قائم برای خاکریز پشت پایه های کناری پل ها، ۱ تن بر متر مربع در نظر گرفته می شود.

پ) حداقل شعاع گردش تریلی های تانک بر ۵۰ متر است.



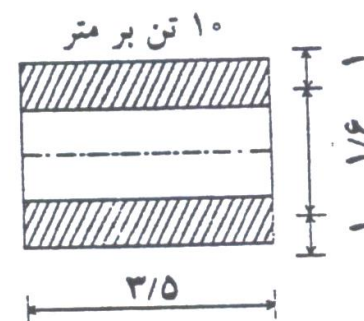
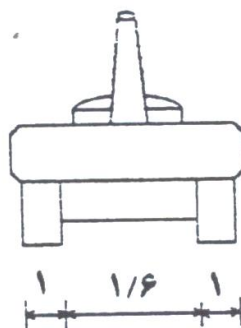
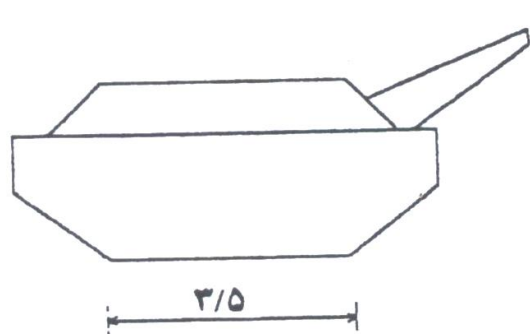
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



۱- بار تانک

این بار به میزان ۷۰ تن روی دو زنجیر به ابعاد ۱/۰۰ متر \times ۳/۵۰ متر مطابق شکل در نظر گرفته می شود. در هر قسمت از عرض سواره رو تنها یک تانک، و در امتداد طول پل حداقل فاصله وسط تا وسط تانک های متوالی ۳۰ متر منظور می شود.





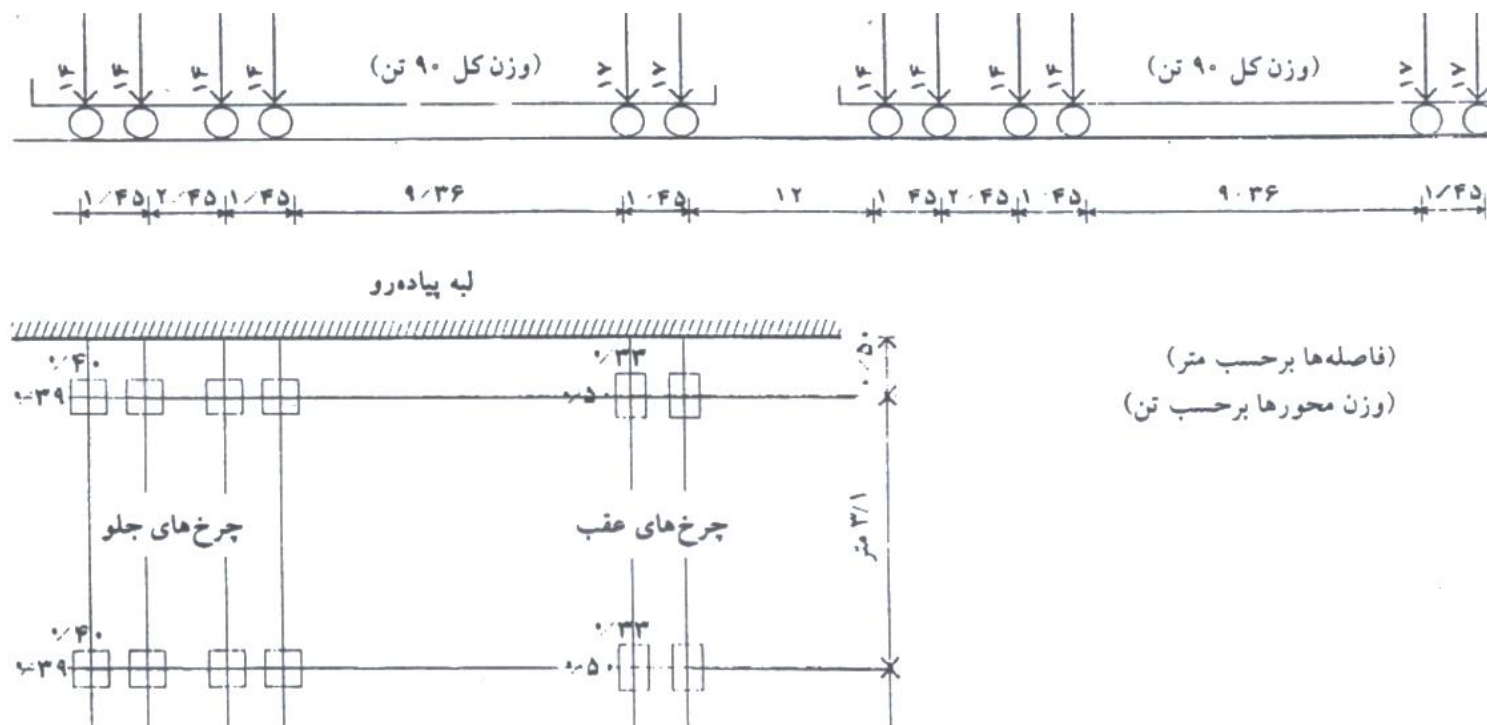
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



۲- بار تریلی تانک بر

این وسیله نقلیه که برای حمل تانک مورد استفاده قرار می گیرد مطابق شکل دارای ۶ محور





اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



تذکر :

در عرض پل تنها یک تریلی و در طول پل حداکثر دو دستگاه تریلی تانک بر با حداقل فاصله بین چرخ های دو وسیله متوالی ۱۲ متر در نظر گرفته می شود. فاصله محور تا محور چرخ ها در تریلی تانک بر، در جهت عرض تریلی، معادل $10/3$ متر و حداقل فاصله چرخ های آن از لبه پیاده رو $0/50$ متر می باشد.



اثر دینامیکی وسایل نقلیه (اثر ضربه)

عوامل ایجاد اثرات دینامیکی بارهای زنده:

- ۱- اثر نیروی گریز از مرکز به علت عبور وسیله نقلیه از روی پل تغییر شکل داده (به صورت کاسه ی)
- ۲- اثر ناگهانی افتادن چرخ وسیله نقلیه در گودال های اتفاقی سطح جاده
- ۳- نیروهای ضربانی متناوب در چرخ های وسیله نقلیه
- ۴- سرعت بارگذاری و تأثیر ناگهانی بارزنده که ایجاد ضربه مستقیم می نماید.
- ۵- ترمز و یا شرع حرکت وسائط نقلیه

آیین نامه ها با تلفیق نتایج حاصل از مطالعات نظری و تجربه، روابط ساده ای برای اثر دینامیکی و ضربه

وسایل نقلیه در پل ها پیشنهاد می نماید.



ضریب دینامیکی (ضربه)

اثر بار عادی (بار کامیون ۴۰ تن و بار خطی همراه با آن) باید در ضریبی به نام ضریب دینامیکی (ضربه) ضرب

شود که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

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

در این رابطه h ارتفاع خاکریز روی پل بر حسب متر است. مقدار L بر حسب متر برای حالت های مختلف به ترتیب زیر تعیین می شود:

- در پل های ساده، L طول دهانه است.

- در پل های یکسره یا پیوسته:

در محاسبه لنگر خمشی مثبت هر دهانه، L طول همان دهانه

در محاسبه لنگرهای خمشی تکیه گاهی، L مقدار متوسط طول های دو دهانه مجاور تکیه گاه مورد نظر است.

- در محاسبه اجزای طره ای، L طول طره است.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



نکته قابل توجه در رابطه آیین نامه، کاهش اثر دینامیکی با بزرگ شدن دهانه می باشد که این مسئله به طور نظری به غیر از مورد ۱، برای تمام موارد ۲ و ۳ و ۴ و ۵ عوامل ایجاد اثرات دینامیکی، صادق است.

در مورد تیرهای عرضی و دال ها، L طول دهانه مربوط است.

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



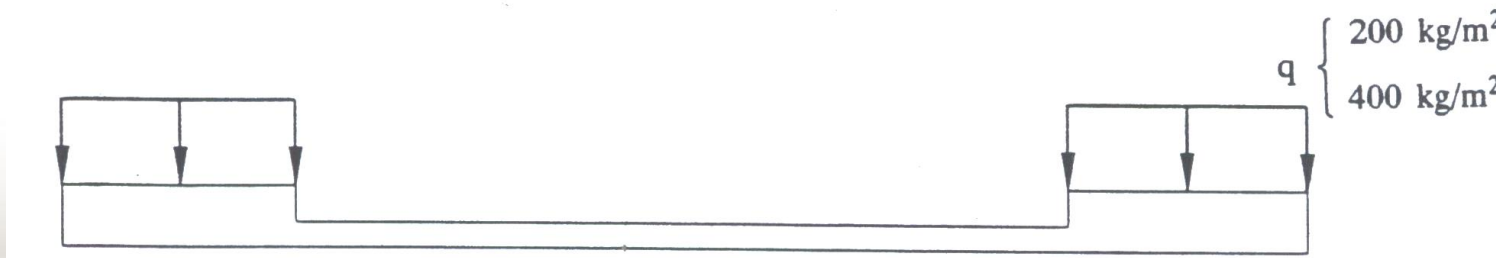
بارهای پیاده رو

برای محاسبه اجزای عرشه پل، بارهای پیاده رو به دو شکل زیر در نظر گرفته می شوند.

۱- پل های سواره رو

در صورتی که بار کامیون محاسباتی یا بار معادل روی سطح سواره رو قرار داده شود، مقدار بار اعمال شده روی هر پیاده رو معادل ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع است.

در محاسبه اجزای ثانوی عرشه پل، غیر از تیرهای باربر و اصلی، باید باری معادل ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در سطح هر پیاده رو اعمال شود.





اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



در شرایط استثنایی باید اثر یکی از چرخ های جلوی کامیون محاسباتی با بار ۴ تن در سطحی به ابعاد 20×35 سانتی متر در نامناسب ترین موقعیت روی سطح پیاده رو منظور شود. اثر این بار با بارهای مذکور در ردیف های فوق ترکیب نمی شود.





اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



۲- پل های عابر پیاده

در مورد پل های عابر پیاده مقدار بار محاسباتی از رابطه زیر تعیین می شود:

$$P = 200 + \frac{15000}{L + 50}$$

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



۲-۴- نیروهای بلند کننده

در دهانه های یکسره وقتی که بارهای زنده در اولین دهانه داخلی قرار گیرند، گاهی مواقع می توانند تولید نیروی بلند کننده در پایه های دیگر نمایند. در این حالت تدابیری برای اتصال کافی عبور گاه پل به پایه های پل به وسیله ایجاد وزنه های بتنی یا بنایی که وزن آن مساوی بزرگترین دو حالت زیر می باشد، در نظر گرفته می شود:

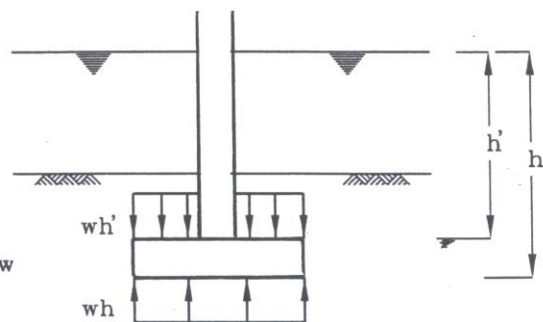
- الف - ۱۰۰ درصد نیروی بلند کننده محاسبه شده ناشی از هر بارگذاری یا ترکیب بارگذاری که در آنها بار زنده به علاوه ضربه دو برابر شده است.
- ب - ۱۵۰ درصد نیروی بلند کننده محاسبه شده در بارهای خدمت



غوطه وری

در حالتی که سمتی از سازه پل در آب به حالت غرق در آید، اثر نیروی غوطه وری باید در طرح در نظر گرفته شود. در خیلی از سازه های کوچک که با آن روبرو هستیم. اثر این نیرو کم اهمیت خواهد بود و در نظر گرفتن آن هیچ اثر اقتصادی در طراحی فونداسیون ها نخواهد داشت. در سازه های بزرگ اثر این نیرو در طراحی و فونداسیون ها باید در نظر گرفته شود. مقدار نیروی به طرف بالای غوطه وری در

شمع ها به ۴۰ درصد بار مجاز طراحی محدود می گردد.



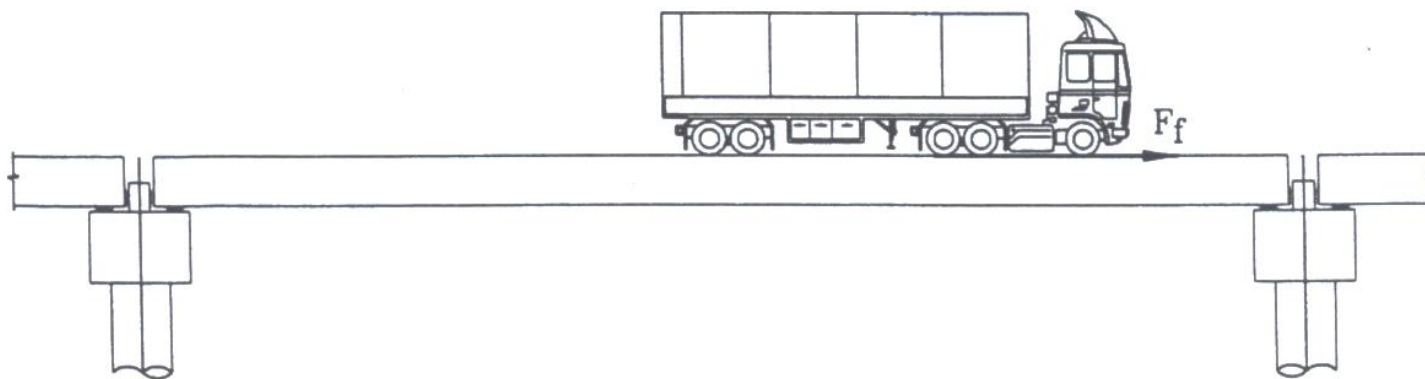
w = وزن مخصوص آب



بارهای جانبی

۲-۶- اثر ترمز

برای تعیین اثر ترمز وسایل نقلیه روی پل، فرض می شود فقط یک نیروی افقی در یکی از خطوط عبور اعمال شود.





اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

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

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 وزنه به آن اعمال نمی شود.

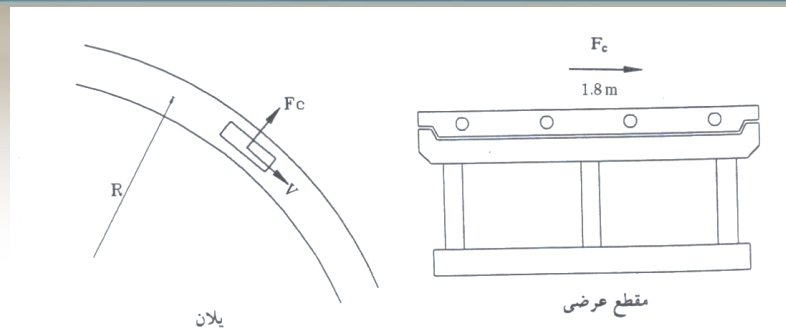


اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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:



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

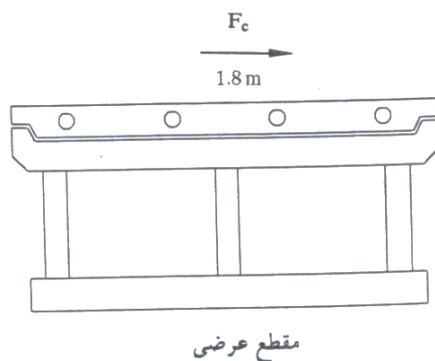
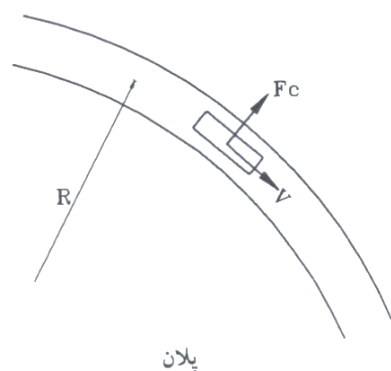


$$F_c = K_c \cdot W$$

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

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 ۸/۱ متر، و در بالای عرشه پل اعمال می شود.





برخورد وسایل نقلیه و قطعات یخ به پایه ها

۱- پل های روگذر

پایه هایی از پل های سواره رو که در کناره راه واقع می شوند باید برای جلوگیری از برخورد وسایل نقلیه، به وسیله دیواره یا جان پناه محافظت شوند. چنانچه این گونه محافظت ها به عمل نیابد باید روی پایل 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 می کند.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



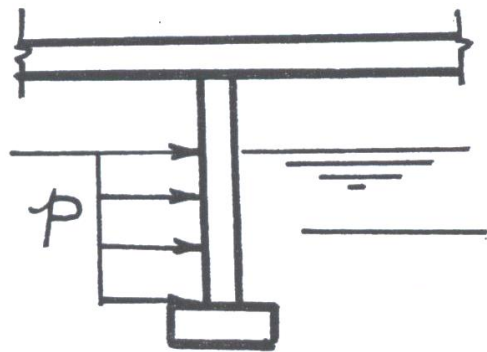
۲- پل های واقع روی رودخانه ها و آبروها

چنانچه احتمال برخورد کشتی یا قطعات یخ به پایه های پل، بدون هر گونه سیستم محافظ و مستهلک کننده، وجود داشته باشد، لازم است بارهای مربوط با توجه به مدارک علمی معتبر تعیین و در محاسبات وارد شوند.



نیروهای ناشی از جریان آب و فشار یخ

فشار یخ معادل ۳۰ بر سانتی متر مربع در نظر گرفته شود. ضخامت یخ و ارتفاعی که در آن فشار یخ بر پایه وارد می گردد، باید با توجه به مطالعات محلی تعیین شود. توزیع فشار در ارتفاع پایه به صورت گسترده یکنواخت فرض می شود. فشار ناشی از جریان آب بر روی پایه ها، توسط رابطه زیر محاسبه می گردد.



$$P = 51.2 \text{ KV}^2$$

که در آن:

P = فشار وارده بر حسب کیلوگرم بر متر مربع

V = سرعت آب بر حسب متر بر ثانیه

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



$K=1.375$



$K=0.5$



$K=0.67$



فشار جانبی خاک

اثر فشار جانبی خاک ها بر اعضای پل باید به دقت محاسبه گردد. رابطه محاسبه فشار جانبی خاک، رابطه رانکین خواهد بود ولی در هر حال اعضای مقاوم رد مقابل رانش باید حداقل قادر باشند رانش نظیر مایعی با وزن مخصوص ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب را تحمل نمایند.

در صورتی که چرخ های وسایل نقلیه بتوانند تا فاصله ای 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 سانتی متر بر ارتفاع واقعی خاک با وزن مخصوص $\frac{1}{4}$ تن بر متر مکعب، به دست می آید، کمتر نگردد.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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 می توان حذف کرد.

در سازه هایی از نوع قاب صلب () ، فشارهای جانبی باعث کاهش لنگر مثبت

وسط دهانه در ترکیب با بارهای قائم (مرده یا زنده) می گردد. به همین علت در طراحی این گونه

سازه ها آیین نامه پیشنهاد می کند که قاب در دو حالت، یکی حالتی که تحت تأثیر رانش مایعی با

وزن مخصوص ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب قرار دارد و دیگری در حالتی که تحت تأثیر رانش مایعی

با وزن مخصوص ۲۵۰ کیلوگرم در متر مکعب (نصف حالت قبل) قرار دارد، حل شود و سپس برای

بحرانی ترین نیروهای دو حالت فوق طراحی گردد.



اثر باد

کلیات

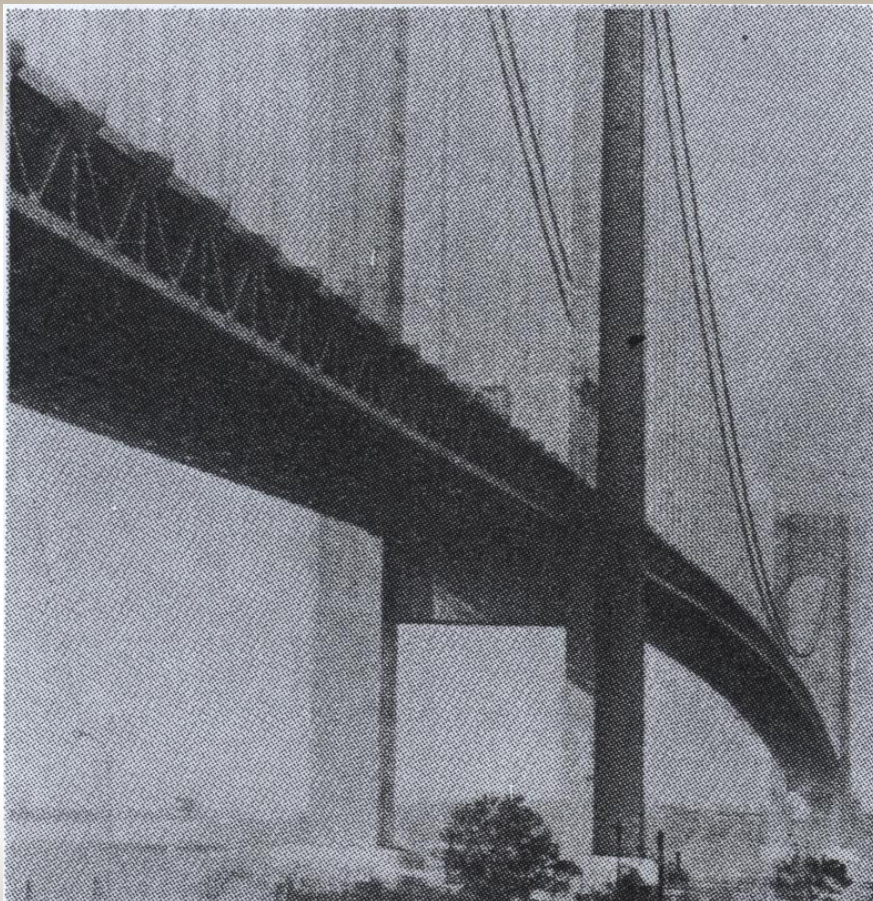
در حالت کلی اثر باد به عواملی چون موقعیت جغرافیایی، ارتفاع منطقه از سطح دریا، وضعیت توپوگرافی محل و مشخصات هندسی پل بستگی دارد.

در موارد خاص نظیر پل های معلق و ترکه ای یا پل های باریک با دهانه بزرگ که در آنها نیروهای ثقلی و اینرسی محدود است و نیز در روش های ویژه اجرایی با شرایط خاص منطقه ای به لحاظ با ذخیر بودن، انجام محاسبات آئرو دینامیکی با فرض امتدادهای مختلف برای مسیر باد، بنا به نظر مهندس طراح، ضروری است.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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



روش محاسبه

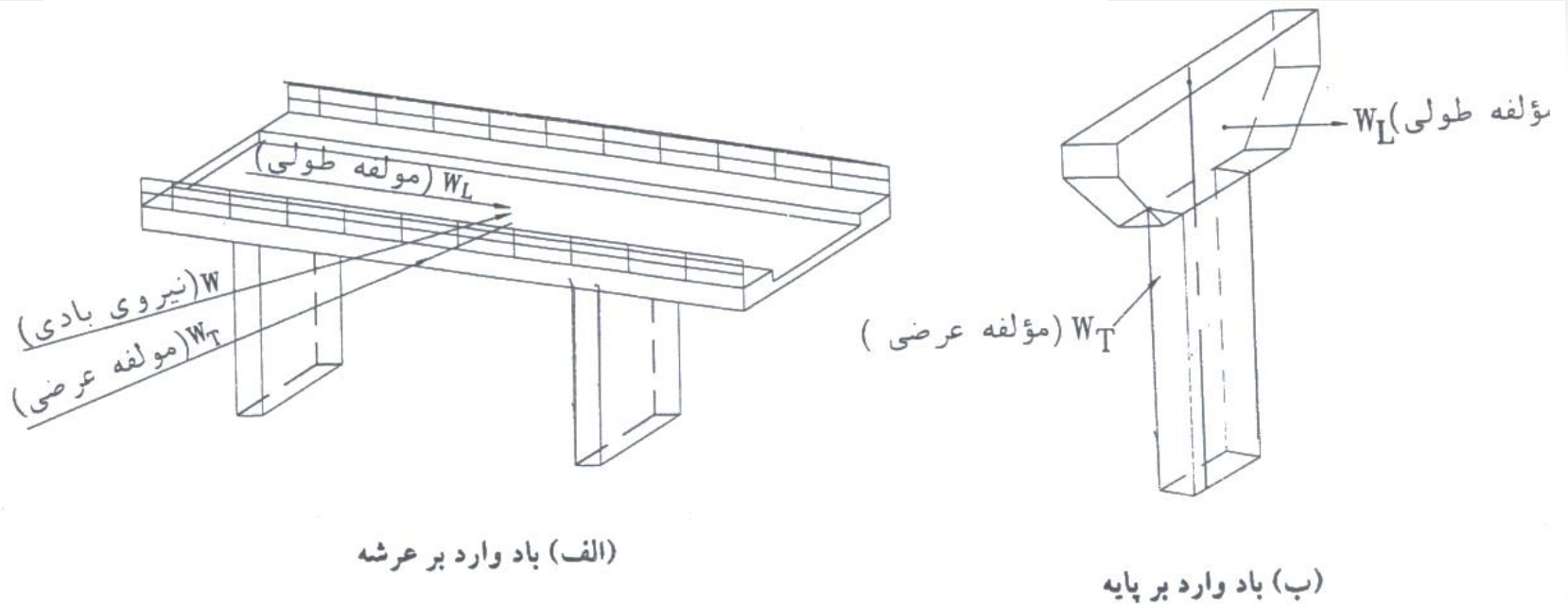
در شرایط متعارف برای تخمین فشار باد بر پل ها می توان فرض های ساده کننده زیر را در نظر گرفت:

الف: امتداد باد افقی است و شدت آن روی سطح بادگیر، در دوران بهره برداری، بدون بار ترافیک معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و با، بار ترافیک به میزان ۱۲۵ کیلوگرم بر متر مربع خواهد بود. نیروی باد بر مرکز ثقل سطح بادگیر اعمال می شود. بار باد در دو امتداد طولی و عرضی به طور جداگانه اثر می کند، و ترکیب اثر دو امتداد لازم نیست.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران





اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



نیروی باد

$$W = P \cdot A$$

نیروی باد از رابطه مقابل به دست می آید:

در رابطه فوق:

W = نیروی باد

P = شدت بار باد طبق تعریف بند الف

A = سطح بادگیر طبق بند ب



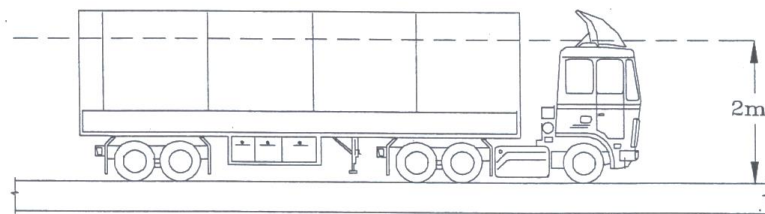
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

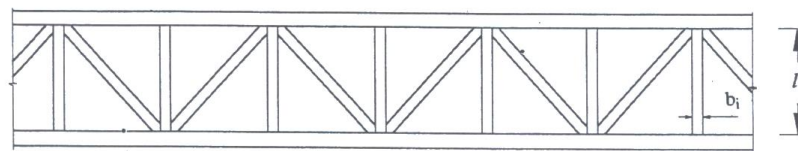


سطح بادگیر پایه ها در امتداد عرضی، سطح نمای قائم آنها در امتداد محور طولی پل، و در امتداد طولی بزرگترین سطح نمای قائم پایه (سطح واقعی پایه) در نظر گرفته می شود،

تبصره: در صورتی که زاویه مسیر باد مشخص باشد بارباد بر روی پل در امتداد واقعی در نظر گرفته می شود.



(الف) سطح بادگیر باد روی وسایل نقلیه



$$A = (\sum b_i l_i)$$

(ب) سطح بادگیر پل های خرابایی



ملاحظات طراحی برای دوران ساخت

۱- مؤلفه افقی فشار باد در دوران ساخت ۱۷۵ کیلوگرم بر متر مربع روی سطوح بادگیر عرشه در نظر گرفته می شود و سطح بادگیر تجهیزات و ماشین آلات روی عرشه پل در زمان اجرا بزرگترین سطح نمای آنهاست.

۲- مؤلفه قائم فشار باد در دوران ساخت، به ویژه در پل های طره ای، معادل ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع سطح افقی عرشه در نظر گرفته می شود.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



۳- اگر عرشه به روش طره ای آزاد یا روشی مشابه آن اجرا شود، بحرانی ترین وضعیت آن است که، مؤلفه افقی یا قائم بارباد به طور غیریکنواخت بر روی سطح بادگیر در نظر گرفته شود. به این منظور در یک طرف بازو بار باد به طور کامل و در طرف دیگر نصف بارباد اعمال می گردد.

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



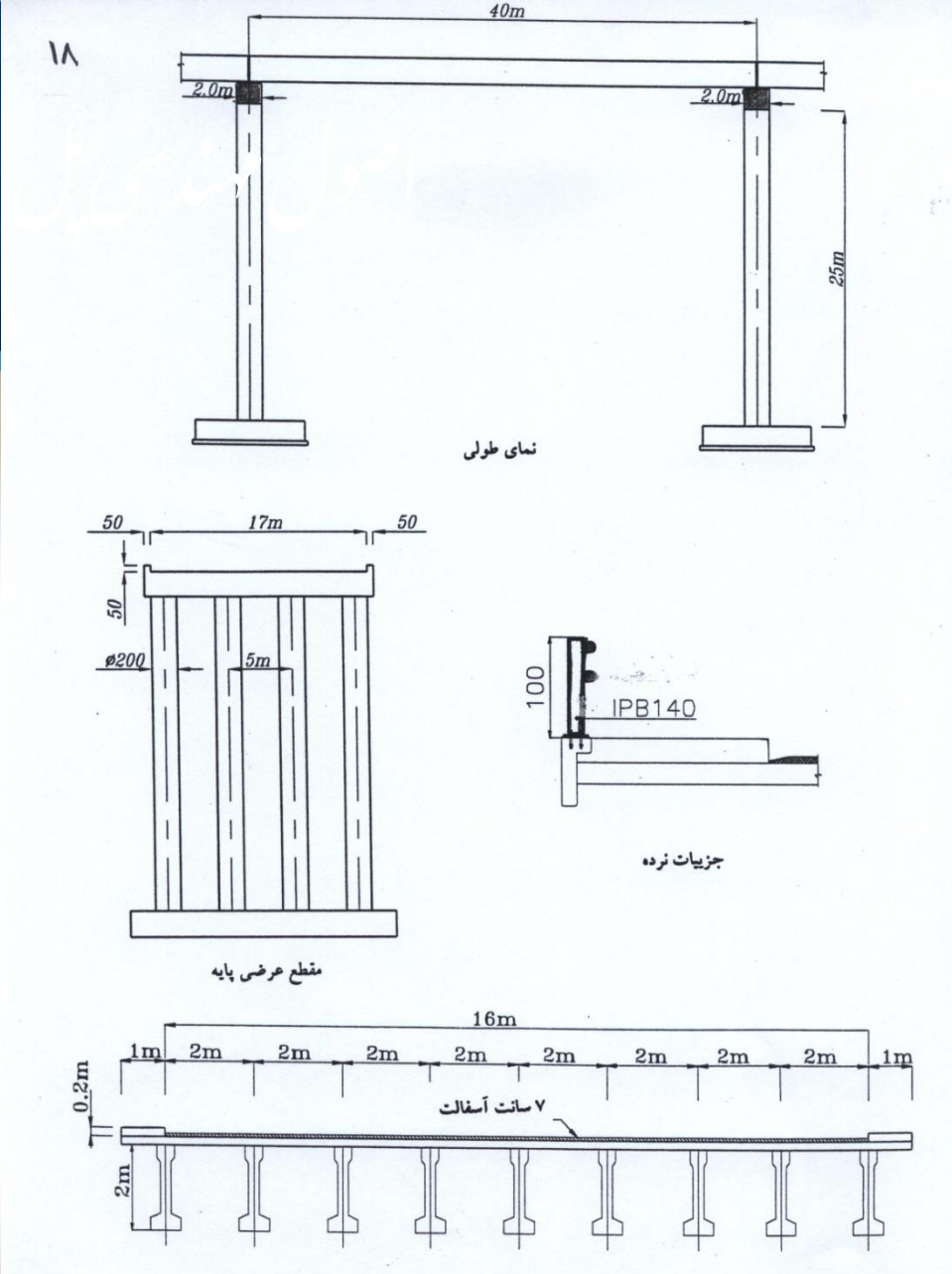
اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



مثال

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



مقطع عرضی عرشه



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



باد عرضی - محاسبه سطوح بادگیر

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

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

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

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

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

سطح بادگیر نرده با ضریب ۵/۱ $= 1.5 \left(\left[\frac{40}{3} + 1 \right] \times 1 \times 0.14 + 2 \times 40 \times 0.2 \right) = 26.9 \text{ m}^2$



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

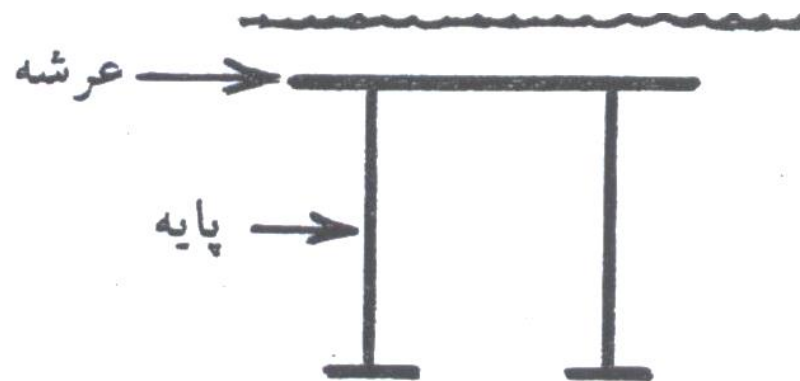


باد عرضی بدون ترافیک

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

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

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



حالت بدون ترافیک حاکم بر طرح می باشد.



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



باد طولی - محاسبه سطوح بادگیر

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

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

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

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

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

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



اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران



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

باد طولی بدون ترافیک

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

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

باد طولی با ترافیک

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

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

پایه $V_w = (200 + 36) 0.125 = 29.5 \text{ ton}$