

استاد: دکتر میررضایی
مراجع:

۱. طراحی پل: نیماور طاقونی

۲. جزوه درسی دکتر برقیان: دانشگاه تبریز

۳. طراحی لرزه‌ای پل‌ها: chen

۴. طراحی روسازی پل: super structure (عرشه، تیر، ...): chen

۵. طراحی زیرسازی پل: sub structure (فونداسیون، کولا، ...): chen

۶. آیین‌نامه‌های طراحی پل

موضوعات:

۱. آشنایی با مهندسی پل

۲. بارهای وارده بر پل

۳. سیستم‌های سازه‌ای عرشه و تحلیل آن‌ها

۴. خطوط تأثیر

۵. طراحی لرزه‌ای پل‌ها

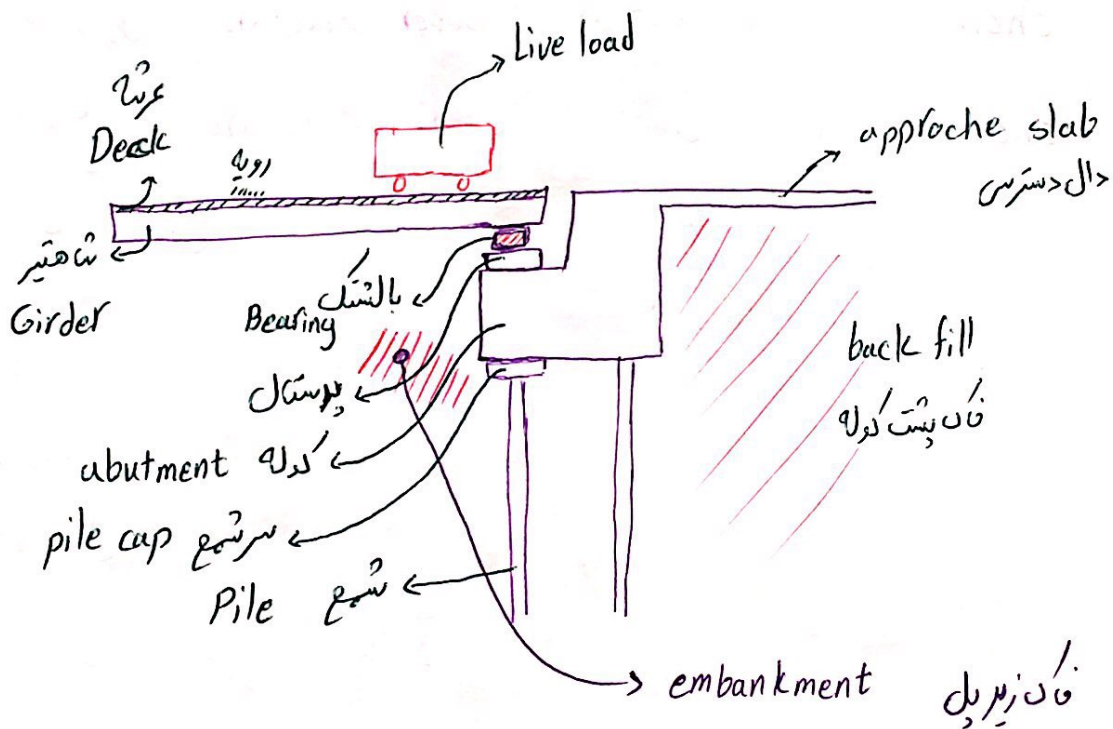
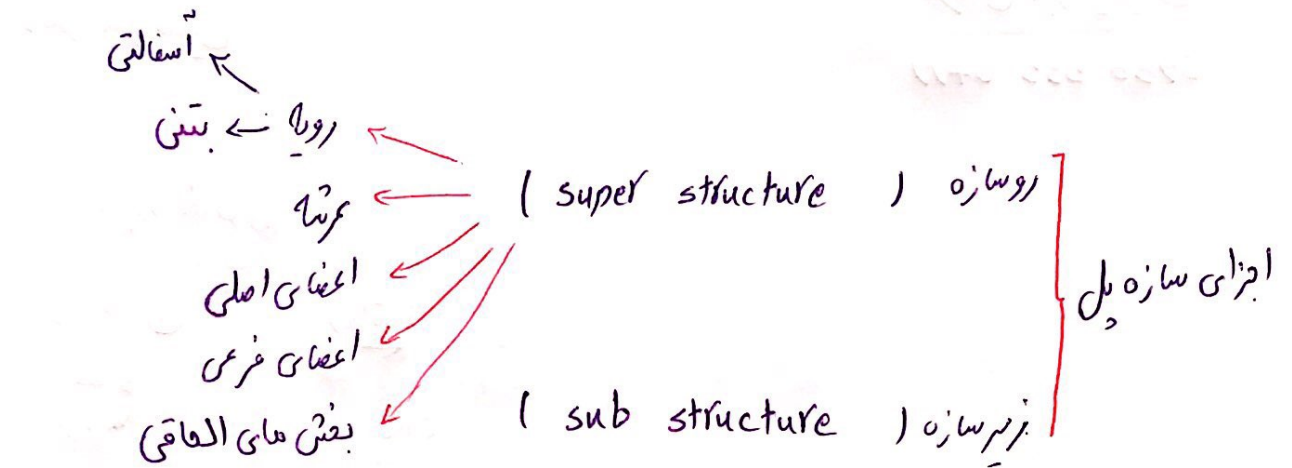
۶. طراحی عرشه یک عنصری

۷. طراحی عرشه دو عنصری

نیمسال اول ۹۷-۹۸

(مهر ۹۷)

فصل اول: آشنایی با اجزای پل



اعضای اصلی روسازه ← تیرها ، شایترها ، خرپاها ، ...

اعضای فرعی روسازه ← دیافراگم ، مهارهای عرضی و طولی

بعضی‌های العاقی روسازه ← درزهای انبساط ، نمره‌های علامت ، چراغ‌ها ، ...

زیر سازه:

1. تکیه گاه
2. تولا
3. ستون
4. سرستون (در صورت وجود)
5. فونداسیون
6. شمع
7. سرشمع
8. ستونک یا بدستال

طبقه بندی پل ها

الف) طبقه بندی پل ها از نظر طول

- دعانه کوتاه کمتر از 10m
- دعانه متعارف تا 150m
- دعانه های بلند بیشتر از 150m

پل ها با مصالح بتنی

ب) طبقه بندی پل ها از نظر مصالح

پل های بتنی پیش تنیده (پیش کشیده با سرب یا پس کشیده)

پل های فولادی و پل های مختلط یا کامپوزیت

aqueduct آب رو

- پل روگذر

viaduct پل دره ای

- پل زیرگذر

Pipe line خط لوله

foot bridge پل عابر پیاده

High Way bridge پل شاهراهی

پل راه آهن

پل های شادمانی

پل های فریابی

پل های قوسی

پل های قلابی

پل های طره ای

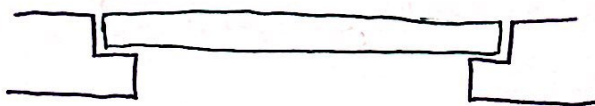
پل های کابلی

پل های صفحه ای

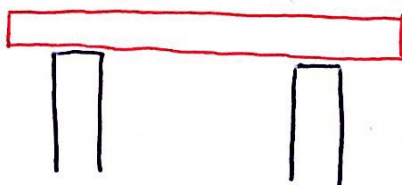
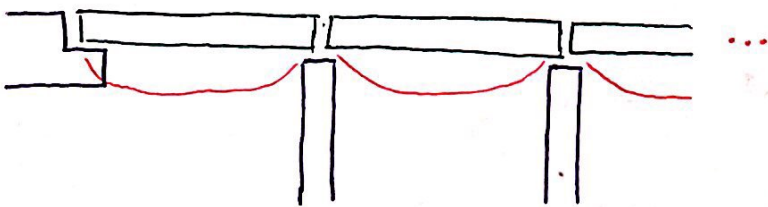
1) طبق بندی پل ها از نقطه نظر سیستم سازه ای

طبقه بندی پل ها از نقطه نظر سیستم تحلیل سازه ای

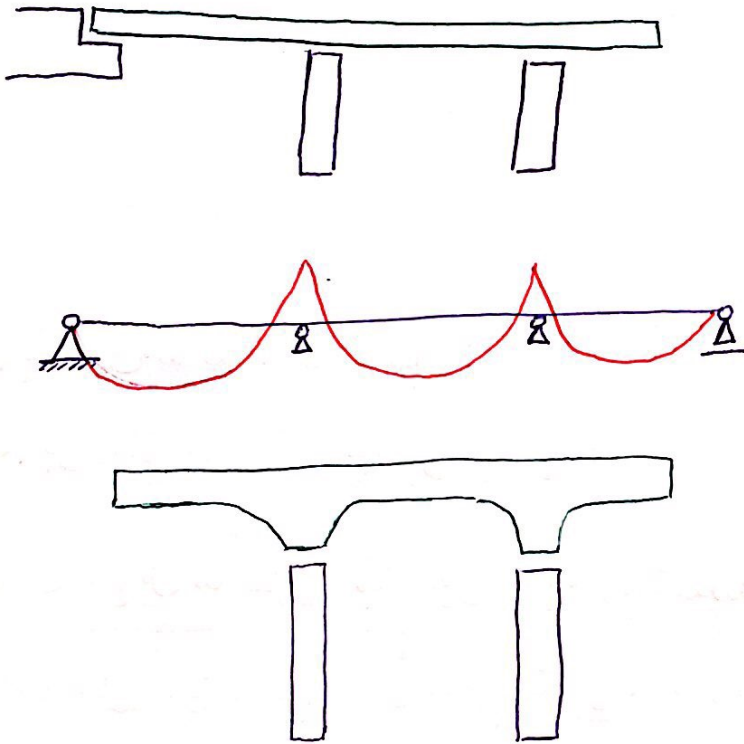
1) پل تیرهای سازه (یا تیر پل های سازه)



این پل ها از نظر استاتیکی معین هستند و معمولاً در پل های بتنی آرمه تا حدود 30m پل های بتنی پستی تنیده تا 50m و پل های فلزی تا 80m مقرون به صرفه می باشد

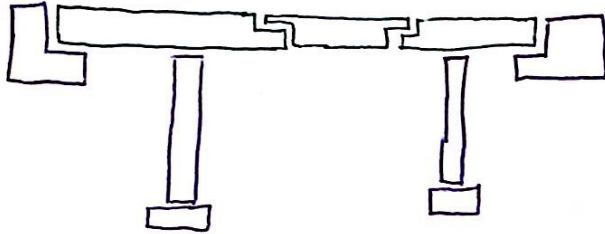


این پل ها از نظر تحلیل سازه نامعین بوده و برای عبور از معبرهای طولیل مورد استفاده قرار می گیرند. یکسره بودن پل ها باعث کاهش لنگر مثبت در دهانه ها و تولید لنگر منفی روی تکیه گاه ها می شود و در نتیجه باعث کاهش ارتفاع شاقص در مقایسه با پل های سازه منوشر



3) پل های طره ای:

با ایجاد مفصل های متعدد در طول دهانه سیستم معینی منبسط می شود اما به علت مشکلاتی که در محل مفصل ها تولید می شود امروزه کمتر استفاده می شود.



4) پل های مانتا شده از کابل:

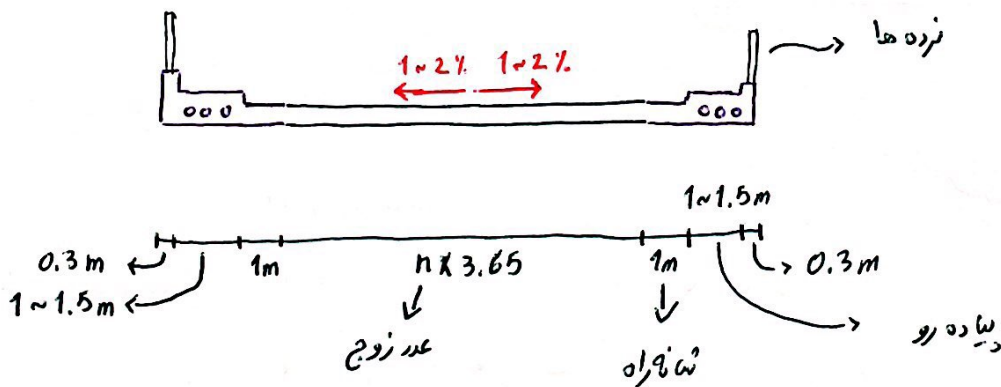
الف) پل معلق ب) پل ترکیبی

عربا این نوع پل ها غلزی، بتنی پس کشیده و یا مختلف می باشد و بارهای وارده بر کف به وسیله یک گروه کابل آویز به کابل های اصلی انتقال یافته و از آن به وسیله پیاپی های اصلی به خاک منتقل می شود.

عرض پل:

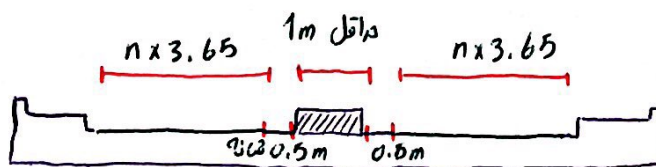
این نامه آموخته عرض آزاد پل، فاصلای خالص بین دو لبای جدول را مساوی عرض روسازی به علاوه عرض شانه‌های فاکتی توصیه می‌کند. طبق ابلاغیه وزارت راه ایران، عرض هر خط عبور در راه‌های شوسه‌ای درجه 1 3.65 m و در راه‌های روستایی درجه 1 مجموع دو خط 5.5 m و در راه‌های روستایی درجه 2 مجموع دو خط 4 m می‌باشد و عرض شانه‌های فاکتی از 0.75 m تا 3 m توصیه می‌شود. بنابراین در راه‌های شوسه‌ای درجه 1 دو خطه است $2 \times 3.65 + 2 \times 0.75 = 8.8\text{ m}$ این مقدار حداقل برای راه‌های دشتی می‌باشد و در کوهستان این مقدار به 7.5 m می‌رسد.

عرض پیاده روی پل در پل‌های شهری بستگی به حجم افراد پیاده روی دارد ولی عرض کافی برای عبور دو نفر پیاده از کنار هم 1.25 m می‌باشد.



مقطع عرضی پل

مقطع عبور دو طرفه بدون میانه



دستور العمل مطالعات و تهیه پروژه پل های بزرگ : (مطالعات فاز 1)

فدمائی / مهندس مشاور برای مطالعاتی پل های بزرگ انجام می دهند در دو مرحله ای خلاصه می شوند :
مطالعات فاز 1

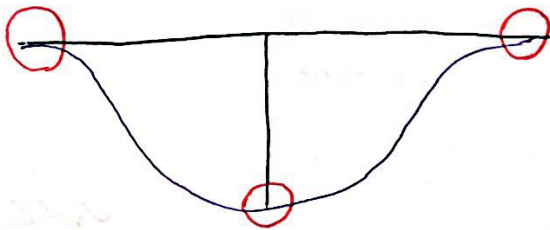
مرحله اول: مطالعات هیدرولوژی

مرحله دوم: نقشه ای 1:500 تا 100m از طرفین پل

مرحله سوم: مقاطع طولی و عرضی به مقیاس 1:100 و 1:50 از بستر رودخانه یا دره در محل های

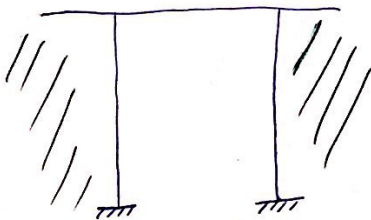
پیشنهادی برای مسافت پل (مقطع طولی از هر طرف پل 50m)

مرحله چهارم: مطالعات ژئوتکنیکی و لرزه شناسی به خصوص در زیر پایه ها و کولاها



مطالعات ژئوتکنیکی:

- 11 پروفیل خاک
- 12 مشخصات مکانیکی خاک و ϕ , c , γ
- 13 مشخصات مقاومت خاک
- 14 تراز آب زیرزمینی
- 15 ضرایب فشار جانبی خاک



مرحله پنجم: پیشنهاد مناسب ترین محل برای اجرای پل / با به اساسی مطالعات فوق صورت می گیرد.

مرحله ششم: مطالعاتی فنی و اقتصادی پل (انتخاب سیستم سازه ای پل)

مرحله هفتم: گزارش توصیفی برایگزینا پیشنهادی

مطالعات فاز 2

1. نقشه های مسطحه و مقطع طولی و عرضی از پل و پایا ها با مقیاس 1:100
2. نقشه های اجرای کامل با مقیاس های 1:100 ، 1:50 ، 1:25 برای پی ها ، پایا ها ، تولا ها تیر ها و عرش ها
3. دفترهای محاسبات
4. گزارش مطالعات کامل در مورد معادن مصالح ساختمانی اطراف
5. برآورد مقادیر و مخارج و مدت پروژه
6. اسناد مناقصه

فصل دوم: بارهای وارد بر پل

بارهای وارد بر پل سه دسته هستند:

1. بارهای قائم 2. بارهای جانبی 3. بارهای خود برشی

1. بارهای قائم:

این بارها شامل بارهای مرده و زنده و موارد مشابه می باشد که ثقلی هستند و عرشه، تیرها و پایه‌ی پل را تحت تأثیر قرار می دهند.

2. بارهای جانبی:

این بارها از قبیل بار باد، بار زلزله، خشت جانبی خاک، نیروی جریان آب، نیروی گریز از مرکز، نیروی ترمز، نیروی برخورد و موارد مشابه می باشد که اثر آنها را تحت تأثیر قرار می دهند.

3. بارهای خود برشی:

این بارها شامل آثار دما، فرشی، تغییر طول ناشی از پشی کشیدگی و موارد مشابه می باشد که می تواند باعث ایجاد تغییر شکل و نیروهای داخلی و تنش در تمامی اعضا شود.

تغییر شکل ناشی از تابع زمانی $\rightarrow$ فرشی Creep

در مجموع بارهای محاسباتی در طراحی پل ها به شرح زیر تعریف می شوند:

مطابق نشریه 139 ویرایش دوم و آیین نامه آستف، بار ها به شرح زیر می باشند

1، بارهای دائمی

2، بارهای بهره برداری (ضربه، ترمز، نیروی گریز از مرکز)

3، بارهای وارد بر سازه رو

4، اثر بار

5، تغییرات دمایی

6، اثر غوطه خوری و جریان آب

7، اثر فزنی

8، اثر زمین لرزه

9، بارهای وارد بر نرده ها

10، بارهای ویژه مانند اثر بر فور و سایل نقلیه و یا قطعات یخ به یایی پل ها

11، اثر نشست

1. بارهای قائم:
 یک از دو قسمت تشکیل یافته است:

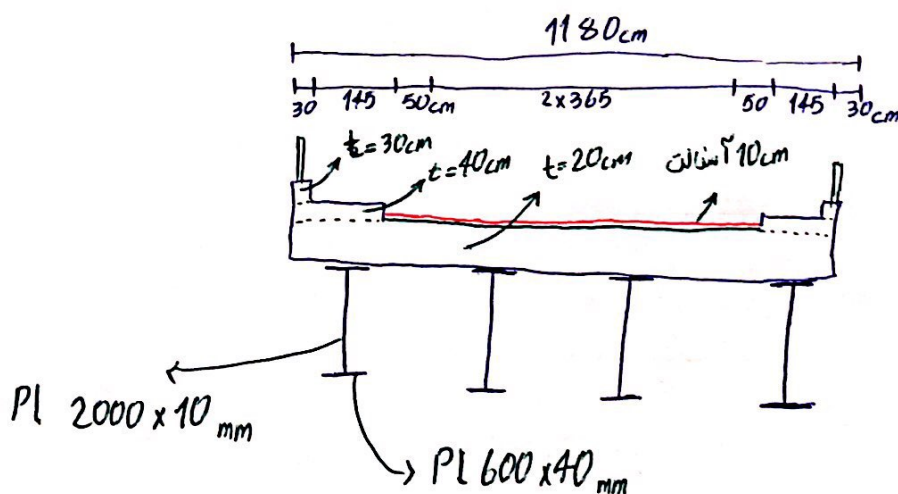
1. بارهای مرده عرصه

1. تیر 2. دیافراگم 3. دال بتنی 4. عایق و آسفالت
 5. اضافه ضخامت ببارده رو 6. نرده ها
 7. خدمات شهری

2. بارهای مرده پایه

1. تیر سرستون 2. پایه ها 3. ستلورده
 4. بلوک برشی یا پدستال 5. بار مرده منتقله از عرصه
 6. وزن خاک بر روی کوره

مثال: وزن یک متر طول از عرصه نشان داده شده را محاسبه کنید.



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

کل تیر ورق ها $A = 4 \times 680 = 2720 \text{ cm}^2 = 2720 \times (10^{-2})^2 = 2720 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$V = 1 \times 2720 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

$\gamma = 7850 \text{ kgf/m}^3$

$W_{\text{تیر ورق ها}} = 7850 \times 2720 \times 10^{-4} = 2135.2 \text{ kgf/m}$

دال 20 سانتی متری $A = 20 \times 1180 = 23600 \text{ cm}^2 = 23600 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$\gamma_{\text{دال}} = 2500 \text{ kgf/m}^3$

$W_{\text{دال}} = 2500 \times 23600 \times 10^{-4} = 5900 \text{ kgf/m}$

سازه رو $A = 2 \times 175 \times 40 = 14000 \text{ cm}^2 = 14000 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$W_{\text{سازه رو}} = 14000 \times 10^{-4} \times 2500 = 3500 \text{ kgf/m}$

پای زیر نرد $A = 2 \times 30 \times 30 = 1800 \text{ cm}^2 = 1800 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$W = 2500 \times 1800 \times 10^{-4} = 450 \text{ kgf/m}$

آسانسور $W = \frac{1 \times 830 \times 10 \times 10^{-4}}{v} \times \frac{2200}{8} = 1826 \text{ kgf/m}$

$W_{\text{دیاگرام ها (مرفق)}} = \frac{1}{10} \times \text{سایرها} = 213.52 \text{ kgf/m}$

وزن واحد طول عرشه $W_T = 2135.2 + 213.52 + 5900 + 3500 + 450 + 1826 = 14024.72 \text{ kgf/m}$

III بارهای زنده :

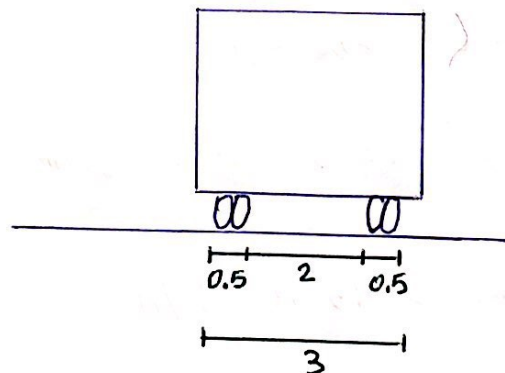
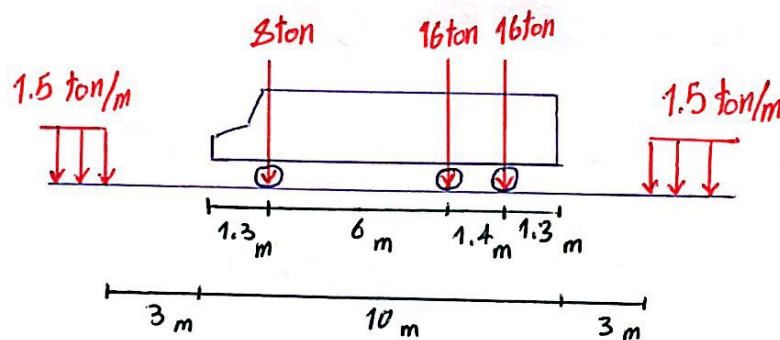
۳ نوع بار زنده مطابق آیین نامه ایران تعریف می شود که اثر آن ها معادل اثر بارهای واقعی است. تعداد و موقعیت این بارها با هدف دستیابی به بحرانی ترین شرایط بر اساس منفی های تأثیر نیروهای داخلی تعیین می شود.

۱ بار نوع اول (بار عاری)

این بار معرف اثرات محورها سنگینی، کامیون ها و وسایل نقلیه معمولی است. مشخصات مطابق شکل زیر خواهد بود

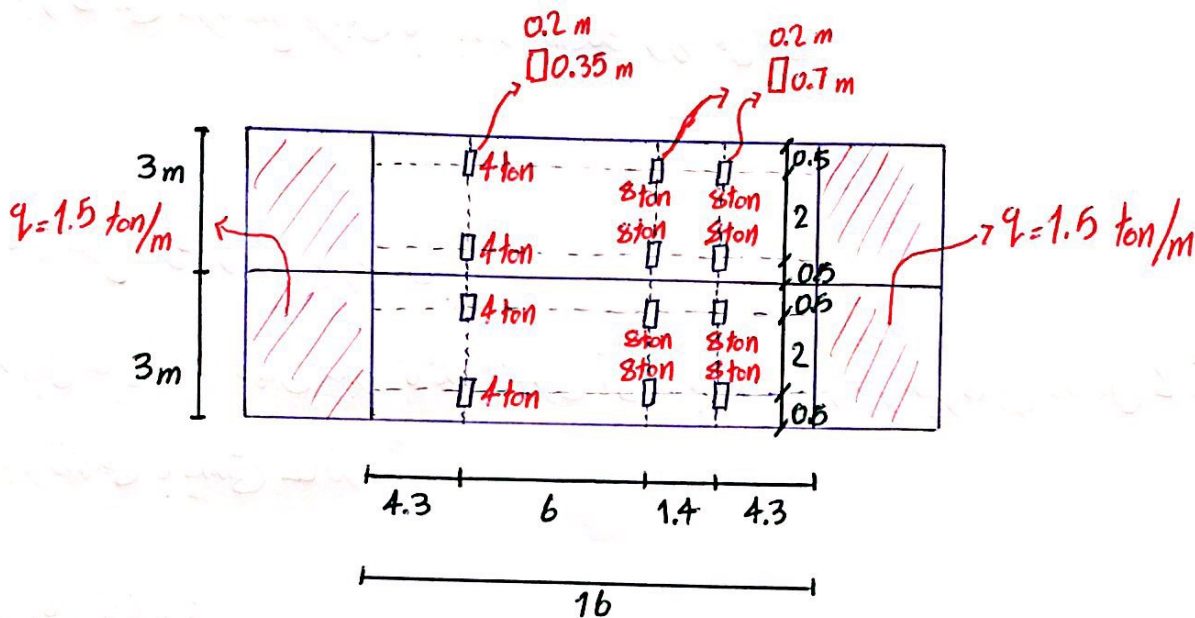
الف) یک کامیون به وزن 40 ton و طول 10 m به سه متر جلو و سه متر عقب آن خالی است.

ب) در باقی مانده ی طول خط عبور بار یک نوافتی به میزان 1.5 ton در طول 1.5 m به طور ییوسته و نابیوسته و طول های لازم به بحرانی ترین اثر را وارد می کند قرار داده می شود



نقشه استقرار بار عاری روی عرشه پیل

در امتداد عرض باید بار عاری یک خط عبور محاسباتی را اسفالت کند و حداکثر مقدار آن به مقدار خط‌های عبور تراختی محدود می‌شود. نحوه استقرار این بار مطابق شکل زیر است. عرض خط عبور محاسباتی 3m می‌باشد.



پلان

ضریب کاهش به مناسبت هم زمانی بار

در پیل‌های عرض در صورتی که به منظور حصول شرایط بحرانی خطوط متعدد بارگذاری شوند باید ضریب کاهش مربوط به احتمال هم زمانی بارها به شرح زیر اعمال شود.

ضریب کاهش

1 بارگذاری یک و یا دو خط

0.9 بارگذاری سه خط

0.75 بارگذاری چهار خط عبور یا بیشتر

نکته: در صورت استفاده از آیین نامه آستف برای تحلیل عرشه و توزیع بار زنده نیازی به استفاده از این ضرایب نیست.

12 بار نوع دوم (بار متحرک گتی)

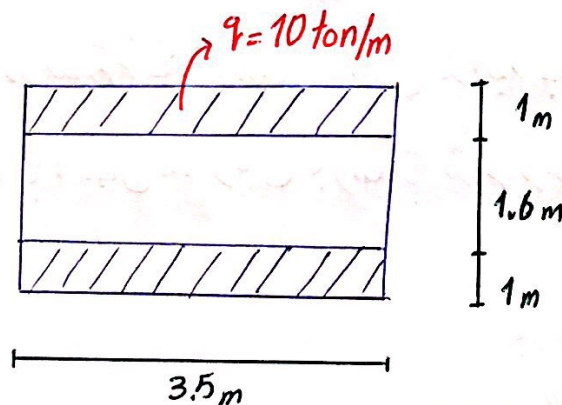
این بار گتی در سطح مربعی به ابعاد 30cm وار می شود.

13 بار نوع سوم (بار غیر عاری)

دریل هایی که احتمال عبور تانک از روی آن وجود دارد اثر بار غیر عاری شامل 2 نوع بار نظامی بایستی لحاظ شود.

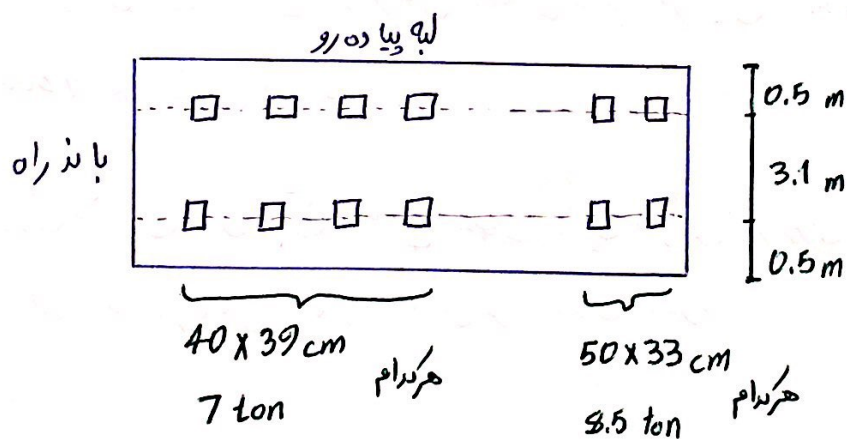
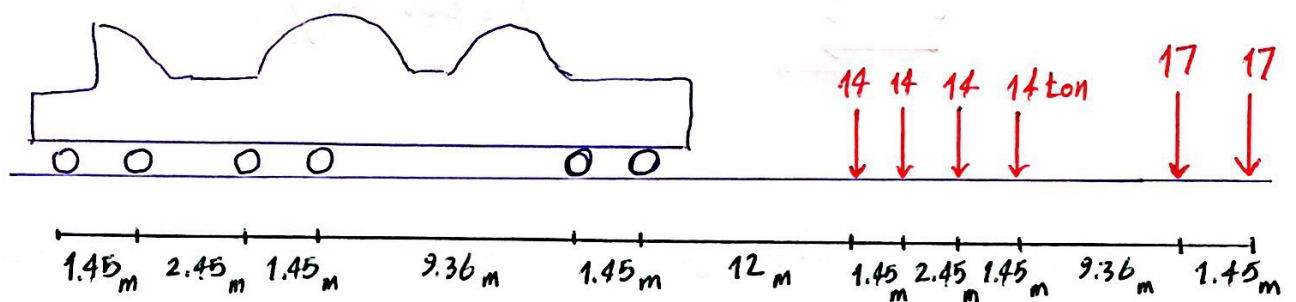
الف) بار تانک :

این بار به میزان 70ton روی 2 زنجیر به ابعاد $1 \times 3.5\text{m}$ اعمال می شود و در هر قسمت از عرض سواره رو یک تانک و در امتداد طول پل حداقل فاصله ای وسط تا وسط تانک های متوالی حداقل 30m است.



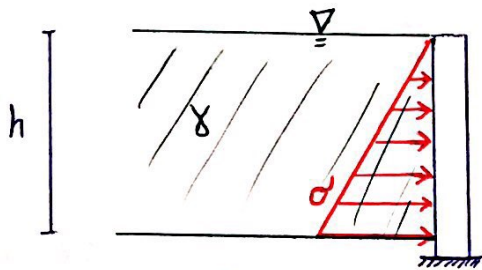
ب) بار تریلی تانک بر:

این وسیله در کل 90 ton می باشد و توزیع بار مطابق شکل زیر می باشد. در عرض پل فقط 1 تریلی و در طول پل حداکثر 2 تریلی با حداقل فاصله بین چرخ های 2 وسیله متوالی 12 m در نظر گرفته می شود.



فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک باید بر اساس قوانین رانکین محاسبه شود ولی در مرزهای اعضای مقاوم در مقابل رانش خاک باید حداقل قادر باشند رانش نظیر مایعی با وزن مخصوص 500 kg/m^3 را تحمل نمایند



$$\sigma_h = k \times \gamma \cdot h$$

$$\sigma_h = \gamma \cdot h$$

$$\gamma = 500 \text{ kgf/m}^3$$

در صورتی که مصالح تکیه بتوانند تا فاصله ای افقی برابر نصف ارتفاع دیوار حائل به آن نزدیک شوند باید اثر فشار آن ها را به صورت رانشی افقی به پینی دیواری در نظر گرفت ولی در مرزهای این رانشی از رانشی نظیر مایعی با افزایش 1 m به ارتفاع خاک با وزن مخصوص 1800 kg/m^3 بدست می آید کمتر نگردد

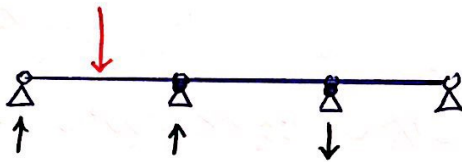
در صورتی که پینی دال بتنی مسلح مطمئن یک سر آن به روی پایه قرام دارد در طرح در نظر گرفته شود سربار ناشی از بار زنده می تواند حذف شود

نیروهای بلندکننده

در دهانه‌های سرتاسری وقتی که بار زنده در اولین دهانه داخلی قرار می‌گیرد گاهی باعث نیروهای بلندکننده در پایه‌های دیگر می‌شود. در این حالت تدابیر لازم برای اتصال کافی عرشه به پایه‌ها به وسیله ایجاد وزنه‌های بتنی که وزن آن‌ها مساوی بزرگ‌ترین دو حالت زیر می‌باشد در نظر گرفته می‌شود

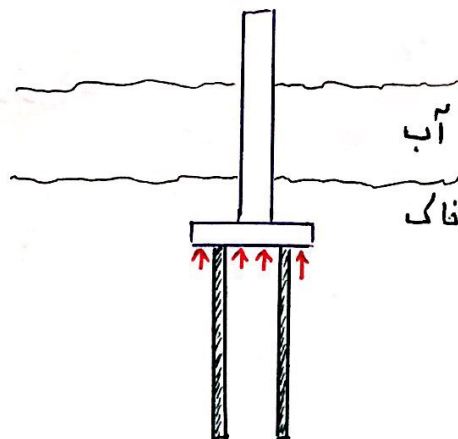
الف) 100٪ نیروی بلندکننده محاسبه شده ناشی از هم بارگذاری یا ترکیب بارگذاری که در آن‌ها بار زنده به اضافی ضرب به 2 برابر شده است

ب) 150٪ نیروی بلندکننده محاسبه شده در بارهای سرویس



اثر غوطه‌وری

در حالتی که قسمتی از سازه پل در آب به صورت غرق شده باشد اثر آن باید لحاظ شود. مقدار نیروی به طرف بالای غوطه‌وری در شمع‌ها به 40٪ بار مجاز طراحی محدود می‌شود.



انتر ترمز

انتر ترمز از اندام بارهای جانبی است. برای تعیین انتر ترمز وسایل نقلیه روی پل فقط یک نیروی افقی در یکی از خطوط اعمال می شود که مقدار آن از رابطهای زیر بدست می آید

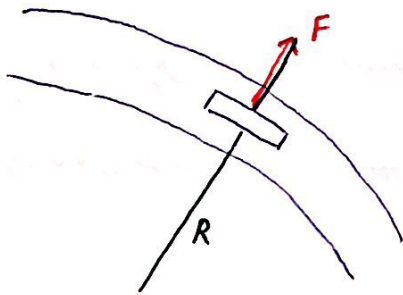
$$F_f = 20 + 0.7 L \leq 40 \text{ ton}$$

نیروی ترمز به نسبت تن
↓
به تنگی

فاصله ای دو درز انبساط متوالی
به نسبت متر

نیروی گریز از مرکز

پل هایی که بر روی قوسی قرار می گیرند باید برای نیروی جانبی گریز از مرکز محاسبه شوند که به صورت افقی و امتداد محور به خط محاسمی بر محور طولی پل اثر می کند. مقدار این نیرو از رابطهای زیر به صورت درصدی از بار زنده کامیون در هر خط عبور در نظر گرفته می شود و فاقد انتر ضرب می باشد



$$F = k_c \times W$$

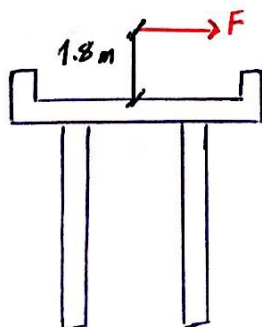
$$k_c = \frac{v^2}{R \cdot g}$$

v سرعت طرح

F نیروی گریز از مرکز

R شعاع پل

g شتاب گرانشی



بر فور و سایل نقلیه و قطعات یخ به پایه ها

الف) پل های روگذر

پایه هایی از پل ها که در کنار راه قرار دارند بایستی برای جلوگیری از به خورد و سایل نقلیه محافظت شوند. در غیر این صورت نیروی افقی معادل 30 ton و نیروی عمودی معادل 30 ton که از ارتفاع 1 m از روی زمین بایستی در طراحی کنترل شوند.

ب) پل های واقع روی رودخانه ها و آبروها

در این حالت از روی منابع معتبر بایستی نیرو و نحوه ی اعمال آن یافت شود.

نیروی ناشی از جریان آب و فشار یخ

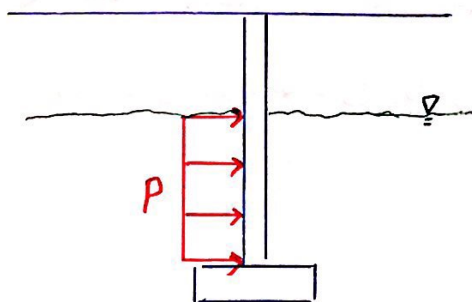
فشار یخ معادل 30 kg/cm^2 در نظر گرفته می شود. ضخامت یخ و ارتفاعی که در آن فشار یخ بر پایه وارد می گردد باید با توجه به مطالعات محلی تأیید شود.

فشار ناشی از جریان آب بر روی پایه ها توسط رابطه ی زیر محاسبه می شود

$$P = 51.2 K V^2$$

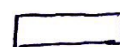
V سرعت جریان آب m/s

K ضریب شکل مقطع افقی پایه

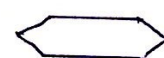


شکل مقطع پایه

ضریب



$$K = 1.375$$



$$K = 0.5$$



$$K = 0.67$$

اثر دینامیکی وسیله نقلیه (اثر ضربه)

آقای مگر دیدیدان عوامل دینامیکی را به صورت زیر طبقه بندی می کنند

1) اثر نیروی تیر از مرکز

2) اثر ناگهانی افتادن چرخ وسیله نقلیه در گودال

3) نیروهای ضربانی متناوب در چرخ های وسایل نقلیه

4) تأثیر ناگهانی بار زنده که ایجاد ضربه مستقیم می نماید

ضربه دینامیکی (ضربه ضربه)

اثر بار عاری (بار کامیون 40 تنی و بار گسترده اطرافنی) باید در ضربه به نام ضربه ضربه ضربه
ضربه سوره که عبارت است از

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

در این رابطه h ارتفاع فاکتور روی پل است، دریل های سازه L طول دهانه است
دریل های یکسره یا پیوسته

در محاسبه لنگر خشی مثبت هر دهانه L طول همان دهانه و در محاسبه لنگرهای منفی تکیه گاهی
 L مقدار متوسط طول های دو دهانه های مجاور تکیه گاه می باشد

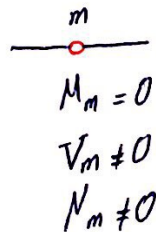


گره منفصل کامل
گره صلب
گره متخلخل

مقدم مکانیزم نیروهای داخلی

در حالت دو بعدی ۳ نیروی داخلی داریم (نیرو محوری، نیرو برشی، گشتافشی)
اگر در مکانی از شماره مکانیزم یکی از این نیروها وجود داشته باشد در آن نقطه نیروی داخلی صفر است

11 مکانیزم گشتافشی:

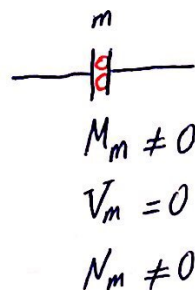


$$M_m = 0$$

$$V_m \neq 0$$

$$N_m \neq 0$$

12 مکانیزم نیروی برشی:

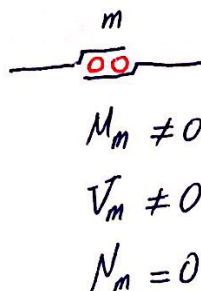


$$M_m \neq 0$$

$$V_m = 0$$

$$N_m \neq 0$$

13 مکانیزم نیروی محوری:



$$M_m \neq 0$$

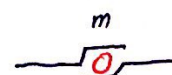
$$V_m \neq 0$$

$$N_m = 0$$

$$M_m = 0$$

$$V_m \neq 0$$

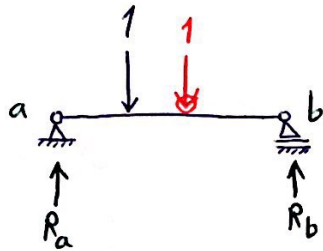
$$N_m = 0$$



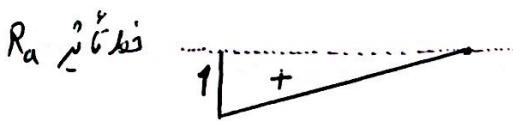
تخلوها:

تعریف خطوط تأثیر

منحنی تأثیر مکان هندسی اندازه کمیت استاتیکی در یک نقطه از سازه بر حسب بار متحرک واحد مؤثر بر سازه می باشد.
 منحنی های تأثیر سازه های مصلی خطی و سازه های نامصلی، منحنی می باشد

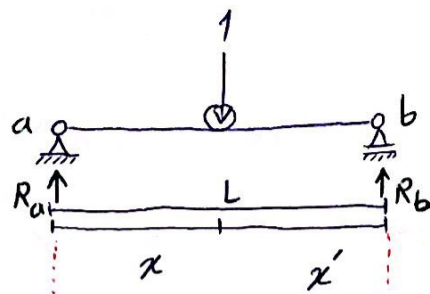


خط تأثیر influence line



نیروی محوری زمانی مثبت است که همان کشیده شود
 نیروی برشی زمانی مثبت است که جهت بارگذاری رو به پایین باشد. (بار ثقلی)
 لنگر خمشی زمانی مثبت است که تار پایین به کسش بیفتد.

الف) روشی تحلیلی:



تأثیر تأثیر R_a



تأثیر تأثیر R_b



$$\sum^+ (M)_b = 0$$

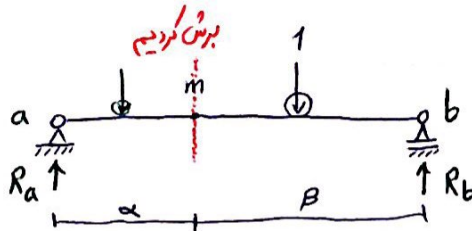
$$R_a \times L - 1 \times x' = 0$$

$$R_a = \frac{x'}{L}$$

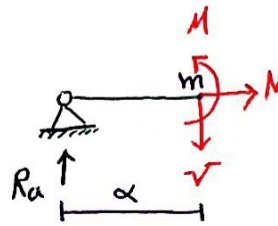
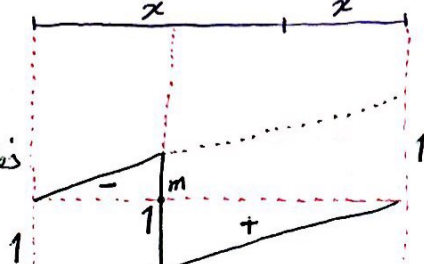
$$\sum^+ (M)_a = 0$$

$$-R_b \times L + 1 \times x = 0$$

$$R_b = \frac{x}{L}$$



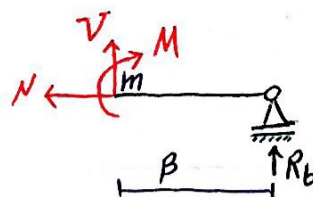
تأثیر تأثیر برشی در نقطه m
(V_m)



حالت 1) بار سمت راست m است.

$$\sum^+ F_y = 0$$

$$R_a - V_m = 0 \quad V_m = R_a$$

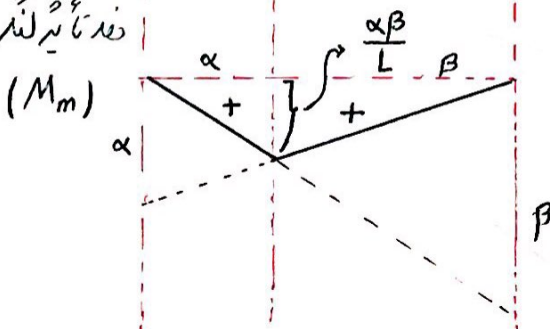


حالت 2) بار سمت چپ m است.

$$\sum^+ F_y = 0$$

$$V_m + R_b = 0 \quad V_m = -R_b$$

تأثیر تأثیر لنگر در نقطه m
(M_m)



$$\sum^+ (M)_m = 0$$

$$-M_m + R_a \times \alpha = 0 \Rightarrow M_m = \alpha R_a = \frac{\alpha x'}{L}$$

$$\sum^+ (M)_m = 0$$

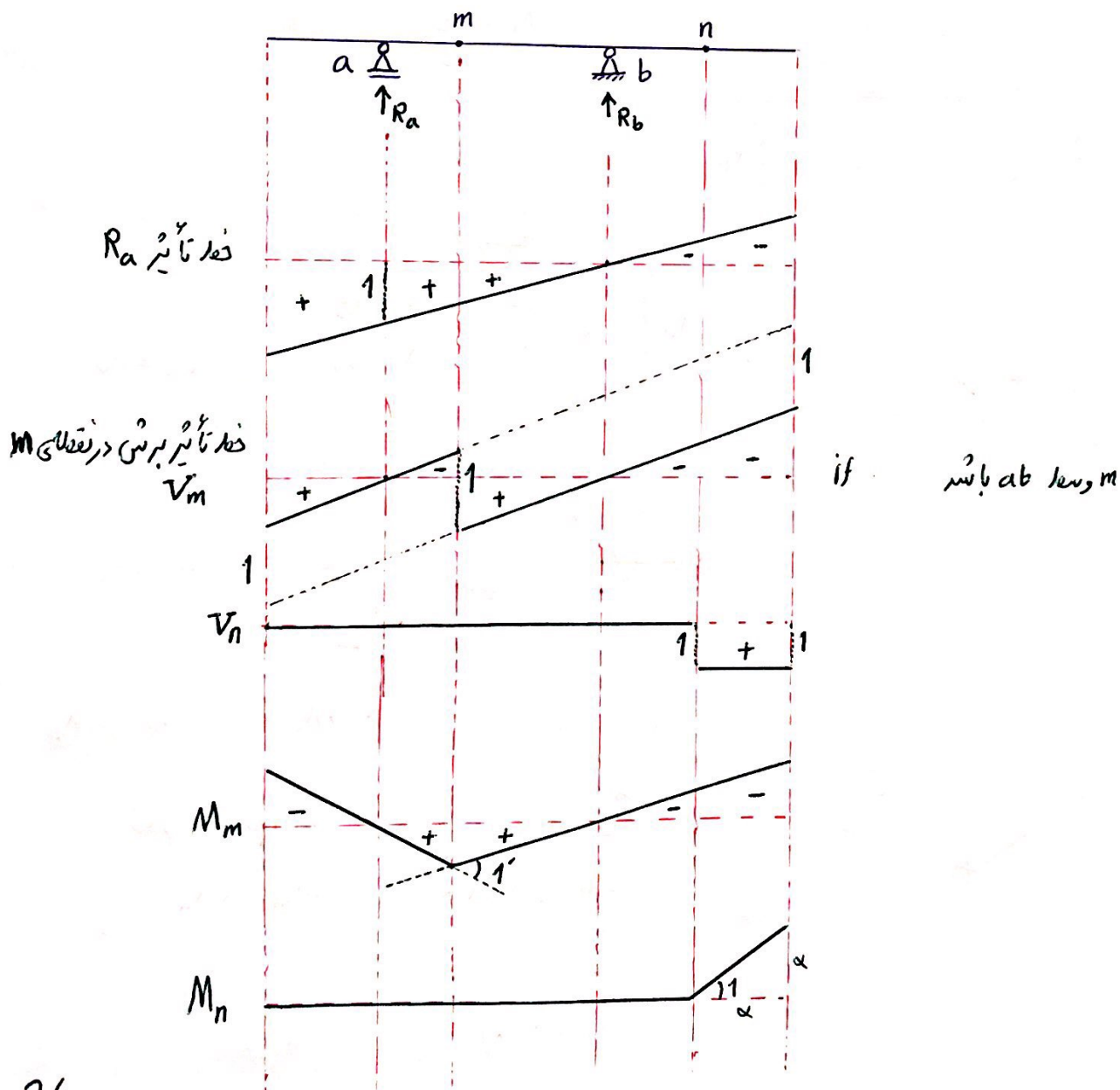
$$M_m - R_b \times \beta = 0 \Rightarrow M_m = \beta R_b = \frac{\beta x}{L}$$

تأثیر تأثیر لنگر در نقطه M

ب) تمریناً ترسیبی (صفیه لند)

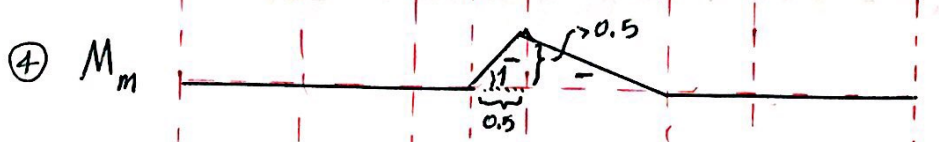
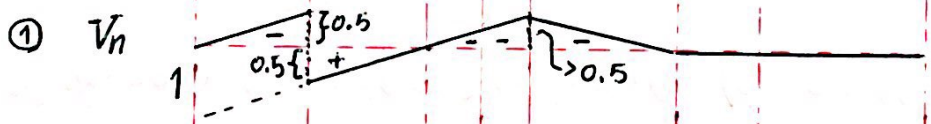
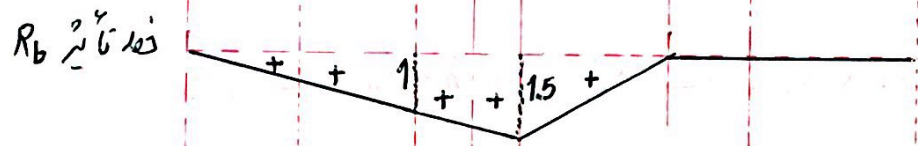
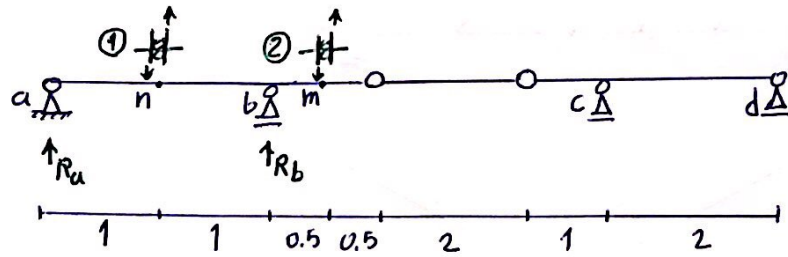
برای بدست آوردن خط تأثیر یک کمیت در یک نقطه‌ای معینی کافی است کمیت استاتیکی مورد نظر در آن نقطه توسط مکانیزم مربوطه حذف و در سیستم ناپایدار نتیجه شده، تغییر مکان یک (1) (اگر کمیت نیرو باشد) و یا تغییر زاویه یک (1) (اگر کمیت لنگر باشد) در جهت منفی کمیت استاتیکی مربوطه داره شود. شکل جدید سیستم یا سازه همان خط تأثیر آن کمیت می باشد و علامت آن وقتی مثبت است که تغییر شکل سیستم در جهت بار واحد (به طرف پایین) باشد

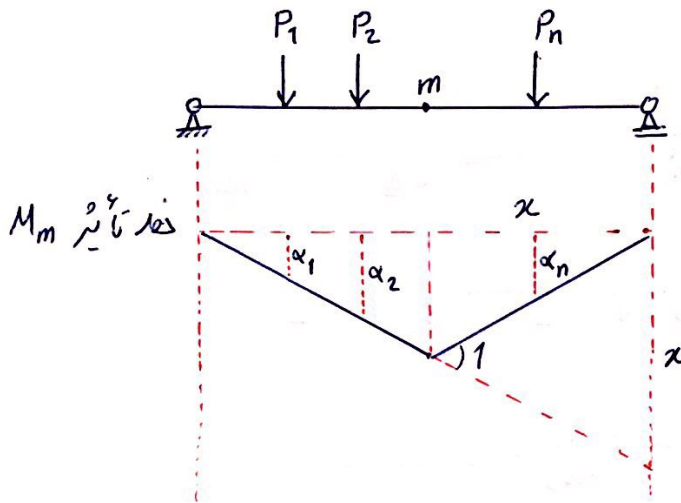
مثال: خط تأثیر عکس العمل کلیه گاه a ، برشی نقطه‌ای m و n ، لنگر نقطه‌ای m و n را رسم کنید



مثال: در تیر سترا بری شکل زیر مطلوب است خد تأثیر مکنس العمل a و b ، برش و لنگر در نقطه n و m

③ $\uparrow$ of ④ $\uparrow$ pf

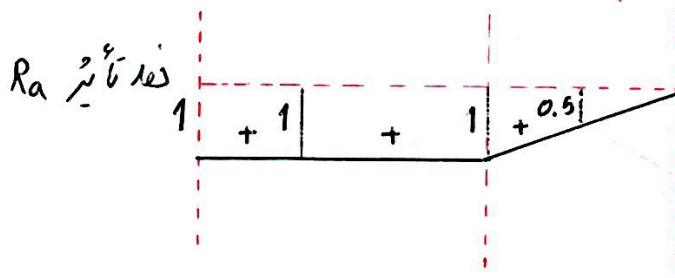
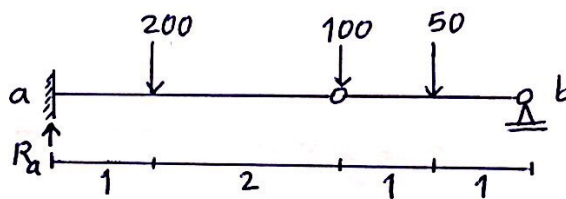




$$M_m = P_1 \times \alpha_1 + P_2 \times \alpha_2 + \dots + P_n \times \alpha_n = \sum_{i=1}^n P_i \alpha_i$$

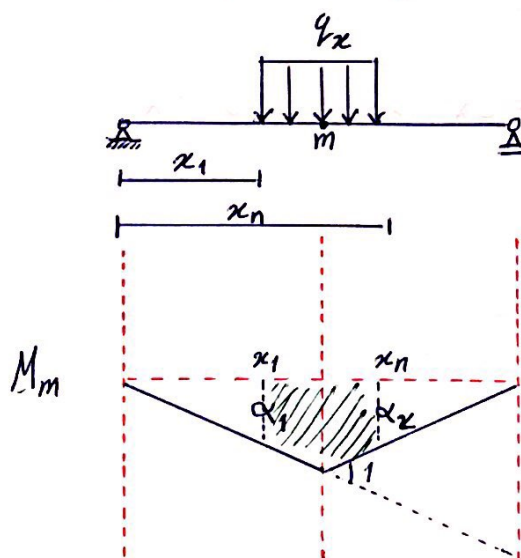
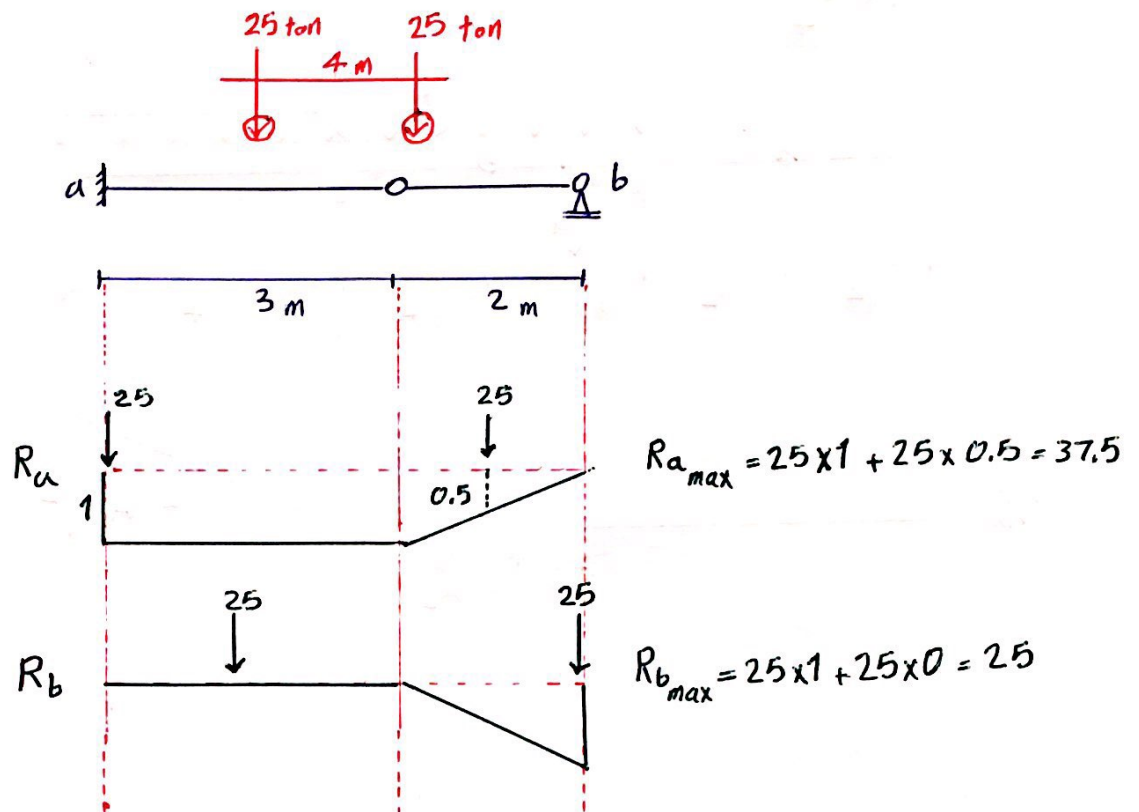
در اثر بارهای
 $P_1 \rightarrow P_n$

مثال: عکس العمل تکیه گاه a را تحت بارگذاری زیر بدست آورید. (با استفاده از رسم خط تأثیر مربوطه)



$$R_a = 200 \times 1 + 100 \times 1 + 50 \times 0.5 = 325$$

مثال: کامیونی به وزن 50 ton روی تیر مثال قبل حرکت می کند. اگر فاصلای محورهای این کامیون 4 m باشد. حداکثر عکس العمل تکیه گاه a و b چقدر است؟

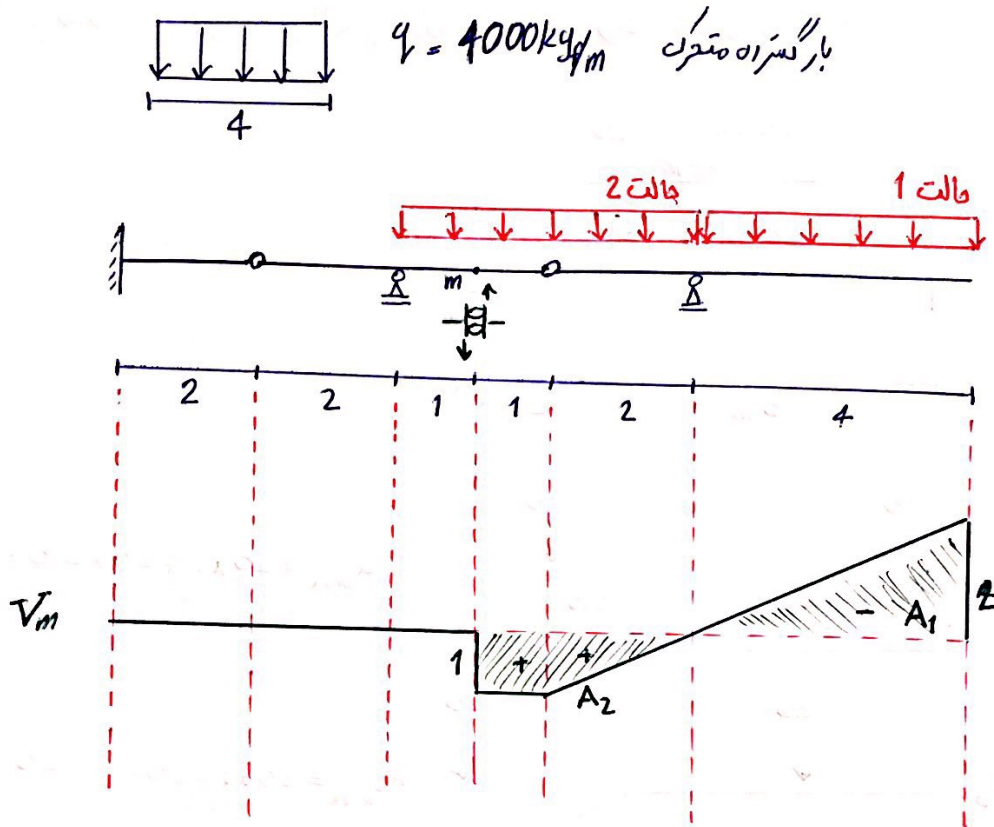


(2) بار گسترده

$$M_m = \int_{x_1}^{x_n} q_x \times \alpha_x \times dx$$

اگر q ثابت باشد $\rightarrow$ $M_m = q \times$ مساحت

مثال: در تیر شکل زیر حداکثر بهرشی در نقطه ای m چقدر می تواند باشد؟



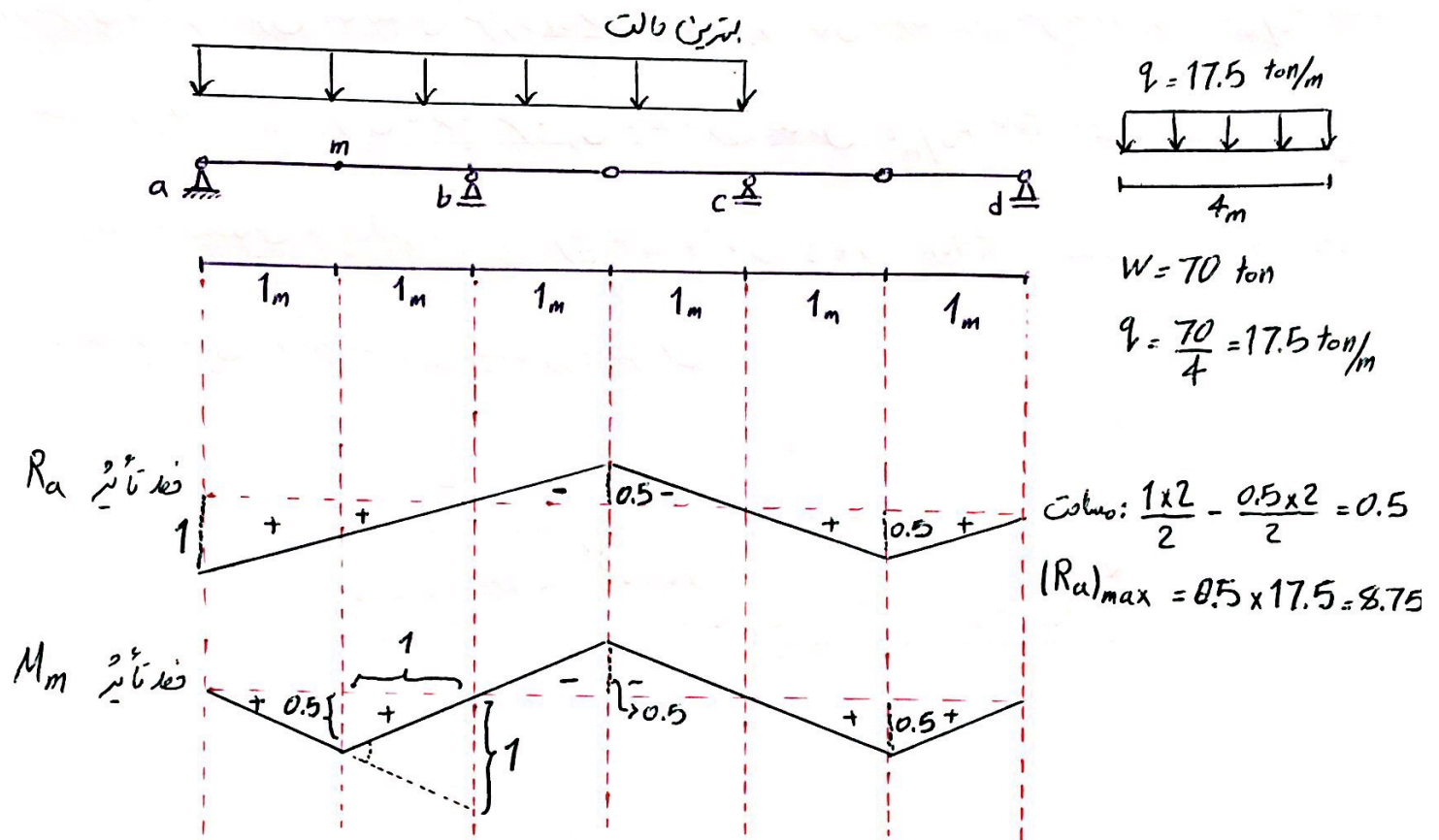
حالت 1: $A_1 = \frac{1}{2} \times 2 \times 4 = 4$

$V_m = - 4 \times 4000 = - 4000$ ✓

حالت 2: $A_2 = 1 + \frac{1 \times 2}{2} = 2$

$V_m = 2 \times 1000 = + 2000$

مثال: تانک 70 ton در روی تیر شکل زیر حرکت می کند. اگر طول تانک 4m باشد، بدست رین عکس العمل تکیه گاه a و بدست رین لنگر نقطه ای m چقدر می تواند باشد؟



بهترین حالت این است که
نصف تانک از ابتدا بیرون
باشد

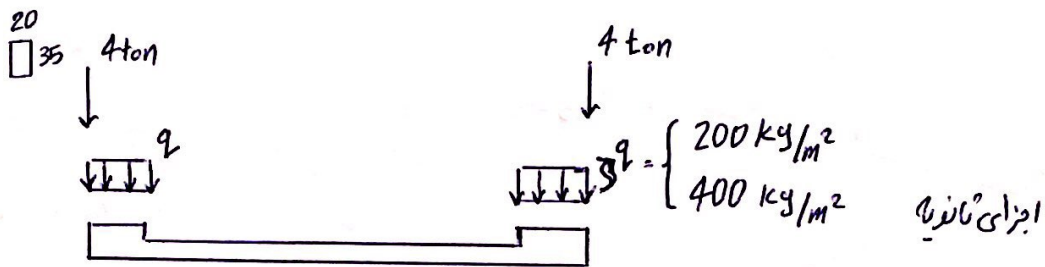
$$(R_a)_{\max} = \frac{1 \times 2}{2} \times 17.5 = 17.5$$

$$(M_m)_{\max} = \frac{0.5 \times 2}{2} \times 17.5 = 8.75$$

بارهای پیاده رو

الف) پل های سواره رو

در صورتی که بار کامیون محاسباتی قرار داده شود مقدار بار اعمال شده روی هر پیاده رو 200 kg/m^2 است. در محاسباتی اجزای ثانویه عرشه پل باید با بار معادل 400 kg/m^2 اعمال شود. همچنین در شرایط استثنایی باید اثر یکی از جرثقیل های کامیون با بار 4 ton و ابعاد $35 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ در نامناسب ترین موقعیت روی پیاده رو منظور شود.



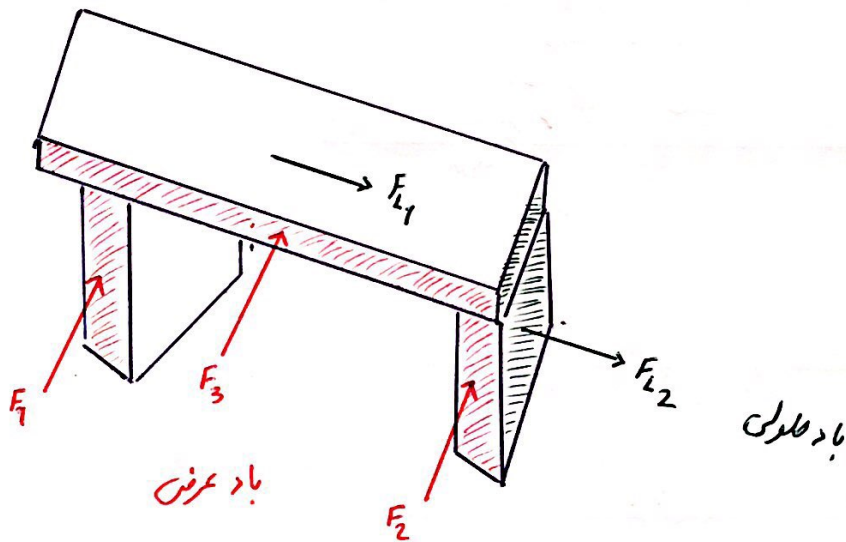
ب) پل های عابر پیاده

در مورد پل های عابر پیاده مقدار بار محاسباتی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$P = 200 + \frac{15000}{L + 150}$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 kg/m^2 طول پل بر حسب متر

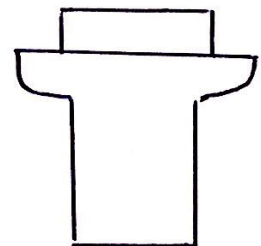
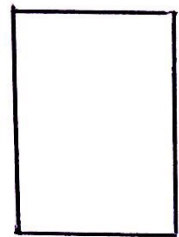
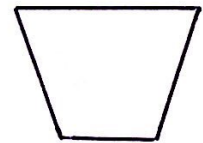
الف) مقدار باد افقی و شدت آن روی سطح بادگیر بدون بار ترافیک معادل 250 kg/m^2 و با بار ترافیک به میزان 125 kg/m^2 است. نیروی باد به مرکز ثقل سطح بادگیر اعمال می شود. بار باد در دو امتداد طولی و عرضی به صورت جداگانه محاسبه می شود و ترکیب اثر دو امتداد لازم نیست.



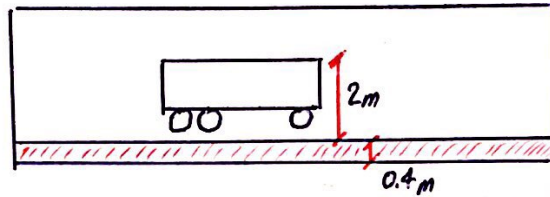
$$F = q \times A$$

سطح بادگیر
شدت بار باد

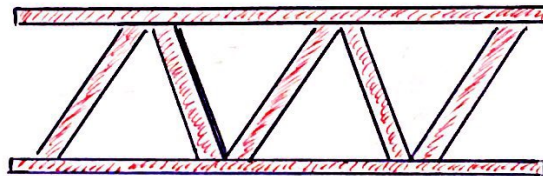
انواع مقاطع پایه پل



ب) سطح بادگیر عرضی و وسایل نقلیه در امتداد عرضی سطح نمای قائم آن ها در امتداد طولی نصف همین مقدار در نظر گرفته می شود. در مورد پل ها با عرض متسبک مسافت واقعی محاسبه شده برای تیر متسبک در ضریب 1.5 ضرب می شود. ارتفاع سطح بادگیر وسایل نقلیه از روی سطح سواره رو 2m در سراسر پل لحاظ می شود.



سطح بادگیر روی
وسایل نقلیه



سطح بادگیر
پل های خرپه ای

انحراف نسبی کلیه ناهمی

چنانچه نشست یا کوتاه شدگی نامساوی بین دو یا چند پایه محتمل باشد باید در محاسبات لحاظ شود.

انحراج شدگی (shrinkage) و فزونی بتنی (creep)

در آیین نامه بتنی آورده موجود است.

الف) تغییر دما

تغییرات دما برای پل های سطحی 35°C و برای پل های زیر فاکتی کم عمق معادل 20°C منظور می شود

ب) "ترازبان حرارتی"

اگر اختلاف دما بین سطح فوقانی و تحتانی پل در محاسبات وارد شود، این اختلاف تابع حالت های زیر خواهد بود

1) تابشی نور شدید روی سطح فوقانی و سایه در سطح تحتانی عرشه

2) یخبندان روی سطح فوقانی عرشه

مقادیر اختلاف دما از جدول زیر محاسبه می شود

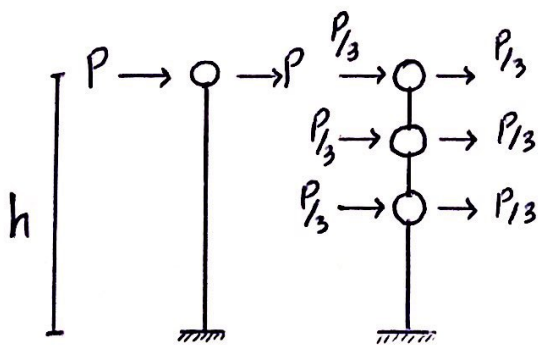
مختلاف	بتنی	فلزی	نوع پل
			اوضاع فعلی
10	7	10	حالت 1
7	3.5	5	حالت 2

الف) نرزه های ایمنی

در پل هایی که سطح جاده در دو طرف به دو پیاده رو با اختلاف ارتفاع حداقل 25 cm ختم می شود باید نرزه های ایمنی در دو طرف عرشه قرار داده شود. حداقل ارتفاع نرزه از سطح پیاده رو 1 m خواهد بود. حداقل بار طراحی برای نرزه ها یک بار خطی به میزان 0.8 ton/m است که به صورت قائم و افقی بر لبای نرزه اعمال شود. به علاوه باید بار قائم متمرکز به میزان 0.1 ton در هر نقطه از اجزای افقی نرزه در نظر گرفته شود.

ب) بانیناه

در پل های بدون پیاده رو یا در مواردی که اختلاف رقوم سطح پیاده رو نسبت به سطح جاده کمتر از 25 cm باشد به پای نرزه های ایمنی بانیناهی مناسب در طرفین عرشه قرار داده می شود. حداقل ارتفاع بانیناه از سطح تمام شده لبای عرشه پل 70 cm تا 100 cm است. بانیناه برای مجموعه ای بارهای عرضی که در شکل زیر نشان داده شده، محاسبه می شود. در مواردی که ارتفاع بانیناه (h) از 85 cm بیشتر باشد بارهای طراحی به میزان 35% افزایش می یابد. در امتداد طول بانیناه باری به میزان نصف بار عرضی روی یک پایه اعمال و حداکثر پهنای 4 پایه تقسیم می شود.



$$h_{\min} = 0.7\text{ m}$$

$$P = 4.5\text{ ton}$$

طبق آیین نامه بارگذاری ۱۳۹ هم زمانی بارهای زیر باید در طراحی مورد توجه قرار گیرد

گروه یک: مجموعه ای از بارها شامل بار مرده، اثر ناهشی وزن ناشی از غوطه وری، تغییر شکل های تابع زمان مصالح (جمع سستی و دارفتگی، خزش)، نشست پایه ها و فشار خاک

گروه دو: شامل گروه یک + بارهای بهره برداری همراه با اثر ضرب، اثر ترمز و گریز از مرکز

گروه سه: (الف) شامل گروه یک + اثر بار

گروه سه: (ب) شامل گروه دو + اثر بار

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

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

گروه پنج: شامل گروه یک + اثر زمین لرزه

گروه شش: شامل گروه یک + بارهای ویژه

تنش مجاز به حسب درصد از تنش مجاز پایه

ترکیب بار

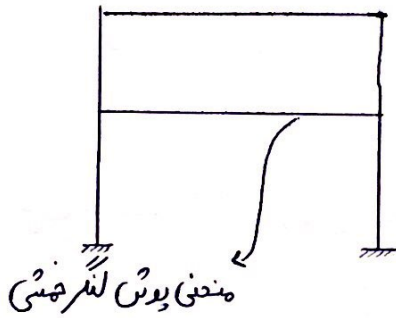
گروه

100	$D+B+R+S+ST+PF+SF+E$	1
100	$1\text{ گروه} + L + I + LF + CF$	2
133	$1\text{ گروه} + W$	3 - الف
133	$2\text{ گروه} + W + WL$	3 - ب
133	$1\text{ گروه} + T$	4 - الف
133	$2\text{ گروه} + T$	4 - ب
133 برای بتن آرمه 150 برای فولادی	$1\text{ گروه} + EQ$	5
37 طبق نیاز	بارهای ویژه + گروه 2	6

ST = نیروهای ناشی از نشست کلیه گاهی	D = بار مرده
LF = نیروی طولی در اثر بار زنده (نیروی ترمز)	L = بار زنده
CF = نیروی گرینز از مرکز	I = ضربه بار زنده
R = اثر حاصل از کوتاه شدن قوس و تیرهای پستی نشیده	E = فشار زمین
S = نیروی حاصل از انقباض مصالح	B = نیروی غوطه وری
EQ = نیروی حاصل از زلزله در تراز نهایی (طبق نشریه ۴۶۳)	W = بار باد در روی سازه
T = نیروی حاصل از تغییرات دما	WL = بار باد در روی بار زنده
SF = نیروی حاصل از جریان رودخانه	PF = نیروی حاصل از پستی نشیدی

منحنی یوش نیروی برشی و لنگر خمشی

همانطور که می دانید برای طراحی سازه ای که بارهای آن ثابت می باشد دیاگرام نیروی برشی و لنگر خمشی را رسم نموده و منحنی یوش حاصل از جمع جبری دیاگرام های ترکیب بارهای مختلف رسم نموده و لنگرهای مثبت و منفی ماکسیمم در هر نقطه در منحنی یوش مشاهده می شود. مثال:

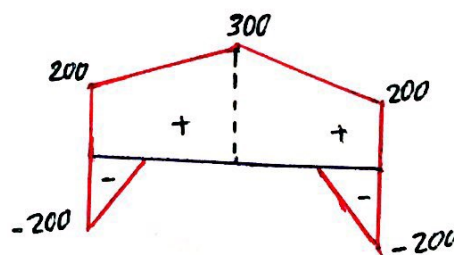
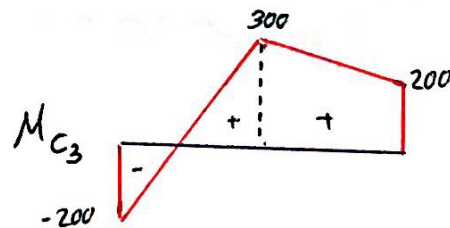
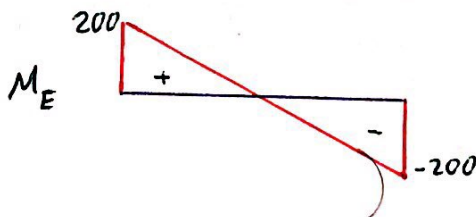
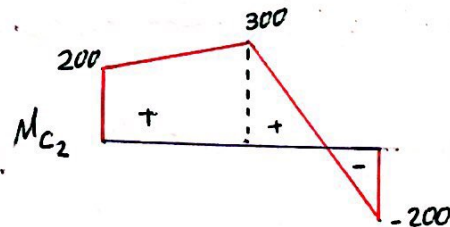
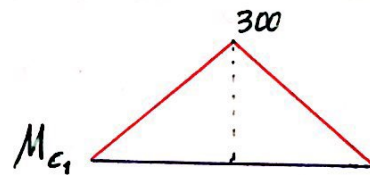
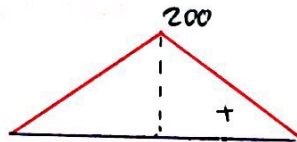


$$C_1 = DL + LL$$

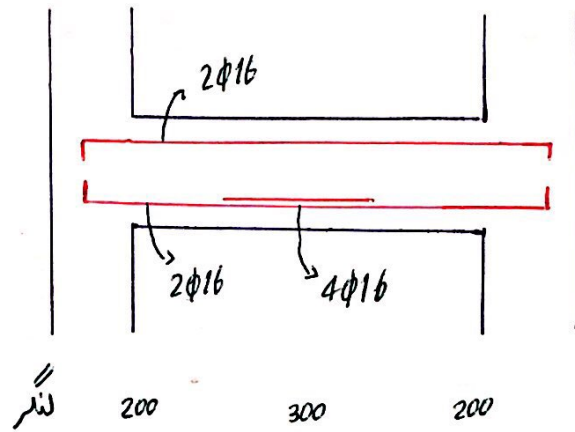
$$C_2 = DL + LL + E$$

$$C_3 = DL + LL - E$$

دیاگرام لنگر خمشی در
هر حالت بار
 M_D



منحنی یوش لنگر خمشی

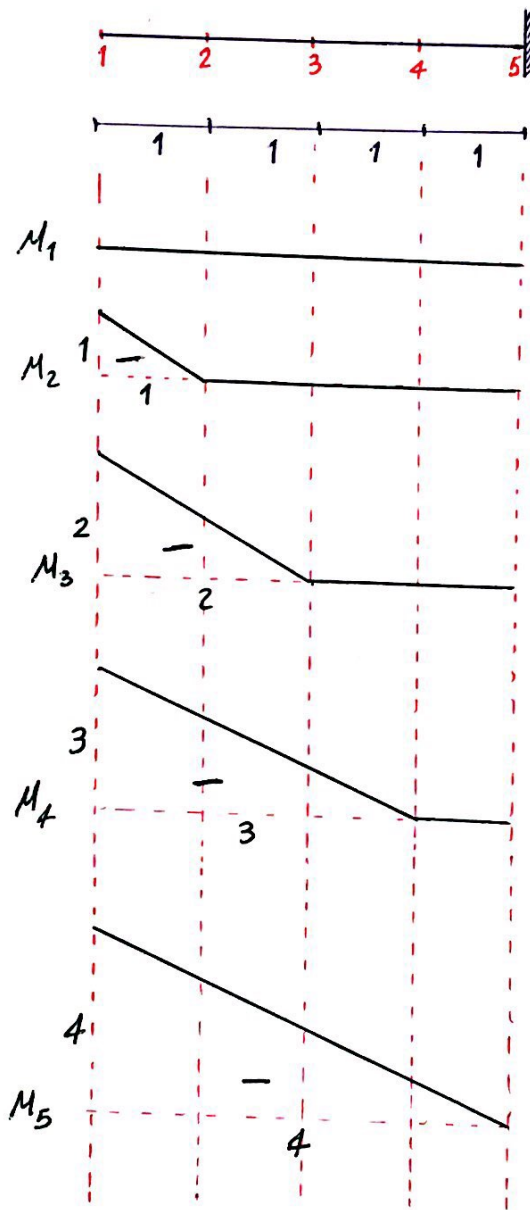


در مورد سازه هایی که تحت تأثیر بارهای متحرک قرار دارند به علت اینکه بار زنده در موقعیت های مختلفی بر سازه اثر می کند، نمودار واحدی برای نیروی برشی و لنگر خمشی وجود ندارد. به عبارت دیگر با حرکت بار متحرک روی سازه در هر لحظه یک نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی وجود دارد که این نمودارها تشکیل یک خانواده منحنی می دهند. که یوشی این خانواده منحنی که بار بر نقاط حداکثر مثبت و حداکثر منفی این خانواده منحنی می باشد معیار منفلی برای طراحی سازه است. برای این کار چندین نقطه در روی تیر مشغول می کنیم. سپس نمودار ضدها تأثیر برشی و یا لنگر خمشی این نقاط را رسم می نماییم و با وصل کردن نقاط حداکثر مثبت با یکدیگر و حداکثر منفی با یکدیگر منحنی یوشی لنگر خمشی یا نیروی برشی رسم می شود.

مثال: منفی پوس لنگر خنثی تیر را در اثر بار متحرک

200 ton، رسم کنید

200 ton



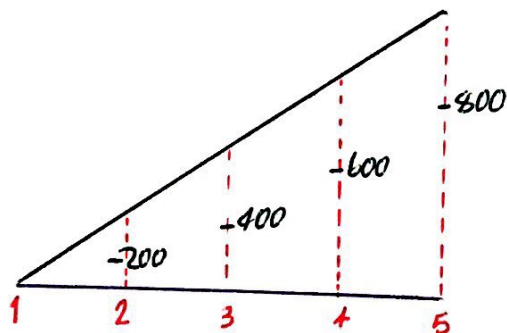
$$M_{max} = 0$$

$$M_{max} = -1 \times 200 = -200$$

$$M_{max} = -400$$

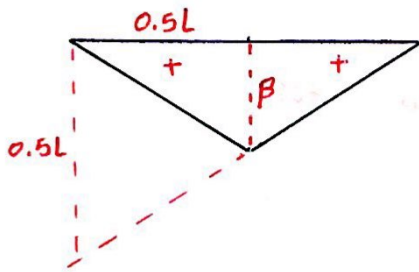
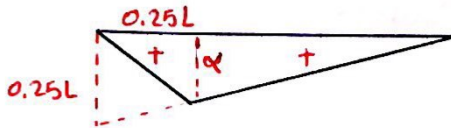
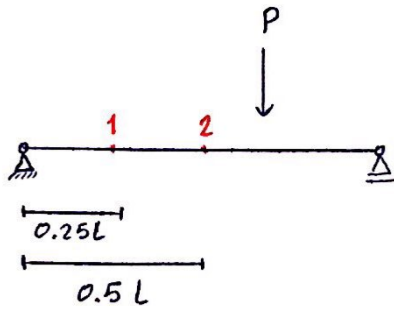
$$M_{max} = -600$$

$$M_{max} = -800$$

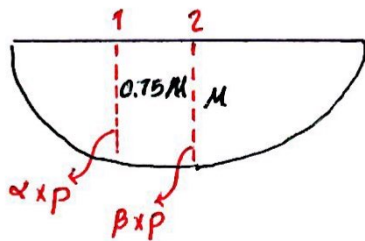


منفی پوس

رسم منحنی پوس گنرفشی در دهانه سازه :

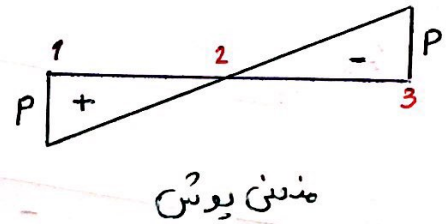
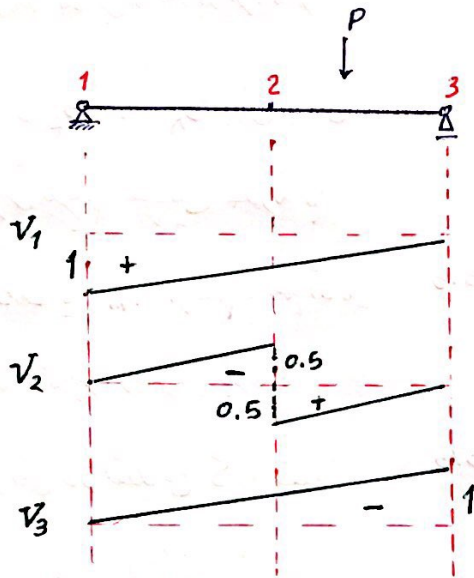


منحنی پوس گنر



رسم منحنی پویش نیروی برشی در دهانه سازه :

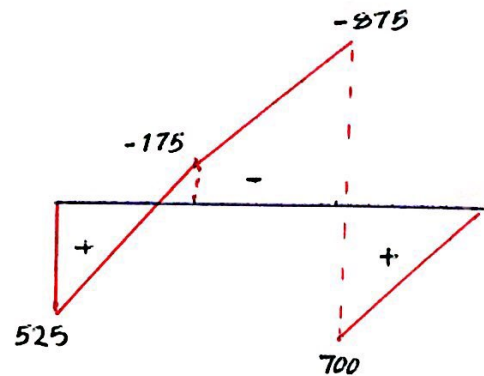
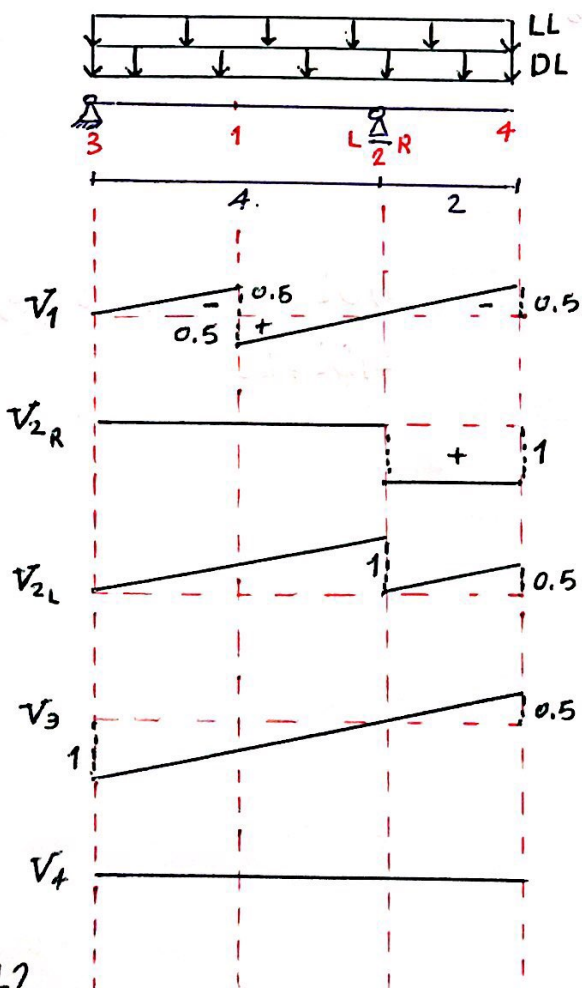
برای رسم منحنی پویش نیروی برشی در دهانه سازه خط تأثیر نیروی برشی دو انتهای وسط دهانه رسم می‌گردد و به کمک آن ها و با توجه به بارهای مرده و زنده نیروی برشی حداکثر در دو انتهای وسط دهانه به یکنیگر وصل می‌شود.



مثال: در تیر شکل زیر بار مرده برابر 200 kg/m و بار زنده برابر 150 kg/m می باشد.

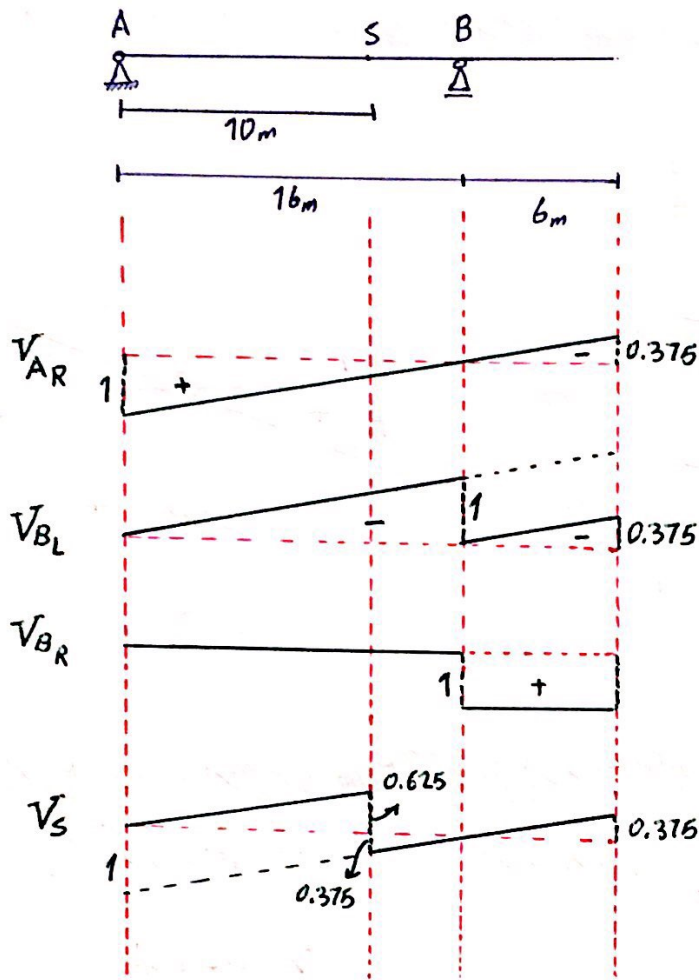
منحنی پویش این تیر را رسم کنید. (منحنی پویش نیروی برشی)

$$q = DL + LL$$



مثال: تیر شکل زیر تحت اثر بار مرده 2 kN/m و بار زنده 4 kN/m قرار دارد.

یوش نیروی برشی برای تیر را رسم کنید.



نیروهای برشی در کلیه گاه می‌توانند در آنجا باشند

بنابراین V_{AR} و V_{BL} و V_{BR} برشی تقاطعی

هستند که در نظر می‌گیریم. همچنین معمولاً به

فاصله‌های 0.5 m یا 1 m از هم، هم تقاطعی

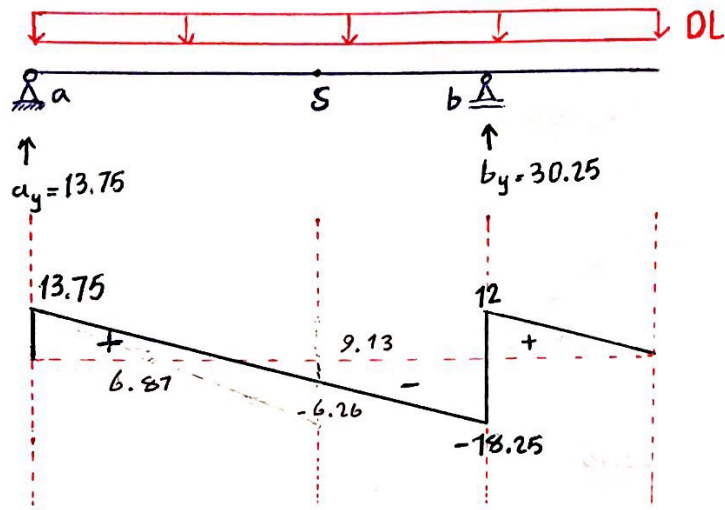
را برای رسم خطوط تأثیر در نظر می‌گیریم.

در اینجا برای راحتی کار نقطه‌ای S را فقط

در داخل تیر برای رسم خط تأثیر برش هم

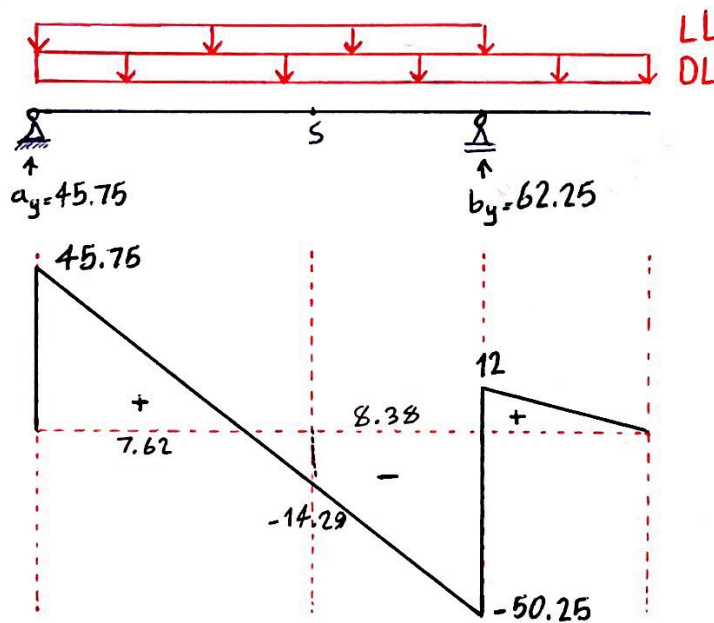
در نظر می‌گیریم.

ترکیب بار :
1) DL
2) DL + LL

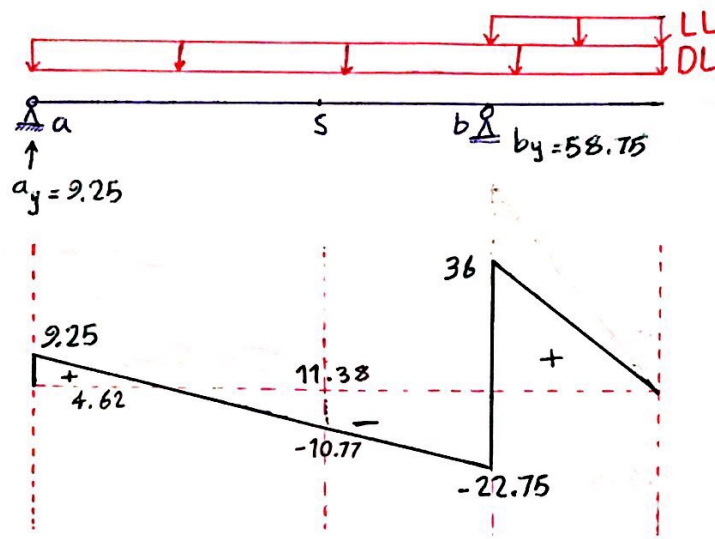


حالت 1

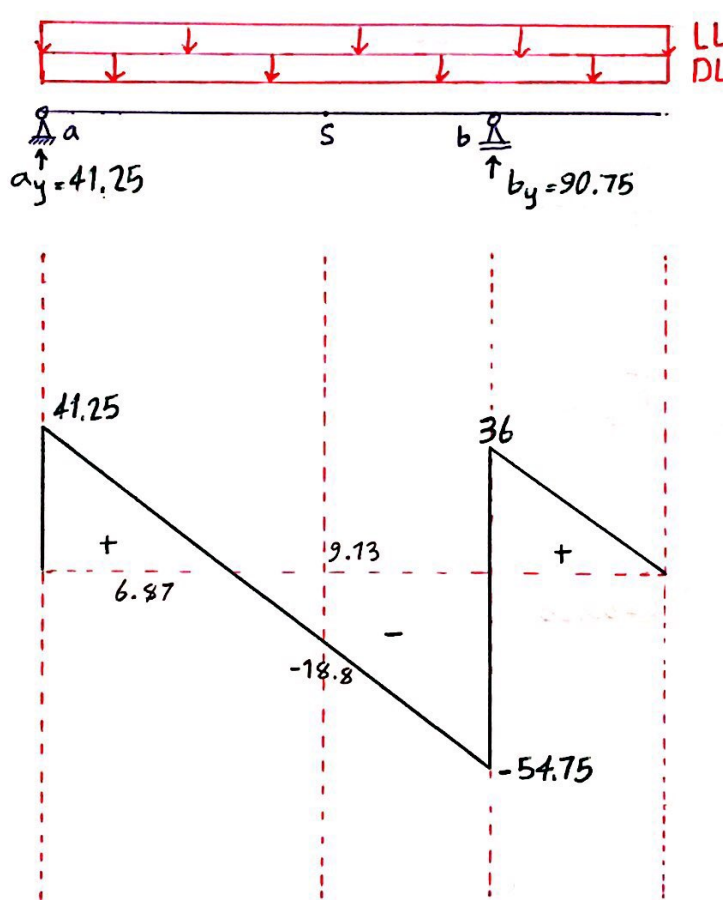
عکس العمل های کلیه گاهی را از روی
خط تأثیر یا روش استاتیکی پیدا می کنیم



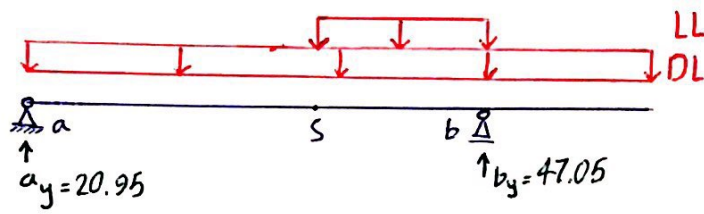
حالت 2



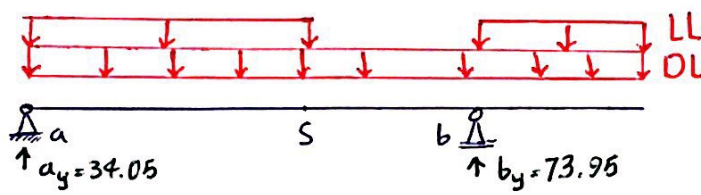
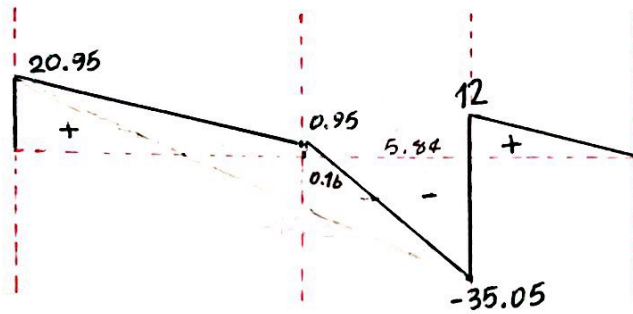
حالت 3



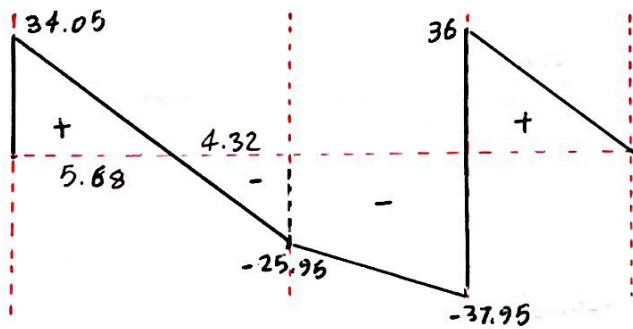
حالت 4

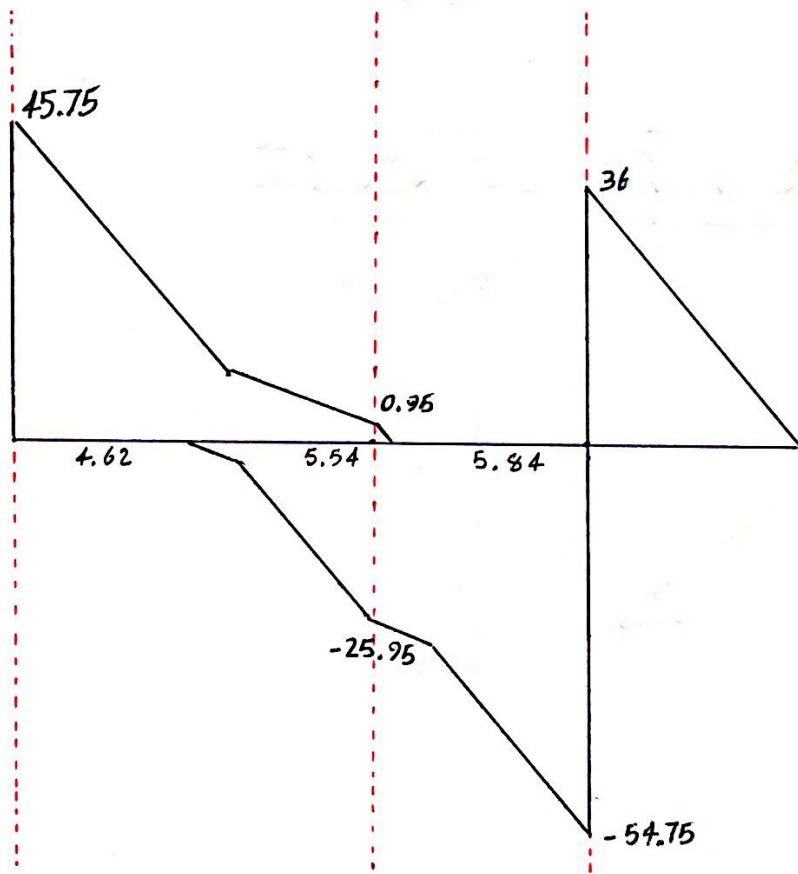


حالت 15



حالت 16

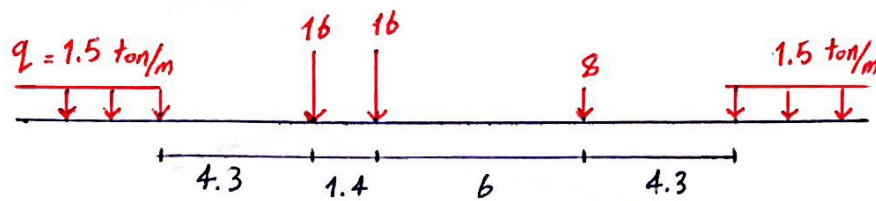




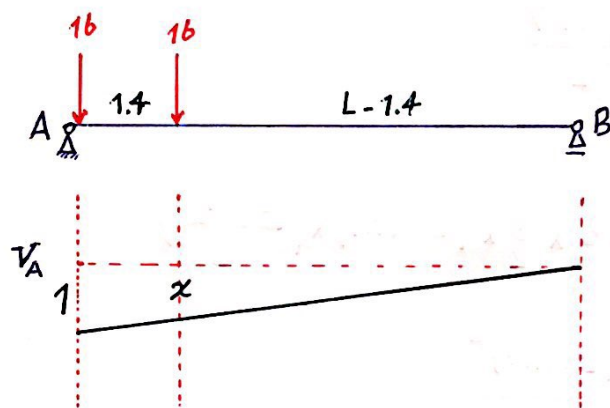
منحنى يوش

نیروهای برش و گشتاوی از بارگذاری آیین نامه ایران برای دهانه‌های سازه

برش ماکزیمم:



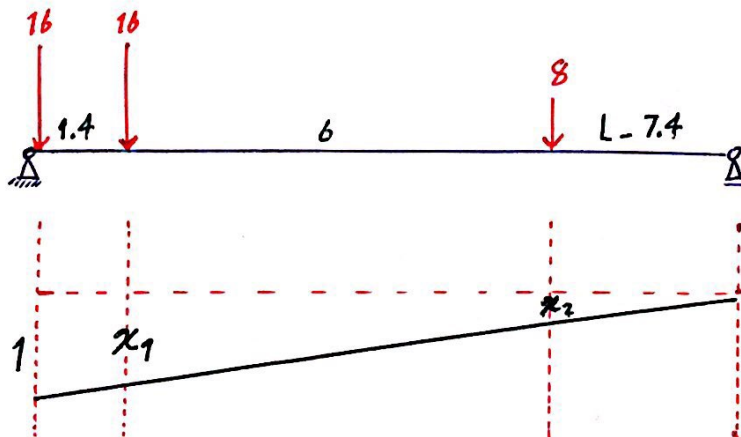
گامیون 40 تنی



1) $L < 7.4$ طول دهانه تیر یا پل

$$x = \frac{L - 1.4}{L}$$

$$V_{max} = 16 + 16 \times \left(\frac{L - 1.4}{L} \right)$$



2) $7.4 < L < 11.7$

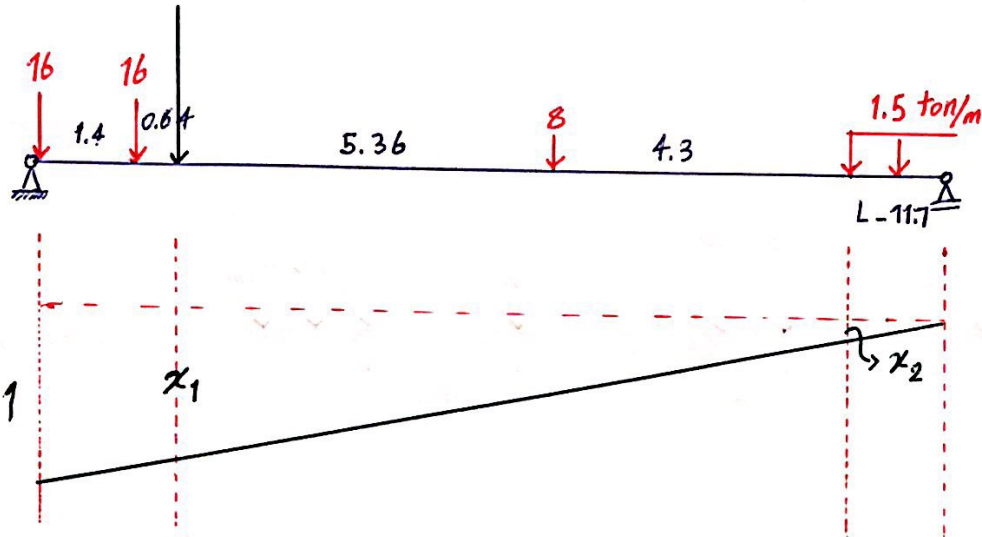
$$x_1 = \frac{L - 1.4}{L}$$

$$x_2 = \frac{L - 7.4}{L}$$

$$V_{max} = 1 \times 16 + 16 \times \left(\frac{L - 1.4}{L} \right) + 8 \times \left(\frac{L - 7.4}{L} \right) \Rightarrow V_{max} = 40 - \frac{81.6}{L}$$

40 (برای ایند ساینس و مهندسی)

$L > 11.7$ (3)



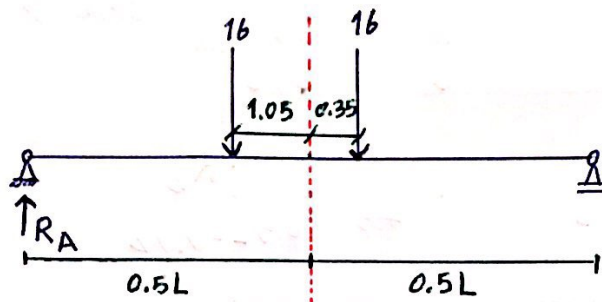
$$x_1 = \frac{L - 2.04}{L}$$

$$x_2 = \frac{L - 11.7}{L}$$

$$V_{max} = 40 \times \left(\frac{L - 2.04}{L} \right) + 1.5 \times \frac{1}{2} \times (L - 11.7) \times \left(\frac{L - 11.7}{L} \right)$$

$$V_{max} = \frac{40 \times (L - 2.04) + 0.75 \times (L - 11.7)^2}{L}$$

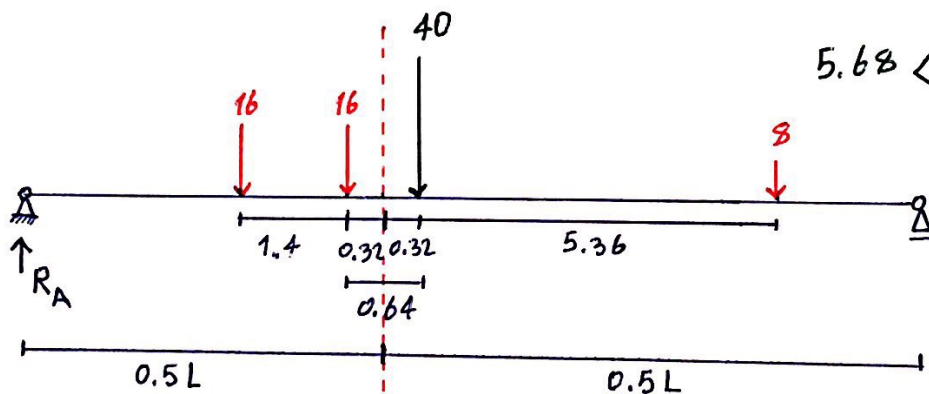
لنگر ماکزیمم:



$$0.5L < 5.68 \quad (1)$$

$$R_A = 32 \times \frac{(0.5L + 0.35)}{L}$$

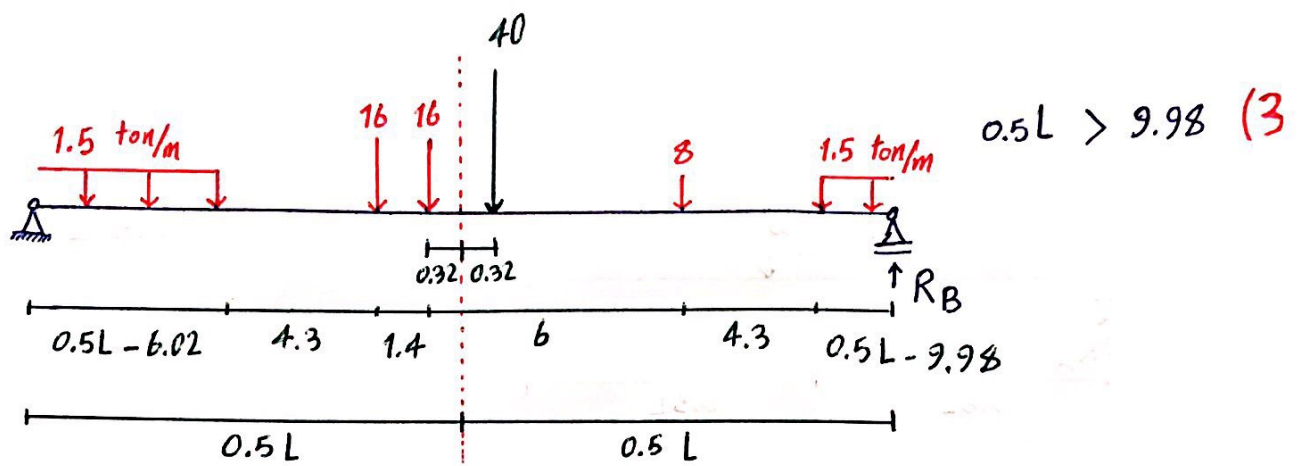
$$M_{max} = R_A (0.5L + 0.35) - 16 \times 1.4$$



$$5.68 < 0.5L < 9.98 \quad (2)$$

$$R_A = \frac{40 \times (0.5L + 0.32)}{L}$$

$$M_{max} = R_A \times (0.5L + 0.32) - 16 \times 1.4$$

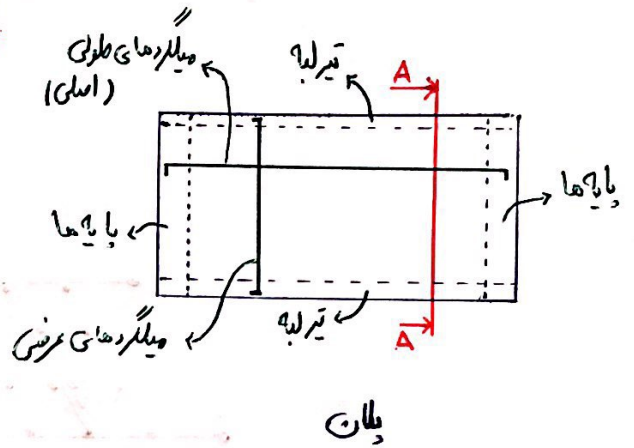
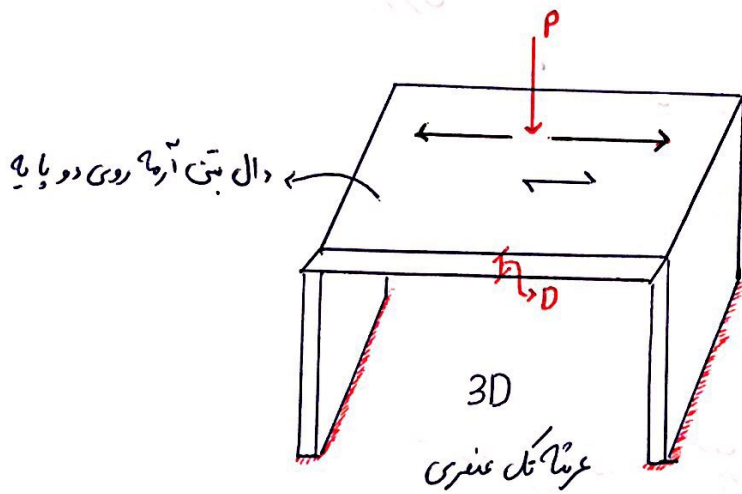


$$R_B = \frac{20L + 12.8 + 0.75(0.5L - 6.02)^2 + 1.5L(0.5L - 9.98) - 0.75(0.5L - 9.98)^2}{L}$$

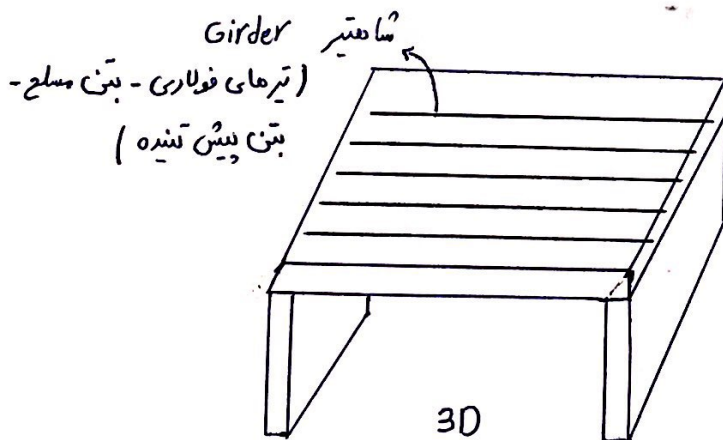
$$M_{max} = R_B \times (0.5L + 0.32) - 8 \times 6 - 1.5(0.5L - 9.98)[0.5L + 0.32 - 0.5(0.5L - 9.98)]$$

1) عرشه تک عنصری 2) عرشه دو عنصری 3) عرشه سه عنصری 4) عرشه چهار عنصری

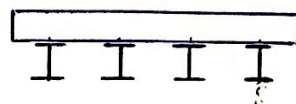
عرشه تک عنصری



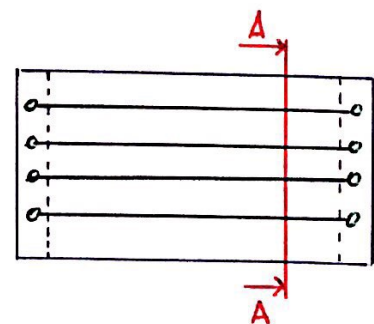
پلان



عرشه دو عنصری

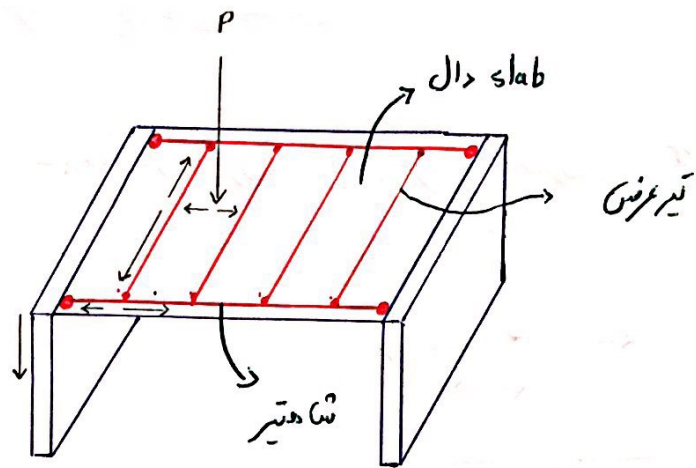


Sec A-A

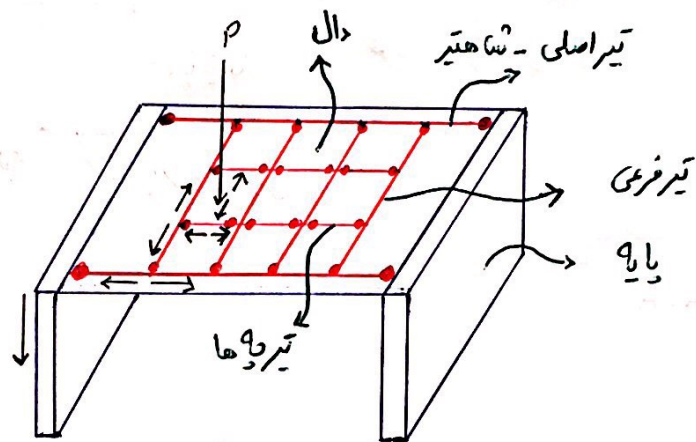


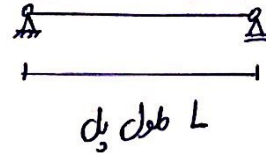
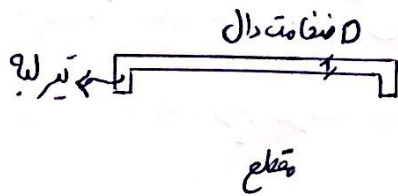
پلان

عَرَبِيَّ سَلْعَ عَنَفَرِي



عَرَبِيَّ چَهَار عَنَفَرِي



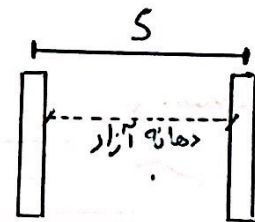
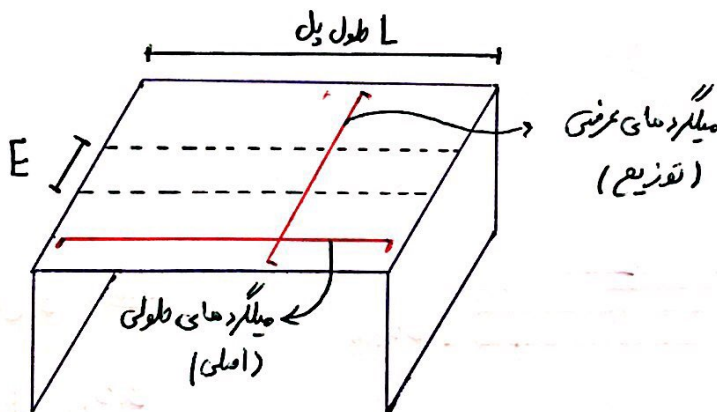


برای دهانه سازه : $D/L < \frac{1}{15}$

برای دهانه تیرسازی : $D/L < \frac{1}{20}$

در این عرشه ها میلگردهای اصلی در امتداد طول قرار می گیرند و در عرض دال هم یکسری میلگردهایی قرار می دهیم که فلی محاسباتی نیستند.

برای محاسبه عرض منبسط شده بار فضا عبور در پهنای E توزیع می گردد.



$E = 2.45 + 0.12 S \leq 4.2 \text{ m}$ پهنای مؤثر دال

S: طول دهانه دال

(دهانه آزاد + ضخامت دال) : $S < \text{فاصله مینیمم به مرکز تکیه گاه ها}$

پس از تعیین پهنای مؤثر دال محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی برای بارهای مرده و زنده صورت می گیرد

درصد میلگردهای توزیع = $\frac{55}{\sqrt{S}} < 50\%$

تیرهای لبه‌ای

برای دال‌هایی که میلگردهای اصلی آن‌ها هم امتداد ترافیک می‌باشند تیرهای لبه‌ای در نظر گرفته می‌شود. شکل این تیرها به صورت زیر خواهد بود.

1) همان مقطع دال با میلگردهای اضافی

2) یک تیر با ارتفاعی بیش از ارتفاع دال

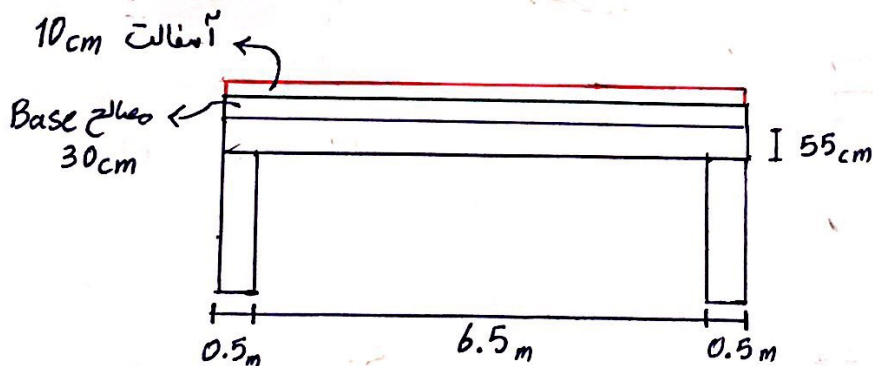
3) یک مقطع که شامل پیاده رو باشد

این تیر با بستن لنگر زیر را تحمل کند

(برای دهانه‌های سراسری این لنگر 20% کاهش می‌یابد و اثر ضرب هم اعمال نمی‌شود)

$$M = 0.1 \times P \times S$$

8 ton



مسئله: فصل 6 ماده 210

دهانه آزاد بزرگ 6.5 m

عرض تکیه‌گاه 0.5 m

عرض آزاد برای عبور دو خط 7.3 m + دو تکیه‌گاهی 1.85 m از راست و چپ

$$S = 6.5 + 0.5 = 7$$

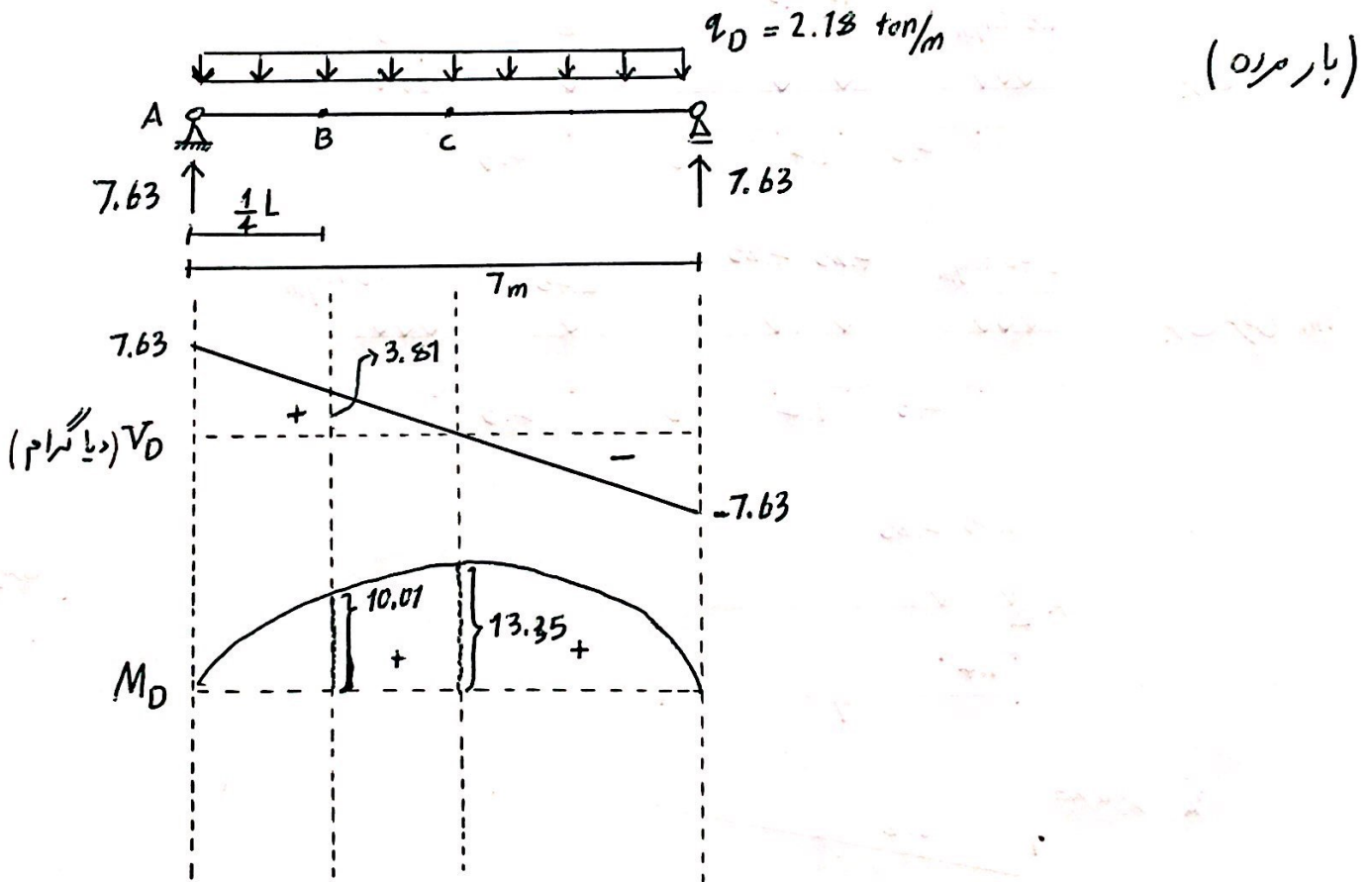
$$\frac{D}{L} > \frac{1}{15} \rightarrow \frac{0.55}{7} > \frac{1}{15} \rightarrow 0.078 > 0.06 \quad \text{OK} \checkmark$$

وزن بتن : $2.5 \text{ ton/m}^3 \times 0.55 = 1.38 \text{ ton/m}^2$

وزن آسفالط : $2.2 \times 0.1 = 0.22 \text{ ton/m}^2$

$$W_D = 2.18 \text{ ton/m}^2$$

Base وزن : $1.92 \times 0.3 = 0.58 \text{ ton/m}^2$



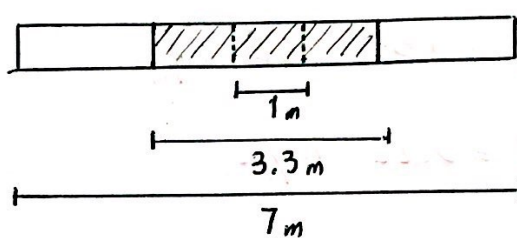
$$M_B \text{ or } M_{(0.25L)} = 7.63 \times 0.25 \times 7 - \frac{2.18 \times (0.25 \times 7)^2}{2} = 10.01$$

$$M_K \text{ or } M_{(0.5L)} = 7.63 \times 0.5 \times 7 \times \frac{1}{2} = 13.35$$

$$E = 2.45 + 0.12 S < 4.2 \text{ m}$$

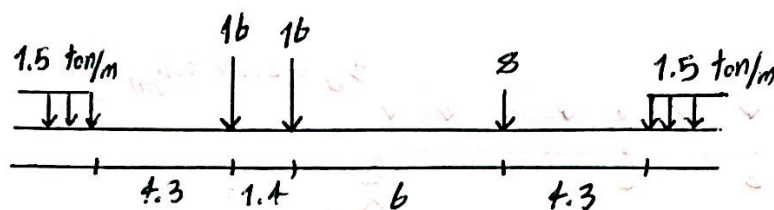
$$E = 2.45 + 0.12 \times 7$$

$$E = 3.3 \text{ m}$$

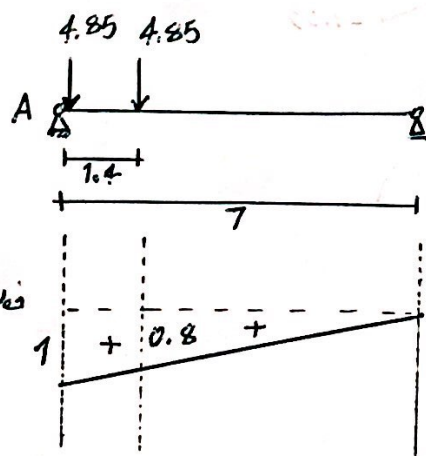
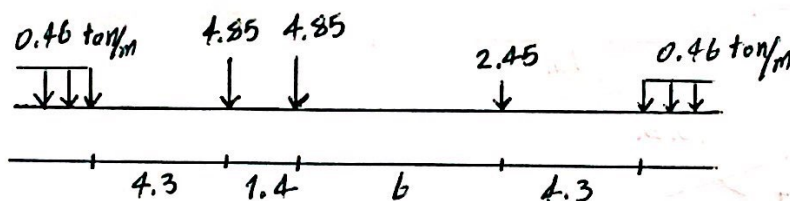


$$\boxed{0.55 \text{ m}} \\ 1 \text{ m}$$

برای E



برای عرض 1m

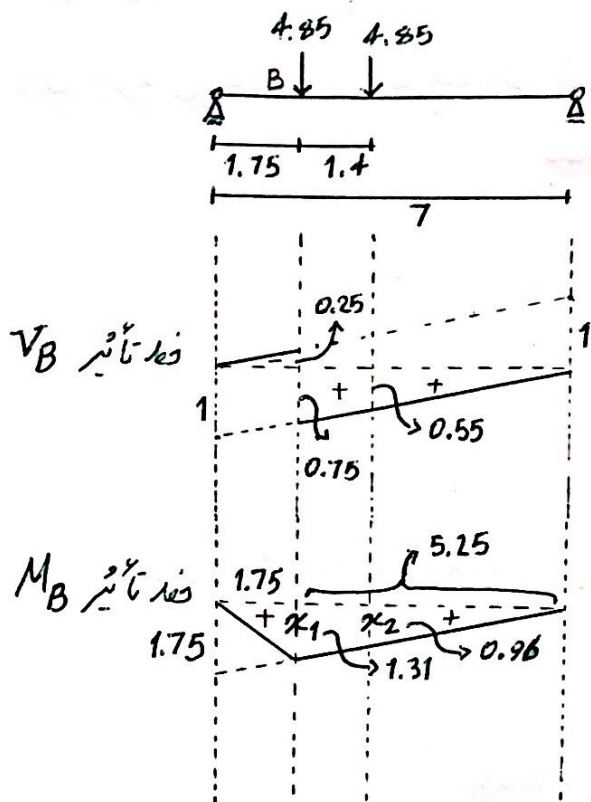


(بار زنده)

فشار تأثیر V_A

$$(V_A)_{max} = 4.85 \times 1 + 4.85 \times 0.8 = 8.73$$

$$M_A = 0$$

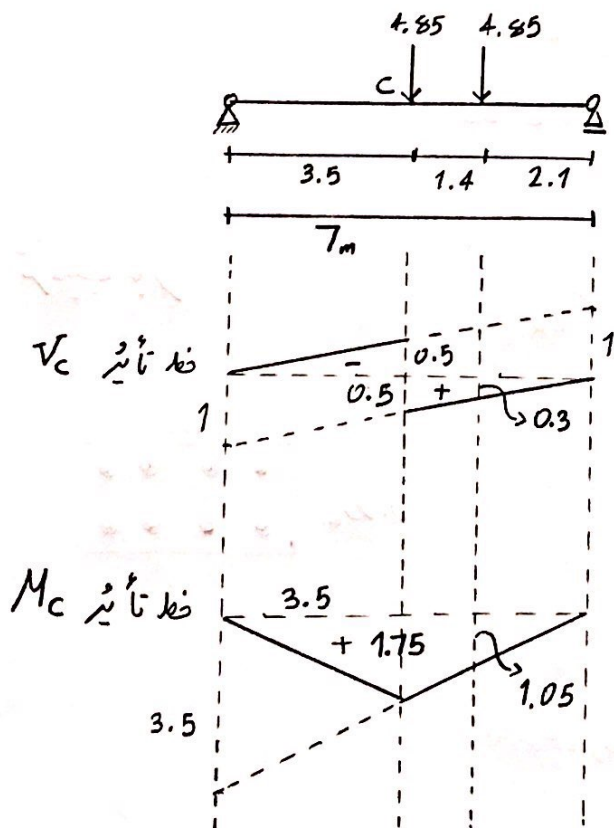


$$(V_B)_{\max} = 0.75 \times 4.85 + 0.55 \times 4.85 = 6.3 \text{ ton}$$

$$\frac{1.75}{x_1} = \frac{7}{7 - 1.75} \quad x_1 = 1.31$$

$$\frac{1.75}{x_2} = \frac{7}{3.85} \quad x_2 = 0.96$$

$$M_B = 4.85 \times 1.31 + 4.85 \times 0.96 = 11$$



$$V_C = 4.85 \times 0.5 + 4.85 \times 0.3 = 3.88$$

$$M_C = 4.85 \times 1.75 + 4.85 \times 1.05 = 13.58$$

اثر ضربه

یعنی بارهای زنده را در ضربه اثر ضربه ، ضرب می کنیم

$$\delta = 1.3 - 0.005 \times L - 0.15 \times h$$

مقاومت روسازی پلاستیک → دهانه

$$\delta = 1.3 - 0.005 \times 7 - 0.15 \times 0.4 = 1.21$$

$$I = 1.21 - 1 = 0.21$$

$$A = \begin{cases} V_D = 7.63 & V_L = 8.73 & V_I = 0.21 \times 8.73 = 1.83 \\ M_D = 0 & M_L = 0 & M_I = 0 \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} V_D = 3.81 & V_L = 6.3 & V_I = 1.33 \\ M_D = 10.01 & M_L = 11 & M_I = 2.31 \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} V_D = 0 & V_L = 3.85 & V_I = 0.81 \\ M_D = 13.35 & M_L = 13.58 & M_I = 2.86 \end{cases}$$

$$1.25 D + 1.625 (L + I)$$

$$A: V_u = 1.25 \times 7.63 + 1.625 (8.73 + 1.83) = 26.7$$

$$M_u = 1.25 \times 0 + 1.625 (0 + 0) = 0$$

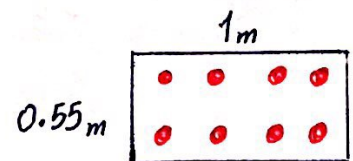
$$B: V_u = 1.25 \times 3.81 + 1.625 (6.3 + 1.33) = 17.16$$

$$M_u = 1.25 \times 10.01 + 1.625 (11 + 2.31) = 34.14$$

$$C: V_u = 1.25 \times 0 + 1.625 (3.85 + 0.81) = 7.57$$

$$M_u = 1.25 \times 13.35 + 1.625 (13.58 + 2.86) = 43.4$$

ترکیب بار



درصد میلگردهای عرضی (توزیع)

$$21\% \text{ آرماتورهای طولی را در عرض قرار می دهیم} \quad \frac{55}{\sqrt{S}} = \frac{55}{\sqrt{7}} = 21\% < 50\% \checkmark \text{ok}$$