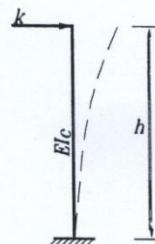




# اصول مهندسی پل

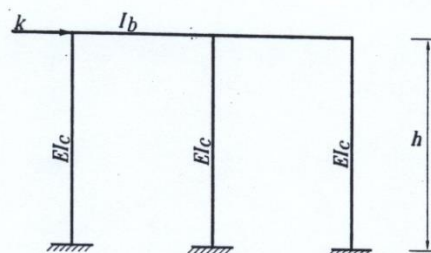
دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



پایه تک ستونی

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

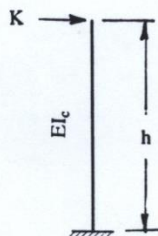
پایه چندستونی در امتداد عرضی



$$I_b = 0 \rightarrow K = \sum_1^n \frac{3EI_c}{h^3}$$

$$I_b = \infty \rightarrow K = \sum_1^n \frac{12EI_c}{h^3}$$

پایه چندستونی در امتداد طولی



$$K = \sum_1^n \frac{3EI_c}{h^3}$$



مثال:

مطلوب است تعیین نیروی زلزله در امتداد عرضی برای پایه میانی  $a$  در پل نشان داده شده در شکل. وزن مرده عبورگاه مساوی ۱۶ تن بر متر برآورد گردیده و آزمایشگاه مکانیک خاک نوع زمین را I معرفی کرده است.

حل:

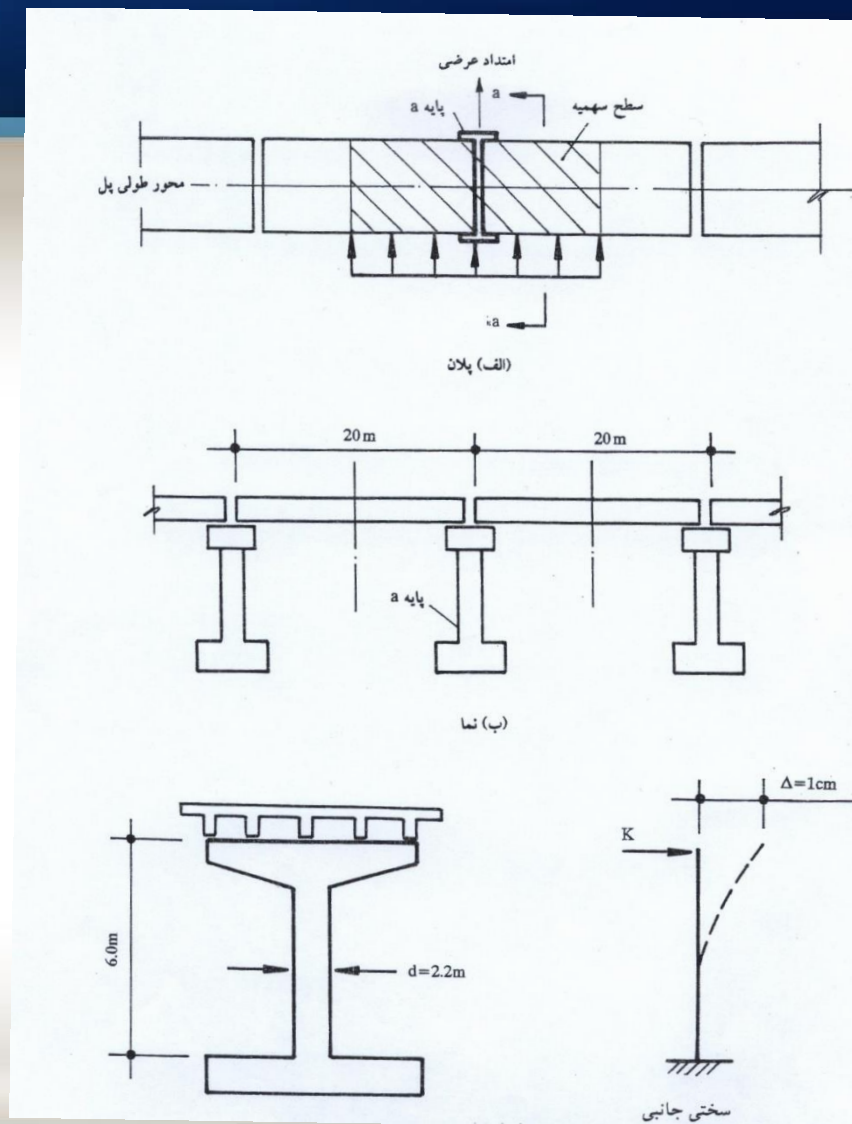
با توجه به این که عبورگاه پل به طور ساده درروی پایه تکیه نموده است , با توجه به سختی مساوی پایه ها , توزیع نیروی به نسبت سطح بارگیر هر پایه صورت می گیرد.



# اصول مهندسی پل

محاسبات را بر مبنای آیین نامه لرزه ای

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



شکل ۲-۲۲



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



$$A=0/35$$

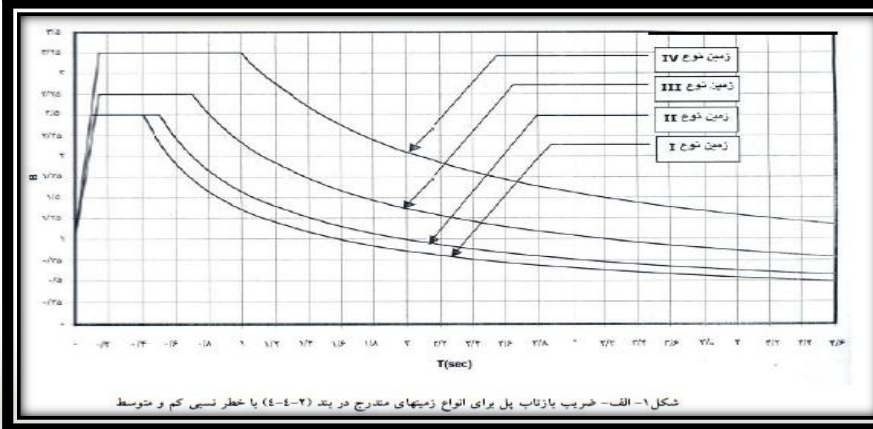
$$I= 1.2$$

$$R= 3 \text{ (پایه تک ستونی)}$$

$$B=? \rightarrow \begin{cases} T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \\ \text{نوع خاک} \end{cases} \rightarrow B$$

جدول ۱: پارامترهای مربوط به روابط (۳-۲)

نوع زمین	$T_0$	$T_s$	خطر نسبی کم و متوسط	خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد
I	۰/۱	۰/۱	۱/۵	۱/۵
II	۰/۱	۰/۵	۱/۵	۱/۵
III	۰/۱	۰/۷	۱/۷۵	۱/۷۵
IV	۰/۱۵	۱/۰	۲/۲۵	۱/۷۵





$$W = 16000 \times 20 + 50000 = 370000 \text{ kg}$$

(وزن تیر + ۲۵ درصد ستون ها)

$$K = \frac{3EI}{h^3} \begin{cases} E = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \\ h = 600 \text{ cm} \\ I = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi \times 110^4}{4} = 1.15 \times 10^8 \text{ cm}^4 \end{cases}$$

$$k = \frac{3 \times 2.1 \times 10^5 \times 1.15 \times 10^8 \times 1}{600^3} = 3.35 \times 10^5 \text{ kg}$$



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{37 \times 10^4}{3.35 \times 10^5 \times 981}} = 0.21 \text{ ثانیه}$$

$$T_0 = 0.1 \text{ (زمین نوع یک)}$$

$$T_s = 0.4$$

$$S = 1.5$$

$$B = S + I = 2.5$$

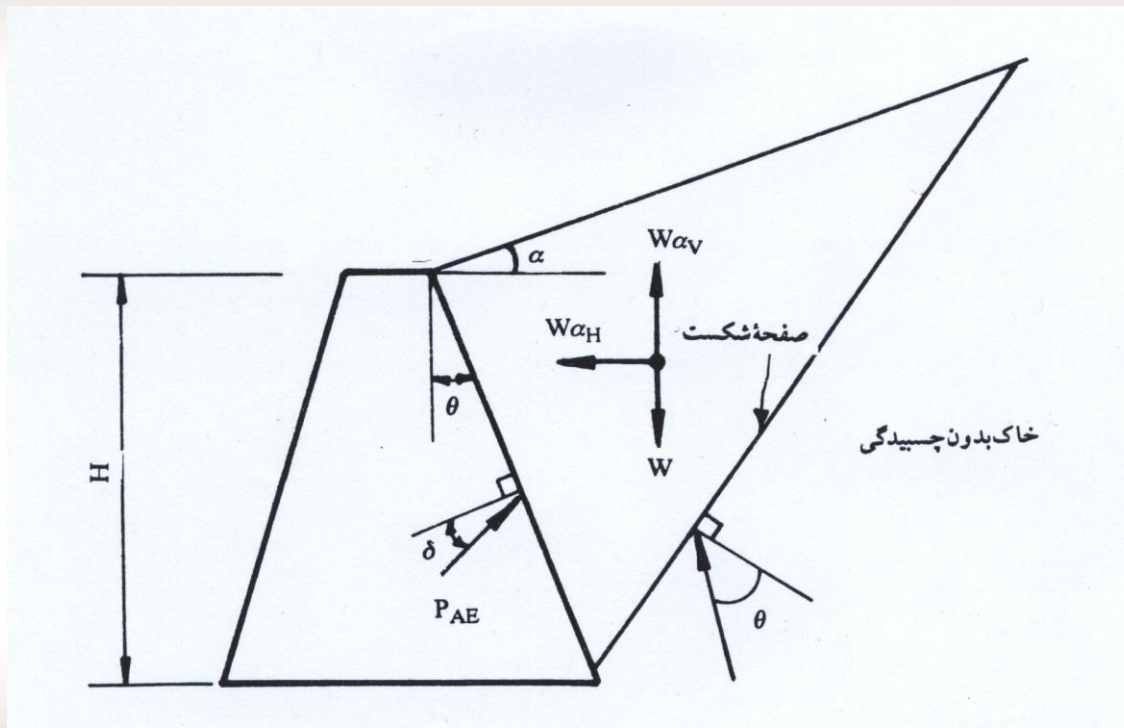
$$C = \frac{A.B.I}{R} = \frac{0.35 \times 2.5 \times 1.2}{3} = 0.35$$

$$F = C.W = 0.35 \times 370000 = 12950 \text{ kg}$$





فشار خاک در پایه های کناری و دیوارهای حایل در هنگام زلزله





$$(K_{EA} = K_A + \Delta K_{EA})$$

ضریب فشار فعال در هنگام زلزله :

$$K_{EA} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_0 - \theta)}{\cos \theta_0 \cos^2 \theta \cos(\theta + \theta_0 + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha - \theta_0)}{\cos(\theta + \theta_0 + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]}$$

- پیشنهاد مونونوبه - اکابه

$$K_{EA} = K_A + 0.75K_h$$

- پیشنهاد سید - ویتمان





روش آیین نامه ایران برای تعیین فشار خاک در پشت کوله ها و دیوار ها در هنگام زلزله

اثر نیروی جانبی زلزله بر خاکریز های پشت کوله ها و دیوار ها موجب افزایش فشار فعال خاک بر روی این سازه ها می گردد. اضافه فشار

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

فعال ناشی از زلزله ، بر این سازه ها از رابطه زیر محاسبه می شود:

در این رابطه:

$$\Delta P_{ae} = \text{اضافه فشار فعال خاک}$$

$$A = \text{شتاب مبنای طرح}$$

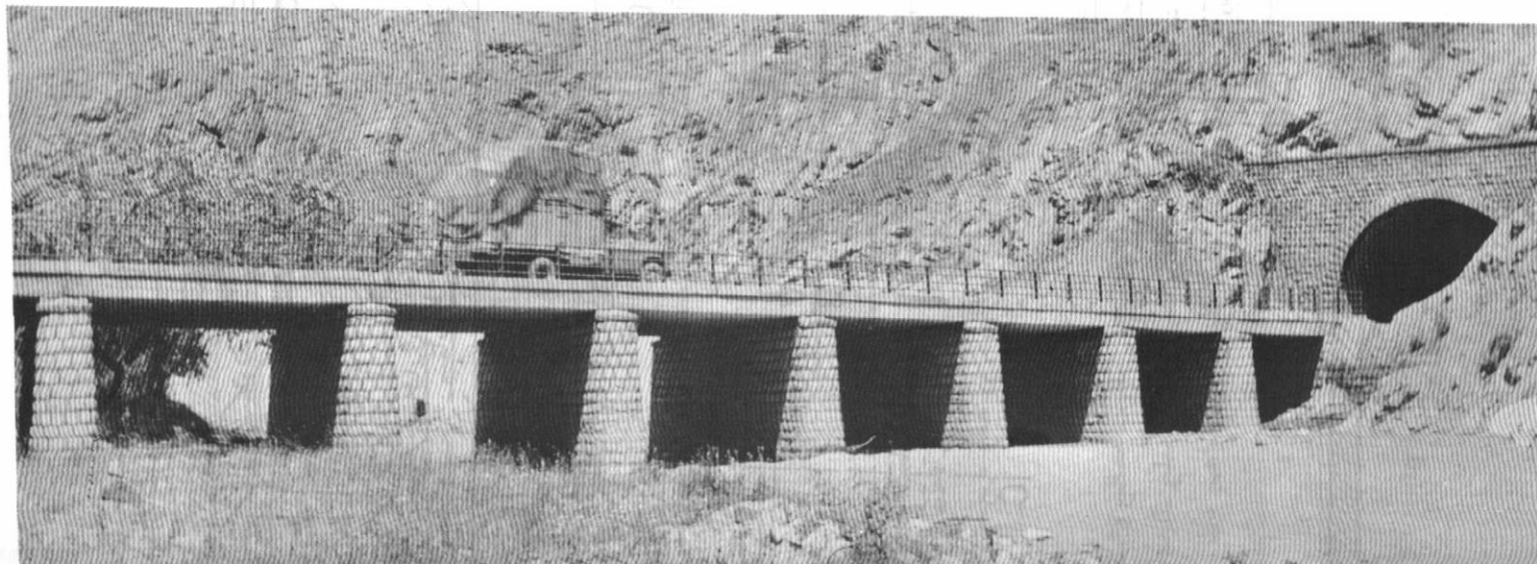
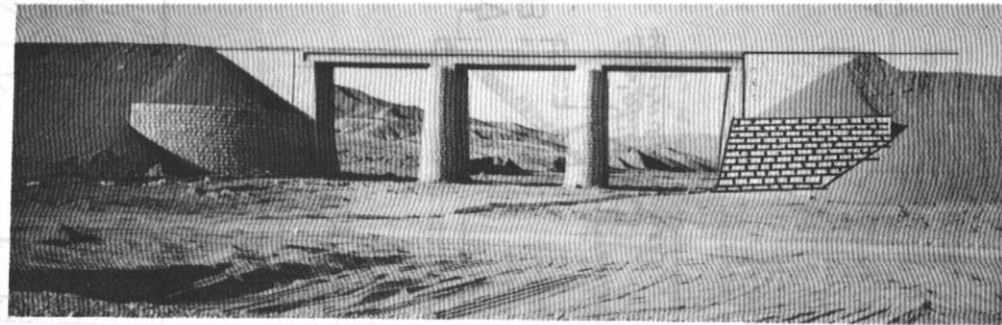
$$K_a = \text{ضریب فشار فعال خاک در حالت عادی}$$

$$\gamma = \text{وزن مخصوص خاک}$$

$$H = \text{ارتفاع کوله یا دیوار}$$



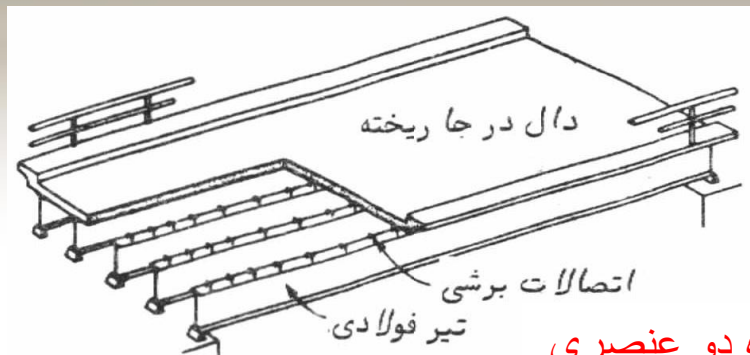
## تحلیل و طرح عرشه پل



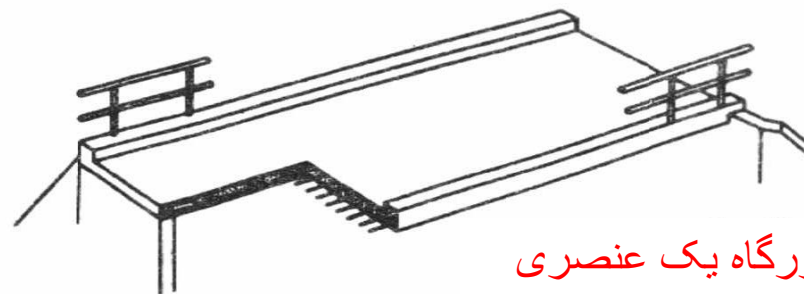


# اصول مهندسی پل

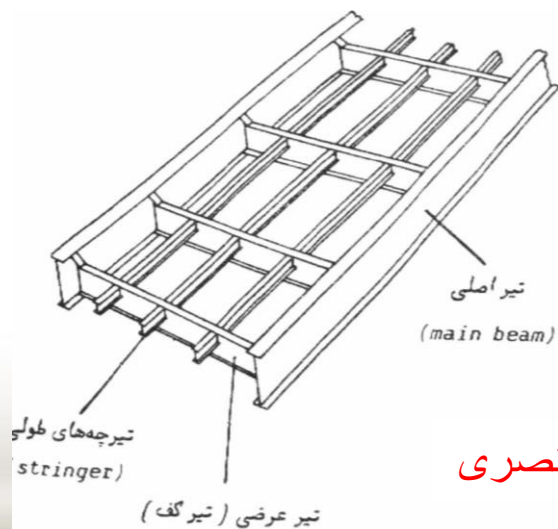
دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



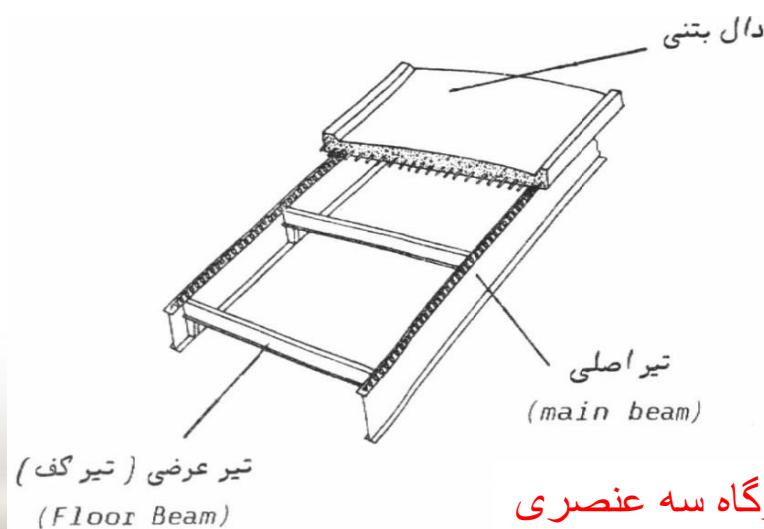
عبورگاه دو عنصری



عبورگاه یک عنصری



عبورگاه چهار عنصری



عبورگاه سه عنصری



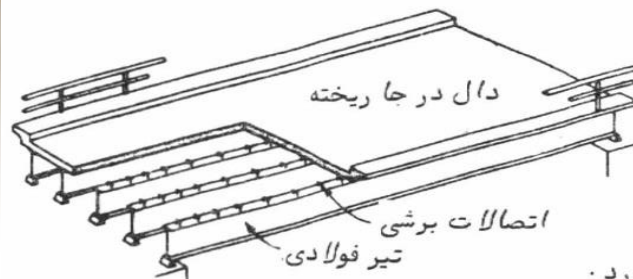


# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



فصل سوم



عدا اکثر تغییر مکان قائم  
سطح دهانه تحت بار زنده +  
سربده برای پلهای جاده مساوی  
 $\frac{1}{800}$  دهانه و برای پل های  
آهن  $\frac{1}{640}$  دهانه می باشد.

همچنین آیین نامه آشتو مقرری دارد :

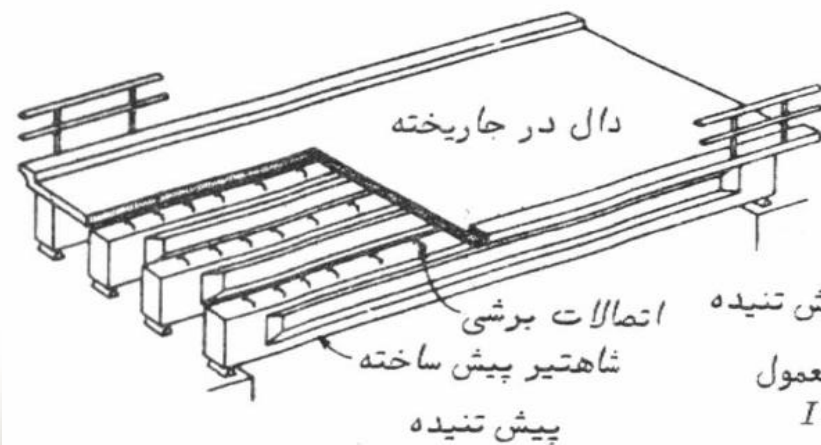
$$\frac{D}{L} > \frac{1}{25} \text{ تیر فولادی تنها}$$

$$\frac{D}{L} > \frac{1}{25} \text{ مرکب (تیر ورق + دال)}$$

$$\frac{D}{L} > \frac{1}{30} \text{ تیر فولادی در مقطع مرکب}$$

شکل ۳ - عبورگاه دو عنصری با تیرهای طولی فولادی

$$\left. \begin{array}{l} 18m < L < 30m \\ \frac{D}{L} = \frac{1}{16} \sim \frac{1}{20} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{دهانه و نسبت} \\ \text{معمول } \frac{D}{L} \end{array}$$



$$\frac{D}{L} = \frac{1}{16} \sim \frac{1}{18} \text{ تیر پیش تنیده}$$

فاصله معمول

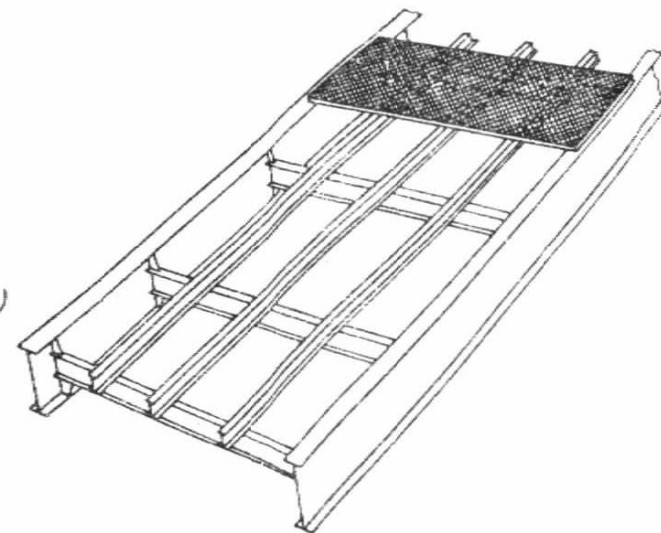
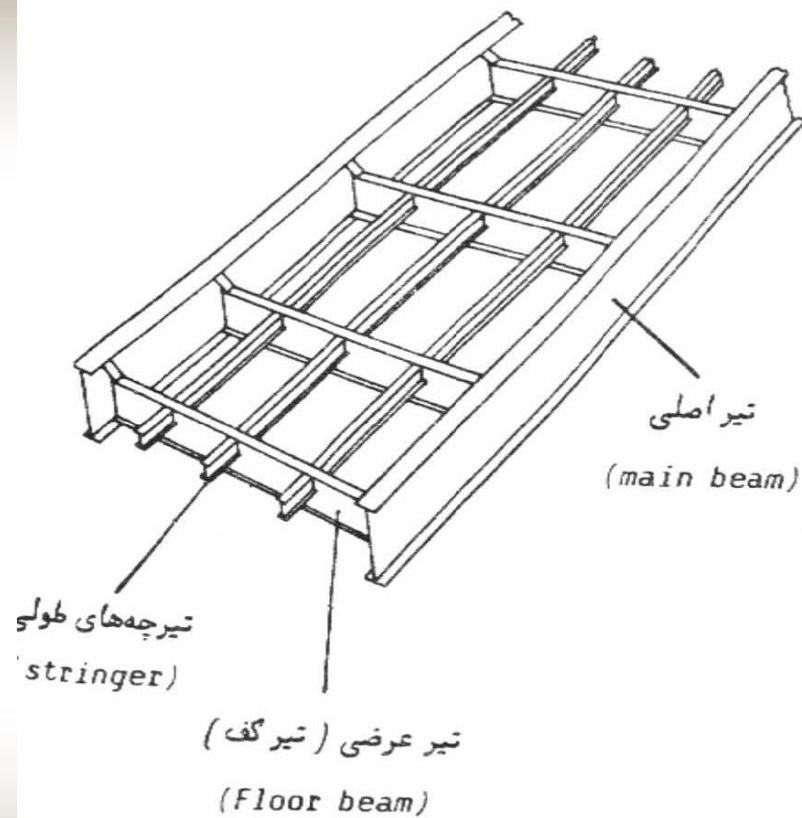
$$I \text{ تیرهای } = 2.1 \sim 2.7m$$

شکل ۴ - عبورگاه دو عنصری با تیرهای طولی پیش تنیده



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



توجه:  
دال بتنی در روی شکل نشان  
داده شده است.



## طراحی دال عبورگاه پل

آیین نامه طرح و محاسبه

پل های بتن آرمه

نشریه شماره ۳۸۹

(بخش الحاقی به آیین نامه بتن ایران "آبا")

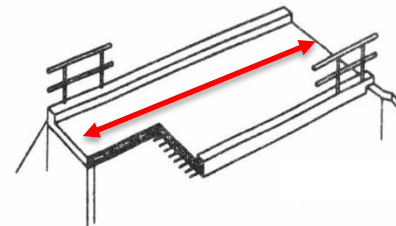
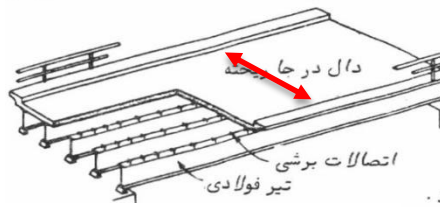
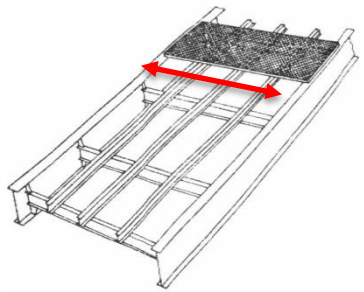
دفتر نظام فنی اجرایی



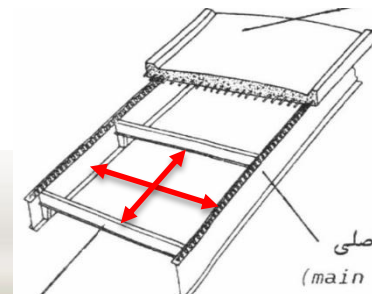


## انواع دال ها:

### دال یک طرفه



### دال دو طرفه





## طراحی دال یک طرفه (بند 2-4-15 نشریه 389)

### نحوه محاسبه لنگر در دال

۱۵-۴-۲-۴- لنگر خمشی در دال‌های با آرماتور اصلی در جهت حرکت

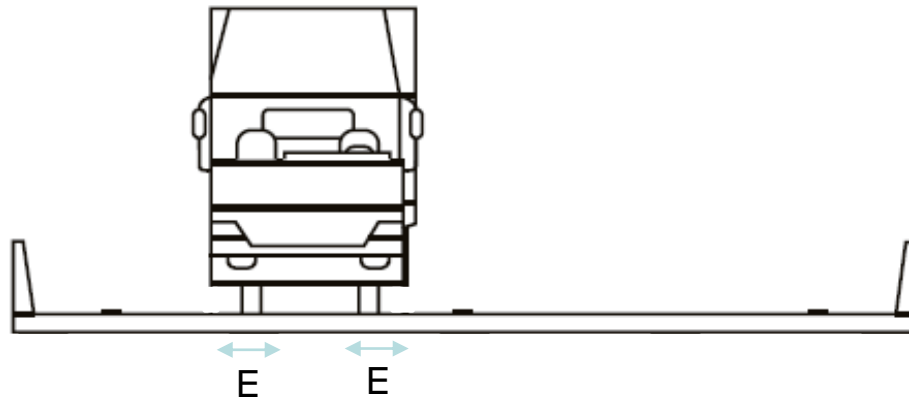
در این دال‌ها، با تکیه گاه‌های ساده و یا یکسره، لنگرهای خمشی ناشی از بار کامیون استاندارد، با فرض آنکه بار هر چرخ در نواری به عرض  $E$  از رابطه زیر توزیع می‌شود، بدست می‌آید. لنگرهای خمشی ناشی از بارگذاری یکنواخت متعادل در هر خط ترافیک با توزیع این بار در نواری به عرض  $2E$  تعیین می‌شود.

$$E = 1.2 + 0.06l_e \leq 2.1m$$

(۱۵-۵-پ)



## طراحی دال عبورگاه یک عنصری



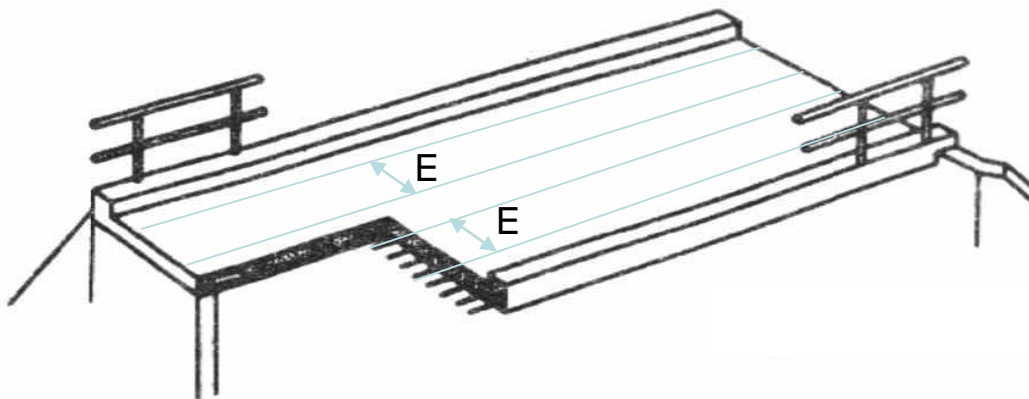
$$E = 1.2 + 0.06 le < 2.1 \text{ m}$$

دهانه (m)

محور به محور تکیه گاه  
یا

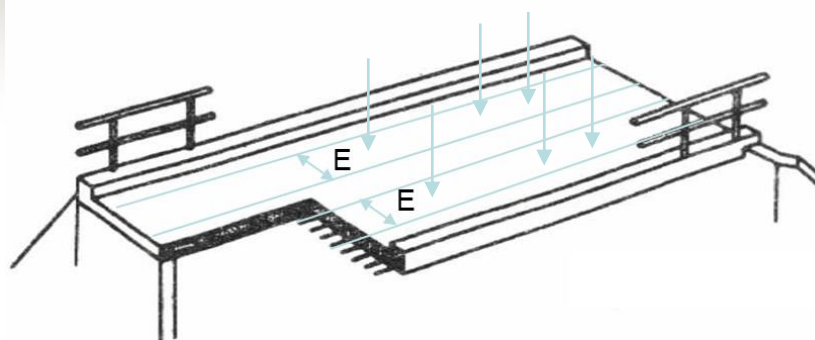
داخل به داخل تکیه گاه  
باضافه ضخامت دال

عرض مؤثر دال  
زیر یک چرخ (m)

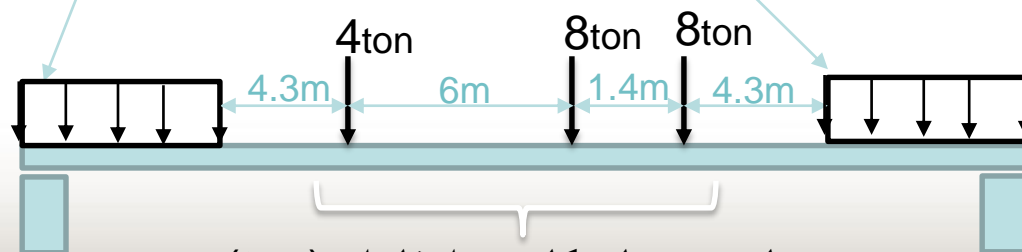




## بارگذاری کامیون طرح (کامیون استاندارد)



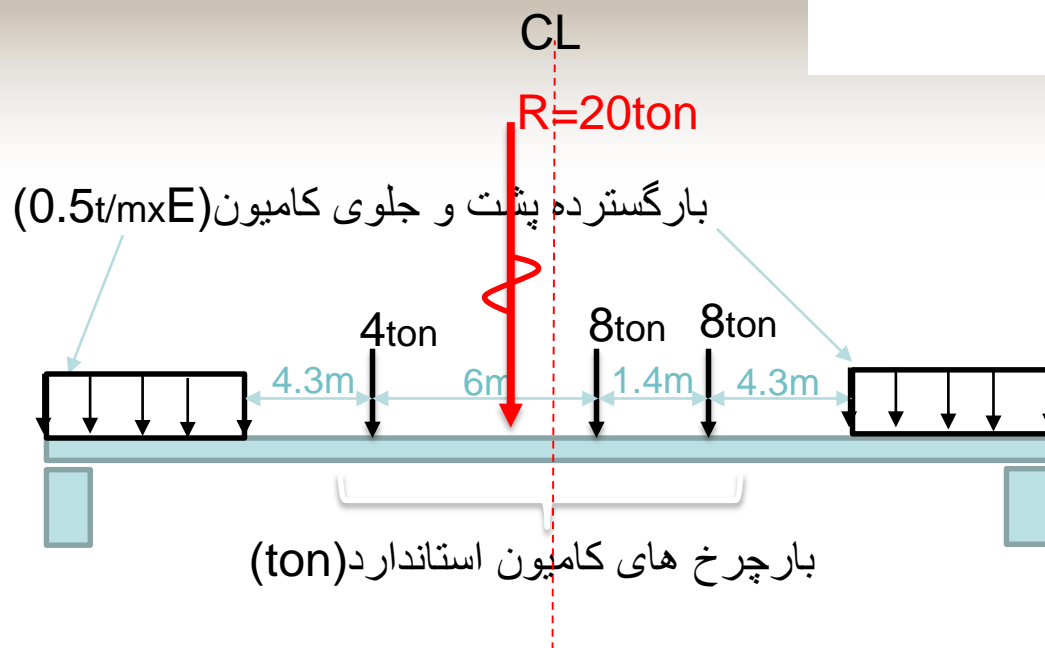
بارگسترده پشت و جلوی کامیون  $(0.5t/m \times E)$



بارچرخ های کامیون استاندارد (ton)



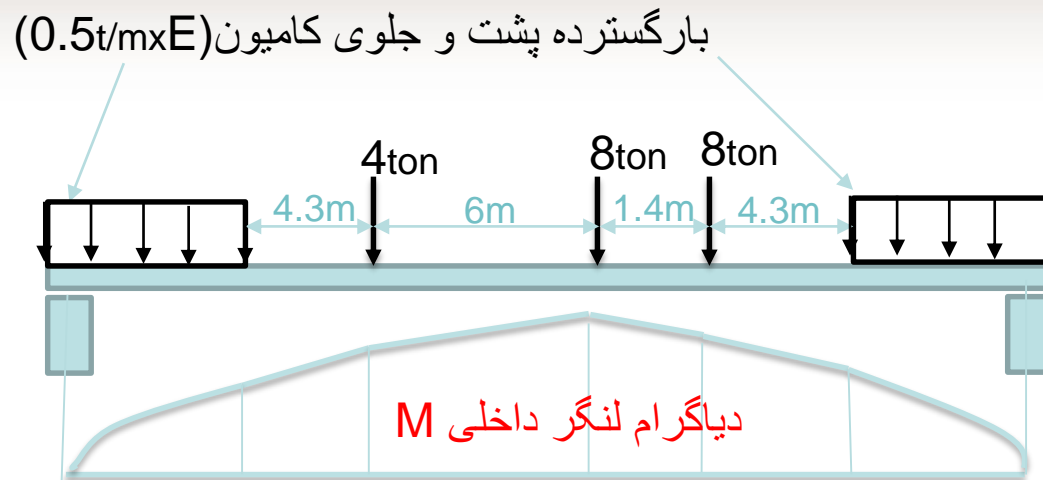
نحوه قرار گیری دسته بارهای متمرکز برای ایجاد  
بیشترین لنگر در تیر



محور وسط تیر (CL)، درست در وسط فاصله برآیند بارها (R) و بار متمرکز بزرگ (8ton) قرار گیرد



## محاسبه ارماتور طولی عرشه در عرض E



مقدار  $A_s$  (میلگرد طولی دال) با توجه به لنگر حداکثر در شکل فوق محاسبه می شود  
این مقدار میلگرد بطور یکنواخت در عرض E توزیع می شود  
آرماتور محاسبه شده در عرض E در تمام عرض عرشه بطور مشابه قرار داده می شود





## محاسبه ارماتور عرضی عرشه (آرماتور توزیع بار)

۱۵-۳-۲- آرماتور توزیع بار

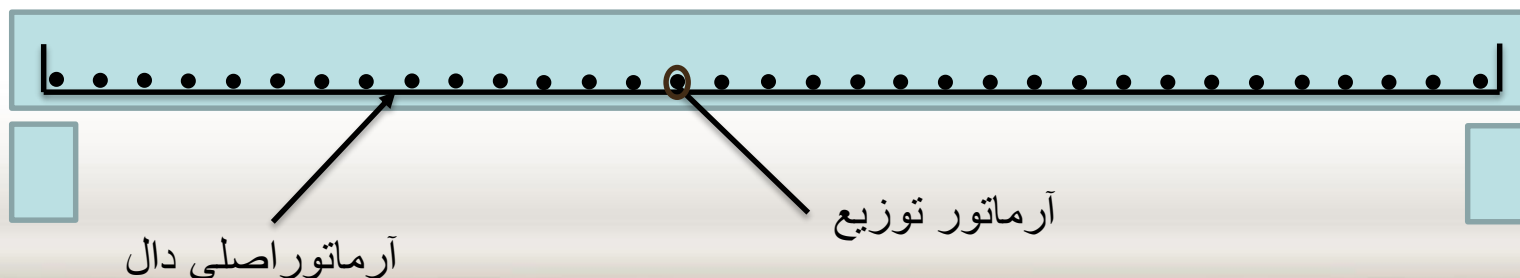
۱۵-۳-۲-۱- در کلیه دال‌ها برای توزیع بار چرخ‌ها باید میلگردهایی در جهت عمود بر آرماتور اصلی در زیر دال پیش‌بینی شود. در دال‌هایی که حداقل ۶۰۰ میلیمتر خاک بر روی آنها قرار می‌گیرد، پیش‌بینی این میلگردها ضرورتی ندارد.

۱۵-۳-۲-۲- مقدار آرماتور توزیع بار باید به اندازه درصدی از مقدار آرماتور اصلی مثبت به شرح زیر در نظر گرفته شود:

- در دال‌هایی که آرماتور اصلی در آنها در جهت حرکت است:

$$R = 55 / \sqrt{l_e} \leq 50\%$$

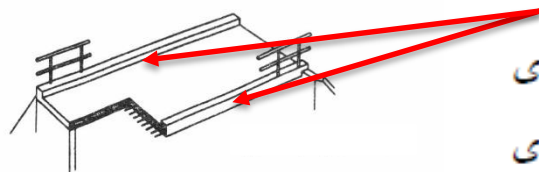
( ۱۵-۳-۲ پ )





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



۱۵-۴-۵-۵- تیرهای طولی لبه در دال ها

۱۵-۴-۵-۵-۱- در دال های یکطرفه که آرماتور اصلی در آنها در امتداد ترافیک است، وجود تیرهای طولی در لبه های دال الزامی است. این تیرها ممکن است بصورت: قسمتی از دال که آرماتور گذاری اضافی شده است، تیر یکپارچه با دال و عمیق تر از آن، و بالاخره مقطع مرکبی از دال و پیاده رو، در نظر گرفته شود.

۱۵-۴-۵-۵-۲- تیر لبه در این دال ها باید برای لنگر خمشی زیر طراحی شود:

- در تیر با تکیه گاه های ساده:

$$M^+ = 0.1P_R l \quad (15-17 \text{ پ})$$

- در تیرهای یکسره

$$M^+ = M^- = 0.08P_R l \quad (15-18 \text{ پ})$$

در این روابط:

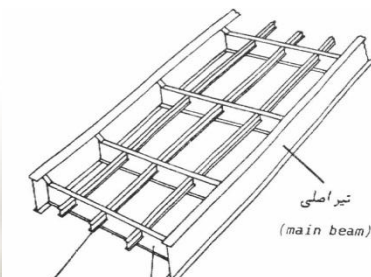
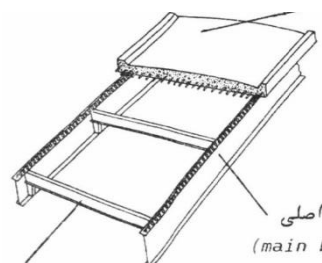
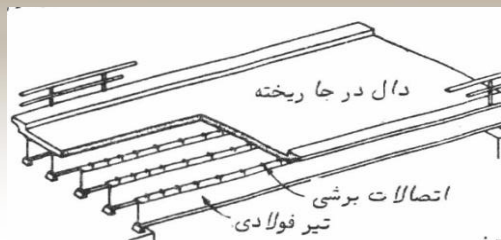
$P_R$ : بار چرخ عقب کامیون استاندارد

$l$ : طول دهانه تیر



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



۱۵-۴-۲-۳- لنگر خمشی در دال‌های با آرماتور اصلی در جهت عمود بر حرکت در این دال‌ها معمولاً بارگذاری کامیون استاندارد حاکم است و لنگرهای خمشی ناشی از آن به شرح زیر محاسبه می‌شود:

الف- دال‌های با تکیه گاه‌های ساده:

در این دال‌ها لنگر خمشی در واحد عرض دال از رابطه زیر محاسبه می‌شود،

$$M = \frac{l_e + 0.6}{9.6} P_R \quad (۱۵-۴-پ)$$

در این رابطه:

$l_e$ : طول دهانه مؤثر دال به متر، طبق بند ۱۵-۲-۲ است. این رابطه برای مقادیر  $l_e$  بین ۰/۶ تا ۷/۲۰ متر کاربرد دارد.

$P_R$ : بار چرخ عقب کامیون استاندارد است.

لنگر خمشی فوق ناشی از اثر بار چرخ‌ها است و باید اثر ضربه به آن اضافه شود.

ب- دال‌های یکسره:

در این دال‌ها حداکثر لنگرهای خمشی مثبت وسط دهانه و لنگرهای منفی روی تکیه‌گاه‌ها برابر با

هشتاد درصد لنگر خمشی از رابطه ۱۵-۴-پ در نظر گرفته می‌شود.



## طراحی دال دو طرفه

## نحوه محاسبه لنگر در دال

۱۵-۴-۳-۲- طراحی این دال‌ها برای خمش با فرض آنکه بارهای وارده به دال بین دو نوار عمود بر هم بصورت زیر توزیع شده و لنگرهای خمشی ایجاد شده در هر نوار بر اساس ضوابط دال‌های یکطرفه تعیین می‌گردند، انجام می‌شود.

- برای بارهای گسترده یکنواخت

$w$ : بار گسترده یکنواخت در واحد سطح دال،

$w_a, w_b$ : بترتیب بار گسترده یکنواخت در واحد عرض نوار که در جهت های  $a, b$  منتقل می‌شوند،

$P$ : بار متمرکز چرخ‌ها،

$P_a, P_b$ : بترتیب بارهای متمرکز که در جهت های  $a, b$  منتقل می‌شوند،

$a, b$ : طول دهانه‌های دال در دو جهت.

$$w_a = \frac{b^4}{a^4 + b^4} w \quad (15-6-پ)$$

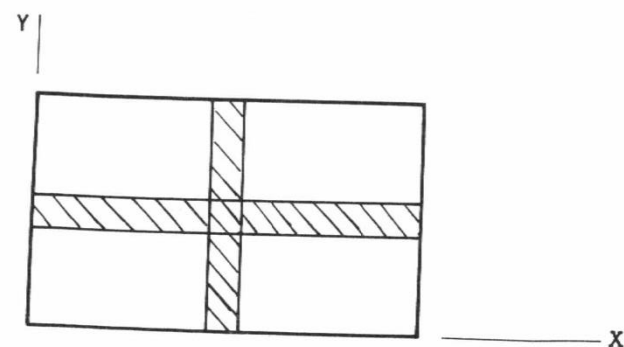
$$w_b = \frac{a^4}{a^4 + b^4} w$$

- برای بارهای متمرکز

$$P_a = \frac{b^3}{a^3 + b^3} P \quad (15-7-پ)$$

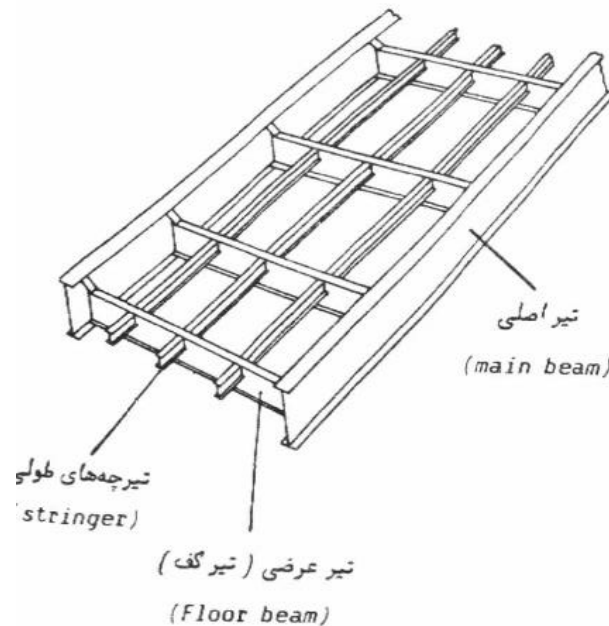
$$P_b = \frac{a^3}{a^3 + b^3} P$$

در این روابط:





## طراحی تیرهای عبورگاه پل



تیرهای طولی

تیرهای عرضی





## طراحی تیرها

### نحوه محاسبه سهم بار هر تیر طولی

۱۵-۴-۵-۱-۲- در تیرهای طولی میانی اصلی یا فرعی، سهم هر تیر از لنگرهای خمشی ناشی از بار چرخ‌ها مطابق جدول زیر تعیین می‌گردد.

جدول شماره ۱۵-۴-۵-۱-۲- سهم هر تیر از لنگرهای خمشی ناشی از بار چرخ

نوع تیر	پل با یک خط عبور	پل با چند خط عبور
- تیرهای با مقطع I، بتنی یا پیش تنیده	$S/2.1$ ( $S \leq 3.0$ )	$S/1.7$ ( $S \leq 4.2$ )
- تیرهای با مقطع T شکل	$S/2.0$ ( $S \leq 1.8$ )	$S/1.8$ ( $S \leq 3.0$ )
- تیرهای با مقطع جعبه‌ای	$S/2.4$ ( $S \leq 3.6$ )	$S/2.1$ ( $S \leq 4.8$ )
- تیرهای با مقطع چند جعبه‌ای	مطابق ضابطه بند ۱۵-۴-۵-۴	

در این جدول S متوسط فواصل تیر مورد نظر از تیرهای دو سمت است .

در مواردی که فاصله S از مقادیر عنوان شده در هر ردیف تجاوز کند، سهم هر تیر از بار چرخ‌ها با فرض

آنکه دال بین تیرها بصورت یک تیر با تکیه گاه های ساده کار می‌کند، تعیین می‌گردد.