

سیستم های سازه ای عرشه و تحلیل آنها

۱-۳ معرفی

این فصل اختصاص به معرفی سیستم های سازه ای عرشه (روسازه) پل ها و نحوه تحلیل آنها در مقابل بارهای مرده و بار زنده (بار کامیون) دارد.

سیستم پل از لحاظ باربری بستگی کامل به دهانه آن دارد. بدین معنی که ممکن است یک سیستم در محدوده ای از طول دهانه مناسب و در مقابل استفاده آن در محدوده دیگر غیر معقول باشد. به همین دلیل برای طبقه بندی عرشه پل از لحاظ سیستم باربری مجبور هستیم که دو حالت را در نظر بگیریم:

۱- پل های دهانه کوتاه و متوسط.

۲- پل های دهانه بزرگ.

منظور از پل های دهانه کوتاه و متوسط پل هایی هستند که دهانه آنها تا حدود حداکثر ۱۰۰ متر می باشند. از آنجایی که در این کتاب هدف مطالعه این قبیل پل ها است، طبقه بندی آنها با دقت بیشتری مورد توجه قرار می گیرد. پل ها با دهانه بزرگ که اکثراً فولادی می باشند، کمتر مورد توجه قرار خواهند گرفت و فقط برای آشنایی دانشجویان مختصری در مورد آنها صحبت خواهد شد. لازم به تذکر است که در این طبقه بندی هم پل های فولادی و هم پل های بتنی مورد توجه قرار می گیرند.

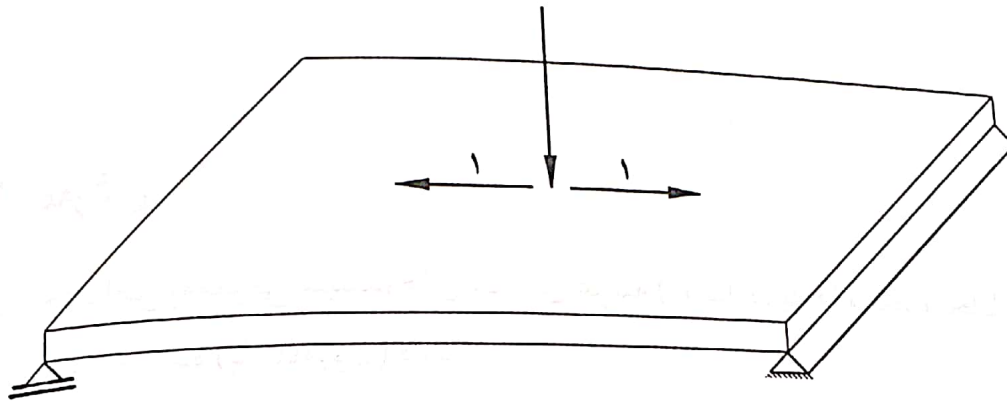
۲-۳ طبقه بندی سیستم سازه ای عرشه پل های دهانه کوتاه و متوسط

برای عرشه پل های دهانه کوتاه و متوسط غالباً از یکی از چهار سیستم سازه ای زیر استفاده می شود:

الف - عرشه یک عنصری

- ب - عرشه دو عنصری
- ت - عرشه سه عنصری
- ث - عرشه های خاص

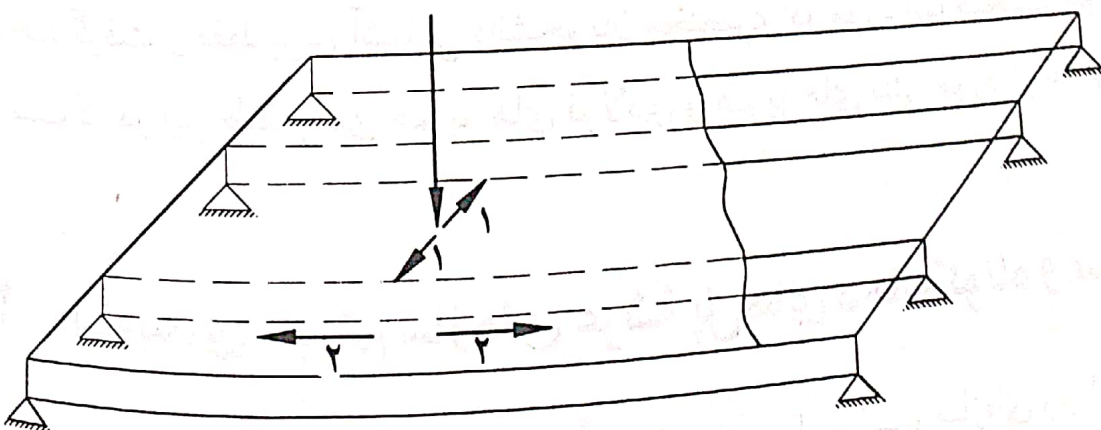
۱-۲-۳ عرشه یک عنصری
عرشه یک عنصری، یک دال بتن مسلح یک طرفه است که در دو انتهای به روی تکیه گاه، متکی است:



شکل ۱-۳ عرشه یک عنصری.

۲-۲-۳ عرشه دو عنصری

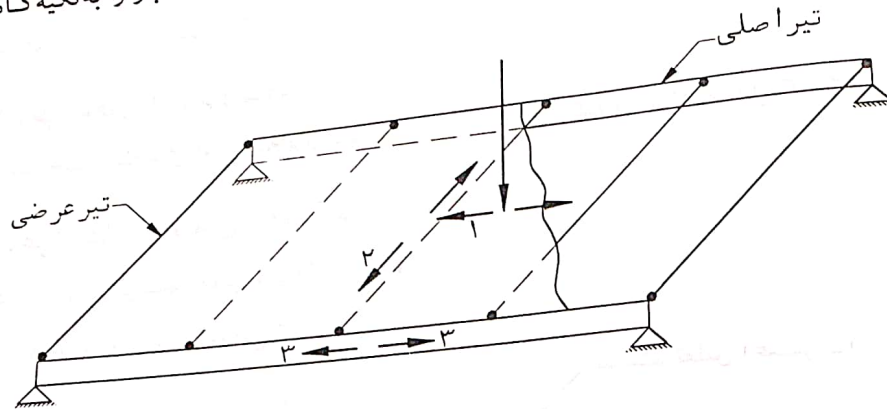
مشکل از تیرهای حمال متعدد می باشد که یک دال بتن مسلح یا فولادی در روی آنها قرار دارد. دال به عنوان عنصر شماره ۱، بار را به تیرهای طولی و تیرها به عنوان عنصر شماره ۲، بار را به تکیه گاه منتقل می نمایند.



شکل ۲-۳

۳-۲-۳ عرشه سه‌عنصری

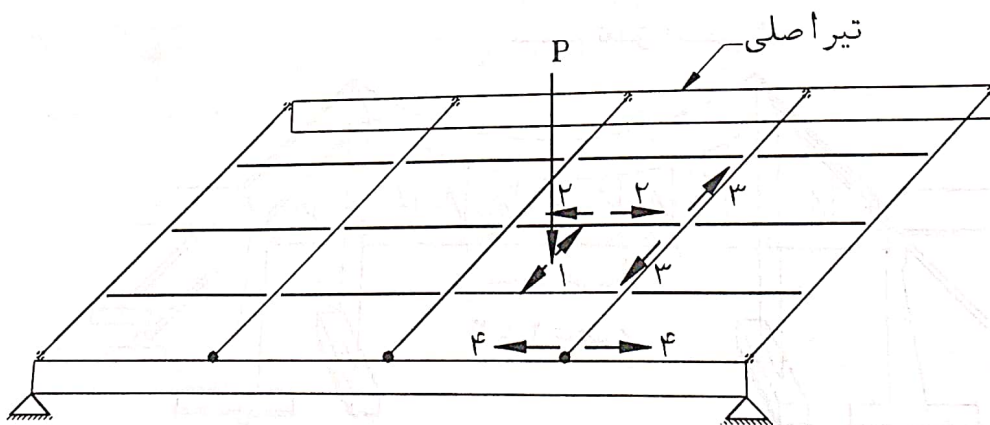
عرشه سه‌عنصری متشکل از دو تیر اصلی، تیرهای عرضی (تیر کف) و دال بتن مسلح می‌باشد. دال بار را به تیرهای عرضی، تیرهای عرضی به تیرهای حمال طولی و تیرهای حمال بار را به تکیه‌گاه منتقل می‌نمایند.



شکل ۳-۳

۴-۲-۳ عرشه چهارعنصری

عرشه چهار متشکل از دو تیر اصلی، تیرهای عرضی (تیر کف)، تیرچه‌های طولی، و دال بتن مسلح می‌باشد. دال بار را به تیرچه‌های طولی، تیرچه‌ها به تیر عرضی، تیر عرضی به تیرهای اصلی و تیرهای اصلی آن را به تکیه‌گاه منتقل می‌نمایند.



شکل ۴-۳

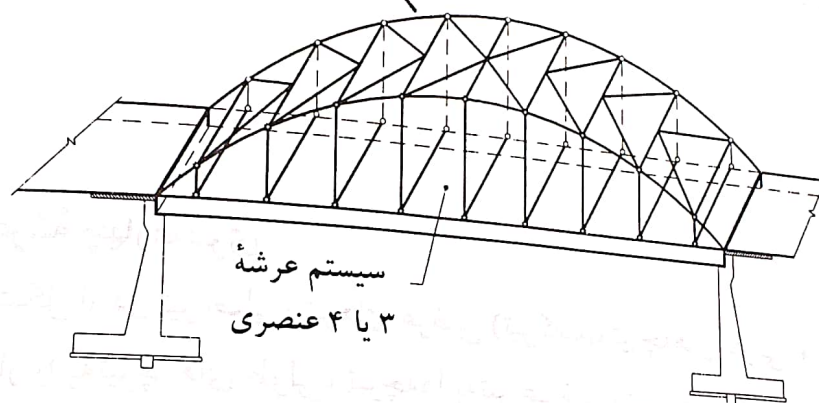
۵-۲-۳ سیستم‌های خاص

۱- عرشه‌های معلق ترکیبی از سیستم‌های سه و یا چهار عنصری با سیستم تعلیق که از آن برای دهانه‌های خیلی بزرگ استفاده می‌شود، (شکل ۵-۳).

۲- عرشه‌های ارتوتروپیک عرشه چهار عنصری است که دال بتنی آن تبدیل به ورق شده است (شکل ۳-۶).

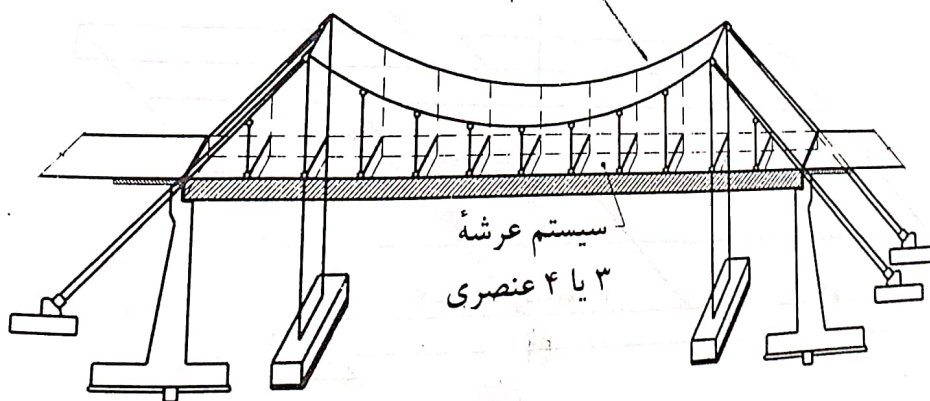
۳- عرشه‌های جعبه‌ای تک‌سلولی (الف) بدون سیستم تعلیق (شکل ۳-۷)
(ب) با سیستم تعلیق (شکل ۳-۸)

سیستم تعلیق (عنصر ۵)



(الف) سیستم تعلیق قوس فولادی

سیستم تعلیق (عنصر ۵)



(ب) سیستم تعلیق کابل فولادی

شکل ۵-۳ عرشه‌های معلق - سیستم‌های ۳ و ۴ عنصری به کمک عنصری شماره ۵ (سیستم تعلیق) معلق شده‌اند.

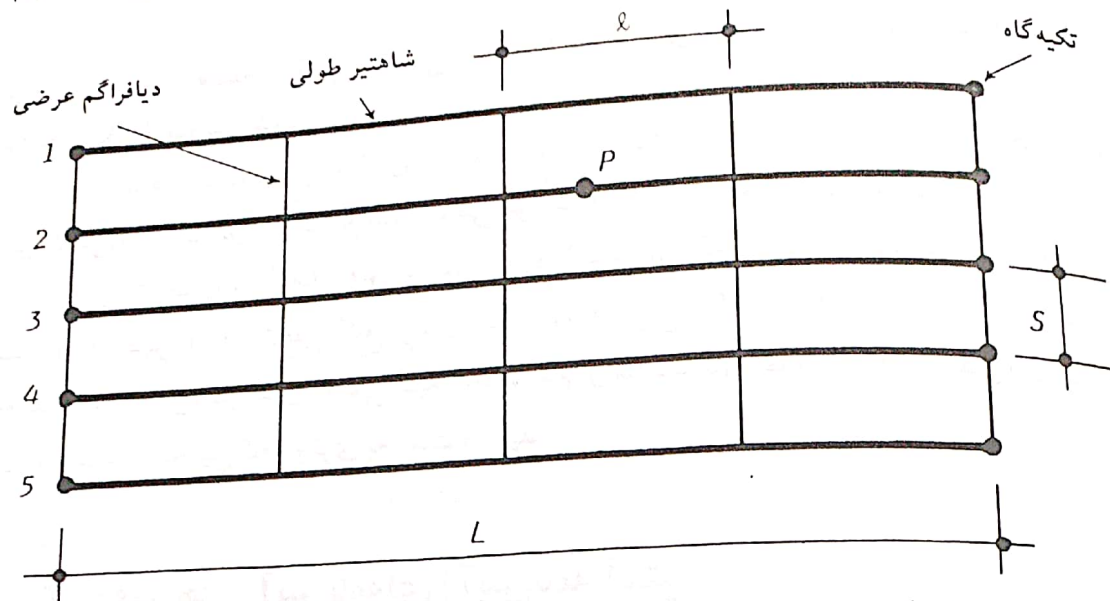
بزرگنمایی عرشه پل

شکل ۳-۸ عرشه جعبه‌ای تک سلولی با سیستم تعلیق.

۳-۳ توزیع بار زنده بین عناصر باربر

وقتی که بار متمرکز چرخ کامیون روی یکی از تیرهای طولی قرار می‌گیرد، به علت سختی خمشی و پیچشی دال و دیافراگم‌های عرضی، تیرهای دیگر نیز در حمل لنگر خمشی طولی ایجاد شده مشارکت می‌نمایند. بنابراین سهم هر شاهتیر از نیروهای داخلی ایجاد شده به واسطه تأثیر بار زنده، به طریق مناسبی باید تعیین گردد. همچنین در صورت امکان لنگر خمشی عرضی ایجاد شده در دال و دیافراگم‌ها نیز باید محاسبه شود. شکل ۳-۹ نشان‌دهنده پلان یک عرشه دو عنصری با شاهتیرهای طولی و دیافراگم‌های عرضی می‌باشد که بار متمرکز P در نقطه دلخواهی در روی شاهتیر شماره ۲ تأثیر نموده است.

مسلم است که به علت سختی خمشی و پیچشی دال و دیافراگم‌های عرضی، بار P تماماً توسط شاهتیر ۲ حمل نشده و شاهتیرهای دیگر نیز در حمل آن مشارکت می‌کنند. میزان مشارکت شاهتیرهای دیگر و یا به طور کلی، چگونگی توزیع بار P بین شاهتیرهای



شکل ۳-۹ پلان یک عرشه دو عنصری با شاهتیرهای طولی و دیافراگم‌های عرضی.

طول بستگی دارد به:

- ۱- سختی خمشی نسبی شاهتیرهای طولی
- ۲- سختی خمشی و پیچشی تیرهای عرضی و دال
- ۳- طول دهانه L
- ۴- محل تأثیر نیروی متمرکز P در مقطع عرضی و در طول دهانه
- ۵- فواصل شاهتیرهای طولی (S) و فواصل تیرهای عرضی (l)

روش‌های موجود برای توزیع نیروی P بین شاهتیرهای طولی به قرار ذیل می‌باشد:

۱- روش‌های آیین‌نامه‌ای مبتنی بر اصول استاتیک

۲- روش‌های دستی دقیق مبتنی بر حل معادلات دیفرانسیل دال‌ها

۳- تحلیل‌های کامپیوتری

در روش ۱، سختی خمشی شاهتیرهای طولی مساوی فرض شده و ضرایب توزیع برحسب فاصله S معرفی می‌شود. این روش یک روش تجربی، تقریبی و آیین‌نامه‌ای می‌باشد که بر مبنای مطالعات تئوریک نیومارک^۱ قرار دارد و بسیار کاربردی است.

در روش ۲، سختی خمشی و پیچشی شاهتیرهای طولی و عرضی، دهانه L و موقعیت

1- "Design of I Beam Bridges" by N.M.Newmark-Proceeding ASCE March 1948

به وسیله این روش، بیر -
دال، مستقیماً از تحلیل کامپیوتری به دست می -

۳-۴ روش های آیین نامه ای (آیین نامه آشتو)

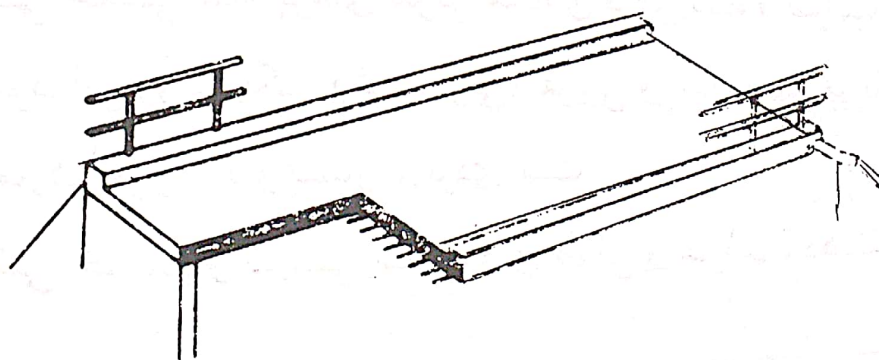
۳-۴-۱ عرشه یک عنصری
این نوع عرشه که از یک دال بتن مسلح تشکیل شده است، به نام عرشه صفحه ای خوانده می شود
(شکل ۳-۱۰). برای دهانه های ساده این نوع عرشه ها تا دهانه ۷ متر و برای دهانه های یکسره، تا
دهانه ۱۴ متر اقتصادی می باشند. نسبت ارتفاع مقطع به طول دهانه (D/L) در دهانه های ساده در
حدود $\frac{1}{12}$ و در دهانه های یکسره در حدود $\frac{1}{10}$ است. در این عرشه ها میلگردهای اصلی در امتداد
محور طولی پل قرار می گیرند و در امتداد عرضی، فقط یکسری میلگردهای اسمی که به نام
میلگردهای توزیع معروفند، قرار داده می شوند. روش محاسبه این نوع عرشه ها به قرار زیر می باشد:
برای محاسبه فرض می شود که بار چرخ در پهنایی مساوی E توزیع می گردد (شکل ۳-۱۱).

$$E = 1.22 + 0.06 S \leq 2.1 \text{ m}$$

(۳-۱)

که در رابطه فوق:

S = طول دهانه پل به متر، برای دهانه های ساده، طول دهانه فاصله مرکز به مرکز تکیه گاه ها
خواهد بود که نباید از فاصله آزاد تکیه گاه ها به علاوه ضخامت دال بتنی، بیشتر گردد. برای



شکل ۳-۱۰ عرشه یک عنصری.

۳-۴ روش‌های آیین‌نامه‌ای (آیین‌نامه آشتو)

۳-۴-۱ عرشه یک‌عنصری

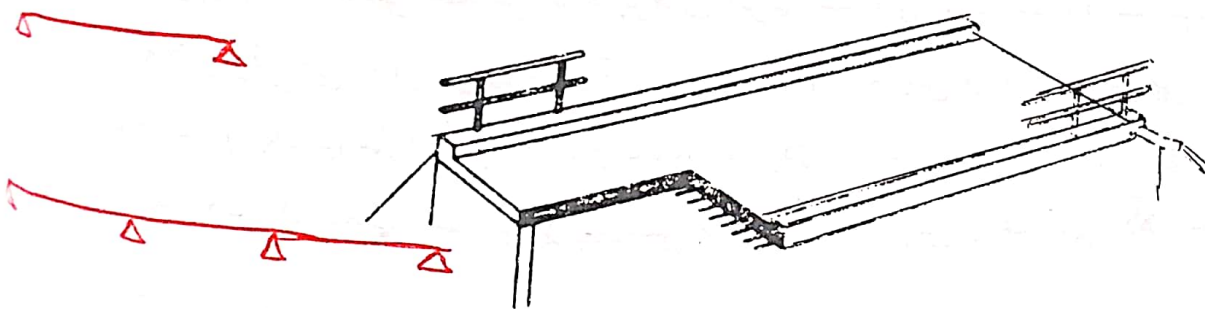
این نوع عرشه که از یک دال بتن مسلح تشکیل شده است، به نام عرشه صفحه‌ای خوانده می‌شود (شکل ۳-۱۰). برای دهانه‌های ساده این نوع عرشه‌ها تا دهانه ۷ متر و برای دهانه‌های یکسره، تا دهانه ۱۴ متر اقتصادی می‌باشند. نسبت ارتفاع مقطع به طول دهانه (D/L) در دهانه‌های ساده در حدود $\frac{1}{15}$ و در دهانه‌های یکسره در حدود $\frac{1}{30}$ است. در این عرشه‌ها میلگردهای اصلی در امتداد محور طولی پل قرار می‌گیرند و در امتداد عرضی، فقط یکسری میلگردهای اسمی که به نام میلگردهای توزیع معروفند، قرار داده می‌شوند. روش محاسبه این نوع عرشه‌ها به قرار زیر می‌باشد: برای محاسبه فرض می‌شود که بار چرخ در پهنایی مساوی E توزیع می‌گردد (شکل ۳-۱۱).

$$E = 1.22 + 0.06 S \leq 2.1 \text{ m}$$

(۳-۱)

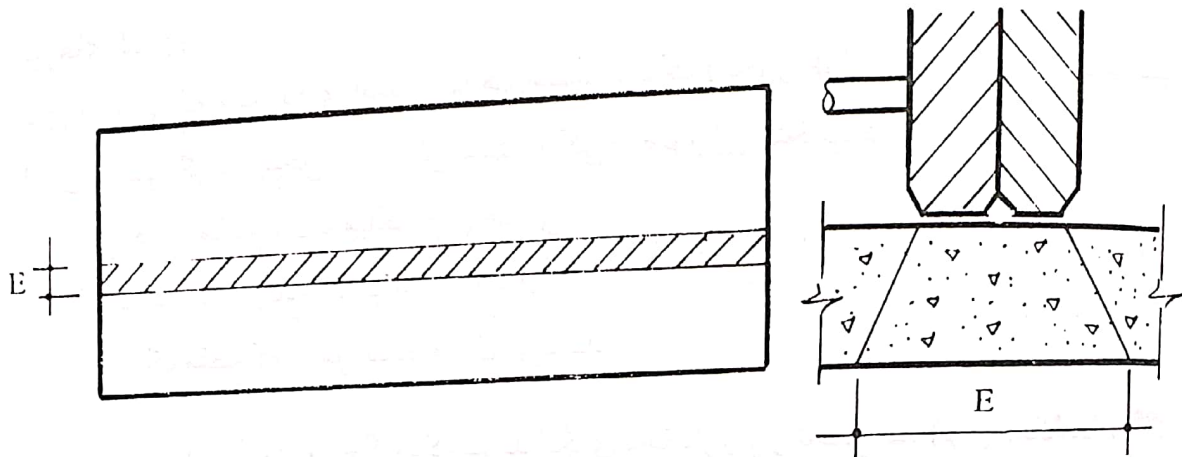
که در رابطه فوق:

S = طول دهانه پل به متر، برای دهانه‌های ساده، طول دهانه فاصله مرکز به مرکز تکیه‌گاه‌ها خواهد بود که نباید از فاصله آزاد تکیه‌گاه‌ها به علاوه ضخامت دال بتنی، بیشتر گردد. برای

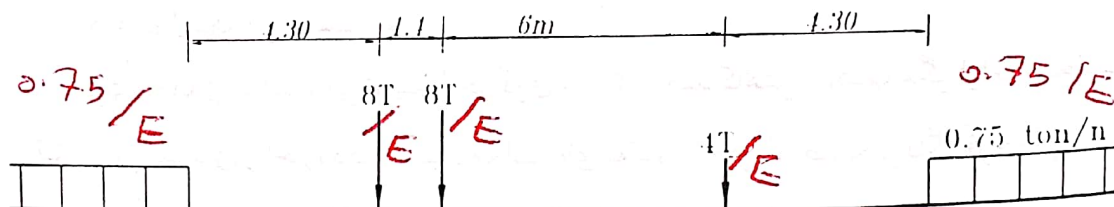


شکل ۳-۱۰ عرشه یک‌عنصری.

دال‌های یکسره طول دهانه‌ها فاصله مرکز به مرکز تکیه‌گاه‌ها می‌باشد.*
 E = پهنای مؤثر دال که بار یک ردیف چرخ (شکل ۳-۱۲) در آن پهنای توزیع می‌گردد (متر).
 پس از تعیین پهنای مؤثر E ، محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی برحسب نوع بارگذاری، مطابق روش‌های معمول صورت می‌گیرد.



شکل ۳-۱۱



شکل ۳-۱۲ بار یک ردیف چرخ ۴ کامیون.

میلگردهای توزیع

برای توزیع جانبی بارهای متمرکز زنده در امتداد عرضی، میلگردهایی باید در قسمت تحتانی دال، عمود بر میلگردهای اصلی قرار داده شوند. به این میلگردها، میلگردهای توزیع می‌گویند. برای دال پله‌هایی که روی آنها ۰/۶ متر خاکریزی وجود دارد، این میلگردها لازم نمی‌باشند. مقدار این

* در صورتی که دهانه‌های تیر یکسره مختلف باشد، پهنای مؤثر E برای دهانه‌های مختلف، متفاوت خواهد بود. در این حالت، به شرطی که اختلاف دهانه‌ها بزرگ نباشد به منظور احتراز از تحلیل تیر یکسره با ممان اینرسی متفاوت، توصیه می‌گردد که از پهنای مؤثر متوسط استفاده شود.

میلگردها درصدی از فولادهای طولی اصلی لازم برای لنگر مثبت می باشد. این درصد به صورت زیر تعریف می شود:

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

(۲-۳)

تیرهای لبه ای برای دال هایی که میلگردهای اصلی آنها هم امتداد ترافیک (محور طولی پل) می باشند، باید تیر لبه ای در نظر بگیریم. شکل تیر ممکن است به یکی از صور زیر انتخاب گردد:

- ۱- همان مقطع دال با میلگردهای اضافی
- ۲- یک تیر با ارتفاع بیشتر از ارتفاع دال
- ۳- یک مقطع که شامل پیاده رو دال می باشد.

این تیر باید طوری طرح گردد که بتواند لنگری به مقدار زیر را تحمل کند (برای دهانه ساده):

$$M=0.1 PS$$

(۳-۳)

که در رابطه بالا:

$P = 8$ تن برای کامیون ایران

$S =$ طول دهانه بر حسب متر

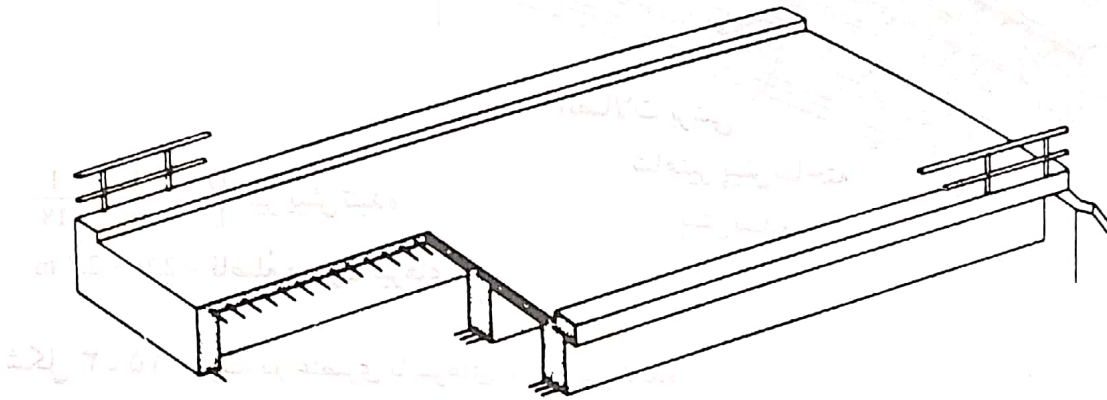
برای دهانه ای یکسره می توانیم لنگر فوق را ۲۰ درصد کاهش بدهیم، مگر اینکه محاسبات دقیق کاهش بیشتری را اجازه دهند. آیین نامه اشارهای به اعمال ضریب ضربه بر لنگر فوق نکرده است.

۳-۴-۲ عبورگاه دو عنصری

عناصر باربر اصلی در این نوع عرشه ها، تعدادی تیرهای طولی به موازات محور طولی عرشه می باشند که در فواصل مشخصی از یکدیگر قرار دارند. یک دال بتنی که در بالای این تیرها ریخته می شود، پوشش عرشه را تشکیل می دهد. بار چرخ کامیون از طریق دال بتنی به تیرها و سپس از فوقانی از بتن مسلح می باشد، ولی تیرهای طولی مسکن است از بتن مسلح، فولاد و یا بتن طولی فولادی. در شکل ۳-۱۳ عرشه با تیرهای طولی بتنی، در شکل ۳-۱۴ عرشه با تیرهای طولی فولادی، در شکل ۳-۱۵ عرشه با تیرهای طولی پیش تنیده، در شکل ۳-۱۶ عرشه با تیرهای

این لنگر دال می تواند نقش باربر را داشته باشد.

طولی جعبه‌ای از بتن مسلح، در شکل ۳-۱۷ عرشه با تیرهای طولی جعبه‌ای فولادی و در شکل ۳-۱۸ عرشه با تیرهای طولی پیش ساخته پیش تنیده پهلوی به پهلوی، نشان داده شده است. در هر شکل نسبت ارتفاع کل مقطع عرشه به دهانه آن (D/L) و همچنین دهانه‌های معمول (L) نوشته شده است.



$$\left. \begin{array}{l} 7.5 \text{ m} < L < 30 \text{ m} \\ \bullet \frac{D}{L} = \frac{1}{15} \text{ تا } \frac{1}{14} \end{array} \right\}$$

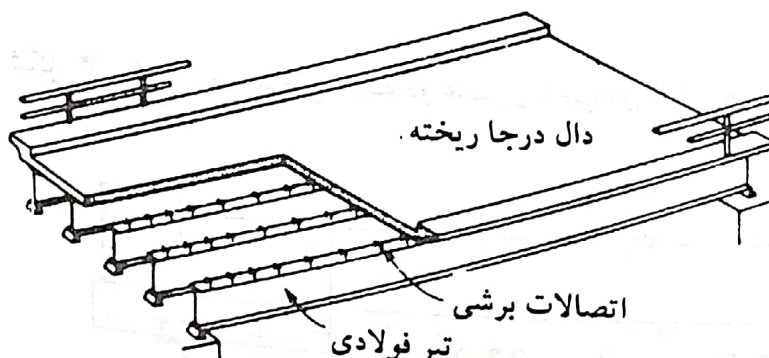
دهانه یکسره

$$\left. \begin{array}{l} 7.5 \text{ m} < L < 30 \text{ m} \\ \bullet \frac{D}{L} = \frac{1}{14} \text{ تا } \frac{1}{11} \end{array} \right\}$$

دهانه ساده

D = ارتفاع کل عرشه پل

شکل ۳-۱۳ عرشه دو عنصری با تیرهای طولی T بتنی.



$$\left. \begin{array}{l} 18 \text{ m} < L < 30 \text{ m} \\ \frac{D}{L} = \frac{1}{16} \text{ تا } \frac{1}{20} \end{array} \right\}$$

دهانه و نسبت $\frac{D}{L}$ معمول

حداکثر تغییر مکان قائم
وسط دهانه تحت بار زنده +
ضربه برای پل‌های جاده مسازی

$$\frac{1}{800} \text{ دهانه و برای پل‌های}$$

$$\text{راه آهن } \frac{1}{640} \text{ دهانه می باشد.}$$

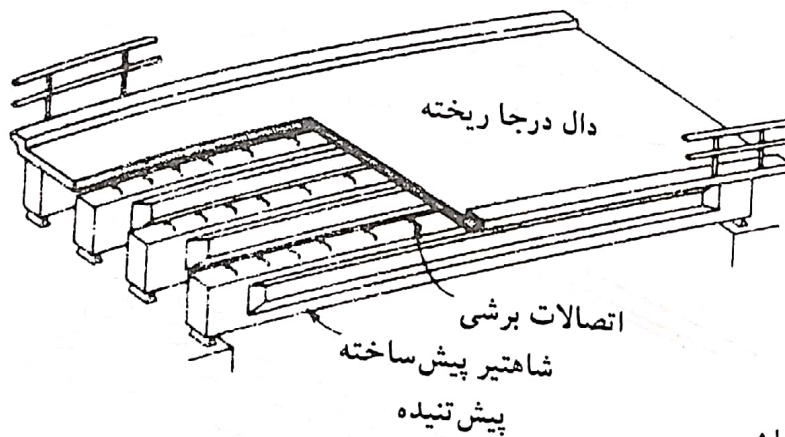
معمولاً آیین نامه آشتو مقرر می دارد:

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

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

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

شکل ۳-۱۴ عرشه دو عنصری با تیرهای طولی فولادی.

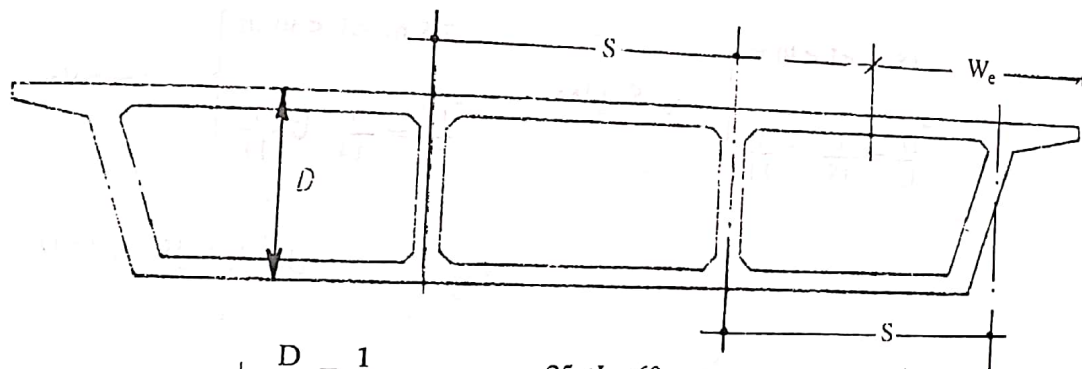


$$\frac{D}{L} = \frac{1}{16} \sim \frac{1}{18}$$

تیر پیش تنیده

فاصله معمول تیرهای I = 2.1 ~ 2.7 m

شکل ۳-۱۵ عرشه دو عنصری با تیرهای طولی پیش تنیده.



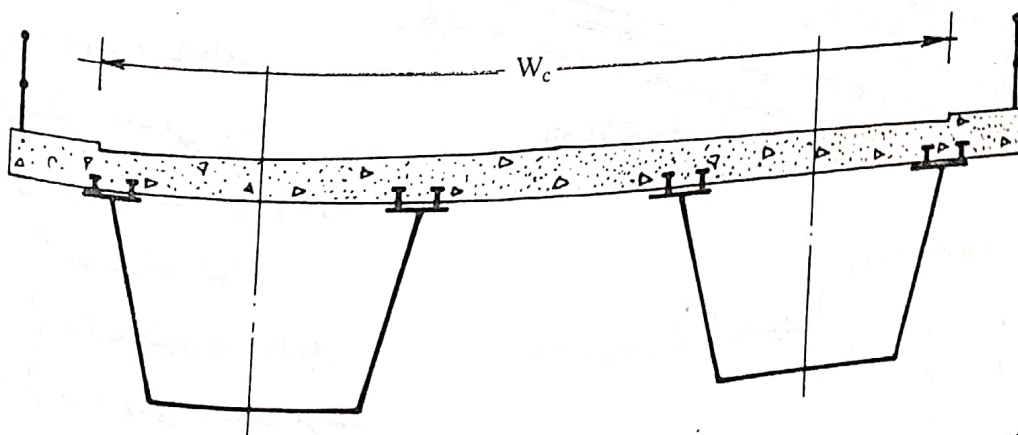
$$\frac{D}{L} = \frac{1}{15} \text{ ساده}$$

$$25 < L < 60$$

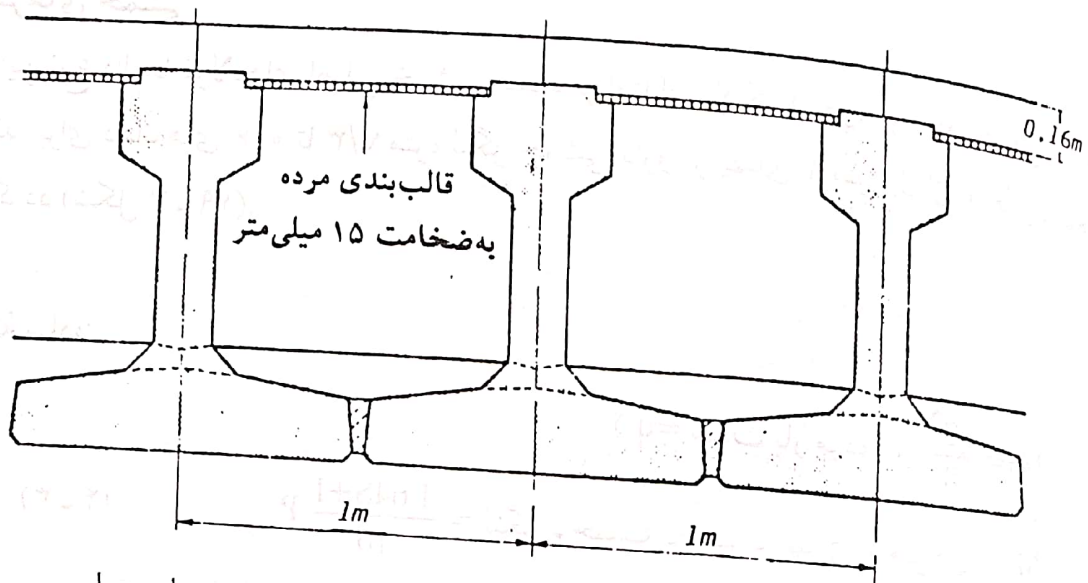
L = دهانه متعارف

$$\frac{D}{L} = \frac{1}{18} \text{ بکسره}$$

شکل ۳-۱۶ مقطع عرضی عرشه دو عنصری با تیرهای طولی جعبه‌ای از بتن مسلح.



شکل ۳-۱۷ مقطع عرضی عرشه دو عنصری با تیرهای طولی جعبه‌ای فولادی.



شکل ۳-۱۸ مقطع عرضی عرشه دو عنصری با تیرهای طولی پیش ساخته پیش تنیده پهلو به پهلو.

۳-۲-۱ محاسبه دال فوقانی طبق دستورات آیین نامه آشتو

الف - دال‌های یکطرفه پیوسته

طول دهانه (L)

برای دهانه‌های ساده، طول دهانه فاصله مرکز به مرکز تکیه گاه‌ها (فاصله مرکز به مرکز شاه تیرهای طولی) خواهد بود که نباید از فاصله آزاد تکیه گاه‌ها به علاوه ضخامت دال بتنی، بیشتر گردد. برای دال‌هایی که روی بیش از دو تکیه گاه به صورت یکسره می‌باشند، طول دهانه به صورت زیر تعریف می‌شود:

الف - دالی که با تیرهای بتنی تکیه گاهی به صورت یکپارچه است (بدون ماهیچه).
فاصله آزاد بین تیرها $S =$

ب - دالی که روی تیرهای طولی فولادی قرار دارد.

نصف پهنای بال تیر فولادی + فاصله داخلی بین لبه‌های بال $S =$
در تمام موارد می‌توان در جهت اطمینان دهانه محاسباتی را مساوی فاصله مرکز به مرکز تیرها منظور نمود.

فاصله چرخ از لبه پیاده‌رو

در طراحی این دال‌ها، فاصله مرکز چرخ را از لبه پیاده‌رو ۵۰ سانتی متر در نظر می‌گیریم.

لنگرهای خمشی در این نوع دال‌ها فولادهای اصلی خمشی عمود بر امتداد ترافیک (عمود بر محور طولی پل) قرار دارند. برای دهانه‌های ۰/۶ تا ۷/۳ متر، لنگر خمشی دارو بر پهنای ۱ متر دال از روابط زیر تعیین می‌گردد (شکل ۳-۱۹):

$$M_d = \frac{qS^2}{8} \quad (q = \text{شدت بار مرده})$$

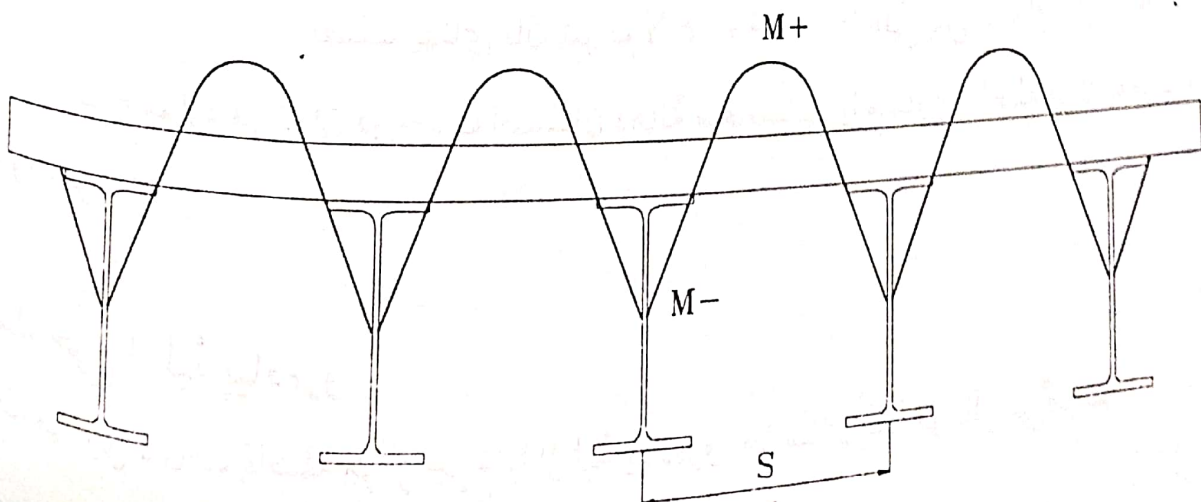
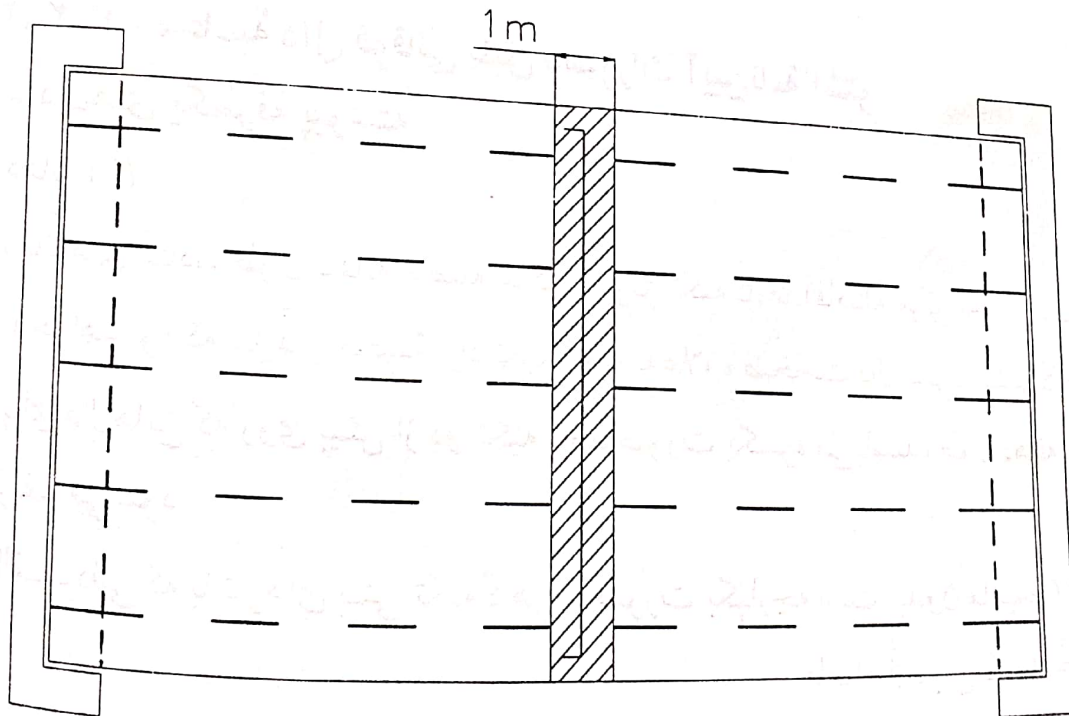
دهانه ساده:

$$M_L = \frac{1.64S+1}{16} P$$

$$\delta = 1.3$$

(۳-۴)

$$M_T = M_d + 1.3M_L$$



که در رابطه فوق:

S = طول دهانه که قبلاً شرح داده شد

M_d = لنگر بار مرده

M_L = لنگر بار زنده

P = بار وارد بر یک چرخ عقب کامیون (تن) مساوی ۸ تن برای کامیون ایران

دهانه پیوسته:

در دال‌هایی که روی سه تکیه گاه و یا بیشتر یکسره می‌باشند، برای پیدا کردن لنگر منفی و مثبت (هر دو مساوی فرض می‌شوند). لنگر به دست آمده از رابطه فوق را در ضریب 0.8 ضرب می‌کنیم.

$$M_d = \pm qS^2/10$$

$$M_L = \pm 0.8 \frac{1.64S+1}{16} P$$

در طراحی این دال‌ها اثر ضربه برای بار زنده فراموش نشود. حداقل ضخامت برای دهانه‌های کوچکتر از ۲ متر، ۱۵ سانتی‌متر و برای دهانه‌های بزرگتر از ۲ متر، ۲۰ سانتی‌متر مقرر شده است.

میلگردهای توزیع

برای توزیع جانبی بارهای متمرکز زنده در امتداد عرضی، میلگردهایی باید در قسمت تحتانی دال، عمود بر میلگردهای اصلی قرار داده شوند. به این میلگردها، میلگردهای توزیع می‌گویند. برای دال پله‌هایی که در روی آنها 0.6 متر خاکریزی وجود دارد، این میلگردها لازم نیست. مقدار این میلگردها درصدی از فولادهای اصلی لازم برای لنگر مثبت می‌باشد که این درصد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{A_{S \text{ طولی}}}{A_{S \text{ عرضی}}} = \text{درصد میلگردهای توزیع نسبت به میلگردهای اصلی} = \frac{120}{\sqrt{S}} < 67\% \quad (5-3)$$

تنش‌های برشی و پیوستگی

دالی را که برای لنگر خمشی توضیح داده شده طراحی می‌گردد. می‌توان برای برش و پیوستگی رضایت بخش در نظر گرفت.

روی دیاگرام‌ها یا مهیدات باید برای لنگر خمشی و نیروی برشی حداکثر ناشی از بار چرخ در نامساعدترین موقعیت در روی آن طراحی شود.

۲-۲-۴-۳ توزیع بار بین تیرهای طولی

قوانین زیر حاکم بر توزیع بار ردیف چرخ در روی تیرهای طولی که دال بتنی یا فولادی در روی آنها قرار می‌گیرد، می‌باشند. آیین‌نامه آشتو برای دال‌های لچوبی قوانین دیگری دارد که در اینجا مورد بحث قرار نمی‌گیرند.

توزیع بار ردیف چرخ برای تعیین نیروی برشی در تیرهای طولی هنگامی که چرخ در نزدیکی انتهایی قرار دارد که منظور تعیین تنش در آن است، هیچ‌گونه توزیع جانبی یا طولی برای بار چرخ در نظر نمی‌گیریم. برای بارهایی که در موقعیت‌های دیگری در روی دهانه قرار دارند، توزیع بار برای برش به وسیله روشهایی که برای لنگر شرح می‌دهیم، تعیین می‌گردد.

توزیع بار ردیف چرخ برای تعیین لنگر خمشی در تیرهای طولی در محاسبه لنگرهای خمشی در تیرهای طولی هیچ‌گونه توزیع طولی برای بار چرخ در نظر گرفته نمی‌شود. توزیع جانبی بار به صورت زیر خواهد بود.

الف - تیرهای داخلی

سهم تیر داخلی از بار مرده با توجه به شکل ۳ - ۲۰ به دست می آید. برای تیرهای داخلی که در روی آنها دال بتنی قرار دارد، نسبت سهم تیر از بار ردیف چرخ (بار زنده) برابر است با:

$$\frac{S}{D} = \text{نسبت سهم تیر داخلی از بار یک ردیف چرخ}$$

که در آن:

S = فاصله بین تیرهای طولی (به متر)

D = عددی برحسب متر که از جدول ۳ - ۱ به دست می آید. در صورتی که S از عدد داخلی پیرانتز (S_{max}) بزرگتر باشد، از روش توزیع استاتیکی، (شکل ۳ - ۲۱) برای توزیع بار چرخ استفاده می شود.

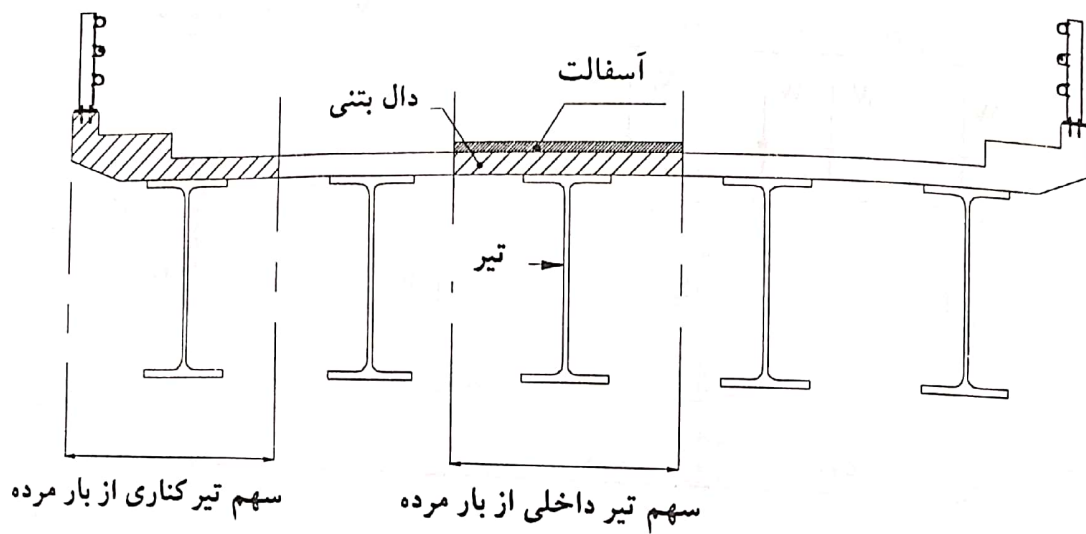
ب - تیرهای کناری

بار مرده ای که توسط تیر کناری حمل می گردد، وزن دال سهم آن تیر می باشد. وزن پیاده رو، نرده کنار پل نیز به تیر کناری اعمال می شود (شکل ۳ - ۲۰).

جدول ۳ - ۱ ضرایب توزیع D بار کامیون بین تیرهای داخلی در عرشه دو عنصری - روش آشتو

سیستم عرشه		یک خط عبور (D بر حسب متر)	دو یا چند خط عبور (D بر حسب متر)
دال بتنی متکی بر تیرهای پیش ساخته بتن مسلح یا پیش تنیده و تیرهای I فولادی		$D=2.13 (S_{max}=3 \text{ m})^*$	$D=1.68 (S_{max}=4.3 \text{ m})^*$
دال بتنی متکی بر تیرهای بتنی درجاریز T		$D=1.93 (S_{max}=1.8 \text{ m})^*$	$D=1.83 (S_{max}=3 \text{ m})^*$
دال بتنی متکی بر تیرهای جعبه ای بتنی (شکل ۳ - ۱۶)		$D=2.44 (S_{max}=3.7 \text{ m})^*$	$D=2.13 (S_{max}=4.9 \text{ m})^*$
دال فولادی	ضخامت شبکه $< 100 \text{ mm}$	$D=1.37 (S_{max}=1.83 \text{ m})^*$	$D=1.22 (S_{max}=3.2 \text{ m})^*$
	ضخامت شبکه $> 100 \text{ mm}$	$D=1.83 (S_{max}=1.83 \text{ m})^*$	$D=1.52 (S_{max}=3.2 \text{ m})^*$

* اگر S از مقدار نشان داده شده در پیرانتز تجاوز کند، بار وارد بر تیرها، عکس العمل بارهای چرخ در روی آن شاهتیر خواهد بود با فرض اینکه دال های موجود بین تیرها به صورت تیر ساده عمل نکنند. (توزیع استاتیکی - شکل ۳ - ۲۱)

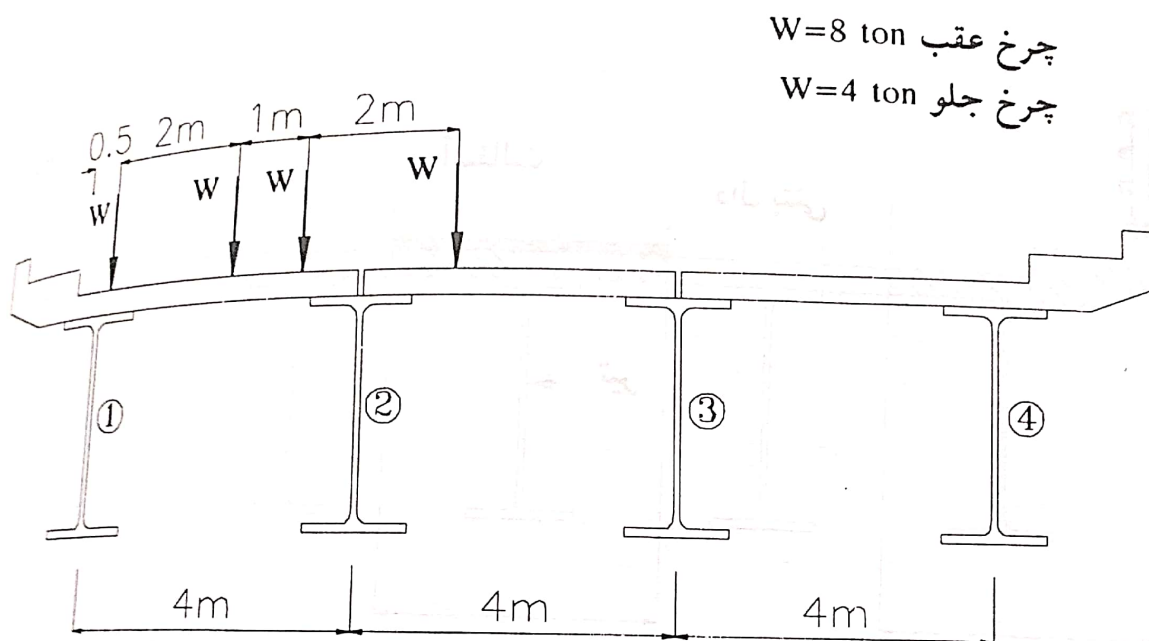


شکل ۳-۲۰ سهم تیرهای طولی از بار مرده.

بار زنده وارد بر تیرهای کناری، عکس‌العمل بارهای چرخ خواهد بود که با فرض رفتار نمودن دال موجود بین تیرها به صورت دهانه ساده، به دست می‌آید (شکل ۳-۲۱). در هیچ حالتی ظرفیت باربری تیر کناری نباید کمتر از تیر داخلی گردد. در صورتی که تعداد تیرهای طولی ۴ یا بیشتر باشد، کسری از بار ردیف چرخ که بر تیر کناری وارد می‌شود، نباید از مقادیر زیر کمتر گردد:

$$\begin{array}{ll} S < 1.8 \text{ m} & \text{برای } \frac{S}{1.68} \\ 1.8 < S < 4.25 \text{ m} & \text{برای } \frac{S}{1.22 + 0.25S} \end{array} \quad (۳-۱۲)$$

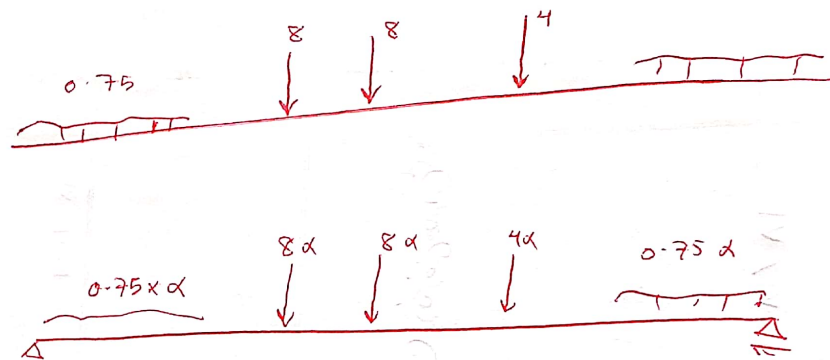
برای S بزرگتر ۴/۲۵ متر، بار زنده وارد بر تیرهای کناری، عکس‌العمل بارهای چرخ خواهد بود که با فرض رفتار نمودن دال موجود بین تیرها به صورت دهانه ساده، به دست می‌آید. در روابط، S فاصله مرکز به مرکز تیر کناری با اولین تیر داخلی می‌باشد.



توجه: در توزیع استاتیکی، دال در حد فاصل شاهتیرها به صورت دهانه ساده مدل می شود. سپس بار کامیون به تعداد خطوط طرح در بحرانی ترین وضعیت برای تیر مورد نظر، در مقطع عرضی چیده می شود. سپس واکنش تیرهای ساده روی تیرهای طاق به دست می آید. این واکنش همان سهم تیر طولی از بار ردیف چرخ است. مثلاً در شکل فوق آرایش نشان داده شده مربوط به تعیین سهم تیر شماره ۱ از بار ردیف چرخ است.

$$\text{سهم تیر ۱ از بار ردیف چرخ} = \frac{W(3.5+1.5+0.5)}{4} = 1.375 W$$

شکل ۳-۲۱ توزیع استاتیکی بار زنده بین تیرهای طولی.



معمولی:

معمولی $\rightarrow \alpha = \frac{S}{D}$

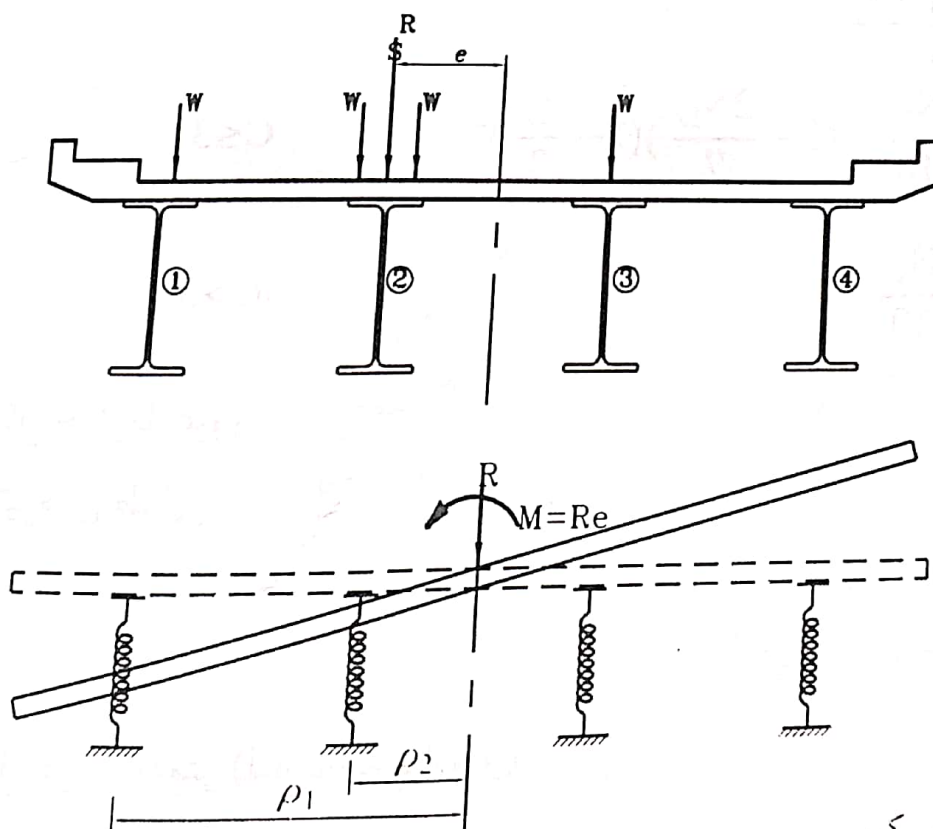
کناری $\rightarrow$ $S < 1.8$ $\alpha = \frac{S}{1.68}$
 $1.8 < S < 4.25$ $\alpha = \frac{S}{1.22 + 0.25S}$

$S > 4.25$

بر اساس توزیع استاتیکی α بدست می آید.

ج - روش کوربن برای توزیع بار زنده بین تیرهای طولی در عرشه دو عنصری اگر تمام تیرها به طور صلب توسط دیافراگم‌ها (تیرهای عرضی) و دال فوقانی به یکدیگر متصل شوند، در حمل بار زنده با یکدیگر مشارکت خواهند داشت. وقتی که بارهای زنده در عرض پل با حداقل فاصله از لبه پیاده‌رو و یکدیگر قرار می‌گیرند، مرکز ثقل بارها نسبت به محور پل دارای خروج از مرکزیت می‌باشد. در اثر این خروج از مرکزیت سهم هر تیر طولی از بار زنده، بسته به فاصله آن از محور پل متفاوت خواهد بود. طبق تئوری کوربن، سهم هر تیر از بار زنده از رابطه زیر به دست می‌آید (شکل ۳-۲۲).

$$R_x = \frac{\sum W}{n} \left[1 + \frac{\sum I}{\sum \rho_x^2 I} (\rho_x)(e) \right] \quad (3-20)$$



شکل ۳-۲۲ روش کوربن.

که در رابطه فوق:

$$R_x = \text{سهم تیر مورد نظر از بار زنده}$$

$$I = \text{ممان اینرسی هر تیر}$$

$$\rho_x = \text{فاصله هر تیر از محور پل}$$

$$c = \text{خروج از مرکزیت برآیند بارزنده نسبت به محور پل}$$

$$\Sigma W = \text{بار کل وارد بر پل}$$

$$n = \text{تعداد تیرها}$$

برای اینکه مقدار R_x حداکثر گردد، بار باید با حداکثر خروج از مرکزیت در عرض پل قرار

گیرد.

از تئوری کوربن وقتی می‌توان استفاده کرد که شرایط زیر برآورده شوند:

۱ - نسبت دهانه به عرض پل بزرگتر از ۲ و کوچکتر از ۴ باشد.

۲ - حداقل ۵ تیر عرضی یا دیافراگم متقارن که با تیرهای طولی یکپارچه می‌باشند، وجود

داشته باشد.

۳ - ارتفاع تیرهای عرضی یا دیافراگم‌ها، حداقل مساوی $\frac{3}{4}$ ارتفاع تیرهای طولی باشد.

مثال ۳-۱

عرشه پلی با پهنای ۸ متر که برای دو خط ترافیک طراحی می‌شود، دارای ۵ تیر طولی می‌باشد. مطلوب است تعیین سهم تیرهای طولی آن از بار زنده با استفاده از تئوری کوربن و روش آشتو. تمام تیرها دارای ممان اینرسی یکسان می‌باشند (شکل ۳-۲۳). از کامیون آیین‌نامه ایران استفاده نمایید.

حل:

(الف) روش کوربن

دو کامیون را در عرض پل با حداقل فاصله از لبه پیاده‌رو سمت چپ قرار می‌دهیم تا حداکثر خروج از مرکزیت و در نتیجه حداکثر عکس‌العمل در تیرها ایجاد شود.

W برای چرخ عقب ۸ تن و برای چرخ جلو مساوی ۴/۰ تن می‌باشد.

$$\Sigma I = 5I$$

$$\Sigma \rho_x^2 I = I(4^2 + 2^2 + 4^2 + 2^2) = 40I$$

سهم تیر شماره ۱:

$$R_1 = \frac{4W}{5} \left[1 + \frac{5I}{I(2 \times 4^2 + 2 \times 2^2)} (4)(1) \right] = 1.2W$$

سهم تیر شماره ۲:

$$R_2 = \frac{4W}{5} \left[1 + \frac{5I}{I(2 \times 4^2 + 2 \times 2^2)} (2)(1) \right] = W$$

سهم تیر شماره ۳:

$$R_3 = \frac{4W}{5} [1 + 0] = 0.8W$$

(ب) با استفاده از روابط آیین نامه آشتو، سهم هر تیر داخلی یا کناری از بار ردیف چرخ (W) برابر است با:

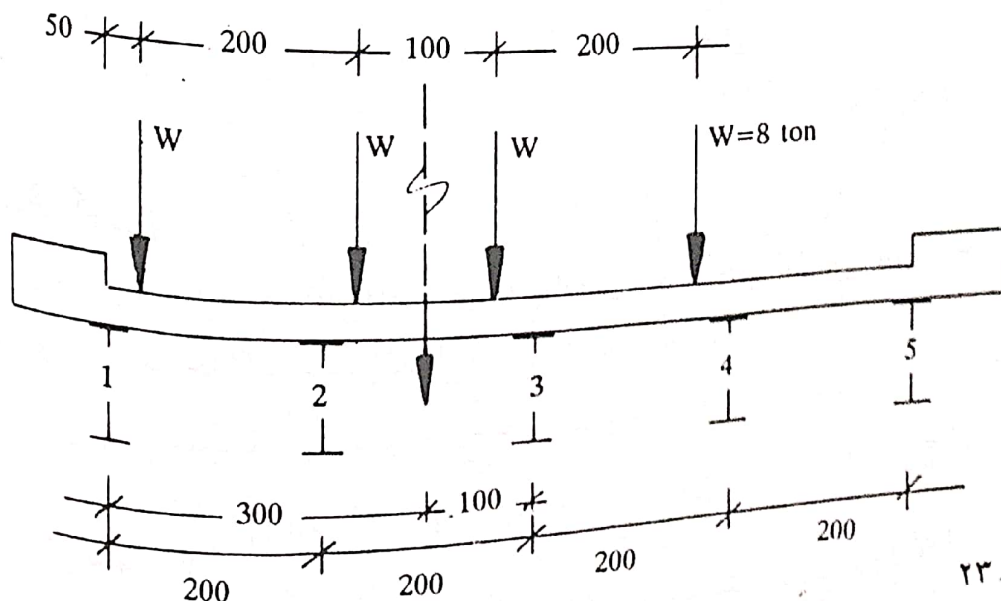
$$\text{سهم تیر کناری} = \frac{S}{1.22 + 0.25S} W = \frac{2}{1.22 + 0.25 \times 2} W = 1.16W$$

$$\text{سهم تیر داخلی} = \frac{S}{1.68} W = \frac{2}{1.68} W = 1.2W$$

۳-۴-۳ عرشه سه عنصری

شکل ۳-۲۴ نشان دهنده پلان عرشه سه عنصری می باشد. در این نوع عرشه بار چرخ ابتدا به دال بتنی و سپس از طریق دال بتنی به تیرهای عرضی و سپس از طریق تیرهای عرضی به دو تیر اصلی کناری انتقال پیدا می کند. این نوع عرشه ها برای دهانه ۳۰ تا ۱۰۰ متر مناسب می باشند.

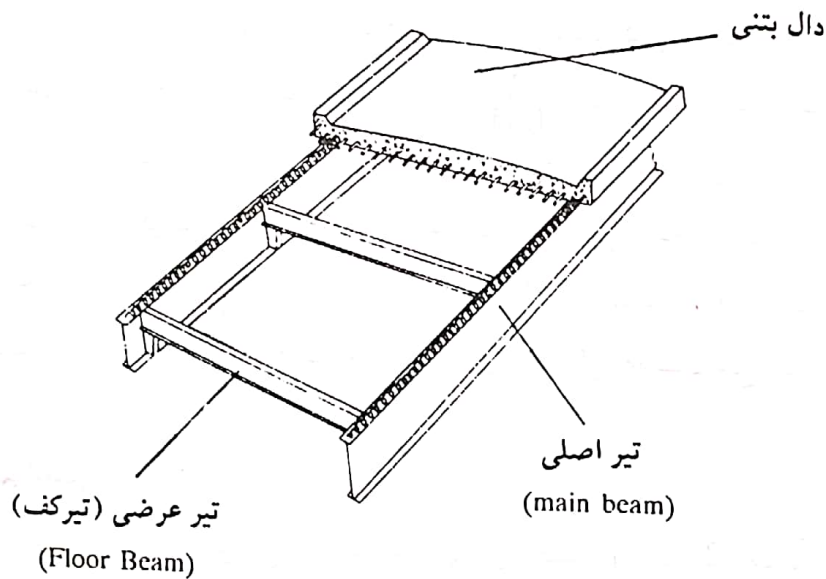
تیرهای عرضی و تیر اصلی می تواند از بتن مسلح و یا فولاد باشد. اگر تیرهای اصلی کناری از فولاد به شکل خرپا ساخته شوند، می توان دهانه های بزرگتری از این نوع پل ساخت. در این حالت اگر تیرهای عرضی بر یال تحتانی خرپا تکیه نمایند، پل عبور از میان و اگر بر یال فوقانی تکیه نمایند، پل عبور از بالا گفته می شود.



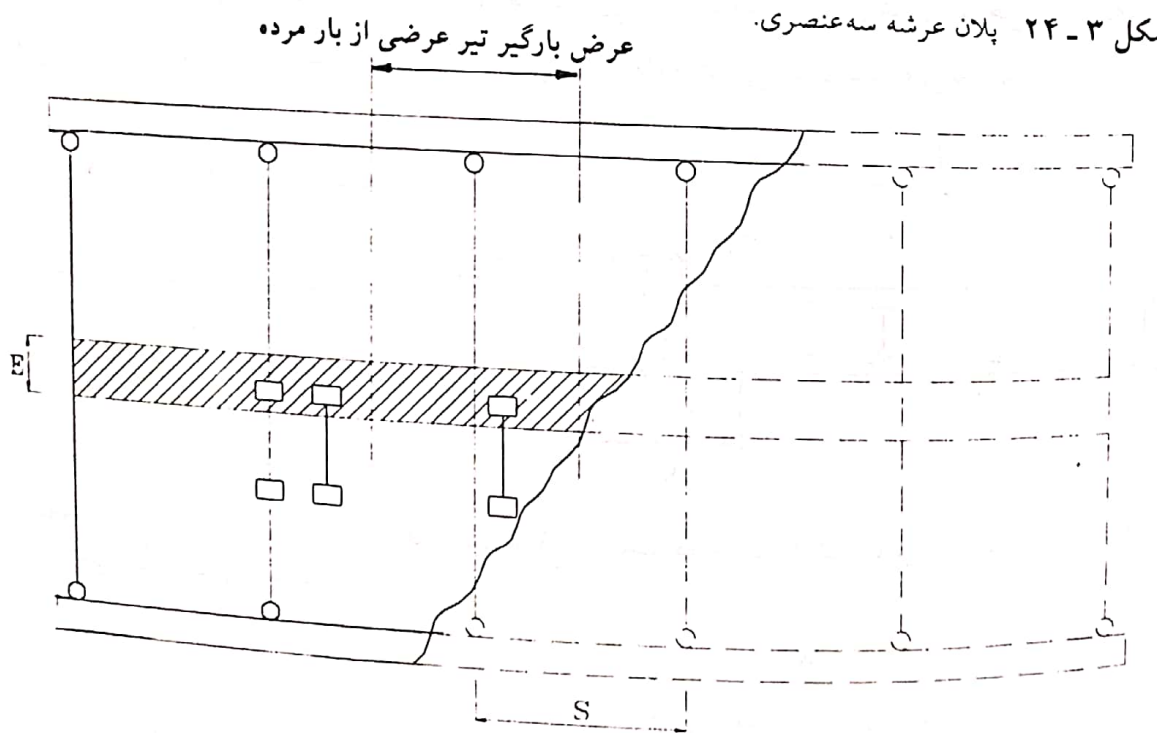
شکل ۳-۲۳

طراحی دال بتن مسلح

طراحی دال بتن مسلح در این حالت همانند طراحی دالی است که میلگردهای اصلی آن به موازات محور طولی پل می‌باشد که در مورد آن در بخش مربوط به عرشه‌های یک عنصری بحث شد (شکل ۳-۲۵).



شکل ۳-۲۴ پلان عرشه سه عنصری.



$$E = 0.06S + 1.22 \leq 2.1 \text{ m}$$

عرض مؤثر دال برای حمل یک ردیف چرخ

دال مثل عرشه یک عنصری با دهانه S و به صورت پیوسته تحلیل می‌شود
شکل ۳-۲۵ طراحی دال عرشه سه عنصری.

تیرهای عرضی (شکل ۳-۲۶)

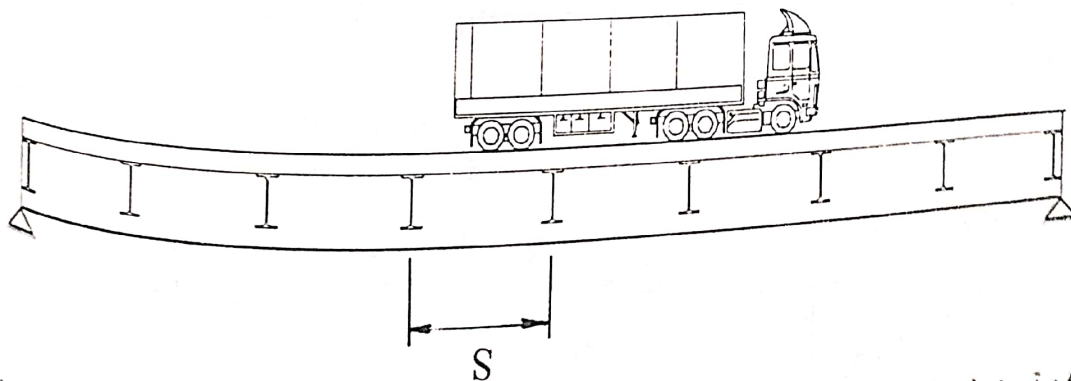
تیرها عرضی به صورت تیرهای ساده ای می باشند که به دو تیر حمال مناری تکیه دارند. در صورتی که فاصله تیرها عرضی کم باشد، چند تیر مجاور در حمل بار چرخ مشارکت خواهند نمود. دستورال

آیین نامه آشتو در مورد توزیع بار چرخ در روی تیرهای عرضی به قرار زیر می باشد:

در محاسبات تیرهای عرضی کف پل، هیچ گونه توزیع عرضی برای بارهای چرخ در نظر نمی گیریم. اگر کف بتنی مستقیماً روی تیرهای عرضی قرار گیرد (مثل سیستم مورد بحث)، کسری از بار چرخ که به هر تیر اختصاص می یابد، $\frac{S}{1.83}$ می باشد که S فاصله تیرهای عرضی بر حسب متر می باشد. اگر S از $1/83$ متر بیشتر گردد، بار وارد بر تیرهای عرضی عکس العمل بارهای چرخ خواهد بود که با فرض رفتار نمودن دال موجود بین تیرها به صورت دهانه ساده، به دست می آید. با توجه به این موضوع که تیر عرضی همانند یک تیر ساده عمل می کند، موقعیت نامساعد نیروها با استفاده از خط تأثیر و یا قضیه سری بارهای متمرکز به دست می آید.

طراحی تیر اصلی

با رسم خطوط تأثیر نیروی برشی و لنگر خمشی تیر اصلی (و یا خطوط تأثیر نیروهای داخلی اعضای خراب) و قرار دادن بار زنده در موقعیت های بحرانی، مقادیر نیروهای طراحی تیر به دست می آیند که در مثال فصل سیزدهم کتاب، روش کار به طور عملی نشان داده می شود.



سهم تیر عرضی از بار مرده، کلیه بارهای مرده واقع در محدوده عرض بارگیر شامل وزن بتن دال، آسفالت، و وزن خود تیر عرضی می باشد.

$$S \leq 1.83 \text{ m} \rightarrow R = \frac{S}{1.83} W$$

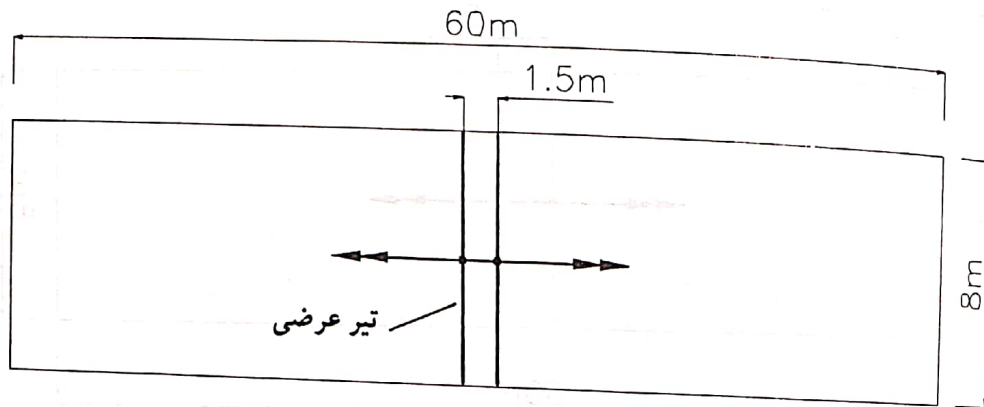
$$S > 1.83 \text{ m} \rightarrow R = \text{روش تحلیل استاتیکی}$$

W = وزن چرخ کامیون (۸ تن برای چرخ عقب)
 R = بار وارد بر تیر عرضی

شکل ۳-۲۶ سهم تیر عرضی از بار چرخ

مثال ۲-۳

در عرشه سه عنصری نشان داده شده در شکل، سهم تیرهای عرضی را از بار چرخ به دست آورید.



شکل ۲۷-۳ پلان عرشه سه عنصری.

حل:

در این حالت چون فواصل تیرهای عرضی کمتر از $1/83$ متر است، سهم تیر عرضی از بار چرخ کامیون برابر است با:

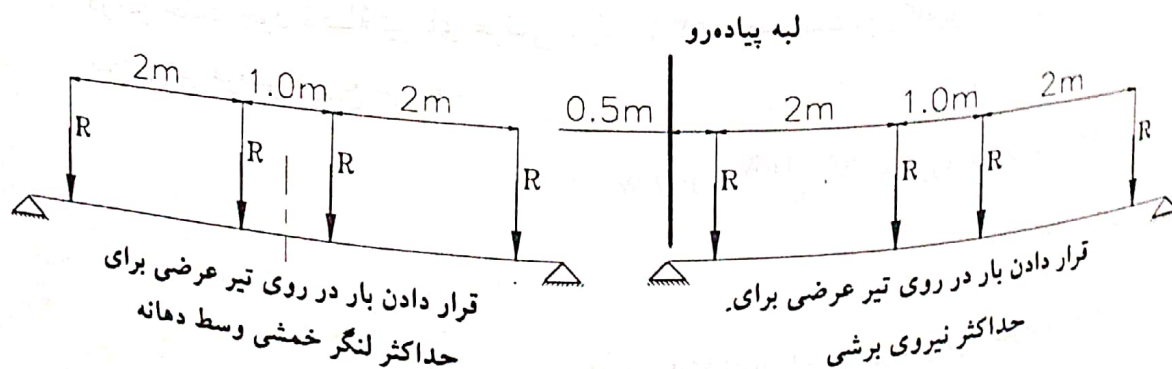
وزن چرخ عقب کامیون W

$$\text{سهم تیر عرضی از بار چرخ عقب} = \frac{1.5}{1.83} W = 0.82W$$

$$\delta = 1.3 - 0.005L = 1.3 - 0.005 \times 8 = 1.26$$

$$R = 1.26 \times 0.82 W = 1.03 W = 8.24 \text{ ton}$$

حال دوبار کامیون برای موقعیت حداکثر لنگر خمشی و نیروی برشی روی تیر عرضی قرار داده می‌شوند.

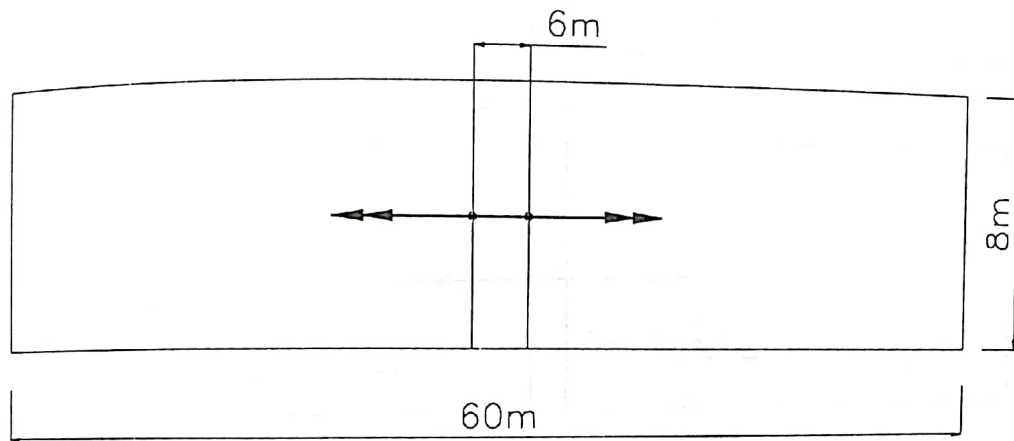


قرار دادن بار در روی تیر عرضی برای حداکثر لنگر خمشی وسط دهانه

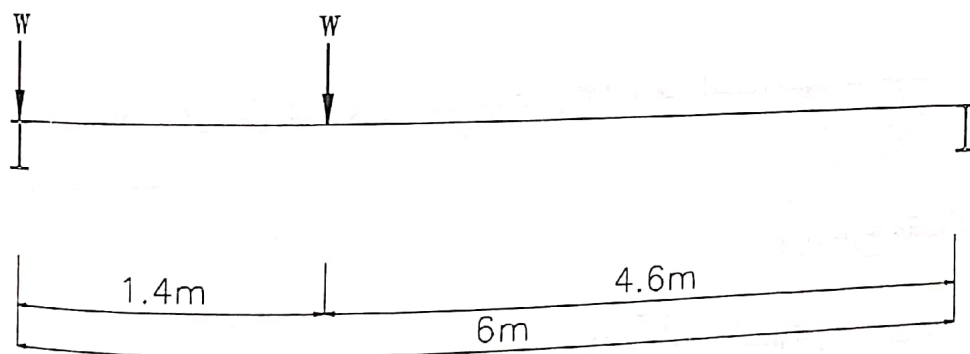
قرار دادن بار در روی تیر عرضی برای حداکثر نیروی برشی

مثال ۳-۳

مثال ۲-۳ را برای عرشه شکل ۳-۲۸ تکرار نمایید.



(الف) پلان پل



(ب) توزیع استاتیکی

شکل ۳-۲۸

حل:

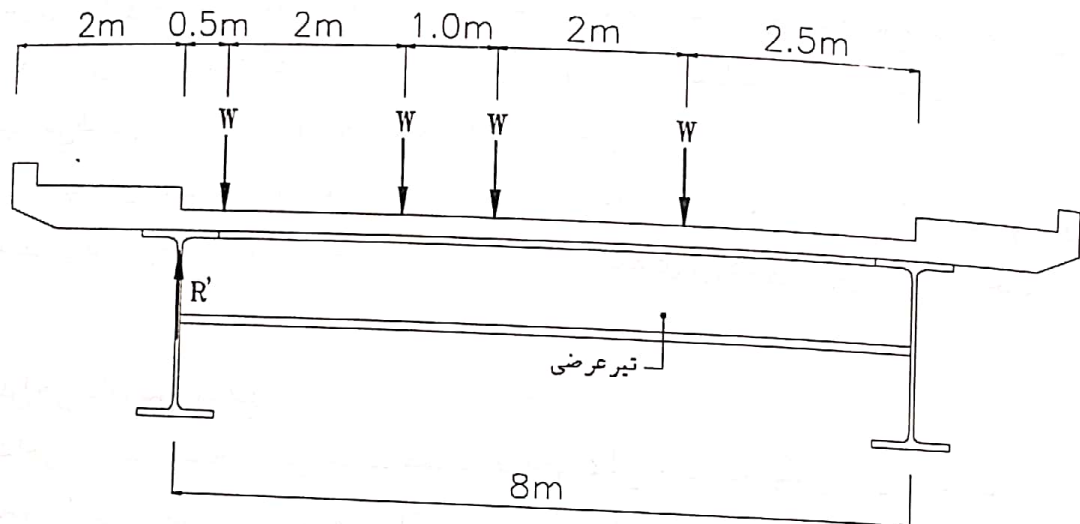
در این حالت چون فاصله تیرهای عرضی بزرگتر از $1/83$ متر است، بار کامیون به صورت استاتیکی بین دو تیر عرضی توزیع می شود.

$$R = \text{نیروی تیر عرضی} = \frac{6W + 4.6W}{6} = 1.77 W$$

$$\delta = 1.26$$

$$\text{نیروی متمرکز با ضریب ضربه} = 1.26 \times 1.77W = 2.3W$$

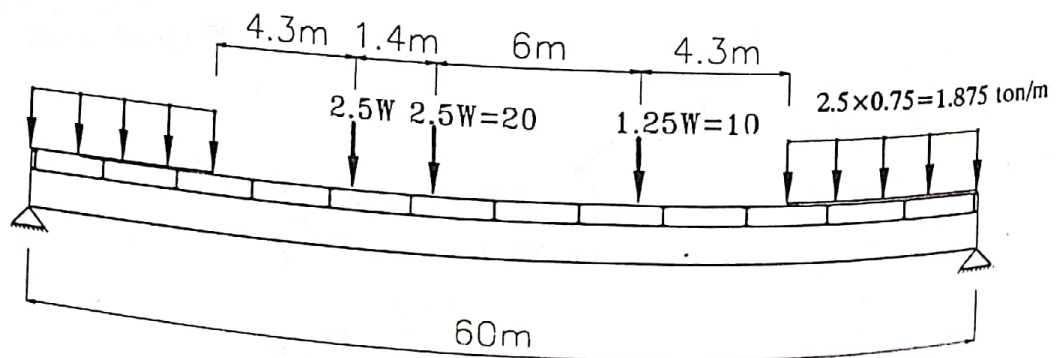
مثال ۳-۴
در عرشه سه عنصری شکل ۳-۲۹، سهم تیر اصلی چپ را از بار زنده به دست آورید.



شکل ۳-۲۹ (الف) مقطع عرضی پل و قرارگیری عرضی دو بار کامیون.

$$R' = \frac{W(2.5+4.5+5.5+7.5)}{8} = 2.5W = 2.5 \times 8 = 20 \text{ ton}$$

$$\delta = 1.3 - 0.005 \times 60 \approx 1$$



W = وزن چرخ کامیون
شکل ۳-۲۹ (ب) قرارگیری بار در طول.

۳-۴-۴ عرشه چهار عنصری

شکل ۳-۳۰ نشان دهنده پلان عرشه چهار عنصری می باشد. در این نوع عرشه ها بار چرخ ابتدا به دال بتنی و سپس از طریق آن به تیرهای طولی و سپس از طریق تیرهای طولی به تیرهای عرضی و در انتها از طریق تیرهای عرضی به دو تیر اصلی کناری انتقال پیدا می کنند. فرق این نوع عرشه با عرشه سه عنصری در این است که به واسطه وجود تیرهای طولی، ضخامت دال به طور محسوسی کاهش پیدا می کند. این نوع عرشه ها برای دهانه ۳۰ تا ۱۰۰ متر مناسب می باشند.

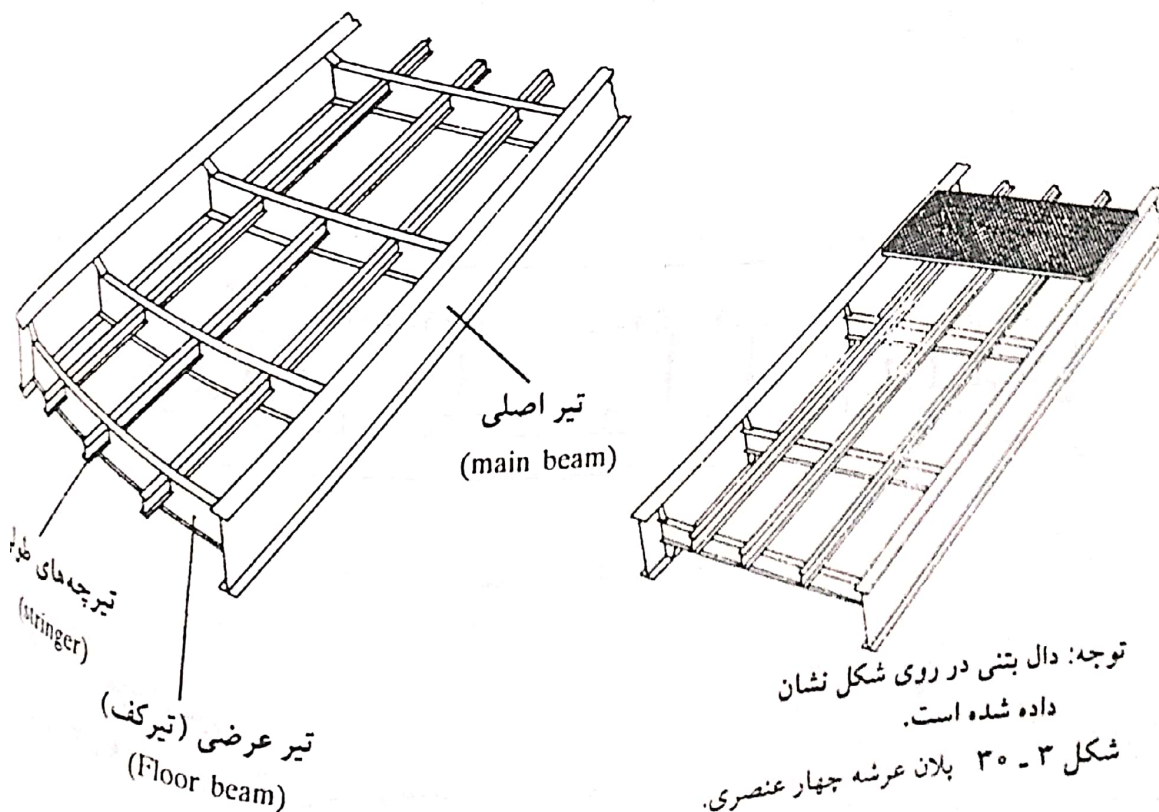
تیرهای طولی و عرضی و اصلی این نوع پل می تواند از بتن مسلح و یا فولاد باشد. اگر تیرهای اصلی از فولاد به شکل خرپا ساخته شوند، می توان دهانه های بزرگتری از این نوع پل ساخت.

طراحی دال بتن مسلح

طراحی دال بتن مسلح در این حالت همانند طراحی دالی است که میلگردهای اصلی آن عمود بر محور طولی پل می باشد که در مورد آن در بخش مربوط به عرشه دو عنصری صحبت شد.

طراحی تیرهای طولی

توزیع بارهای چرخ در روی تیرهای طولی همانند توزیع بار چرخ در روی تیرهای طولی عرشه دو عنصری است.



طراحی تیرهای عرضی
روش تحلیل و طراحی تیرهای عرضی در عرشه چهار عنصری، همانند روش طراحی ارایه‌شده در عرشه سه عنصری می‌باشد.

طراحی تیرهای اصلی
بارسم خطوط تأثیر نیروی برشی و لنگر خمشی برای تیر اصلی (یا خطوط تأثیر نیروهای داخلی اعضای خرپا) و قرار دادن بار زنده در موقعیت‌های بحرانی، مقادیر نیروهای طراحی تیر اصلی به‌دست می‌آیند که در مثال فصل سیزدهم کتاب به‌طور عملی روش کار نشان داده می‌شود.