

طرح عرشه یک عنصری صفحه‌ای از بتن مسلح (پل صفحه‌ای)

۱-۶ صورت مسئله

عرشه یک عنصری متشکل از دال بتن آرمه مطابق شکل ۶-۱ با مشخصات زیر مفروض است:
دهانه آزاد: ۶/۵ متر

عرض تکیه گاه: ۰/۵ متر

عرض آزاد برای عبور دو خط: ۷/۳ متر به علاوه دو شانه ۱/۸۵ متری در سمت چپ و راست

بارگذاری: طبق آیین نامه ۱۳۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی

نوع میلگرد: میلگرد آجدار با تنش تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع

نوع بتن: مقاومت مشخصه ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای مساوی ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع

تنش‌های مجاز: طبق آیین نامه آشتو

$$f_c = 0.40 \times 250 = 100 \text{ kg/cm}^2$$

(تنش مجاز فشاری بتن)

$$v_c = 0.25 \sqrt{f'_c} = 3.95 \text{ kg/cm}^2$$

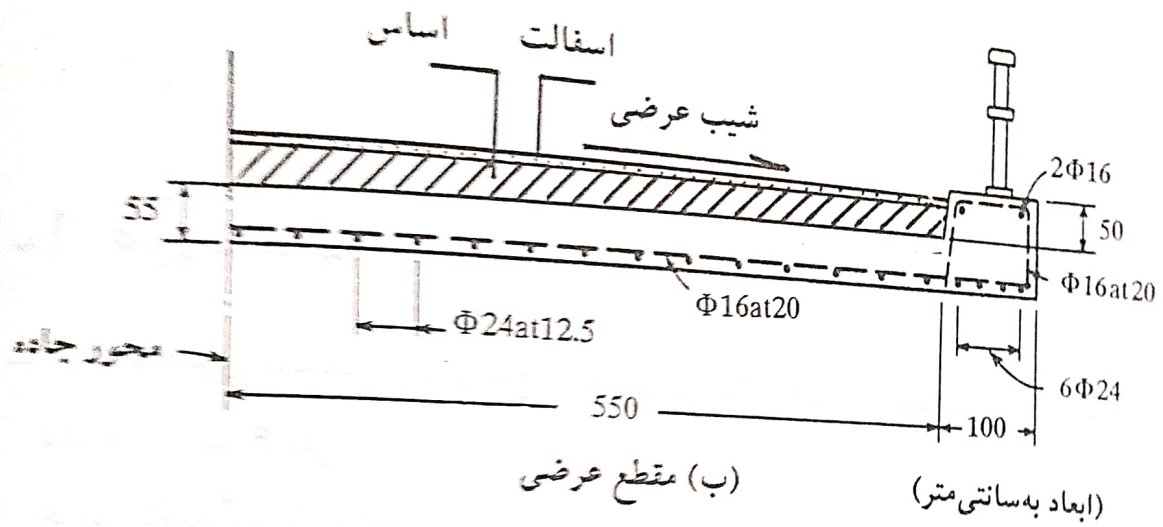
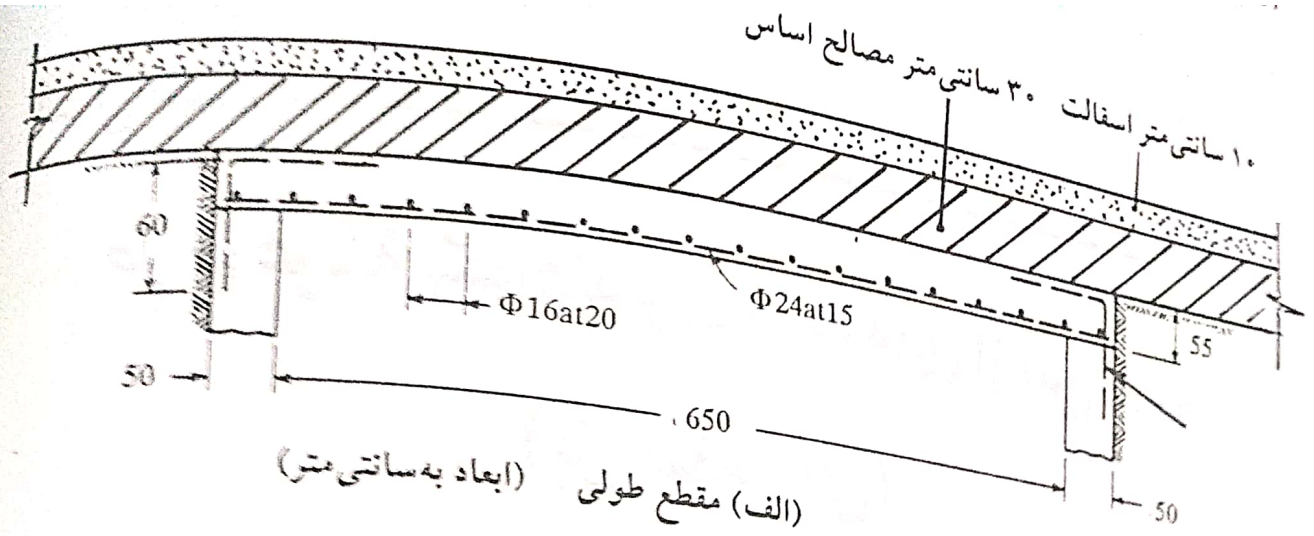
(تنش مجاز برشی بتن)

$$f_s = 0.55 \times 4000 = 2200 \text{ kg/cm}^2$$

(تنش مجاز فولاد)

۲-۶ دهانه محاسباتی

طبق ضوابط آیین نامه، دهانه محاسباتی برابر است با فاصله محور به محور تکیه گاه‌ها یا فاصله تودلی به علاوه ضخامت دال، هر کدام که کوچکتر باشند. بنابراین می توانیم دهانه محاسباتی را فاصله



شکل ۱-۶

محور به محور تکیه گاه ها انتخاب نماییم:

$$\left\{ \begin{array}{l} 6.5 + h \\ 6.5 + 0.5 = 7 \text{ m} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{دهانه محاسباتی} \\ \text{(ارتفاع مقطع که هنوز معلوم نیست)} \end{array}$$

ضخامت دال بتنی در این گونه پل ها مساوی $\frac{1}{15}$ دهانه برای دهانه های ساده در نظر گرفته می شود.

$$\text{ضخامت دال} = \frac{1}{15} \times 7 = 0.46 \text{ m}$$

ارتفاع کل دال بتنی مساوی 0.55 m انتخاب می گردد:

$$h = 0.55 \text{ m}$$

$$h = 1.1(L+3)/30 = 1.1(7+3)/30 = 0.37 \text{ m} < 0.55$$

(ضخامت حداقل طبق نوع پل)

۳-۶ نیروهای داخلی ناشی از بار مرده برای عرض ۱ متر

$$\text{وزن بتن} = 0.55 \times 2.5 = 1.38$$

$$\text{متوسط ۱۰ سانتی‌متر آسفالت} = 0.10 \times 2.2 = 0.22$$

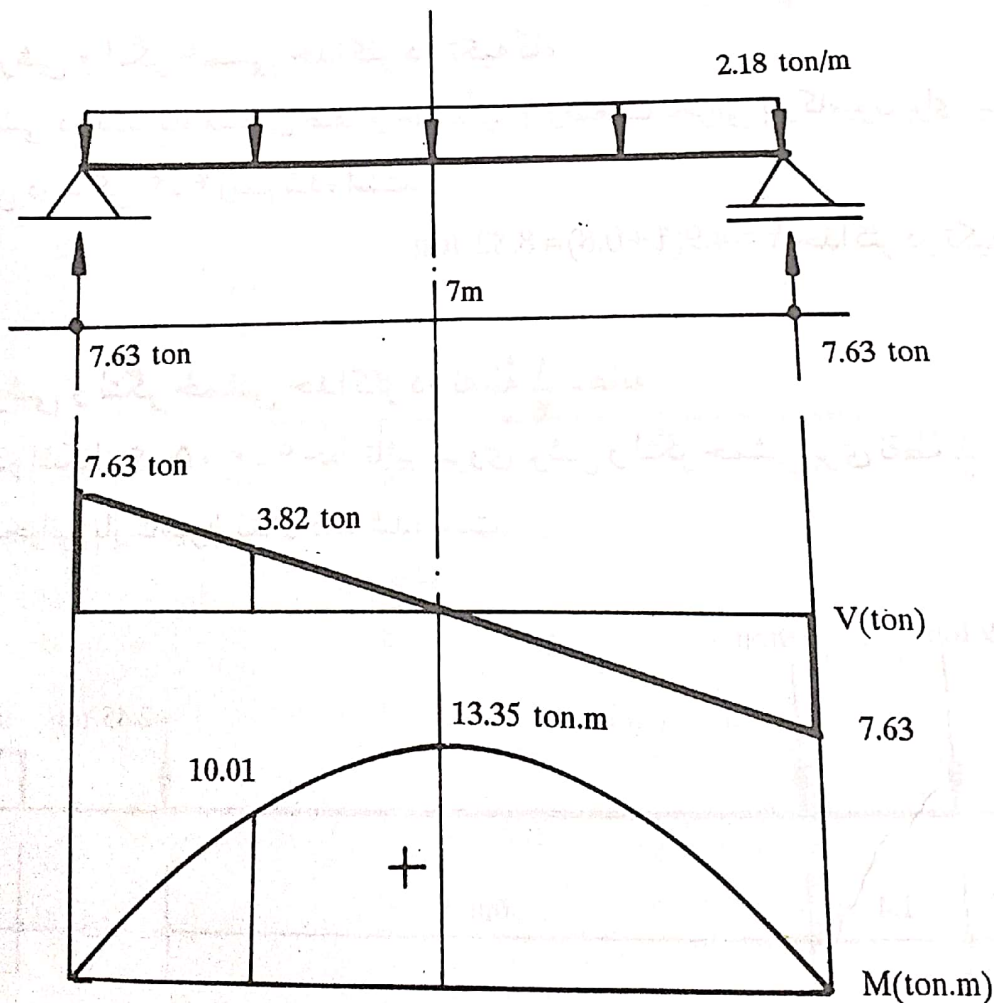
$$0.30 \times 1.92 = 0.58 \text{ سانتی‌متر دولایه اساس}$$

$$\text{جمع کل} = 2.18 \text{ ton/m}$$

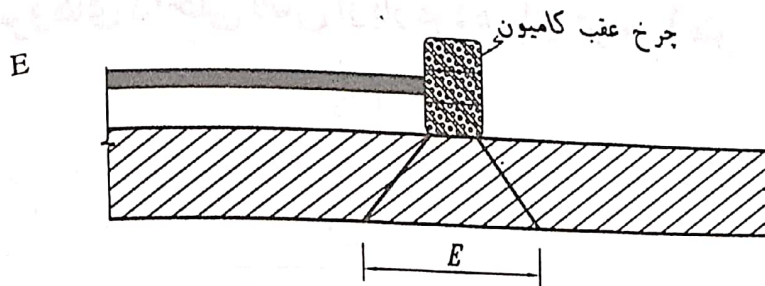
بار مرده و پیاده‌رو مستقیماً توسط تیر لبه‌ای که نسبت به سایر نقاط عرض تیر تقویت هم می‌شود، حمل می‌گردد. نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بار مرده همانند شکل ۲-۶ رسم می‌شود.

۴-۶ نیروهای داخلی ناشی از بار زنده

طبق آیین‌نامه ۱۳۹ بارگذاری پل، بحرانی‌ترین حالت ناشی از بارگذاری کامیون ۴۰ تن با بار خطی معادل، و بار تانک ۷۰ تن باید در محاسبه در نظر گرفته شود. برای کنترل در مقابل بار تانک، به این



شکل ۲-۶ نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی برای بار مرده (یک‌متر عرض)



ترتیب عمل می شود که ابتدا پهنای واحد پل برای بار کامیون طراحی و سپس عرض کامل پل برای بار یک تانک کنترل می شود.

$$\text{عرض مؤثر} = 1.22 + 0.06S = 1.22 + 0.06 \times 7 = 1.64 \text{ m} < 2.1 \text{ m}$$

$$\text{کسری از بار چرخ عقب که} = \frac{8}{1.64} \# 4.9 \text{ ton}$$

برپهنای ۱ متر وارد می شود

$$\text{کسر بار یکنواخت} = \frac{1.5}{2 \times 1.64} = 0.46 \text{ ton/m}$$

در شکل ۳-۶ بار زنده کامیون برای یک متر عرض، بدون اثر ضربه، نشان داده شده است.

نیروی برشی و لنگر خمشی حداکثر در تکیه گاه

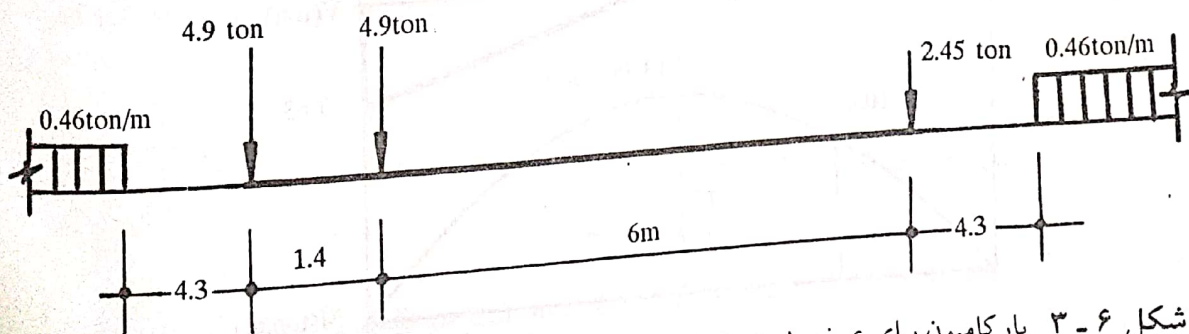
لنگر خمشی در تکیه گاه مساوی صفر و خط تأثیر و وضعیت بحرانی بار کامیون برای نیروی برشی تکیه گاهی در شکل ۴-۶ رسم شده است.

$$V = 4.9(1 + 0.8) = 8.82 \text{ ton}$$

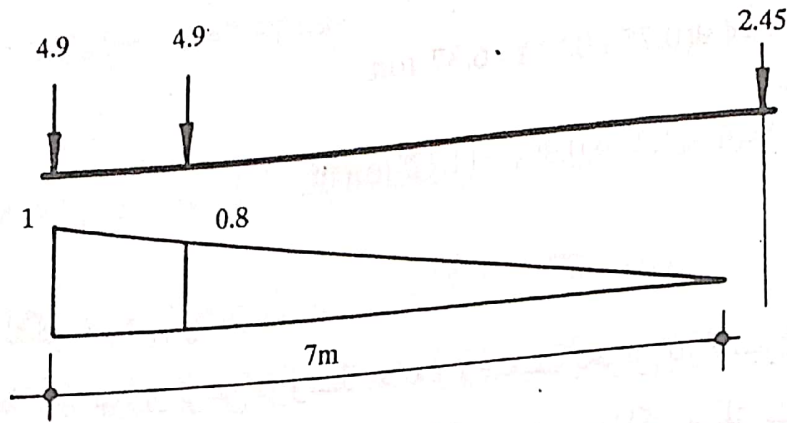
حداکثر در تکیه گاه

نیروی برشی و لنگر خمشی حداکثر در نقطه ۱ دهانه

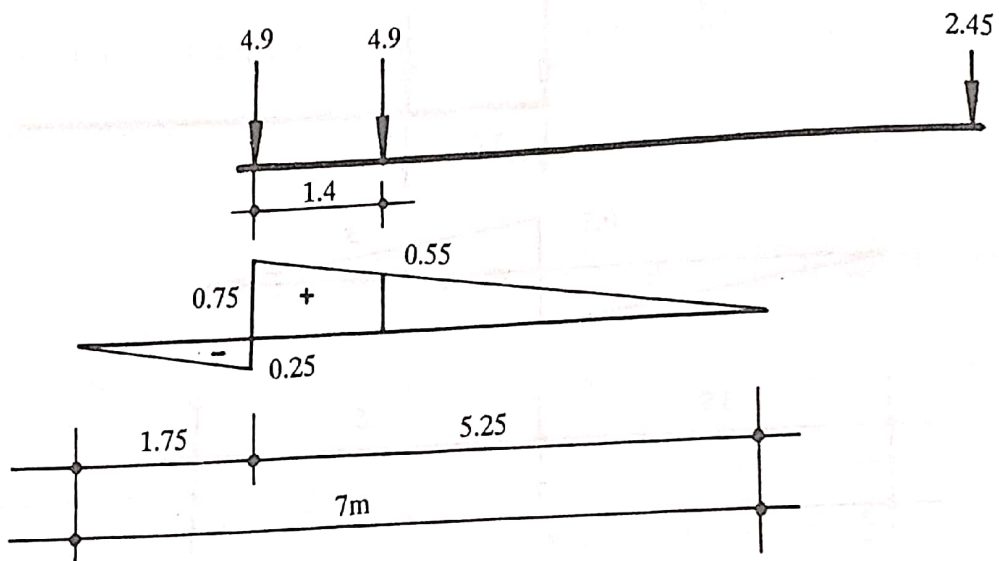
به ترتیب در اشکال ۵-۶ و ۶-۶ خط تأثیر نیروی برشی و لنگر خمشی برای نقطه ۱ دهانه همراه با وضعیت بحرانی بار کامیون نشان داده شده است.



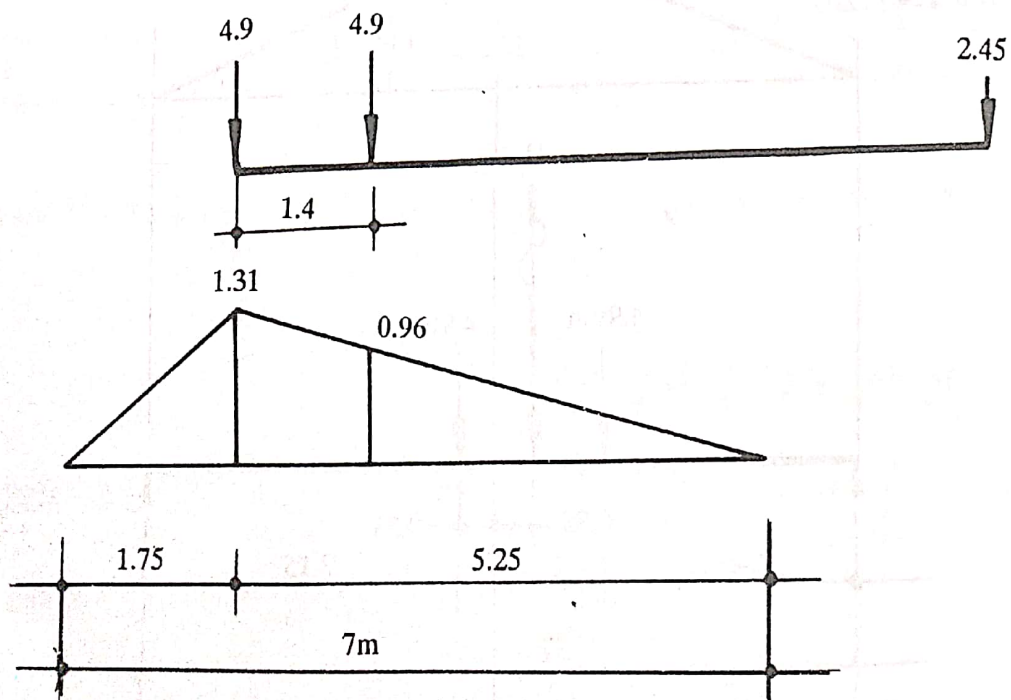
شکل ۳-۶ بار کامیون برای عرض ۱ متر بدون اثر ضربه.



شکل ۴-۶



شکل ۵-۶

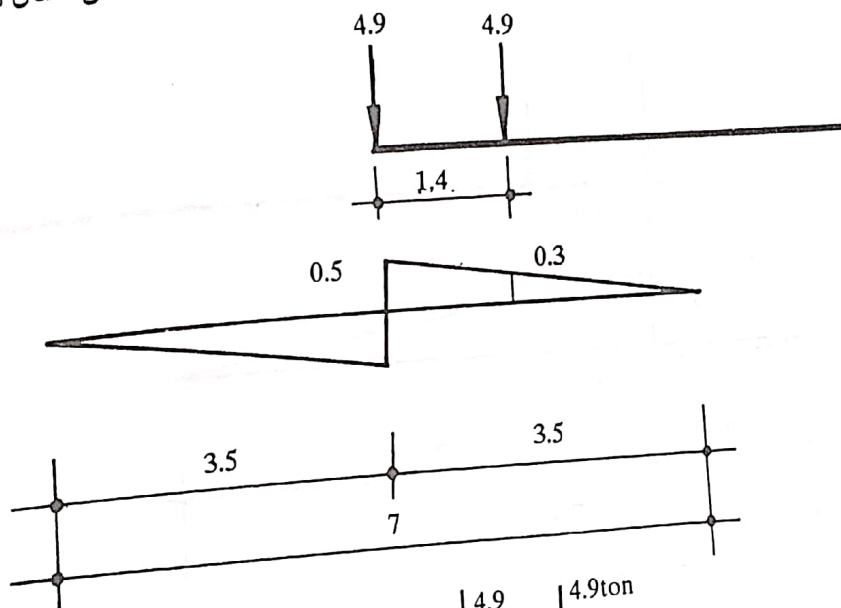


$$V(\text{at } \frac{1}{4}) = 4.9(0.75 + 0.55) = 6.37 \text{ ton}$$

$$M(\text{at } \frac{1}{4}) = 4.9(1.31 + 0.96) = 11.12 \text{ ton.m}$$

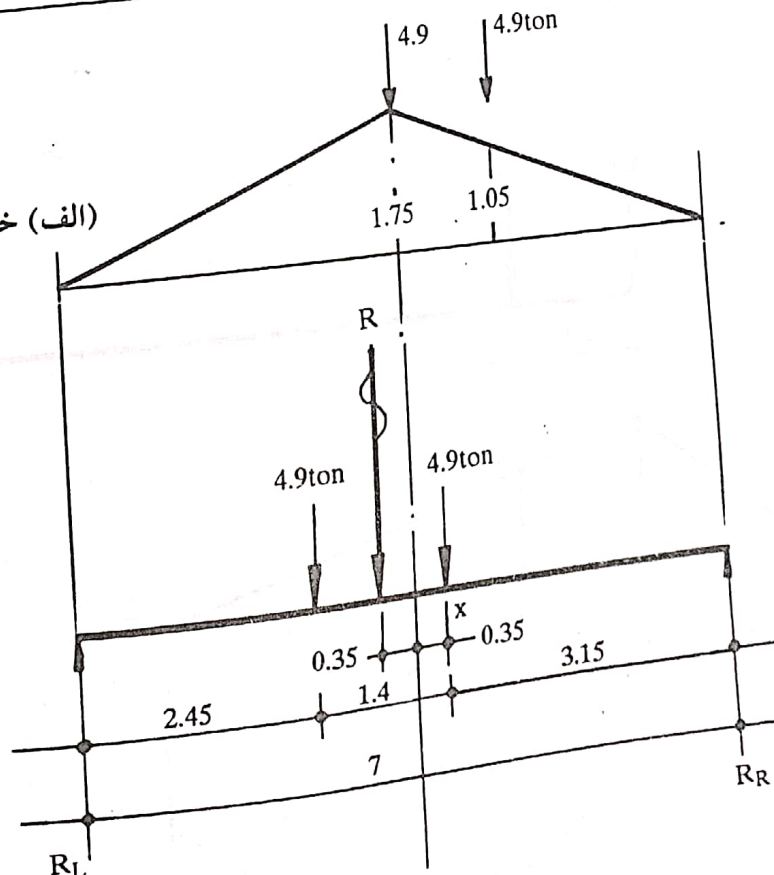
نیروی برشی و لنگر خمشی وسط دهانه

در شکل ۷-۶ خط تأثیر نیروی برشی در وسط دهانه و وضعیت بحرانی بار کامیون در ارتباط با آن و در شکل ۸-۶ وضعیت بحرانی بار کامیون برای تولید لنگر خمشی حداکثر مطلق نشان داده شده است:



شکل ۷-۶

(الف) خط تأثیر لنگر وسط دهانه



شکل ۸-۶

(ب) قضیه لنگر خمشی حداکثر

$$V(at \text{ Q}) = 4.9(0.5 + 0.3) = 3.92 \text{ ton}$$

$$M_{\max}(at \text{ x}) = R_R(3.15) = \frac{4.9(2.45 + 3.85)}{7} \times 3.15 = 4.41 \times 3.15 = 13.89 \text{ ton.m}$$

$$M_{\max} = 4.9(1.75 + 1.05) = 13.72 \text{ ton.m}$$

به مقدار جزیی کمتر از مقدار حاصل شده از قضیه لنگر خمشی حداکثر مطلق است.

تعیین اثر ضربه

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

$$I = 1.21 - 1 = 0.21$$

۵-۶ پوش نیروی برشی و لنگر خمشی

ابتدا جدول نیروهای برشی و لنگر خمشی بحرانی طرح مطابق زیر تنظیم می‌گردد:

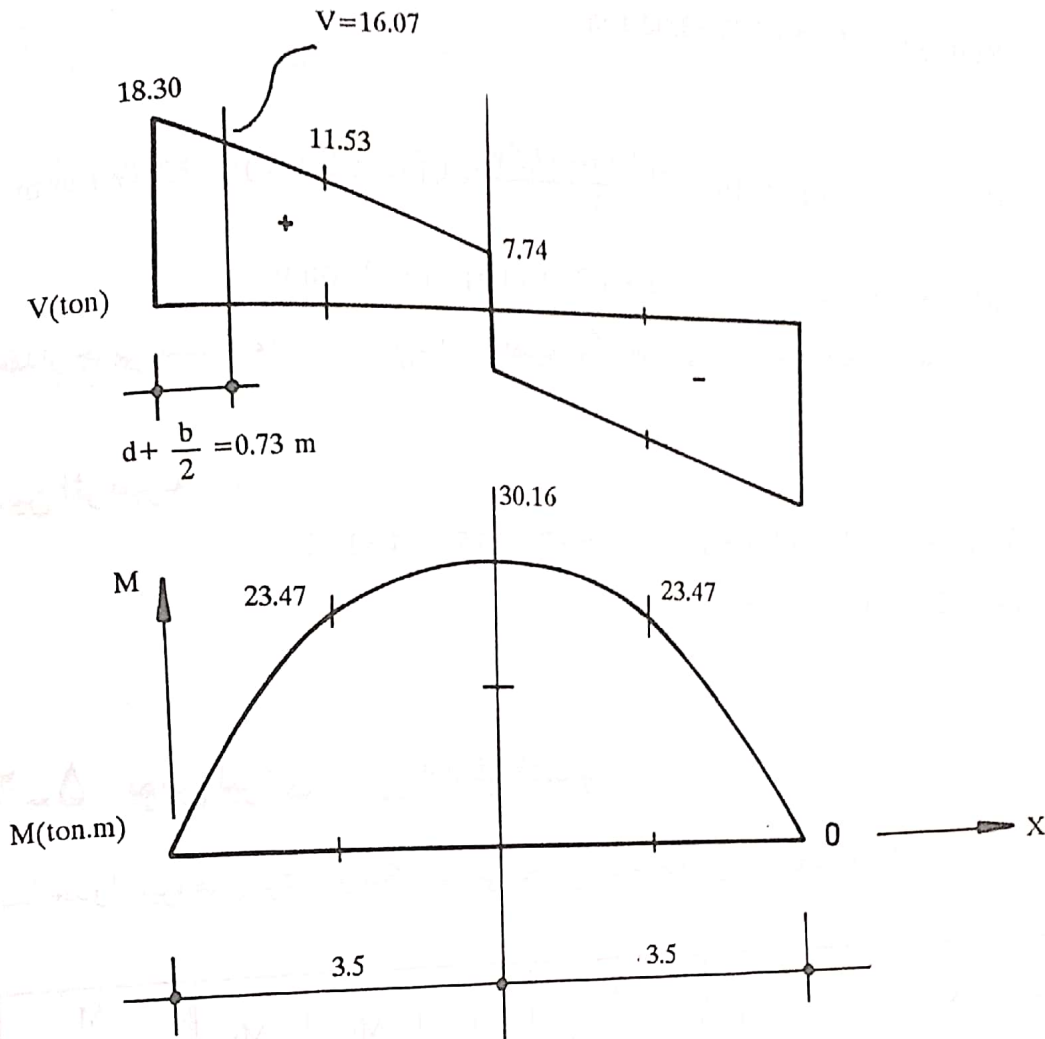
محل	V_D	V_L	V_I	V (D+L+I)	M_D	M_L	M_I	M (D+L+I)
تکیه‌گاه	7.63	8.82	1.85	18.30	0	0	0	0
$\frac{1}{4}$ دهانه	3.82	6.37	1.34	11.53	10.01	11.12	2.34	23.47
وسط دهانه	0	3.92	0.82	7.74	13.35	13.89	2.92	30.16

باتوجه به جدول فوق، پوش نیروی برشی و لنگر خمشی را در شکل ۹-۶ رسم می‌نماییم:

۶-۶ طراحی به روش تنش مجاز

$$f_s = 2200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 100 \text{ kg/cm}^2, f_v = 3.95 \text{ kg/cm}^2, n = \frac{135}{\sqrt{250}} \approx 9$$



شکل ۶-۹ پوش نیروی برشی و لنگر خمشی.*

کنترل برش

طبق آیین نامه آشتو، برای پل های صفحه ای که طبق مقررات این آیین نامه برای لنگر خمشی طرح می شوند، احتیاج به کنترل برش نیست. لیکن از نقطه نظر کامل بودن بحث، در این مثال برش را نیز کنترل می نمایم:

$$d = 55 - (4 + 1.6 + 1.4) = 48 \text{ cm}, d' = 7 \text{ cm}$$

$$V = 16.07 \text{ ton در فاصله } d \text{ از لبه تکیه گاه}$$

$$v = \frac{16.07 \times 1000}{100 \times 48} = 3.35 < 3.95 \text{ kg/cm}^2$$

* با دقت خیلی زیاد می توان برای رسم منحنی پوش لنگر خمشی، فقط مقدار لنگر خمشی حداکثر وسط دهانه را محاسبه نمود و یک منحنی سهمی از تکیه گاه و این نقطه عبور داد. عرض این سهمی در نقطه ۰/۴ مساوی ۰/۹۶ لنگر حداکثر و در نقطه ۰/۲۵ دهانه، مساوی ۰/۷۵ لنگر حداکثر می باشد.

$$M=30.16 \text{ ton.m}$$

$$r = \frac{f_s}{f_c} = \frac{2200}{100} = 22$$

$$k = \frac{n}{n+r} = \frac{9}{9+22} = 0.290$$

$$J = 1 - \frac{K}{3} = 0.903$$

$$M_c = \frac{f_c}{2} k J b d^2 = 50 \times 0.290 \times 0.903 \times 100 \times 48^2 \times 10^{-5} = 30.17 \text{ ton.m} > 30.16$$

احتیاج به میلگرد فشاری نداریم.

$$A_s = \frac{M}{f_s J d} = \frac{30.16 \times 10^5}{2200 \times 0.875 \times 48} = 32.64 \text{ cm}^2$$

۷-۶ طراحی به روش حد نهایی (آیین نامه بتن ایران)

در طراحی به این روش از ترکیب بار زیر استفاده می کنیم:

$$1.25D + 1.5^* (L + I)$$

$$M_u = 1.25 \times 13.35 + 1.5(13.89 + 2.92) = 41.90 \text{ ton.m}$$

$$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2, \quad f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm}, \quad d = 48 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = 0.6 \times 250 = 150 \text{ kg/cm}^2, \quad f_{yd} = 4000 \times 0.85 = 3400$$

محاسبه کفایت d برای عدم احتیاج به میلگرد فشاری:

$$\rho_{\max} = \rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \times \frac{6000}{6000 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0.85^2 \times \frac{150}{3400} \times \frac{6000}{6000 + 4000} = 0.0191$$

$$A_{s\max} = 0.0191 \times 100 \times 48 = 91.68 \text{ cm}^2$$

$$91.68(3400) = 0.85(150) \times 100a$$

* این ضریب در آیین نامه بتن ایران برای بار زنده ساختمان های معمولی توصیه شده است. کاربرد آن برای بار زنده پل باید همراه با قضاوت مهندس باشد.

$$a=24.45 \text{ , } 0.5a=12.23 \text{ cm}$$

$$M_r = A_s f_y (d - 0.50)$$

$$= 91.68 \times 3400 (48 - 12.23) \times 10^{-5} = 111.5 \text{ ton} > 41.90$$

فولاد فشاری لازم نیست.

$$f_{cd} = 0.6 \times 250 = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yd} = 0.85 \times 4000 = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

محاسبه میلگردهای کششی

$$A_s = \frac{M_u}{f_{yd}(0.85d)} = \frac{41.90 \times 10^5}{3400(0.85 \times 48)} = 30.20 \text{ cm}^2$$

$$C_c = T$$

$$0.85 \times 150 \times 100a = 3400 \times 30.20$$

$$a = 8.05 \text{ cm}$$

$$Jd = d - 0.5a = 48 - 0.5 \times 8.05 = 43.98 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{41.90 \times 10^5}{3400 \times 43.98} = 28.02 \text{ cm}^2$$

فولاد محاسبه شده اختلاف چندانی با روش تنش مجاز ندارد.

طراحی برای برش به روش حد نهایی

$$V_u = 1.25 \times 7.63 + 1.5(8.82 + 1.85) = 25.54 \text{ ton}$$

$$V_u = 1.25 \times 0 + 1.5(3.92 + 0.82) = 7.11 \text{ ton}$$

$$V_u = \frac{25.54 - 7.11}{3.5} (3.5 - 0.73) + 7.11 = 21.70 \text{ ton}$$

$$V_c = 0.38 \sqrt{f_c} b d$$

$$= 0.38 \sqrt{250} \times 100 \times 48 \times 10^{-3} = 28.84 \text{ ton} > 21.70$$

احتیاج به آرماتور برشی نیست.

دنباله مسئله را با استفاده از نتایج روش تنش های مجاز ادامه می دهیم. انتخاب می شود:

$$\Phi 25 \text{ at } 15 \text{ cm c/c , } A_s = 32.72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

۵۰ درصد از میلگردهای کششی وسط دهانه باید وارد تکیه گاه شوند و به اندازه ۲۵ سانتی متر

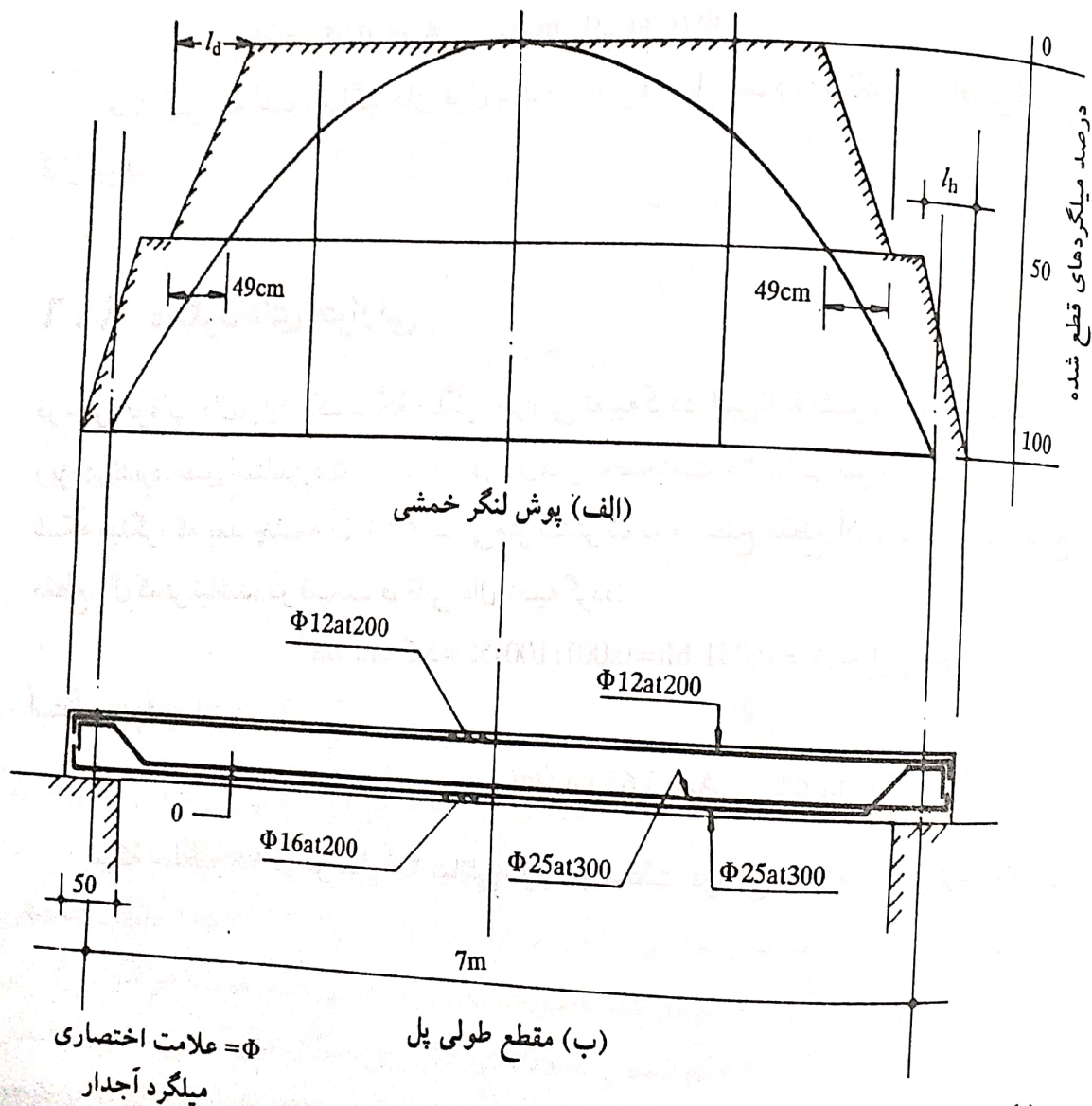
از محور تکیه‌گاه ادامه داشته باشند. انتهای این میلگردها بهتر است به صورت قلاب ۹۰ یا ۱۸۰ درجه درآیند. ۵۰ درصد باقیمانده میلگردها را می‌توان با توجه به نمودار پوش قطع نمود. این میلگردها به اندازه d یا ۱۵ برابر قطر پس از نقطه قطع تئوری ادامه می‌یابند. ظرفیت خمشی ۵۰ درصد میلگردها را در روی پوش لنگر خمشی شکل ۶-۱۰ رسم کرده و نقطه قطع آنها را به دست می‌آوریم. البته میلگردها را در این نقاط قطع نمی‌کنیم بلکه با زاویه ۴۵ درجه به سمت بالا خم می‌نماییم تا مقاومت برشی مقطع زیاد شود (شکل ۶-۱۰ ب).

$$15d = 15 \times 2.5 = 37.5 \text{ cm} < d = 49 \text{ cm}$$

البته آیین‌نامه آشتو مقرر می‌دارد که این میلگردها می‌توانند در فاصله ۲۰ سانتی متری لبه تکیه‌گاه قطع شوند. در شکل ۶-۱۰ الف نمودار ظرفیت خمشی مقطع نیز رسم شده است که برای رسم آن احتیاج به محاسبه طول مهاری می‌باشد:

$$l_d = 0.06 A_b f_y / \sqrt{f'_c} = 0.06 \times 4.9 \times 4000 / \sqrt{250} =$$

(بدون قلاب)



شکل ۶-۱۰ انتخاب میلگردهای طولی.

$$=74.4 \text{ cm} > 0.0057 d_b f_y = 0.0057 \times 2.5 \times 4000 = 57 \text{ cm}$$

$$l_{dh} = 320 d_b f_y / (4200 \sqrt{f'_c}) = 320 \times 2.5 \times 4000 / (4200 \sqrt{250}) = 48.2 \text{ cm}$$

۸-۶ میلگردهای عرضی

میلگردهای عرضی که به صورت عمود بر میلگردهای طولی قرار می‌گیرند، به منظور توزیع بار متمرکز و همچنین جلوگیری از ترک‌های حرارتی و یا ناشی از افت بتن، تعبیه می‌شوند. طبق آیین‌نامه مقدار این میلگردها به صورت درصدی از میلگردهای طولی اصلی بیان می‌گردد.

$$\text{درصد میلگردهای عرضی} = \frac{55}{\sqrt{S}} = \frac{55}{\sqrt{7}} = 21 < 50\%$$

$$\text{مقدار میلگردهای عرضی} = 0.21 \times 32.64 = 6.85 \text{ cm}^2$$

$$\Phi 16 \text{ at } 20 \text{ cm c/c}, A_s = 10.05 \text{ cm}^2/\text{m}$$

طبق آیین‌نامه آشتو، میلگردهای فوق باید در پایین دال پل عمود بر میلگردهای اصلی کششی قرار گیرند.

۹-۶ میلگردهای حرارتی

در سفره فوقانی دال، باید یک شبکه میلگرد حرارتی تعبیه گردد. آیین‌نامه آشتو در این مورد مقررات ویژه‌ای ندارد. طبق استاندارد ۵-۱۸ ایران، در دال‌های به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و یا بیشتر، باید یک شبکه میلگرد که بعد چشمه آن از ۳۳ سانتی‌متر بیشتر نبوده و سطح مقطع آن از یک در هزار سطح مقطع دال کمتر نباشد، در قسمت فوقانی دال تعبیه گردد:

$$A_s = 0.001 b h = 0.001 (100) 55 = 5.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

استفاده می‌شود از:

$$\Phi 12 \text{ at } 20 \text{ cm c/c}, A_s = 5.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

شبکه میلگرد ۱۲ در فواصل ۲۰ سانتی‌متری در قسمت فوقانی دال تعبیه می‌گردد. (شکل ۱۰-۶ ب).

۱۰-۶ تیر لبه‌ای

به منظور سهولت در عملیات بتن‌ریزی و یا احتمالاً استفاده از ماله‌های ماشینی برای پرداخت سطح بتن، پیاده‌رو همزمان با دال اصلی بتن‌ریزی نمی‌شود. در نتیجه ارتفاع محاسباتی تیر لبه‌ای مساوی ارتفاع دال بتنی منظور می‌گردد.

بار مرده تیر لبه‌ای:

$$\text{وزن تیر لبه‌ای} = 1.0(0.55 + 0.5)2.5 = 2.63 \text{ ton/m}$$

$$\text{وزن نرده} = 0.10 \text{ ton/m}$$

$$\text{بار پیاده‌رو} = 0.20 \times 1 = 0.2 \text{ ton/m}$$

$$\text{بار مرده کل} = 2.93 \text{ ton/m}$$

$$\text{لنگر ناشی از بار مرده} = \frac{qL^2}{8} = \frac{2.93 \times 7^2}{8} = 17.95 \text{ ton.m}$$

$$\text{لنگر بار زنده} = 0.1PS\delta = 0.1(8)7 \times 1.21 = 6.78 \text{ ton.m}$$

$$\text{لنگر کل} = 24.73 \text{ ton.m}$$

سطح مقطع آرماتورهای کششی تیر لبه‌ای برابر است با:

$$A_s = \frac{M}{f_s J d} = \frac{24.73 \times 10^5}{2200 \times 0.875 \times 48} = 26.76 \text{ cm}^2$$

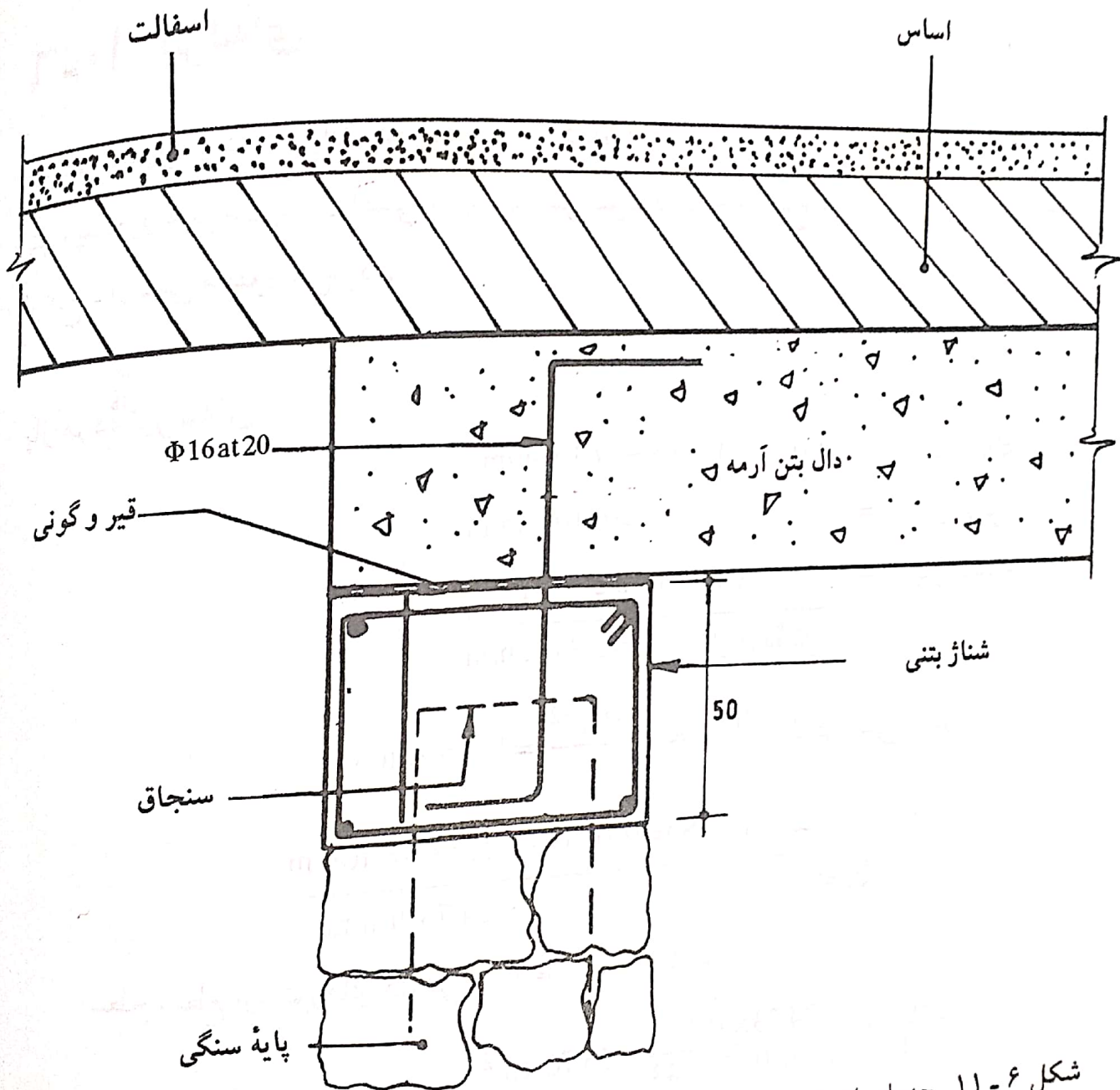
استفاده می‌شود از:

$$6\Phi 25, A_s = 4.9 \times 6 = 29.4 \text{ cm}^2$$

در شکل ۱۲-۶ جزییات تیر لبه‌ای نشان داده شده است.

۱۱-۶ جزییات متفرقه

شیب عرضی پل برای زهکشی در روکش آسفالتی پل ایجاد می‌گردد. برای این منظور کافی است ضخامت قشر اساس در محور پل بزرگتر از ضخامت آن در لبه پل در نظر گرفته شود. همچنین باید در دو انتها تکیه‌گاه انبساطی (مفصلی)



شکل ۱۱-۶ جزئیات اتصال به نشیمن.

عمل اتصال پل صفحه‌ای به تکیه گاه کامل گردد. قبل از بتن ریزی دال بتنی پل، روی نشیمن یک قیر و گونی مالیده می شود (شکل ۱۱-۶).