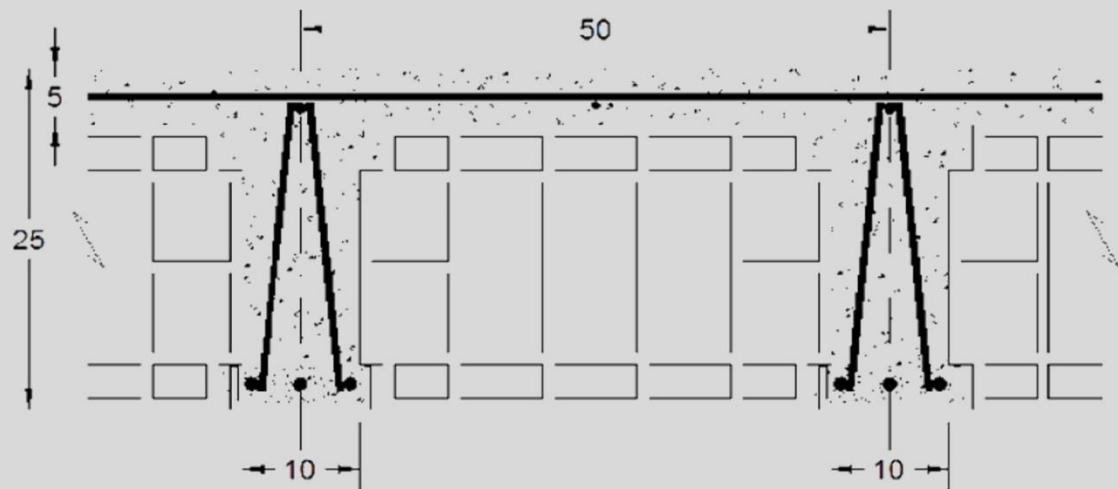


طراحی دستی سقف تیرچه و بلوک



مطلوب است محاسبه‌ی سقف تیرچه و بلوک با تکیه‌گاه‌های ساده، مطابق شکل پ ۴-۱ و با مشخصات زیر:

الف - مشخصات مصالح:

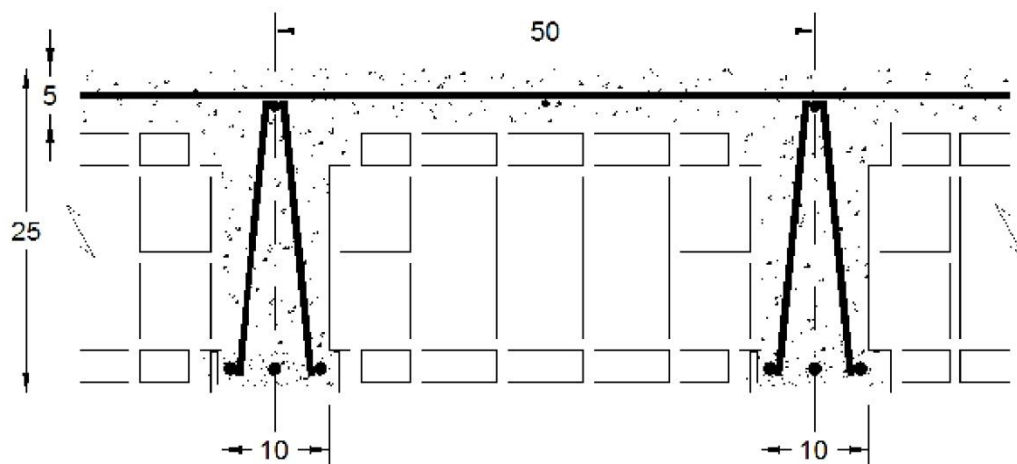
$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$	مقاومت فشاری مشخصه بتن C20
$f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$	مقاومت مشخصه فولاد آرماتور S300
$f_y = 2200 \text{ kg/cm}^2$	مقاومت مشخصه فولاد آرماتورهای برشی زیگزاگی S220

ب - ابعاد:

$L_e = 5.80 \text{ m}$	طول دهانه‌ی مؤثر
$b = 50 \text{ cm}$	فاصله محور تا محور تیرچه‌ها
$h = 20 \text{ cm}$	ارتفاع بلوک‌ها
$t = 5 \text{ cm}$	ضخامت دال بتنی
$b_w = 10 \text{ cm}$	عرض جان تیرچه‌ها

ج - بارهای مرده و زنده:

$L = 200 \text{ kg/m}^2$	بار زنده
215 kg/m^2	مجموع بار مرده کف‌سازی روی سقف و نازک‌کاری زیر سقف
100 kg/m^2	بار معادل تیغه‌بندی
$W_{bl} = 8 \text{ kg}$	وزن هر بلوک
$b_{bl} = 20 \text{ cm}$	عرض هر بلوک



شکل پ ۴-۱- مشخصات سقف تیرچه و بلوک مثال اول

راه حل:

الف - محاسبه بارهای وارد بر سقف

مطابق پیوست ۱ و رابطه (پ-۴)، وزن سقف تیرچه و بلوک در واحد سطح (مشمول بر وزن بلوکها، وزن دال بتنی فوقانی و وزن جان تیرچهها) را بدست می آوریم.

$$\begin{aligned} \text{وزن سقف تیرچه و بلوک در واحد سطح} &= \left(\frac{w_{bl}}{b \times b_{bl}} \right) + \left(\frac{b_w \times h}{b} \times \rho \right) + (t \times \rho) \\ &= \left(\frac{8}{0.5 \times 0.2} \right) + \left(\frac{0.1 \times 0.2}{0.5} \times 2500 \right) + (0.05 \times 2500) \\ &= 80 + 100 + 125 = 305 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

کل بار مرده وارد بر سقف برابر خواهد بود با مجموع وزن سقف تیرچه و بلوک، بار مرده کف سازی، نازک کاری و بار معادل تیغه بندی:

$$D = 305 + 215 + 100 = 620 \text{ kg/m}^2$$

و وزن کل سقف تیرچه بلوک (با اعمال ضرایب بار) برابر خواهد بود با:

$$W = 1.25D + 1.5L = 1.25 \times 620 + 1.5 \times 200 = 1075 \text{ kg/m}^2$$

ب - کنترل ضخامت سقف (خیز مجاز)

با توجه به فرض تکیه گاه های ساده این سقف تیرچه و بلوک، حداقل ضخامت سقف با توجه به محدودیت افتادگی (خیز)، برابر است با:

$$H_{\min} = \frac{L_e}{20} \times \left(0.4 + \frac{f_y}{6700} \right) = \frac{580}{20} \times \left(0.4 + \frac{3000}{6700} \right) = 24.6 \text{ cm}$$

ضخامت سقف موجود، ۲۵ سانتی متر می باشد که از حداقل ضخامت بیشتر بوده و قابل قبول است.

$$H = h + 5 = 20 + 5 = 25 \text{ cm} > H_{\min} \quad \text{OK}$$

ج - کنترل ضخامت لایه‌ی بتن روی بلوک‌ها (دال بتنی)

برای کنترل این ضخامت، دال بتنی روی بلوک‌ها به صورت تیر بتنی غیرمسلح دوسرگیردار بین دو تیرچه (با دهانه ۴۰ سانتی‌متر) طراحی می‌شود. مدول گسیختگی بتن غیرمسلح برابر $1.9\phi_c\sqrt{f_c}$ است که f_c مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع می‌باشد.

لنگر تکیه‌گاهی تیر دوسرگیردار در نواری به پهنای ۱ متر برابر است با:

$$M_u = \frac{P_u \times L^2}{12} = \frac{1075 \times 0.4^2}{12} = 14.33 \text{ kg.m} = 1433 \text{ kg.cm}$$

اساس مقطع تیر دوسرگیردار به پهنای ۱ متر برابر است با:

$$s = \frac{bh^2}{6} = \frac{100 \times 5^2}{6} = 417 \text{ cm}^3$$

تنش کششی حداکثر بتن در محل اتصال دال بتنی به تیرچه برابر است با:

$$f_{ct} = \frac{M_u}{s} = \frac{1433}{417} = 3.4 \text{ kg/cm}^2$$

مدول گسیختگی بتن نیز از رابطه ذکر شده بدست می‌آید:

$$f_r = 1.9\phi_c\sqrt{f_c} = 1.9 \times 0.6 \times \sqrt{200} = 16.1 \text{ kg/cm}^2 > f_{ct} \quad \text{OK}$$

لذا ضخامت دال بتنی برابر ۵ سانتی‌متر مناسب است.

د - طراحی آرماتورهای پایینی تیرچه

بارگسترده‌ی وارد به یک تیرچه با عرض ۵۰ سانتی‌متر، برابر است با:

$$P_u = 0.5 \times 1075 = 537.5 \text{ kg/m}$$

لذا لنگر حداکثر (در وسط دهانه) نیز بدین صورت بدست می‌آید:

$$M_u = \frac{P_u \times L_e^2}{8} = \frac{537.5 \times 5.80^2}{8} = 2260 \text{ kg.m} = 226000 \text{ kg.cm}$$

مطابق مطالب پیوست سوم، به عنوان تقریب اول فرض می‌کنیم که ارتفاع بلوک تنش مستطیلی تماماً در ضخامت t (دال بتنی) قرار می‌گیرد:

با فرض استفاده از میلگردهای $\phi 14$:

$$d = H - 2 - \frac{\phi}{2} = 25 - 2 - \frac{1.4}{2} = 22.3 \text{ cm}$$

$$M_r = 0.85\phi_c f_c t b (d - \frac{t}{2}) = 0.85 \times 0.6 \times 200 \times 5 \times 50 \times (22.3 - \frac{5}{2}) = 504900 \text{ kg.cm} > M_u$$

لذا ارتفاع بلوک تنش مستطیلی کمتر از ضخامت t بوده و رفتار تیرچه بصورت مستطیلی می‌باشد. مقدار سطح مقطع آرماتور لازم از این رابطه بدست می‌آید:

$$A_s = \frac{0.85\phi_c f_c b d}{\phi_s f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85\phi_c f_c b d^2}} \right) = \frac{0.85 \times 0.6 \times 200 \times 50 \times 22.3}{0.85 \times 3000} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 226000}{0.85 \times 0.6 \times 200 \times 50 \times 22.3^2}} \right) = 4.17 \text{ cm}^2$$

چون در اثر جوشکاری میلگردهای عرضی به میلگردهای طولی، از سطح مقطع میلگردهای طولی کاسته می‌شود، لذا در جهت اطمینان، مقدار ۱۰ درصد به سطح مقطع آرماتور بدست آمده، می‌افزاییم.

$$A_s = 4.17 \times 1.1 = 4.59 \text{ cm}^2$$

مقدار سطح مقطع آرماتور بدست آمده را با مقادیر حداقل و حداکثر مجاز کنترل می‌نماییم.

$$f_c < 300 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \beta_1 = 0.85$$

$$\rho_{\max} = \rho_b = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \times \frac{6000}{6000 + f_y} = 0.6 \times 0.85 \times \frac{200}{3000} \times \frac{6000}{6000 + 3000} = 0.0227$$

$$A_{s_{\max}} = \rho_{\max} b d = 0.0227 \times 50 \times 22.3 = 25.27 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\min} = \text{Max} \left(\frac{14}{f_y}, 0.79 \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} \right) = \text{Max} \left(\frac{14}{3000}, 0.79 \times \frac{\sqrt{200}}{3000} \right)$$

$$= \text{Max}(4.67 \times 10^{-3}, 3.72 \times 10^{-3}) = 4.67 \times 10^{-3}$$

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} b_w d = 4.67 \times 10^{-3} \times 10 \times 22.3 = 1.04 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{\min}} < A_s < A_{s_{\max}} \quad \text{OK}$$

پس مساحت آرماتور بدست آمده قابل قبول است.

این مقدار آرماتور را به صورت دو میلگرد سراسری $\phi 16$ و یک میلگرد تقویتی $\phi 10$ بکار می‌بریم.

$$\text{USE : } 2\phi 16 + \phi 10 \quad A_s = 2 \times 2.01 + 0.79 = 4.81 \text{ cm}^2 > 4.59 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

در صورت استفاده از جداول پیوست ۲، جدول متناظر با مشخصات داده شده (براساس راهنمای جداول پیوست ۲) جدول شماره ۸ می‌باشد. در جهت اطمینان، ستون مربوط به وزن سقف برابر 1100 kg/cm^2 را انتخاب کرده و در این ستون، اولین عدد برای دهانه‌ی بزرگتر از $5/8$ متر را پیدا می‌کنیم که برابر $5/82$ متری می‌باشد. از سطر نظیر این دهانه، مقدار سطح مقطع و آرایش میلگردها بدست می‌آید که با میلگردهای انتخاب شده مطابقت دارد.

از آنجایی که خانه مربوط به دهانه $5/82$ متر در این جدول، دارای نمادهای A، B یا C نمی‌باشد، پس این تیرچه حداقل ضخامت لازم را با توجه به محدودیت افتادگی (خیز) دارد و لذا دارای افتادگی (خیز) مجاز و قابل قبول خواهد بود. محاسبات انجام شده در قسمت ب نیز مؤید این مطلب است.

هـ - محاسبه‌ی طول آرماتور تقویتی

مطابق مطالب پیوست ۳، محل قطع میلگرد تقویتی $\phi 10$ را می‌توان به روش زیر بدست آورد:

ابتدا لنگر مقاوم نهایی تیرچه با آرماتورهای سراسری را محاسبه کرده و M_1 می‌نامیم. سطح مقطع میلگردهای سراسری ($2\phi 16$) برابر 4.02 سانتی‌متر مربع است.

$$M_1 = A_s \phi_s f_y \left(d - 0.5 \frac{A_s}{b} \times \frac{\phi_s f_y}{0.85 \phi_c f_c} \right) = 4.02 \times 0.85 \times 3000 \times \left(22.3 - 0.5 \times \frac{4.02}{50} \times \frac{0.85 \times 3000}{0.85 \times 0.6 \times 200} \right) \\ = 218295 \text{ kg.cm}$$

$$L_t = L_e \sqrt{1 - \frac{M_1}{M_{\text{Max}}}} = 5.8 \times \sqrt{1 - \frac{218295}{226000}} = 1.07 \text{ m} = 107 \text{ cm}$$
 طول تئوریک

$$L_r = L_t + 2 \text{Max}(d, 12d_b) = 107 + 2 \text{Max}(22.3, 12 \times 1.0) = 107 + 2 \times 22.3 = 151.6 \text{ cm}$$
 طول عملی

محل قطع عملی باید کنترل گردد تا به اندازه‌ی طول گیرداری L_d از نقطه‌ی بحرانی (وسط دهانه) فاصله داشته باشد.

$$L_r \geq 2L_d$$

$$L_d = \frac{d_b \cdot f_y}{4.93 \sqrt{f_c}} \geq 30 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$L_d = \frac{1.0 \times 3000}{4.93 \sqrt{200}} = 43 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \Rightarrow 2L_d = 86 \text{ cm}$$

$$L_r = 151.6 \geq 2L_d \quad \text{OK}$$

با توجه به مقدار بدست آمده برای طول عملی L_r و در جهت اطمینان، میلگرد $\phi 10$ به طول ۲ متر در وسط دهانه به عنوان آرماتور تقویتی انتخاب می‌شود.

و - آرماتور بالایی تیرچه

با توجه به مطالب فصل دوم، از آنجایی که طول دهانه‌ی مؤثر برابر $5/8$ متر می‌باشد، لذا میلگرد بالایی $\phi 12$ انتخاب می‌شود.

ز - آرماتور حرارت و جمع‌شدگی دال بالای تیرچه‌ها

با توجه به مطالب فصل دوم، نسبت سطح مقطع کل آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی به کل سطح مقطع بتن برای میلگردهای آجدار S220 و S300 نباید کمتر از 0.002 باشد.

با توجه به ضخامت ۵ سانتی‌متری دال بتنی، سطح مقطع لازم آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی در هر یک متر برابر است با:

$$A_s = 0.002 \times 100 \times 5 = 1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

فواصل بین آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی در جهت عمود بر تیرچه‌ها، با توجه به محدودیت ذکر شده در فصل دوم، برابر ۲۵ سانتی‌متر انتخاب می‌شود. لذا سطح مقطع هر میلگرد برابر است با:

$$A_s = 1 \times 0.25 = 0.25 \text{ cm}^2$$

سطح مقطع میلگرد $\phi 6$ برابر 0.28 سانتی‌مترمربع است، لذا آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی در جهت عمود بر تیرچه‌ها، $\phi 6$ به فواصل ۲۵ سانتی‌متر از هم و از نوع S220 انتخاب می‌شود.

در جهت عمود بر تیرچه‌ها USE : $\phi 6 @ 25 \text{ cm}$ (S220)

در جهت موازی تیرچه‌ها، میلگرد بالایی تیرچه ($\phi 12$) می‌تواند به عنوان آرماتور حرارت و جمع‌شدگی در نظر گرفته شود.

$$\phi 12 @ 50 \text{ cm} \Rightarrow A_s = 2 \times 1.13 = 2.26 \text{ cm}^2/\text{m} > 1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ولی با توجه به محدودیت حداکثر فاصله‌ی بین آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی به ۲۵ سانتی‌متر، علاوه بر آرماتور بالایی تیرچه‌ها، از میلگرد $\phi 6$ به فواصل ۵۰ سانتی‌متر از هم و از نوع S220 نیز در جهت موازی تیرچه‌ها استفاده می‌شود.

در جهت موازی تیرچه‌ها USE : $\phi 6 @ 50 \text{ cm}$ (S220)

ح - کلاف میانی

بار زنده سقف برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و کمتر از ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. همچنین طول دهانه نیز برابر ۵/۸ متر و بیشتر از ۴ متر است. لذا طبق مطالب فصل دوم، بایستی یک کلاف میانی در سقف تعبیه گردد. حداقل سطح مقطع آرماتورهای طولی آن نیز برابر نصف سطح مقطع آرماتورهای پایینی تیرچه‌ها می‌باشد.

$$A_s = \frac{4.81}{2} = 2.41 \text{ cm}^2$$

دو میلگرد $\phi 14$ (یکی بالا و یکی پایین) برای کلاف میانی انتخاب می‌شود.

$$\text{USE : } 2\phi 14 \quad A_s = 2 \times 1.54 = 3.08 \text{ cm}^2 > 2.41 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

ط - آرماتور منفی

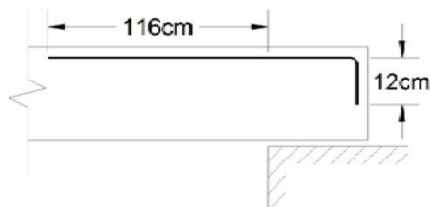
با توجه به مطالب فصل دوم، حداقل سطح مقطع آرماتور منفی برابر ۰/۱۵ سطح مقطع آرماتور وسط دهانه (آرماتورهای کششی) می‌باشد که در روی تکیه‌گاه اضافه شده و حداقل تا فاصله $\frac{1}{5}$ دهانه، از تکیه‌گاه به طرف داخل دهانه ادامه می‌یابد.

$$A_s = 0.15 \times 4.81 = 0.72 \text{ cm}^2$$

$$L = \frac{1}{5} \times 5.80 = 1.16 \text{ cm}^2$$

لذا برای آرماتور منفی، یک میلگرد $\phi 10$ که به اندازه‌ی حداقل ۱/۱۶ متر از هر تکیه‌گاه به داخل دهانه ادامه می‌یابد، انتخاب می‌کنیم. این میلگرد در انتهای دیگر خود وارد تکیه‌گاه تیرچه شده و دارای قلابی بصورت خم ۹۰ درجه (گونیا) خواهد بود. طول قلاب استاندارد برابر است با:

$$12d_b = 12 \times 1 = 12 \text{ cm}$$



شکل پ ۴-۲- میلگرد منفی مثال اول

ی - کنترل برش و طراحی آرماتورهای برشی

مطابق مطالب پیوست سوم، مقطع بحرانی برای کنترل برش، به فاصله‌ی d از بر تکیه‌گاه می‌باشد. مقدار نیروی برشی در این مقطع بحرانی به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$V_u = \frac{P_u L_c}{2} - P_u d = \frac{537.5 \times 5.80}{2} - 537.5 \times 0.223 = 1439 \text{ kg}$$

$$V_c = 1.10 \times 0.63 \times \phi_c \sqrt{f_c} b_w d = 1.10 \times 0.63 \times 0.6 \times \sqrt{200} \times 10 \times 22.3 = 1311 \text{ kg} < V_u$$

ملاحظه می‌گردد که مقاومت برشی تأمین شده توسط بتن کافی نبوده و لازم است تا از مقاومت برشی تأمین شده توسط آرماتورهای عرضی نیز استفاده شود.

$$V_s = V_u - V_c = 1439 - 1311 = 128 \text{ kg}$$

با توجه به محدودیت حداکثر فاصله‌ی میلگردهای عرضی به ۲۰ سانتی‌متر که در فصل دوم ذکر شده است، مقدار ۱۷/۵ سانتی‌متر برای این فواصل انتخاب می‌شود. در این صورت زاویه‌ی این میلگردها با افق در حدود ۶۶ درجه خواهد بود.

$$A_v = \frac{V_s s}{\phi_s f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) d} = \frac{128 \times 17.5}{0.85 \times 2200 (\sin 66^\circ + \cos 66^\circ) \times 22.3} = 0.04 \text{ cm}^2$$

توصیه می‌گردد سطح مقطع آرماتورهای عرضی از مقدار حداقل زیر کمتر اختیار نشود.

$$A_{v_{\min}} = 3.5 \frac{b_w s}{f_y} = 3.5 \times \frac{10 \times 17.5}{2200} = 0.28 \text{ cm}^2 > A_v$$

لذا میلگرد زیگراگ منفرد $\phi 6$ با سطح مقطع ۰/۲۸ سانتی‌متر مربع به فواصل ۱۷/۵ سانتی‌متر از هم و از نوع S220 به عنوان آرماتورهای عرضی انتخاب می‌شود.

$$\text{USE : } \phi 6 @ 17.5 \text{ cm (S220)}$$

در جدول شماره ۸ و در خانه‌ی مربوط به دهانه ۵/۸۲ متر، نماد V در کنار عدد ۵/۸۲ دیده می‌شود. نماد V نشانگر این است که بتن تیرچه به تنهایی قادر به تحمل نیروی برشی نبوده و بایستی آرماتورهای برشی طراحی شوند که محاسبات انجام شده نیز مؤید این مطلب می‌باشد.