سقف‌های تیرچه بلوک

۳-۱- مقدمه

مقاومت بتن در برابر نیروهای فشاری بسیار خوب و در برابر نیروهای کششی بسیار ناچیز است، بنابراین در بتن‌های مسلح کشش غالباً توسط فولاد تحمل می‌شود. با توجه به این موضوع و در جهت صرفه‌جویی در مصرف مصالح سعی می‌شود که بتنی کششی حذف شده و تنها مقداری که برای نگهداری آرماتورها لازم است باقی بماند. این امر منجر به ایجاد دال‌های مجوف، دال با پشت‌بند و ... شده است.

یکی از مشکلات دال‌ها قالب‌بندی است که کار مشکل و وقت‌گیری است. همچنین در صورت استفاده از دال با پشت‌بند، لازم است از سقف کاذب استفاده شود.

فن تیرچه بلوک تلفیق دو روش پیش‌ساختگی و بتن ریزی در محل است که در آن قالب تحتانی کلا حذف شده و به شمع‌بندی کفایت می‌کند. همچنین به علت استفاده از بلوک در بین تیرچه‌ها در این نوع سقف نیازی به سقف کاذب وجود ندارد. مزایای دیگر سقف تیرچه بلوک را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود.

- به علت استفاده از بلوک‌های توخالی و حذف بتن منطقه کششی در مصرف بتن صرفه‌جویی می‌شود.
- قالب‌بندی زیر سقف به شمع‌بندی و نصب چهارتراش در فاصله‌های معین جهت تامین تکیه‌گاه‌های موقت تیرچه‌ها محدود می‌شود.
- مقاومت سقف اجرا شده با تیرچه بلوک در برابر نیروهای افقی زلزله بسیار خوب است.
- به علت توخالی بودن بلوک‌ها سقف‌ها عایق حرارت است.
- به علت سطح یکنواخت بالای سقف برای فرش موزاییک به ملات کمتری نیاز است.

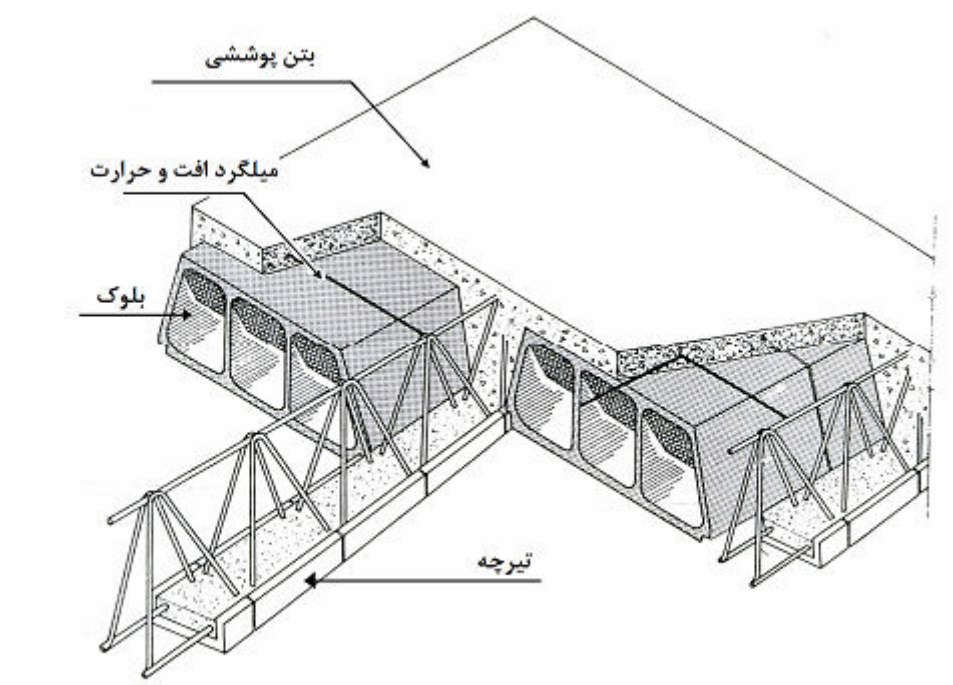
سقف تیرچه بلوک در مواردی که بار یکنواخت روی سقف عمل می‌نماید بسیار مناسب است ولی در صورتی‌که بار منفرد سنگین یا متحرک و مرتعش وجود دارد (مانند کف حیاط ماشین رو و کف پارکینگ با بار چرخ بیش از ۷۵۰ کیلوگرم) سقف تیرچه بلوک توصیه نمی‌شود.

۳-۲- اجزای تشکیل دهنده سقف تیرچه بلوک

یک سقف تیرچه بلوک دارای اجزای اصلی به شرح زیر است:

۱- تیرچه	۲- بلوک	۳- میلگرد حرارتی، افت و میلگرد منفی	۴- بتن در جای دال

این اجزاء در شکل زیر نمایش داده شده‌اند.



شکل (۳-۱) اجزای مختلف سقف تیرچه‌بلوک

شکل (۳-۱) اجزای مختلف سقف تیرچه‌بلوک

۳-۳- محدودیت‌ها و ویژگی‌های فنی سقف تیرچه‌بلوک

این نوع سقف دارای محدودیت‌های اجرائی به شرح زیر است:

۱- فاصله محور تا محور تیرچه‌ها نباید از ۷۰ سانتیمتر بیشتر باشد.

۲- ضخامت بتن پوششی قسمت بالای تیر (بتن روی بلوک)، نباید از ۵ سانتی متر یا $\frac{1}{12}$ فاصله محور به محور تیرچه‌ها کمتر باشد.

۳- عرض تیرچه‌ها نباید از ۱۰ سانتی متر کوچکتر باشد و همچنین نباید از $\frac{1}{3/5}$ برابر ضخامت کل سقف کمتر باشد.

۴- حداقل فاصله دو بلوک دو طرف یک تیرچه پس از نصب نباید کمتر از ۶/۵ سانتی متر باشد.

۵- حداکثر دهانه مورد پوشش سقف (در جهت تیرچه پیش ساخته خرپایی) با تیرچه‌های منفرد، نباید از ۸ متر بیشتر شود. توصیه می‌شود برای اطمینان بیشتر دهانه مورد پوشش، بیشتر از ۷ متر نباشد و در صورت وجود سربارهای زیاد و یا دهانه بیش از ۷ متر از تیرچه‌های مضاعف استفاده شود.

۶- ضخامت سقف برای تیرهای با تکیه‌گاه ساده نباید از $\frac{1}{20}$ دهانه کمتر باشد. در تیرهای یکسره نسبت ضخامت به دهانه به $\frac{1}{26}$ کاهش می‌یابد.

اگر برای انتخاب ضخامت سقف از جدول زیر استفاده شود محاسبه خیز ضرورتی ندارد.

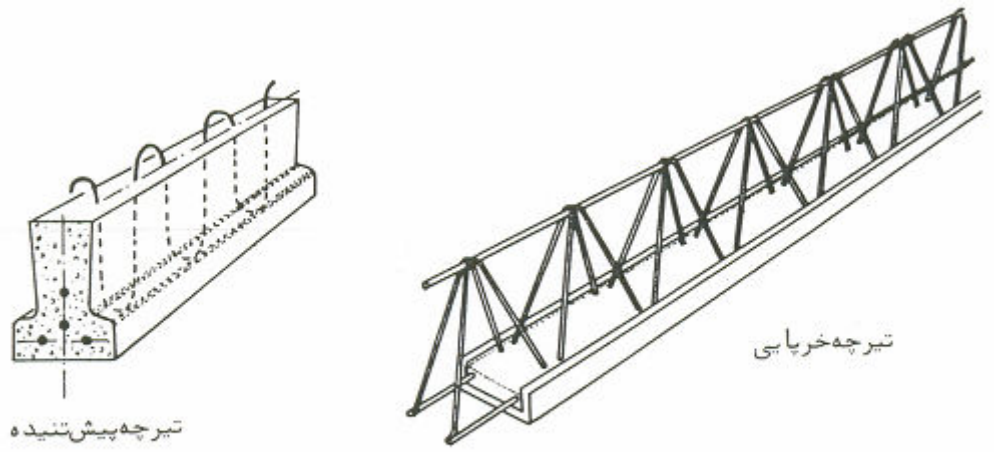
جدول (۳-۱) تعیین ضخامت سقف تیرچه‌بلوک

شرایط انتهای دال / $f_y\left(Kg/cm^2\right)$	2400	3000	4000
دو انتها ساده	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{20}$
یک انتها پیوسته	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{24}$
دو انتها پیوسته	$\frac{1}{37.5}$	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{28}$
کنسول	$\frac{1}{13.5}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{10}$

۳-۳- محدودیت‌ها و ویژگی‌های فنی اجزای سقف تیرچه‌بلوک

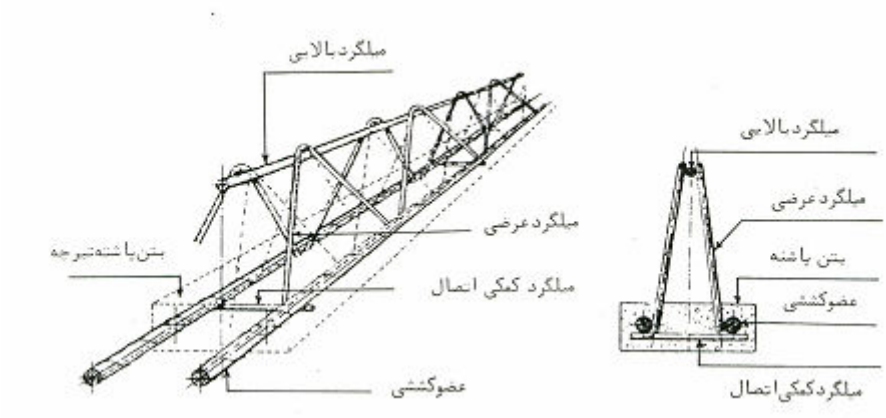
۳-۳-۱- تیرچه‌ها

تیرچه‌ها در عمل به دو صورت خرپایی و پیش‌تنیده ساخته می‌شوند. تیرچه‌های خرپایی در محل ساخته می‌شوند و تیرچه‌های پیش‌تنیده در کارخانه و با پس‌کشیدگی آرماتورها و یا سیم‌های فولادی ایجاد می‌شوند. تیرچه‌های پیش‌تنیده روش طراحی خاص خود را دارند که در این فصل به آن پرداخته نشده است.
شکل زیر دو نوع تیرچه پیش‌تنیده و خرپایی را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲) انواع مختلف تیرچه خرپایی و پیش‌تنیده

تیرچه پیش‌ساخته خرپایی دارای اجزای زیر می‌باشد.:



شکل (۳-۲) اجزای مختلف تیرچه

۳-۳-۱-۱- عضو کششی

این عضو قبل از بتن‌ریزی باید بتواند بارهای حاصل از حمل و نقل، وزن بلوک‌ها و وزن مرده سقف را در فاصله بین شمع‌ها تحمل کند و پس از گیرش بتن به عنوان عضو کششی تیر عمل می‌کند.

حداقل تعداد میلگردهای کششی دو عدد بوده و سطح مقطع میلگردهای کششی از راه محاسبه تعیین می‌شود. سطح مقطع میلگردهای کششی در فولادهای AII برابر ۰/۰۰۲۵ و برای سایر فولادها برابر ۰/۰۰۱۵ برابر سطح مقطع جان تیر است.

توصیه می‌شود که قطر میلگرد از ۸ کمتر نبوده و از ۱۶ بیشتر نشود. اگر ضخامت بتن‌پاشنه از ۵/۵ سانتیمتر بیشتر باشد می‌توان از آرماتور تا حداکثر قطر ۲۰ استفاده نمود.

سطح مقطع میلگرد کششی از جدول زیر تعیین می‌شود که این سطح بهتر است از ۰/۰۲۵ سطح مقطع جان تیر بیشتر نشود.

جدول(۳-۲) تعیین حداکثر درصد آرماتور

4200	3600	2200	$f_y\left(Kg/cm^2\right)$ / $f_C\left(Kg/cm^2\right)$
%2.1	%2.98	%3.4	250
%2.6	%3.7	%4.2	300
%3	%4.24	%4.85	350

در صورت استفاده از میلگرد کششی بیش از دو عدد، دو میلگرد در سراسر طول تیر ادامه می‌یابد ولی طول مورد نیاز بقیه میلگردها را می‌توان با استفاده از دیاگرام خمش قطع نمود.

ضخامت پوشش بتنی روی میلگردهای کششی از سطح پایین تیرچه نباید از ۱۰ میلیمتر و از لبه پایینی تیرچه از ۱۵ میلیمتر کمتر باشد. در فضاهای باز باید یک لایه اندود ماسه سیمان به قطر ۱۵ میلیمتر در زیر پوشش اجرا شود و در مکان‌های با اقلیم خورنده باید از حداقل ۳۰ میلیمتر پوشش استفاده شود.

۳-۳-۱-۲- میلگردهای عرضی

از این میلگردها در جهت تأمین موارد زیر استفاده می شود:

۱- تأمین اینرسی لازم جهت مقاومت تیرچه در هنگام حمل و نقل.

۲- تأمین مقاومت لازم جهت تحمل بار بلوک و بتن پوشش در بین تکیه‌گاه‌های موقتی، پیش از به مقاومت رسیدن بتن.

۳- تأمین پیوستگی لازم بین تیرچه و بتن پوشش (درجا).

۴- تأمین مقاومت برشی مورد نیاز.

سطح مقطع میلگردهای عرضی نباید از 0.0015 مقطع تیر کمتر اختیار شود. قطر میلگردهای عرضی مضاعف ۵ میلی متر تا ۱۰ میلی متر تغییر می‌کند، در هر حال حداقل قطر برای خرپایی با میلگردهای عرضی مضاعف ۵ میلیمتر و برای خرپایی با میلگرد عرضی منفرد ۶ میلیمتر است. در مورد خرپاهای ماشینی، میلگردهای عرضی به طور مضاعف و از نوع نیم سخت می‌باشند. قطر میلگردهای عرضی این نوع خرپاها بین ۴ الی ۶ میلی‌متر تغییر می‌کند.

حداقل زاویه میلگرد عرضی نسبت به خط افق ۳۰ درجه است و معمولاً از ۴۵ درجه کمتر نمی‌باشد. فاصله میلگردهای عرضی متوالی در تیرچه ها حداکثر ۲۰ سانتیمتر است. توصیه می‌شود برای صرفه جوئی در مصرف فولاد، از فولاد نوع نیم سخت و سخت (AII, AIII) استفاده شود.

۳-۳-۱-۳- میلگرد بالایی

این میلگرد جهت تحمل نیروی فشاری خرپا در مرحله اول باربری (قبل از گرفتن بتن) استفاده می شود. پس از بتن‌ریزی این آرماتور اگر درون دال قرار گیرد به عنوان آرماتور افت و حرارت دال استفاده می‌شود و در غیر این‌صورت اثری ندارد.

قطر این میلگرد از ۶ تا ۱۲ میلیمتر انتخاب می‌شود. در تیرچه‌های غیرماشینی جدول زیر به عنوان راهنما توصیه می‌شود.

حدود دهانه	قطر میلگرد
تا دهانه سه متر	۶ میلی متر
دهانه ۳ تا ۴ متر	۸ میلی متر
دهانه ۴تا ۵/۵ متر	۱۰ میلی متر
دهانه ۵/۵ تا ۷ متر	۱۲ میلی متر

۳-۳-۱-۴- میلگرد کمکی اتصال

این میلگرد به منظور مهارکردن میلگردهای کششی و امکان استقرار بیش از دو میلگرد کششی در پاشنه تیرچه به کار برده می‌شود.

قطر میلگردهای کمکی ۶ میلیمتر و فاصله آنها بین ۴۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر است.

۳-۳-۱-۵- بتن پاشنه

برای تامین تکیه‌گاه بلوک‌ها و نیز برای پرهیز از قالب‌بندی قسمت زیرین تیرچه بتن پاشنه در کارخانه ریخته می‌شود. اجرای بتن پاشنه در کارخانه به علت شرایط بهتر اجرا و رعایت پوشش مناسب برای آرماتور کششی مزیت دیگر این عمل است.

حداقل عرض بتن پاشنه ۱۰ سانتیمتر و $\frac{1}{3.5}$ ضخامت سقف است. معمولاً عرض بتن پاشنه بین ۱۰ تا ۱۶ سانتیمتر است.

ضخامت بتن پاشنه باید به نحوی انتخاب شود که پوشش بتنی مناسب فراهم شده و پس از قرار گرفتن بلوک‌ها سطح زیرین همسطح ایجاد نماید. معمولا این ضخامت بین ۴/۵ تا ۵/۵ سانتیمتر است.

۳-۳-۲- بلوک‌ها

برای پر کردن فضای خالی بین تیرچه‌ها از بلوک‌ها استفاده می‌شود. این بلوک‌ها توخالی بوده و جنس آنها از نوع بتن، سفال و حتی پلاستیک و یونولیت می‌تواند باشد. سطح زیرین بلوک‌ها به منظور انجام نازک‌کاری مناسب صاف بوده و بلوک باید بتواند وزن سربارهای عادی (مانند عبور افراد) را تحمل نماید. البته بلوک‌ها در محاسبات مقاومت سقف به حساب نمی‌آیند.

در انتخاب بلوک‌ها به موارد زیر توجه گردد:

- جنس بلوک‌ها برروی بتن اثر شیمیایی مخرب نداشته باشد.
- ارتفاع بلوک‌ها تابعی از ارتفاع کل سقف است.
- عرض بلوک بین ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتر است.
- وزن بلوک‌های سفالی هر عدد ۷ کیلوگرم و وزن بلوک‌های بتنی بین ۱۱ تا ۱۷ کیلوگرم می‌باشد. در انتخاب وزن باید به کاتالوگ‌های کارخانه سازنده توجه شود.
- ضخامت جدارهای عمودی و افقی بلوک بتنی از ۱۵ میلیمتر کمتر نباشد.
- حداقل محل نشیمنگاه بلوک ۱۷/۵ میلیمتر است.
- بلوک‌های سفالی عاری از ترک و دانه‌های آهکی بوده و رنگ آنها کاملاً یکنواخت باشد. سطح بلوک کاملا صاف و عاری از خمیدگی باشد و سطح خارجی بلوک جهت نازک‌کاری شیاردار می‌باشد.
- ضخامت جدارهای عمودی و افقی بلوک سفالی از ۸ میلیمتر کمتر نباشد. جذب آب بلوک بیشتر از ۲۰ درصد نباشد.

۳-۳-۳- میلگردهای افت و حرارت

قطر میلگرد افت و حرارتی برای میلگرد ساده دست کم ۵ میلیمتر و برای میلگرد با مقاومت بالا ۴ میلیمتر و حداقل سطح مقطع این میلگرد ۱/۲۵ در هزار سطح مقدار دال بالایی (معمولاً به ضخامت ۵ میلی متر) در امتداد تیرچه و ۱/۷۵ در هزار سطح مقطع دال بالایی در جهت عمود بر امتداد تیرچه می باشد. حداکثر فاصله بین دو میلگرد افت و حرارتی ۲۵ سانتی متر است. میلگرد بالایی تیرچه در صورتی که داخل دال ۵ سانتیمتر بالایی قرار گیرد به عنوان میلگرد افت و حرارتی منظور می‌شود.

با وجود طرح تیرچه‌ها و با وجود تکیه‌گاه‌های ساده، لازم است فولادی معادل ۰/۱۵ سطح مقطع فولاد وسط دهانه در روی تکیه‌گاه اضافه گردد. این میلگردها حداقل تا فاصله $\frac{1}{5}$ دهانه آزاد از تکیه‌گاه به داخل ادامه یابند.

۳-۳-۴- بتن پوششی

بتن پوششی از جنس بتن مسلح با معیارهای فنی مناسب بوده و ضخامت آن (بتن روی بلوک)، نباید از ۵ سانتیمتر یا $\frac{1}{12}$ فاصله محور به محور تیرچه‌ها کمتر باشد.

۳-۴- جزئیات اجرایی سقف‌های تیرچه بلوک

۳-۴-۱- قالب‌بندی

پس از چیدن تیرچه‌ها و بلوک‌های انتهایی شمع‌بندی انجام می‌شود. فاصله شمع‌ها بین ۱ تا ۱/۲ متر می‌باشد و در موقع شمع‌بندی خیز مناسبی برابر $\frac{1}{200}$ دهانه به سمت بالا در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴-۲- کلاف میانی (Tie Beam)

برای تقویت دیافراگم افقی ساختمان در امتداد عمود بر تیرچه‌ها و جلوگیری از پیچش تیرهای T و برای توزیع یکنواخت بار روی سقف تیرچه بلوک و همچنین در محل‌هایی که بار منفرد (متمرکز) موجود باشد، کلاف میانی بتنی که جهت آن عمود بر جهت تیرچه هاست، در سقف تعبیه می‌شود. حداقل عرض کلاف میانی برابر عرض بتن پاشنه تیرچه و ارتفاع آن برابر ارتفاع سقف خواهد بود.

در صورتی که بار زنده سقف بیشتر از ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و طول دهانه بیشتر از ۴ متر باشد، مطابق شکل زیر یک کلاف میانی و در دهانه‌های ۴ تا ۷ متر دو کلاف و برای دهانه بزرگتر از ۷ متر ۳ کلاف در سقف تعبیه می‌شود. برای دهانه کمتر از ۴ متر و بار زنده سقف کمتر از ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مربع، به کلاف میانی نیازی نیست. حداقل سطح مقطع میلگردهای طولی کلاف باید نصف مقادیر میلگرد کششی تیرچه‌ها باشد. میلگردهای کلاف میانی در بالا و پایین تیر تعبیه می‌شوند و حداقل قطر میلگرد در میلگرد آجدار ۶ و در ساده ۸ میلیمتر است.

۳-۴-۳- جزئیات اجرای تیغه روی سقف تیرچه‌بلوک

چنانچه تیغه مستقیما روی تیرچه قرار گیرد، توصیه می‌شود در زیر آن تیرچه به صورت مضاعف به کار رود و اگر جهت تیغه بر تیرچه‌ها عمود باشد این امر لزومی ندارد.

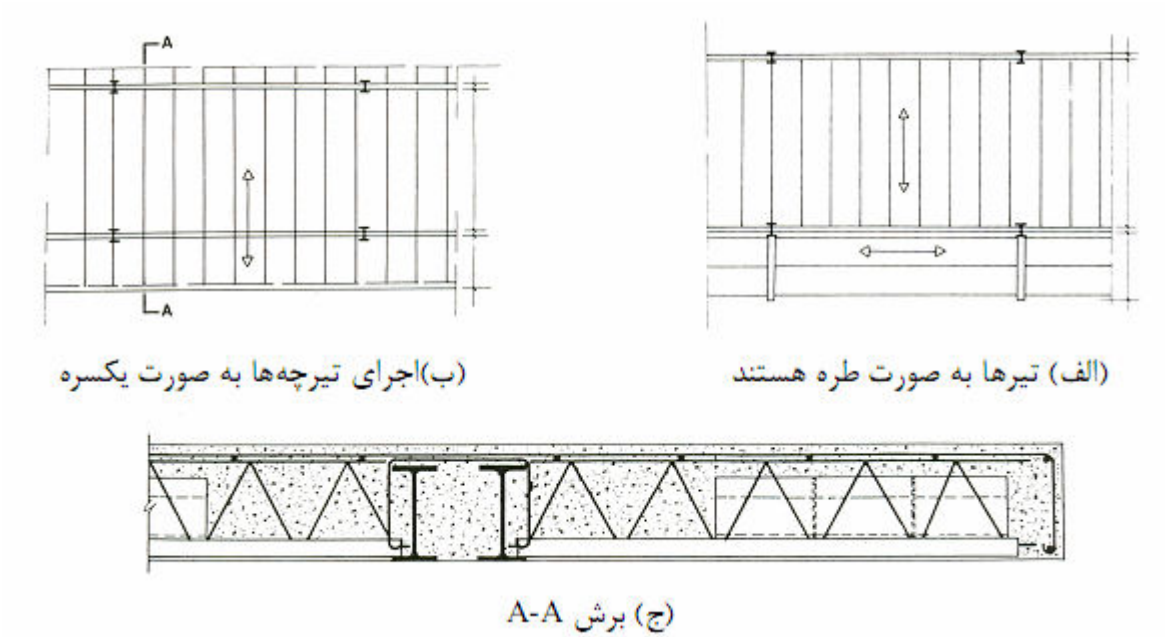
۳-۴-۴- سقف‌های طره‌ای

سقف های طره ای به دو صورت اجرا می شوند.

حالت اول: تنها تیرهای اصلی به صورت طره است و دو انتهای تیرچه ها بر این تیرهای طره‌ای قرار دارند. این حالت با حالت معمولی فرقی ندارد(شکل ۳-۴-الف).

حالت دوم: تیرچه ها به صورت یکسره هستند و آن قسمت که در خارج تکیه گاه واقع است به شکل طره عمل می‌کند (شکل ۳-۴-ب). در این حالت، اولاً لازم است که مطابق شکل (۳-۴-ج) کلاف لبه در انتهای سقف طره‌ای اجرا شود، ثانیاً بر خلاف سقف معمولی، در اینجا لنگر وارده منفی بوده و در نتیجه ناحیه کششی مقطع تیر T در بال و ناحیه فشاری در جان تیر قرار خواهد داشت. بنابراین باید آرماتورهای کششی در بال قرار داده شده و کنترل گردد که تنش فشاری بتن جان تیر بیشتر از تنش مجاز آن نباشد. چنانچه این تنش بیشتر از مقدار مجاز باشد، می توان مانند شکل (۳-۴-ج) بر حسب مورد، یک یا چند بلوک مجاور تکیه گاه را حذف کرد و پس از قالب بندی لازم بتن‌ریزی نمود.

طول مهارهای میلگرد طره به نوع میلگرد و نوع بتن و سطح تماس آنها بستگی دارد و توصیه می‌شود برای میلگرد با قطر کمتر از ۱۸ میلیمتر، دست کم ۱/۵ متر باشد. لازم است یادآوری شود طول مهاری از نقطه‌ای که از نظر محاسباتی انتهای میلگرد باشد، به حساب می آید.



(الف) تیرها به صورت طره هستند

(ب)اجرای تیرچه‌ها به صورت یکسره

(ج) برش A-A

شکل (۳-۴) روش‌های اجرای تیرهای کنسول

۳-۵- تحلیل و طراحی سقف تیرچه بلوک

جهت تحلیل و طراحی سقف‌های تیرچه بلوک مراحل زیر را انجام دهید:

۳-۵-۱- تعیین بار طراحی

جهت تعیین مقدار بار طراحی مقدار بار مرده و زنده هر طبقه را از ترکیب بار $1.25D.L+1.5L.L$ محاسبه نمایید. حال این مقدار را باید در فاصله دو تیرچه ضرب نمود تا بار گسترده وارد بر طول تیر به دست آید.

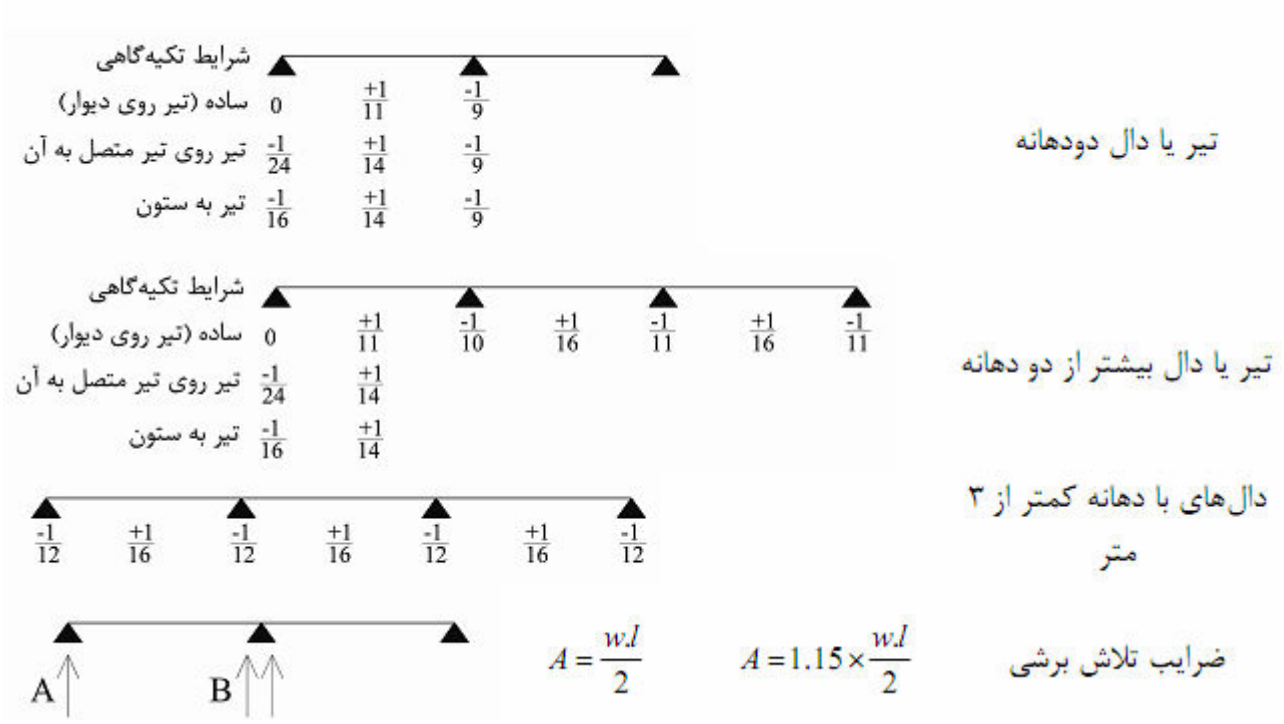
۳-۵-۲- تعیین لنگر طراحی

در تیرهای یک دهانه و دو سرمفصل مقدار لنگر حداکثر در وسط دهانه بوده و مقدار آن برابر $\frac{w_u.L^2}{8}$ می‌باشد. طبق نشریه ۹۴ لازم است فولادی معادل ۰/۱۵ سطح مقطع فولاد وسط در روی تکیه‌گاه اضافه شود. این میلگردها باید در فاصله $\frac{1}{5}$ دهانه آزاد در تکیه‌گاه به طرف داخل دهانه ادامه یابند.

در تیرها و دال‌های یک‌طرفه پیوسته به شرط آنکه بار گسترده داشته و اندازه دهانه‌ها در یک حدود باشند و مقدار بار زنده از ۳ برابر بار مرده تجاوز نکند، مقدار لنگر خمشی در وسط دهانه و روی تکیه‌گاه‌ها را می‌توان از رابطه تقریبی زیر به دست آورد.

$$M = K.\omega.l_n^2$$

در این رابطه l_n برای ممان‌های مثبت، طول دهانه خالص تیر یا دال و برای ممان منفی، متوسط طول دهانه‌های طرفین تیر یا دال است، w بار گسترده روی تیرچه وK ضریب ممان است که مقادیر آن از شکل‌های زیر محاسبه می‌شود.



شکل (۳-۵) ضرایب لنگرهای خمشی و نیروی برشی تقریبی در تیرها و دال‌های یک‌طرفه

۳-۵-۳- تعیین آرماتورها برای عضو کششی (در محل لنگرهای مثبت)

جهت تعیین آرماتورهای کششی از رفتار T شکل تیرچه استفاده می‌شود. طراحی تیرچه در این حالت همانند طراحی تیرها T شکل می‌باشد. توجه نمایید که مقدار درصد حداقل آرماتور کششی در تیرچه‌ها برای آرماتورهای AII برابر ۰/۰۰۲۵ و برای آرماتورهای AIII برابر۰/۰۰۱۵ می‌باشد.

۳-۵-۴- تعیین آرماتورها برای عضو فشاری (در محل لنگرهای منفی)

جهت تعیین آرماتورهای فشاری به علت رفتار کششی بال، تیرچه به صورت مستطیلی طرح می‌گردد. طراحی تیرچه در این حالت همانند طراحی تیرهای مستطیلی شکل می‌باشد.

۳-۵-۵- طراحی آرماتورهای برشی

مقدار نیروی برشی در در تیرهای یک دهانه و دو سرمفصل با بار گسترده در تکیه‌گاه بوده و مقدار آن برابر $\frac{w_u.L}{2}$ می‌باشد.

در تیرها و دال‌های یک‌طرفه پیوسته به شرط آنکه بار گسترده داشته و اندازه دهانه‌ها در یک حدود باشند و مقدار بار زنده از ۳ برابر بار مرده تجاوز نکند، مقدار نیروی برشی در تکیه‌گاه‌های به اندازه ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. (شکل ۳-۵)

مقاومت برشی بتن توسط روابط زیر به دست می آید:

$$V_c = \phi_c.0.2\sqrt{f'_c}.b.d$$

در این روابط f'_c مقاومت فشاری مشخصه بتن $\left(N/mm^2\right)$ و V_C مقاومت برشی بتن $\left(N/mm^2\right)$ می‌باشد.

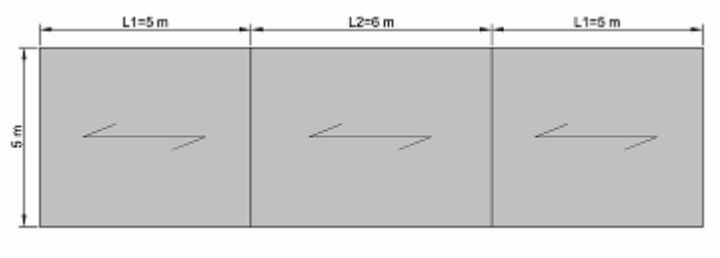
مقاومت برشی کل شامل مقاومت بتن و آرماتور برشی عبارت است از:

$$V_r = 1.1V_c + \frac{d}{s}.\phi_s.\mathrm{A}_v f_y\left(\sin\alpha + \cos\alpha\right)$$

در این رابطه S فاصله آرماتورهای برشی، A_v سطح مقطع آرماتور برشی و α زاویه آرماتور برشی با افق است.

طراحی باید همیشه به گونه‌ای باشد که مقدار برش مقاوم مقطع V_r از مقدار برش موجود V_u بیشتر شود.

مثال ۱: سقف شکل زیر را از نوع تیرچه‌بلوک طراحی کنید:



(الف) مشخصات مصالح و بارها:

$$W_{DL} = 0.006\ N/mm^2$$
$$W_{LL} = 0.002\ N/mm^2$$
$$f'_c = 20\ MPa$$
$$f_y = 400\ MPa$$

(ب) تعیین ضخامت سقف:

با استفاده از جدول ۳-۱ داریم:

دهانه یک طرف پیوسته $t = \frac{L_1}{24} = \frac{5000}{24} = 208mm$

دهانه دو طرف پیوسته $t = \frac{L_2}{28} = \frac{6000}{24} = 213mm$

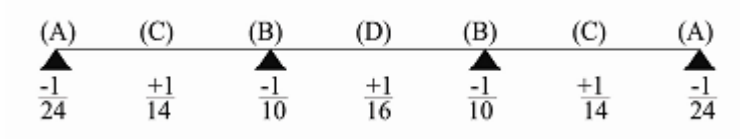
با توجه به اعداد فوق از ضخامت ۲۵۰ میلیمتر برای سقف استفاده می‌شود. با فرض ۲ سانتیمتر پوشش، مقدار ارتفاع موثر *(d)* برابر ۲۳۰ میلیمتر می‌باشد.

(پ) تعیین بار طراحی:

$$W_u = 1.25 \times W_{DL} + 1.50 \times W_{LL} = 0.0105$$

$\overline{W}_u = 0.0105 \times 500 = 5.25\ N/mm$ با فرض فاصله تیرچه‌ها برابر ۵۰ سانتیمتر

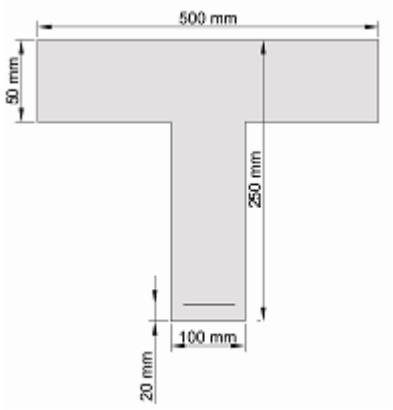
(ت) تعیین لنگر طراحی:



$$M_{uA} = \frac{-1}{24} \times \overline{W}_u \times L_1^{\,2} = -5.47\ KN.m$$
$$M_{uB} = \frac{-1}{10} \times \overline{W}_u \times (\frac{L_1 + L_2}{2})^2 = -15.88\ KN.m$$
$$M_{uC} = \frac{+1}{14} \times \overline{W}_u \times L_1^{\,2} = 9.37\ KN.m$$
$$M_{uD} = \frac{+1}{16} \times \overline{W}_u \times L_2^{\,2} = +11.88\ KN.m$$

(ث) تعیین آرماتورهای کششی

جهت محاسبه آرماتورهای کششی می‌توان از رفتار T شکل تیر استفاده نمود. شکل تیر T مانند شکل زیر می‌باشد:

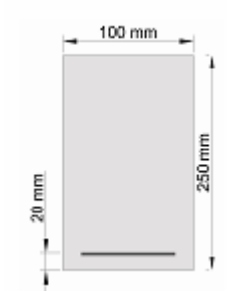


$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f'_c = 0.82$$
$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f'_c = 0.92$$
$$C_b = \frac{700}{700 + f_y} d = 146\,mm$$
$$a_b = \beta_1 C_b = 146 \times 0.92 = 134\,mm$$

آرماتور کششی در نقطه C :	
موقعیت تار خنثی که درون بال فشاری تیر T شکل قرار دارد.	$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\alpha_1 . f'_c . \phi_c . b_E}} = 8.43mm < 50mm$
مقدار آرماتور کششی	$A_s = \frac{M_{uC}}{\phi_s . f_y . (d - \frac{a}{2})} = 127mm^2 \rightarrow 2\phi 10\ (157mm^2)$
کنترل با مقدار حداقل آرماتور	$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{157}{100 \times 230} = 0.0068 > \rho_{\min} = 0.0015$
آرماتور کششی در نقطه D :	
موقعیت تار خنثی که درون بال فشاری تیر T شکل قرار دارد.	$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\alpha_1 . f'_c . \phi_c . b_E}} = 10.68mm < 50mm$
مقدار آرماتور کششی	$A_s = \frac{M_{uD}}{\phi_s . f_y . (d - \frac{a}{2})} = 160mm^2 \rightarrow 2\phi 12\ (226mm^2)$
کنترل با مقدار حداقل آرماتور	$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{226}{100 \times 230} = 0.0098 > \rho_{\min} = 0.0015$

(ج) تعیین آرماتورهای فشاری

جهت محاسبه آرماتورهای فشاری به علت کششی شدن بای تیر T شکل نمی‌توان از رفتار T شکل تیر استفاده نمود و تیر به صورت مستطیلی طرح می‌شود. شکل تیر مستطیلی مانند شکل زیر می‌باشد:



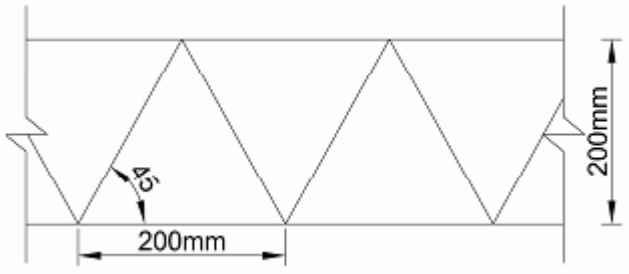
$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f'_c = 0.82$$
$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f'_c = 0.92$$
$$C_b = \frac{700}{700 + f_y} d = 146\,mm$$
$$a_b = \beta_1 C_b = 146 \times 0.92 = 134\,mm$$

آرماتور فشاری در نقطه A :	
موقعیت تار خنثی	$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\alpha_1 . f'_c . \phi_c . b_E}}$ $= 25.6mm < a_b = 134mm$
مقدار آرماتور فشاری	$A_s = \frac{M_{uD}}{\phi_s . f_y . (d - \frac{a}{2})} = 76mm^2 \rightarrow 1\phi 10\ (78mm^2)$
آرماتور فشاری در نقطه B :	
موقعیت تار خنثی	$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\alpha_1 . f'_c . \phi_c . b_E}}$ $= 86.4mm < a_b = 134mm$
مقدار آرماتور فشاری	$A_s = \frac{M_{uD}}{\phi_s . f_y . (d - \frac{a}{2})} = 260mm^2 \rightarrow 2\phi 14\ (300mm^2)$

طول آرماتورهای فشاری یک پنجم دهانه می‌باشد.

(چ) طراحی برای برش:

مقدار برش موجود برابر است با : (مقدار برش به اندازه ۱۵ درصد افزایش داده شده است.)	$V_u = 1.15 \times \frac{\overline{W}_u \times L_2}{2} = 18112\ N$
مقدار برش قابل تحمل توسط بتن:	$V_c = 0.2\phi_c . \sqrt{f'_c} . b.d = 12343\ N$
مقدار برش قابل تحمل توسط آرماتور برشی به شماره ۸ و فاصله ۲۰ سانتیمتر (زاویه ۴۵ درجه)	$V_S = \frac{d}{S} . A_v . \phi_s . f_y . (\sin\alpha + \cos\alpha) = 32526\ N$
مقدار برش مقاوم مقطع:	$V_r = V_c + V_s = 44869 > 18112$



(ح) میلگرد بالایی : برای میلگرد بالایی با توجه به اندازه دهانه از یک آرماتور ۱۲ استفاده می‌شود.

(خ) میلگرد حرارتی: جهت آرماتور حرارتی از آرماتور شماره ۸ در فواصل ۲۵ سانتیمتر استفاده می‌شود:

$\phi 8@250mm \rightarrow As = 50 \times 1000 / 250 = 200mm^2$

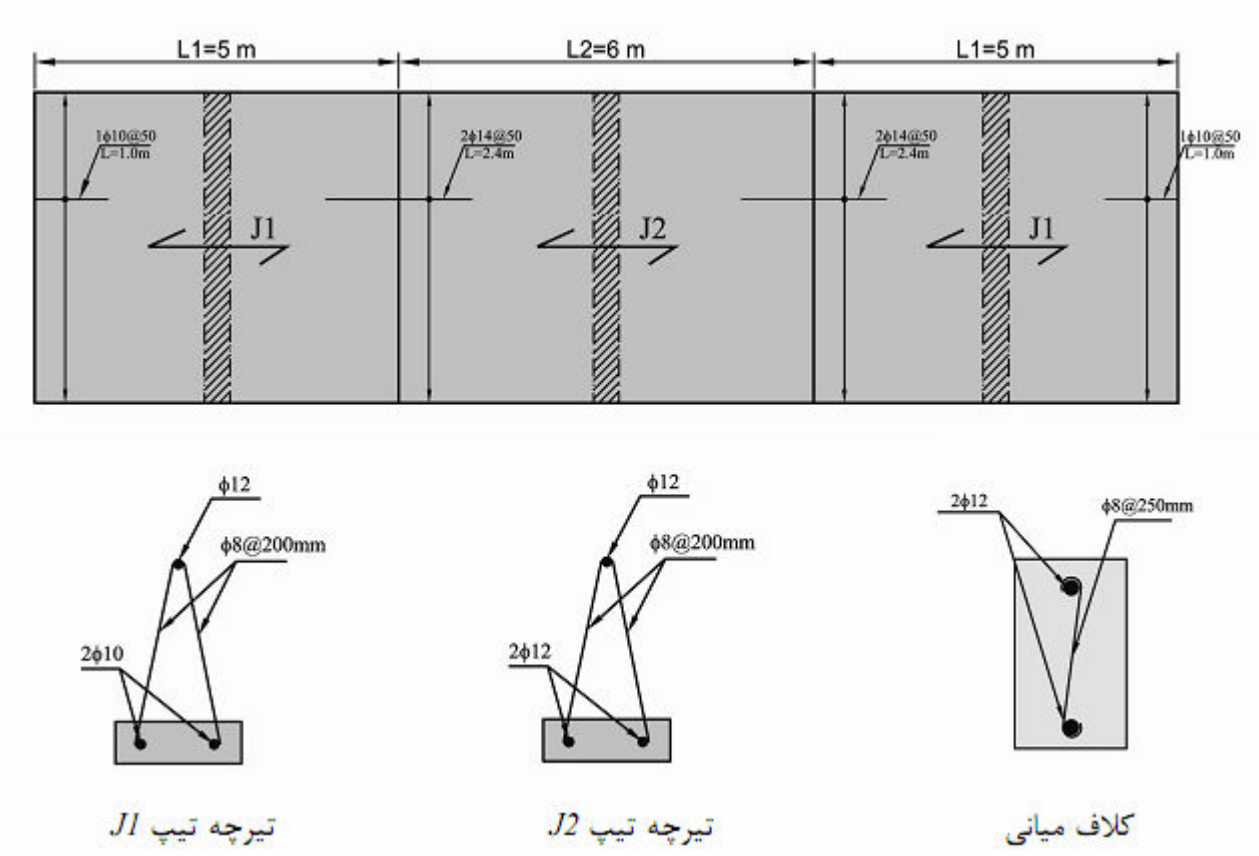
$\rho = \frac{200}{1000 \times 50} = 0.004 > 0.002$

(د) کلاف میانی:

با توجه به اینکه بار زنده سقف از ۳۵۰ کمتر است به کلاف میانی نیازی نیست در عین حال با توجه به وجود دهانه بزرگتر از ۴ متر، در هر دهانه یک کلاف میانی تعبیه می‌شود. آرماتورهای کلاف میانی از شماره ۱۲ انتخاب می‌شود.

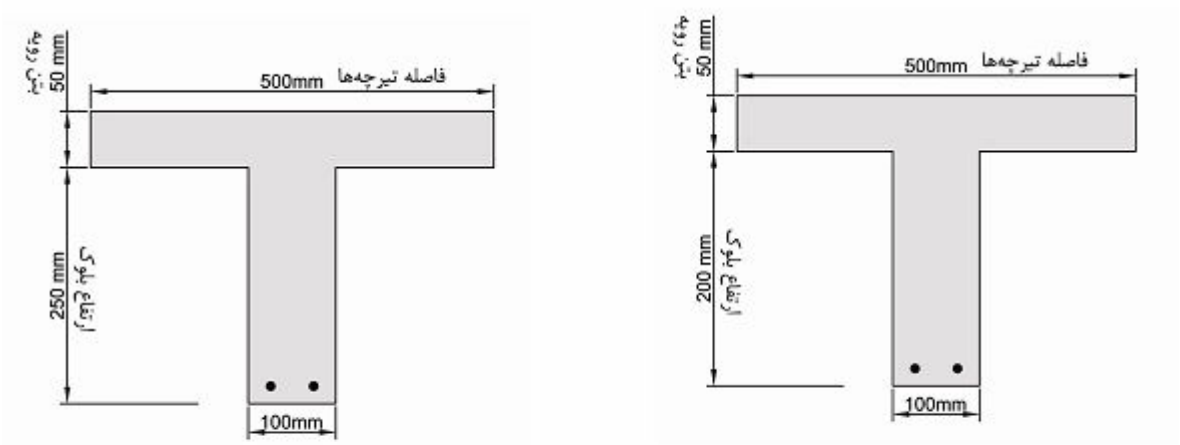
(ذ) رسم دیتایل تیرچه

بر اساس محاسبات انجام شده دیتایل تیرچه برابر است با:



۳-۶- استفاده از جداول آماده

دراین قسمت نمودارهای محاسباتی برای تعیین آرماتور خمشی تیرچه‌ها ارائه می‌شود. جداول این بخش برای حالات زیر تنظیم شده‌اند:



(نمودار ۳-۱) $f_y = 2400\ kg/cm^2$
(نمودار ۳-۲) $f_y = 3000\ kg/cm^2$
(نمودار ۳-۳) $f_y = 4000\ kg/cm^2$
(نمودار ۳-۴) $f_y = 2400\ kg/cm^2$
(نمودار ۳-۵) $f_y = 3000\ kg/cm^2$
(نمودار ۳-۶) $f_y = 4000\ kg/cm^2$

شکل (۳-۶) استفاده از مقطع تیرچه در تعیین نمودار آرماتور خمشی

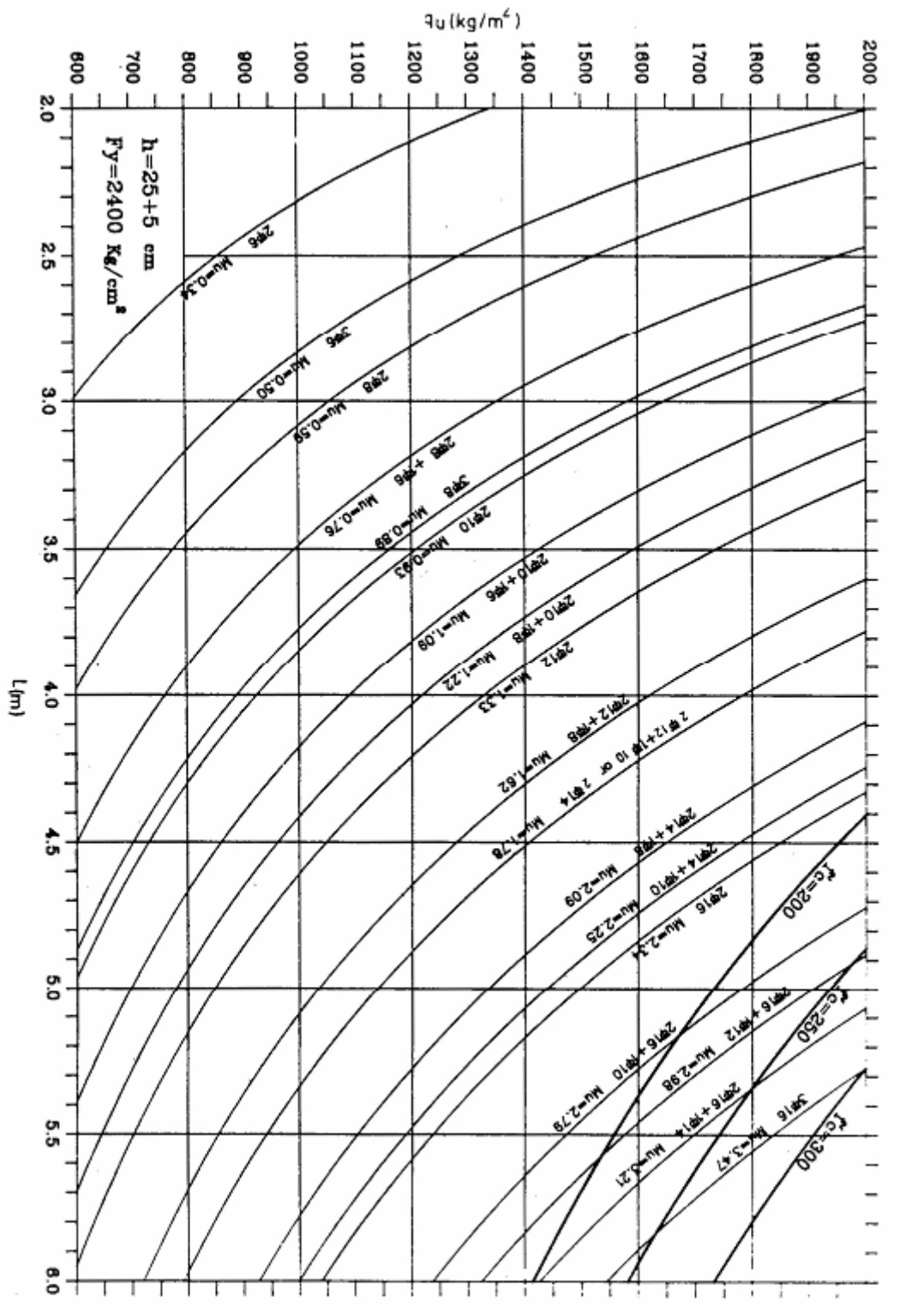
برای استفاده از نمودارها تعیین بار ضریب‌دار واحد سطح و طول دهانه محاسباتی تیرچه لازم است. بار واحد ضریب‌دار سطح از رابطه زیر به دست می‌آید:

$q_u = 1.4D + 1.7L$ = بار ضریبدار وارد بر واحد سطح $\left(kg/m^2\right)$

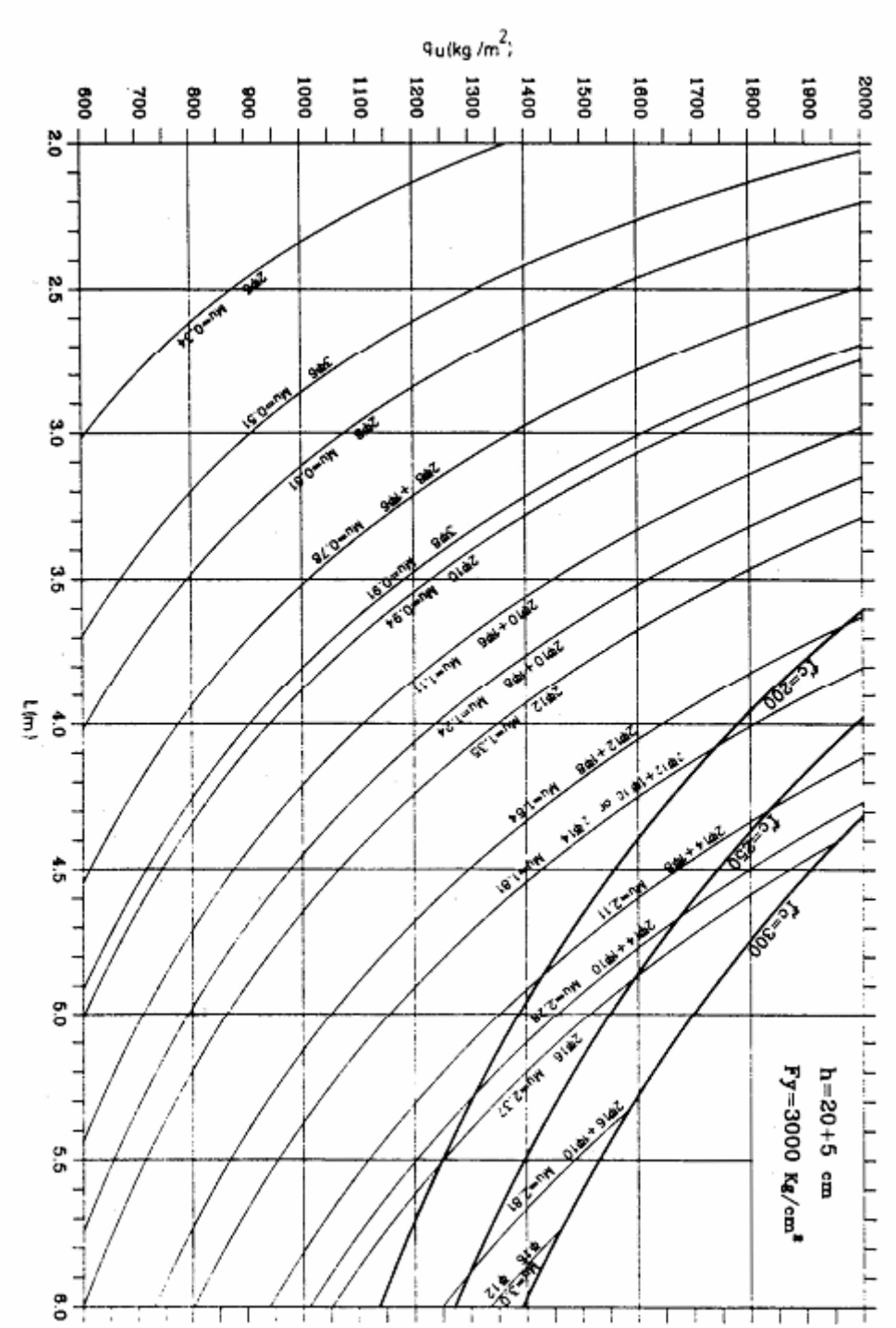
D = بار مرده بدون ضریب واحد سطح شامل وزن سقف تیرچه بلوک و کف‌سازی $\left(kg/m^2\right)$

L = بار زنده بدون ضریب واحد سطح $\left(kg/m^2\right)$

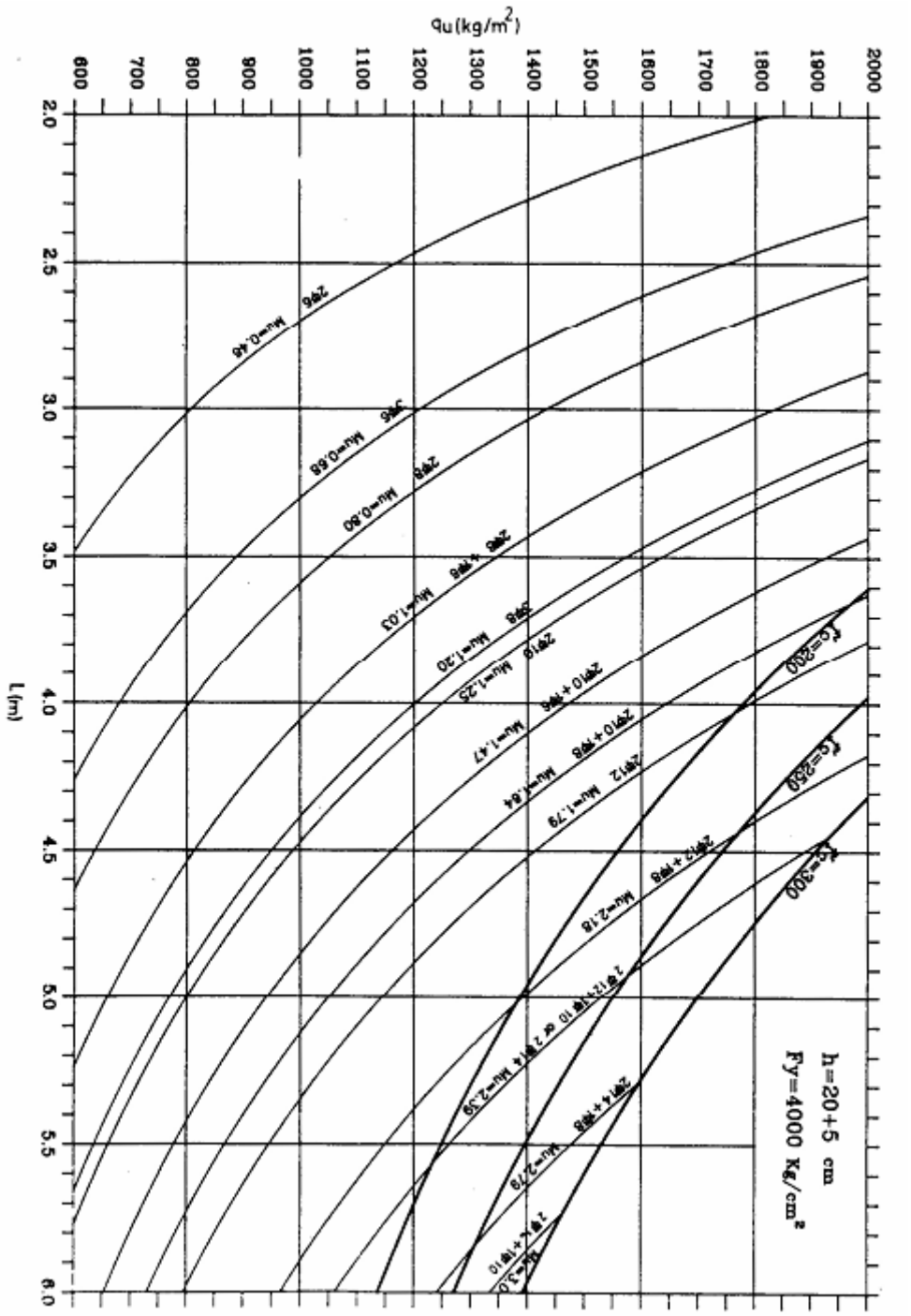
برای تعیین آرماتورهای طولی لازم، با انتخاب یکی از حالات شکل ۳-۶ به نمودار مربوط می‌رویم. بار ضریب‌دار واحد سطح را روی محور قائم و طول دهانه را در روی محور افقی ببرید. محل تقاطع آنها در روی نمودار آرماتورهای طولی را تعیین می‌نماید.



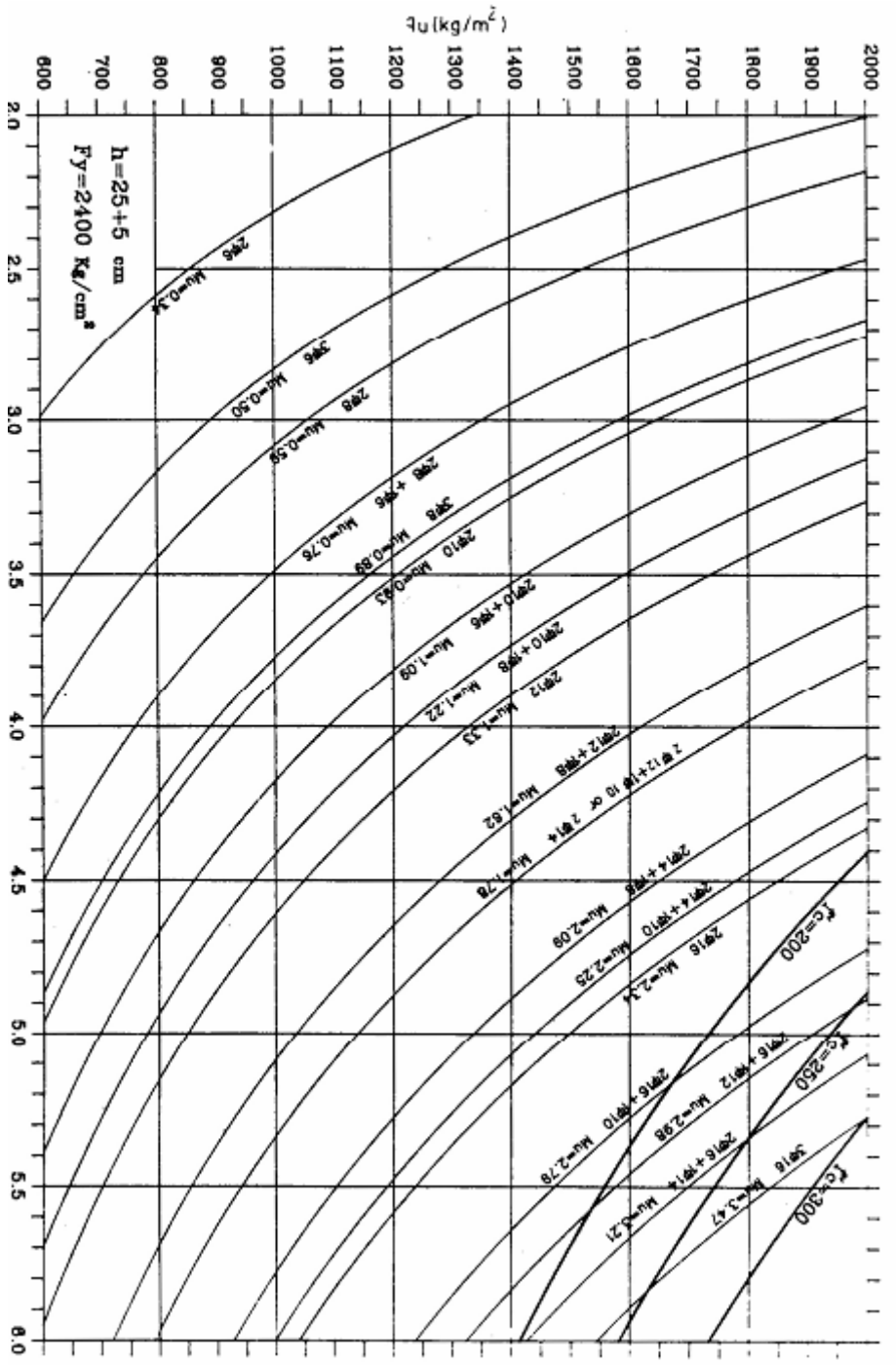
نمودار (۳-۱) آرماتورهای خمشی در تیرچه با ارتفاع کلی ۲۵ و $F_y = 2400\,Kg/cm^2$



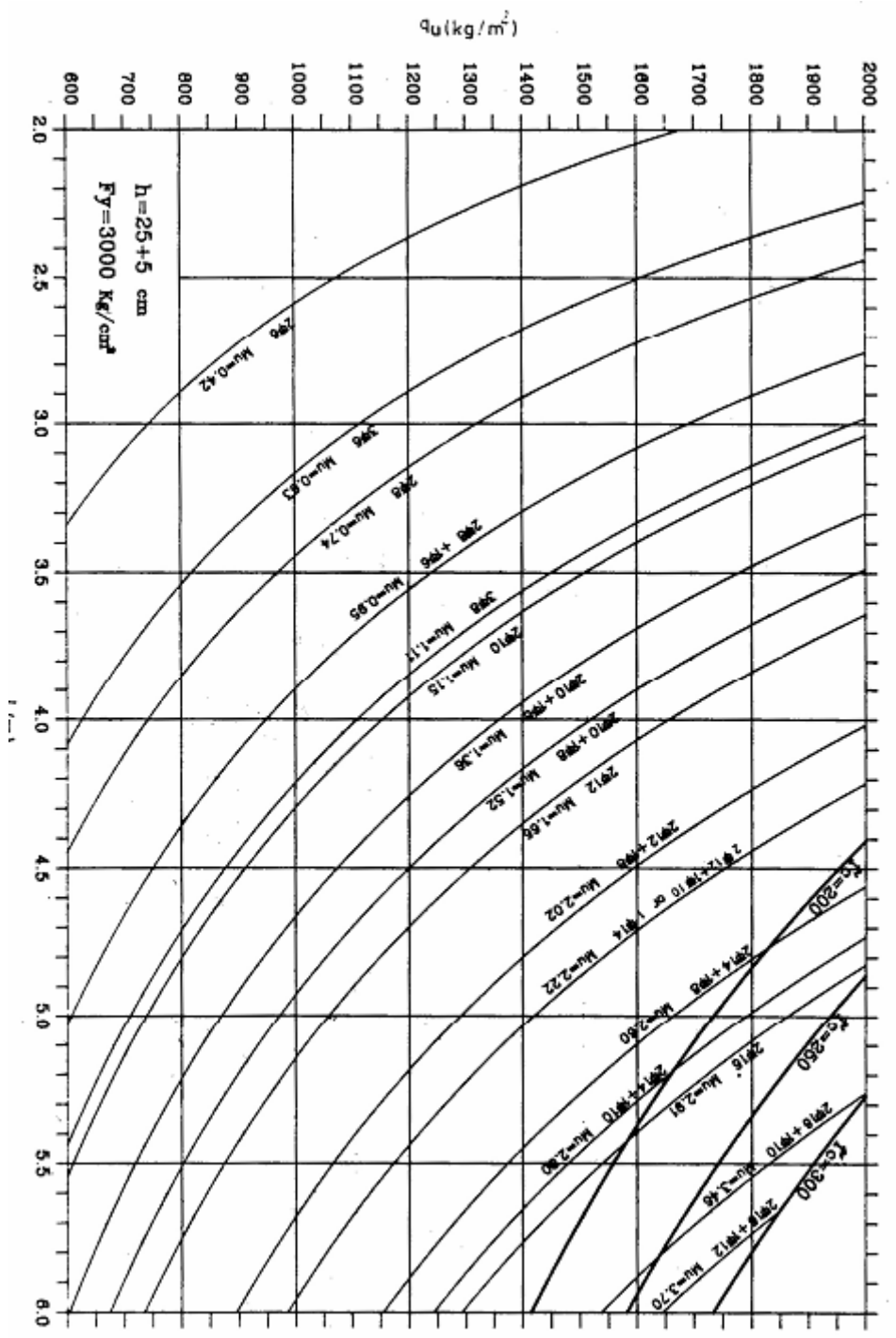
نمودار (۳-۲) آرماتورهای خمشی در تیرچه با ارتفاع کلی ۲۵ و $F_y = 3000\,Kg/cm^2$



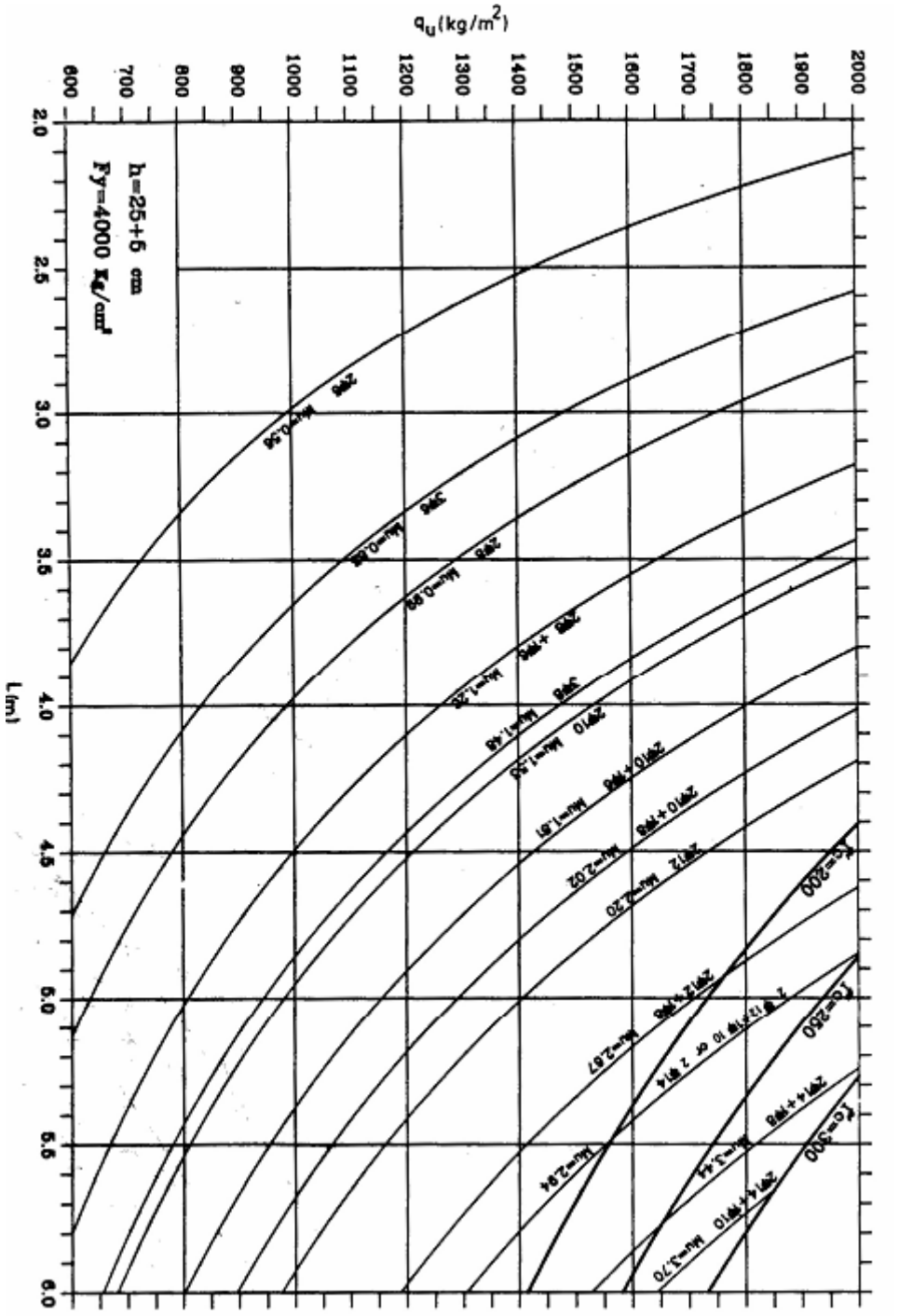
نمودار (۳-۳) آرماتورهای خمشی در تیرچه با ارتفاع کلی ۲۵ و $F_y = 4000\,Kg/cm^2$



نمودار (۳-۴) آرماتورهای خمشی در تیرچه با ارتفاع کلی ۳۰ و $F_y = 2400\,Kg/cm^2$



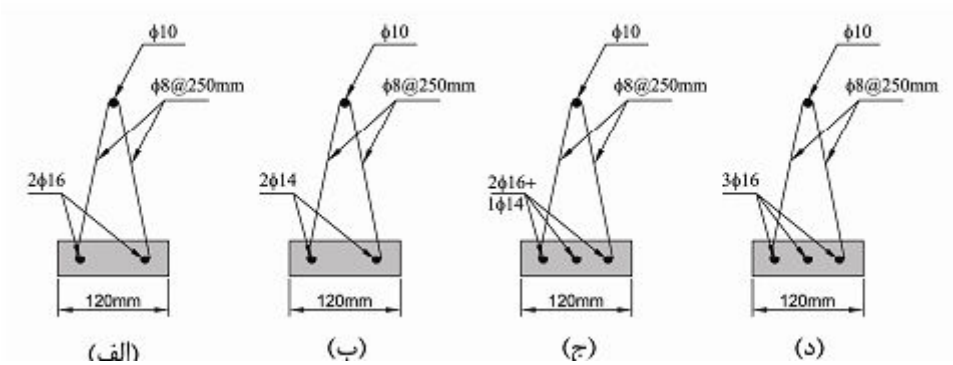
نمودار (۳-۵) آرماتورهای خمشی در تیرچه با ارتفاع کلی ۳۰ و $F_y = 3000\,Kg/cm^2$



نمودار (۳-۶) آرماتورهای خمشی در تیرچه با ارتفاع کلی ۳۰ و $F_y = 4000\,Kg/cm^2$

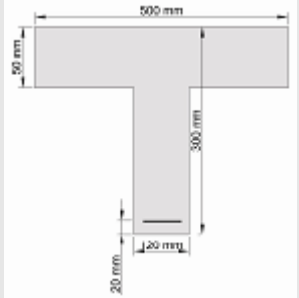
۳-۷- مجموعه سوالات و تست‌ها

تست شماره ۱: برای پوشش سقف یک ساختمان بتنی از سیستم تیرچه و بلوک استفاده می‌شود. شدت بار مرده و زنده در حد سرویس به ترتیب ۶۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع است. دهانه تیرچه‌ها ۶/۲۰ متر و فاصله مرکز تا مرکز آنها ۵۰ سانتیمتر است. ارتفاع بلوکها ۲۵ سانتیمتر و ضخامت دال روی آن ۵ سانتیمتر است. بگوئید کدام مقطع زیر برای تیرچه ها مناسبتر است: $f'_C = 25\,MPa$, $f_y = 300\,MPa$



۱) الف ۲) ب ۳) ج ۴) د

حل: با توجه به اطلاعات موجود مقدار آرماتور کششی از روابط زیر محاسبه می‌شود:
(الف) تعیین بار طراحی:
$W_{DL} = 0.006, W_{LL} = 0.002$
$W_u = 1.25 \times W_{DL} + 1.50 \times W_{LL} = 0.0105$
با فرض فاصله تیرچه‌ها برابر ۵۰ سانتیمتر $\overline{W}_u = 0.0105 \times 500 = 5.25\ N/mm$
(ب) تعیین لنگر طراحی:
با فرض وجود تکیه‌گاه ساده داریم $M_u = \frac{+1}{8} \times \overline{W}_u \times L^{\,2} = 25.22\ KN.m$
(پ) تعیین آرماتورهای کششی
جهت محاسبه آرماتورهای کششی می‌توان از رفتار T شکل تیر استفاده نمود. شکل تیر T مانند شکل زیر می‌باشد:



$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f'_c = 0.81$$
$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f'_c = 0.91$$
$$C_b = \frac{700}{700 + f_y} d = 196\,mm$$
$$a_b = \beta_1 C_b = 196 \times 0.91 = 178\,mm$$

آرماتور کششی در نقطه C :

موقعیت تار خنثی که درون بال فشاری تیر T شکل قرار دارد.	$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\alpha_1 . f'_c . \phi_c . b_E}} = 10.66 < 50mm$
مقدار آرماتور کششی	$A_s = \frac{M_u}{\phi_s . f_y . (d - \frac{a}{2})} = 360mm^2 \rightarrow 2\phi 16\ (400mm^2)$
کنترل با مقدار حداقل آرماتور	$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{400}{120 \times 280} = 0.011 > \rho_{\min} = 0.0025$

(ت) حل با استفاده از نمودار:
با توجه به مقدار تنش جاری‌شدن فولاد و ارتفاع کل ۳۰ سانتیمتر از نمودار ۳-۵ استفاده می‌شود. مقدار بار کل q_u برابر است با :
$qu = 1.4 \times 600 + 1.7 \times 200 = 1180\ Kg/cm^2$
محل تقاطع دهانه ۶/۲ متر و بار گسترده ۱۱۸۰، محل تعیین آرماتور خمشی می‌باشد. این مقدار برابر است با:
$2\phi 14 + 1\phi 10$
و یا مقدار معادل آن برابر $2\phi 16$

تست شماره ۲: در یک دال تیرچه و بلوک، تیرچه‌ها در فواصل مرکز تا مرکز ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر واقع شده‌اند. دهانه آزاد تیرچه‌ها ۶ متر و عرض و ارتفاع کل مقطع هر تیرچه (شامل دال رویه) به ترتیب ۱۰ و ۳۰ سانتیمتر می‌باشد. در صورتی که $f'_C = 210\ kg/cm^2$ و $f_y = 4000\ kg/cm^2$ بوده و شدت بارهای مرده و زنده بر روی دال به ترتیب ۷۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد، وضعیت تیرچه‌ها از نظر کنترل برش چگونه است؟ تیرچه در دو طرف انتها مفصلی فرض می شوند: $d = 26cm$

الف) تلاشهای برشی ایجاد شده بیش از حدود مجاز است و باید با استفاده از خاموتها و یا تعریض تیرچه در دو انتهای آن مقاومت برشی مناسب را تعیین نمود.

ب) تلاشهای برشی در حدود قابل قبول بوده و به هیچگونه تمهیدات اضافی برابر مقاومت در برابر برش نیازی نیست.

ج) با توجه به طراحی برای برش حاصله متناظر با ظرفیت خمشی محتمل بر دو انتهای تیرچه همراه با بارهای نهایی قائم، کنترل برش باید انجام گردد.

د) هیچکدام

حل : برای طراحی آرماتور برشی از روابط زیر استفاده می‌شود.	
(الف) تعیین بار طراحی:	
$W_{DL} = 0.007, W_{LL} = 0.002$	
$W_u = 1.25 \times W_{DL} + 1.50 \times W_{LL} = 0.0118$	
$\overline{W}_u = 0.0118 \times 500 = 5.88\ N/mm$ با فرض فاصله تیرچه‌ها برابر ۵۰ سانتیمتر	
مقدار برش موجود برابر است با : (با فرض مفصلی بودن در دو انتها)	$V_u = \frac{\overline{W}_u \times L}{2} = 17640\ N$
مقدار برش قابل تحمل توسط بتن:	$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f'_c}.b.d = 16497\ N$
با توجه به اینکه مقدار برش موجود از برش قابل تحمل توسط بتن بیشتر است، گزینه الف صحیح است.	