قالب بندی

12- *McCarthy, M.J., and Giannakou, A., In Situ Performance of CPF Concrete in a Coastal Environment, Cement and Concrete Research, V.32, 2002, 451-457.*

13- *Smoak, G., Guide to Concrete Repair, Bureau of Reclamation of United States, 2002.*

۱۴- قدوسی، پرویز، تعمیر سازه‌های بتنی (مصالح و روش‌ها)، انتشارات شهر و سازه، ۱۳۸۰.

فصل ششم: انواع و طراحی قالب‌ها

۶-۱ مقدمه

قالب‌ها بعنوان سازه موقت محسوب می‌شوند، اما در ساخت اعضای سازه‌های بتنی با اهمیت می‌باشند، زیرا بخش مهمی از هزینه ساخت سازه‌های بتنی به هزینه قالب اختصاص می‌یابد و از طرف دیگر نقش اساسی در ظاهر سازه دارد. بخشی از حوادث در کارگاه‌ها مربوط به خرابی قالب‌ها است، که علت آن طراحی نادرست قالب‌ها و یا اجرای نامطلوب آن‌ها است. در این فصل مواد مصرفی و روش طراحی تشریح شده است، اما مقادیر پارامترها به خصوص مقادیر تنش‌های ارائه شده جنبه آموزشی دارند و در هنگام طراحی واقعی باید از مقادیر تنش‌های ذکر شده در آیین‌نامه‌های معتبر استفاده شود. جداول تنش‌ها و مثال‌هایی که در این فصل ارائه شده‌اند، مربوط به چوب است، هر چند اصول طراحی بین قالب چوبی و قالب فلزی مشابه است، اما به طور مسلم در هنگام طراحی قالب‌های فلزی باید از تنش‌های مربوط به فولاد استفاده شود.

۶-۲ اصول طراحی قالب‌ها

قالب ها برای ایجاد شکل مورد نظر بتن و تثبیت آن در موقعیت مورد نظر محسوب می‌شود. در هنگام طراحی و ساخت قالب باید به سه اصل زیر توجه کرد [۱و۲]:

- ایمنی
- وضعیت ظاهری
- صرفه اقتصادی

ایمنی: طراحی و ساخت قالب‌ها باید به نحوی انجام پذیرد که توانایی تحمل تمام بارهای زنده و مرده را داشته باشد بدون آنکه پایداری آن به مخاطره بیفتد و یا برای کارکنان خطری ایجاد کند. مروری بر حوادث ناگوار که تاکنون در دنیا بر اثر فروپاشی قالب‌ها رخ داده است، نشان‌دهنده آن است که باید به ایمنی قالب‌ها توجه خاصی مبذول شود. معمولاً دلایلی که ایمنی قالب‌ها را کاهش می‌دهد به شرح زیر است:

- اشتباه در طراحی یا پیش بینی نادرست از بارهای وارده
- عدم مهاربندی کافی
- باز کردن زودرس قالب‌ها
- استفاده از مصالح نامناسب
- باقی‌ماندن پیچ‌ها و میخ‌ها در قالب پس از باز کردن آنها

وضعیت ظاهری: بتن انعطاف‌پذیر است، بنابراین می‌توان با قالب‌های مناسب، شکل و نمای دلخواه را به دست آورد. سطح بتن تابع قالب است و با تغییر دادن بافت سطح قالب، نمای سطح بتن تغییر می‌کند.

صرفه اقتصادی: طرح و ساخت اقتصادی قالب برای سازه‌های بتنی بسیار با اهمیت است، زیرا هزینه قالب مقدار قابل ملاحظه‌ای از کل هزینه سازه را شامل می‌شود. ممکن است ۳۵ تا ۵۰ درصد کل هزینه سازه صرف ساخت قالب شود. برای آنکه قالب‌ها مقرون به صرفه باشند، نکات مشروحه زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

- انتقال پانل‌های کوچک نسبت به پانل‌های بزرگ آسان‌تر است، در بعضی موارد استفاده از پانل‌های بزرگ نیاز به جرثقیل و دیگر ماشین‌آلات دارد.

- طراحی قالب باید به نحوی باشد که قالب‌برداری به آسانی صورت پذیرد، به عنوان مثال استفاده از قطعاتی که مانند گوه در قالب‌ها، باعث می‌گردد تا قالب‌برداری به راحتی انجام شود.
- استفاده مکرر قالب‌ها، هزینه قالب را کاهش می‌دهد.

نکته مهم این است که از آنجایی که زمان اعمال بار بر روی قالب‌ها موقت است، بنابراین در هنگام طراحی می‌توان تنش‌های مجاز سرویس را افزایش داد. ضریب افزایش تنش‌های مجاز باید بر اساس آیین‌نامه های معتبر انجام پذیرد. بدین وسیله هزینه مصالح مصرفی کاهش می‌یابد.

٦- ۳ انواع مصالح قالب

مصالح قالب انواع مختلفی دارد که به شرح آنها پرداخته می‌شود. انتخاب مصالح قالب بستگی به نوع کار و نیاز دارد. مهمترین مصالح قالب، تخته لایه‌ای[1]، تخته الوار[2]، فولاد و فایبرگلاس یا ترکیبی از آنهاست [۱-۳].

قالب چوبی: تخته لایه‌ای در صنعت قالب‌سازی سازه‌های بتنی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، به خصوص به عنوان ورق پوشش قالب مصرف می‌شود. لایه‌های نازک چوب به وسیله چسب به یکدیگر متصل می‌شوند، به صورتی که تارهای هر لایه، عمود به تارهای لایه مجاور قرار داده می‌شود. در نتیجه محصول به دست آمده دارای نسبت مقاومت/وزن زیاد است. مقاومت تخته چندلا بستگی به تعداد لایه‌های آن دارد و معمولاً بین ۳ تا ۷ عدد است. در هنگام طراحی و ساخت قالب، باید تارهای تخته در جهت طول دهانه قرار داده شود، زیرا ظرفیت باربری آنها افزایش می‌یابد. لایه‌های تخته چندلا، جهت تارها را تعیین می‌کند. در شکل ۶-۱ این موضوع نشان داده شده است.

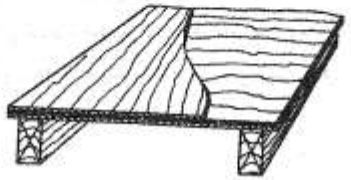
---
1. *Plywood*
2. *Lumber*

قالب فولادی: قالب فولادی برای ساخت سازه‌های بتنی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمر مفید قالب‌های فولادی طولانی است و بنابراین می‌توان مکرر از آنها استفاده نمود. در صنعت قطعات پیش ساخته، قالب فولادی نسبت به بقیه مصالح ترجیح داده می‌شود. در هنگام بتن‌ریزی در هوای گرم یا سرد، باید قالب فولادی عایق گردد تا از تغییرات حرارتی در بتن جلوگیری شود.

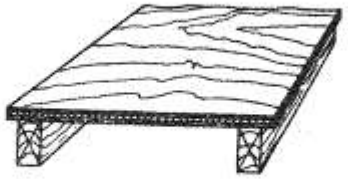
قالب آلومینیومی: استفاده از آلومینیوم به عنوان قالب یا پایه در حال افزایش است، زیرا عمر مفید آلومینیوم زیاد بوده و استفاده مکرر از آن امکان‌پذیر است. آلومینیوم خالص تحت تهاجم شیمیایی بتن تازه قرار می‌گیرد و امکان خوردگی آن است ولی با استفاده از آلیاژهای مخصوص آلومینیوم می‌توان از خرابی قالب جلوگیری نمود. قالب آلومینیومی سبک است و حمل آن به آسانی صورت می‌گیرد.

قالب فایبرگلاس: قالب‌های پلاستیک یا الیاف شیشه‌ای مسلح می‌شوند و به صورت خلاصه قالب فایبرگلاس نامیده می‌شوند. قالب فایبرگلاس با دوام و مقاومت است و در شکل‌های مختلف قابل تولید می‌باشد. فایبرگلاس از جمله معدود مصالحی است که قابلیت دارد تا به شکل‌های بسیار پیچیده ساخته شود و در عین حال سطح بتن دارای کیفیت مطلوب خواهد بود.

قالب آجری: این نوع قالب‌ها برای پی‌ها و دیوارهای حائل مجاور خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اجزاء بسته به ارتفاع بتن در قالب و نیز نیروهای وارده، یک دیوار ۱۱ تا ۲۲ سانتیمتری ساخته می‌شود. بهای تمام شده این قالب‌ها کم و تغییر شکل آنها نسبتاً ناچیز است. ضخامت دیوار به ضخامت شالوده یا دیوار حائل می‌افزاید و ضمناً دیوار آجری تا حدودی بتن را در مقابل عوامل محیطی حفاظت می‌نماید.



استفاده از تخته لایه در جهت ضعیف



استفاده از تخته لایه در جهت قوی

شکل ٦-١: استفاده از تخته لایه در امتداد ضعیف و قوی

٦-٤ انواع قالب‌ها از نظر کاربرد

قالب‌ها بسته به نوع کاربرد به انواع مختلف تقسیم می‌شوند [۱-۴]:

قالب‌های موقت: پس از آنکه بتن مقاومت کافی کسب کرد، قالب‌برداری انجام می‌شود. به دلیل زمان کم باربری چنین قالب‌هایی، در هنگام طراحی با استفاده از ضرائب توصیه شده توسط آیین‌نامه‌ها، مقدار تنش‌های مجاز قابل افزایش می‌باشد.

قالب‌های دائم: در بعضی از موارد لازم می‌شود که قالب در جای خود برای همیشه باقی بماند، زیرا قالب‌برداری به سختی انجام می‌شود و مقرون به صرفه نخواهد بود. برای مثال در هنگام ساخت دال تیرچه و بلوک، بلوک‌ها به عنوان قالب مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقشی در مقاومت دال ندارند ولی برای همیشه در محل خود باقی می‌مانند.

قالب قطعات پیش‌ساخته: برای ساخت قطعات پیش‌ساخته در کارخانه‌ها از این نوع قالب‌ها استفاده می‌شود. پس از ساخت قالب‌ها، ساخت قطعات به صورت تولید انبوه و یکنواخت امکان‌پذیر است.

قالب تونل‌ها: قالب‌های مخصوصی به شکل مقطع دایره و یا قوسی ساخته می‌شود که قابل حرکت دادن در طول تونل هستند و پس از اتمام بتن‌ریزی در یک قسمت قالب به قسمت بعدی تونل منتقل می‌شوند. قالب‌های تونل در دو نوع تلسکوپی و غیرتلسکوپی ساخته می‌شوند. نوع تلسکوپی قابلیت جمع شدن (کاهش قطر) دارد در نتیجه امکان حرکت دادن قالب در قوس‌های تونل بیشتر است.

۶-۵ قالب لغزنده عمودی[۳]

عملیات قالب لغزنده عمودی یکی از روش‌های اجرای سازه‌های مرتفع مانند سیلوها می‌باشد. اساس روش اجرای قالب لغزنده عمودی این است که قالبی به ارتفاع حدود یک متر در فواصل زمان متناوب به بالا کشیده می‌شود. در ضمن بالا کشیدن قالب عملیات بتن‌ریزی و آرماتوربندی نیز ادامه می‌یابد. دائماً مخلوط بتن از بالا به درون قالب ریخته شده و ضمن حرکت قالب به سمت بالا، بتن سخت شده از قسمت زیرین قالب خارج می‌شود. سرعت بالا کشیدن قالب متفاوت است. زمانی که گیرش بتن درون قالب به اندازه‌ای باشد که بتواند وزن خود را تحمل کرده و شکل خود را حفظ نماید،

[3] *Vertical slip form*

می‌توان قالب را به بالا کشید. قالب لغزنده توسط یک سری جک هیدرولیکی به بالا کشیده می‌شود. این جک‌ها بر روی میله جک حرکت کرده و به سمت بالا می‌روند.

۶-۵-۱ مزایا و معایب

مزایای قالب لغزنده به شرح زیر است [۳و۴]:

- سرعت اجرای سازه بسیار بالا می‌باشد.
- اقتصادی است.
- سازه اجرا شده کاملاً یکپارچه بوده و عاری از وجود درزهای ساخت است.

معایب قالب لغزنده به شرح زیر است:

- قیمت اولیه قالب گران‌تر از قالب‌های معمولی است.
- اجرای بازشوها، برآمدگی‌ها و همچنین آرماتورهای انتظار مشکل است.
- در گرما و سرمای شدید، اجرای قالب لغزنده نسبت به روش‌های دیگر مشکلات بیشتری را به همراه دارد.
- برای اجرای سازه‌هایی که مقطع متغیر دارند، اجرای قالب لغزنده با مشکلات بیشتری همراه است.
- اجرای قالب لغزنده نیاز به نیروی متخصص بیشتری دارد.

۶-۵-۲ سرعت قالب

سرعت بالا بردن قالب لغزنده باید کاملاً کنترل گردد. در صورتی که سرعت حرکت قالب لغزنده کمتر یا بیشتر از حد معین باشد، به دلایل مشروحه زیر، امکان دارد بتن لغزنده تخریب شود:

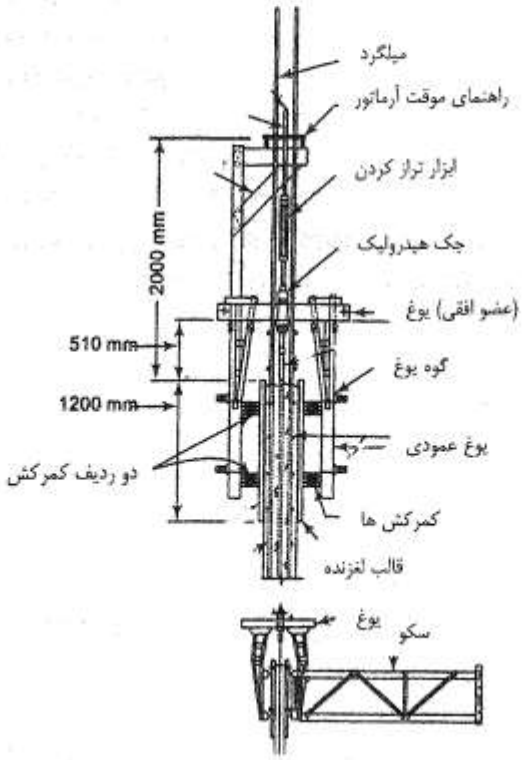
حالت اول: در اثر سرعت زیاد بالا رفتن قالب و اینکه بتن خارج شده از زیر قالب لغزنده توانایی تحمل وزن خود را نداشته باشد.

حالت دوم: در اثر سرعت کم بالا رفتن قالب و اینکه بتن درون قالب به قدری سفت شود که نیروی اصطکاک بین بتن و قالب از مقاومت کششی بتن بیشتر شده و در نتیجه ترک بخورد.

در گذشته نرخ لغزندگی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر بر ساعت بود، اما امروزه نرخ حرکت قالب به ۶۰۰ میلیمتر بر ساعت می‌رسد. اما سرعت حرکت قالب باید با زمان گیرش بتن هماهنگ باشد [۵].

٦-٥-٣ اجزای قالب

در شکل ۶-۲ قالب لغزنده نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، اجزای اصلی آن شامل میله‌های فولادی، جک‌های هیدرولیکی، سکوی کار و قالب‌ها می‌باشند. سکوی کار به یوغ عمودی متصل می‌شوند و جک‌ها بر روی میله‌های فولادی حرکت می‌کنند. قالب‌ها به یوغ عمودی متصل می‌باشند.



شکل ٦-٢: اجزای قالب لغزنده

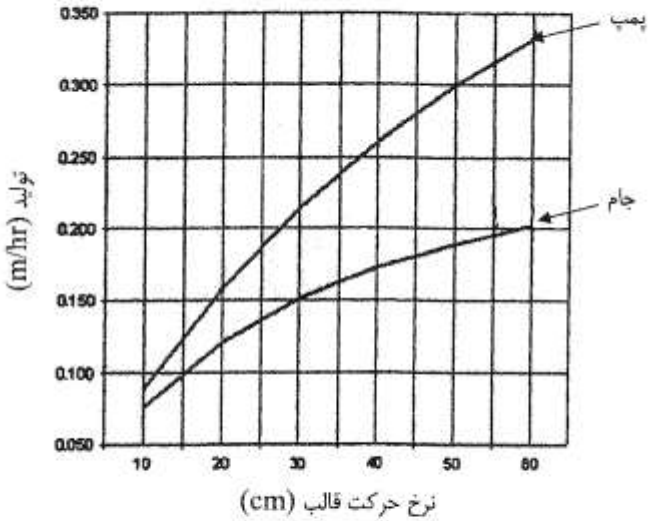
٦-٥-٤ طرح مخلوط بتن

طرح مخلوط بتن در موفقیت عملیات قالب لغزنده بسیار حائز اهمیت است. مخلوط بتن باید با یکنواختی در سطح بالا، چسبندگی مناسب و کارایی مطلوب باشد. اسلامپ بتن ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر

معمولاً مناسب است. گیرش مخلوط بتن در نرخ لغزندگی قالب به صورت مستقیم اثرگذار است. زمان گیرش بتن تابع دما، اجزای بتن و خواص سیمان است. می‌توان زمان گیرش را با استفاده از مواد افزودنی و تسریع کننده تنظیم کرد [۶و۵].

۶-۵-۵ تولید

تولید قالب لغزنده تابع نرخ لغزندگی، ابعاد سازه (مانند قطر سیلو)، روش بتن‌ریزی (پمپ یا جام) و زمان گیرش بتن است. شکل ۶-۳ تفاوت تولید با جام و پمپ برای ساخت سیلو را نشان می‌دهد [۷].



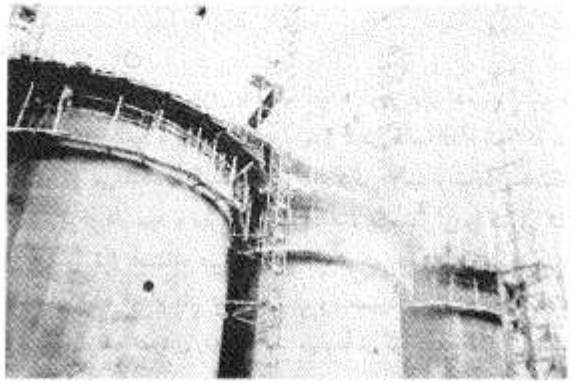
شکل ۶-۳: تولید قالب لغزنده برای پمپ و جام برای ساخت سیلو

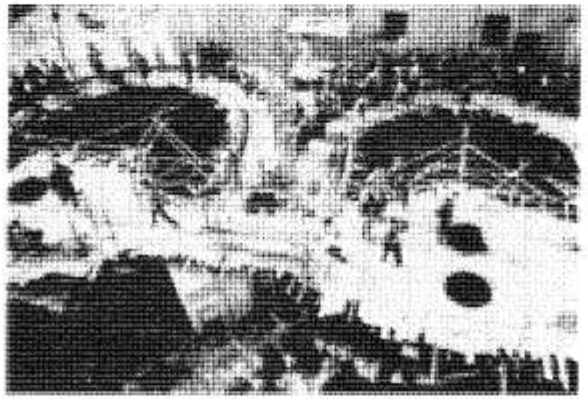
۶-۵-۶ تراز قالب

تراز بودن قالب در عملیات بتن‌ریزی با قالب لغزنده بسیار حائز اهمیت است. در صورت عدم تراز قالب، عملیات باید متوقف شود و مجدداً نسبت به تراز کردن قالب اقدام شود که همراه با خسارت مالی و احتمالاً کیفیت کار می‌باشد. در گذشته برای تراز کردن قالب از شاغول[۴] استفاده می‌شد. این روش هم از دقت لازم برخوردار نبود و نیاز داشت هر ساعت یک نفر آن را کنترل کند. اما امروزه از لیزر عمودی برای کنترل تراز استفاده می‌شود. در نتیجه هم دقت تراز بیشتر شده است و هم می‌توان کنترل را توسط رایانه انجام داد. دستگاه لیزر، وضعیت قالب را در نقاط مختلف سازه نشان می‌دهد. شکل ۶-۴ قالب لغزنده عمودی را در ساخت سیلوها در کرمانشاه نشان می‌دهد.

---

۴. *Plumb*





شکل ٦-٤: تصویرهای قالب لغزنده

٦-٦ روغن و امولسیون‌های قالب

روغن‌کاری قالب برای جلوگیری از اشکالات زیر انجام می‌شود:

- هنگامی‌که هوا مابین سطح بتن و قالب محبوس می‌شود، حفره‌های کوچک در سطح تماس در بتن بوجود می‌آیند.
- در صورت جذب نامنظم آب بتن توسط قالب، بر سطح بتن رنگ غیریکنواخت پدید می‌آید.
- در هنگام قالب‌برداری، جدا شدن قالب از سطح بتن به سختی انجام می‌پذیرد و امکان صدمه خوردن سطح بتن وجود دارد.

برای جلوگیری از اشکالات مذکور، از روغن خالص یا امولسیون استفاده می‌شود. روغن‌های خالص گرچه حفره‌های کوچک بین سطح و قالب را کاهش می‌دهند، ولی به یکنواختی رنگ نیز لطمه می‌زنند، اما چون در روغن، عامل امولسیون وجود دارد با کاهش حفره‌ها، یکنواختی رنگی نیز بهبود می‌یابد. هنگام روغن‌کاری باید از مصرف بیش از اندازه روغن خودداری شود، زیرا روغن اضافی سبب به تأخیر افتادن گیرش سیمان می‌گردد. امولسیون‌ها به صورت قطرات معلق در روغن و یا برعکس قطرات روغن در آب هستند، اما چون میزان زنگ زدگی فولاد را افزایش می‌دهند، نباید برای قالب‌های فولادی مورد استفاده قرار گیرند [۱].

٦-۷ اجزای قالب‌بندی

قبل از آن که طراحی قالب‌ها تشریح شود، ابتدا باید اجزای قالب‌ها شناخته شوند. اجزای قالب‌ها به شرح زیرند [۱-۴]:

قالب‌بندی دیوار: قالب‌بندی دیوار شامل ورق پوشش یا صفحه رویه[5] است که ممکن است از تخته لایه‌ای یا تخته الوار ساخته شوند. برای افزایش ظرفیت باربری ورق پوشش قالب از پشت‌بندی‌های

[5]. *Sheathing*

قالب لغزنده

قالبهای مدولار

قائم[6] استفاده می‌شود. چهار تراش‌های افقی که در پشت‌بندهای قائم نصب می‌شوند، کمرکش[7] نامیده می‌شوند. کمرکش‌ها سختی طولی قالب را نیز زیاد می‌کنند. مهارهای مایل به کمرکش‌ها تکیه می‌کنند. معمولاً از کمرکش‌های جفت استفاده می‌شود تا کلاف[8] بین آنها قرار بگیرند (شکل ۶-۵). کلاف قالب پیچ یا میلگرد است که دو قطعه مقابل قالب را به یکدیگر متصل می‌کند و از باز شدن آن جلوگیری می‌نماید. به عبارت دیگر فشار بتن توسط کلاف‌ها تحمل می‌شود. برای جلوگیری حرکت قالب در مقابل بار باد یا هر نیروی جانبی دیگر باید از مهار مایل استفاده شود. کلاف‌هایی که برای قالب‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در دو نوع ساخته می‌شود:

- نوع اول تک عضوی، که پس از سخت شدن بتن از آن خارج می‌شود.
- نوع دیگر به نام جدا شونده داخلی که پس از قالب‌برداری، قسمت داخلی کلاف در بتن باقی می‌ماند (قسمت خارجی به وسیله پیچ از قسمت داخلی جدا می‌شود).

هرچند نیرویی که هر یک از کلاف‌ها می‌تواند تحمل کند متفاوت است و بستگی به نوع فولاد یا جنس مصرفی دارد، اما به طور کلی قادرند بین ۱ تا ۳۵ تن را تحمل کنند. بنابراین در هنگام تهیه کلاف باید مشخصات آن از تولید کننده سؤال شود.

6. *Stud*
7. *Wale*
8. *Tie*

کلاف که از بتن خارج می‌شود

کلاف که درون بتن باقی می‌ماند

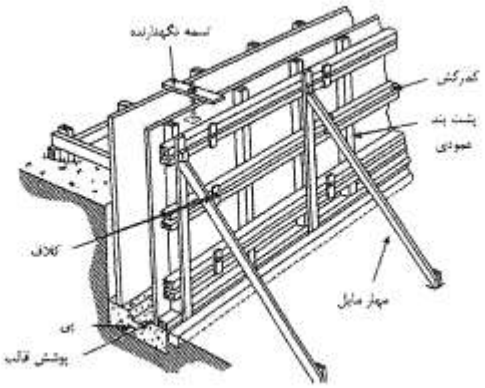
شکل ٦-٥: انواع کلاف‌ها

قالب‌بندی سقف: برای ورق پوشش سقف از تخته الوار یا تخته چندلا استفاده می‌شود. برای افزایش ظرفیت باربری ورق پوشش از چهار تراش‌هایی به نام تیرچه[9] به کار گرفته می‌شود و تیرهای اصلی در جهت عمود به تیرچه‌ها نصب می‌گردند. جهت نگاه داشتن قالب در محل خود از شمع یا پایه[10] استفاده می‌شود. برای کاهش ضریب لاغری شمع‌ها (همچنین برای مقابله با نیروهای باد) بادبند به کار می‌رود.

9. *Bracing*
10. *Shore*

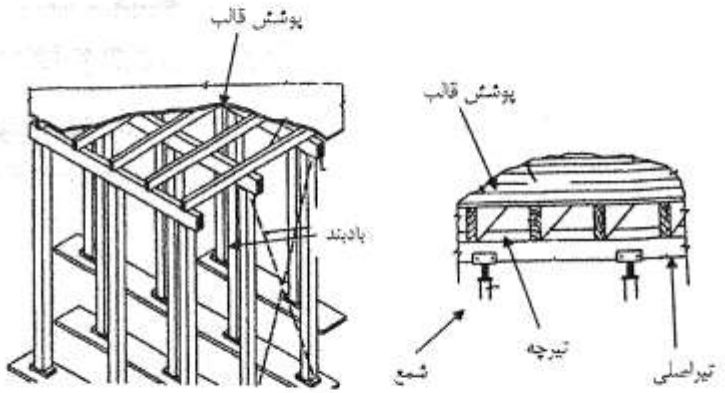
قالب‌بندی ستون: قالب‌بندی ستون مانند قالب دیوار است، فقط پشت‌بندی‌های قائم و افقی با یوغ[11] یا گیره[12] جایگزین می‌شوند. به عبارت دیگر قالب‌های ستون به کمک طوق‌های فلزی یا چوبی نگهداری می‌شوند، طوق‌های چوبی یوغ و طوق‌های فلزی گیره نامیده می‌شوند. فواصل یوغ‌ها یا گیره‌ها بر حسب فشار تغییر می‌کنند، بالاترین فشار در قسمت تحتانی جعبه ستون ایجاد می‌شود.

شکل ۶-۶ ، ۶-۷ و ۶-۸ به ترتیب اجزای قالب‌های دیوار، سقف و ستون را نشان می‌دهند.

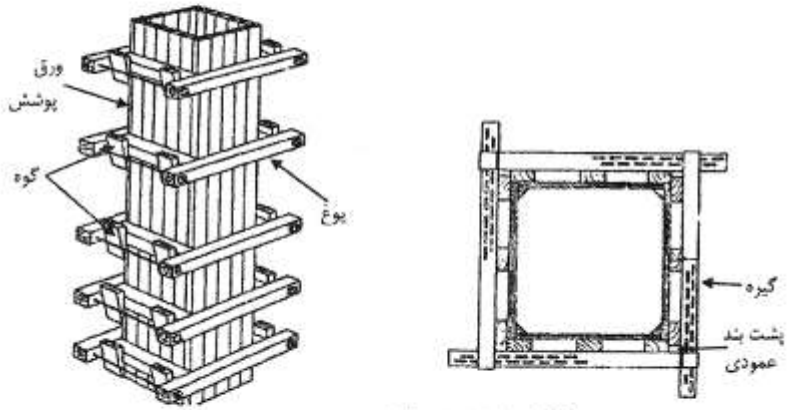


شکل ٦-٦: اجزای قالب دیوار

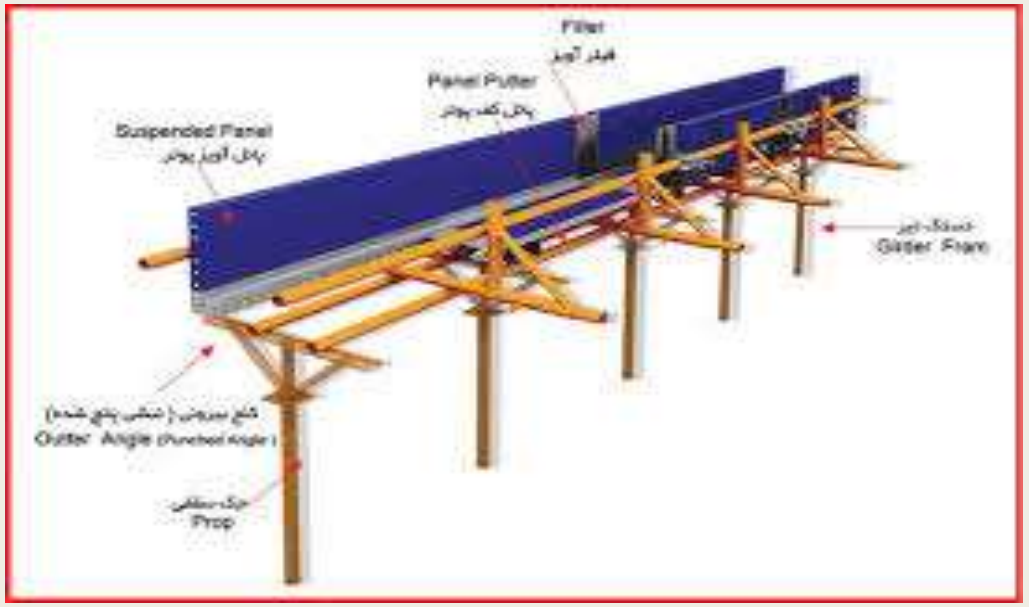
[11] *Yoke*
[12] *Clamp*

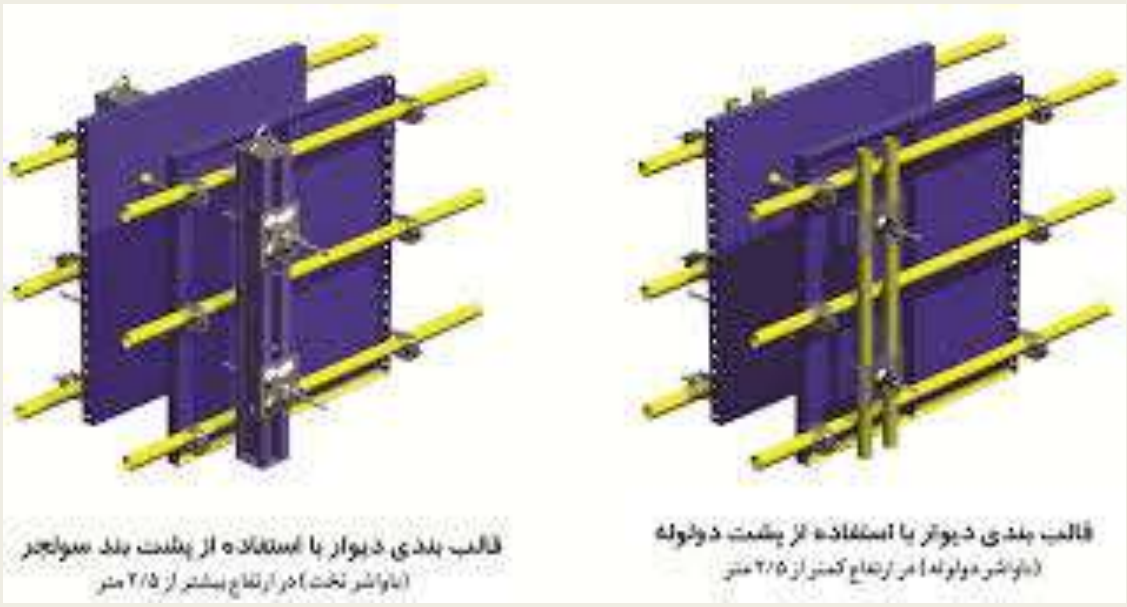


شکل ٦-٧: اجزای قالب سقف



شکل ٦-٨: اجزای قالب ستون





قالب بندی دیوار با استفاده از پشت بند سوراخ‌دار
(داوانس تخت) در ارتفاع بیشتر از ۲/۵ متر

قالب بندی دیوار با استفاده از پشت دولوله
(داوانس دولوله) در ارتفاع کمتر از ۲/۵ متر

۶-۸ مشخصات چوب‌ها

مشخصات انواع چوب‌ها به شرح زیرند [۱و۲]:

الف- الوار و چهار تراش

برای محاسبات از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود.

ممان اینرسی: $I = \frac{bd^3}{12}$ (۶-۱)

اساس مقطع: $Z = \frac{bd^2}{6}$ (۶-۲)

شعاع ژیراسیون: $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ (۶-۳)

که در آنها: b عرض مقطع، d ارتفاع مقطع و A سطح مقطع است.

جدول ۶-۱ تنش‌های مجاز الوار و چهار تراش را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۱: تنش‌های مجاز الوار و چهار تراش [۱]

تنش‌ها	دامنه	
	kg/cm^2	MPa
تنش خمش	۶۰ تا ۱۳۰	۶ تا ۱۳
تنش برشی	۱۰ تا ۱۳	۱ تا ۱/۳
مدول الاستیسیته	۹۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰۰	۹۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰
تنش لهیدگی	۵۰	۵

ب- تخته لایه‌ای

از آنجایی که تخته لایه‌ای از نوع ترکیبی است (چوب و چسب)، مشخصات آن شامل Z, I را نمی‌توان با محاسبه تعیین کرد، بلکه بر اساس آزمایش به دست می‌آیند. همچنین به دلیل مقطع غیرمستطیلی تخته لایه‌ای، در محاسبات تنش برشی از فرمول $\frac{VQ}{Ib}$ استفاده می‌شود. بنابراین در این بخش مقادیر ثابت برش خمشی $\frac{Ib}{Q}$ ارائه می‌شود. Q، لنگر استاتیک سطح واقع در بالای تراز مورد نظر برای محاسبه تنش حول تار خنثی است (جدول ۶-۲). در جدول ۶-۲ منظور از تارها در جهت دهانه بارگذاری یعنی عمود بر تکیه‌گاه‌ها و تارها در جهت عمود بر دهانه بارگذاری یعنی به موازات تکیه‌گاه‌ها است.

جدول ۶-۲: خصوصیات مقطع تخته چندلا [۱]

ضخامت تخته چندلا (mm)	با عرض ۱ متر، تارها در جهت دهانه بارگذاری			با عرض ۱ متر، تارها در جهت عمود به دهانه بارگذاری		
	$I(mm^4)$	$Z(mm^3)$	$Ib/Q(mm^2)$	$I(mm^4)$	$Z(mm^3)$	$Ib/Q(mm^2)$
۶	۱۰۳۱۳	۳۰۴۳	۴۱۴۵	۱۲۹۰	۴۶۶	۴۱۶۵
۱۲	۹۰۰۰۰	۱۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۵۸۰۰	۵۱۲۰
۱۸	۲۴۶۰۰۰	۲۳۱۰۰	۱۴۸۴۰	۹۸۰۰۰	۱۳۳۰۰	۸۰۴۰
۲۲	۴۰۴۰۰۰	۳۱۴۰۰	۱۸۱۱۰	۲۰۶۰۰۰	۲۲۷۰۰	۱۲۷۶۰
۲۵	۵۸۳۰۰۰	۳۹۶۰۰	۱۹۸۴۰	۳۶۹۰۰۰	۳۴۰۰	۱۴۸۵۰

جدول ۶-۳ تنش‌های مجاز تخته لایه را نشان می‌دهد.

جدول ٦-٣: تنش های مجاز تخته لایه [١]

تنش‌ها	تنش مجاز (kg/cm^2)		تنش مجاز (Mpa)	
	خشک	مرطوب	خشک	مرطوب
تنش خمشی	۸۵	۶۰	۸/۵	۶
تنش برشی	۴	۳	۰/۴	۰/۳
مدول الاستیسیته	۱۰۵۰۰۰	۹۰۰۰۰	۱۰۵۰۰	۹۰۰۰

٦-٩ مبانی طراحی

در طراحی قالب‌ها باید اعضاء برای خیز، برش و خمش کنترل شوند. برای ساده شدن محاسبات، در این کتاب فرض شده است که اعضای قالب به صورت تیر یکسره (۳ دهانه یا بیشتر) عمل می‌کنند و همچنین بار یکنواخت است، اما در طراحی واقعی باید وضعیت واقعی قالب در نظر گرفته شود، زیرا مطالب در این جا فقط برای درک از اصول طراحی می‌باشد. به عبارت دیگر باید تعداد دهانه در نظر گرفته شود. برای طراحی قالب‌ها باید کنترل خمشی، برش و خیز انجام شوند [۳-۱].

تنش خمشی:

برای کنترل خمشی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$f_b = \frac{M}{Z} \qquad (۴-۶)$$

از طرفی لنگر خمشی برابر است با:

$$M = \frac{wL^2}{10} \qquad (۵-۶)$$

که در آن‌ها، f_b تنش خمشی، Z اساس مقطع، w بار یکنواخت و L طول دهانه است. با ترکیب دو فرمول، می‌توان L مجاز را بدست آورد:

$$L = 3/16\sqrt{\frac{f_b Z}{w}} \qquad (۶-۶)$$

تنش برشی:

تنش برشی تخته لایه و الوار متفاوت است. تخته لایه‌ای به عنوان مقطع غیرمستطیلی و الوار مستطیلی فرض می‌شوند.

$$f_s = \frac{1/5V}{A} \qquad (۷-۶)$$

$$f_s = \frac{VQ}{Ib} \qquad (۸-۶)$$

که در آنها: V تنش برشی، A سطح مقطع، I ممان اینرسی، b عرض مقطع، Q لنگر استاتیک سطح مقطع واقع در بالای تراز مورد نظر برای محاسبه تنش حول تار خنثی است. Ib/Q ثابت برش خمشی است که از جدول ۶-۲ به دست می‌آید.

برای تیر یکسره برش برابر با $0/6wL$ است. بنابراین با جایگزین کردن مقادیر $V=0/6wL$ ، تنش مجاز برشی غلتشی F_s (برای تخته لایه‌ای) و تنش مجاز برشی F_v (برای تخته الوار) در فرمول‌های زیر، می‌توان حداکثر مجاز L را محاسبه کرد.

برای تخته الوار:

$$F_s = \frac{۱/۵ \times ۰/۶wL}{bd} = \frac{۰/۹wL}{bd} \quad (۹-۶)$$

بنابراین:

$$L = \frac{F_s bd}{۰/۹w} \quad (۱۰-۶)$$

برای تخته لایه‌ای:

$$F_s = \frac{۰/۶wLQ}{Ib} \quad (۱۱-۶)$$

بنابراین:

$$L = \frac{F_s}{۰/۶w} \times \frac{Ib}{Q} \quad (۱۲-۶)$$

تغییر شکل خمشی (خیز):

خیز چوب تابع مقدار مدول E است. هرچه مقدار E بزرگتر باشد، چوب سخت‌تر است. چنانچه چوب مرطوب باشد از مقدار E کاسته می‌شود. مقدار خیز تیر یکسره از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta = \frac{۲/۶۵}{۳۸۴} \times \frac{wL^۴}{EI} \quad (۱۳-۶)$$

اگر مقدار مجاز خیز برابر با $\frac{L}{۲۷۰}$ در نظر گرفته شود، مقدار دهانه مجاز از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\frac{L}{۲۷۰} = \frac{۲/۶۵}{۳۸۴} \times \frac{wL^۴}{EI} \quad (۱۴-۶)$$

$$L = ۰/۸۱ \times \sqrt[۳]{\frac{EI}{w}} \quad (۱۵-۶)$$

لهیدگی در تکیه‌گاه:

در محل اتصال بین اعضای قالب مانند محل اتصال بولت‌ها و شمع‌ها، باید تنش لهیدگی کمتر از تنش مجاز لهیدگی باشد، در غیر اینصورت امکان گسیختگی در محل اتصال وجود دارد.

$$f_c = \frac{\text{کل بار}}{\text{سطح تماس}} \quad (۱۶-۶)$$

که در آن:

f_c: تنش لهیدگی (مقدار فشار عمود بر تارهای چوب)

٦-۱۰ بار روی قالب‌ها

بارهای متعددی بر قالب‌ها اعمال می‌شوند که به شرح زیر می‌باشند [۵-۷]:

قالب‌های افقی

بارهایی که به سازه قالب‌های افقی مانند دال‌ها وارد می‌شوند به شرح زیر می‌باشند:

- وزن قالب: بسته به جنس قالب بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع (۰/۲ تا ۱ $kN/m^۲$)
- بار زنده: شامل وزن افراد، تجهیزات بتن‌ریزی و تراکم بتن حدود ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمربع (۳ $kN/m^۲$)

مجموع بارهای زنده و مرده (وزن قالب) نباید کمتر از ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع (۵ $kN/m^۲$) در نظر گرفته شود.

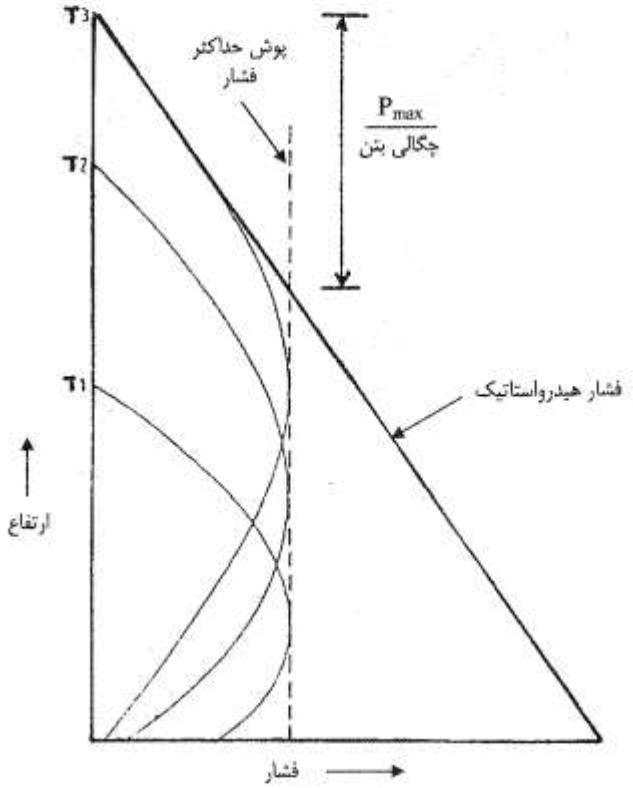
- وزن بتن: وزن بتن همراه با آرماتور حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۵ $kN/m^۳$) در نظر گرفته می‌شود.

قالب‌های عمودی

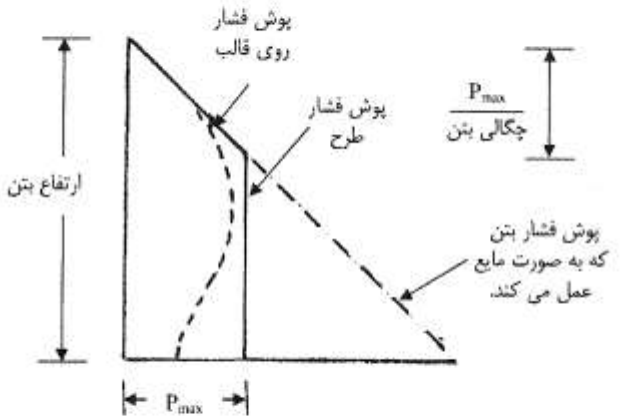
فشار وارد بر قالب‌های عمودی مانند ستون‌ها و دیواره‌ها تابع وزن مخصوص بتن، سرعت بتن‌ریزی و درجه حرارت بتن است. فشار قالب بر سطح عمودی مانند فشار مایع است. بتن تازه بر سطوح قالب عمودی فشار وارد می‌کند که محاسبه این فشار برای طراحی کردن قالب‌ها بسیار حائز اهمیت است. عوامل متعددی بر مقدار فشار جانبی مؤثرند که از جمله می‌توان وزن مخصوص بتن، سرعت بتن‌ریزی، درجه حرارت بتن و مقطع قالب (دیوار و ستون) را نام برد.

در هنگام بتن‌ریزی، بتن تازه مانند مایع رفتار می‌کند و فشار جانبی تولید می‌کند. تغییرات فشار در ارتفاع در شکل ۶-۹ نشان داده شده است. در بخش بالایی دیوار، پوش[۱۳] فشار واقعی و طرح با هر دوی مواد مایع و هم غیرمایع مطابقت دارد. همان‌طور که در شکل ۶-۹ مشاهده می‌شود، منحنی‌های فشار با زمان تغییر می‌کند، زیرا بتن‌ریزی در دیوار به صورت مرحله‌ای انجام می‌شود. پوش تمام این منحنی‌ها با خطچین در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است. همچنین در این شکل فشار طرح[۱۴] نیز مشخص است. پوش فشار طرح در بخش بالا به صورت مایع عمل می‌کند، اما در پایین با پوش مایع مطابقت ندارد و کمتر از فشار مایع می‌باشد. همچنین در هر دو شکل ۶-۹ و ۶-۱۰ مشاهده می‌شود که از یک ارتفاع معین فشار طرح کم می‌شود و در بالاترین نقطه به صفر می‌رسد. بنابراین نیاز نیست که قالب برای تمام ارتفاع با یک مقاومت طراحی شود (هرچند در عمل چنین نیست و قالب برای مقاومت طرح P_{max} طراحی می‌شود). این کاهش فشار در ارتفاع بر اساس فرمول $\frac{\text{فشار حداکثر}}{\text{چگالی بتن}}$ محاسبه می‌شود.

[13]. *Envelope*
[14]. *Design pressure*



شکل ۶-۹: پوش حداکثر فشار در زمان‌های مختلف بتن‌ریزی



شکل ٦-١٠: پوش فشار طرح

٦-١٠-١ محاسبه فشار جانبی بتن بر اساس ACI

در این بخش روابط فشار جانبی بر قالب بر اساس ACI 347 [۲] ارائه شده است. رابطه ۶-۱۷ به عنوان فرمول پایه فشار جانبی بتن بر قالب می‌باشد.

$$P = \rho g h \ (kPa) \qquad (۱۷-۶)$$

که در آن:

P: فشار جانبی، kPa

ρ: چگالی بتن، kg/m^3

g: ثابت نیروی ثقل، ۹/۸۱ N/kg

h: ارتفاع بتن پلاستیک، m

در واقع h ارتفاع بتن پلاستیک از بالای نقطه جاگذاری بتن تا نقطه‌ای از قالب که مورد نظر است. اگر قالب به سرعت پر شود بدون آن که بتن حاصل از بتن‌ریزی قبلی سفت شده باشد، می‌توان h را برابر با ارتفاع کامل بتن‌ریزی در نظر گرفت. اگر بتن‌ریزی در چندین مرحله انجام می‌شود، h باید فاصله بین درزهای ساخت در نظر گرفته شود.

فشار قالب ستون

برای محاسبه حداکثر فشار جانبی P_{max} بتن‌ها با اسلامپ ۱۷۵ میلیمتر یا کمتر که در قالب ستون جاگذاری می‌شوند، از فرمول ۶-۱۸ استفاده می‌شود.

$$P_{max} = C_w C_c \left[۷/۲ + \frac{۷۸۵R}{T + ۱۷/۸} \right] \qquad (۱۸-۶)$$

که در آن:

P_{max}: فشار حداکثر جانبی، kPa

R: نرخ جاگذاری بتن، m/h

T: دمای بتن در هنگام جاگذاری، $°C$

C_w: ضریب چگالی بتن

C_c: ضریب شیمی

ضریب چگالی بتن (C_w) تابع چگالی بتن است و برای بتن‌ها با چگالی ۲۲۴۰ تا ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب برابر با ۱ است. اگر چگالی بتن بیشتر از کیلوگرم بر مترمکعب باشد، C_w افزایش می‌یابد و اگر چگالی کمتر از مقدار مذکور باشد، C_w کمتر از ۱ خواهد بود (نباید کمتر از ۰/۸۰ در نظر گرفته شود). به هر حال در این بخش برای محاسبات از ضریب برابر با ۱ استفاده می‌شود.

ضریب شیمی(C_c) تابع نوع سیمان و نوع مواد افزودنی معدنی و شیمیایی است و مقدار C_c بین ۱ تا ۱/۴ است. هرچه خاصیت دیرگیری سیمان یا مواد بیشتر باشد، مقدار بیشتر C_c در محاسبه فشار بتن استفاده می‌شود. اگر ضریب C_c برابر با ۱ فرض شود، فرمول ۶-۱۸ به فرمول ۶-۱۹ تبدیل می‌شود.

$$P_{max} = ۷/۲ + \frac{۷۸۵R}{T + ۱۷/۸} \qquad (۱۹-۶)$$

مقدار محاسبه شده P_{max} از فرمول ۶-۱۹ نباید از ۳۰ کیلوپاسکال کمتر و از ρgh (فرمول ۶-۱۷) بیشتر باشد.

فشار قالب دیوار

برای دیوارها با نرخ جاگذاری بتن کمتر از ۲/۱ متر بر ساعت و ارتفاع جاگذاری کمتر از ۴/۲ متر، P_{max} از فرمول ۶-۲۰ که مشابه فرمول محاسبه فشار قالب ستون می‌باشد، محاسبه می‌شود.

$$P_{max} = C_w C_c \left[۷/۲ + \frac{۷۸۵R}{T + ۱۷/۸} \right] \qquad (۲۰-۶)$$

اگر $C_w C_c$ برابر با ۱ فرض شود:

$$P_{max} = ۷/۲ + \frac{۷۸۵R}{T + ۱۷/۸} \qquad (۲۱-۶)$$

مقدار محاسبه شده P_{max} باید حداقل برابر با kpa ۳۰ و نباید از ρgh بیشتر باشد.

برای دیوارها با نرخ جاگذاری بتن کمتر از ۲/۱ متر بر ساعت و ارتفاع جاگذاری بیشتر از ۴/۲ متر و برای تمام دیوارها با نرخ جاگذاری ۲/۱ تا ۴/۵ متر بر ساعت ، P_{max} از فرمول ۶-۲۲ محاسبه می‌شود.

$$P_{max} = C_w C_c \left[۷/۲ + \frac{۱۱۵۶}{T + ۱۷/۸} + \frac{۲۳۴R}{T + ۱۷/۸} \right] \qquad (۲۲-۶)$$

اگر $C_w C_c$ برابر با ۱ فرض شود:

$$P_{max} = ۷/۲ + \frac{۱۱۵۶}{T + ۱۷/۸} + \frac{۲۳۴R}{T + ۱۷/۸} \qquad (۲۲-۶)$$

مقدار P_{max} باید حداقل ۳۰ کیلوپاسکال و حداکثر برابر با ρgh در نظر گرفته شود.

در فرمول‌های ارائه شده، ستون‌ها اعضای عمودی هستند که هیچ یک از ابعاد آنها از ۲ متر بیشتر نیست و دیوارها اعضای عمودی هستند که حداقل یک بعد آن بزرگتر از ۲ متر است.

محاسبه فشار جانبی بتن بر اساس *CIRIA* [۱۵]

فشار جانبی بتن بر اساس فرمول ۶-۲۴ و ۶-۲۵ به دست می‌آید. هر یک از مقادیر P_1 , P_2 کمتر باشد، به عنوان P_{max} در نظر گرفته می‌شود [۸ و ۹].

$$P_۱ = D\left[C_۱\sqrt{R} - C_۲K\sqrt{(H - C_۱\sqrt{R})}\right] \qquad (۲۴-۶)$$

$$P_۲ = Dh \qquad (۲۵-۶)$$

که در آنها:

P_{max}: حداکثر فشار قالب بر قالب، $kN/m^۲$

C_1: ضریب تابع اندازه و شکل قالب، برای دیوار ۱ و برای ستون ۱/۵ است.

C_2: ضریب تابع خصوصیات مصالح مصرفی در بتن. برای مثال اگر مواد دارای خاصیت کندگیر باشند، برابر با ۰/۴۵ و درغیر اینصورت برابر با ۰/۳۰ است. اگر از مواد با خاصیت کندگیری زیاد استفاده می‌شود (مانند خاکستر بادی) C_2 برابر با ۰/۶ است.

H: ارتفاع عمودی قالب، m

h: ارتفاع عمودی بتن‌ریزی، m

[۱۵]. *Construction Industry Research and Information Association*

K: ضریب دمای بتن برابر است با $\left(\frac{۳۶}{T+۱۶}\right)^۲$

T: دمای بتن در هنگام جاگذاری، $^\circ C$

R: نرخ بتن‌ریزی در قالب، m/h

D: وزن چگالی بتن، $kN/m^۳$

۶-۱۱ مثال محاسبه فشار قالب دیوار

قرار است که قالب یک دیوار به ارتفاع ۵ متر طراحی شود. سرعت بتن‌ریزی ۱/۵ متر بر ساعت است و دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی $۲۵^\circ C$ می‌باشد. فشار جانبی بتن را بر اساس CIRIA , ACI محاسبه کنید.

بر اساس ACI:

$$P = \rho g h$$

$$= ۲۴۰۰ \times \frac{۹/۸۱}{۱۰۰۰} \times ۵ = ۱۱۷/۷۲ \quad kPa$$

$$P_{max} = ۷/۲ + \frac{۱۱۵۶}{T + ۱۷/۸} + \frac{۲۴۴R}{T + ۱۷/۸}$$

$$= ۷/۲ + \frac{۱۱۵۶}{۲۵ + ۱۷/۸} + \frac{۲۴۴ \times ۱/۵}{۲۵ + ۱۷/۸}$$

$$= ۷/۲ + ۲۷/۱۴ + ۸/۵۵ = ۴۲/۸۹ \quad kPa$$

بنابراین P_{max} از مقدار P=۱۱۷/۷۲ kPa کمتر و از مقدار ۳۰ کیلوپاسکال بیشتر است. پس مقدار P_{max} برابر با ۴۲/۸۹ کیلوپاسکال (۴۲/۸۹ $kN/m^۲$) می‌باشد.

بر اساس CIRIA:

$$P_۱ = D\left[C_۱\sqrt{R} - C_۲K\sqrt{(H - C_۱\sqrt{R})}\right]$$

$$= ۲۴\left[۱ \times \sqrt{۱/۵} + ۰/۳ \times \left(\frac{۳۶}{۲۵ + ۱۶}\right)^۲ \sqrt{(۵ - ۱ \times \sqrt{۱/۵})}\right]$$

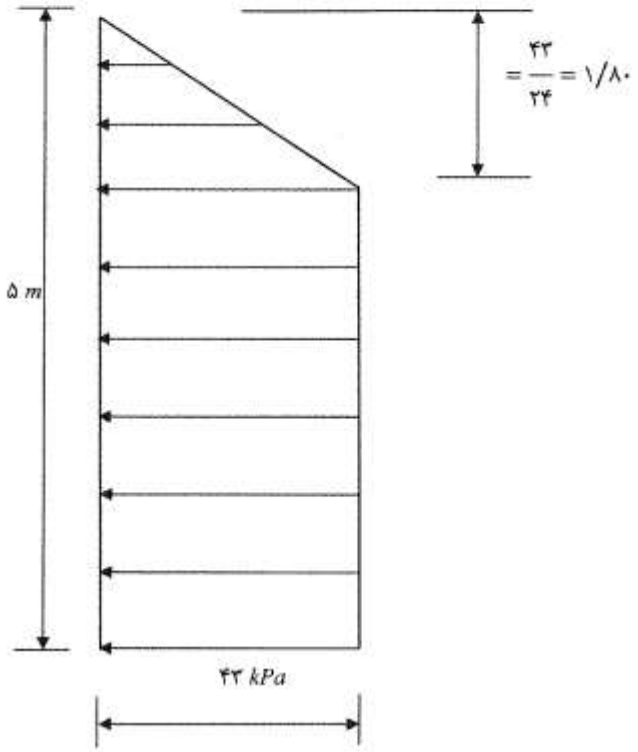
$$= ۲۴\left[۱/۲۲ + ۰/۲۳ \times ۱/۹۴\right] = ۴۰$$

$$P_۲ = Dh$$

$$= ۲۴ \times ۵ = ۱۲۰ \quad kPa$$

مقدار P_{max} برابر با کمترین مقدار $P_۱$، $P_۲$ است. بنابراین P_{max} برابر با ۴۰ کیلوپاسکال (۴۰ $kN/m^۲$) است.

مقایسه نتایج محاسبه بر اساس CIRIA , ACI نشان می‌دهد که مقدار P_{max} نزدیک به یکدیگر می‌باشند. پس برای احتیاط مقدار بیشتر یعنی P_{max} برابر با حدود ۴۳ کیلوپاسکال انتخاب می‌شود.



شکل ٦-۱۱: نمودار فشار جانبی

٦-۱۲ مثال طراحی قالب دیوار

بر اساس اطلاعات داده شده در مثال فشار جانبی، قالب دیوار طراحی می‌شود [۱].

گام اول: فشار جانبی بتن

فشار بتن بر تخته رویه برابر با ۴۳ کیلوپاسکال محاسبه شد.

$$۱\ kPa = ۱۰۰۰\ Pascal = ۰/۰۰۱\ MPa$$

$$۱\ Pascal = ۱\ N/m^۲$$

$$۱\ MPa = ۱\ N/mm^۲$$

$$۴۳\ kPa = ۴۳۰۰۰\ N/m^۲ = ۰/۰۴۳\ N/mm^۲$$

اگر فشار قالب برای ۱ متر عرض در نظر گرفته شود: $۴۳\ kN/m$

گام دوم: انتخاب ورق رویه و محاسبه فاصله پشت بندهای قائم

ورق تخته لایه‌ای با ضخامت ۲۲ میلیمتر انتخاب می‌شود و مشخصات و تنش‌های مجاز آن از جداول ۶-۲ و ۶-۳ استخراج می‌شوند:

$$I = ۴۰۴۰۰۰\ mm^۴$$

$$Z = ۳۱۴۰۰\ mm^۳$$

$$Ib/Q = ۱۸۱۱۰\ mm^۲$$

$$f_b = ۸/۵\ MPa$$

$$E = ۱۰۵۰۰\ MPa$$

$$F_s = ۰/۴\ MPa$$

محاسبه فواصل پشت‌بندهای قائم:

کنترل خمش:

$$L = ۳/۱۶\sqrt{\frac{f_b Z}{w}} = ۳/۱۶ \times \sqrt{\frac{۸/۵ \times ۳۱۴۰۰}{۴۳}}$$

$$= ۲۴۹\ mm$$

کنترل خیز:

$$L = ۰/۸۱ \times \sqrt[۳]{\frac{EI}{w}} = ۰/۸۱ \times \sqrt[۳]{\frac{۱۰۵۰۰ \times ۴۰۴۰۰۰}{۴۳}}$$

$$= ۳۷۴\ mm$$

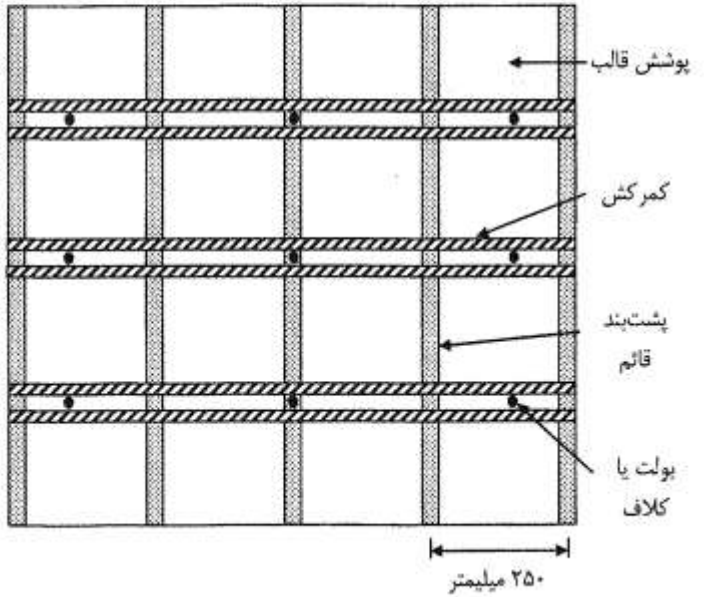
کنترل برش:

$$L = \frac{F_s}{۰/۶w} \times \frac{Ib}{Q} = \frac{۰/۴ \times ۱۸۱۱۰}{۰/۶ \times ۴۳}$$

$$= ۲۸۰\ mm$$

بنابراین فاصله پشت‌بندهای قائم بر اساس کنترل خمش ۲۵۰ میلیمتر انتخاب می‌شود.

گام سوم: تعیین اندازه پشت‌بندهای قائم و محاسبه فواصل کمرکش‌ها



اکنون که فاصله پشت‌بندهای قائم تعیین شد، باید اندازه پشت‌بندها یعنی اندازه الوارها را تعیین کرد.

اگر از چهار تراش یا الوار ۵۰×۱۰۰ میلیمتر استفاده شود:

$$I = \frac{bd^۳}{۱۲} = \frac{۵۰ \times ۱۰۰^۳}{۱۲} = ۴۱۶۶۶۶۶\ mm^۴$$

$$Z = \frac{bd^2}{6} = \frac{50 \times 100^2}{6} = 83333\ mm^3$$

مقدار وارده بر پشت‌بندهای قائم:

$$w = \text{فشار بتن} \times \text{فاصله پشت بند ها}$$

$$= 0/25 \times 43 = 10/75\ kN/m\ \ or\ \ N/mm$$

با مشخص شدن مقدار بار وارد بر پشت‌بندهای قائم می‌توان فواصل کمرکش‌ها را محاسبه کرد:

کنترل خمش:

$$L = 3/16\sqrt{\frac{f_b Z}{w}}$$

از جدول ۶-۱ تنش‌های الوار $f_b = 9\ MPa$ انتخاب می‌شود.

$$L = 3/16 \times \sqrt{\frac{9 \times 83333}{10/75}} = 834\ mm$$

کنترل خیز:

از جدول ۶-۱، مقدار E برابر با ۱۰۰۰۰ مگاپاسکال تعیین می‌شود.

$$L = 0/81 \times \sqrt[3]{\frac{EI}{w}} = 0/81\sqrt[3]{\frac{10000 \times 41666666}{10/75}}$$

$$= 1272\ mm$$

کنترل برش:

$$L = \frac{F_s bd}{0/9w}$$

از جدول ۶-۱، $F_s = 1\ Mpa$ انتخاب می‌شود:

$$L = \frac{1 \times 50 \times 100}{0/9 \times 10/75} = 516\ mm$$

بنابراین فواصل کمرکش‌ها ۵۰۰ میلیمتر انتخاب می‌شود. اما از آنجایی که فشار جانبی بر قالب در بالا کمتر است، می‌توان فواصل کمرکش‌ها را افزایش داد.

گام چهارم: تعیین اندازه کمرکش‌ها و محاسبه فواصل کلاف‌ها (بولت‌ها).

ابتدا باید مقدار بار وارده بر کمرکش‌ها بر اساس فواصل کمرکش‌ها محاسبه شود:

$$w = 0/5 \times 43 = 21/5\ \ \ kN/m$$

برای تعیین ابعاد کمرکش‌ها بر اساس رابطه خمش از اساس مقطع *(z)* استفاده می‌شود.

از جدول ۶-۱ مقدار f_b=۱۰ Mpa تعیین می‌شود.

$$f_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{wL^2}{10} = \frac{21/5 \times 500^2}{10} = 537500\ kN.mm$$

$$Z = \frac{M}{f_b} = \frac{537500}{10} = 53750\ mm^3$$

اگر از چهار تراش ۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر استفاده شود، اساس مقطع هر کدام برابر با ۱۶۶۶۶ میلیمتر مکعب است و برای دو عدد چهار تراش مقدار z برابر با ۳۳۳۳۳۳ میلیمتر مکعب خواهد بود که بیشتر از z مورد نیاز است.

کنترل برش:

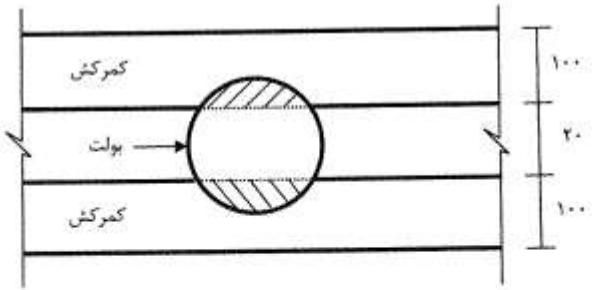
$$F_s = \frac{۰/۹wL}{bd} = \frac{۰/۹ \times ۲۱/۵ \times ۵۰۰}{۲ \times ۱۰۰ \times ۱۰۰} = ۰/۴۸ < ۱/۰ \ MPa$$

بنابراین تنش برشی کمتر از مقدار مجاز است و بنابراین چهار تراش ۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر به فواصل ۵۰۰ میلیمتر مناسب است.

برای کنترل لهیدگی باید سطح تماس مهره کلاف با کمرکش‌ها و بار وارده بر کلاف‌ها محاسبه شود. با فرض فواصل ۵۰ سانتیمتری برای کلاف‌ها داریم:

فاصله کلاف ها × بار وارده بر کمرکش ها = بار وارده بر کلاف

$$= ۲۱/۵ \times ۰/۵ = ۱۰/۷۵ \ kN$$



$$\text{سطح تماس} = \frac{\pi d^۲}{۴} - (d \times ۲۰)$$

$$\text{سطح تماس} = \frac{\pi \times ۹۰^۲}{۴} - ۹۰ \times ۲۰ = ۴۵۶۱ \ mm^۲$$

$$\text{تنش لهیدگی} = \frac{\text{بار وارده}}{\text{سطح تماس}} = \frac{۱۰۷۵۰}{۴۵۶۱} = ۲/۳۵ < ۵$$

بنابراین امکان لهیدگی وجود ندارد و کلاف ایمن است.

۱۳-۶ مثال طراحی قالب دال

طراحی قالب دال مشابه قالب عمودی باید کنترل خمش، برش و خیز بر اجزا اعمال شود. در این بخش یک مثال قالب دال ارائه شده است:

قرار است که یک قالب دال طراحی شود. ارتفاع بتن بر روی قالب دال ۱۵۰ میلیمتر و ارتفاع سقف ۲/۴ متر است. برای ورق پوشش قالب از ورق لایه استفاده می‌شود.

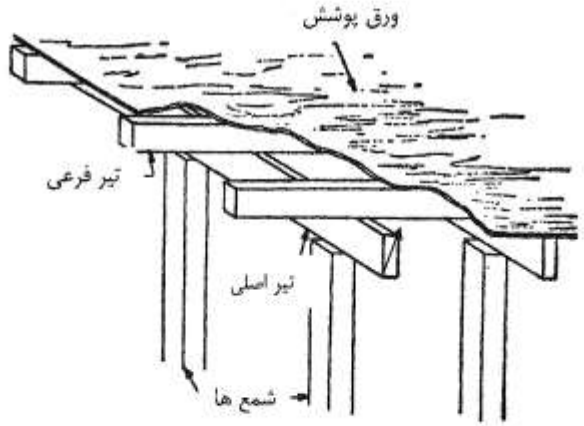
گام اول: مقدار بار بر روی پوشش

بار مرده بتن $= ۰/۱۵ \times ۲۵ = ۳/۷۵\ kN/m^۲$

بار زنده $= ۳\ kN/m^۲$

وزن قالب $= ۰/۴۵\ kN/m^۲$

کل بار $= ۷/۲\ kN/m^۲$



گام دوم: انتخاب ورق رویه محاسبه فواصل تیرچه‌ها

تخته لایه با ضخامت mm ۱۸ انتخاب می‌شود. بنابراین مشخصات و تنش‌ها را جداول ۶-۲ و ۶-۳ به شرح زیر است:

$I = ۲۴۶۰۰۰\ mm^۴$

$Z = ۲۳۱۰۰\ mm^۳$

$Ib/Q = ۱۴۸۴۰\ mm^۲$

$f_b = ۸/۵\ MPa$

$E = ۱۰۵۰۰\ MPa$

$F_s = ۰/۴\ MPa$

اگر عرض تخته یک متر در نظر گرفته شود:

$w = ۷/۲ \times ۱ = ۷/۲\ kN/m$

محاسبه فواصل تیرچه‌ها:

کنترل خمش:

$$L = ۳/۱۶\sqrt{\frac{f_b Z}{w}} = ۳/۱۶ \times \sqrt{\frac{۸/۵ \times ۲۳۱۰۰}{۷/۲}}$$

$$= ۵۲۲\ mm$$

کنترل خیز:

$$L = ۰/۸۱ \times \sqrt[۴]{\frac{EI}{w}} = ۰/۸۱ \times \sqrt[۴]{\frac{۱۰۵۰۰ \times ۲۴۶۰۰۰}{۷/۲}}$$

$$= ۵۷۶ \ mm$$

کنترل برش:

$$L = \frac{F_s}{۰/۶w} \times \frac{Ib}{Q} = \frac{۰/۴ \times ۱۴۸۴۰}{۰/۶ \times ۷/۲}$$

$$= ۱۳۷۴ \ mm$$

بنابراین فاصله تیرچه‌ها ۵۲۰ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود.

گام سوم: تعیین اندازه تیرچه‌ها و محاسبه فاصله تیرهای اصلی

برای تیرچه‌ها از الوار ۱۰۰×۵۰ میلیمتر استفاده می‌شود.

$$I = \frac{bd^۳}{۱۲} = \frac{۵۰ \times ۱۰۰^۳}{۱۲} = ۴۱۶۶۶۶ \ mm^۴$$

$$Z = \frac{bd^۲}{۶} = \frac{۵۰ \times ۱۰۰^۲}{۶} = ۸۳۳۳۳ \ mm^۳$$

بار وارده بر تیرچه‌ها:

$$w = ۰/۵۲ \times ۷/۲ = ۳/۷۵ \ kN/m$$

محاسبه فواصل تیرهای اصلی:

بر اساس جدول ۶-۱، مقدار f_b =۱۰ MPa ،E =۱۰۰۰ MPa و F_s =۱ MPa است. بنابراین:

کنترل خمش:

$$L = ۳/۱۶ \sqrt{\frac{f_b Z}{w}} = ۳/۱۶ \times \sqrt{\frac{۱۰ \times ۸۳۳۳۳}{۳/۷۵}}$$

$$= ۱۴۹۰ \ mm$$

کنترل خیز:

$$L = ۰/۸۱ \times \sqrt[۴]{\frac{EI}{w}} = ۰/۸۱ \times \sqrt[۴]{\frac{۱۰۰۰۰ \times ۴۱۶۶۶۶۶}{۳/۷۵}}$$

$$= ۱۸۰۷ \ mm$$

کنترل برش:

$$L = \frac{F_s bd}{۰/۹w} = \frac{۱ \times ۵۰ \times ۱۰۰}{۰/۹ \times ۳/۷۵}$$

$$= ۱۴۸۱ \ mm$$

بنابراین فاصله تیرهای اصلی بر اساس کنترل برش ۱۴۰۰ میلیمتر انتخاب می‌شود.

گام چهارم: تعیین اندازه تیرهای اصلی و فواصل پایه‌ها

برای تیرهای اصلی از الوارهای ۱۵۰×۱۰۰ میلیمتر استفاده می‌شود.

$$I = \frac{bd^3}{12} = \frac{100 \times 150^3}{12} = 28125000\ mm^4$$

$$Z = \frac{bd^2}{6} = \frac{100 \times 150^2}{6} = 375000\ mm^3$$

بار وارده بر تیرهای اصلی:

$$w = 7/2 \times 1/40 = 10/08\ kN/m$$

کنترل خمش:

$$L = 3/16\sqrt{\frac{f_b Z}{w}} = 3/16 \times \sqrt{\frac{10 \times 375000}{10/08}}$$

$$= 1927\ mm$$

کنترل خیز:

$$L = 0/81 \times \sqrt[3]{\frac{EI}{w}} = 0/81 \times \sqrt[3]{\frac{10000 \times 28125000}{10/08}}$$

$$= 2456\ mm$$

کنترل برش:

$$L = \frac{F_s bd}{0/9w} = \frac{1 \times 100 \times 150}{0/9 \times 10/08}$$

$$= 1653\ mm$$

بنابراین حداکثر فاصله پایه‌ها بر اساس کنترل خیز حدود ۱۵۰۰ میلیمتر (۱/۵ متر) در نظر گرفته می‌شود. فاصله تیرهای اصلی ۱/۴۰ متر و فاصله پایه‌ها (شمع‌ها) ۱/۵ متر است.

بنابراین سطح پایه باربر هر پایه برابر است با:

$$A = 1/5 \times 1/40 = 2/1\ m^2$$

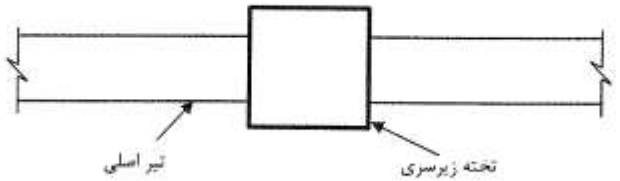
مقدار بار روی هر پایه $= 7/2 \times 2/1 = 15/12\ kN$

ارتفاع سقف برابر با ۲/۴ متر است، بنابراین بر اساس جدول پایه‌ها، مقطع پایه ۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر انتخاب می‌شود که ظرفیت باربری آن kN ۲۳ است (جدول ۶-۴).

کنترل لهیدگی:

$$f_c = \frac{\text{مقدار بار روی پایه}}{\text{سطح تماس}} = \frac{15/12 \times 1000}{150 \times 150} = 0/672\ N/mm^2 \quad OK$$

سطح تماس ۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر به تخته زیر سری تعلق دارد.



در جدول ۶-۴، ظرفیت باربری پایه‌های چوبی به عنوان راهنما ارائه شده است.

جدول ٦-٤: ظرفیت باربری پایه‌ها (شمع‌ها)

ارتفاع سقف یا پایه‌ها (m)	اندازه اسمی (mm) و ظرفیت باربری (kN)				
	۱۰۰×۵۰	۷۵×۱۰۰	۱۰۰×۱۰۰	۱۰۰×۱۵۰	۱۵۰×۱۵۰
۱/۲	۷/۵۰	۲۶	۳۹	۶۲	۱۰۰
۱/۸	۳/۵۳	۱۵	۳۵	۵۲	۹۸
۲/۴	–	۸/۸	۲۴	۳۷	۹۳
۳	–	۵/۳	۱۵	۲۳	۸۳
۴/۵	–	–	–	–	۴۱
۶	–	–	–	–	۲۳

حداکثر ضریب لاغری ($\frac{L}{d_{max}}$) باید مساوی یا کمتر از ۵۰ باشند.

٦-١٤ زمان قالب‌برداری

در صورتی که زمان قالب‌برداری در طرح تعیین و تصریح نشده باشد باید زمان‌های داده شده در جدول ۶-۵ (بر اساس آیین‌نامه بتن ایران) را به عنوان حداقل زمان لازم برای برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها ملاک قرار داد.

جدول ٦-٥: زمان قالب‌برداری

شرح نوع قالب‌بندی		دمای مجاور سطح بتن (درجه سیلسیوس)			
		۲۴ و بالاتر	۱۶	۸	۰
قالب‌های قائم، ساعت		۹	۱۲	۱۸	۳۰
دال‌ها	قالب زیرین، روز	۳	۴	۶	۱۰
	پایه‌ها، روز	۷	۱۰	۱۵	۲۵
تیرها	قالب زیرین، روز	۷	۱۰	۱۵	۲۵
	پایه‌ها، روز	۱۰	۱۴	۲۱	۳۶

زمان‌های داده شده در صورتی معتبرند که شرایط زیر برقرار باشد [۱-۴]:

- بتن با سیمان پرتلند معمولی یا ضد سولفات تهیه شده باشد.
- در صورتی که در ضمن سخت شدن بتن دمای محیط به کمتر از صفر درجه سیلسیوس تنزل کند زمان‌های داده شده را باید به تناسب و حداقل به اندازه مدت یخبندان افزایش داد.
- در صورت استفاده از سیمان با مقاومت زودرس می‌توان زمان‌های داده شده را کاهش داد.
- در صورت استفاده از مواد کندگیر کننده باید زمان‌های داده شده را افزایش داد.
- پس از قالب‌برداری سطوح قائم باید بلافاصله عمل آوردن بتن به روش مقتضی برای محافظت آن در برابر گرما یا سرمای محیط شروع شود.

– در صورتی که عمل آوردن تسریع شده با قالب‌بندی خاصی نظیر قالب‌های لغزان مورد نظر باشد تقلیل زمان‌های داده شده امکان‌پذیر است.

منابع فصل ششم:

1- *ACI, SP4, Formwork for Concrete, Special Publication, American Concrete Institute, 2005.*

2- *ACI Committee 347, Guide to Formwork for Concrete, American Concrete Institute, 2004.*

3- *Stalnaker, J.J., and Harris, E.C., Structural Design in Wood, 2nd Edition, Champman & Hall, 1997.*

4- *Nemati, K.M., Formwork for Concrete, University of Washington, Department of Construction Management, Lesson file, 2007.*

5- *Mindess, S., Young, J.F., and Darwin, D., Concrete, Prentice Hall, 2003.*

6- *Fossa, K.T., Slip forming of Vertical Concrete Structure, Friction Between Concrete and Slip form Panel, Narwegian University of Science and Technology, 2001.*

7- *Zayed, T., Sharifi, M.R., Baciu, S., and Amer, M., Slip-form Application to Concrete Structures, Journal of Construction Engineering and Management, V. 134, No. 3, 2008, pp. 157-168.*

پایان