



معرفی انواع سقف

(مخصوص سازه بتنی)

سقف پیش تنیده (کابلی)



احسان بهلولی

پاییز ۱۳۹۷



معرفی سقف پیش تنیده(کابلی)

استفاده از بتن پیش تنیده در ایجاد پل ها و ساختمان ها از حدود ۵۰ سال پیش تا کنون در سطح وسیع متداول شده است. با توجه به عیوب مختلف فولاد (ناپایداری الاستیک نیمرخ های فلزی، خوردگی و زنگ زدگی، فزونی بهای تولید و ...) امروزه اغلب پل ها و ساختمان های بزرگ از بتن پیش تنیده ساخته می شوند، اما برخلاف حالت بتن مسلح (غیر پیش تنیده)، مصالح مصرفی جهت این سازه ها (پیش تنیده) باید از کیفیت بسیار خوبی برخوردار باشند. در بتن پیش تنیده نیز مانند بتن مسلح از بتن که دارای مقاومت بسیار خوب فشاری است و فولاد استفاده می شود. پیش تنیدگی (pre-stressing) عبارتست از ایجاد یک تنش ثابت دائمی و به اندازه لازم در یک عضو بتنی بطوری که در اثر این تنش مقداری از تنش های ناشی از بار مرده و زنده در این عضو خنثی گردد و در نتیجه ظرفیت باربری عضو پیش تنیده افزایش یابد. بطور کلی می توان عمل خنثی نمودن تنش ها و یا متعادل نمودن

بارها (LoadBalancing) را اساس طراحی اعضای پیش تنیده دانست.

اگر نیروی فشاری مشخصی را از دو طرف به یک قطعه بتنی یا تیر پیش تنیده وارد بیاوریم می توان تنش کششی را در پائین عضو کاهش داد و یا به کلی آنرا خنثی نمود و تبدیل به تنش فشاری کرد که این اعمال نیرو تعادل بارهای خارجی می باشند.

بهینه ترین حالت در انتخاب مقدار نیروی پیش تنیده حالتی است که درصدی از بارها متعادل شود که منجر به کاهش میزان فولاد مصرفی و کنترل خیز و ترک در بتن (پیش تنیده) شود.

در بتن پیش تنیده ی پس کشیده پس از قرارگیری تاندون های ساخته شده از فولاد با مقاومت بالا داخل قطعه، بتن ریزی انجام میشود. بعد از رسیدن بتن به مقاومت لازم، کابل های فولادی بوسیله جک های مخصوص پیش تنیدگی تحت کشش قرار می گیرد.

سرعت بالای اجرا، مقاومت زیاد در برابر خوردگی، کاهش ضخامت دال ها، بالا رفتن مقاومت سقف های پیش تنیده، امکان استفاده از پلان نامنظم معماری، کنسول های بلند و بازشوهای نامنظم از جمله عوامل مزیت کاربرد سقف پیش تنیده می باشد.

کاربرد بتن پیش تنیده در ساختن دال های تخت از کشور آمریکا شروع شد و هم اکنون هم به طور گسترده ای در استرالیا، اروپا و شرق دور استفاده می شود. در ایران نیز در سال های اخیر این نوع دال ها مورد استفاده قرار گرفته اند. در بیشتر موارد دال هایی با ضخامت یکنواخت و تاندون های منحنی مورد استفاده قرار می گیرند، اما یک روش جدید، استفاده از دال های با ضخامت متغیر و تاندون های مستقیم است.



محافظت فولاد های پیش تنیدگی در برابر زنگ زدگی بسیار حائز اهمیت بوده و باید کابل ها توسط دوغاب سیمان که بعد از کشیدن کابل ها به داخل غلاف ها تزریق می شود و یا مواد قیری یا گریس که روی آن میمالند از زنگ زدگی محافظت شوند. برای رسیدن به یک طرح بهینه از لحاظ مقدار مصالح، وزن و هزینه، باید طراحی و اجرای دال به گونه ای انجام شود که پیش تنیدگی کامل حاصل گردد و بتوان از کل مقطع در فشار بهره جست. کنترل نیروی کشش کابل ها باید توسط جک های کالیبره شده دقیق انجام شود.

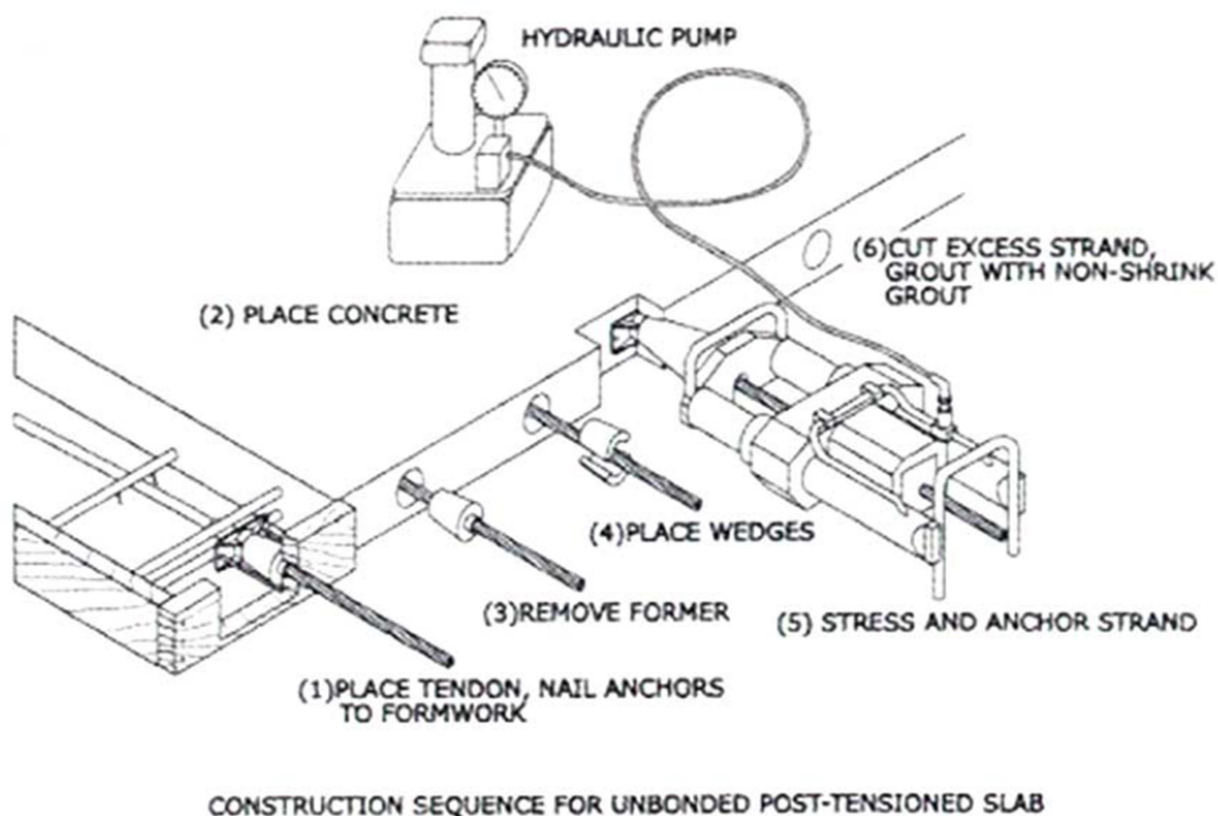
نیروی پس کشیدگی به جهت اصطکاک بین کابل و غلاف تخریب این سیستم سقف به دلیل وجود میلگردهای پیش تنیده بسیار پر خطر بوده و باید با روش های خاص توسط تیم فنی آموزش دیده، صورت گیرد. مقاومت گسیختگی تضمینافت به جهت شل شدگی فولادافست به دلیل لغزش مهار انتهایی و فرو رفتن گوه گیرداری در ابتدا و انتهای کابل شده ، انواع فولادهای پیش تنیدگی باید بین ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ نیوتن بر میلی متر مربع باشد





اجزای سقف پیش تنیده

- فولاد پیش تنیده عموماً متشکل از استرند های ۷ رشته ای، پوشیده شده توسط لوله ویا غلاف.
- ابزار مهاربندی (انکوریج یا گیره)، قالب (صفحه) مهاریک ابزار برای انتهای مرده (end dead) در صورتی که تاندون تنها در یک سر خود کشیده شود.
- آرماتور های تکیه گاهی تاندون ها یا خرک ها به دلیل پرفیل طراحی شده تاندون ها در اجرا .
- پاکت های جلویی برای فراهم کردن شکاف در لبه ها یا سطح عضو بتنی برای دماغه جک های تنیدگی.
- جک تنیدگی
- میکسر گروت و پمپ (برای سیستم های چسبنده)





مراحل اجرای سقف های پیش تنیده

قالب بندی

در این سیستم قالب بندی سقف مشابه دال بتنی معمولی (بتن آرمه) است. به منظور سهولت در نصب مهارهای انتهایی برای قالب های کنار دال از مصالح مناسب مانند چوب استفاده کرد

آرماتوربندی

آرماتورهای مورد نیاز شامل کلاف های کناری، آرماتورهای تقویتی روی ستون ها و دیوارها، آرماتورهای مربوط به برش پانچ آرماتورهای اطراف بازشوها و ... در این مرحله روی سقف نصب می شوند. حجم آرماتوربندی در این روش در مقایسه با دال بتن آرمه بسیار کمتر است و عملاً آرماتوربندی بصورت شبکه فوقانی و تحتانی وجود ندارد.

نصب کابل ها و مهارهای انتهایی

با توجه به نقشه های اجرایی کابل ها روی قالب قرار می گیرند و مهارهای انتهایی به لبه قالب متصل می شوند. معمولاً کابل ها ی دال روی بر هم در دو جهت عمود بر همبر روی دال می باشد. درحالت معمولی دریک جهت کابل ها بصورت متمرکز روی نوارهای ستونی قرار می گیرند (Tendons Banded) و درجهت دیگر با فاصله های یکنواخت حدود ۱/۵ متری توزیع می گردند (Distributed Tendons).

نصب Chair ها و تامین پروفیل کابل ها

برای استفاده بهینه از نیروی پیش تنیدگی موقعیت کابل نسبت به تار خنثی درطول دال تغییر می کند. معمولاً روی نقاط تکیه گاهی کابلها به تار فوقانی و در وسط دهانه به تار تحتانی نزدیک می شوند. به این انحنا اصطلاحاً (انحنا Profile) می گویند. جهت تامین پروفیل مناسب Chair هایی (یا خرک هایی) دراندازه های متفاوت با فاصلههای مشخصی قرار داده شده و کابل روی آنها قرار می گیرد





بتن ریزی

پس از بستن آرماتورها و قرارگیری کابل ها روی سقف بتن ریزی انجام می شود در این مرحله باید در مورد ویبره زدن اطراف مهار های انتهایی دقت کافی به خرج داده شود .

عملیات کشش

بعد از اینکه بتن به مقاومت فشاری مورد نیاز رسید می توان عملیات کشش کابل ها را آغاز نمود. هر کابل از یک طرف یا از هر دوطرف (در صورت نیاز) کشیده می شود. میزان افزایش طول هر کابل با توجه به طول و پروفیل آن محاسبه شده و پس از کشش نیز اندازه گیری می شوند. بدین ترتیب صحت اجرای عملیات کنترل می شود.





الزامات سیستم سقف پیش تنیده و پس کشیده

- رعایت حداقل رده بتن C۳۰ در این سیستم الزامی است.
- مقاومت گسیختگی تضمین شده انواع فولادهای پیش تنیده بین ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ نیوتن بر متر مربع است.
- محافظت کابل‌ها در برابر زنگ زدگی بسیار مهم بوده و باید توسط دوغاب سیمان (گروت) پس از کشش آنها محافظت شود.
- استفاده از این سیستم در دهانه‌های بیشتر از ۷ متر است.
- در استفاده از دال‌های تخت، در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور کنترل برش سوراخ کننده (PUNCH) بسیار حائز اهمیت است.
- در صورت استفاده از سیستم دال‌های تخت و ستون، ارتفاع ساختمان به ۱۰ متر یا حداکثر ۳ طبقه محدود می‌شود. در غیر این صورت استفاده از دیوار برش بتن آرمه الزامی خواهد بود.
- توجه به مساله افت در اعضای پیش تنیده پس کشیده بسیار حائز اهمیت است. محاسبه پیش بینی مقدار آن ناشی از موارد زیر، باید دقیقاً مورد توجه قرار گیرد.
- افت نیروی پس کشیدگی به جهت اصطکاک بین کابل و غلاف
- افت به دلیل لغزش مهار انتهایی و فرور فتن گوه گیرداری
- افت به جهت شل شدگی فولاد - کهولت کرنش
- جمع شدگی بتن و انقباض آن

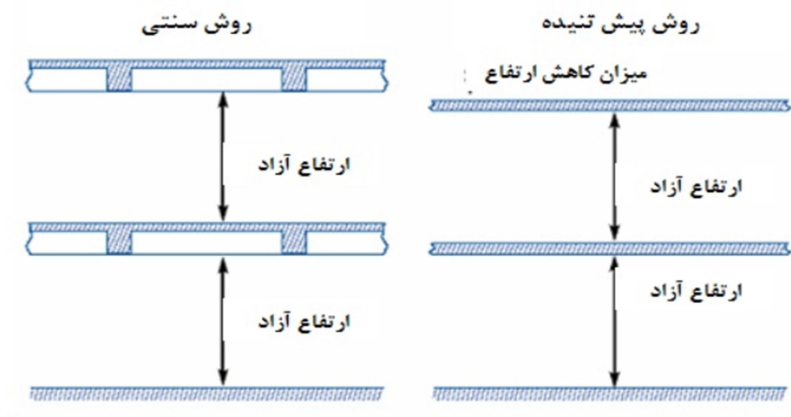


مزایای سقف پیش تنیده

در ساخت دال‌های پیش تنیده (Flat P.T Slabs) امکان ایجاد دهانه‌های بزرگتر یا افزایش فواصل بین ستون‌ها مهم‌ترین ویژگی بتن پیش‌تنیده نسبت به سقف غیر پیش‌تنیده می‌باشد. به دلیل بالانس نمودن تمام یا درصدی از بارهای ثقلی، افزایش دهانه مفید میسر خواهد بود به گونه‌ای که دهانه‌ها تا مرز ۱۲ متر یا بیشتر کاملاً قابل اجرا و اقتصادی می‌باشند. از ویژگی‌های این سیستم (پیش‌تنیده) در ساختمان‌های مسکونی، سهولت تأمین پارکینگ و مسیر حرکتی آن، آرایش ساده تر پلان‌ها بدون ستون‌های مزاحم، امکان ایجاد فضاهای کاملاً باز (Open Office) در ساختمان‌های اداری و تجاری، امکان تأمین پارکینگ بیشتر در پارکینگ‌های طبقاتی، امکان آرایش پلان‌های متنوع در پروژه‌های ساختمانی انبوه‌سازی، انعطاف پلان در مراکز خرید و هتل‌ها و نهایتاً در پروژه‌های مختلف امکانات بسیاری در دسترس کارفرمایان، طراحان و کاربران پروژه قرار می‌دهد.

کاهش ضخامت سقف و وزن سازه پیش تنیده

در این روش (پیش‌تنیده) بتن تحت فشار قرار می‌گیرد و مقطع بتنی ایجاد شده از ظرفیت بالاتری نسبت به سقف غیر پیش‌تنیده برخوردار خواهد شد. به همین جهت می‌توان ضخامت دال بتنی (پیش‌تنیده) را با استفاده از این روش تقریباً تا ۳۰٪ کاهش داد. کاهش ضخامت بتن دال پیش‌تنیده مستقیماً بر ارتفاع کل ساختمان اثر دارد که در نهایت به استفاده بهینه از ارتفاع منجر می‌گردد. برای مثال می‌توان در مناطقی که قید محدود کننده ارتفاع و یا ضوابط مربوط به هرم مطرح است طبقات بیشتری احداث (با کمک سقف پیش‌تنیده) نمود و یا ارتفاع سازه‌هایی که در خاک مدفون هستند را کمتر کرده و از حجم عملیات خاکبرداری کاست. همچنین در پارکینگ‌های طبقاتی از طول رمپ مسیرها کاسته شده به فضای مفید پارکینگ افزوده می‌گردد. علاوه بر مزایای فوق در سیستم پیش‌تنیده کاهش ضخامت سقف باعث کاهش وزن سازه گردیده که به تبع آن المان‌های باربر سازه‌ای مانند ستون‌ها و دیوارها نیز برای همین وزن کاهش یافته محاسبه می‌شوند. با توجه به کمتر شدن مقدار وزن سازه و همچنین کاهش ارتفاع ساختمان (کاهش در بازوی لنگر واژگونی) نیروهای زلزله اعمال شده به سازه (پیش‌تنیده) کاهش یافته و در مجموع سیستم عملکرد مطلوب‌تری در مقابل نیروهای زلزله خواهد داشت.





مطابق آئین نامه زلزله ایران در صورت استفاده از دیوار برشی، با استفاده از تکنیک

پس کشیدگی (پیش تنیده) امکان حذف کامل تیرها تا ۱۵ طبقه وجود دارد. در ساختمان‌های بلندتر که نیاز به سیستم مقاوم جنبی دوگانه الزامی است نیز می‌توان از ترکیب دیوارهای برشی و قاب پیرامونی بهره جست. با حذف آویز تیرها تعبیه شبکه های تأسیساتی در زیر سقف پیش تنیده به راحتی انجام می شود و عملیات نازک کاری و ایجاد سقف کاذب برای مدفون کردن تیرهایی که به لحاظ معماری باید پوشیده شوند حذف خواهد گردید.

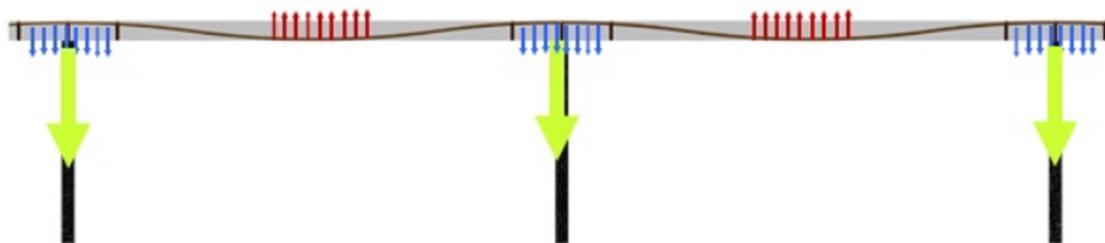
انعطاف بیشتر در پلان ها

به دلیل ماهیت درجا بودن عملیات پس کشیدگی (پیش تنیده) و نیز قابلیت نصب کابل‌ها در پلان و ارتفاع به صورت منحنی می‌توان هرگونه شکل را در پلان پیش تنیده ایجاد نمود. ساخت پلان‌های خاص نظیر بیضی، دایره، قطعاتی از منحنی، ترکیب خطوط صاف و منحنی کاملاً میسر بوده و طراح قادر خواهد بود تا طراحی با استفاده از عناصر معماری مدرن را به سادگی ارائه دهد.

به جهت امکان حرکت کابل‌ها در پلان و وجود نوارهای تیری مدفون، الزامی به در امتداد هم بودن محورهای ستون‌ها نبوده و قابلیت ستون گذاری در محورهای دلخواه سقف پیش تنیده (نه الزاماً روی محورهای از پیش تعیین شده) را به طراح می دهد. ایجاد کنسول‌های بلند و اجرای لبه دال به صورت اشکال دلخواه از دیگر مزایای شاخص این تکنیک (پیش تنیده) می باشد.

کنترل ترک، تغییر شکل و افزایش دوام سازه

در دال پیش تنیده به علت تحت فشار قرار گرفتن بتن در دو وجه عمود بر هم، ترک‌های جزئی پس از کشیده شدن استرندها حذف گردیده و عوامل مخرب به داخل بتن کمتر نفوذ می نمایند. لذا در مناطق با خطر خوردگی بالا سازه پیش تنیده اصولاً از دوام بالاتری نسبت به سازه های غیر پیش تنیده برخوردار بوده و به عنوان یکی از راه حل‌های عملی توصیه می شود. همچنین به دلیل نحوه خاص قرارگیری استرندها در بتن پیش تنیده و ایجاد بار بالانس تغییر شکل‌های ثقلی کاهش می یابند.





سیکل های اجرای کوتاه تر و سرعت در عملیات اجرا

استفاده از مصالح با مقاومت بالاتر (استرندها) باعث کاهش مصالح مصرفی، قالب بندی ساده تر، حذف تعداد زیادی از عناصر قائم نظیر ستون ها و حذف المان های افقی نظیر تیرها و در نهایت کمتر شدن نیروی انسانی مورد نیاز جهت اجرای پروژه های پیش تنیده خواهد شد، که انجام عملیات ساخت سازه پیش تنیده را در زمان کوتاه تری امکان پذیر می سازد. ضمن آن که انجام عملیات کشش در استرندها را می توان تا حصول درصدی از مقاومت بتن به صورت جزئی یا کلی انجام داد و از زمان درگیر بودن قالب ها در سقف پیش تنیده کاست. این موارد باعث خواهد شد تا سیکل اجرای هر طبقه سقف پیش تنیده ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش یابد که مطلوب نظر کارفرمایان و پیمانکاران می باشد.

مزایای اقتصادی در ساخت و بهره برداری

اثر پیش تنیدگی بر روی اقتصاد پروژه را می توان به دو بخش کاهش هزینه های مستقیم و کاهش هزینه های غیرمستقیم تقسیم بندی نمود.

کاهش هزینه های مستقیم

استفاده از مصالح با مقاومت بالاتر و استفاده بهینه از بتن باعث خواهد شد از حجم مصالح مصرفی به طور ملموسی کاسته شود به طوری که در دهانه های هفت و نیم متر به بالا استفاده از روش های پیش تنیدگی نسبت به استفاده از روش های معمول بتن آرمه (غیر پیش تنیده) اقتصادی تر خواهد بود. استفاده از پیش تنیدگی بسته به مورد باعث کاهش میزان مصرف آرماتور، کاهش میزان مصرف بتن و در نهایت کاهش هزینه مصالح می گردد. همچنین این سیستم (پیش تنیده) به کاهش سطوح قالب بندی و کاهش زمان اجرا می توان اشاره نمود که مستقیماً موجب کاهش هزینه های نیروی انسانی مربوط به پروژه می گردد.

کاهش هزینه های غیرمستقیم

به طور معمول هزینه انجام عملیات اسکلت ساختمان بین ۲۵٪ تا ۳۵٪ کل هزینه های ساختمان را پوشش می دهد و مابقی هزینه ها مربوط به کف سازی، تیغه بندی، تأسیسات برقی و مکانیکی، نازک کاری و ادوات داخلی خواهد شد. هر عاملی که در عملیات اجرای اسکلت باعث کاهش حجم سایر عملیات اجرایی ساختمان گردد به طور غیرمستقیم در هزینه های تمام شده مؤثر خواهد بود. عواملی چون کاهش ضخامت سقف پیش تنیده و کاهش ارتفاع طبقات تا ۱۰٪ از میزان مصالح در اجرای نما و تیغه بندی داخلی و خارجی، تأسیسات مکانیکی و برقی و ... خواهد کاست، که این رقم بین ۵٪ تا ۱۰٪ در کل پروژه تأثیرگذار خواهد بود.

عوامل دیگری مانند نیاز کمتر سازه به تعمیر و نگهداری، دوام بیشتر، کنترل تغییر شکل در زمان بهره برداری و به تبع آن افزایش طول عمر مفید ساختمان را نیز می توان از دیگر مزایای استفاده از این روش (پیش تنیده) برشمرد.



معایب پیش تنیدگی

- هزینه بر بودن در مصالح و ساخت و حمل و نقل
- نیاز به جرثقیل بزرگ برای جابه جایی قطعات
- نیاز به دقت بالا در ساخت
- طراحی پیچیده تر
- نیاز به دانش فنی بالاتر برای ساخت و تولید
- تخریب این نوع سقف بدلیل پتانسیل موجود در کابل های کشیده شده پرخطر است

