

سازه های پیش تنیده

موضوع: سازه های پیش تنیده

محقق: مقداد معززی

استاد مربوطه: جناب مهندس نوروزپور

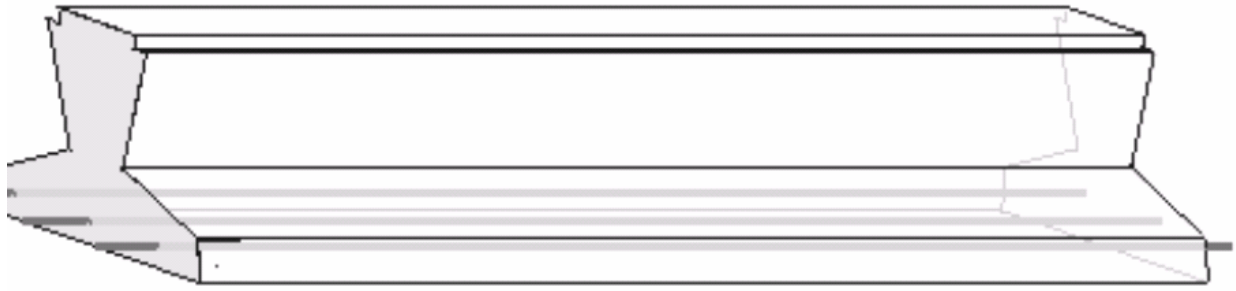
منابع: کتاب: کارگاه قالب بندی ساختمانهای بتن آرمه / وزارت مسکن و شهر سازی ، انجمن بتن ایران

دانشکده تربیت دبیر فنی همدان

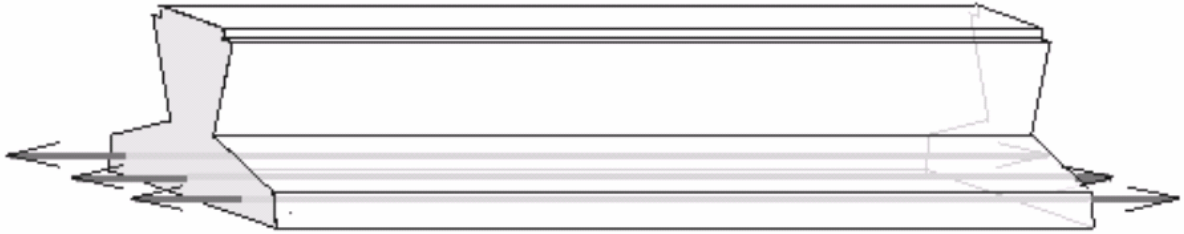
پائیز ۱۳۸۷

فهرست مطالب

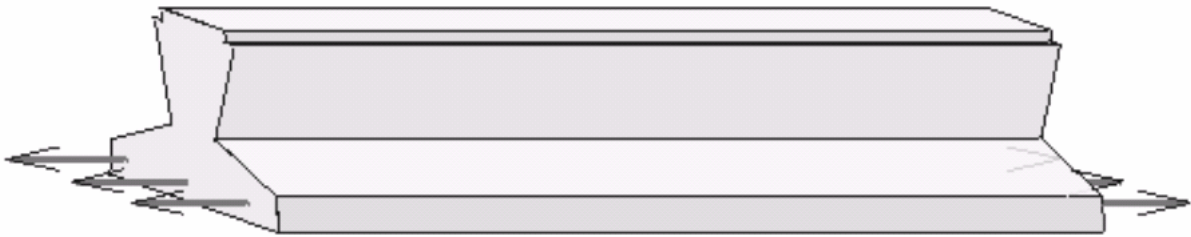
ص ۴	بتن پیش تنیده
ص ۴	تاریخچه
ص ۶	مقایسه بتن پیش تنیده با بتن آرمه
ص ۷	مزایا و معایب بتن پیش تنیده
ص ۱۰	خوردگی فولاد بتن پیش تنیده
ص ۱۰	پیش کشیدن و پس کشیدن
ص ۱۱	سقف های پیش تنیده به روش پس کشیدن
ص ۱۲	استفاده در یک پروژه خاص (برج میلاد)



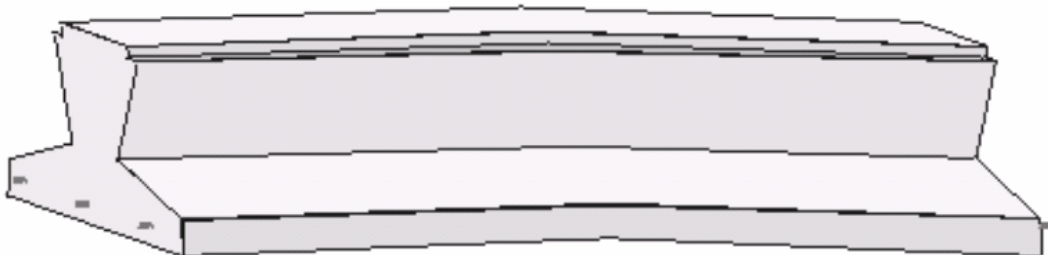
Stage 1



Stage 2



Stage 3



Stage 4

بتن پیش تنیده

پیش تنیدگی عبارت از ایجاد تنش داخلی در یک جسم است تا تنش را که به علت تاثیر نیروهای خارجی بوجود می آید به مقدار مورد نیاز خنثی کند یا به عبارت دیگر پیش تنیدگی به معنای ایجاد تنش های دائمی مخالف با تنش هایی می باشد که در اثر بارهای خدمت در سازه ایجاد خواهند شد. عمده ترین کاربرد پیش تنیدگی در بتن پیش تنیده است.

بتن که یکی از ارزانه ترین و عملی ترین مصالح ساختمانی است، مقاومت خوبی در برابر فشار دارد و تاب کششی کمی از خود نشان می دهد. بنابراین در ناحیه ای از بتن که بعد از بارگذاری تحت کشش قرار می گیرد، قبلاً ایجاد فشار می کنند. این عمل، به اصطلاح «پیش تنیدن بتن» نامیده می شود.

بر اساس «آیین نامه 95- ACI318» بتن پیش تنیده عبارت است از بتن سازه ای (ساختمانی) که جهت کاهش تنش های کششی بالقوه حاصل از بارها، در آن تنش های داخلی ایجاد شده است. هدف اصلی از پیش تنیده کردن یک عضو بتنی محدود کردن تنش های کششی و ترکهای ناشی از لنگر خمشی تحت تاثیری بارهای وارده در آن عضو می باشد.

پیش تنیدگی اصلی عمومی است که در موارد دیگر نیز مورد استفاده قرار می گیرد. یک چرخ دو چرخ یک مثال از پیش تنیدگی را نشان می دهد: لاستیک چرخ دو چرخه بسیار نرم است و سیمهای داخل آن بسیار بلندتر است، به طوری که تحت نیروی فشار امکان کماتش آنها وجود دارد. ولی هم لاستیک و هم سیمها در مقابل کشش مقاوم اند، پس لاستیک چرخ را پراز باد می کنند و در سیمها کشش قبلی ایجاد می کنند.

تاریخچه

مصریها در ۵۰۰۰ سال پیش، در ساختن قایقهایشان از خاصیت پیش تنیدگی استفاده می کردند. بدین ترتیب که، برای اتصال چوبهای بدنه قایق، تیغهای آهنی گرم به کار می بردند تا بعد از سرد شدن و انقباض آنها قطعات چوبی به هم فشرده شوند.

اولین کسی که ظاهراً توانست با ایجاد تنش فشاری در بتن مقاومت آن را تحت تاثیر لنگر خمشی افزایش دهد یک نفر آمریکایی به نام جکسون بود که اختراع خود را در سال ۱۸۸۶ به ثبت رسانید.

دو سال بعد، در سال ۱۸۸۸، دوهرینگ، مهندس آلمانی، با قرار دادن یک میله فولادی کشیده شده در داخل دال بتنی توانست اولین دال بتنی پیش تنیده را ایجاد کند. در سال ۱۸۹۶، مندل مهندسی اتریش اصل پیش تنیدگی را در تیر بتن پیش تنیده از فولاد معمولی با تنش اولیه ۱۲۰ نیوتن بر میلیمتر مربع استفاده کرد و از افت ناشی از نشست و وارفتگی آگاهی نداشت، فولاد به زودی کشش اولیه خود را از دست داد و تیر تبدیل به بتن آرمه معمولی شد.

در سال ۱۹۳۹، امپرگر، مهندس اطریشی استفاده از بتن آرمه با پیش تنیدگی جزئی را پیش تنیده می شود، دارای آرماتور معمولی (که در بتن مورد استفاده قرار می گیرد) باشد و قطعه در موقع بار سرویس نیز بار کششی تحمل بکند را مورد استفاده قرار داد.

در سال ۱۹۴۸، پروفسر آبلس انگلیسی اولین سازه بتن آرمه با پیش تنیدگی جزئی را در لندن بنا کرد. در سال ۱۹۵۳، فدراسیون بین المللی پیش تنیدگی اولین کنگره خود را در لندن تشکیل داد. در چهارمین کنگره فدراسیون، که در سال ۱۹۶۲ در رم تشکیل شد قدمهای نوینی برای استفاده از بتن آرمه با پیش تنیدگی جزئی برداشته شد و کمیته مختلطی از فدراسیون بین المللی پیش تنیدگی (F. I. P) و کمیته اروپایی بتن (C. E. B) به وجود آمد که در آن چهارنوع سازه از بتن آرمه تا پیش تنیده شدن کامل تعیین شده است. این چهار نوع اساساً با مقدار ازدیاد طول نسبی دورترین تار کششی بتن و ترک خوردگی بتن کشش از هم متمایز می شوند.

نوع اول بتن پیش تنیده کامل که بتن تا بار سرویس نباید تنش کششی تحمل کند. نوع دوم بتن آرمه با پیش تنیدگی جزئی است. تحت بار سرویس بتن می تواند تنش کششی داشته باشد- بشرطی که ترک نخورد- تحت بارهای دائم بتن نایستی کشیده شود.

نوع سوم بتن آرمه پیش تنیده است. در نوع ترک خوردن بتن تحت بار سرویس امری عادی است، ولی عرض ترکها از ۱/ تا ۳/ میلیمتر محدود شده اند. محدودیت آنها بر حسب آب و هوایی که قطعه در آنجا مورد استفاده قرار می گیرد و جنس فولاد به کار رفته است. نوع چهارم بتن آرمه کلاسیک است.

استفاده از بتن پیش تنیده در ایجاد پلها و ساختمان ها و تمام سازه ها از حدود ۵۰ سال پیش تا کنون در سطح وسیع متداول شده است. با توجه به عیوب مختلف فولاد (نا پایداری الاستیک نیمرخ های فلزی، خوردگی و زنگ زدگی، فزونی بهای تولید...) امروزه اغلب پلهای بزرگ از بتن پیش تنیده ساخته می شوند، اما برخلاف حالت بتن مسلح مصالح مصرفی جهت این پلها 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 اما بتن مسلح ترکیبی از بتن و فولاد است که در آن بتن در مقابل فشار و فولاد در مقابل کشش مقاومت می کند در حالی که در بتن پیش تنیده با انجام یک عمل مکانیکی بتن به تنهایی تنشهای کششی و فشاری ایجاد شده را تحمل می نماید.

برای طرح محاسبه قطعات پیش تنیده روش و ترتیب اجرای سازه باید دقیقاً مشخص باشد زیرا مقادیر تنش های ایجاد شده در قطعات در حین اجرای سازه بسیار مهم و گاهی تعیین کننده می باشند. همچنین برخلاف حالت بتن مسلح بعد از بررسی پایداری سازه تغییر شکل های کوتاه مدت و دراز مدت بتن و فولاد نیز باید به دقت مورد مطالعه قرار گیرند.

مصالح مصرفی در سازه های بتن پیش تنیده باید از کیفیت عالی برخوردار بوده و با دقت نیز مورد استفاده قرار گیرند با توجه به این که بتن در سن کم که مقاومت نسبتاً ضعیفی داشته و قابل تغییر شکل نیز می باشد تحت فشار فوق العاده زیادی قرار می گیرد باید کیفیت آن به مراتب از کیفیت بتن مصرفی در سازه های بتن مسلح بالاتر باشد همچنین فولاد نیز با توجه به اینکه تحت کشش فوق العاده زیادی قرار می گیرد (۱۰۰ تا ۱۸۰ کیلو گرم بر میلی متر مربع) باید مقاومت مناسبی داشته باشد بنابراین در زمان اجرای سازه مصالح مصرفی در بتن پیش تنیده تحت تنش های فوق العاده مهمی قرار می گیرند که عمل تنیدن آزمایش مناسبی برای کنترل کیفیت مصالح به کار رفته است. مقاومت بتن در برابر فشار بالاست ولی در مقابل کشش ضعیف است. ایجاد پیش فشردگی در بتن با کابل های فولادی باعث می گردد بتن همواره در تنش فشاری باقی بماند و در نتیجه میزان باربری آن افزایش خواهد یافت. چون کابلها در حالت فشرده قرار دارند و نیروی کششی را به نیروی فشاری تبدیل می کنند و هیچ وضعی در مقطع بتن ایجاد نمی کنند و بتن فقط تحت بارهای بسیار زیاد به کشش می افتد و ترک نمی خورد.

مقایسه بتن پیش تنیده شده با بتن آرمه

به علت اینکه فشار وارده از طرف کابل های پیش تنیده به بتن بسیار زیاد است لازم است که مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در یک ساختمان بتن پیش تنیده به مراتب بالاتر از مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در یک ساختمان بتن آرمه باشد.

فولاد های نرم که معمولاً در ساختمان های بتن آرمه به کار می رود برای ساختمانهای بتن پیش تنیده مناسب نمی باشد زیرا امکان کشیدن آن به حدی که بتواند جبران اتلاف تنش های پیش تنیدگی ناشی از انقباض و خزش بتن را بکند وجود ندارد.

بتن پیش تنیده یک جسم همگن و الاستیک می باشد و قبل از ترک خوردن بیشتر خاصیتی شبیه به فولاد را دارد تا یک جسم غیر همگن مانند بتن آرمه.

یک ساختمان بتن پیش تنیده کامل تحت تاثیر بارهای سرویس ترک نخواهد خورد در صورتیکه در یک ساختمان بتن آرمه از همان ابتدای بارگذاری ترکهایی در زیر تار خنثی بوجود می آید حتی اگر در اثر بارهای بیش از حد پیش بینی شده ساختمان بتن پیش تنیده ترک نخورد بعد از اینکه بارها از روی ساختمان برداشته شود ترکها بسته خواهد شد.

اگر در یک ساختمان بتن پیش تنیده تنش پیش تنیدگی در اثر بار وارده خنثی شود بتن پیش تنیده خاصیتی بسیار شبیه به بتن معمولی پیدا خواهد کرد.

در بتن پیش تنیده لنگر مقاوم به چند برابر افزایش می یابد اثر نیروی برشی $1/10$ تا $1/5$ تقلیل می یابد خمشی یعنی تغییر شکل به $1/3$ می رسد.

در بتن پیش تنیده صرفه جوئی در فولاد به میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد و در بتن به میزان ۳۰ تا ۵۰ درصد می باشد.

مزایا و معایب بتن پیش تنیده

مزایا:

یکی از مهمترین خواص ساختمانهای بتن پیش تنیده نداشتن ترکهای دائمی می باشد. این موضوع باعث تداوم بیشتر این امر خصوصاً در محیط هایی با گاز و زمین های مشکل ساز و همچنین ساختمانهای دریایی بسیار حائز اهمیت می باشد. برتری بتن پیش تنیده نسبت به بتن آرمه جهت نداشتن ترک واضح است.

وزن ساختمانهای بتن پیش تنیده به مراتب از وزن ساختمانهای بتن آرمه معادل کمتر است زیرا اولاً چون از مقاومت تمام سطح مقطع بتن استفاده می شود میزان بتن لازم کمتر است، ثانیاً چون فولاد

مصرفی دارای مقاومت زیادتری است معمولاً وزن فولاد لازم بین ۱/۵ تا ۱/۳ وزن فولاد معمولی معادل می گردد.

- خیز به طرف پایین تیرهای بتن پیش تنیده تحت اثر بارهای سرویس معمولاً بسیار کم می باشد. زیرا قبل از وارد آمدن بارهای سرویس تحت تاثیر نیروهای پیش تنیدگی مقداری خیز به طرف بالا در تیر به وجود آمده است که از شدت خیز به طرف پایین می کاهش دهد.

- در ساختمانهایی بتن پیش تنیده قبل از وارد آمدن بارهای سرویس ساختمان بوسیله نیروی پیش تنیدگی به شدت بارگذاری شده و بتن و فولاد تحت اثر تنشهای زیادی قرای می گیرد و این خود یک نوع امتحان از نظر مطمئن بودن بتن و فولاد می باشد اگر چنانچه در این مرحله، ساختمان از خود حالت غیر عادی نشان ندهد می توان مطمئن شد که تحت تاثیر بارهای سرویس نیز عیبی نخواهد کرد. با تغییرات مقداری نیروی پیش تنیدگی می توان سازه را صلب و یا انعطاف پذیر کرد بدون اینکه مقاومت نهایی آن تغییری پیدا بکند.

واضح است که یک سازه انعطاف پذیر بیشتر خاصیت فنری و ارتجاعی داشته و می تواند قبل از اینکه در اثر ضربه گسیخته گردد مقدار قابل توجهی انرژی را جذب کند به همین ترتیب چنین سازه هایی تحت تاثیر بارهای زلزله و دینامیکی رفتاربهتری نشان می دهند. یک نمونه از چنین سازه هایی شمع های ضربه گیر اسکله ها می باشد، از همین طرف دیگر یک سازه بسیار صلب بهتر می تواند لرزش ها و نوسانات بسیار سنگین را تحمل کند. (برای مثال، فونداسیون موتورهای توربینی).

معایب :

- غالباً برای مهار کابل های پیش تنیدگی در دو انتها، احتیاج به وسایل مخصوصی می باشد.
- اجرای بتن پیش تنیده به نظارت و مهارت بیشتری احتیاج دارد که باعث بالا رفتن هزینه واحد عملیات خواهد شد.

- استفاده از اعضای پیش تنیده وقتی مقرون به صرفه است که امکان تولید سری و انبوه وجود داشته باشد.

- در شرایطی فعلی، با توجه به محدودیت های ارزی، امکان تولید سری و انبوه امکان پذیر نیست.
- در شرایط فعلی، با توجه به محدودیت های ارزی، امکان وارد کردن وسایل پیش تنیدگی به سادگی امکان پذیر نیست.

بتن مورد استفاده در بتن پیش تنیده دارای مقاومت بالاتر نسبت به بتن مصرفی در بتن تحت تاثیر تنش های فشاری بیشتری قرار می گیرد و افزایش سطح مقطع به منظور کم کردن تنش ها باعث افزایش وزن سازه و در نتیجه غیر اقتصادی بودن طرح می شود.

سیمان مصرفی نباید به هیچ وجه کلر داشته باشد، زیرا کلر ماده زنگ زننده بسیار خطرناکی برای فولاد کابلهاست. از سیمانی که مقاومت اولیه زیاد باشد (نوع ۳) در موارد الزامی استفاده می کنند. سیمان نوع ۳ به سرعت خود را میگیرد. وقتی ما ناچاریم پیش تنیدگی را در سن پایین تری انجام دهیم، از این نوع سیمان استفاده میکنیم.

فولاد:

فولاد های پیش تنیدگی به سه صورت مفتول، رشته یا کابل و میلگرد های آلیاژ دار تولید می شوند. مشخصه مهم فولاد های پیش تنیدگی در مقایسه با میلگردهای معمولی، نقطه گسیختگی بسیار بالای آنها می باشد.

مفتول ها:

مفتول در کارها پس کشیده و پیش کشیده مورد استفاده قرار می گیرند. مفتول از نورد کم فولاد بلیت بصورت میلگرد و سپس کشیدن سرد میلگرد که با کاهش قطر آن همراه است، ساخته می شوند. در آمریکا مفتول ها طبق ASTM- A421 تولید و استاندارد می شوند.

کابل ها:

کابل ها از تابیده شدن تعدادی مفتول در دور یکدیگر ساخته می شوند که در زبان فارسی به آن مفتول بافته شده گفته می شود. معمول ترین نوع کابل ۷ مفتوله می باشد که قطر اسمی آن در حدود ۳ برابر قطر مفتول تشکیل دهنده آن است. کابل ۷ مفتوله از تابیده شده ۶ مفتول میانی ساخته شده و طبق ASTM- A416 استاندارد می شود.

میلگردهای آلیاژ دار: با اضافه کردن آلیاژهای مخصوص در هنگام تولید فولاد و سپس اصلاح سرد میلگرد تولید می شود. در آمریکا میلگردهای آلیاژ طبق ASTM-A722 استاندارد می شوند.



خوردگی فولاد بتن پیش تنیده

خوردگی فولادی که تحت تنش کششی زیاد قرار دارد با خوردگی یا زنگ زدگی معمولی فولاد متفاوت است. زنگ زدگی معمولی در اثر اکسید شدن فولاد حاصل می شود که به طور تدریجی سطح مقطع مقاوم را کاهش می دهد، در نتیجه تنش افزایش می یابد تا به مقدار تنش گسیختگی می رسد. این عمل به تدریج صورت می گیرد و قابل پیش بینی است. برعکس «خوردگی تحت کشش» پدیده ای ناگهانی است و گسیخته و شکننده در پی دارد. مقطع گسیخته شده تقریباً مسطح بوده و یک هلال خاکستری رنگ در مقطع دیده می شود. اگر تنش کششی فولاد کمتر از ۴٪ تنش نهایی باشد، خوردگی تحت کشش پیش نمی آید. در بتن تنیده تنش فولاد بزرگتر از ۴٪ تنش نهایی است. برای جلوگیری از خوردگی پیش تنیده باید آن را بخوبی محافظت کرد. در قطعات چسبنده، کابل باید بخوبی در داخل بتن قرار گرفته و اطرافش ملات ماسه و سیمان (که محیط قلیایی است) تزریق شده باشد و در قطعات غیر چسبنده، از کابل گالوانیزه مخصوص استفاده نمود.

مقاومت بتن در برابر فشار بالاست ولی در مقابل کشش ضعیف است. ایجاد پیش فشردگی در بتن با کابل های فولادی باعث می گردد بتن همواره در تنش فشاری باقی بماند و در نتیجه میزان باربری آن افزایش خواهد یافت. چون کابلها در حالت فشرده قرار دارند و نیروی کششی را به نیروی فشاری تبدیل می کنند و هیچ وضعی در مقطع بتن ایجاد نمی کنند و بتن فقط تحت بارهای بسیار زیاد به کشش می افتد و ترک نمی خورد.

برای پیش فشرده یا پیش تنیده کردن بتن دو سیستم متفاوت وجود دارد.

پیش کشیدن و پس کشیدن.

الف- پیش کشیدن

تعداد زیادی از قطعات بتن پیش فشرده، از جمله دال های کف با این روش تولید می شوند. کابل ها را به صورت آزاد در داخل قالب قرار می دهند و با دستگاه مخصوص کشش لازم را وارد می کند. بتن ریزی را انجام می دهند و به کمک لرزاندن، هوای آن را تخلیه می کند و شرایط لازم برای انجام خودگیری سریع تر را فراهم می کنند. طول اضافی کابلها را که در دو انتها ثابت شده اند می برند و بتن را تحت فشار

رها می سازند. مانند بتن مسلح پیش ساخته مقطع و محل قرار گیری کابل ها براساس بارهای محاسبه شده مشخص و رعایت می شود.

ب- پس کشیدن

در روش پس کشیدن، کابل ها را در قالب کار، داخل غلاف هایی قرار می دهند، بتن ریزی را انجام می دهند. وقتی به اندازه کافی خود را گرفت دو سر کابل ها را به طرف بیرون می کشند. این کار به وسیله گره های مخصوص که به دو سر سیم ها بسته می شوند و پس از قطع شدن کشش محکم می شوند، انجام می گیرد. مزیت پس کشیدن بر پیش کشیدن این است که می توان آنها را خمیده کرد تا در مسیر تنش قرار گیرند. به این ترتیب می توان بتن را به شکلی ریخت که کمترین حجم ممکن را داشته باشد.

سقف های پیش تنیده به روش پس کشیده

در این نوع از سقف ها که به صورت دال بتنی اجرا می شود به جای تیر ها و میلگرد های دال از کابل های فولادی در داخل غلاف های مخصوص استفاده می کنند. کابلها را طبق محاسبه در فواصل معین شده قرار داده و سپس شروع به بتن ریزی سقف می نمایند بعد از 28 روز که بتن به مقاومت نهایی خود رسید کابلها را توسط وسیله ای مکانیکی می کشند تا در جای خود ثابت گردند سپس مواد مخصوصی را در داخل غلاف ها تزریق می نمایند تا کابلها به صورت ثابت در جای خود باقی بماند. اما نکته جالب این روش اجرای دهانه هایی با طول های ۵/۵ الی ۱۲ متر می باشد.

تیرهای حمال پل :

فاصله و شکل تیرهای حمال طولی بستگی به شیوه اجرای پل دارد. در حالت استفاده از تیرهای پیش ساخته فاصله تیرهای حمال بین ۲/۵ تا ۵/۳ متر و در حالت استفاده از تیرهای در جا فاصله ذکر شده

بین ۳ تا ۵ متر می باشد. ضخامت دال پل از بتن مسلح یا پیش تنیده (نیز متناسب با فاصله تیرهای حمال بین ۱۶ تا ۲۵ سانتی متر تغییر می کند در حالت ساخت درجا باید حتی المقدور در سادگی شکل تیرها کوشید لذا مقاطع T شکل با ضخامت ثابت متداولاً مورد استفاده قرار می گیرند در این حالت حداقل ضخامت جان با توجه به شرایط اجرایی برابر ۲۵ سانتی متر می باشد گاهی نیز برای کاهش سطح مقطع و در نتیجه صرفه جوئی در مصرف بتن، مقطع جان را در جهت قائم متغیر ساخته و بدین ترتیب ضخامت ماکزیمم در قسمت تحتانی (برای قراردادن کابلها) در نظر گرفته می شود.

مقاطع جعبه ای :

این مقاطع از بتن مسلح ، بتن پیش تنیده فلزی بوده و شامل یک یا چند جعبه می باشد . مقاومت پیچشی این مقاطع بسیار مطلوب بوده و در پلهای بزرگ یکسره ، با توجه به ممانهای خمشی منفی ایجاد شده به میزان وسیع مورد استفاده قرار می گیرند .

مقاطع مشبک :

در حالتی که ارتفاع تیرهای حمال جانبی پلها به علت اهمیت طول دهانه ، زیاد شود ، وبه منظور کاهش وزن مصالح مورد استفاده از تیرهای مشبک که غالباً فلزی بوده ، استفاده می شود .

- مقاطع با تیرهای حمال I و T شکل فلزی ، بتن مسلح و بتن پیش تنیده .
- مقاطع صفحه ای تو پر یا تو خالی .
- مقاطع با ارتفاع ثابت یا متغیر .

استفاده در یک پروژه خاص (برج میلاد):

از آنجایی که پی برج چند منظوره تهران می بایست تحمل کلیه فشارهای ثقلی وارده و بارهای جانبی آن را داشته باشد و باتوجه به عدم امکان اعمال نیروهای کششی مهم به فولاد معمولی و تغییر شکل ناشی از انقباض و خزش بتن ، بتن مسلح پی برج مخابراتی تهران به تنهایی نمی توانست جوابگوی بارهای نیروی کششی کل مجموعه به علت ازدیاد بار مرده و ایجاد ترک در مقاطع بتنی باشد . برای رفع این معایب و صرفه جویی در مصرف مصالح (فولاد و بتن) و با در نظر گرفتن هزینه بیشتر فولاد نسبت به بتن و در حقیقت ، تبدیل نیروهای کششی بسیار زیاد به نیروهای فشاری و انتقال آن به بتن با ایجاد کمربندی در محیط خارجی پی برج (از شعاع ۲۸ متر تا شعاع ۳۳ متر) ، از کابل‌های پس کشیده استفاده شد. این کابلها در سه مجموعه در ارتفاعهای مختلف در نظر گرفته شد و دور تا دور پی را در بر گرفت .

مهمترین ویژگی سیستم کابل بندی فونداسیون برج مخابراتی تهران ، استفاده از کابل منحنی در این پروژه است. به عبارت دیگر ، مسیر کابلها در سیستمهای متداول پس کشیده ، انحنای بسیار کمی دارد ولی در این مورد هر رشته کابل ، انحنای بسیار زیادی دارد .