

« به نام خدا »

عنوان مقاله :

بتن پیش تنیده ، کاربرد و اجرای آن

مقدمه

پیش تنیدگی عبارت از ایجاد تنش داخلی در یک جسم است تا تنشی را که به علت تأثیر نیروهای خارجی به وجود 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 ارزانترین 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 میشود .

بر اساس « آیین نامه ACI 318 – 95 » 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 تنشهای کششی و ترکهای ناشی از لنگر خمشی تحت تأثیر بارهای وارده در آن عضو می باشد .

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

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 برند 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 آنرا تحت تأثیر 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 ، دوهیرینگ ، مهندس آلمانی ، با قرار دادن یک میلۀ فولادی کشیده شده در داخل یک دال بتنی توانست اولین دال بتنی پیش تنیده را ایجاد کند. در سال ۱۸۹۶ ، مندل مهندس اطریشی 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 آرمۀ معمولی شد .

در سال ۱۹۳۹ ، امپرگر ، مهندس اطریشی استفاده از بتن آرمه با پیش تنیدگی جزئی را پیشنهاد کرد ، یعنی قطعۀ بتنی ، علاوه بر اینکه به وسیلۀ آرماتور کشیده شده پیش تنیده می شود ، دارای آرماتور معمولی (که در بتن مورد استفاده قرار می گیرد) باشد و قطعه در موقع بار سرویس نیز کششی تحمل بکند .

در سال ۱۹۴۸ ، پروفیسور آبلس انگلیسی اولین سازه بتن آرمه با پیش تنیدگی جزئی را در لندن بنا کرد .

در سال ۱۹۵۳ ، فدراسیون بین المللی پیش تنیدگی اولین کنگرۀ خود را در لندن تشکیل داد . در چهارمین کنگرۀ 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 سال ۱۹۷۰ توصیه نامه ای منتشر کرد که در آن چهار نوع سازه از بتن آرمه تا پیش تنیده کامل تعیین شده است . این چهار نوع اساساً با مقدار ازدیاد طول نسبی دورترین تار کششی بتن و ترک خوردگی بتن کششی 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 - و تحت بارهای دائم بتن نبایستی کشیده شود .
- نوع سوم بتن آرمۀ پیش تنیده است . در این نوع ترک خوردن بتن تحت بار سرویس امری عادی است ، ولی عرض ترکها از $\frac{0.1}{3}$ تا $\frac{0.3}{3}$ 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 آرمۀ کلاسیک است .

مقایسه بتن پیش تنیده با بتن آرمه

- به علت اینکه فشار وارده از طرف کابلهای 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 .
- فولادهای 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^۱ کامل تحت تأثیر 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 بخورد 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 $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{5}$ تقلیل میابد . خمش یعنی تغییر شکل به $\frac{1}{3}$ 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 دوام بیشتر این نوع ساختمانها نسبت به ساختمانهای بتنی و بتن آرمه می شود . این امر خصوصاً در محیط هایی با گازها و زمین های خورنده و همچنین ساختمانهای دریایی بسیار حائز اهمیت می باشد . برتری بتن پیش تنیده نسبت به بتن آرمه جهت ساختمان تانکهای آب و مخازن به 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 ،

^۱ ساختمانی است که تحت تأثیر بارهای سرویس در هیچ نقطه آن تنش کششی وجود نداشته باشد .

ثانیاً چون فولاد مصرفی دارای مقاومت زیادتری است معمولاً وزن فولاد لازم بین $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{3}$ 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 تأثیر نیروهای پیش تنیدگی مقداری خیز به طرف بالا در تیر به وجود آمده است که از شدت خیز به طرف پایین می کاهد .

- در ساختمانهای 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 قرار 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 تأثیر بارهای سرویس نیز عیبی نخواهد کرد .

- با تغییر مقداری نیروی پیش تنیدگی می توان سازه را صلب و یا انعطاف پذیر کرد بدون اینکه مقاومت نهایی آن تغییری 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 این ترتیب چنین سازه هایی تحت اثر بارهای زلزله و دینامیکی رفتار بهتری نشان می دهند . یک نمونه از چنین سازه هایی شمع های ضربه گیر اسکله ها می باشد ، از 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 شرایط فعلی ، با توجه به محدودیت های ارزی ، امکان وارد کردن وسایل پیش تنیدگی به سادگی امکان پذیر نیست .

مصالح در بتن پیش تنیده

(الف) بتن :

بتن مورد استفاده در بتن پیش تنیده دارای مقاومت بالاتری نسبت به بتن مصرفی در بتن مسلح معمولی می باشد . زیرا در بتن پیش تنیده بتن تحت تأثیر 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 شدن طرح می شود.

در شرایط عادی از بتن هایی با مقاومت مشخصه $f'_c = 280 - 560 \text{ Kg/cm}^2$ در کارهای پیش تنیده استفاده می شود. در کارهای مخصوص مقاومت تا $f'_c = 840 \text{ Kg/cm}^2$ کاربرد دارد. سیمان مصرفی در بتن پیش تنیده معمولاً از نوع سیمان پرتلند معمولی (نوع ۱) است. سیمان مصرفی نباید به هیچ وجه کلر داشته باشد، زیرا کلر ماده زنگ زننده بسیار خطرناکی برای فولاد کابلهاست. از سیمانی که مقاومت اولیه آن زیاد باشد (نوع ۳) در موارد الزامی استفاده می کنند. سیمان نوع ۳ به سزعت خود را میگیرد. وقتی که ناچاریم پیش تنیدگی را در سن پایینتری انجام دهیم، از این نوع سیمان استفاده می کنیم. (ب) فولاد:

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

در شکل (۱/الف) نمودار تنش - کرنش فولادهای پیش تنیدگی با میلگرد های معمولی مورد مقایسه قرار گرفته است. اصولاً نقطه جاری شدن مشخصی برای میلگردهای پیش تنیدگی وجود ندارد و در مفتول ها و کابل ها، تنش نظیر کرنش ۱ درصد و در میلگردهای آلیاژدار، تنش نظیر کرنش ۰/۷ درصد به عنوان تنش جاری شدن (تنش تسلیم) مورد استفاده قرار می گیرد. (شکل (۱/ب)).

مفتول ها: مفتول در کارهای پس کشیده و پیش کشیده مورد استفاده قرار می گیرند. مفتول از نورد گرم 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. (جدول ۱)

کابل ها: کابل ها از تابیده شدن تعدادی مفتول در دور یکدیگر ساخته می شوند که در زبان فارسی به آن مفتول بافته شده نیز 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 شدن ۶ مفتول حول مفتول میانی ساخته شده و طبق ASTM-A416 استاندارد می شود. (جدول ۲)

میلگردهای آلیاژدار: با اضافه کردن آلیاژهای مخصوص در هنگام تولید فولاد و سپس اصلاح سرد میلگرد تولید شده، میلگردهایی با مقاومت بالا برای کارهای پیش تنیده تولید می شود. در آمریکا میلگردهای آلیاژدار طبق ASTM-A722 استاندارد می شوند. (جدول ۳)

خوردگی فولاد 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. بر عکس « خوردگی تحت کشش » پدیده ای ناگهانی است و گسیختگی 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 0.4 تنش نهایی باشد، خوردگی تحت کشش پیش نمی آید. در بتن پیش تنیده تنش فولاد بزرگتر از 0.4 تنش نهایی است.

برای جلوگیری از خوردگی فولاد 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.

روشهای پیش تنیدگی

پیش تنیدن بتن بوسیله فولاد به دو طریق اساسی « پیش کشیدگی » و « پس کشیدگی » صورت می گیرد. فرق اساسی بین دو رویه فوق مربوط به شرایطی است که بتن در لحظه کشیدن فولاد دارد. در روش « پیش کشیدگی » پیش از آنکه بتن ریزی بکنند، فولاد را تحت کشش قرار می دهند و در روش « پس کشیدگی » پس از اینکه بتن خود را گرفت و به اندازه کافی مقاوم شد فولاد را می کشند.

اختلاف مهم دیگر بین این دو رویه در این است که « پیش کشیدگی » معمولاً احتیاج به وسایل و دستگاههای زیاد داشته و در نتیجه سرمایه گذاری قابل توجهی را لازم دارد. استفاده از این روش در کارخانه های قطعات پیش ساخته بسیار مقرون بصرفه است. قطعات متشابه به طور سری مثل تیرچه های ساختمانی، دالهای کف، ستونها برای خطوط برق، تراورسهای خطوط آهن و غیره ساخته می شوند. روش « پس کشیدگی » در مقایسه با روش اول وسایل کمتری لازم دارد و معمولاً در محل کارگاههای ساختمانی اعمال می شود، نظیر پلهای چند دهانه، قابهای ساختمانی و پوسته ها که احتیاج به « پیش تنیدگی » بتن دارند ولیکن به علت حجیم و سنگین بودن قطعات، نمی توان آنها را در کارخانه تهیه و به محل ساختمان حمل نمود.

مراحل اجرایی تیرهای پیش کشیده و پس کشیده

تیرهای پیش کشیده

در شکل (۲) مراحل اجرایی یک تیر پیش کشیده نشان داده شده است. در مرحله اول مطابق

شکل ۲- الف، فولادها در حد فاصل دو بلوک مهاري قرار داده شده و کشیده می شوند و در محل

بلوکهای انتهایی توسط گیره های مخصوصی کاملاً گیر داده می شوند. در مرحله دوم ، مطابق شکل ۲-ب ، عضو مورد نظر بتن ریزی می شود و سپس یا بطور آزاد و یا با روش های خاص ، بتن عمل آورده می شود. برای عمل آوردن سریع بتن ، استفاده از سیمان زودگیر و یا روش بخار دادن قابل توصیه است. پس از آنکه بتن به مقاومت کافی رسید ، در مرحله سوم ، مطابق شکل ۲-پ ، فولادهای پیش تنیدگی در دو انتهای تیر بریده می شوند. با بریده شدن فولادهای پیش تنیدگی ، نیروی پیش تنیدگی به صورت یک نیروی فشاری بر عضو اعمال می شود.

در شکل (۳) نیز خط تولید اعضای پیش کشیده در دو حالت ، الف: فولاد با مسیر مستقیم و ب: فولاد با مسیر شکسته نشان داده شده است. اجرای مسیر با منحنی پیوسته برای کارهای پیش کشیده امکان پذیر نیست. تیرهای پس کشیده

نوع دیگر تیرهای پیش تنیده ، تیرهای پس کشیده می باشد. در تیرهای پس کشیده همانند شکل (۴) در مسیر عبور فولادهای پیش تنیدگی ، غلافی تو خالی در بتن تعبیه می گردد و عملیات بتن ریزی تیر انجام می شود. در دو انتهای تیر غالباً دو ورق صفحه فشار (یا هر وسیله مهاری مناسب دیگر) ، قبل از بتن ریزی جاگذاری می شود. بعد از اینکه بتن به مقدار کافی گرفت و به مقاومت مورد نظر رسید ، فولادهای پیش تنیدگی از داخل غلاف فولادی عبور داده می شوند و سپس توسط جکهای که به صفحه فشار تکیه می نمایند ، کشیده می شوند.

طرق اجرای سازه های بتن پیش تنیده

الف) بتن ریزی در محل :

در این روش ، که معمولاً خرج قالب بندی زیاد است ، سعی می شود شکل های ساده ای به سازه داده شود .

اگر ویبراسیون بتنی که در محل ریخته می شود ، به صورت خارجی ، یعنی به وسیله قالب عملی گردد ، به علت حجیم بودن قطعه غیر مؤثر خواهد بود ، لذا باید ویبراسیون به طور داخلی و با استفاده از سوزن ویبراتور انجام گیرد و در نتیجه جداره های قائم (مثل جان تیرها) ضخامت بزرگتری لازم خواهد داشت .

به طور کلی اشکالاتی که این روش دارد عبارتند از :

- خرج قابل توجه قالب بندی
- احتیاج به فضای زیاد در موقع ساختمان
- دقت زیادی که شرایط اجرای مناسب لازم دارد .

ب) تیرهای پیش ساخته :

این روش اجرا در صورتی اقتصادی می شود که قطعات یکسان و یکنواخت به تعداد زیاد مورد استفاده قرار گیرد. در واقع خرج قالب بسیار کاهش می یابد، بر عکس نصب آنها مخارج بیشتری در بر می گیرد و هر قدر تعداد قطعات برای نصب بیشتر باشد، عمل نصب اقتصادی تر خواهد بود. تیرها را می توان در کارگاه ساختمانی پیش ساخته کرد (برای تیرهای پیش تنیده به وسیله کابل‌های پس کشیده) و یا در کارخانه (تیرهای پیش تنیده به وسیله سیم‌های پیش کشیده) که قطعات با ابعاد کوچکتر و قابل حمل پیش ساخته می شوند.

ج) اجرای ساختمان به روش طره ای :

در این روش عرشه پل به صورت طره (کنسول) و به طور تدریجی از پایه ها ساخته می شود. هر قطعه طره، که اصطلاحاً « بند » نامیده می شود، به وسیله کابل‌هایی به بند قبلی چسبیده است که این کابلها از سوراخ‌های موجود در بند قبلی گذشته و از سوراخ‌های بند جدید عبور کرده و در انتهای آزاد بند جدید مهار می شود. بندها ممکن است که در محل بتن ریزی شوند و یا پیش ساخته باشند.

موارد استفاده از بتن پیش تنیده

استفاده از بتن پیش تنیده، دهه های اخیر وسعت زیادی یافته است و در کلیه ساختمان‌هایی که از بتن مسلح ساخته می شوند می توان از بتن پیش تنیده استفاده نمود که این موارد استفاده در زیر آمده است :

۱- پل سازی :

در جهان امروزی بیشتر در این رشته است که بتن پیش تنیده به کار رفته است. تعداد پیل‌های ساخته شده فراوانند و بیشتر جهت دهانه های متوسط معمول شده (بین ۲۵ تا ۵۰ متر) خاصه در آنها که دهانه ها مساوی و متعدد باشند زیرا از لحاظ اقتصادی با صرفه تر است.

نمونه ای از اینگونه پلها پلی پیش تنیده به دهانه ۵۴ متری باشد که در روی رودخانه مارن در لوزانسی فرانسه قرار دارد و توسط فریسینه طراحی و در سال ۱۹۴۱ ساخته شد. این پل به عنوان اولین سازه پیش تنیده واقعی به ثبت رسید.

۲- مخازن مایعات :

برای ساختن مخازن از بتن مسلح، طریقه اصولی آن خواهد بود که ضخامت جدار به میزانی در نظر گرفته شود که تنش کششی از حداکثر تنش کششی مجاز تجاوز ننماید در غیر این صورت به علت به وجود آمدن ترک‌های نامرئی و ذره بینی، نشت آب غیر قابل اجتناب است. وجود میل‌های گرد هم در قسمت کششی فقط جهت اطمینان نصب می گردد و بعلاوه جلوگیری از انقباض بتن نیز غیر ممکن است.

اما در بتن پیش تنیده ، به علت فشردگی در تمام جسم بتن مشکلاتی که فوقاً در بتن مسلح ذکر شد منتفی است و ضخامت جدار به حداقل لازم هم تقلیل میابد .
۳- لوله های آبیاری :

در اثر غیر قابل نفوذ بودن و جلوگیری از نشت به علت فشردگی در بتن پیش تنیده ، لوله سازی مدتهاست که به وجود آمده و ادامه یافته است .

۴- ساختمانهای در یایی :

ساختمانهای فنی که در ساحل دریاها ساخته می شوند مانند : سکوهای تخلیه بارو اسکله ها با استفاده از بتن پیش تنیده با سرعت بیشتر و اقتصادی تر انجام گرفته اند .
۵- فرودگاه ها :

ضربه هواپیما هنگام فرود ، امروزه به حدود ۱۰۰ تن و بیشتر رسیده است . با این شرایط روسازی فرودگاه ها که قبلاً با بتن مسلح عملی می شد ، میسر نیست . به نظر می رسد که با استفاده از بتن پیش تنیده نتایج مثبتی به دست آمده است .

استفاده در یک پروژه خاص (برج میلاد)

- پس کشیدگی در پی برج مخابراتی تهران

از آنجائیکه پی برج چند منظوره تهران می بایست تحمل کلیه فشارهای ثقیلی وارده و بارهای جانبی آنرا داشته باشد و با توجه به عدم امکان اعمال نیروهای کششی مهم به فولاد معمولی و تغییر شکلهای 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 کابل های 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 .

جدول ۱ - مشخصات مفتول ها طبق استاندارد ASTM-A421

قطر اسمی (mm)	حداقل تنش نهایی Kg / cm^2		حداقل تنش تسلیم در کرنش ۱ درصد	
	نوع BA	نوع WA	نوع BA	نوع WA
4.88	تولید نمی شود	17500	تولید نمی شود	14000
4.98	16800	17500	13440	14000
6.35	16800	16800	13440	13440
7.01	تولید نمی شود	16450	تولید نمی شود	13160

جدول ۲ - مشخصات کابل ۷ مفتولی طبق استاندارد ASTM-A416

قطر اسمی (mm)	سطح مقطع اسمی (cm^2)	نیروی مقاوم نهایی (تن)	نیروهای جاری در کرنش ۱ درصد (تن)
$Grade250(f_{pu} = 17500Kg / cm^2)$			
6.35	0.2322	4.1	3.5
7.94	0.3742	6.6	5.6
9.53	0.5161	9.1	7.7
11.11	0.6968	12.3	10.4
12.70	0.9290	16.3	13.9
15.24	1.3935	24.5	20.8
$Grade270(f_{pu} = 18900Kg / cm^2)$			
9.53	0.5484	10.4	8.9
11.11	0.7419	14.1	12.0
12.70	0.9871	18.8	15.9

15.24	1.4000	26.60	22.6
-------	--------	-------	------

جدول ۳- مشخصات میلگردهای آلیاژ دار طبق استاندارد ASTM-A722

قطر اسمی (mm)	سطح مقطع اسمی (mm ²)	نیروی مقاوم نهایی (تن)	نیروهای جاری در کرنش ۰.۷ درصد (تن)
<i>Grade145</i> ($f_{pu} = 10150 \text{Kg} / \text{cm}^2$)			
15.88	198	20	17.8
19.05	285	28.5	25.8
22.23	388	38.7	34.7
25.40	507	50.7	45.4
28.58	642	64.1	57.4
31.75	792	79.2	71.2
34.93	958	95.7	85.9
<i>Grade160</i> ($f_{pu} = 11200 \text{Kg} / \text{cm}^2$)			
15.88	198	21.8	19.1
19.05	285	31.6	27.6
22.23	388	42.7	37.4
25.40	507	56.1	49
28.58	642	70.8	61.9
31.75	792	87.2	76.5
34.93	958	105.9	92.6

مراجع :

- شاپور طاحونی ، **طراحی سازه های بتن مسلح** (جلد دوم) ، انتشارات دهخدا
- دکتر شاهین تعاونی ، **بتن پیش تنیده** ، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- دکتر حسن شالچیان ، **بتن پیش تنیده (اصول طرح - محاسبه و کاربرد)** ، انتشارات دهخدا
- دکتر سوسن مجتهدی ، **بتن پیش تنیده** ، مرکز نشر دانشگاهی
- **آیین نامه سازه های بتنی ACI 318 - 95 و تفسیر ACI 318R - 95** ، مترجم : محمد رضانقیه
- **مجله عمران شریف** - شماره ۲۵ - تابستان ۱۳۷۸
- **مجله عمران شریف** - شماره ۲۷ - تابستان ۱۳۷۹