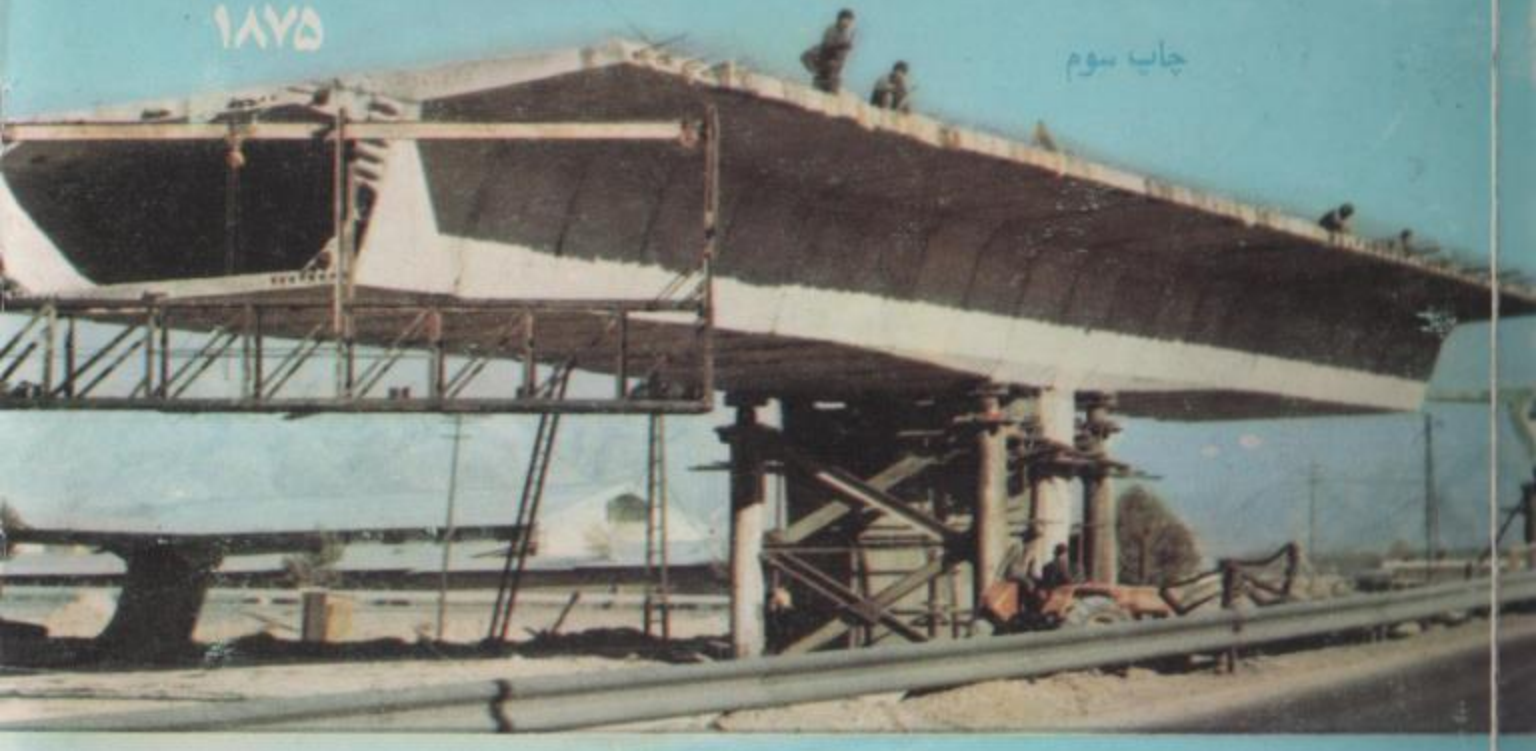
بتن پیش تنیده

انتشارات دانشگاه تهران
۱۸۷۵
چاپ سوم



بنام خدا

پیشگفتار

اولین سازه بتن پیش‌تنیده دنیا در حدود سال ۱۹۳۰ توسط فریسینه (۱) طرح و اجراء شد. گرچه قبل‌ازفریسینه‌ایده پیش تنیده کردن بتن برای افزایش مقاومت آن وجود داشت، ولی‌به‌علت مشکلات فنی واجرائی امکان ساخت و استفاده اقتصادی از این نوع سازه نبود.

در بیشترکشورهای اروپائی وحتی آمریکا قبل‌از سال ۱۹۵۰ سازه بتن پیش‌تنیده مهمی طرح‌و ساخته نشده بود. در حقیقت بعداز این سال بود که استفاده روزافزون از سازه‌های بتن پیش تنیده دردنیاا غاز شد. به‌این ترتیب سال ۱۹۵۰ رامی‌توان سال تولد بتن پیش‌تنیده دانست.

سازه های بتن پیش‌تنیده از بسیاری از جهات بهتر از سازه های بتن آرمه و سازه های فولادی عمل کرده و اقتصادی تر می‌باشد. همین امر موجب توسعه سریع این نوع سازه ها گردیده است. به‌طوری که امروزه کمتر نقطه‌ی از دنیا وجود دارد که در آنجا سازه پیش تنیده‌ای ساخته نشده باشد.

بعضی از انواع سازه ها که قبلا" از فولاد ساخته می‌شد، نظیر مخازن نفت و گاز، پل‌های‌بزرگ، عضوهای کششی، امروزه ازبتن پیش‌تنیده ساخته می‌شود. زیرا به‌لحاظ مقاومت بیشتر و بهتر در مقابل آتش سوزی، انفجار، ضربه واز نظر اقتصادی و همچنین از نظر تغییر شکل کمتر، سازه های پیش تنیده برسازه های فولادی رجحان دارد.

با وجود این که حدود ۱۵ تا ۲۰ سال است که از بتن‌پیش‌تنیده برای ساخت انواع پل‌های بزرگ، منابع آب وبعضی دیگر از سازه ها در ایران استفاده می‌شود، لیکن تاکنون منبع عمده‌ای به‌زبان فارسی جهت طرح و ساخت این نوع‌سازه‌ها نگاشته نشده است. با توجه به این امر وتوسعه روزافزون فن پیش‌تنیدگی ونیازمبرمی که برای استفاده از این نوع سازه ها احساس می‌شود، این کتاب نگاشته شده است.

1- Freyssinet

۱ ــ فریسینه

در نگارش کتاب حاضر سه مهم مورد نظر بوده‌است :

۱ ــ جمع‌آوری مطالبی جهت استفاده وارتقاء سطح دانش‌وبینش دست‌اندرکاران ساخت واجرای سازه های بتن پیش‌تنیده در ایران .

۲ ــ به‌وجودآوردن‌منبعی که‌بتوان‌ازآن برای تدریس درموسسات عالی‌آموزشی ودانشگاهها جهت تدریس به دانشجویان استفاده کرد .

۳ ــ گردآوری اطلاعات لازم‌جهت طرح عملی سازه های پیش‌تنیده برای مهندسین‌طراح .

بنابراین چنانچه نگارنده‌موفق شده باشد که به اهداف فوق برسد ، این کتاب می‌تواند مورد استفاده دانشجویان رشته راه وساختمان ، مهندسین طراح و مهندسینی که در کار اجراء سازه های بتن پیش‌تنیده هستند ، قرار بگیرد .

فصل اول تا سوم کتاب اختصاص به آشنائی بااصول‌بتن پیش‌تنیده ، مصالح و وسائل پیش‌تنیدگی دارد که می‌تواند مورد استفاده کسانی که به کارهای اجرائی مشغولند قرار گیرد . ضمن اینکه دیگر خوانندگان نیز می‌توانند از آن استفاده کنند . فصل های چهارم تاسیزدهم اختصاص به مسائل مربوط به آنالیزو طراحی ساختمانهای پیش‌تنیده دارد ، که مورد استفاده دانشجویان و مهندسین طراح قرار می‌گیرد .

مسائل کاملا" جدید از قبیل طرح سازه های پیش‌تنیده تحت اثر مشترک خمش، برش وپیچش دراین کتاب مورد بررسی قرار گرفته است . سازه های نیمه پیش‌تنیده که از بسیاری از جهات بهتر از سازه های کاملا" پیش‌تنیده می‌باشد ، در چند سال اخیر در اروپا وآمریکابسیار رایج شده است . بنابراین روش طرح وآنالیز چنین سازه‌هائی نیز در کتاب آمده است . گرچه هنوز در هیچ یک‌از آئین نامه‌های معتبر دنیا دستور های کاملی جهت‌طرح ستونهای پیش‌تنیده وجود ندارد ، لیکن باتوجه به نتایج آزمایشگاهی موجود ، روشی جهت طرح ستونها ، براساس آئین نامه Cp110 درفصل سیزدهم توصیه شده است که فعلا" می‌توان ازآن استفاده کرد .

چون یکی‌از اهداف کتاب حاضر ایجاد آمادگی جهت طراحی است ، در فصل چهارهم یک مثال کامل از روش طرح گام به گام یک تیر یکسره مرکب پیش‌تنیده ومسائل مربوطه آمده است . امید است که با استفاده از روش پیشنهادی یک مهندس کم تجربه بتواند به راحتی یک سازه نسبتا" پیچیده پیش‌تنیده را طرح کند .

یکی از اشکالات مهم بعضی از کتب فنی موجود در ایران این است که تمامی کتاب براساس یک آئین نامه واحد نگاشته نشده است. با توجه به این موضوع تمام کتاب حاضر براساس آئین نامه Cp110 کشور انگلستان نوشته شده است. از طرفی چون این امکان وجود دارد که این آئین نامه در اختیار همه نباشد، تمام قسمت های مختلف دستورهای آئین نامه که در طراحی مورد نیاز می‌باشد در کتاب آمده است. بنابراین در موقع طرح نیازی به مراجعه به آئین نامه Cp110 نمی‌باشد.

کتاب حاضر مطمئنا "خالی از نقص وغلط نمی‌باشد، بنابراین پیشنهادها و راهنمائی های خوانندگان عزیز، جهت تصحیح وبهبود کیفیت چاپ های بعدی موجب امتنان فراوان خواهد بود.

بهار ۱۳۶۳

شاهین تعاونی

فصل اول

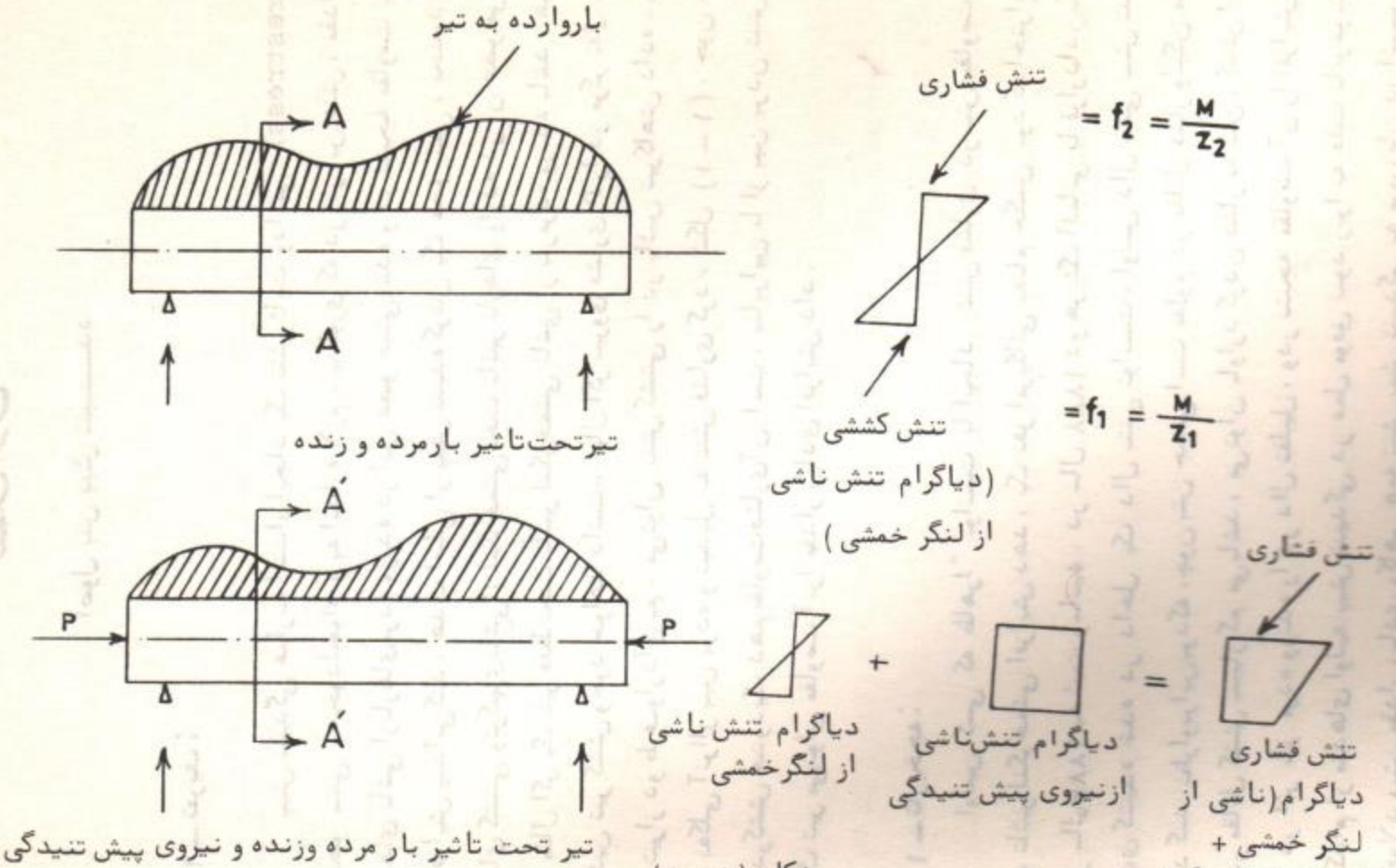
اصول بتن پیش تنیـــــده

۱ ــ ۱ ــ تعریف :

پیش تنیدگی عبارت است از ایجاد یک تنش ثابت ودائمی (Prestress) در یک عضو بتنی به‌نحودلخواه و به اندازه لازم ، به‌طوری که در اثر این تنش، مقداری از تنش های ناشی ازبارهای‌مرده وزنده در این عضو خنثی شده و در نتیجه مقاومت باربری آن افزایش پیدامی‌کند . هدف اصلی از پیش تنیده کردن یک عضو بتنی ، محدود کردن تنشهای کششی وترکهای‌ناشی‌از لنگرخمشی‌تحت تاثیر بارهای وارده در آن عضو می‌باشد . برای مثال اگر یک تیر فقط تحت تاثیر لنگرخمشی ناشی از بارمرده وزنده باشد ، همیشـه درپائین تیر کشش وجود خواهد داشت ، حال اگر نیروی فشاری P را در مرکز ثقل سطـح مقطع تیراز دو طرف‌واردآوریم ، می‌توان تنش کششی را در پائین تیرکاهش داده ، ویـــا اینکه به‌کلی آنرااز بین برده و تبدیل به تنش فشاری کرد ، شکل (۱ ــ ۱) . چون مقاومت بتن درکشش حدودیک دهم مقاومت‌فشاری‌آن است ، بنابراین با از بین بردن تنش‌کششی در یک تیر می‌توان مقاومت آنرا مقدار زیادی افزایش داد .

۲ ــ ۱ ــ تاریخچه :

اولین کسی که ظاهرا" توانست با ایجاد تنش فشاری در بتن مقاومت آن را تحت تاثیر لنگرخمشی افزایش دهد ، یک نفر امریکائی به‌نام جکسن بود که اختراع خود را در سال۱۸۸۶ به ثبت رسانید . در سال ۱۸۸۸ دو هرینگ آلمانی با قراردادن‌یک‌میله فولادی کشیده شده در داخل یک دال بتنی توانست ، اولین دال بتنی پیش تنیده را ایجاد کند .نظراوبراین‌بودکه ،چون بتن جسمی است مقاوم در مقابل فشار ولیکن مقاومت آن در مقابل کشش بسیار کم می‌باشد ، می‌توان باوارد کردن فشار به بتن ، کشش ایجـاد شده در اثر بار مرده وزنده را در دال تقلیل ، ودر نتیجه مقاومت آن را افزایش داد . هیچکدام از متدهای اولیه پیش تنیدگی در عمل موفق نبود زیرا به علت نامرغوب بودن نوع فولاد وبتن مقدار زیادی وگاهی همه تنش پیش تنیدگی به مرورزمان در اثـــرخزش


بارواردہ بہ تیر
A
A
تیرتحت‌تاثیر بارمرده و زنده
A´
A´
P
P
تیر تحت تاثیر بار مرده وزنده و نیروی پیش تنیدگی
تنش فشاری
$= f_2 = \frac{M}{Z_2}$
تنش کششی
(دیاگرام تنش ناشی
از لنگر خمشی)
$= f_1 = \frac{M}{Z_1}$
دیاگرام تنش ناشی
از لنگرخمشی
+
دیاگرام تنش‌ناشی
ازنیروی پیش تنیدگی
=
تنش فشاری
دیاگرام(ناشی از
لنگر خمشی +
نیروی پیش‌تنیدگی)

شکل (۱ – ۱)

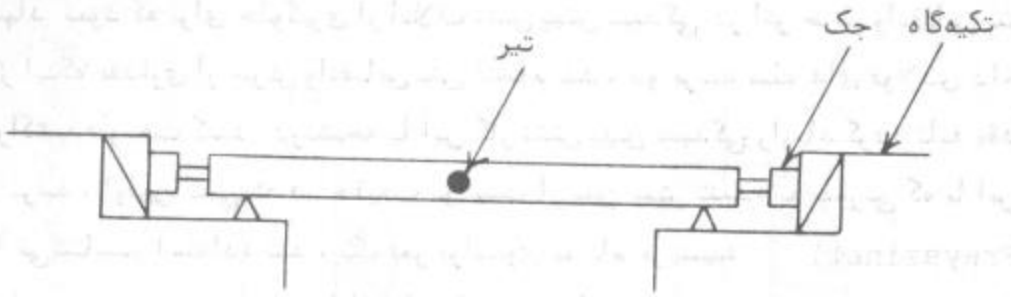
(Creep) وانقباض بتن (Shrinkage) از بین می‌رفت . در نتیجه بتن پیش تنیده از نظر اقتصادی نمی‌توانست با بتن فولادی رقابت نماید . در سال ۱۹۰۸ اشتاینر اهل آمریکا پیشنهاد نمود که برای جلوگیری از اتلاف تنش پیش تنیدگی در اثر خزش وانقباض بتن ، پس از اینکه مقداری از خزش وانقباض بتن انجام شد ، دو مرتبه میله های فولادی داخل بتن راکشیده وسفت کنند . درنتیجه با این کار تنش پیش تنیدگی رازیاد کرده تا به مقدار اولیه برسد . اولین کسی که در حقیقت توانست از بتن پیش تنیده به صورتی که ما امروز آن را می‌شناسیم استفاده کند ، یک نفر فرانسوی به نام فریسینه (Freyssinet) بود . اودرسال ۱۹۲۸ توانست با استفاده از فولادهای بامقاومت بالا در صداز دست‌رفتن تنش ناشی‌از خزش وانقباض بتن به‌تنش اولیه پیش تنیدگی را کاهش داده و در نتیجه بتن پیش تنیده را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه کند . کاربرد بتن پیش تنیده معمولا" در عضو هائی است که تحت تاثیر خمش می‌باشد مانند تیرها ، دال‌ها ، دیوارهای حائل و ستونها .ولی می‌توان از بتن پیش تنیده درعضوهائی که تحت تاثیر کشش هستند مانند لوله‌ها ، مخازن آب وغیره نیز به نحو مطلوب استفاده نمود .

۳ ـ ۱ ـ روشهای واردکردن نیروی پیش تنیدگی :

نیروی پیش تنیدگی را می‌توان به طرق مختلف به یک تیربتنی وارد کرد . شاید ساده ترین روش فشرده ساختن یک تیر ، به وسیله یک یا دو جک در مقابل دو تکیه‌گاه می‌باشد شکل (۲ ـ ۱) . این روش در بعضی از پروژه های بزرگ به کار می‌رود . دربعضی از پروژه ها پس از فشرده ساختن تیر به وسیله جک با قراردادن پلیت بین تیروتکیه گاه جلوی برگشت تیررابه حالت اولیه‌گرفته ،سپس جک ها را آزاد می‌کنند . گاهی ازجک‌هائی که برای همیشه در زیر بار می‌ماند به نام جک های تخت (Flat Jacks) استفاده می‌شود . دراین جک ها به‌جای مایع هیدرولیک از دو غاب سیمان استفاده می‌شود .روش کار به این ترتیب است که وقتی فشار وارده توسط جک به تیر به مقدار مطلوب رسید ، دریچه های ورودد وغاب رامسدود می‌کنندو دوغاب سیمان پس از گرفتن همیشه یک فشار ثابت به تیرواردخواهدکرد . در شکل (۳ ـ ۱) نمونه‌هائی ازجک های تخت بادریچه‌های ورود و خروج دو غاب سیمان (یا مایع هیدرولیک) نشان داده شده است .

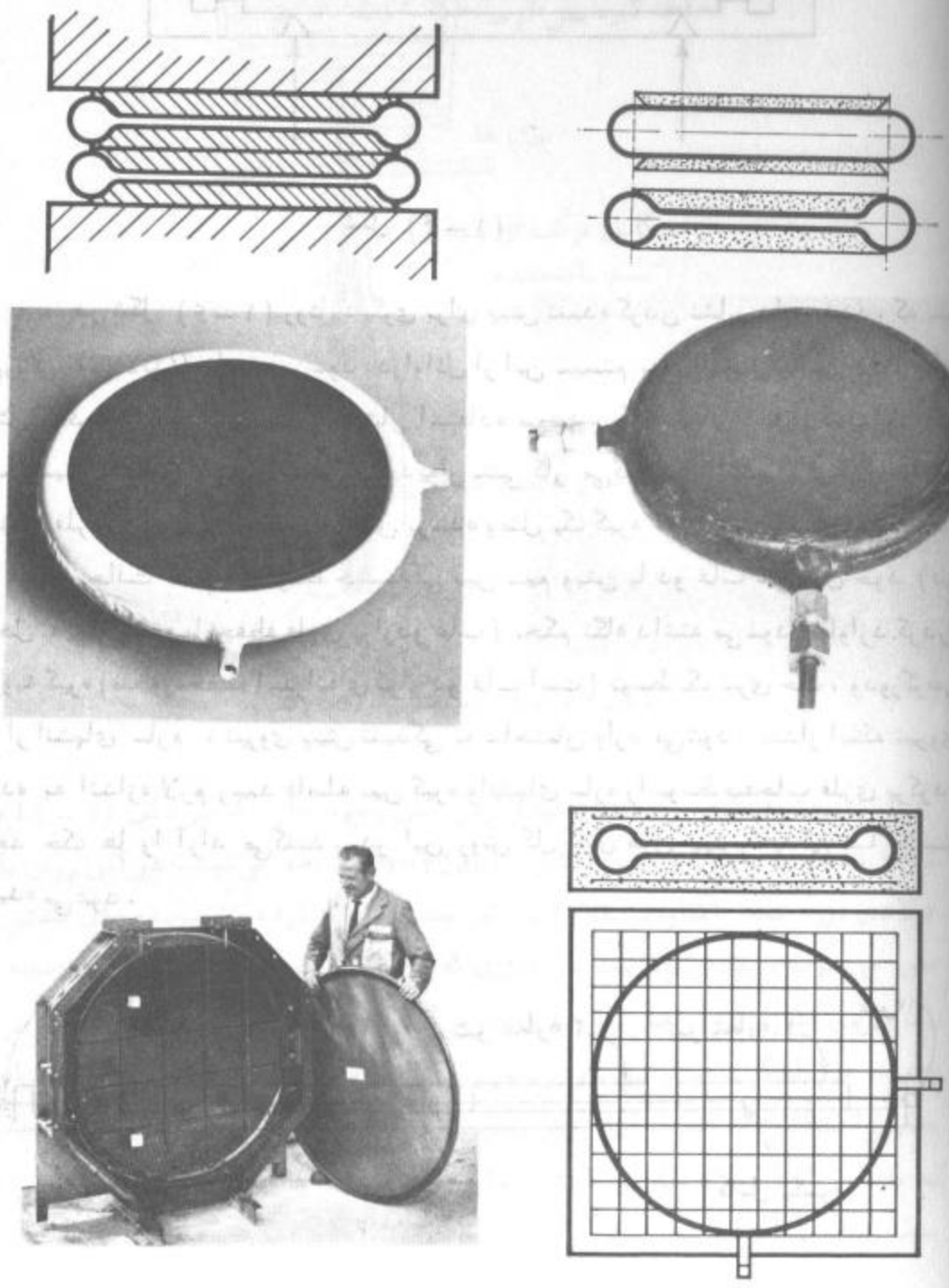
اشکال اساسی این روش ها این است که کوچکترین تغییر شکل ویا حرکت تکیه‌گاه پل به نحو قابل ملاحظه ای نیروی پیش تنیدگی را کاهش می‌دهد . در بیشتر موارد همان نتایج را می‌توان به طور ساده تر با اتصال دو جک انتهائی به یکدیگر توسط

یک کابل (کابل عبارت است از یک یا چند رشته سیم یا میله پیش تنیدگی که به‌یک گیره مشترک متصل اند) به دست آورد شکل (۴ – ۱).

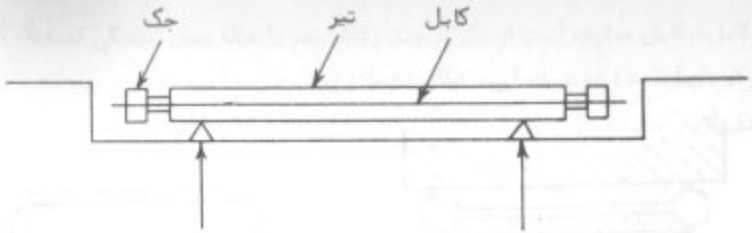


شکل (۲ – ۱)

کابل هائی‌که دوجک را به هم متصل می‌کند را می‌توان در خارج ویا داخل بتن قرار داد. ولی معمولا" این کابلها را داخل مجراهائی که قبلا" در بتن تعبیه شده است قرار می‌دهند. معمولا" یک‌سرکابل پیش تنیده‌رابه‌یک طرف تیر گیر داده (توسط گیره‌های مخصوصی که‌در فصل سوم شرح‌داده شده) ونیروی پیش تنیده را توسط جک به طرف دیگر وارد می‌کنند. بعداز وارد کردن نیروی لازم کابل ها را توسط گیره هائی که در داخل ویا خارج بتن کار گذارده شده به تیرگیر می‌دهند وسپس جک ها را آزاد می‌کنند. در این سیستم پیش تنیدگی برخلاف سیستم قبلی نیروی پیش تنیدگی با حرکت نسبی تکیه گاه‌ها تغییر نکرده ومستقل از آن می‌باشد. یک متددیگر پیش تنیده کردن که در عمل کار برد وسیعی دارد و معمولا" در کارخانه های تولید قطعات بتن پیش تنیده به کار می‌رود در شکل (۵ – ۱) نشان داده شده‌است. در این‌سیستم ابتدا کابل هائی که قرار است‌نیروی پیش تنیدگی‌به تیر وارد کند را کشیده، وآنها را به دو تکیه‌گاه بتنی مقاوم گیر می‌دهند. سپس در قالبی که بین این دو تکیه‌گاه وجود دارد بتن ریزی می‌کنند. پس از چند روز وقتی که مقاومت بتن به حد لازم رسید کابلها را از تکیه گاه آزاد می‌کنند. در این حال نیروی پیش تنیدگی در کابلها به وسیله اصطکاک وچسبندگی (Bond) به بتن منتقل می‌شود. حسن این متداین است که می‌توان بین دوتکیه گاه چندین تیررا در آن واحد ریخت وآنها را پیش تنیده کرد. روش کار از این قرار است که پس از اینکه مقاومت بتن به حد لازم رسید، کابلها را از تکیه گاه آزاد کرده و سپس کابلهائی که دو تیر جداگانه را به یکدیگر اتصال‌می‌دهد از محل درزبین دو تیراره می‌کنند.

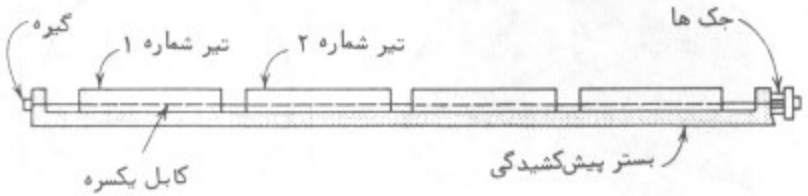


شکل (۳ ـ ۱) نمونه هائی از جک های تخت

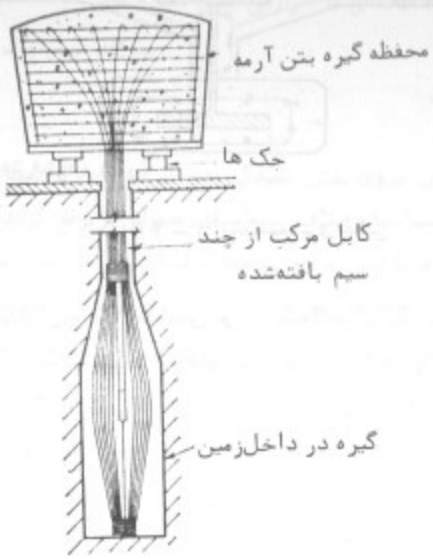


شکل (۴ – ۱)

در شکل (۶ – ۱) روش دیگری برای پیش تنیده کردن نشان داده شده، که به نام‌روش (COYNE) نامیده‌می‌شود. دراوائل از این سیستم برای اتصال دادن دیوارهای حائل وسدها، به پی‌های سنگی زیرشان استفاده می‌شد. یک انتهای کابل، که شامل یک دسته سیم مستقیم است را داخل یک دیوار بتنی کار می‌گذارند. انتهای دیگر را به یک محفظه فلزی‌بزرگ‌که از دو غاب سیمان پرشده ومثل یک گیره عمل می‌کند، گیر می‌دهند. در هر دو حالت سیم ها توسط چسبندگی بین سیم وبتن یا دو غاب سر جای خود (در داخل دیوار بتنی یامحفظه فلزی پرازدو غاب) محکم نگاه داشته می‌شود. باوارد کردن نیروبه گیره (منظورمحفظه استوانه‌ای پراز دو غاب است) توسط یک سری جک، ودورکردن آن از انتهای سازه، نیروی پیش تنیدگی به ساختمان وارد می‌شود. بعداز اینکه نیروی وارده به اندازه لازم رسید فاصله بین گیره وانتهای سازه را توسط صفحات فلزی پرکرده و بعد جک ها را آزاد می‌کنند. در این روش کل کابل های پیش تنیدگی با هم کشیده می‌شود.

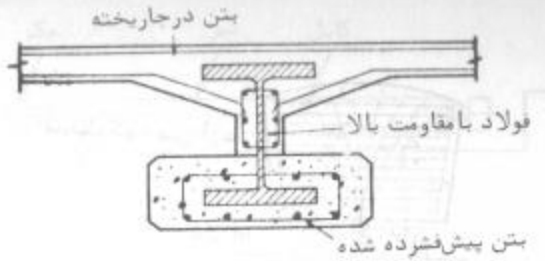


شکل (۵ – ۱)



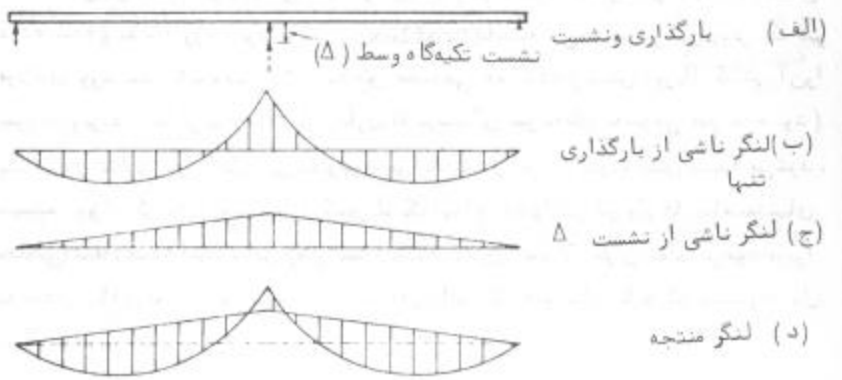
شکل (۶ – ۱) سیستم (Coyne)

روش دیگری برای پیش‌تنیده کردن بتن وجود دارد که در شکل (۷ – ۱) نشان داده شده و به نام روش پری فلکس (Preflex)نامیده می‌شود. در این روش یک تیر فولادی نورد شده بامقاومت بالا را به طور مصنوعی خم کرده و سپس دوربال کششی آن‌را بتن می‌ریزند. بعداز برداشت بار (باری که توسط‌آن تیر به‌طور مصنوعی خم شده بود) یک نیروی فشاری در داخل بتن به وجود می‌آید که در اثر آن بتن، پیش تنیده می‌شود. سیستم فوق‌الذکر برای اولین باردرکشوربلژیک ابداع‌شده وازآن در پل ها وساختمانهای معمولی‌استفاده‌شده است. این روش پیش تنیده کردن، معمولا" گران تمام می‌شود، زیرا به مقدار زیادی فولاد نیاز می‌باشد، لیکن درمواقعی که عمق سازه باید کم باشد راه حل بسیار مناسبی است.



شکل (۷ – ۱) سیستم پری‌فلکس

گاهی اوقات می‌توان با بالا یاپائین بردن تکیه‌گاههای یک تیریکسره ،لنگرهائی ایجاد کرد که قسمتی از لنگر ناشی از بارهای مرده وزنده را خنثی کند . در شکل (الف – ۸ – ۱) یک تیر یکسره نشان داده شده است . دیاگرام لنگر خمشی این تیرتحت اثر یک بار یکنواخت مطابق شکل (ب – ۸ – ۱) می‌باشد . اگر ضخامت تکیه گاه وسطی را کم کنیم ، به‌طوری که تیرروی این تکیه گاه کمی نشست کند ، یک لنگر اضافی مطابق شکل (ج – ۸ – ۱) به وجود می‌آید که در اثر آن دیاگرام کل لنگر خمشی وارد به تیر مطابق شکل (د – ۸ – ۱)می‌شود . به‌این ترتیب ، لنگر منفی روی تکیه گاه که در ابتدابزرگترین لنگر در تیر بود کاهش یافته ، لیکن لنگر مثبت بزرگتر افزایش پیدا می‌کند .



شکل (۸ – ۱) ایجادتنش پیش تنیدگی ،در اثرنشست کنترل شده تکیه‌گاه وسط

علاوه برروشهای مکانیکی پیش تنیدگی که در بالا شرح داده شد ، می‌توان یک تیر را توسط متدهای شیمیائی یا حرارتی پیش تنیده کرد .

الف – روش شیمیائی :

در این روش نیروی پیش تنیدگی در اثر استفاده از سیمان های منبسط شونده بوجود می‌آید ،این‌سیمانهابرخلاف سیمانهای معمولی‌درموقع گرفتن وسخت شدن به‌جای منقبض شدن منبسط می‌گردند ،و چون وجودکابلها در داخل بتن جلوی این انبساط طول را می‌گیرد در نتیجه مقداری نیروی فشاری در تیرایجاد می‌شود . در میان عضوهای ساختمانی‌که برای پیش تنیده کردن‌آنها از روش شیمیائی استفاده‌شده می‌توان لوله ها – دالهای دو طرفه و پوسته های نازک را نام برد . باید متذکر شد که روش پیش‌تنیدگی شیمیائی هنوز مراحل ابتدائی وآزمایشگاهی خود را می‌گذراند .

ب – روش الکتریکی – حرارتی :

در این روش باوصل کردن جریان برق به‌کابلها باعث ازدیاد طول کابلها شده ، سپس کابلهارانوسط گیره‌هائی در همان حال کشیده به‌تکیه گاه وصل می‌کنند . پس از قطع کردن جریان وسردشدن کابلها ، دور آنهارا بتن‌ریزی می‌کنند و بعدازاینکه مقاومت بتن به حد لازم رسید کابل های کشیده شده را از تکیه گاه آزاد می‌کنند ، ودر نتیجه نیروی کشیده شدن‌کابلها به بتن منتقل می‌گردد . روش پیش تنیدگی حرارتی به طور وسیعی در شوروی ودیگر کشورهای اروپای شرقی برای ساختن دالها ، تیرها ، خرپاها و ستونهای چراغ برق مورد استفاده قرار می‌گیرد . حسن بزرگ این روش پیش تنیدگی نسبت به متدهای متداول دیگر در کم خرج بودن آن است زیرا اولا" سرمایه گذاری اولیه جهت استفاده از این متد بسیار کم می‌باشد ، ثانیا" از این متدمی‌شود برای پیش تنیده کردن میله های‌دندانه‌دار بامقاومت بالا (high yield deformed bars) استفاده نمود که به‌مراتب ارزان تراز سیم‌ها (wire)وسیم های بافته شده (strand) می‌باشد و ضمنا" به علت اینکه‌این میله ها دندانه‌دار هستند ، طول لازم جهت انتقال نیرو به بتن که رابطه‌مستقیم باچسبندگی واصطکاک بتن با میله دارد نیز کم می‌شود . این‌موضوع بخصوص در عضوهای بتنی‌کوتاه مانندتراورس های‌بتن پیش تنیده‌راه آهن اهمیت زیادی دارد .

۴ ـ ۱ ـ روشهای پیش تنیدگی :

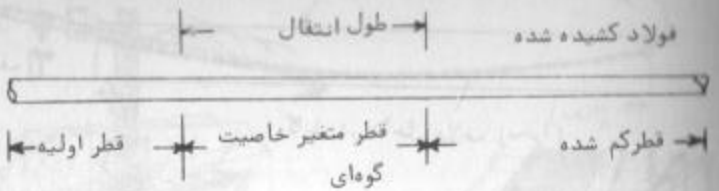
صرفنظر از طرز وارد کردن نیروهای پیش تنیدگی به بتن می‌توان دو نوع بتن پیش تنیده تشخیص داد :

الف ـ بتن پیش کشیده (Pretentioned) :

بتن پیش کشیده بتنی‌است‌که‌کابلهای‌پیش‌تنیدگی آن قبل از ریختن بتن کشیده شده باشد مانندشکل‌های (۵ ـ ۱) و (۹ ـ ۱) . در بتن پیش کشیده کابلهای داخل‌بتن به‌بتن چسبیده اند (bonded)و بعدازاینکه بتن خود راگرفت کابلها را از تکیه‌گاههای دوطرف آزادکرده و قسمت اضافی بیرون‌مانده ازبتن را قطع می‌نمایند . این عمل انتقال نیرو از کابل به بتن را به‌اصطلاح انتقال می‌گویند (transfer) .

شکل (۹ ـ ۱) روش ساختن یک تیرپیش کشیده

تمام نیروی پیش تنیدگی به‌طور کامل در طولی از کابل به بتن منتقل می‌شود . این طول‌راطول انتقال (transmission length) می‌نامند .طول انتقال بستگی به نوع سطح فولاد ، شکل مقطع ، و قطر آن دارد . همچنین مقاومت بتن نیز در آن موثر می‌باشد .طول‌انتقال‌همچنین‌به خاصیت‌گوه‌ای (wedging effect) فولاد پیش‌تنیده در طرف بریده شده آن بستگی دارد . خاصیت گوه‌ای به این دلیل بوجود می‌آید که‌چون قطر فولاددراثرکشیده شدن کم می‌شود ، در طول انتقال که نیرومتغیر می‌باشد قطر فولاد نیز بسته به نیروی داخل آن متغیر می‌باشد ، این موضوع در شکل (۱۰ ـ ۱) نشان داده شده است .

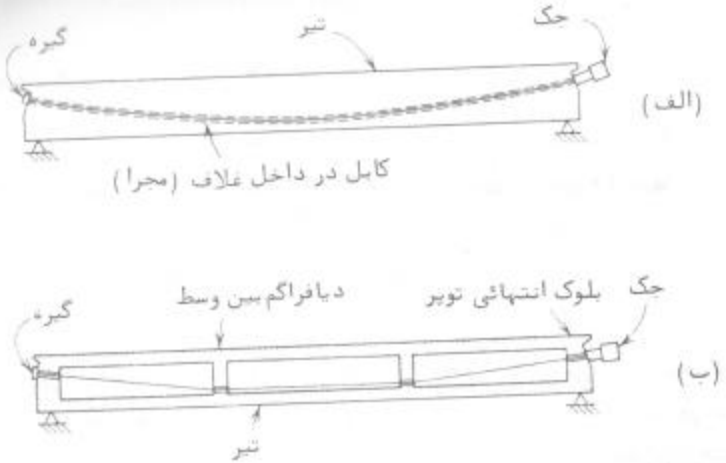


شکل (۱۰ ـ ۱) خاصیت گوه‌ای

برای جلوگیری از وارد شدن ضربه به بتن درموقع انتقال نیروی پیش تنیدگی ، بایداین نیرو به‌طورآرام‌وتدریجی به بتن منتقل‌شود . همچنین تیر باید بتواند به‌راحتی درروی بستر خود بلغزدتا جلوی به وجود آمدن نیروهای داخلی در اثر اصطکاک گرفته شود .اگرچنانچه سطح فولادمصرفی دارای خاصیت چسبندگی کافی به بتن نباشد ،نیروی پیش تنیدگی ممکن است به‌طورناقص به‌بتن منتقل شودودر این حالت نمی‌توان فرض کرد که بتن‌پیش تنیده شده‌است ، وحتی ممکن است‌که مقاومت‌خمشی آن ازیک تیر بتن‌فولادی کمتر گردد . بنابراین در بتن پیش تنیده فقط باید ازفولاد های نوع مجاز برای این کار و همچنین بتن نوع عالی با مقاومت بیشتر از $34/5\ N/mm^2$ ($350\ Kg/cm^2$)در موقع انتقال ، استفاده نمود . یکی از خاصیت های مهم بتن پیش کشیده این است که می‌توان چندین عضو یک شکل را در آن واحد درکارخانه بین دونکیه گاه ریخته و پس از گرفتن بتن باقطع‌کردن کابلهای مشترک آنها را از هم جدا کرد . این کار از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه می‌باشد ، زیرا عمل کشیدن کابلها برای تمام عضوها فقط یک بار انجام می‌گیرد .

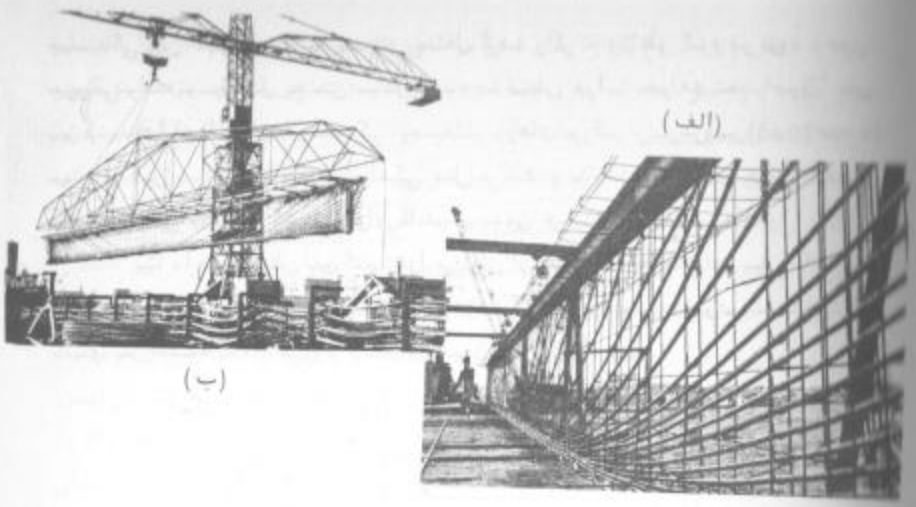
ب ـ بتن پس کشیده :

اگر فولادپیش‌تنیدگی را بعداز گرفتن وسفت شدن بتن بکشند ، بتن رااصطلاحاً بتن پس‌کشیده می‌نامند . نیروهای پیش تنیدگی توسط‌گیره های انتهائی(anchorages) از کابل به‌بتن‌منتقل می‌گردد . فولاد پیش تنیدگی نباید قبل از کشیدن به بتن چسبیده باشد در غیر این صورت امکان کشیدن آن وجود نخواهد داشت . همچنین اصطکاک بین فولاد و بتن را باید هرچه ممکن است کاهش داد . فولادهای پیش تنیدگی را می‌توان در داخل غلافها یامجراهائی که در بتن تعبیه شده است وبا اینکه کاملا "خارج از بتن قرار داد .



شکل (۱۱ – ۱) تیرپس‌کشیده بامجرائی جهت کارگذاردن کابل درداخل بتن

در شکل (۱۱ – ۱) یک تیرپس کشیده بامجرائی (غلافی) جهت کار گذاردن کابل درداخل بتن‌نشان داده شده است. کابل های پیش تنیدگی را می‌توان قبل از بتن ریزی درداخل غلافها (لوله های فلزی جدار نازک با سطح خارجی کنگره‌دار) کارگذارد و سپس‌دور آنها را بتن ریخت. به این ترتیب بتن به سطح‌خارجی کنگره‌دار غلاف خوب چسبیده لیکن هیچ نوع تماسی باکابلها پیدا نمی‌کند. بعداز اینکه بتن خود را گرفت، کابلها راکشیده و توسط گیره‌های انتهائی‌به بتن متصل می‌کنند. قطر غلاف همیشه‌بزرگتر از کابلی است که‌باید در داخل آن قرار بگیرد. گاهی اوقات کابلهای پیش تنیدگی را از قبل داخل غلافها نمی‌گذارند، بلکه بعداز اینکه عملیات بتن ریزی به دور غلافها تمام شد، کابلها را توسط دستگاه مخصوصی یکی، یکی ویا به‌طور دستجمعی به داخل سوراخ غلافها هدایت می‌کنند. برای اینکه‌غلافها در موقع بتن‌ریزی ازمسیر لازم منحرف نشود، آنها را به خاموتها و آرماتورهای طولی غیر پیش تنیده مطابق شکل (الف – ۱۲ – ۱) اتصال می‌دهند. شکل (ب – ۱۲ – ۱) آرماتورهای آماده‌و غلافهای منحنی (مربوط به یک مسیر منحنی کابل) متصل به آن را، در حال انتقال به قالب، جهت بتن ریزی نشان می‌دهد. اتصال بین غلافهاوآرماتورها بایدطوری محکم باشد که در موقع بتن‌ریزی امکان تکان خوردن ویا تغییر مسیر غلاف وجود نداشته باشد.



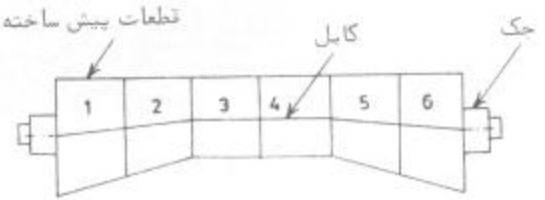
شکل (۱۲ – ۱) غلافها و طریقه اتصال آنها به فولادهای غیر پیش تنیده
الف ــ مرحله ساخت
ب ــ انتقال غلافها و آرماتورها به قالب جهت بتن ریزی.

بعداز پایان عملیات کابل کشی معمولا" برای جلوگیری از زنگ زدن کابلها، دو غاب سیمان به داخل‌غلافها تزریق می‌کنند. تا فاصله بین کابل وغلاف را پرکنند. دراین حالت چون کابل توسط دو غاب به غلاف ودر نتیجه به بتن می‌چسبد، اصطلاحا" کابل را، کابل باچسبندگی (bonded) می‌نامند. گاهی‌اوقات به دلائل خاصی از جمله‌ایجاد انعطاف پذیری‌بیشترجهت‌مقاومت بهتر به زلزله، ممکن است دو غاب به داخل غلافهای دور کابل‌تزریق‌نکنند. در چنین‌حالاتی چون هیچ نوع چسبندگی بین‌کابل وغلاف وجود ندارد، کابل را، کابل بدون چسبندگی (unbonded) می‌نامند. در چنین مواقعی برای جلوگیری اززنگ زدن کابل، داخل غلاف ودور کابل را پراز گریس می‌کنند. بعضی ازکارخانه‌های‌کابل‌سازی، کابلهائی‌تولیدمی‌کنند که‌در داخل لوله‌های پلاستیک پرازگریس قراردارد. این نوع کابلهای‌فاقد چسبندگی را می‌توان مستقیما" در داخل بتن‌کارگذارد، وبعدازپایان عملیات‌بتن ریزی کابلها را کشید (چون گریس مانع چسبیدن کابل به غلاف می‌شود).

در کابلهای‌بدون چسبندگی‌نیروی پیش تنیدگی فقط توسط گیره ها به بتن‌منتقل می‌شود، لیکن در کابلهای دارای چسبندگی نیرو می‌تواند هم‌توسط گیره و هم بوسیله

چسبندگی بین کابل ودوغاب به بتن منتقل گردد واگر به دلائلی گیره در برود ، چون نیرو می‌تواند توسط کابل به بتن منتقل شود ، ساختمان خراب نخواهد شد . اصولا " بتن پس کشیده‌دارای‌کابلهای‌باچسبندگی ،تحت اثر بارهای بزرگتر از بارسرویس(overload) بهتر از بتن پس کشیده فاقد چسبندگی عمل می‌کند و مقاومت نهائی آن خیلی بیشتراز مقاومت نهائی بتن پس کشیده دارای کابلهای بدون چسبندگی مشابه می‌باشد .

یک ساختمان بتن پس کشیده را می‌توان از مجموعه ای از قطعات پیش ساخته که توسط کابل پیش تنیدگی به‌هم متصل می‌شود ساخت .این روش بیشتردر ساختمان‌دال پلهای پس کشیده به کار می‌رود (شکل ۱۳ – ۱) .



شکل (۱۳ –۱) طرزساختن یک‌قطعه تیرپس‌کشیده از قطعات کوچکترپیش‌ساخته

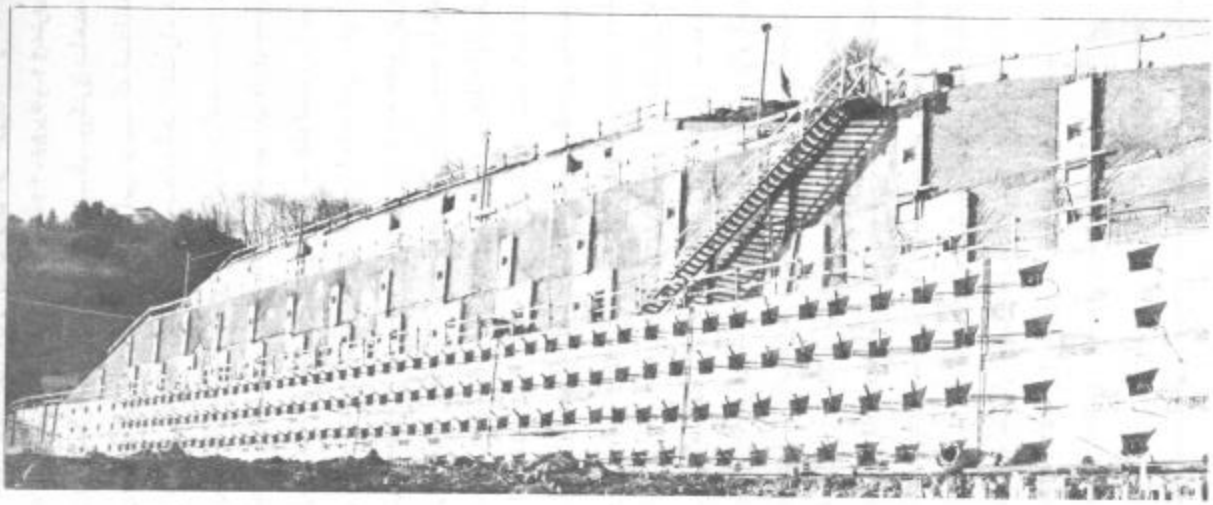
۵ – ۱ – مثالهائی از کاربرد عملی بتن پیش تنیده :

شکل های (۱۴ –۱) تا (۲۰ – ۱)کاربرد بتن‌پیش تنیده را در انواع ساختمانهای مختلف نشان می‌دهد . در شکل (۱۴ – ۱) ساختمان یک دیوار حائل در کشور سوئیس نشان داده شده است . برای حفظ تعادل این دیوار و جلوگیری از ریزش خاک درموقع ساختمان ، دیواررابه وسیله‌کابل های پیش تنیدگی به‌سنگ‌یا خاک پشتش اتصال‌داده‌اند . خاکبرداری ، سنگ برداری وبتن ریزی دیوار حائل در لایه های ۱ تا ۳ متری انجام شده و بعداز اینکه بتن هر لایه از دیوار خود را گرفت ، یک ردیف کابل مربوط به آن لایه را می‌کشند . سپس عملیات خاکبرداری لایه بعدی زیرتر انجام می‌شود . با این کار می‌توان تاهرعمقی که لازم باشدخاکبرداری کرد ،بدون‌اینکه خطر ریزش سنگ یا خاک وجود داشته باشد . زیرا بعدازپایان خاکبرداری هر لایه ، بلافاصله دیوار حائل مربوط به آن لایه را بتن ریزی می‌کنند وبعداز گرفتن بتن‌این لایه‌ار دیوار ، به وسیله کابل های پیش تنیدگی به‌سنگ یا خاک پشتش اتصال داده می‌شود . نیروی موجود در هر کابل پیش تنیده دیوار فوق الذکر برابر با ۱۷۰۰kN می‌باشد .

شکل (۱۵ – ۱) پل راه‌آهن بوش در کشور هلند را نشان می‌دهد . طول این‌پل پیش تنیده ۴۲۰ متر بوده که از۸ دهانه ، ۴۲ ، ۵۶×۶ و ۴۲ متری تشکیل شده است .گرچه امروزه پل های پیش تنیده ، بادهانه های بسیار بزرگتری ساخته شده است ، لیکن روش ساخت این پل بسیار جالب می‌باشد .به این ترتیب که ابتدا قطعه ای از دال جعبه‌ای پل که دارای طولی تقریبا " مساوی‌با طول دهانه آخر است را ، در انتهای طرف کوله ،در قالبی که روی بسترجاده قرار دارد ، بتن ریزی می‌کنند . بعداز گرفتن بتن ، این قطعه را همانطور که در شکل نشان داده شده ، به یک خرپای فلزی متصل می‌کنند . سپس خرپا و قطعه ای ازپل که به آن متصل است را به طرف جلوکشیده و آنها را به پایه های موقت (ستونهای فلزی که‌در شکل دیده می‌شود) ویا پایه های اصلی تکیه می‌دهند . در این حالت چون قطعه اول دال بتنی جلو رفته است قالب خالی می‌شود و قطعه بعدی دال را می‌توان دراین‌قالب ریخت . بعداز گرفتن‌بتن ، این قطعه راتوسط کابلهای پیش تنیدگی به قطعه قبلی (جلوئی) اتصال داده و مجموعه دو قطعه اول پل وخرپا را به طرف جلو می‌کشند . این عملیات را آنقدر تکرار می‌کنند تا اینکه تمام دهانه های پل ساخته شده و همگی درسرجای خود قرار بگیرد . قطعه ای از پل که اول ساخته شده روی دهانه انتهائی قرار می‌گیرد و برای اینکه سرجای خود قرار بگیرد بیشترین فاصله را طی می‌کند (در این مثال کل طول پل که ۴۲۰ متر است را طی می‌کند) و قطعه ای که آخر ساخته شده کمترین فاصله راطی می‌کند (که برابر باطول دهانه اول است) . موضوع جالب توجه این است که درمراحل پایانی کاربرای اینکه دهانه آخر سرجای خود قرار گیرد ، تمام طول ۴۲۰ متری پل باید حرکت کند ، که این کار توسط جک های مخصوص انجام می‌گیرد .

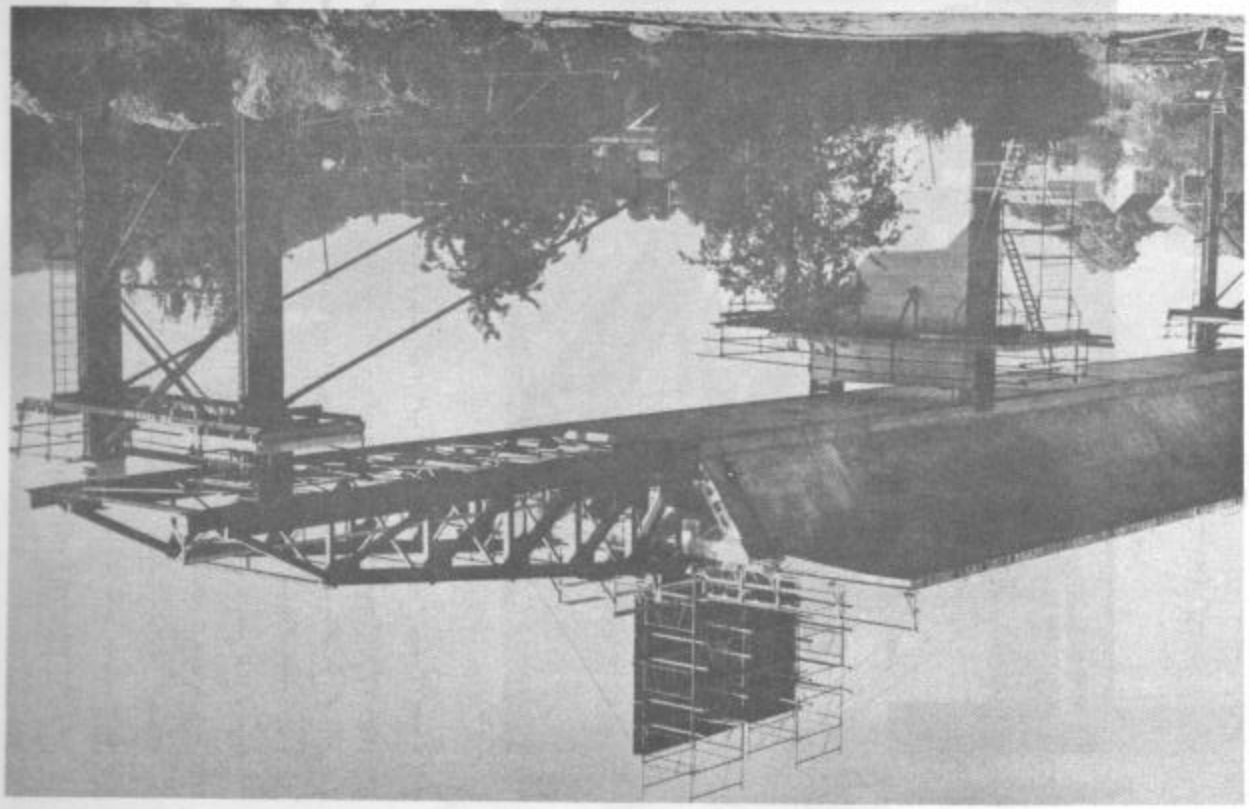
شکل (۱۶ – ۱)پل پیش تنیده سیدنی‌هاربر را در حال ساختمان نشان می‌دهد . برای ساخت این پل از قطعات جعبه‌ای پیش ساخته استفاده شده است . قطعات جعبه‌ای توسط دستگاه خرپای حمال (که در شکل دیده می‌شود) در محل خود قرار داده شده و سپس این قطعات توسط کابل های پیش تنیدگی به یکدیگر اتصال داده می‌شود . سیستم اتصال قطعات به یکدیگر مطابق شکل (۱۳ – ۱) می‌باشد .

شکل (۱۷ – ۱) سکوی پیش تنیده نفتی کان دیپ (Condeep)رادر حالی که توسط چندین کشتی از محل ساخت به محل استقرار دائمی اش یدک کشیده می‌شود نشان می‌دهد . بین سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ ذخیره های بسیار بزرگ نفتی در دریای شمال کشف شد .محل‌این‌ذخیره ها عموما " در نقاطی است که بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر از ساحل دور می‌باشد . عمق آب در این محلها حدود ۱۵۰ متر ، سرعت بادبین ۲۴۰ تا

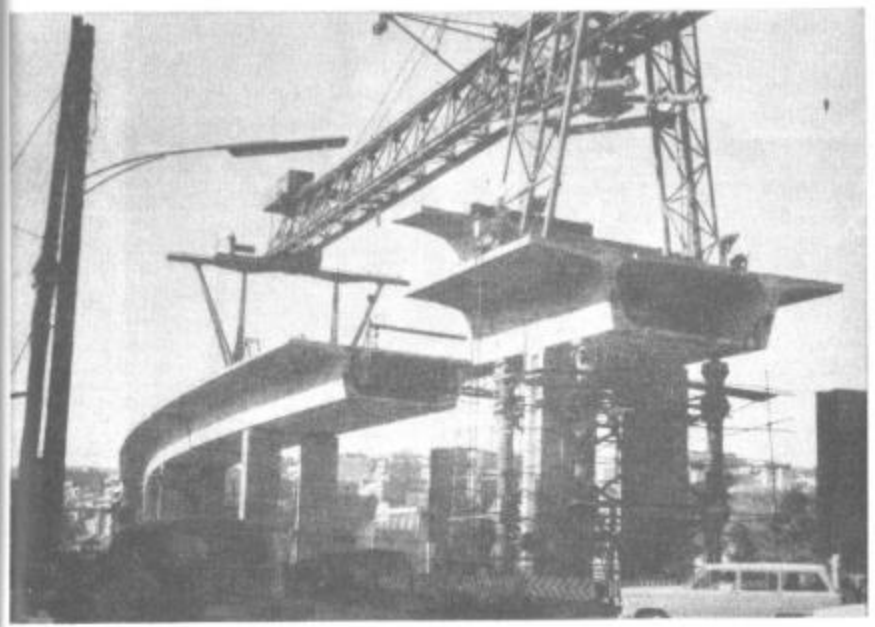


شکل (۱۴ – ۱)

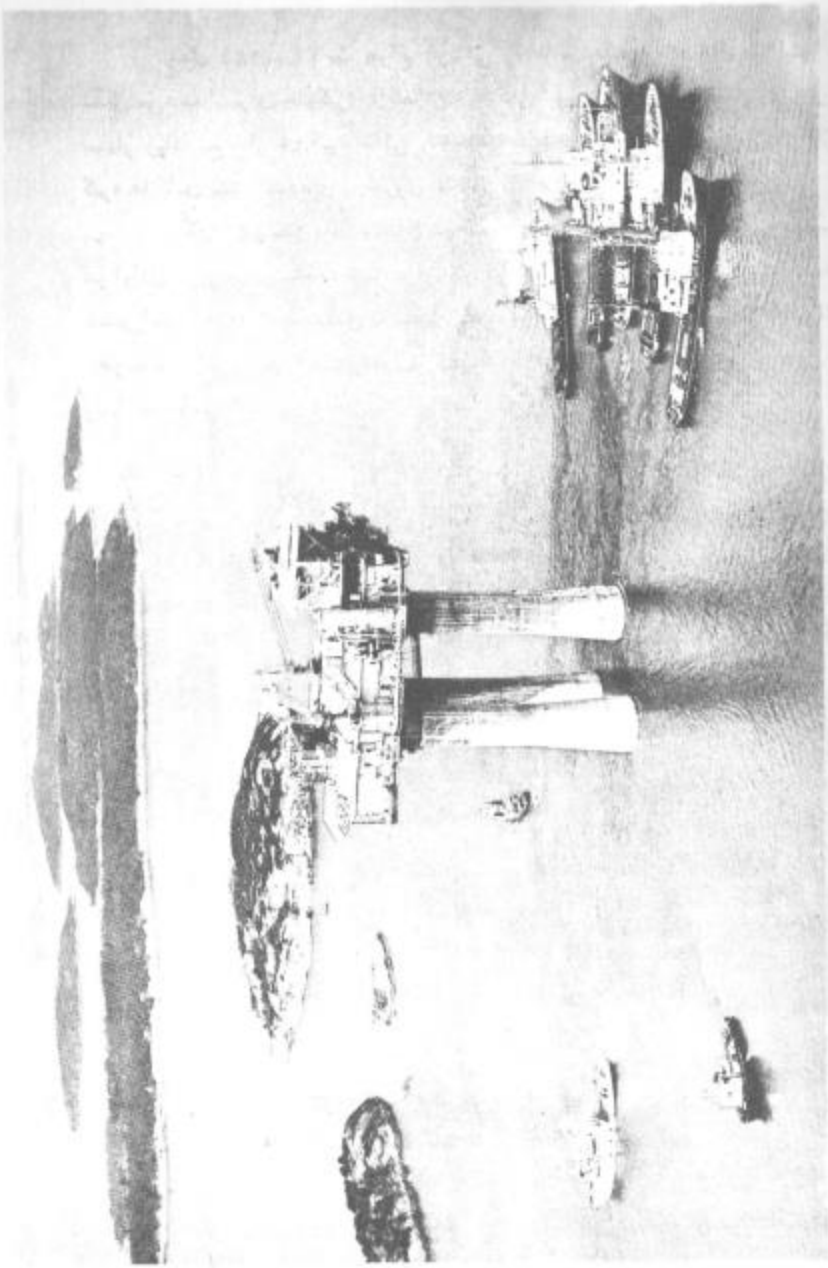
شکل (۱۵ – ۱)



۲۶۰ کیلو متروارتفاع امواج ۳۰متر است . در چنین شرائط جغرافیائی وآب وهوای سختی امکان ساخت هیچ نوع ساختمانی درمحل وجود ندارد . به همین دلیل سکوهای نفتی را درمحلی درنزدیک ساحل ساخته سپس‌آنها را به محل استقرا ردائمی شان می‌برند .برای اینکه ساختمان درمحل‌دائمی اش به کف دریا تکیه‌کند قسمتی از مخازن زیر آن را باسنگ شکسته پرمی‌کنند . سکوی‌نفتی کان دیپ دارای ۱۹ مخزن استوانه‌ای به ارتفاع ۵۰متربرای ذخیره‌نفت می‌باشد که در زیر سکو قرار دارد . (این مخازن در شکل دیده نمی‌شود چون در زیر آب می‌باشد) . سه برج بلند (که در شکل دیده می‌شود) از کف دریا تا زیرسکو ادامه دارد .ارتفاع‌این‌برجها از کف‌دریاتا زیر سکو ۱۷۵ متر می‌باشد . درساختمان برج‌ها و مخازن نفت ازبتن پیش تنیده و بتن آرمه استفاده شده است .



شکل (۱۶ – ۱) پل پیش تنیده سیدخندان در حال ساخت



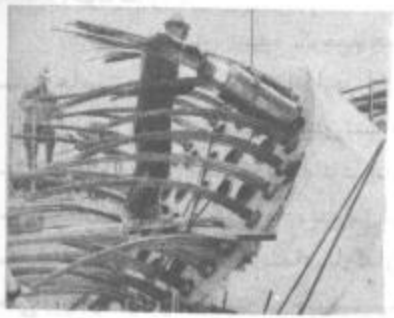
شکل (۱۷ – ۱) سکوی نفتی کان‌دیپ

شکل (۱۸ – ۱) یک چراغ دریائی را در نزدیک سواحل بالتیک کشور سوئد نشان می‌دهد. برای جلوگیری از لغزش و واژگون شدن این چراغ دریائی در اثر فشار بسیار زیاد یخ، از ۴۶ گیره خاکی (Soil anchor) استفاده شده است. هرکدام از گیره ها کابل پیش تنیده‌ای با نیروی ۸۵۰KN را نگاه می‌دارد.

شکل (۱۹ – ۱) سدمیلتون در کشور آمریکا را نشان می‌دهد. این سدبتنی، که در اوائل قرن حاضر ساخته شده، از نظر شرائط تعادل، دیگر با آئین نامه ها و دستورالعمل های‌جدید تطابق نداشت. به همین دلیل آن‌را با ۵۹ عدد کابل ۴۷۸۳ KN (ظرفیت نهائی کابل است) تقویت کردند. به‌علت مشکلات دسترسی به محل، کابل‌ها را با کمک هلی کوپتر به داخل غلافها هدایت کردند.

شکل (۱۸ – ۱) چراغ دریائی در نزدیک سواحل بالتیک سوئدکه توسط کابل پیش تنیدگی به‌کف دریا اتصال داده شده

شکل (۱۹ – ۱) تقویت سدمیلتون
توسط کابل های پیش تنیدگی



شکل (۲۰ – ۱) تکیه‌گاه کابل های
پل معلق دنت

شکل (۲۰ – ۱) تکیه‌گاه کابل های پل معلق دنت در آمریکا را نشان می‌دهد. این تکیه‌گاه توسط ۱۲۰ عدد کابل، ۱۳۰۰ KN هرکدام به طول ۵۶ متر به‌زمین گیر داده شده است.

۶ ـ ۱ ـ مقایسه بتن پیش تنیده با بتن آرمه:

در این قسمت لازم است که فرقها و خواص مشترک بین بتن پیش تنیده و بتن آرمه رامورد مطالعه قرار دهیم.

۱ ـ 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 بالاتراز مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در یک ساختمان بتن آرمه باشد.

۲ ـ فولادهای نرم (mild steel) که معمولا" در ساختمان های بتن‌آرمه به‌کار می‌رود برای ساختمان های بتن پیش تنیده مناسب نمی‌باشد. زیرا امکان‌کشیدن‌آن به حدی که بتواند جبران اتلاف تنش های پیش تنیدگی، ناشی از انقباض و خزش بتن را بکند، وجود ندارد.

۳ ـ بتن پیش تنیده یک‌جسم همگن والاستیک می‌باشدو قبل‌از ترک خـــوردن بیشتر خاصیتی شبیه به فولاد را دارد، تا یک جسم غیر همگن مانند بتن آرمه.

۴ ـ یک ساختمان بتن پیش تنیده کامل (ساختمان بتن پیش تنیده کامل بنابـــه به تعریف ساختمانی است که تحت تاثیر بارهای سرویس در هیچ نقطه آن تنش‌کششی‌وجود نداشته‌باشد) تحت تاثیر بارهای سرویس ترک نخواهد خورد، در صورتی که در یـــک ساختمان بتن آرمه از همان ابتدای بارگذاری ترکهائی در زیر تارخنثی به وجود می‌آید. حتی اگر در اثر بارهای بیش از حد پیش‌بینی شده (overload) ساختمان بتـــن پیش تنیده ترک بخورد، بعداز اینکه بارها از روی ساختمان برداشته شود ترکها بســـته خواهد شد.

۵ ـ 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.

۷ ـ ۱ ـ فوائد بتن پیش تنیده:

۱ ـ یکی از مهمترین‌خواص ساختمانهای بتن پیش تنیده نداشتن ترکهای‌دائمی می‌باشد. این‌موضوع باعث دوام بیشتراین نوع ساختمان ها نسبت به ساختمان های‌بتنی و بتن آرمه می‌شود. این امر مخصوصا" در محیط هائی با گازها و زمین های خورنده و همچنین‌ساختمان‌های دریائی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برتری بتن پیش تنیده نسبت

به بتن آرمه جهت ساختمان تانکهای آب ومخازن به جهت نداشتن ترک واضح است.

۲ ـ وزن ساختمان‌های بتن پیش‌تنیده به مراتب ازوزن ساختمان های بتن‌آرمه معادل کمتراست. زیرا اولا" چون‌از مقاومت تمام سطح مقطع بتن استفاده می‌شود، میزان بتن لازم کمتراست، ثانیا" چون فولاد مصرفی دارای مقاومت زیادتری است، معمولا" وزن فولاد لازم بین $\frac{۱}{۳}$ تا $\frac{۱}{۵}$ وزن فولاد معمولی معادل می‌گردد.

۳ ـ خیز به‌طرف پائین (deflection) تیرهای بتن پیش تنیده تحت اثـر بارهای سرویس معمولا" بسیار کم می‌باشد. زیرا قبل از وارد آمدن بارهای سرویس، تحت تاثیر نیروهای پیش تنیدگی مقداری خیز به طرف بالا در تیربه وجود آمده است، کـه از شدت خیز به طرف پائین می‌کاهد.

۴ ـ در ساختمان‌های‌بتن پیش‌تنیده قبل ازوارد آمدن بارهای سرویس ساختمان به‌وسیله نیروی پیش‌تنیدگی به‌شدت بارگذاری‌شده و بتن وفولاد تحت اثرتنشهای زیادی قرار می‌گیرد، واین خود یک نوع امتحان از نظر مطمئن بودن بتن و فولاد می‌باشد. اگر چنانچه دراین‌مرحله‌ساختمان از خود حالت غیر عادی نشان ندهد، می‌توان مطمئن شد که تحت تاثیر بارهای سرویس نیز عیبی نخواهد کرد.

۵ ـ ساختمان‌های بتن‌پیش تنیده‌معمولا" برای دهانه‌های بزرگ و بارهای‌سنگین اقتصادی تر از ساختمان های بتن آرمه می‌باشد.

۶ ـ با تغییرمقداری نیروی پیش تنیدگی می‌توان سازه راصلب ویا انعطاف پذیر کرد، بدون اینکه مقاومت نهائی آن تغییری بکند.

واضح است که یک سازه انعطاف پذیر بیشتر خاصیت فنری وارتجاعی داشته و می‌تواند قبل‌از اینکه دراثر ضربه گسیخته گردد، مقدار قابل توجهی انرژی را جذب‌کند. به‌این‌ترتیب‌چنین سازه‌هائی‌تحت اثربارهای‌زلزله ودینامیکی رفتاربهتری نشان‌می‌دهند. یک نمونه از چنین سازه‌هائی، شمع های ضربه‌گیر (Fender-pile) اسکله‌هـــا می‌باشد. ازطرف دیگریک سازه‌بسیار صلب‌بهترمی‌تواند لرزش ها ونوسانات بسیار سنگین را تحمل کند (برای مثال، فونداسیون موتورهای توربینی).

فصل دوم

مصالـــــح

۱ ــ ۲ ــ مقدمه

مواد تشکیل دهنده یک سازه بتن پیش تنیده عبارت است از بتن ، فولادهـای پیش تنیدگی ،وفولادهای غیر پیش تنیده ، این فولادهای غیر پیش تنیده ممکن اســت به دلائل مختلفی در یک عضو بتن پیش تنیده مورد استفاده قرار گیرد . از آنجائی کـه بتن پیش تنیده ماده‌مرکبی‌می‌باشد ، برای پی بردن به رفتار وخواص آن ابتدا بایدرفتار وخواص مواد تشکیل دهنده‌اش را مورد مطالعه قرار داد ، که خودهدف این فصل است .

همانطور که‌درفصل بعد توضیح داده خواهد شد ، حدود ۱۰ تا ۳۰ درصدنیروی اولیه پیش تنیدگی موجود درکابل در اثر عواملی چون‌خزش، انقباض و سستی فولاد بـه مرورزمان تلف شده ودر نتیجه تنش پیش تنیدگی در طول زمان بتدریج در عضو کاهـش می‌یابد .درحقیقت عدم آگاهی از این اتلاف تنشها وخواص فیزیکی بتن وفولاد تحت‌اثر بار در طول زمان ، عامل اصلی به ثمر نرسیدن کوششهای اولیه برای استفاده از بتن‌پیش تنیده می‌باشد . برای جلوگیری از کاهش زیاد نیروی پیش تنیدگی در اثر اتلاف تنشها ، باید از فولادهای بامقاومت بالا در عضوهای پیش تنیده استفاده نمود . خواص مکانیکی این فولادهاو منحنی‌تنش وکرنش‌آنها ، با فولادهای معمولی که در بتن آرمه مورداستفاده قرار می‌گیرد کاملا" متفاوت است . علاوه بر مقاومت بالاتر ، این فولادها دارای نرمـی (ductility) کمتری بوده و نقطه جاری شدن‌آنها نیز کاملا" مشخص نمی‌باشد . و ضمنا" دارای مشخصات دیگری هستند که از نظر مهندسی با اهمیت می‌باشد .

فولادهای معمولی‌غیر پیش تنیده از همان انواعی که در ساختمان های بتن‌آرمه به‌کار می‌رود ، نیز نقش با اهمیتی در سازه های بتن پیش تنیده ایفا می‌کند . از این نوع فولادها جهت خاموتها وتنگها برای تحمل برش وهمچنین فولادهای طولی برای تحمـل تنش های حرارتی وانقباضی و یا تنش های ایجاد شده تحت اثر بار مرده در موقع مونتاژ و یا به منظورهای دیگر استفاده می‌شود .

به منظورکاهش هرچه بیشتر اتلاف تنش ناشی از خزش بتن ، باید در سازه های

بتن پیش تنیده ازبتن‌های‌بامقاومتهای‌بالاکه‌معمولا" کاربردی در ساختمان های بتن آرمه معمولی ندارند استفاده نمود . بنابراین‌رفتار این نوع بتن ها ومنحنی تنش‌کرنش آنها را تحت اثر باردر طول زمان جهت استفاده در طرح بتن پیش تنیده باید مورد بررسـی بیشتری قرار داد .

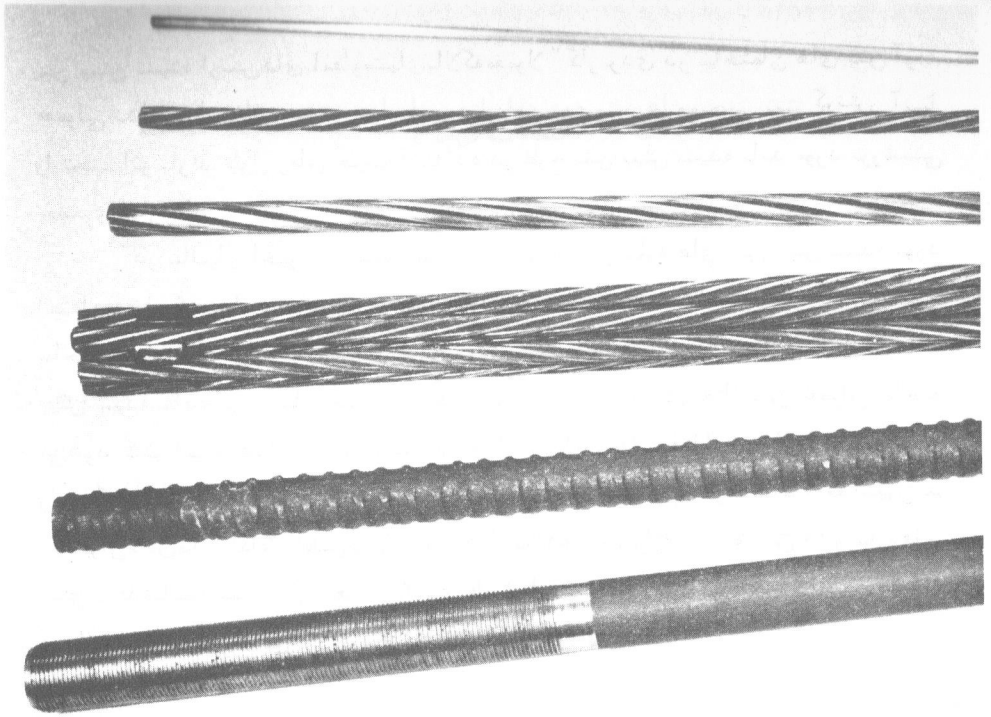
در سالهای اخیر بتن سبک به‌طور روزافزونی در سازه های بتن پیش تنیده مورد استفاده قرار گرفته است وامروزه پلهای عظیمی بادهانه های بسیار بزرگ از این نوع بتن ساخته شده است . زیرا به علت سبکی وزن این نوع بتن حمل ونقل قطعات پیش ساختـه پیش تنیده ساده تروضمنا" چون وزن قطعات نسبت به قطعاتی که از بتن معمولی ساخته می‌شود کمتر است مقدار زیادی از بار مرده کاهش یافته و نتیجتا" می‌توان ابعاد مقاطـع رانیز کوچکتر انتخاب نمود . همچنین به‌علت کم شدن کل وزن سازه ابعاد فونداسیون‌نیز به میزان‌قابل‌ملاحظه‌ای کاهش‌می‌یابد .برای استفاده‌بی‌خطرازاین نوع بتن ها و سازه‌های پیش تنیده‌باید ابتدا.رفتار ،تغییرشکلهای طویل المدت تحت اثر بارومنحنی تنش وکرنش آنها را به دقت مورد بررسی قرار داد .

۲ ــ ۲ ــ فولاد :

فولادهائی که در کارهای پیش تنیده مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولا" یـــا سیم های با مقاومـت بالائـی است کـه بـه صـورت سرد کشیده شـده (Cold - drawn high tensile wires) ویامیله‌های فولادی آلیاژدار می‌باشد (alloy steel bars). فولادهای پیش تنیدگی غالبا" به سه شکـل سیم (wire) سیم های بافته شده (strand)و یامیله تولید می‌شود (شکل ۱ ــ ۲) . مقاومت مشخصه سیم ها حدود $1660 N/mm^2$ ــ ۱۴۵۰ و مقاومت مشخصه سیم های بافتـه شده حدود $1800 N/mm^2$ ــ ۱۶۶۰ و مقاومت مشخصه میله‌ها حدود $1040 N/mm^2$ می‌باشد .

الف ــ سیم ها :

سیم ها معمولا"دارای قطرهائی‌بین ۲ تا ۸ میلیمتر هستند ، لیکن حداقل قطری که معمولا"درعضوهای سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد ۴ میلیمتر می‌باشد . فولادسیمی



شکل (۱ – ۲) انواع تابلهای پیش تنیدگی به ترتیب از بالا به پائین
(الف) سیم (ب) سیم بافته شده معمولی (ج) سیم بافته شده فشرده (د) کابل متشکل از ۷ سیم بافته شده (ه) میله دیویداگ (و) میله مک الوی

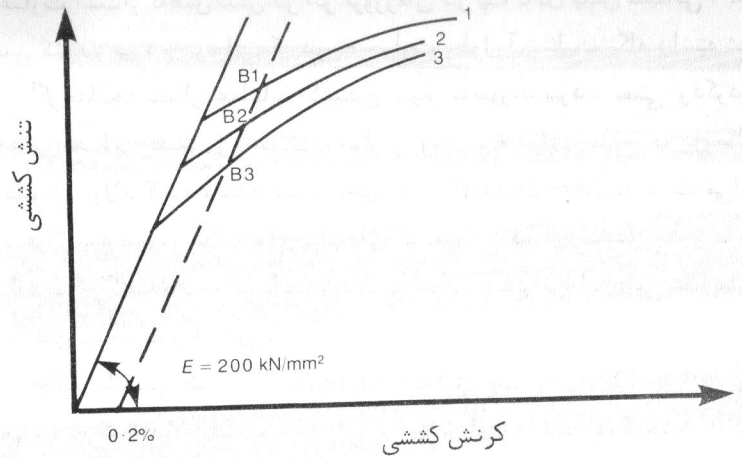
شکل بیشتر درسازه های بتن پس کشیده به کار می‌رود. لیکن گاهگاهی از آن در عضوهای بتن پیش کشیده نیز استفاده‌می‌شود. برای‌ساختن سیم شمش‌فولادرابه‌صورت‌گرم‌نورد کرده و به شکل میله در می‌آورند. بعداز سرد شدن، میله ها را از یک سری حدیده رد کرده تا قطر آنها کم شود وبه اندازه دلخواه دربیاید. در جریان این عملیات فولاد کشیده شده و روی آن بصورت سردکار می‌شود که نتیجتا" خواص مکانیکی اش به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته و مقاومت آن افزایش می‌یابد. بعداز عملیات کشش به‌صورت سرد، سیم ها را برای زمانی بسیار طولانی در درجه حرارت $260^{o}C$ نگاه داشته و یا برای زمان کوتاهی در درجه حرارت $500^{o}C$ قرار می‌دهند تا خواص مکانیکی آنها اصلاح شود. (عملیات آزاد کردن تنش یا (Stress relieving). فولادی که به طریق مزبور به دست می‌آید فولاد باسستی معمولی می‌باشد (Normal relaxation) سستی

فولاد عبارت است‌از کاهش تنش در اثر مرورزمان در یک کابل پیش تنیدگی، که تحت‌اثر بار معینی کشیده شده، درحالی که درجه حرارت وطول آن ثابت نگاه داشته شده است.

اگرچنانچه بعداز عملیات کشیدن سیم به‌صورت سرد، یعنی ردکردن آن از حدیده‌های مختلف هیچ نوع عملیات‌حرارتی روی سیم برای اصلاح خواص مکانیکی اش انجام نشود، فولاد کشیده شده دست نخورده (as-drawn) به دست می‌آید، که این نوع فولاد به صورت کلاف های دایره‌ای که معمولا" دارای انحنائی تقریبا" مساوی با انحناء دستگاه کشنده سیم می‌باشد تولید می‌شود. بنابراین این نوع سیم‌هارانمی‌توان کاملا" به صورت مستقیم در آورد.

فولاد باسستی کم (low relaxation steel) به این ترتیب تولید می‌شود، که بعداز اینکه سیم‌ها را از حدیده‌های مختلف رد کردند، آنها را تا درجه حرارت حدود $400^{o}C$ گرم‌کرده ودرهمین حال‌تحت اثر یک تنش کششی حدود ۶۵ درصد مقاومت نهائی شان قرار می‌دهند. این عملیات باعث بهترشدن خواص الاستیکی فولادوکاهش سستی آن می‌شود. از آنچه گفته شد نتیجه می‌شود که فولاد باسستی کم برای کارهای‌پیش تنیدگی مناسب تر از فولاد باسستی معمولی می‌باشد. فولاد کشیده‌شده دست نخورده‌معمولا "دارای سستی‌بیشتری نسبت‌به‌فولادبا سستی معمولی است. به همین دلیل در کشورهای‌آمریکائی‌ازاین نوع‌فولاد برای کارهای پیش تنیدگی استفاده نمی‌شود، لیکن در کشورهای اروپائی گاهگاهی آن را در سازه های پیش تنیده بکار می‌برند. شکل (۲ – ۲) منحنی تنش‌کرنش انواع فولادهائی‌که برای ساخت سیم به کار می‌رود را نشان می‌دهد.

برای تامین‌حداکثر چسبندگی بین بتن وفولاد، معمولا" سیم ها را بدون چرب کردن‌با گریس از کارخانه به پای کار می‌فرستند. علاوه براین در موقع ساخت سیم اغلب حفره های بسیار کم عمقی را در روی آن ایجاد می‌نمایند، تا خاصیت چسبندگی اش به بتن بهتر شود. منحنی تنش ـ کرنش فولاد با مقاومت بالا برخلاف فولاد نرم دارای نقطه جاری شدن مشخصی نمی‌باشد. برای اینکه مقیاسی از انحناء منحنی تنش کرنش فولادهای‌پیش تنیدگی به‌دست آید، ازتنش مربوط به یک کرنش پلاستیکی ثابت استفاده می‌شود. تنش مربوط به یک کرنش پلاستیکی ثابت فولاد(Proof stress) عبارت‌است از تنشی که‌تحت‌اثر آن بارورارده ایجاد یک کرنش مشخص دائمی وغیر قابل برگشتی را در فولادنماید (یعنی بعداز برداشتن بار این قسمت از تغییر شکل‌واحد طول از بین نرفته وباقی بماند). برای سیم های پیش تنیدگی تنش مربوط به کرنش پلاستیکی ثابت ۰/۲%



شکل (۲ ــ ۲) نمونه منحنی تنش وکرنش برای سیم ساده به قطر ۷ میلیمتر.

۱ ــ فولاد باسستی کم.

۲ ــ فولاد باسستی معمولی.

۳ ــ فولاد دست نخورده.

معمولا "مورداستفاده قرارمی‌گیرد وشکل (۲ــ ۲) نشان می‌دهد که چگونه مقدار این کرنش پلاستیکی‌ثابت ۰/۲ % باعملیات حرارتی که شرح داده شد برای یک سیم با قطرمشخصی افزایش می‌یابد ، (تنش مربوط به کرنش پلاستیکی ثابت ۰/۲ % برای فولاد باسستی کم بیشتر از فولاد باسستی معمولی بوده واین فولاد نیز به نوبه خود دارای تنش مربوط به کرنش پلاستیکی ثابت ۰/۲ % بزرگتری نسبت‌به‌فولادکشیده‌شده دست نخورده می‌باشد) لیکن مقاومت مشخصه در تمام حالات ثابت می‌ماند .

همانطور که در شکل (۲ ــ ۲) دیده می‌شود حدالاستیک سیم های با سستی کم بالاتر از سیم های با سستی معمولی بوده واین سیم ها نیز دارای حد الاستیک بالاتری نسبت به فولادهای کشیده شده دست نخورده می‌باشد: نقاط B_1 ، B_2 و B_3مقادیر تنش مربوط به‌کرنش پلاستیکی‌ثابت ۰/۲درصد را مشخص می‌نماید که این مقادیر به‌ترتیب برابر با ۹۰% ، ۸۵ % و ۷۵% ، مقاومت مشخصه فولاد می‌باشد . باید دانست که مقاومت مشخصه سیم‌های کشیده شده کم قطر بیشتر از سیم های قطوری است که از همان فولاد خاص ساخته شده باشد . در سالهای اخیر از کاربردسیم هادر کارهای پیش تنیدگی به میزان قابل توجهی کاسته‌ودر عوض برمصرف سیم های بافته شده افزوده گردیده‌است .

ب ــ سیم های بافته شده:

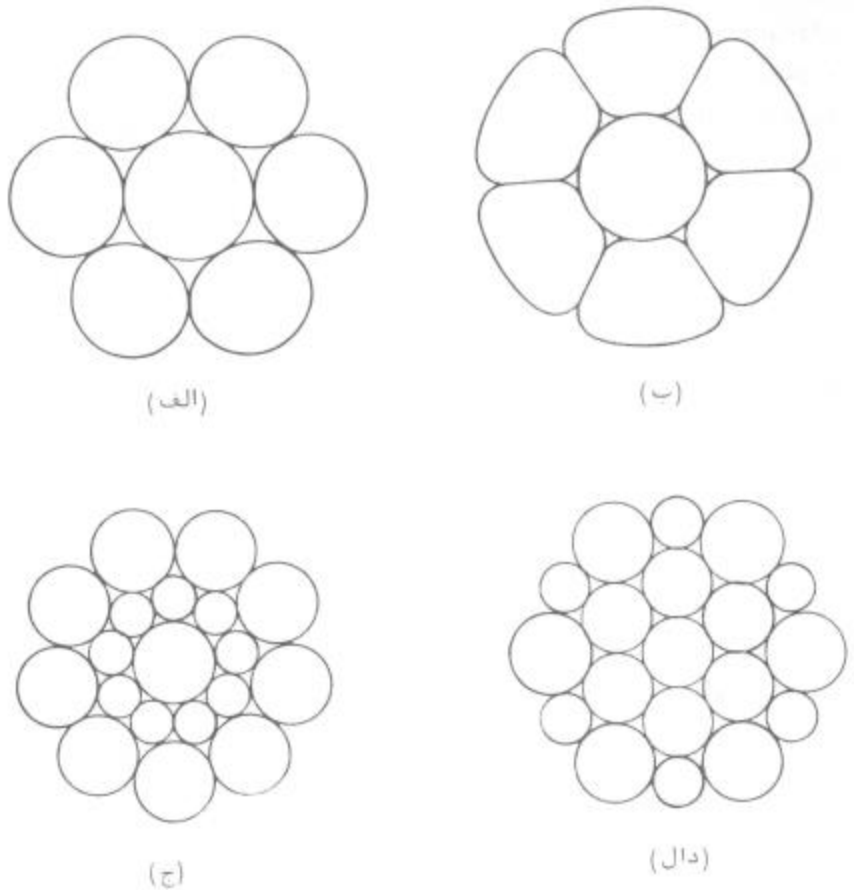
درعضوهای پیش کشیده تقریبا "همیشه از سیم های بافته شده استفاده می‌شود ، همچنین‌در اغلب مواردبرای کارهای‌پس تنیدگی نیز از این‌نوع فولادها استفاده‌می‌شود .

دونوع اصلی سیم‌بافته شده پیش تنیدگی وجود دارد ، سیم های بافته شده متشکل ازهفت سیم وسیم های بافته شده متشکل از ۱۹ سیم ، انتخاب یکی از این دونوع در یک‌طرح خاص، با توجه‌به مقدار مقاومت و انعطاف‌پذیری لازم صورت‌می‌گیرد . معمولا " نوع متشکل از ۷ سیم دارای کاربرد بیشتری می‌باشد . ساختن سیم بافته شده ۷ تائی آسانتر ومعمولا " قطر خارجی یا اسمی آن بین ۶/۴ تا ۱۸ میلیمتر می‌باشد .

در مواقعی که نیروی کششی بزرگ بوده واحتیاج به مقطع بیشتری باشد می‌توان از سیم های بافته شده ۱۹ تائی استفاده نمود ،قطر خارجی این نوع سیم ها معمولا "بین ۱۸ تا ۳۲ میلیمتر می‌باشد .

برای ساختن سیم های بافته شده ، از همان نوع فولادسرد کشیده شده ای که در تولید سیم به کار می‌رود استفاده می‌شود . با همه اینها به علت اینکه محور سیم‌های بافته شده منطبق به‌جهت نیرو نمی‌باشد ، تحت اثر کشش سیم ها تمایل به صاف شدن پیدا می‌کند که این خود باعث مختصر تغییر خواص مکانیکی این نوع سیم های بافته‌شده نسبت به‌سیم‌های منفرد می‌شود . بعداز اینکه سیم‌های به صورت سردکشیده شده ، به‌هم بافته شد ، عملیات حرارتی برای بهبود خواص مکانیکی فولاد انجام می‌گیرد . سیم های بافته شده‌معمولا "در دو نوع‌باسستی معمولی (که درعملیات حرارتی موسوم به آرادکردن تنش،ایجادمی‌شود) وباسستی‌کم (که در عملیات حرارتی‌توام با کشش ایجاد می‌شود) تولید می‌شود . با توجه به آنچه گفته شد نتیجه می‌شود که فولادهای با سستی معمولی و کم که در سیم های بافته شده به کار می‌رود دارای خواصی مشابه با فولادهای با سستی معمولی وکمی است که در ساخت سیم های منفرد مورد استفاده قرار می‌گیرد (به غیر از مختصر اختلاف بین خواص مکانیکی آن دو که در بالا ذکر گردید) .

سیم های بافته شده ۷ تائی تشکیل شده است از ۶ سیم که به طور محکمی دور یک سیم مستقیم هفتمی به طور مارپیچ پیچیده شده اند گام این مارپیچ ها بین ۱۲ تا ۱۶ برابرقطراسمی سیم بافته شده می‌باشد، چنانچه تمام سیم ها با یکدیگر موازی می‌بودند برای بوجود آوردن مقطعی مشابه شکل (الف ۳ ــ ۲) باید قطر همه آنها یکسان می‌بود .



شکل (۳ – ۲) سیم های بافته شده ۷تائی و۱۹ تائی (الف) سیم بافته شده ۷تائی معمولی ، که نشان می‌دهد قطر سیم های خارجی کمی کمتر از سیم وسطی است . (ب) سیم بافته شده ۷تائی فشرده (ج) سیم بافته‌شده۱۹تائی‌سل (د) سیم بافته شده ۱۹تائی وارینگتن .

لیکن از آنجائی‌که‌تمام‌آنهاباهم‌موازی‌نیستند ، مقطع سیم های خارجی از بالا به صورت بیضی متمایل به دایره دیده می‌شود ، نتیجتا" برای ایجاد مقطعی شبیه به شکل (الف ۳ – ۲) قطر سیم وسط باید بزرگتر از سیم های خارجی باشد . برای کاهش در صدفضای خالی درمقطع ،سیم بافته شده را می‌توان از داخل یک حدیده رد کرد تا فشرده ترشود . بنابراین برای یک قطر اسمی معین چنین سیم بافته شده‌ای دارای فولاد بیشتری بوده و بار بزرگتری را می‌تواند تحمل نماید (نسبت‌به یک سیم بافته شده هم قطری که فشرده نشده است) .مقطع سیم‌بافته شده فشرده در شکل (ب – ۳ – ۲) نشان داده شده‌است . این نوع سیم بافته شده دارای سستی کمی می‌باشد .

ساختن سیم بافته شده° ۱۹تائی مشکل‌تر است ، این نوع سیم‌بافته شده تشکیل می‌شود ازیک لایه‌داخلی متشکل‌از ۹ سیمی‌که به‌طور مارپیچی دور یک سیم وسطی‌پیچیده شده‌اند ویک لایه خارجی متشکل از ۹ سیم ضخیم تر شکل (ج – ۳ – ۲) ،با یک سیم بافته‌شده ۷تائی‌که دور آن رایک لایه خارجی متشکل از ۱۲ سیم با دو قطر مختلف احاطه کرده است شکل (د ۳ – ۲) . برای حصول اطمینان از تماس نزدیک بین سیم ها و ایجاد و انعطاف پذیری خوب ، گام مارپیچ‌های هر دو لایه را با هم مساوی می‌کنند . سیم‌های بافته شده ۱۹تائی قطور تر را گاهی به صورت دست نخورده (as spun) و بدون انجام هرگونه عملیات حرارتی ، تولید می‌کنند (بنابراین عموما" از این نوع استفاده نمی‌شودو درصورت‌لروم بایدبه کارخانه سفارش داده شود) .سیم‌های بافته شده ۱۹تائی کم قطرتر را تحت عملیات حرارتی قرار داده و به دو صورت باسستی کم و سستی معمولی به بازار عرضه می‌کنند . فشرده کردن سیم های بافته شده ۱۹ تائی عملی نیست ، زیرا نیروئی که لازم‌است آنها را بکشد بسیار عظیم می‌باشد . با عرضه سیم های بافته شده ۷ تائی فشرده قطورتر ، که می‌تواند بار بزرگتری را نسبت به سیم های بافته شده ۱۹تائی بافطر مشابه تحمل نماید ، مصرف سیم های بافته شده ۱۹ تائی کاهش یافته است .

ج – میله های فولادی آلیاژدار :

مقاومت زیاد فولادهای آلیاژدار در اثر اختلاط بعضی از عناصرآلیاژی از قبیل منگنز ، سلیس و بخصوص کرم بافولاد به‌وجود می‌آید . بعداز اینکه میله های فولادی آلیاژدار را به‌صورت گرم نورد کردند ، روی آن عملیات سرد انجام داده تا مقاومت آن بازهم افزایش یابد .

عملیات سردی که معمولا" روی میله های فولاد آلیاژدار انجام می‌شود عبارت است از کشیدن فولاد به صورت سرد تحت اثر یک نیروی کششی معین و ایجاد یک کرنش مشخص درآن . بعدازاین عملیات دوانتهای میله (که در گیره‌کش قرار داشته و احتمالا" صدمه دیده) را بریده‌وبه دور می‌اندازند . در پایان برای بهبود خواص مکانیکی فولادآن رابرای مدت طولانی‌دردرجه حرارت $260^{o}C$ نگاه می‌دارند (عملیات آزاد کردن تنش) .

قطرمیله‌هـای فولادی آلیاژدار با مقاومت بالا معمولا" بین ۱۲ تا ۴۰ میلیمتر می‌باشد (اخیرا" کارخانه مکالوی فولادی به قطر ۵۰ میلیمتر نیز تولید نموده که طرز تهیه وساخت آن‌باآنچه که قبلا" گفته شد فرق دارد) و ممکن است سطح آن صاف بوده و یا عاج دار باشد . سستی فولادهای آلیاژدار چیزی بین سستی معمولی وکم می‌باشد .

در مواقعی که لازم باشد فولادپیش تنیدگی ، به‌طور دائم در معرض عوامل جوی قرار گیرد ، می‌توان از میله های آلیاژدار ضد زنگ استفاده نمود . معمولا" آلیاژی که در ساخت چنین فولادی به کار می‌رود به شرح زیر می‌باشد :

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	%
0.05	0.4	0.7	14.0	5.5	1.7	0.3	

قطر میله‌های‌آلیاژدار ضدزنگ بین ۲۰ تا ۴۰ میلیمتر بوده و مقاومت مشخصه آنها حدود $1000\ N/mm^2$ می‌باشد .

۳ ـ ۲ ـ روابط بین تنش وکرنش فولاد :

فولادی که برای کارهای پیش تنیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای مشخصات معینی باشد . بعضی‌از خواص فولاد ممکن است از یک نظر مناسب وار نظر دیگر مناسب نباشد . برای مثال ، مقاومت زیاد کششی توام با ضریب ارتجاعی کوچک ، باعث بزرگ شدن کرنش مربوط به‌تنش اولیه‌پیش تنیدگی می‌شود . این ازدیاد کرنش در عضو ، به نوبه خود باعث کاهش اتلاف تنش های مربوط به خواص غیر ارتجاعی بتن می‌گردد . از طرف دیگر ، به علت مقاومت زیاد کششی فولاد ، به کابل با سطح مقطع کوچکتری نیاز می‌باشد . سطح کابل کمتر توام با ضریب ارتجاعی کوچکتر باعث می‌شود که تحت اثر بارهای اضافی ، خیز بسیار بزرگ شده ، و ممکن است عضو ترک بخورد .

مشخصات فیزیکی‌مهمی که فولادهای پیش تنیدگی باید دارا باشد ، به شرح زیر است :

۱ ـ مقاومت زیاد ، که امکان ایجاد تنش های بزرگ در فولاد را بدهد .

۲ ـ خاصیت ارتجاعی تاتنش های بسیار بالا .

۳ ـ خاصیت خمیری (پلاستیکی) در تنش های بسیار بالا .

۴ ـ ضریب ارتجاعی کوچک در موقع کشیدن کابل ، تا اتلاف تنش ها به‌حداقل برسد .

۵ ـ ضریب ارتجاعی بزرگ بعدار چسبیدن کابل به بتن (درمورد کابل هـای پس‌تنیده بعدار تزریق دوغاب) ، تا سختی عضو بالا رود .

۶ ـ اتلاف تنش ناشی از خزش وسستی کم ، در تنش های مجاز پیش تنیدگی ودر حرارت های بالا .

۷ ـ مقاومت به رنگ زدگی .

۸ ـ قطر کم یا سطح تماس خارجی نسبتا" بزرگ (برای هریک از کابلها) تـا خاصیت چسبندگی با بتن بهتر شود .

۹ ـ نمیر بودن سطح خارجی وعدم وجود روغن در روی آن .

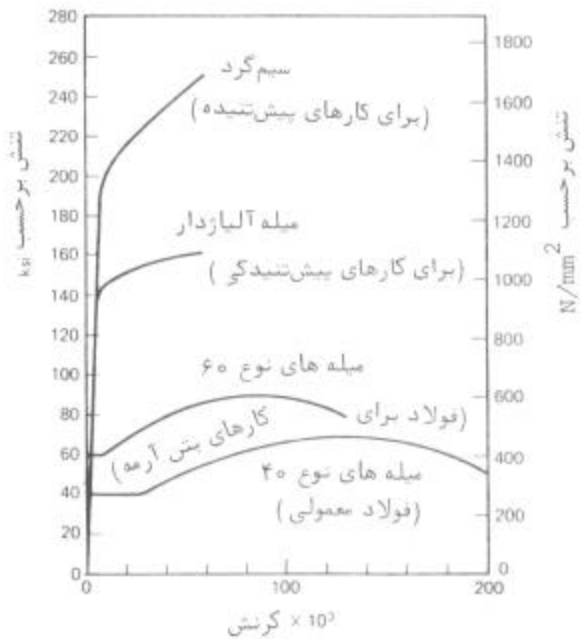
۱۰ ـ مستقیم بودن ، تاحمل وکارگذاردن کابل راحت تر شود .

در عضو های پیش تنیده ، تنش کششی بزرگ در فولاد نباید با کرنش خمیری بزرگی همراه باشد (کرنش خمیری‌در فولاد ،آن قسمتی‌از کرنش است که غیر ارتجاعی‌بوده و بعدازبرداشتن بارازبین نرود) . اگر ازدیاد طول ثابت وغیر قابل برگشت تحت اثـر بارهای سرویس‌کم باشدورابطه بین تنش و کرنش فولاد برای قسمت اعظم بارنهائی خطی باشد ، شرط بالا (که در حقیقت همان شرط دوم می‌باشد) برقرار می‌گردد . این خاصیت فولاد به‌وسیله‌تنش مربوطه یک کرنش پلاستیکی ثابت اندازه گیری می‌شود . تنش مربوط به یک کرنش پلاستیکی ثابت عبارت است از تنشی که یک تغییر شکل دائمی معینی را در اولین بارگذاری‌ایجاد نماید (معمولا" ۰/۲ درصداماگاهی ۰/۱ درصد) . فولادی که برای کارهای پیش تنیدگی‌مورد استفاده‌قرار می‌گیردباید دارای تنش مربوط به کرنش پلاستیکی ۰/۲ درصد (یا ۰/۱ درصد) بزرگی باشد .

برای جلوگیری وکم کردن احتمال گسیختگی ناگهانی عضو پیش تنیده ، بایـد کرنش نهائی فولاد مقدار بزرگی باشد (شرط سوم بالا) . حداقل تغییر طول سیم هـا و سیم های یافته‌شده پیش‌تنیده به‌ترتیب برابر با ۳ و ۵ درصد می‌باشد ، که اگر چسبندگی (بین‌بتن وفولاد) خوب باشد ،کاملا" کافی است . حداقل تغییر طول میله های آلیاژدار برابر با ۱۰ درصد است .

از آنچه که گذشت معلوم می‌شود که هیچ ماده شناخته شده ای تمام شرایط دلخواه بالا را به طور کامل ندارد. فولادهای با مقاومت بالائی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد بیشتر شرائط ذکر شده را دارا می‌باشد.

منحنی های‌تنش ــ کرنش شکل (۴ ــ ۲) نشان می‌دهد که، تغییر طول نهائی‌با ازدیاد مقاومت نهائی کاهش می‌یابد.



شکل (۴ــ۲) دیاگرام تنش ــ کرنش برای انواع فولادهای معمولی و پیش‌تنیدگی

۴ ــ ۲ ــ زنگ زدگی:

از آنجائی که مقاومت عضو های خمشی پیش تنیده بستگی به کابل دارد، لازم است که کابلها (کابل مجموعه یک یا چند سیم، سیم بافته شده و یا میله است که به یک گیره مشترک متصل اند) در اثر زنگ زدگی تحلیل نرود. فولادهای پیش تنیدگی تقریبا" به همان اندازه فولادهای ساختمانی در معرض اکسیده شدن می‌باشد. لیکن قطر کابلهای پیش تنیدگی معمولا" کمتر است، و به همین دلیل، باید در مقابل اکسیده شدن زیاد محافظت شود.

در ساختمانهای پیش کشیده، بتن اطراف کابل، آن را از زنگ زدگی محافظت می‌نماید. در عضوهای پس کشیده، کابلها توسط دو غلاف سیمان که بعداز کشیدن کابل به داخل غلاف‌ها تزریق می‌شود و یا گریس و یا مواد قیری که روی آن می‌مالند از خطرزنگ زدگی محافظت می‌شود. اگر PH محیط اطراف فولاد بزرگتر از ۸ باشد، فولاد زنگ نمی‌زند. بتن ودوغابی که‌ازسیمان پرتلند معمولی ساخته شده باشد دارای PH بزرگتر از ۸ است، بنابراین محافظ خوبی برای‌فولاد می‌باشد. تحقیقات‌نشان داده است که یک لایه مختصر اکسیدسخت برروی فولاد درعضوهای پیش کشیده، چسبندگی بین کابل وبتن‌را افزایش می‌دهد و بنابراین مفیداست. در عضوهای پس‌کشیده دارای چسبندگی نیز، کمی زنگ زدگی باعث افزایش چسبندگی خمشی می‌شود وبنابراین بی ضرر است (زنگی که فقط سطح را کمی زبر نماید، نه اینکه پوسته پوسته شده وکنده شود یا سطح فولاد را خورده و روی آن حفره بوجود آورده باشد). برای محافظت فولاد پیش تنیدگی بین زمانی که از کارخانه خارج می‌شود تاموقعی که در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، در خیلی از کشورها، روی فولادگرد ضدزنگ بخار شونده (Vapor - phase inhibitor) مالیده ودورآن رابا کاغذ ضدآب می‌پیچند. گرد ضدزنگ بخار شونده، پودر سفیدنرمی می‌باشد، که از یک ترکیب آلی ازت دارساخته شده است. این ماده بخار شده و چنانچه بخار محبوس باشد، دو مرتبه بصورت کریستالهائی در روی سطح فولاد تشکیل شده و مانع اکسیده شدن آن می‌شود.

عوامل زیر می‌توانند اثر گرد ضدزنگ بخار شونده راخنثی کنند:

۱ ــ درجه حرارت های بالاتر از ۷۰ درجه سانتیگراد.

۲ ــ جریان آب در روی سطح فولاد.

۳ ــ محیط اسیدی (PH کمتراز ۶/۵).

۴ ــ جریان هوای تازه.

۵ ــ پوشش یا لایه ای‌در روی فولاد، که مانع تماس بین بخار وفولاد بشود.

۶ ــ پودر در تماس کامل با فولاد نباشد (فاصله بیش از ۳۰ سانتیمتر).

۷ ــ محیطی که دارای مقدار زیادی کلرور باشد.

گرد ضدزنگ بخار شونده در هوا ویا آب عمل می‌کند به شرطی که، عوامل بالا وجود نداشته باشد تا اثر آن راخنثی نماید. گاهگاهی ساختمانهای پس کشیده را با استفاده از کابلهای گالوانیزه، در مقابل زنگ زدگی محافظت می‌نمایند. این روش مورد استعمال زیادی ندارد، زیرا به علت اینکه قسمتی از قطر کابل گالوانیزه از قطر کم مقاومت

روی ساخته شده ،مقاومت این نوع‌کابلها کمتر از مقاومت کابلهای معمولی هم اندازه شان می‌باشد .نتیجتا" ،کابل گالوانیزه خیلی‌گرانتر ازکابل معمولی‌با مقاومت مساوی می‌باشد (بایک قطر مساوی ، سیم هفت رشته ای گالوانیزه تقریبا" دارای مقاومتی ۱۵ درصد کمتر وقیمتی ۱۰ درصد بیشتر می‌باشد) . بعلاوه ، گیره های مختلفی که در سیستم های بـــا سیم های موازی در کارهای پس کشیده به کار می‌رود ، با نمی‌تواند سیم های گالوانیزه را به علت کمی ضریب اصطکاک شان نگاه دارد ویا امکان استفاده‌از این گیره هابدون صدمه به لایه محافظ فلز روی وجود ندارد . استفاده از سیم های‌بافته شده گالوانیزه قطور تر ، تحت بعضی شرائط امکان پذیر می‌باشد . در بعضی از انواع جدید گیره ها می‌توان از سیم های بافته شده هفت تائی گالوانیزه استفاده نمود . لیکن این سیستم ها از نظـــر قیمت به ندرت می‌تواند مناسب باشد . نوعی‌از زنگ زدگی که به نام زنگ حفره ای (pitting corrosion)نامیده می‌شود ، در بعضی از ساختمانهای بتن پیش تنیده موجب تحلیل وصدمه (وحتی خراب شدن) می‌شود . این نوع زنگ زدگی به علت وجود کلرورکلسیم‌ویا کلرورسدیم (کلرورکلسیم گاهی به عنوان ماده ضدیخ در بتن به‌کار می‌رود) دربتن ویا دوغاب ایجاد می‌شود . به‌همین دلیل است که نباید اجازه داد که‌از کلرورها حتی به‌مقدارکم‌دربتن و دوغابی‌که برای کارهای‌پیش تنیده به‌کارمی‌رود استفاده شود . فولادهای پیش تنیدگی ، بخصوص سیم ها و سیم های بافته شده ، نسبت به یـک نوع زنگ زدگی دیگر که به نام زنگ زدگی تنشی (stress-corrosion) نامیده می‌شود ، خیلی حساس می‌باشد .

این نوع زنگ زدگی نسبتا" کم اتفاق می‌افتد . زنگ زدگی تنشی در اثر شکستن وتجزیه قسمت سیمانی‌فولاد (Fe_3C) که مثل‌یک‌ماده چسبنده کریستالهای دیگرموجود در فولاد رابه‌هم متصل می‌کند به وجود می‌آید ، که در نتیجه آن ترکهای ریزی در فولاد ایجاد می‌شود . این ترکهای ریز باعث می‌شود که فولاد تقریبا" مثل شیشه تردوشکننده شود . ازآنجائی‌که اطلاعات زیادی‌در باره زنگ زدگی تنشی در دست نیست ، هیچ راهی برای اطمینان از اینکه در حین ساخت یک ساختمان پیش تنیده فولاد دچار این ســوع زنگ زدگی نشده وجودندارد .امروزه معلوم شده است که نیترات ها (نباید با نیتریت‌ها که به عنوان ماده ضدزنگ به کار می‌روند اشتباه شود) ، کلرورها ، سولفیدها و بعضی از مواد دیگر تحت شرائط خاصی‌باعث زنگ زدگی تنشی می‌شود . همچنین معلوم شده است که فولاد وقتی تحت اثر تنش های بالا قرار بگیرد بیشتر نسبت به این نوع زنگ زدگـی حساس می‌شود .

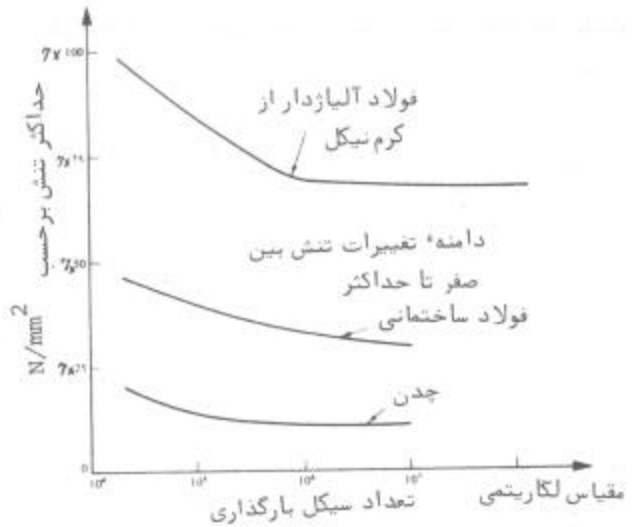
علت دیگر گسیختگی تاخیری که ممکن است . در مورد فولادهای بامقاومت بالا پیش بیاید ، پدیده شکنندگی در اثر هیدروژن (Hydrogen embrittlement) می‌باشد .شکننده‌شدن فولاددر اثر هیدروژن موقعی اتفاق می‌افتد که فولاد در معرض یون هیدروژن (نه ملکول‌هیدروژن)قرارگیرد ،که دراثر آن نرمی و مقاومت کششی فولادکاهش می‌یابد . بهترین طریقه‌محافظت‌فولاد درمقابل‌جذب هیدروژن قرار دادن آن در محیطی است که دارای pHهای بزرگتر از ۸ باشد (حفظ فولاد توسط دوغاب ویا بتن) .

موضوع جالب توجه‌این است‌که ، پودرآلومینیوم‌که باعث آزادشدن گازهیدروژن می‌شود (ملکول‌هیدروژن) ، سالهاست که به عنوان ماده اضافی برای منبسط کردن‌دوغاب سیمان (دوغاب به علت وجود وانبساط گازهیدروژن منبسط می‌شود) جهت تزریق در غلاف کابل های پس کشیده به کار می‌رود . این کار ظاهرا" ضرری نداشته است زیرا هیچ گزارشی ازخراب شدن ساختمانهائی که به این ترتیب ساخته شده‌اند ، داده نشده است . گاهی از مواد اضافی که با ایجاد گاز ارت باعث منبسط شدن دو غاب می‌شود در کارهای پیش تنیده استفاده می‌گردد .

۵ ـ ۲ ـ مقاومت به خستگی (Fatigue) :

در یک ساختمان بتن پیش تنیده فولاد کشیده شده تحت اثر بارهای دائمـــی بسیار بزرگی می‌باشد . همچنین درموقعی که بارزنده درفواصل کوتاه زمانی وارد می‌شود فولاد تحت اثر بارتکراری نیز قرار می‌گیرد . اثر این بار تکراری بستگی به تعداد دفعاتی که بارورارد می‌شود دارد ، ودر ساختمان هائی که فولاد دارای چسبندگی با بتن می‌باشد اثر آن خیلی کم اهمیت تراز ساختمان هائی است که فولاد دارای چسبندگی ضعیف و یا فاقد چسبندگی با بتن است .

در سال ۱۸۷۰ ولر (Wohler) کشف کرد که مقاومت نهائی مصالح تحت اثر بارهای‌تکراری‌کمتراز بارهای ثابت می‌باشد .شکل (۵ ـ ۲) را بطه بین تعداد سیکل های بارورارده وحداکثر تنش را برای سه ماده مختلف نشان می‌دهد . حداکثر تنش به نام " حد دوام " ویا " مقاومت به خستگی " نامیده می‌شود ، وعبارت است از حداکثر تنشی که مصالح تحت‌اثر تعداد دفعات معینی بارتکراری ، می‌تواند تحمل نماید بدون این کـــه گسیخته شود . حددوام ، بستگی به تعداد سیکل‌های بارگذاری ودامنه تنش های تکـراری دارد .

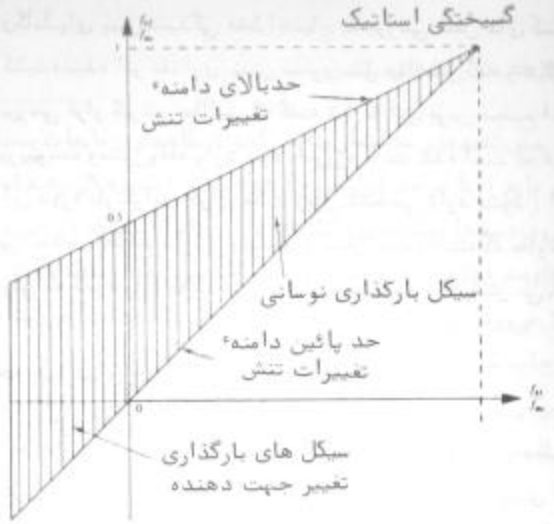


شکل (۵ – ۲) حد دوام برای آهن و فولاد

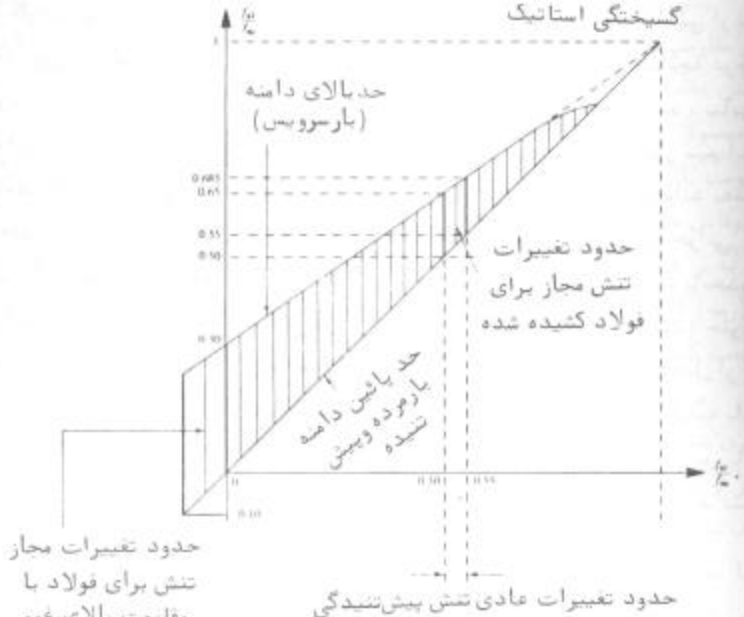
برای هر تعداد دفعه بارگذاری‌تکراری ،برای مثال 10^6 دفعه ، مقاومت به‌خستگی فولاد رامی‌توان به‌طور کلی توسط یک منحنی گودمن (Good man) مانند شکل (۶ – ۲) نشان داد ، این منحنی حداکثر ، حداقل ومتوسط تنش ها را نمایش می‌دهد . اگر تنش کمتر ، برابر با صفر بوده و فقط تنش ها فشاری یا کششی وارد شود ، دامنه تنشی که بعداز 10^6 دفعه بارگذاری باعث گسیختگی می‌شود معمولا" حدود ۵۰ درصد تنش گسیختگی استاتیکی می‌باشد (برای فولاد آکسل که یک نوع فولاد ساختمانی است) . موقعی که‌تنش متوسط برابرباصفراست (یعنی تنش های مساوی فشاری وکششی بطور متناوب اثر می‌کند) ، دامنه به دو سوم تنش گسیختگی استاتیک افزایش می‌یابد ، که هر تنش مجزا یک سوم این مقدار خواهد شد ، درحالتی که حد پائینی تنش نصف حد بالائی است ، دامنهٔ تنش به یک‌سوم تنش استاتیکی گسیختگی کاهش می‌یابد .این موضوع در منحنی گودمن شکل (۶ – ۲) نشان داده شده است .

برای سیم ها و سیم های بافته شده پیش تنیدگی ، دامنه های تنش مانند آنچه در شکل (۷ – ۲) نشان داده شده می‌باشد .

در این حالت ، برای حد پائین تنش صفر ، حدبالای تنشی که بعداز 10^6 دفعه بارگذاری باعث گسیختگی می‌گردد به جای ۵۰ درصد ، ۳۰ درصد تنش گسیختگی می‌شود .



شکل (۶ – ۲) منحنی گودمن برای فولاد ساختمانی



شکل (۷ – ۲) منحنی گودمن برای فولاد پیش تنیدگی

واضح است که برای کابلهای پیش تنیدگی فقط احتیاج به بررسی تنش های کششی می‌باشد. لیکن برای فولاد کشیده نشده اثر مقداری تنش فشاری نیز همانطور که در شکل نشان داده شده باید مورد بررسی قرار گیرد. مطالبی که گفته شد با این فرض صحیح است که، بارتکراری، به‌طور پیوسته وبدون وقفه وارد شود. امروزه ثابت شده است که دوره های وقفه (دوره‌هائی که در آن دوره بارتکراری برای مدت زمان مشخصی وارد نشود) اثر سودبخشی در رفتار ارتجاعی بعدی مصالح دارد، وویلسون نشان داده است که مقاومت به خستگی فولادنرم در صورتی که دوره وقفه کوتاه تر از ۳۰ دقیقه نباشد، افزایش می‌یابد.

۶ ـ ۲ ـ اثر درجه حرارتهای بالا:

فولاد آلیاژداری که به صورت گرم نوردشده، لیکن در روی آن عملیات (اعم از گرم یا سرد) دیگری انجام نشده باشد (ونتیجتا" دارای مقاومت محدودی است) موقعی که تحت اثر درجه حرارتهای بالاتر از $350^{\circ}C$ قرار گیرد مقاومتش کم می‌گردد، ولی بعدازسردشدن، مقاومت اولیه خود را به‌دست می‌آورد. لیکن فولادی که روی آن به‌صورت سرد کارشده ویا تحت عملیات حرارتی قرار گرفته است، اگر در شرایط مشابهی از نظر درجه حرارت وگرما قرار گیرد، مقاومتش به‌طور دائمی کم خواهد شد و چنانچه درجه حرارت از $400^{\circ}C$ تجاوز نماید این کاهش مقاومت بسیار بزرگ خواهد گردید. بنابراین نکته ای که از نظر مقاومت به آتش سوزی یک ساختمان بتن پیش تنیده بسیار مهم است، این‌است که، پوشش‌بتنی محافظ فولاد به اندازه‌کافی بزرگ انتخاب‌شود، تا بتواند به‌صورت یک عایق موثر حرارتی عمل کرده واز گرم شدن فولاد تا درجه حرارتهای‌بحرانی برای مدت زمان مشخصی (معمولا" مقاومت به آتش سوزی یک ساختمان برای مدت نامحدودی نمی‌باشد بلکه برای مدت زمان‌مشخصی‌مثلا" ۱ ساعت یا حداکثر ۲ ساعت است) جلوگیری نماید. درمورد فولادی که روی آن به صورت‌سرد کار شده، باید مطمئن شد که قبل از اینکه پیش تنیده شود، به هیچ وجه به طور اتفاقی تحت اثر حرارتهای بالا قرار نگرفته باشد. جوشکاری فولادهای پیش‌تنیدگی به‌دلیلی که قبلا" گفته شد به هیچ شکل مجاز نمی‌باشد. (بعضی ازآئین‌نامه‌ها گاهی اوقات با جوشهای براکنده در روی سیم های منفرد تشکیل دهنده سیم های بافته شده مخالفتی ندارد).

۷ ـ ۲ ـ اثر درجه حرارت های پائین:

بتن پیش تنیده‌در ساختمان‌مایعی‌که‌برای‌نگاهداری مایعات بسیار سرد (معمولا" انواع گازهای مایع) تا درجه حرارت $-183^{\circ}C$ می‌باشد به کار رفته است. آزمایشهای انجام شده‌برروی سیم‌ها ومیله‌های آلیاژدار نشان داده است که در این‌درجه‌حرارت‌های بسیارپائین مقاومت فولادحدود ۵ تا ده درصد افزایش یافته ونقطه جاری شدن آن حدود ۲۰ درصد بالا می‌رود. لیکن مقاومت به ضربه کاهش زیادی پیدا می‌کند. ضریب انبساط حرارتی دردرجات بین $24^{\circ}C$ تا $-100^{\circ}C$ ـ برابر با $10/8\times10^{-6}$ برای هر درجه سانتیگراددودردرجات بین $24^{\circ}C$ تا $-157^{\circ}C$ ـ برابر با $10/2\times10^{-6}$ برای هردرجه سانتیگراد می‌باشد.

۸ ـ ۲ ـ بتن:

بتنی‌که، در ساختمانهای پیش تنیده به کار می‌رود بایستی به چندین دلیل دارای مقاومتی‌بیشتر از مقاومت بتنی که در ساختمانهای بتن آرمه به کار می‌رود، باشد. این بتن غالبا "تحت اثرنیروهای‌بزرگتری قرار می‌گیرد، وبنابراین هرچه کیفیت آن‌بالاتر باشد، معمولا "از نظر اقتصادی نتیجه‌ٔ بهتری به دست خواهد آمد. با استفاده‌ازبتن‌های با مقاومت بالا می‌توان ابعاد مقطع را به حداقل ممکن تقلیل داد، که در نتیجه بارمرده به نحوقابل ملاحظه ای کاهش یافته واز نظر تکنیکی واقتصادی ساخت دهانه های بزرگتر امکان پذیر می‌شود. خیز و ترک خوردگی بیش ازحد که معمولا" در عضوهای (عضوهای بتن آرمه) لاغر تحت اثر تنش های بزرگ بوجود می‌آید را می‌توان با پیش تنیده کردن عضوتحت کنترل در آورد.

مزایای دیگری نیز وجود دارد. بتن با مقاومت بالا دارای ضریب ارتجاعی بزرگتری نسبت‌به بتن‌با مقاومت‌پائین می‌باشد، بنابراین اتلاف تنش نیروی پیش تنیدگی در اثر کوتاه شدن ارتجاعی بتن، (loss due to elastic shortening) واتلاف تنش‌ناشی ازخزش، که‌به طور تقریبی متناسب با اتلاف تنش ارتجاعی است برای بتن با مقاومت بالا کمتر می‌باشد. بتن با مقاومت بالا قدرت تحمل تنش های فشاری متمرکز را بهتر از بتن با مقاومت پائین دارد، نتیجتا" با این نوع بتن ها می‌توان از گیره‌هائی‌که دارای ابعاد کوچکتر ونهایتا" قیمت کمتری هستند استفاده نمود. در مورد

عضوهای پیش کشیده ، مقاومت چسبندگی بهتر بتن با مقاومت بالا باعث کم شدن طول لازم برای انتقال نیروی پیش تنیدگی از کابل به بتن می‌شود . هرچه مقاومت فشاری بتن بیشتر باشد مقاومت‌کششی‌آن نیز به همان نسبت زیادتر می‌شود ، بنابراین در عضوهائی که برای ساخت آنهاازبتن با مقاومت بالا استفاده‌شده‌امکان‌بوجود آمدن ترکهای خمشی ، ترکهای قطری ناشی از برش یا پیچش وترکهای انقباضی نیز کمتر می‌باشد .

مقاومت بتن هائی که امروزه برای کارهای پیش تنیدگی به کار می‌رود معمولا" حدود $30\ N/mm^2$ تا $40\ N/mm^2$ می‌باشد .گرچه‌بتن های‌با مقاومتهای بسیار بزرگی تا حدود $100\ N/mm^2$ نیز در کارهای پیش تنیدگی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته ، لیکن ساخت این‌نوع‌بتن‌هادرکارگاه بسیارمشکل بوده واحتیاج به تکنولوژی خاصی داردکه عموما"در حال حاضر مقرون به صرفه نمی‌باشد ، ضمنا" چون عضوهای پیش‌تنیده‌ای‌که بااین‌نوع بتن‌ها ساخته می‌شود دارای‌ابعاد کوچکی بوده وبسیار لاغرند ، طرح آنها نیز با طرح عضوهای غیر لاغر متفاوت بوده و پیچیده‌تراست . موضوع بسیار مهمی که‌بایدموردتوجه قرار گیرداین است که مقاومتی که در طرح برای بتن در نظرگرفته می‌شود ، باید حتما" در عمل نیز به دست آید ، زیرا برخلاف ساختمانهای بتن آرمه نیروهای محاسباتی بخصوص نیروی پیش‌تنیدگی حتما"به ساختمان‌وارد می‌شود و چنانچه بتن ساخته شده‌دارای مقاومتی کمتراز آنچه که‌در طرح در نظر گرفته شده باشد ، ممکن است‌صدماتی به ساختمان وارد آید (در ساختمانهای بتن آرمه معمولا" بارهای واقعی خیلی کمتراز بارهای محاسباتی می‌باشد ، بنابراین اگر مقاومت بتن کمی کمتراز مقاومت محاسباتی باشد عموما" اشکالی پیش نمی‌آید) .

بعلاوه در عضوهای پیش تنیده قسمت های بیشتری از سازه تحت اثر نیروهای فشاری یا کششی قرا رمی‌گیرد . برای مثال در مقطع وسط یک تیر ساده بتن آرمه ، همیشه تاربالا تحت اثرتنش‌فشاری وتارپائین تحت‌اثر تنش کششی می‌باشد ،در صورتی که چنانچه این تیرپیش تنیده‌باشد ، درمراحل مختلف ساخت و بهره برداری گاهی تاربالا تحت اثر فشار یا کشش وگاهی تارپائین تحت اثر فشار یا کشش واقع می‌شود . بنابراین بتنی که در ساخت یک سازه پیش تنیده به کار می‌رود باید دارای مقاومت تقریبا" یکنواختی در تمام مقطع باشد .

۹ ــ ۲ ــ انواع سیمان :

سیمانی که در بتن پیش تنیده مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولا" با سیمان

پرتلندمعمولی (نوع I) ویا سیمان با مقاومت‌اولیه زیاد (نوع III) می‌باشد . در مواقعی که لازم‌باشدبتن در سن کم دارای مقاومت زیادی‌گردد ، مثلا" در مورد بتن پیش کشیده (که برای استفاده بیشتر واقتصادی تراز قالب باید نیروی پیش تنیدگی را هرچه زودتر به بتن وارد کرد تا قالب آزاد شود) می‌توان از سیمان با مقاومت اولیه زیاد استفاده نمود . با وجود اینکه انقباض بتنی که از سیمان با مقاومت اولیه زیاد ساخته شده کمی بیشتر از انقباض بتنی است که ازسیمان پرتلند معمولی ساخته شده ، شواهدی در دست است که کل اتلاف تنش پیش تنیدگی ناشی از تمام تغییرات حجمی بتن موقعی که سیمان بامقاومت اولیه زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد ، کمتر است .

در مواقعی که از سیمان نوع III به علت عدم احتیاج به مقاومت اولیه زیاد و یا به دلیل قیمت بیشتر استفاده نمی‌شود ، بهتر است سیمان نوع I مورد استفاده قرار گیرد .گاهی‌اوقات‌برای‌به‌دست آوردن مقاومت خیلی‌زیاد در سن کم از سیمان باآلومینای زیاد (high alumina cement) که یک سیمان غیر پرتلند می‌باشد استفاده می‌شود . اگرچنانچه نسبت آب به سیمان خیلی کم بوده (کمتر از ۰/۳۵) وبتن خوب وبهره شده باشد ، حداقل مقاومت یک روزه به $62\ N/mm^2$ می‌رسد . بتنی که از سیمان باآلومینای زیاد ساخته شده باشد نباید در محیط‌گرم ومرطوب قرار گیرد زیرا در این صورت به علت تغییرات شیمیائی وفیزیکی مقاومت‌آن به شدت کم می‌شود . به همین دلیل مقاومت در موقع بهره برداری این نوع بتن ، کمتراز مقاومت در موقع انتقال نیرو می‌باشد (برای سیمان پرتلند معمولی درست عکس این قضیه است) . استفاده از سیمان باآلومینای زیاد (که در ایران ساخته نمی‌شود) برای ساخت بتن کاری بسیار مشکل و احتیاج‌به‌تجربه فراوان دارد و چنانچه در جای صحیحی از این بتن استفاده نشود ممکن است مقاومت‌آن به‌مرورزمان‌کم شده وخطرات‌ویا اشکالاتی را ایجاد نماید . امروزه معمولا" از سیمان با آلومینای زیاد در بتن هائی که بیشتر جنبه موقتی وآزمایشی‌دارد مثل بتن شمع های آزمایشی پیش تنیده استفاده می‌شود . همچنین دلائلی وجود دارد که ثابت می‌کند ، نباید تاجائی که امکان دارد از سیمان‌با آلومینای زیاد درکارهای پیش تنیده استفاده نمود ، زیرا بعضی از این سیمان ها محتوی مقدار زیادی سولفید می‌باشد ، که در اثر تجزیه شیمیائی‌ممکن‌است باعث ایجادپدیده شکنندگی‌در اثر هیدروژن در فولادهای پیش تنیدگی شود .

۱۰ ـ ۲ ـ مواد اضافی در بتن (admixtures):

گاهی اوقات ازمواد اضافی برای منظور های خاصی در بتن پیش تنیده استفاده می‌شود. مهمترین‌مواد اضافی‌که‌در بتن پیش تنیده مورد استفاده قرار می‌گیرد را می‌توان برحسب خواص آن به سه دسته اصلی به‌شرح زیر تقسیم کرد:

۱ ـ مواد اضافی کاهش دهنده آب یاروان کننده

(water - reducing admixtures or plasticiser):

به طور کلی ازموادکاهش‌دهنده‌آب یاروان کننده به دومنظور استفاده می‌شود، اول برای افزایش مقاومت بتن بدون اینکه روانی یا قابلیت کار کردن با بتن (Workability) کاهش یابد، که‌دراین‌صورت‌می‌توان‌با افزودن مواد کاهش دهنده آب (روان کننده) و کم کردن مقدار آب مقاومت بتن‌را بالا برد بدون اینکه بتن سفت ترشده، وقابلیت‌وپمپ‌شدن آن کم شود. دوم برای روان ترکردن بتن بدون اینکه مقاومت آن کم شود، که دراین حالت مقدار آب موجود در مخلوط‌را تغییر نداده و با افزودن‌مواد کاهش دهنده آب (یا روان کننده) بتن را روان تر می‌نمایند، از این نوع بتن در جائی که فاصله فولادها از هم خیلی کم بوده وامکان کرموشد ن‌بتن وجود داشته باشد استفاده می‌شود. مواد شیمیائی تشکیل دهنده روان کننده ها اصولا" به دو گروه تقسیم می‌شود، گروه اول لیگنوسولفونیت های (lignosulphonates) کلسیم، آمونیوم، منیزیم‌وسدیم می‌باشدو گروه دوم‌نمک های اسیدهیدروکسی‌لیتد، کاربوکسیلیک (hydroxylated carboxylic acid) است.

۲ ـ مواد محبوس کننده هوا (Air - entraining agents):

این موادباعث‌به‌وجودآمدن حباب های ریز هوا در داخل مخلوط بتن گردیده و مقاومت آن را نسبت به یخ زدن های مکرر افزایش می‌دهد، همچنین بتن را روان تر و ریختن وپمپه کردن آن را آسانتر، وار جدا شدن مخلوط جلوگیری به عمل می‌آورد. ماده شیمیائی که معمولا" به عنوان محبوس کننده هوا در بتن به کار می‌رود و بنسول رزین خنثی (neutralized vinsol resin) می‌باشد.

۳ ـ مواد منبسط کننده (Expanding agents):

از این مواد دردوغاب سیمانی که‌برای پرکردن غلاف ها به کار می‌رود استفاده

می‌شود، معمولا" مواد منبسط‌کننده شامل پودرآلومینیوم ومقدار بسیار کمی کلرورکلسیم می‌باشد (که‌این مقدار کم‌کلرور کلسیم‌تحت این شرائط ضرری ندارد). مواد منبسط‌کننده وقتی دردوغاب سیمان‌در مجاورت سیمان پرتلند قرار می‌گیرد ایجاد گاز هیدروژن‌نموده و باعث افزایش حجم مخلوط می‌شود، که در اثراین پدیده تمام خلل وفرج داخل غلاف پر شده ضمنا" کابل در اثر فشار دوغاب کاملا" با بتن اطرافش یکپارچه می‌شود.

مواد زودگیر کننده بتن (Quick - setting agents):

گرفتن سیمان پرتلند را می‌توان با افزودن درصد خیلی کمی از کلرور کلسیم تسریع کرد. کلرورکلسیم ماده فعال اغلب مواد زودگیر بتن می‌باشد. این ماده باعث ایجاد زنگ‌حفره‌ای در فولاد معمولی وفولاد پیش تنیدگی می‌شود، این پدیده مخصوصا" وقتی که‌کلرورکلسیم‌در مجاورت آب وبا به صورت محلول باشد سریعتر وبا شدت بیشتری انجام می‌گیرد. شدت زنگ زدگی همچنین با افزایش درجه حرارت زیادتر می‌گردد. بنابراین‌با توجه به آنچه گفته‌شد از این مواد نباید در بتن پیش تنیده استفاده نمود.

۱۱ ـ ۲ ـ نگهداری از بتن (Curing):

بهترین روش‌برای نگهداری‌از بتن، ترنگاه داشتن کامل کلیه سطوح آن تا زمان لازم (مدت زمان‌لازم‌برای نگاهداری از بتن بسته به درجه حرارت محیط و عوامل دیگر متفاوت است، لیکن هرچه زمان نگهداری از بتن بیشتر باشد، بهتر است) می‌باشد. این امر در مورد ساختمانهای بتن پیش تنیده به‌همان اندازه‌ساختمانهای بتنی نوع دیگر صادق است. برای استفاده هرچه بیشتر و سریعتر از قالب ها ودیگر وسائل ساخت، باید مقاومت بتن پیش تنیده‌درسن کم، بسیارزیادباشد و برای دستیابی به چنین‌هدفی، اغلب برای نگهداری‌از این‌نوع بتن ها از بخار آب با فشار یک آتمسفر استفاده می‌شود. نگهداری‌با بخار آب اگر به نحو صحیحی انجام گیرد، می‌توان‌بیشتراز ۶۰ درصد مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه را در مدت ۲۴ ساعت به دست آورد. در این روش قطعات بتنی را در یک محیط بسته که مرتبا" بخار به داخل آن تزریق می‌شود نگاه می‌دارند، هوای این محیط تقریبا" از بخار آب اشباع شده و گرم می‌باشد و فشار داخل آن مطابق محیط خارج یعنی یک آتمسفر است.

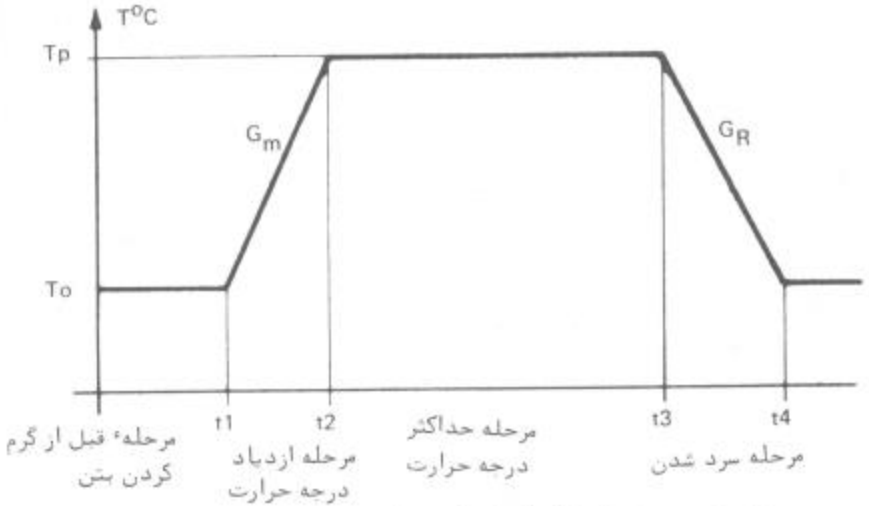
دوره نگهداری‌بابخار آب از چهار مرحله کلی به شرح زیر تشکیل می‌شود :

۱ ــ مرحله قبل‌ازگرم‌کردن بتن : بعداز ریختن بتن و ویبره کردن آن ،باید مدت زمانی‌بتن‌رابه‌حال‌خودگذاشت تا بگیرد (گرفتن اولیه) ، بعد از این مرحله می‌توان عملیات بخار دادن به بتن را شروع کرد .

۲ ــ مرحله ازدیاد درجه حرارت : درجه حرارت محیط اطراف بتن ودر نتیجه درجه حرارت بتن را با سرعت معینی زیاد کرده تا به حداکثر درجه حرارت لازم برسد .

۳ ــ مرحله حداکثر درجه حرارت :حداکثر درجه حرارت را معمولا" برای مدت زمان مشخصی ثابت نگاه می‌دارند .

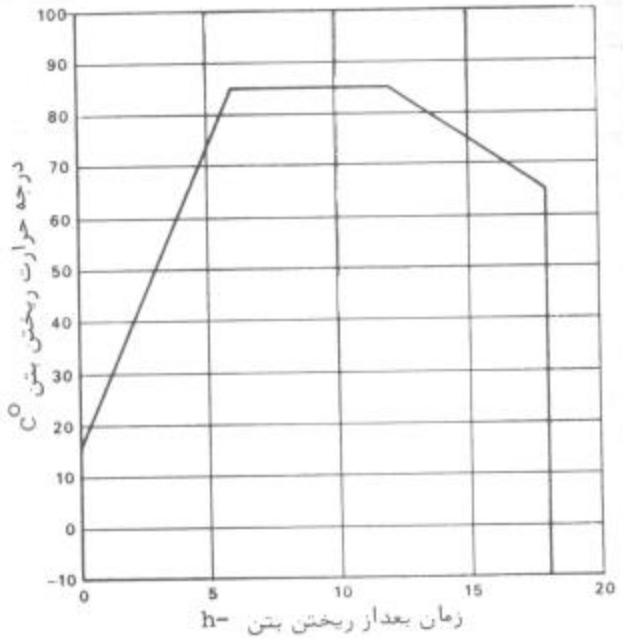
۴ ــ مرحله‌سردشدن : درجه‌حرارت بتن و محیط اطراف آن را به آهستگی‌کاهش می‌دهند .



شکل (۸ ــ ۲) نمای کلی از مراحل مختلف نگهداری با بخار آب

مرحله قبل از گرم کردن بتن معمولا" بین ۲ تا ۶ ساعت بسته به نوع سیمان مصرفی طول می‌کشد . هرچه سیمان دیرگیرتری وبا هرچه حداکثر درجه حرارت بزرگتری مورد استفاده‌قرارگیرد ، طول مدت مرحله قبل از گرم کردن بتن باید بیشتر شود .توصیه

می‌شود که‌درجه حرارت‌بتن دردو ساعت اول بعداز ریختن آن از ۵۰ درجه ودر ۶ ساعت اول از ۱۰۰ درجه‌تجاوز ننماید . در شکل (۹ ــ ۲) یک نمونه از منحنی درجه حرارت ــ زمان برای‌نگاهداری ازبتن به وسیله بخار نشان داده شده است . در اینجا درجه‌حرارت بتن در موقع ریختن $15^{\circ}C$ فرض شده است . بتن را طوری گرم می‌کنند که بعداز ۶ ساعت (بعداز ریختن‌بتن) درجه حرارت آن به $85^{\circ}C$ برسد ، برای مدت ۶ ساعت دیگر درجه حرارت‌رابه‌همین مقدار ثابت نگاه داشته ، سپس اجازه می‌دهند که بتن سرد شود به‌طوری که در ۶ ساعت بعدی حرارتش ۲۰ درجه کاهش یابد و بعداز این مدت قالب ها را آزاد می‌نمایند .



شکل (۹ ــ ۲) نمونه ای از منحنی درجه حرارت ــ زمان برای نگاهداری از بتن به وسیله بخار آب در فشار یک آتمسفر .

گاهی اوقات از آب داغ ویا روغن داغ برای گرم کردن بتن استفاده می‌نمایند ، در چنین حالتی مایع داغ‌را به داخل مجراهای طولی که در بدنه قالب وجود داردو یا

لوله هائی که در زیر بستر قالب واقع است پمپ کرده و به این وسیله عضوهای بتنی را گرم می‌نمایند. نتیجه ای که از این روش به دست‌می‌آید مشابه روش بخار دادن است به شرطی که در طول مدتی که بتن گرم نگاه داشته می‌شود، آن را مرطوب نیز نگاه دارند. گاهگاهی برای نگاهداری‌ازبتن به‌جای اینکه آن را توسط آب سردخیس‌نمایند برای اینکه مقاومت آن سریعتربالا رود این کار را به وسیله آب گرمی که حدود $65^{\circ}C$ گرم شده انجام می‌دهند. برای این منظور روی سطحی از بتن که باهوا تماس دارد پارچه یا حصیری انداخته وسپس روی آن آب‌گرم می‌پاشند.

۱۲ ـ ۲ ـ مقاومت فشاری بتن:

دربیشترکشورهامقاومت‌فشاری‌بتن را از روی نمونه مکعبی آن به دست می‌آورند. لیکن اگرآزمایش روی نمونه های استوانه ای‌یا منشوری انجام شود، رابطه نزدیکتری بین نتایج آزمایش ومقاومت‌واقعی‌بتن درمحل به‌دست می‌آید. مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای از همه بهتر ودقیق تر، مقاومت فشاری واقعی بتن در محل را نشان می‌دهد. رابطه بین مقاومت مکعبی واستوانه‌ای یا منشوری پیچیده می‌باشد.

گاهی فرض می‌شودکه رابطه‌بین آنهاخطی است، ومقاومت استوانه ای یامنشوری را برابر با ۸۰ درصد مقاومت نمونه مکعبی با سطح مساوی می‌گیرند. لیکن اگر چنین‌فرضی صحیح‌می‌بوددیگر احتیاجی‌به استفاده از نمونه استوانه‌ای یا منشوری نبود. در حقیقت، نسبت مقاومت‌استوانه‌ای یامنشوری‌به مقاومت‌مکعبی، بستگی به ترکیب بتن وابعاد استوانه یا منشور دارد، وممکن است بین ۰/۶ تا ۰/۹ تغییر کند. برای بتن هائی که از یک نوع مصالح ساخته شده باشند، این نسبت با ازدیادمقاومت افزایش می‌یابد. در بیشتر موارد مقدار آن بین ۰/۶۷ تا ۰/۸ می‌باشد.

مقاومت بتن درطول‌زمان به‌تدریج تغییر می‌کند، در ابتدا افزایش مقاومت‌سریع بوده، لیکن به تدریج سرعت آن کم می‌شود. این تغییرات مقاومت بتن در طرح وساخت عضوهای بتن پیش‌تنیده بسیار مهم می‌باشد، زیرا ممکن است بارهای بسیار بزرگی دراثر کشیدن کابلها، موقعی که بتن هنوز جوان است به آنها وارد شود. در کلیه ساختمانهای پیش تنیده بخصوص درعضوهای پیش‌کشیده ای که در کارخانه ساخته می‌شود اغلب برای افزایش سریع مقاومت‌بتن‌از روش های خاصی استفاده می‌شود. این روشها عبارت ازمصرف سیمان‌رودگیر نوع III به جای سیمان پرتلند معمولی (نوع I) ونگهداری با بخارآب می‌باشد. ازروی نتایج‌آزمایشهای بسیاربادی که انجام شده، عبارات زیر برای‌پیش‌بینی

مقاومت بتن درسن های مختلف به دست آمده است.

برای بتنی‌که‌بوسیله‌آب‌خیس نگاه داشته شده و سیمان آن سیمان پرتلند معمولی نوع I می‌باشد:

$$f'_{c,t} = \frac{t}{4.00 + 0.85t} f'_{c,28} \qquad (۲-۱)$$

برای بتنی‌که‌به وسیله‌آب خیس نگاه داشته و سیمان آن سیمان زودگیر نوع III می‌باشد:

$$f'_{c,t} = \frac{t}{2.30 + 0.92t} f'_{c,28} \qquad (۲-۲)$$

برای بتنی که به وسیله بخار آب نگاهداری شده و سیمان آن سیمان پرتلند معمولی نوع I می‌باشد:

$$f'_{c,t} = \frac{t}{1.00 + 0.95t} f'_{c,28} \qquad (۲-۳)$$

برای بتنی که به وسیله بخار آب نگاهداری شده و سیمان آن سیمان زودگیر نوع III می‌باشد:

$$f'_{c,t} = \frac{t}{0.7 + 0.98t} f'_{c,28} \qquad (۲-۴)$$

در این‌معادلات $f'_{c,t}$ مقاومت‌فشاری روی نمونه استوانه ای در زمان t و $f'_{c,28}$ مقاومت فشاری روی نمونه استوانه ای در سن ۲۸ روز و t سن بتن برحسب روز می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده‌ازآزمایشها نشان می‌دهدکه معادلات (۲ـ۱) تا (۲ـ۴) را می‌توان برای بتن های معمولی، بتن سبک بدون ماسه و تمام بتن های با دانه های سبک به کار برد.

۱۳ ـ ۲ ـ مقاومت کششی بتن:

در عضو های بتن پیش تنیده در اثر کشش خالص، خمش، ترکیب برش وخمش در جان تیرها، پیچش، وعوامل دیگر ممکن است ترک به وجود آید. رفتار عضو اغلب بعدار بوجودآمدن ترکهای‌کششی یک دفعه تغییر می‌نماید. به همین دلیل دانستن‌مقدار مقاومت‌کششی مصالح بسیار مهم می‌باشد. مقاومت کششی‌بتن برخلاف مقاومت فشاری آن در طول زمان افزایش زیادی پیدا نمی‌کند و معمولا" در پایان دوره نگهداری با آب این مقاومت تقریبا" به حداکثر مقدار خود می‌رسد، بعدار اینکه دوره نگهداری با آب تمام

شد ،بتن بتدریج آب خودرا از دست می‌دهد که در اثر آن مقاومت کششی اش‌کم می‌شود ، البته بعداز گذشت مدت زمانی مقاومت کششی دومرتبه افزایش یافته و به حداکثر مقدار خودمی‌رسدو بعداز این مدت مقدار آن ثابت می‌ماند . مقاومت کششی بیشتر بستگـــی به‌خواص ملاتی‌داردکه دور دانه های درشت را گرفته است ، در صورتی که مقاومت فشاری عموما" تاحد معینی بستگی به مقاومت فشاری دانه های درشت دارد .

چندین راه‌برای اندازه گیری مقاومت کششی بتن وجود دارد ، ولی هیچ‌کدام از آنهاکاملا" رضایت بخش نمی‌باشد .برای‌اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن سابقا" ازآزمایش مستقیم کشش (Direct tensile tests) استفاده می‌شد لیکن نتایجی که ازاین آزمایش به دست می‌آید بسیار پراکنده بوده ومتفاوت می‌باشد . امروزه برای اندازه گیری مقاومت کششی بتن از آزمایش ضریب گسیختگی (Modulus of rupture test) ویا آزمایش دونیم کردن استوانه (Split cylinder test)استفاده می‌کنند .

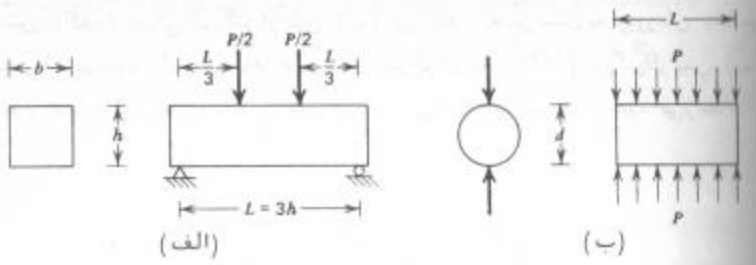
ضریب گسیختگی عبارت است از تنش محاسباتی کششی ناشی از خمشی که یک تیرآزمایشی بتن ساده دراثر آن گسیخته می‌گردد . طریقه آزمایش در شکل (۱۰ – ۲) نشان داده شده است . در این آزمایش از یک تیربتنی غیر مسلح که به دو انتهایش تکیه دارد و درنقاط $\frac{1}{3}$ طول دهانه اش بارگذاری شده استفاده می‌شود . ابعاد تیر معمولا" ۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر و طول آن بین تکیه گاهها برابر با ۴۵۰ میلیمتر می‌باشد و ضریب گسیختگی از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$f'_r = \frac{PL}{bh^2} \qquad (۲-۵)$$

که P عبارت است از کل بار در موقع گسیختگی ، L طول دهانه ، و b و h ، به ترتیب عرض وعمق مقطع می‌باشد . برای بتن معمولی (غیر سبک ضریب گسیختگی معمولا" بین $0/62\sqrt{f'_c}$ و $0/75\sqrt{f'_c}$ بوده (f'_c مقاومت‌نمونه‌استوانه‌ای‌برحسب N/mm^2 می‌باشد) درحالی‌که برای‌بتن‌با دانه های سبک مقدار آن معمولا" بین $0/42\sqrt{f'_c}$ و $0/75\sqrt{f'_c}$ می‌باشد . در هر دو حالت مقاویر کوچکتر مربوط به بتن های با مقاومت بالاتر است . از آنجائی که تنش‌بحرانی فقط در ناپائینی تیر به وجود می‌آید و ضریب گسیختگی بافرض اینکه بتن یک ماده الاستیک است محاسبه می‌شود ، مقدار این ضریب بزرگتر از مقاومت واقعی بتن تحت اثرکشش یکنواخت محوری می‌باشد ، که‌عموما" برای بتن معمولی بیـــن $0/25\sqrt{f'_c}$ و $0/42\sqrt{f'_c}$ وبرای بتن سبک بین $0/17\sqrt{f'_c}$ و $0/29\sqrt{f'_c}$ فرض می‌شود .

در سالهای اخیر بیشتر از آزمایش دو نیم کردن استوانه برای محاسبه مقاومت

کششی‌بتن استفاده می‌شود . طریقه این آزمایش در شکل (ب ۱۰ – ۲) نشان داده شده است ،برای انجام‌آزمایش یک استوانه ۱۵۰×۳۰۰ میلیمتری را به‌طور افقی داخل دستگاه آزمایش مقاومت فشاری (که برای آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی یا استوانـــه‌ای به کار می‌رود) قرار می‌دهند ، به‌طوری‌که فشار در طول قطری از استوانه که به‌طور قائـم قرار دارد وارد شود .



شکل (۱۰ – ۲) آزمایشهای مربوط به تعیین مقاومت کششی بتن
الف – آزمایش ضریب گسیختگی
ب – آزمایش دونیم‌کردن‌استوانه

به این ترتیب‌یک‌تنش کششی تقریبا "یکنواخت درجهت عمودبرسطح بار به وجودمی‌آید . مقدار تنش کششی‌که باعث دونیم شدن استوانه می‌شود را می‌توان از عبارت زیر به‌دست آورد :

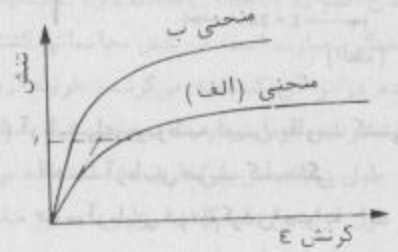
$$f'_{sp} = \frac{2P}{\pi Ld} \qquad (۲-۶)$$

که P بارگسیختگی ، d قطر استوانه و L طول آن می‌باشد .

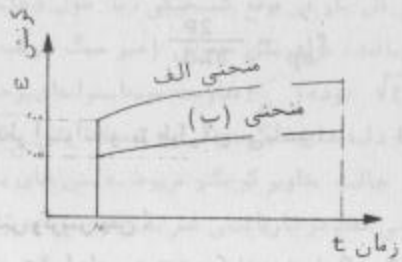
۱۲ – ۲ – رابطه بین تنش وکرنش بتن :

در شکل (۱۱ – ۲) رابطه بین تنش وکرنش بتنی ، که برای اولین بار تحـــت بارگذاری فشاری‌قرار گرفته ، نشان داده شده است . منحنی (الف) رفتار بتن کم‌مقاومت رانشان می‌دهد ومنحنی (ب) مربوط به بتن با مقاومت زیادمی‌باشد و چنانچه در شکـل دیده می‌شودرابطه بین تنش و کرنش در هر دو حالت تا حدود معینی ازتنش (که ایـــن

تنش حدود نصف تنش فشاری نهائی است که بتن می‌تواند تحمل کند) خطی است که این حد برای منحنی (ب) پیش از منحنی (الف) می‌باشد. شکل (۱۲ – ۲) تغییرات کرنش را درطول زمان برای بتن های (الف) و (ب) شکل (۱۱ – ۲)، در صورتی که تحت اثر یک تنش ثابت f قرار داشته باشند، نشان می‌دهد. موقعی که باری که تنش f را ایجاد می‌کند در زمان t_o وارد شود یک کاهش طول الاستیک آنی $\varepsilon_{co} = f/E_{co}$ به‌وجودمی‌آید، که ε_{co} ضریب ارتجاعی درزمان t_o می‌باشد. مقداراین تغییر شکل‌الاستیک برای بتن (الف) خیلی بزرگتر از بتن (ب) می‌باشد. تغییر شکل به‌مرورزمان به‌طور پیوسته زیاد می‌شود. این ازدیاد تغییر شکل نیز برای بتن (الف) بزرگتر از بتن (ب) می‌باشد. تغییر شکل بعداز چندین سال در زمان t_∞ به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



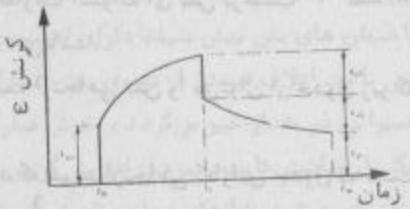
شکل (۱۱ – ۲) منحنی تنش – کرنش برای بتن.



شکل (۱۲ – ۲) تغییر شکل تحت‌اثر بار ثابت.

اثر برداشت‌بارمطابق شکل (۱۳ – ۲) می‌باشد، که در آن تغییر شکل بتن‌تحت

اثر یک‌بار ثابت که در زمان t_o وارد شده و تغییر شکل بعداز برداشت این بار (به‌طوری‌که مقدار تنش در بتن به صفر رسیده باشد) درزمان t_1، نشان داده است. اگربتن به‌طور الاستیک عمل می‌کرد هیچ تغییر شکل دائمی باقی‌نمی‌ماند، زیرا در یک ماده الاستیک‌کل تغییرشکل بعدازبرداشت بار از بین می‌رود. با وجود این شکل (۱۳ – ۲) نشان‌می‌دهد که تغییرشکل بتن بعدازبرداشت‌بار، به‌طور آنی به اندازه ε_{el} که کرنش برگشت‌الاستیک است کم می‌شود، وبه تدریج به‌مرور زمان به اندازه ε_{cr} که برگشت خزشی (Creep recovery) نامیده می‌شود بازهم کمتر می‌گردد، لیکن یک تغییر شکل دائمی ε_p در زمان t_∞ هنوز باقی می‌ماند.



شکل (۱۳ – ۲) تغییر شکل‌در طول زمان بارگذاری وبعداز برداشت‌بار

باید توجه کرد که اگر قبل از وارد شدن بارمقاومت بتن به حداکثر مقدار خود رسیده‌باشد واز این به بعد تقریبا" ثابت بماند، ضریب ارتجاعی برای تنش های‌مختلف تغییر نکرده و مقدار آن ثابت می‌ماند. لیکن در شکل (۱۳ – ۲)، مقدار E در زمان t_1 بزرگتر ازمقدار E در زمان t_o می‌باشد (زیراهرچه‌مقاومت‌بتن بیشترشود ضریب ارتجاعی آن افزایش می‌یابد). که نتیجه آن این است که برگشت الاستیک ε_{el} کمتر از ε_{eo} خواهد شد.

با توجه به شکل (۱۱ – ۲) نتیجه می‌شود که بتن های با مقاومت های بالاتر دارای ضریب ارتجاعی بزرگتری می‌باشد. ضریب ارتجاعی در حقیقت برابر با شیب منحنی تنش وکرنش است. همچنین با توجه به این شکل معلوم می‌شود که بتن های با مقاومت‌های‌بالاتر شکننده تر هستند، یعنی کل کرنش نهائی (کرنش در موقع خردشدن بتن) این نوع‌بتن ها کمتراز کل کرنش نهائی بتن های بامقاومت کمتر می‌باشد. با توجه به روشهای طرحی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد کرنش نهائی فشاری بتن ۰/۰۳۵

فرض می‌شود، که برای بتن های دارای مقاومت $40\ N/mm^2$ یا کمتر کاملا "قابل قبول می‌باشد، لیکن‌برای بتن های دارای مقاومت های بیشتر کمی غیر محافظه کارانه می‌باشد. منحنی های تنش کرنش فشاری برای بتن سبک دارای همان مشخصات کلی مربوط به بتن عادی بوده، و هیچ فرق مشخصی بین این دو نوع برای طرح های معمولی وجود ندارد.

معادلات بسیارزیادی برای به دست‌آوردن ضریب ارتجاعی بتن از روی مقاومت فشاری آن پیشنهاد شده است. این ضریب را می‌توان با دقت کافی از روی معادله ای که توسط CEB / FIP توصیه شده ودر زیر آمده محاسبه نمود:

$$E_c = 6600\ (f'_c)^{\frac{1}{3}} \qquad (۲-۷)$$

که درعبارت بالا f'_c مقاومت استوانه ای بتن برحسب N/mm^2 و E_c ضریب ارتجاعی بتن برحسب N/mm^2 می‌باشد.

همچنین ضریب ارتجاعی بتن را می‌توان از جدول زیر که در CP110 آمده به دست آورد.

باید توجه‌کرد که ضریب‌ارتجاعی که‌ازاین جدول به دست می‌آید برای بتن‌های دارای وزن مخصوص $2300\ Kg/m^3$ ویا بیشتر می‌باشد.

ضریب ارتجاعی استاتیک E_c		مقاومت فشاری نمونه مکعبی
حدود	مقدار متوسط	f_{cu}
KN/mm^2	KN/mm^2	N/mm^2
۲۱ – ۲۹	۲۵	۲۰
۲۲ – ۳۰	۲۶	۲۵
۲۳ – ۳۳	۲۸	۳۰
۲۶ – ۳۶	۳۱	۴۰
۲۸ – ۴۰	۳۴	۵۰
۳۰ – ۴۲	۳۶	۶۰

جدول (۱ – ۲) ضریب ارتجاعی بتن های با مقاومت های مختلف

چنانچه‌ازبتن‌سبک باوزن مخصوص هائی بین $1440\ Kg/m^3$ تا $2300 Kg/m^3$ استفاده شود، می‌توان مقادیر به دست‌آمده از جدول (۱ – ۲) را در یک ضریب $(\frac{D_c}{2300})^2$ ضرب کرد تا ضریب ارتجاعی این نوع بتن به‌دست آید، در رابطه فعلی D_c وزن مخصوص بتن سبک برحسب Kg/m^3 می‌باشد. ضریب پواسون (Poisson's ratio) برای بتن بین حدود ۰/۱۵ تا ۰/۲ تغییر می‌کند.

ضریب ارتجاعی وضریب پواسون کششی بتن را می‌توان برای استفاده در طرح برابر مقادیر همان ضرائب در فشار فرض نمود.

۱۵ – ۲ – خزش (Creep):

تغییر شکلهای ناشی ازخزش وانقباض (Shrinkage) بتن که هر دو تابع زمان است، در طرح ساختمان های بتن پیش تنیده دارای اهمیت بسیارزیادی می‌باشد، زیرا این تغییرات حجمی باعث اتلاف قسمتی از نیروی پیش تنیدگی گردیده و همچنین در طول زمان باعث تغییراتی در مقدار خیز می‌گردد. خزش عبارت است از تغییر شکل دائمی بتن تحت اثر یک بار وباتنش ثابت. سرعت افزایش کرنش در ابتدا سریع بوده، لیکن بتدریج در طول زمان کم می‌شود تا اینکه بعداز چندین ماه مقدار کرنش تقریبا" ثابت مانده وتغییر محسوسی نمی‌نماید. برای محاسبه خزش می‌توان از توصیه های CEB/FIP که در آئین‌نامه پل‌سازی BS ۵۴۰۰ انگلیس نیز آمده استفاده نمود. این توصیه ها فقط برای بتنی که از سیمان پرتلند باکیفیت معمولی ساخته ودر شرائط عادی سخت شده وتحت تنش های سرویسی بیشتر از ۴۰ درصد مقاومت نهائیش قرار نگرفته باشد، صدق می‌کند.

تغییر شکل نهائی ناشی ازخزش از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta_{cc} = \frac{f_c}{E_{28}}\,\phi \qquad (۲-۸)$$

که‌در این فرمول، E_{28} ضریب ارتجاعی بتن درسن ۲۸ روز بوده، که نشانه ای از کیفیت بتن می‌باشد، و ϕ ضریبی است که اثر شرائط خاص بهره برداری توسط‌آن درنظر گرفته می‌شود. این ضریب برابر با حاصلضرب ۵ ضریب دیگر است.

$$\phi = K_L\, K_m\, K_c\, K_e\, K_j \qquad (۲-۹)$$

که K_L بستگی به رطوبت نسبی دارد، واز روی منحنی (۱۴ – ۲) به دست می‌آید.

K_m بستگی به میزان سخت شدن بتن در موقع بارگذاری دارد و از روی منحنی (۱۵ – ۲) به دست می‌آید.

K_c بستگی به ترکیب بتن دارد، واز منحنی (۱۶ – ۲) به دست می‌آید.

K_e بستگی به‌ضخامت موثر عضو دارد، واز منحنی (۱۷ – ۲) به دست می‌آید.

K_j پارامتری است که رشد تغییر شکلهای وابسته به زمان را در طول زمان بیان می‌کند، واز روی منحنی (۱۸ – ۲) به دهت می‌آید.

مقدار ϕ که از روی این مقادیر ضرائب مختلف محاسبه می‌شود یک مقدار متوسط است. در مواقعی که خزش اثر خیلی زیادی برروی حالت حدی مورد مطالعه دارد، یک اردیادیاکاهشی‌معادل با ۱۵ درصد باید برای آن منظور گردد، تا اثر بدترین حالت در نظر گرفته شود.

میزانی که بتن درزمان بارگذاری سخت شده، دست کم دارای اثر ی مساوی اثر شرائط آب وهوا (رطوبت نسبی) می‌باشد.

مقادیری که‌ازشکل (۱۵– ۲) به‌دست می‌آید مربوط به بتن ساخته شده ازسیمان پرتلند معمولی‌است که تحت شرائط عادی سخت شده باشد. به این معنی که درجه‌حرارت متوسط بتن در تمام مدت $20^{\circ}C$ بوده و در مقابل از دست دادن بیش از حد رطوبت محافظت‌شده باشد.

اگر بتن‌دردرجه‌حرارتی به غیر از $20^{\circ}C$ قرار داشته و سخت شده باشد، به‌جای عمر بتن در موقع بارگذاری، از میزان سخت شدن معادل آن که از رابطه زیر به دست می‌آید در منحنی (۱۵ – ۲) استفاده می‌کنیم.

$$\delta_m = \Sigma j_m \ (T + 10^{\circ})$$

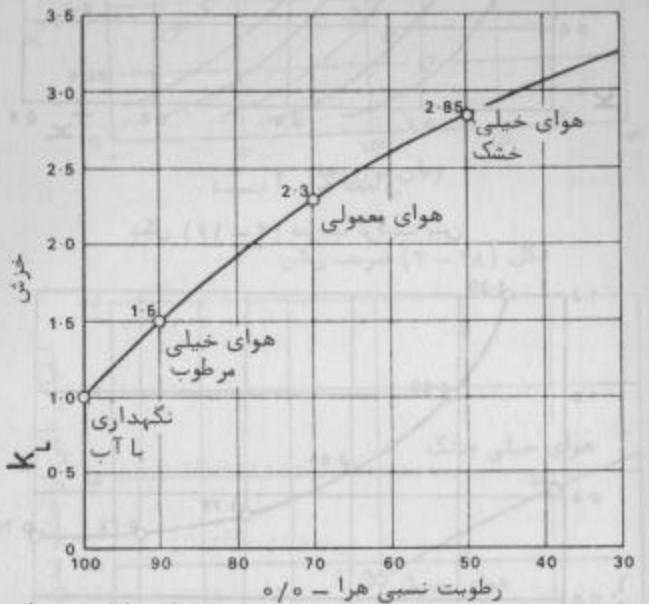
(۲ – ۱۰)

که در رابطه‌بالا، δ_m میزان سخت‌شدن‌بتن در لحظه بارگذاری است. j_m تعدادروزهائی است که بتن در طول آنها در درجه حرارت $T^{\circ}C$ قرار داشته (سخت شده).

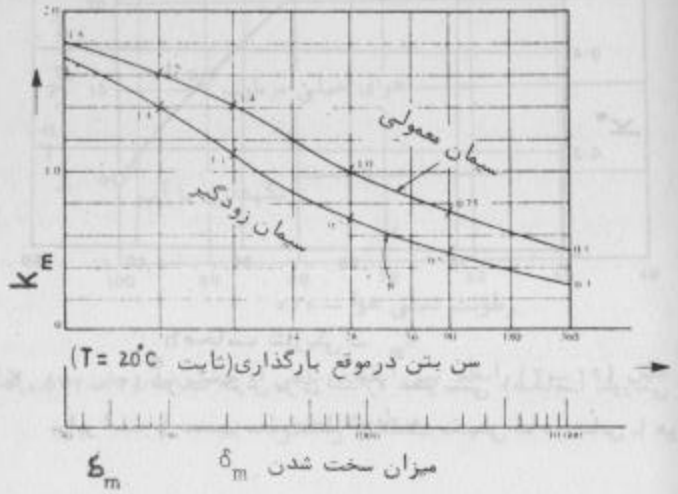
ضخامت موثر یعنی h_e برابر است با نسبت سطح مقطع A به نصف محیط u/2 که درتماس با هوا می‌باشد. اگر یکی از ابعاد مقطع مورد بررسی نسبت به دیگری خیلی بزرگ باشد، ضخامت موثر تقریبا" برابر ضخامت واقعی می‌گردد.

به‌طورکلی، تغییرشکل‌نهائی‌خزشی یعنی Δ_{cc} برای بتن با دانه های سبک‌بزرگتر از تغییر شکل نهائی خزشی بتن با دانه های معمولی است. این اختلاف برای بتن های بامقاومت بالاکمی‌کمتراز بتن های‌با مقاومت پائین تر می‌باشد و بستگی‌به ضریب ارتجاعی

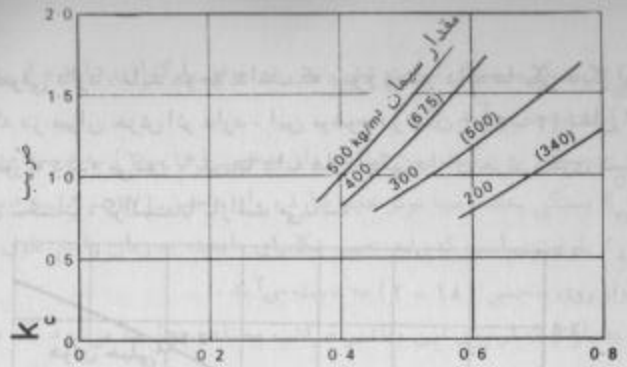
دانه های مصرفی دارد. باید توجه داشت که، نوع ومنبع دانه ها یکی دیگر از عوامل مهمی‌است که در میزان خزش اثر دارد، این موضوع در شکل (۲۱– ۲) نشان داده‌شده است. همانطورکه دیده می‌شود، بتن با دانه های آهکی دارای خزش کمتری نسبت به‌بتن با دانه های سخت‌تر، گرانیت یا بازالت می‌باشد.



شکل (۱۴ – ۲) رابطهٔ بین خزش (به نسبت کرنش ارتجاعی اولیه) ورطوبت‌نسبی

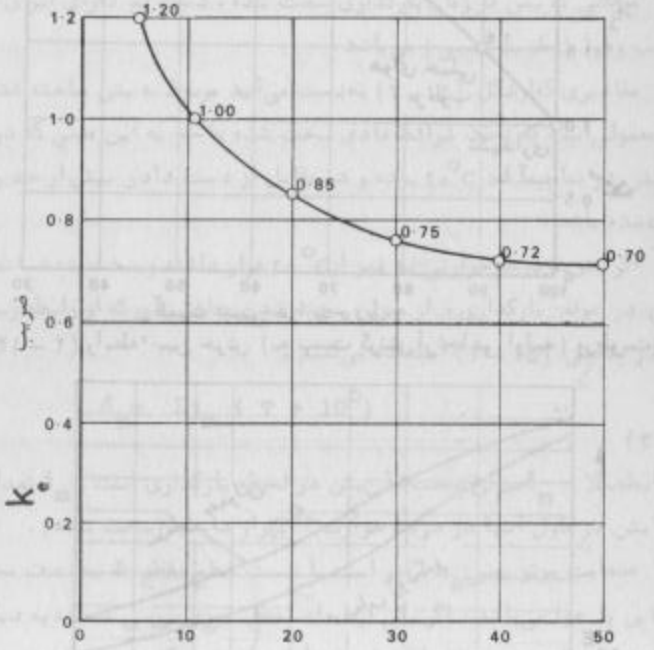


شکل (۱۵ – ۲) ضریب برای زمان بارگذاری



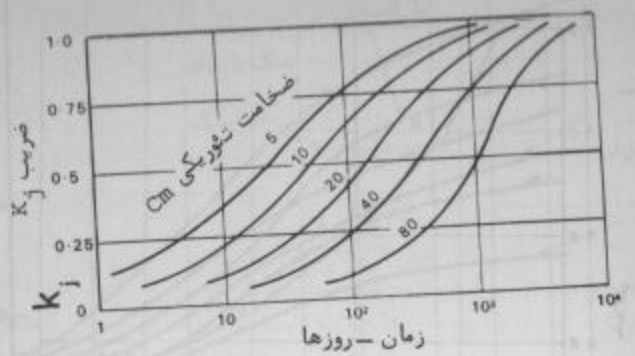
نسبت آب به سیمان

شکل (۱۶ – ۲) ضریب ترکیب بتن

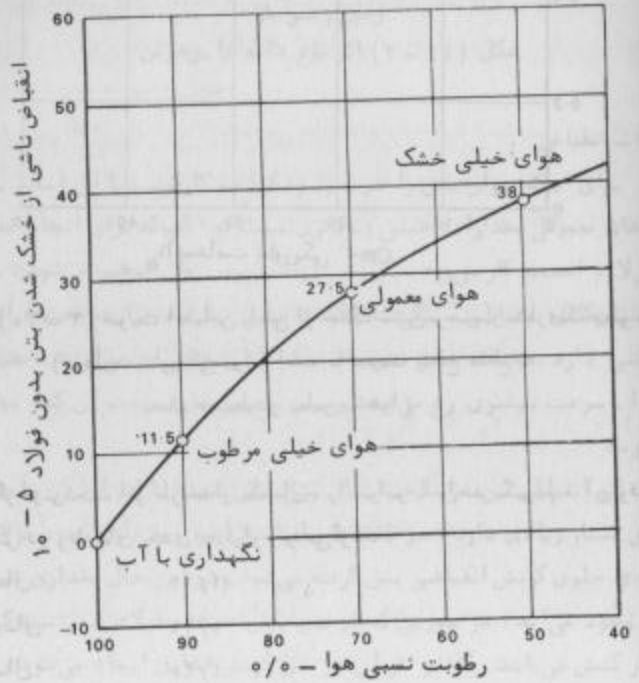


h ضخامت تئوریکی – C_m

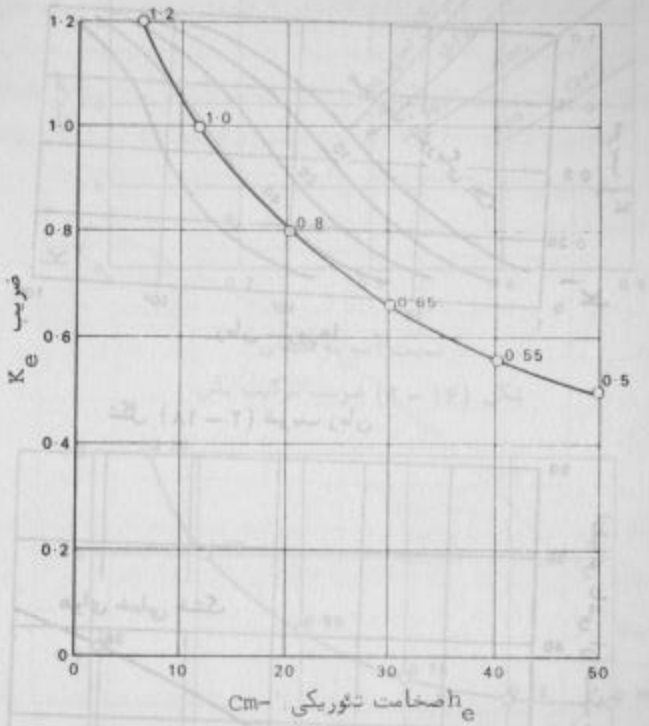
شکل (۱۷ – ۲) ضریب خزش برای اندازه عضو بتنی (ضخامت تئوریکی e برابر است با نسبت سطح مقطع به نصف محیطی که در تماس با هواست)



شکل (۱۸ – ۲) ضریب زمان



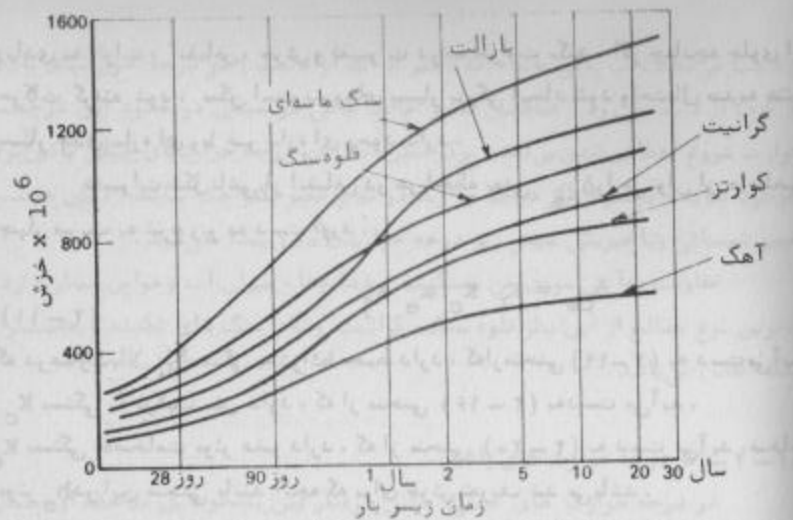
شکل (۱۹ – ۲) رابطهٔ بین انقباض ناشی از خشک شدن بتن بدون فولاد ورطوبت نسبی



شکل (۲۰ ـ ۲) ضریب انقباض ناشی از خشک شدن برحسب اندازه یک عضو بتنی
(ضخامت تئوریکی برابر است با نسبت سطح مقطع به
نصف محیط در تماس با هوا)

اگر خرش تحت اثر بار بعدار یک سال ، را ، برابر با واحد بگیریم ، آن وقت متوسط مقادیر خرش در زمانهای بعدی به قرار زیر می‌گردد :

بعدار دو سال	۱/۱۲
بعدار پنج سال	۱/۲۰
بعدار ده سال	۱/۲۶
بعدار بیست سال	۱/۳۳
بعدار سی سال	۱/۳۶



شکل (۲۱ ـ ۲) اثر نوع دانه ها برخزش

۱۶ ـ ۲ ـ انقباض

برای اینکه بتوان بتن را خوب وبهره کرده و کارکردن با آن آسان باشد عموما" در بتن‌های معمولی مقدارآب خیلی زیادتری نسبت به آنچه‌که برای انجام فعل‌وانفعالات شیمیائی لازم است به کار می‌رود . این آب آزاد به مرور زمان تبخیر می‌شود ، سرعت خشک شدن ومیزان کامل بودن آن بستگی به رطوبت نسبی ، درجه حرارت محیط، اندازه و شکل نمونه بتنی دارد . خشک شدن بتن باعث کم شدن حجم آن می‌گردد ، تغییرات حجمی در ابتدا باسرعت بیشتری رخ می‌دهد وسپس به‌مرور زمان سرعت آن کند شده وبه‌حدود صفر می‌رسد .

اثر انقباض بتن در ساختمانهای بتن پیش تنیده با اثر آن در ساختمانهای بتن آرمه فرق بسیار زیادی دارد . در ساختمانهای بتن آرمه ، به علت وجود فولاد در بتن تا حدودی جلوی کرنش انقباضی بتن گرفته می‌شود ودر این حال مقداری تنش فشاری در فولاد به وجود می‌آید ، در صورتی که در بتن پیش تنیده ، فولاد پیش تنیدگی همیشه تحت اثر کشش می‌باشد ، که در اثر آن در بتن کرنش فشاری ایجاد می‌شود ، و این امر نیز به نوبه خود باعث ازدیاد کرنشهای انقباضی در بتن می‌گردد . بعلاوه ، در عضوهای سازه‌ای بتن آرمه معمولا" تعداد زیادی برکهای زیر وتر دیک به‌هم وجود دارد که اثر تنش های انقباضی راحتی می‌نماید . طراح ساختمانهای پیش تنیده باید توجه بسیار

زیادی به اثرات ، انقباض، خزش و تغییرات درجه حرارت بکند . اگر چنانچه جلوی این حرکات گرفته شود ، ممکن است نیروهای بسیار بزرگی ایجاد شود واحتمال صدمه های بسیار جدی سازه ای ویا غیر سازه ای وجود دارد .

تغییرات شکل‌ناشی از انقباض در هر لحظه یعنی Δ_{cs}را می‌توان از حاصلضرب چهار ضریب به شرح زیر به دست آورد :

$$\Delta_{cs} = K_L K_c K_e K_j \qquad (۲-۱۱)$$

که درعبارت‌بالا K_Lبستگی به‌شرائط‌محیط دارد ، که‌ازمنحنی (۱۹–۲) به دست‌می‌آید .

K_c بستگی به ترکیب بتن دارد ، که از منحنی (۱۶ – ۲) به‌دست می‌آید .

K_e بستگی به‌ضخامت موثر عضو دارد ، که از منحنی (۲۰ – ۲) به دست می‌آید .ضخامت موثر h_eدر این منحنی مانند آنچه که برای خزش تعریف شد می‌باشد .

K_j پارامتری است که رشد تغییر شکلهای انقباضی در طول زمان را بیان می‌کند ، که از منحنی (۱۸ – ۲) به دست می‌آید .

انقباضی که از رابطه بالا ومنحنی های داده شده به دست می‌آید . فقط درمورد بتن هائی که در روزهای اولیه عمرشان در مقابل از دست دادن رطوبت زیاد محافظت شده اند معتبر است . ضریب K_cو K_jدر معادله بالا با ضریب K_cو K_jکه برای محاسبه خزش به‌کار می‌رود یکی می‌باشد .

همانطور که ازمنحنی‌ها دیده می‌شود وقتی شرائط‌آب و هوا ثابت باشد ، تغییر شکلهای ناشی از انقباض در فاصله زمانی (t-i) برابر می‌شود با :

$$\Delta_{cs}\ (t - i) = K_L K_c K_e\ (K_{jt} - K_{ji}) \qquad (۲-۱۲)$$

در سن های کم ،انقباض یک بتن محافظت شده کمتراز انقباض یک بتن محافظت نشده می‌باشد ،این اختلاف انقباض در طول زمان کاهش پیدا کرده و سرانجام از بین می‌رود .

تجربیات‌آزمایشگاهی نشان‌داده است که ، انقباض بتن های سبک سازه ای ،بین ۱ تا ۲ برابر انقباض بتن های معمولی بامقاومت فشاری مساوی ، می‌باشد .

۱۷ – ۲ – اثر درجه حرارتهای بالا :

موقعی که بتن تادرجه حرارتهای بالای $100^{\circ}C$ گرم می‌شود ، ابتدا آب آزاد را

از دست می‌دهد ،آب باقی مانده (که ، غیر از آب آزاداست) در درجه حرارتهای بالای $200^{\circ}C$ از دست می‌رود ، همچنین تغییر حالت هائی در سیمان در حدود این درجه حرارت شروع به‌ظاهر شدن‌می‌کند . ترک ممکن است در درجه حرارتهای خیلی پائین‌تری به‌وجود بیاید ، بخصوص اگر درجه حرارت در تمام عضو یکنواخت نباشد ، لیکن هیچ تغییر شیمیائی ویا فیزیکی مهمی زیر درجه حرارت$200^{\circ}C$ پیدا نمی‌شود .

مقاومت به‌آتش سوزی‌بتن بستگی‌به نوع‌دانه‌ها ، میزان آب وخواص سیمان‌دارد . بدترین نوع مصالح از این نظر قلوه سنگ ، گرانیت وتمام سنگ های شکسته (به‌غیر از سنگ آهک) می‌باشد .

۱۸ – ۲ – اثر درجه حرارت های پائین :

در درجه حرارت های خیلی پائین ، رفتار بتن به‌نحو قابل ملاحظه ای بستگی به میزان آب موجود در آن پیدا می‌کند . نمونه های خشک شده در فر در موقع آزمایش، در درجه‌حرارت$-150^{\circ}C$ ، مقاومت فشاری ،مقاومت کششی و ضریب ارتجاعی شان حدود ۵ تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد ، لیکن نمونه های مرطوب در همین شرائط مقاومت فشاری ومقاومت کششی شان حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد و ضریب ارتجاعی شان حدود ۵۰ درصد افزایش می‌یابد .

۱۹ – ۲ – قابلیت‌دوام بتن (durability) :

قابلیت دوام عبارت است از میزان توانائی بتن برای حفظ مقاومت و حفظ ظاهرش در مدت زمان طولانی . این قابلیت بهتر می‌شود ، چنانچه شن وماسه مصرفی از نظر شیمیائی غیر فعال‌بوده وبتن خوب متراکم و وبیره شده باشد . یخ زدن‌هاوبارندن‌های مکرر در دوام‌بتن اثر می‌گذارد . به این معنی که اگرآب داخل خلل وفرج بتن یخ بزند ، چون منبسط می‌شود ازداخل فشاربا کششی به آن‌وارد می‌کند ، که اگر تعداد دفعات‌بسیار زیادی تکرارشود ، ممکن است بتن را خرد نموده و علاوه بر اینکه به شکل ظاهر بتن‌صدمه می‌زند مقاومت آن‌را نیز کم می‌کند . جلوی این پدیده را می‌توان با متراکم کردن زیاد بتن ویا استفاده از مواد محبوس‌کننده هوا (در بتن) گرفت .

تشعشعات شدید ،بخصوص به شکل اشعه گاما ، در طول مدت زیاد یک اثر ضعیف کننده روی بتن دارد .

۲۰ ـ ۲ ـ بتن سبک:

همانطورکه‌درقسمتهای قبل اشاره شد امروزه برای کم کردن وزن سازه پیش‌تنیده و نتیجتا" کاهش ابعادفونداسیون آن وصرفه جوئی در قیمت ساخت، و همچنین برای افزایش طول دهانه‌موثر پل‌هاازبتن سبک استفاده می‌شود .ازآنجائی که‌روز بروز برمصرف بتن سبک درسازه های پیش تنیده افزوده می‌شود، مادر اینجا از نظر آشنائی، مختصری راجع به این نوع بتن ها صحبت خواهیم کرد.

بتن سبک به سه طریقه مختلف به شرح زیر ساخته می‌شود:

۱ ـ استفاده از دانه های سبک در بتن.

۲ ـ ایجاد حبابهای گاز در داخل بتن.

۳ ـ حذف ماسه از مخلوط بتن.

بتن های نوع دوم و سوم معمولا" دارای مقاومت زیادی نمی‌باشند و بنابراین در سازه‌های باربر از آنها استفاده نمی‌شود (ازبتن نوع دوم گاهی در سازه های بار بر تحت بارسبک ،استفاده‌می‌شود) . مادراینجافقط به شرح‌مختصری از بتن های با دانه های سبک نوع (۱) می‌پردازیم . دانه های سبکی که‌در بتن های نوع (۱) به کار می‌رود ممکن است:

الف ـ از یک منبع معدنی طبیعی به دست آمده باشد.

ب ـ یا از محصولات‌جنبی یکی ازصنایع باشد.

ج ـ یا به‌طور اختصاصی ساخته شده باشد.

دانه های سبک طبیعی معمولا" دارای منشاء آتش‌فشانی هستند مثل پامیس (Pumice) شکل (۲۷ ـ ۲) . این نوع دانه ها مخلخل و سبک‌بوده و به اندازه‌کافی محکم‌است‌و آنهارامی‌توان‌به همان صورت طبیعی شان در بتن مصرف کرد. بعضی ازانواع دیگر دانه های سبک که از محصولات جنبی کارخانه‌ها بوده و یا به‌طور اختصاصی ساخته می‌شوند به شرح زیر می‌باشد:

الف ـ تفاله اسفنجی (Foamed slag):

روی تفاله مذاب کوره ذوب آهن (درجه حرارت حدود $1500^{\circ}C$) در مجاورت مقدار کنترل شده ای آب (یا در بعضی مواقع بخار آب و هوای فشرده) عملیاتی انجام می‌دهند که باعث محبوس شدن بخار آب در داخل این‌گداره می‌گردد. در نتیجه جسم متخلخل سبکی شبیه پامیس طبیعی به وجود می‌آید که به نام تفاله اسفنجی نامیده

می‌شود شکل (۲۲ ـ ۲) . بتن هائی‌که بااین نوع دانه ها ساخته می‌شود دارای مقاومتی بین $21 N/mm^2$ تا $34/5 N/mm^2$ می‌باشد.

ب ـ تفاله گلوله ای (Pelletized slag):

برای بوجودآوردن‌تفاله منبسط شده گلوله ای، قطعات مذاب تفاله را در داخل یک استوانه دوار در مجاورت آب قرار می‌دهند که در نتیجه این کارباد کرده وسپس با جرخش درهواکروی شکل می‌شود. این دانه‌ها از تفاله اسفنجی سبک تر بوده وسطح آنها نرم تر است. تفاله اسفنجی و تفاله گلوله ای هردو از محصولات جنبی کارخانه های ذوب آهن می‌باشند.

شکل (۲۳ ـ ۲) دانه های تفاله گلوله ای را نشان می‌دهد.

ج ـ سینتاگ (Sintag):

باخرد کردن سنگ‌رست خام (Shale) و مخلوط‌کردن آن با مقدار معینی مواد قابل احتراق وگرم کردن این مخلوط تادرجه حرارت حدود $1200^{\circ}C$ (که در این درجه حرارت مخلوط ذوب شده و گازهائی در داخل آن به وجود می‌آید که به سرعت منبسط شده وباعث متخلخل شدن‌دانه هامی‌گردد) به‌وجودمی‌آید. شکل (۲۴ ـ ۲) دانه‌های سنگ رست منبسط شده را نشان می‌دهد.

د ـ آگلایت (Aglite):

با مخلوط کردن نوعی از خاک رس Clay و سنگ رست وپودر زغال وقرار دادن این‌مخلوط داخل کوره وسپس خرد کردن آن در دستگاه سنگ شکن (برای ایجادگوشه‌های تیز) به وجود می‌آید. وزن مخصوص بتن هائی که از این نوع دانه ها ساخته‌می‌شودبین $1500 Kg/m^3$ تا $1600 Kg/m^3$ و مقاومت آنها بین $21 N/mm^2$ و $31/5 N/mm^2$ می‌باشد.

هـ ـ لکا (Leca):

برای‌بوجودآوردن‌این‌دانه ها یک نوع خاص خاک رس، که مناسب برای عملیات بادکردن است (Bloating) را ابتدا آسیاب کرده و قبل از فرستادن آن به کوره دوار روی آن عملیاتی انجام می‌دهند. به این ترتیب یک سری گلوله‌های کروی صافی بااابعاد مختلف وبا سطح لعابی لیکن متخلخل ایجاد می‌شود. شکل (۲۵ ـ ۲) دانه های خاک

رس شکفته یعنی لکارا نشان می‌دهد. بتن هائی که با این نوع دانه ها ساخته می‌شود دارای وزن مخصوصی بین $1050\ Kg/m^3$ تا $1500\ Kg/m^3$ و مقاومت آن بین $8/5 N/mm^2$ تا $17\ N/mm^2$ می‌باشد.

لازم به تذکر است که این نوع دانه ها در ایران تولید می‌شود.

و ـ لی ناگ (Lytag):

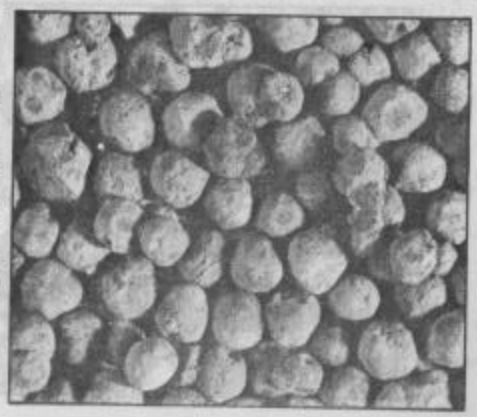
خاکستری که ازکارهای خارج شده از کارخانه های برق مدرن به دست می‌آید، درصورتی که از سوخت زغال پولورایزد (Pulverized Fuel) استفاده شده باشد، به نام خاکستر سوخت پولورایزد یا (Pfa) نامیده می‌شود. این خاکستر دارای دانه های شیشه ای کروی، نرم تراز سیمان ویا حداقل مثل آن می‌باشد. دانه های سبک، به این ترتیب به‌دست می‌آید که ابتدا خاکستر(Pfa)را با آب مرطوب نموده و بعد آن‌را با دو عاب زغال (مخلوط گرد زغال و آب) در داخل میکسر مخلوط می‌کنند. سپس ماده حاصله رابه داخل دیگهای دوار (که به نام دیگ گلوله سازنامیده می‌شود) می‌فرستند تا به صورت گلوله های گردی در بیاید ودر این حال آنها راتا درجه حرارت $1200^{\circ}C$ گرم می‌کنند. این عمل باعث می‌شود که ذرات خاکستر به یکدیگر بچسبد بدون اینکه کاملا" ذوب شود وبه‌این ترتیب دانه های سبکی به نام لی‌ناگ تشکیل می‌شود شکل (۲۶ ـ ۲). مقاومت بتن هائی که با این نوع دانه ها ساخته می‌شود بین $22/5 N/mm^2$ تا N/mm^2 ۴۵/۰ و وزن مخصوص آن بین $1550 Kg/m^3$ تا $1650\ Kg/m^3$ می‌باشد.

شکل (۲۴ ـ ۲) سنگ رست متسط شده

شکل (۲۳ ـ ۲) تغالهٔ گلوله‌ای

شکل (۲۲ ـ ۲) تغالهٔ اسفنجی

شکل (۲۵ – ۲) خاک رس شکفته بالکا



شکل (۲۶ – ۲) لی‌ناک

شکل (۲۷ – ۲) پامیس طبیعی

در جدول (۲ – ۲) مشخصات وطریقه ساخت چندین نوع بتن با دانه های سبک داده شده است. با توجه به این جدول معلوم می‌شود که ضریب ارتجاعی بتن های‌سبک بسیار کم بوده و نتیجتا" ائلاف تنش پیش تنیدگی ناشی از تغییر شکل الاستیک بتن و همچنین خزش برای این نوع بتن هابیشتر از بتن های معمولی می‌باشد. نکته دیگری که قابل توجه است این است که ضریب هدایت حرارتی بتن های سبک خیلی کوچک است و بنابراین ،این نوع بتن ها عایق های حرارتی بسیار خوبی می‌باشند. تجربه نشان داده است که مقاومت به آتش سوزی بتن سبک به مراتب بهتر از بتن معمولی می‌باشد.

نوع دانه‌ها	سیمان (Kg)	مقادیر لازم برای یک متر مکعب بتن: دانه ریز (m^3)	دانه متوسط (m^3)	دانه درشت (m^3)	وزن مخصوص خشک در هوا (Kg/m^3)	مقاومت ۲۸ روزه مکعبی (N/mm^2)	ضریب ارتجاعی E (KN/mm^2)	ضریب هدایت حرارتی K (W/m^oc)
لکا	۳۱۰	۰/۶۵	—	۰/۶۵	۱۰۵۰	۸/۵	۳/۵ – ۱۰/۵	۰/۳ – ۰/۶
	۳۵۰	۰/۶۰	—	۰/۶۰	۱۲۰۰	۱۰/۵		
	۴۴۰	۰/۶۰	۰/۶۰	—	۱۳۰۰	۱۴/۰		
	۳۵۰	۰/۴۰	—	۰/۸۰	۱۳۵۰	۱۵/۵		
	۳۳۰	۰/۴۵	۰/۸۰	—	۱۵۰۰	۱۷/۰		
آکلایت	۳۹۰	۰/۷۵	۰/۶۵	—	۱۵۰۰	۲۱/۰	۱۲ – ۱۸	۰/۶
	۴۴۰	۰/۷۵	۰/۷	—	۱۵۵۰	۲۶/۰		
	۴۸۰	۰/۷۰	۰/۷	—	۱۶۰۰	۳۱/۵		
لی‌تاک	۳۲۰	۰/۵۵	—	۰/۷	۱۵۵۰	۲۲/۵	۱۲ – ۱۸	۰/۵
	۴۰۰	۰/۵۰	—	۰/۸	۱۶۰۰	۳۰/۰		
	۵۰۰	۰/۴۰	—	۰/۸	۱۶۰۰	۳۷/۵		
	۵۵۰	۰/۳۵	—	۰/۸	۱۶۵۰	۴۵/۰		
نقالماسفحی	۴۸۰	۰/۸۵	—	۱/۱۰	۱۹۰۰	۲۱/۰	۱۸ – ۲۴	۰/۹
	۵۲۰	۰/۸۵	—	۱/۱۰	۲۰۰۰	۲۷/۵		
	۵۷۰	۰/۹۰	—	۰/۸۵	۲۰۰۰	۳۴/۵		

جدول (۲ – ۲) حواص چند نمونه بتن سبک وطریقه ساخت آنها

فصل سوم

وسائل پیش تنیدگی

۱ – ۳ – تفاوت بتن پیش کشیده و بتن پس کشیده از نظر ساخت :

قبل از اینکه به‌شرح‌وسائل‌لازم جهت کارهای پیش تنیدگی بپردازیم ، لازم‌است که ابتدا تفاوتهای بتن پیش کشیده و بتن پس کشیده را از نظر ساخت مورد بررسی قرار دهیم ، مهمترین این تفاوتها به شرح زیر می‌باشد :

۱ – باسیستم پس‌کشیده‌می‌توان قطعات‌پیش‌تنیده را یادرپای کار ویا در کارخانه ساخت ،بدون اینکه ،مثل‌سیستم پیش کشیده احتیاجی به‌سرمایه گذاری بزرگ جهت تهیه وسائل پیش تنیدگی باشد .

۲ – باسیستم پس کشیده می‌توان ساختمان را به‌صورت درجاریخته ، بتن ریزی نموده ودر محل پیش تنیده کرد ، در صورتی که این کار با سیستم پیش کشیده امکان‌پذیر نمی‌باشد (زیرا عملیات پیش کشیدگی را نمی‌توان در پای کار انجام داد و باید حتما" در کارخانه انجام گیرد ، چون احتیاج به تکیه گاههای مخصوصی می‌باشد) .

۳ – کابلهای‌مربوط به یک‌سازه‌پس‌کشیده را می‌توان روی هر مسیر منحنی‌دلخواه براحتی کارگذارد ،بدون اینکه احتیاج‌به وسائل مخصوص‌و بزرگی جهت خم نگاه‌داشتن کابل باشد (در سیستم پیش کشیده احتیاج به وسائل مخصوصی جهت خم نگاه داشتن کابل می‌باشد) .

۴ – درموقع کشیدن کابلهای پس کشیده دراثر اصطکاک کابل با غلاف مقداری از نیرو وتنش پیش تنیدگی تلف می‌شود ، که باید در طرح در نظر گرفته شود ، زیرا ممکن است اثربسارمهمی دررفتار بعدی‌سازه داشته باشد (چنین اتلاف تنشی در ساختمانهای پیش کشیده وجود ندارد) .

۵ – هر کابل پس کشیده باید به‌طور مجزا کشیده شود ، این امر توام باهربسته گروه‌های انتهائی ،غلاف ،وسائل مخصوص، وعملیات تزریق دو غاب به داخل غلاف‌ها ، (جهت محافظت ارفولادوایجادچسبندگی) ، باعث می‌شودکه در اکثر اوقات قیمت واحد (قیمت برای هرکیلو نیوتون نیروی موثر پیش تنیدگی) برای کابلهای پس‌کشیده به نحو قابل ملاحظه‌ای بیشتر از کابلهای پیش کشیده شود .

۶ ــ سیستم‌های مختلف جک و گیره های مخصوص پس‌کشیدگی معمولا" ثبت شده است (که کسی از روی آن تقلید نکند) و غالبا" ساخت آنها ساده نبوده واحتیـــاج بـــه دستگاه های پیچیده و روش های خاصی دارد.

در قسمت های بعدی این فصل وسائلی که در سیستم های مختلف پس کشیدگی و سیستم پیش کشیدگی به کار می‌رود به طور مختصر شرح داده خواهد شد.

۲ ــ ۳ ــ وسائل پس‌کشیدگی:

وسائل مخصوصی که برای کارهای پس‌کشیدگی به کار می‌رود به شرح زیر می‌باشد:

۱ ــ گیره‌های مخصوص نگاه داشتن کابل، در قسمت های بعدی انواع سیستم‌های مختلف گیره های پس کشیدگی که توسط شرکت های مختلف ساخته می‌شود را موردبررسی قرار خواهیم داد. شکل (۱ ــ ۳) یک نمونه ازگیره های پس‌کشیدگی را نشان می‌دهد.

۲ ــ جک های مخصوص کشیدن کابل های پس کشیدگی، که برای هرنوع گیره خاص ویا هر سیستم پس کشیدگی، جک مخصوصی لازم است. شکل (۱۶ ــ ۳) دو نمونه از جک های پس‌کشیدگی را نشان می‌دهد.

۳ ــ پمپ فشار قوی هیدرولیک برای ایجاد نیرو در جک. شکـــل (۲۹ ــ ۳) یک نمونه از پمپ فشار قوی که جهت کشیدن کابلهای پیش کشیده ویا پس‌کشیده به کـار می‌رود را نشان می‌دهد.

۴ ــ غلاف های فلزی، لاستیکی ویا پلاستیکی برای ایجاد سوراخهائی در بتن جهت کارگذاردن کابلها، شکل (۲۲ ــ ۳).

۵ ــ پمپ فشار قوی تزریق دو غاب، جهت پرکردن فضای خالی اطراف کابلها در غلاف، یا دو غاب سیمان.

۳ ــ ۳ ــ سیستم های پس‌کشیدگی:

سیستم های پس‌کشیدگی را می‌توان به‌طور کلی به چهار دسته تقسیم نمود:

۱ ــ سیستم های با سیم های موازی.

۲ ــ سیستم های مرکب از چند سیم بافته شده.

۳ ــ سیستم های مرکب از یک سیم بافته شده.

۴ ــ سیستم های متشکل از میله های آلیاژدار.

وسائلی که برای کارهای پس‌کشیدگی مورد نیاز است بستگی به این دارد که از

چه سیستمی استفاده می‌شود. شرکت‌های مختلفی که کارهای پیش تنیدگی را انجام می‌دهند ممکن است خود، از یکی یا از چند تا از سیستم های ذکر شده برای کارهای پس‌کشیدگی استفاده نمایند. علاوه بر روش طبقه بندی که ذکر شد، می‌توان برحسب اینکه از چـــه روشی برای گیردادن کابل استفاده می‌شود، دو سیستم تشخیص داد:

۱ ــ سیستم پیچ و مهره ای.

۲ ــ سیستم گوه‌ای.

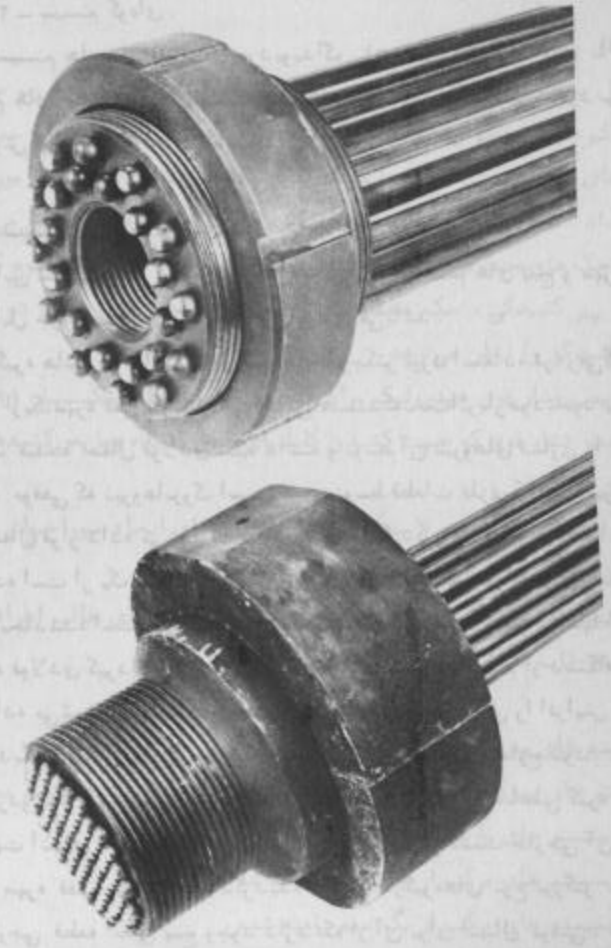
سیستم های (BBRV)، دیویداگ (Dividag) ومک‌الوی (Macalloy) جزوسیستم های پیچ و مهره‌ای هستند. بقیه‌سیستم‌های پس‌کشیدگی موجود برای گیردادن کابل از روش گوه‌ای استفاده می‌نمایند.

۴ ــ ۳ ــ سیستم پس‌کشیدگی BBRV:

این سیستم ازنظر نحوه گیردادن کابل جزو سیستم های پیچ و مهره ای و ازنظر وضعیت کابل جزوسیستم های باسیم های موازی می‌باشد.

گیره هائی که برای انتقال نیروهای کوچکتر مورد استفاده قرار می‌گیرد تشکیـــل شده است ازیک مهره قفل شونده (مهره‌هائی هستندکه تحت اثربارخودبخود بازنمی‌شوند) که سه یک صفحه حمال فولادی تکیه داشته و توسط آن نیروهای فشاری را به بتن منتقل می‌نماید. موقعی که نیروهابزرگ است، تنش توسط قطعات فلزی که بین گیره کشیده شده وصفحه حمال قرار داده می‌شود به قطعه منتقل می‌گردد. در تمام حالات، قطعه اصلـی تشکیل شده است از یک استوانه فولادی که روی آن تعدادی سوراخ برای عبور سیم هـای جداگانه ایجادشده است. هر یک از سیم ها توسط دکمه هائی که در سرآنها ایجاد می‌شود به استوانه فولادی گیرداده می‌شود (برای ایجاد دکمه در سرسیم از دستگاه مخصوص دکمه زنی استفاده می‌شود. این دستگاه با فشرده کردن سرسیم قطر آن را افزایش داده نتیجتا" این سیم دیگر نمی‌تواند از یک طرف از سوراخ (روی استوانه) خارج شود. شکل (۱ ــ ۳) نمونه ای ازدو نوع گیره ذکرشده را نشان می‌دهد. در داخل قطعه اصلی گیره نوع کوچکتر، پیچی جهت اتصال به میله‌کشنده برای عمل جک زدن ودر قسمت خارجی آن پیچی جهت اتصال به مهره قفل شونده ایجادگردیده است. درگیره‌های نوع بزرگتر، فقط در روی قسمت خارجی قطعه اصلی پیچ وجود دارد، که از آن برای اتصال موقتی، قطعه اصلی به باروی استوانه ای کشنده، که خود به جک متصل است استفاده می‌شود. سیم هائی کـــه باگیره های BBRV مورداستفاده قرار می‌گیرد باید قابلیت دکمه شدن را داشته باشد

(برای مثال سیم‌های نوع BA آمریکائی) بعدازعبور دادن سیم های از داخل سوراخ‌های گیره، درهر دو سرسیم دکمه ایجاد می‌کنند (با دستگاه دکمه زنی). به این ترتیب طول کابل غیر قابل تغییر می‌شود (فاصله‌بین دکمه ها). این طول باید قبل از عملیات دکمه زنی دقیقا "تعیین شده‌باشد، به‌طوری‌که بعدازکشیدن کابل، سرگیره‌نسبت به‌صفحه" حمال در وضعیت صحیحی قرار بگیرد. شکل (۲ – ۳) یک مرحله ازعملیات کابل کشی



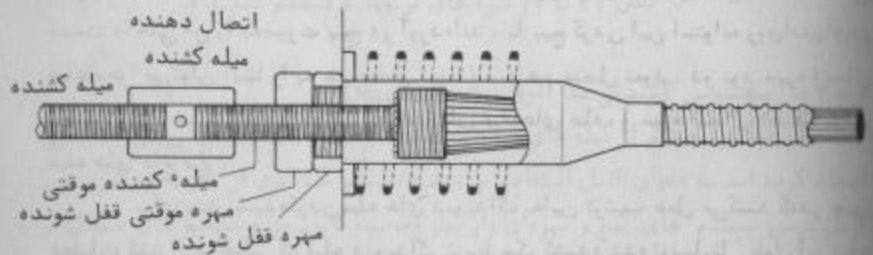
شکل (۱ – ۳) گیره های BBRV

را در محل جک زدن نشان می‌دهد، همانطور که دیده می‌شود طول قسمت شیپوری (قسمت شیپوری غلاف آن قسمتی‌ازانتهای غلاف است، که دارای قطر زیادتری می‌باشد، تا قطعه اصلی بتواند در داخل آن حرکت‌نماید) انتهائی، بستگی به مقدار وازدیاد طول کابل دارد.

در صورت امکان، تمام کابل را که شامل‌غلاف های پیش ساخته و گیره های دو انتها نیز می‌باشد، در کارخانه به‌صورت یک تکه حاضر وبعد به پای کار انتقال می‌دهند. اگر امکان تعیین دقیق طول کابل ازقبل نباشد، دکمه‌های سریک طرف کابل را با استفاده از دستگاه های دکمه زنی قابل حمل ونقل درپای کار ایجاد می‌نمایند.

با وجود اینکه در این سیستم می‌توان از سیم های‌باقطرهای مختلف استفاده نمود، لیکن سیم های باقطر ۷ میلیمتر ارجح است.

تعداد سیم‌های موجوددر یک کابل‌ممکن است بین ۸ تا ۱۶۳ عدد تغییر نماید، که بسته به‌تعداد سیم‌ها، هرکابل می‌تواند نیروی جک زدنی بین ۳۴ تا ۷۹۰ تن راتحمل نماید.



شکل (۲ – ۳) یک مرحله از کشیدن کابل

۵ – ۳ – سیستم‌پس‌کشیدگی دیویداگ (Dividag):

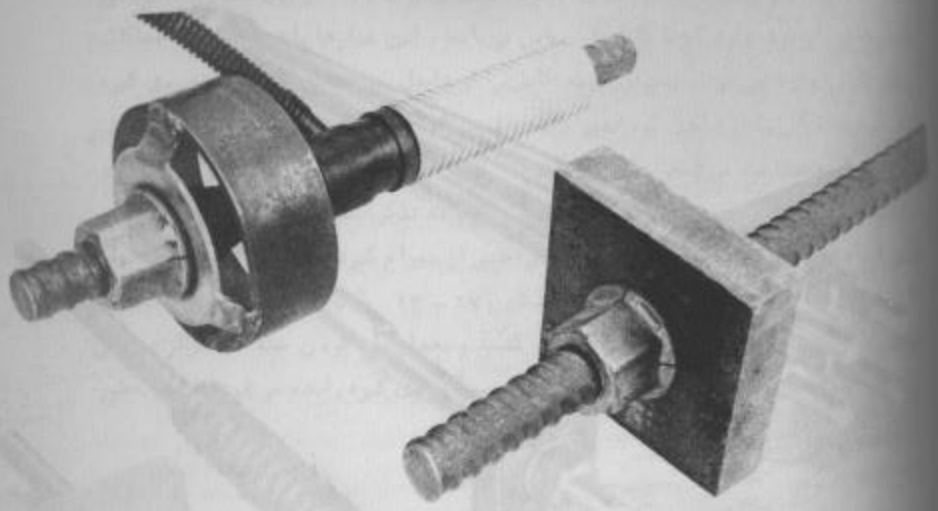
در این سیستم از میله های فولادی آلیاژدار به عنوان کابل استفاده می‌شود. این سیستم از نظر نحوه گیردادن کابل جز وسیستم های پیچ و مهره ای واز نظر وضعیت کابل جز وسیستم های متشکل از میله های آلیاژدار می‌باشد. دو نوع میله مورد استفاده قرار می‌گیرد، میله های صاف ومیله های عاج دار. درمورد میله های صاف، دندانه‌پیچ را به‌صورت سردفقط در دو انتهای میله ایجاد می‌نمایند، در صورتی که در روی میله‌های

عـاج دار ، برجستگی هائی در دو طرف میله ودر تمام طول آن نوردکرده‌اند ، که ایـن برجستگی ها کار دندانه های پیچ را می‌نماید . نیرو توسط یک مهره که روی دندانه های انتهای میله‌بسته می‌شود به‌صفحه‌انتهائی حمال منتقل می‌گردد . شکل (۳ ــ ۳) گیره های نمونه ای از نوع زنگوله ای (Bell type) و نوع باصفحه صلب را نشان می‌دهد .

میله های صاف به‌قطر های ۱۲/۲ ، ۳۲،۲۶ و ۳۶ میلیمتر تولید می‌شود . این میله‌هاراهمیشه به صورت تکی می‌کشند . میله های عاج دار به قطر های ۱۵ ،۱۶، ۲۶/۵۰، ۳۲ و ۳۶ میلیمترساخته‌می‌شود ،وبا وجودی‌که‌معمولا "این‌میله‌ها رابه‌صورت تکی می‌کشند. میله های ۱۶ میلیمتری را می‌توان به‌صورت گروههای ۳ تا ۹تائی نیز کشید .

از نظر نوع فولاد دو نوع میله دیویداگ تولید می‌شود : **میله** های با آلیاژ زیاد (high alloy)و میله‌های با آلیاژکم (low alloy)نیروی پیش تنیدگی برای میله هائی‌که‌به‌صورت‌تکی کشیده می‌شود بین ۱۳ تا ۹۶ تن و برای **میله** هائی که به‌صورت گروهی کشیده می‌شود بین ۶۳ تا ۲۰۲ تن می‌باشد . برای بوجود آوردن کابلی با طول دلخواه (یا به هر طولی که لازم باشد) در پای کار ، می‌توان **میله های** جداگانه را توسط مهره های اتصال دهنده (مهره اتصال دهنده یک استوانه **فولادی توخالی** است که سطح قسمت داخلی آن را به‌صورت پیچ در آورده‌اند . با پیچ کردن این استوانه روی‌انتهای‌دو میله مجزا می‌توان آنها را به هم متصل نمود) ، به هم متصل نمود . دو نوع مهره اتصال دهنده وجود دارد ، مهره اتصال دهنده برای میله‌های صاف و مهره اتصال دهنده برای میله های عاج دار .

برای پیش تنیده‌کردن‌میله های دیویداگ به‌این ترتیب عمل می‌کنند که‌در حین عملیات کشش ، درحالی که میله دیویداگ توسط جک کشیده شده (ونهایتا " طول آن زیاد گردیده) ،پیچ گیره رامرتبا "سفت می‌نمایندتا کاملا " به صفحه حمال بچسبد ،بعداز اینکه میله به اندازه کافی کشیده شد و نیروی لازم در آن ایجاد گردید برای آخرین بار پیـچ راسفت نموده (تاکاملا " به‌صفحه حمال تکیه کند) در این‌حال جک را آزاد می‌نمایند . در این وضعیت‌میله کشیده‌شده به علت‌تکیه پیچ به صفحه نمی‌تواندبه‌حال‌اول‌خود برگردد و نیروی پیش تنیدگی به‌طور دائمی در میله باقی خواهد ماند .

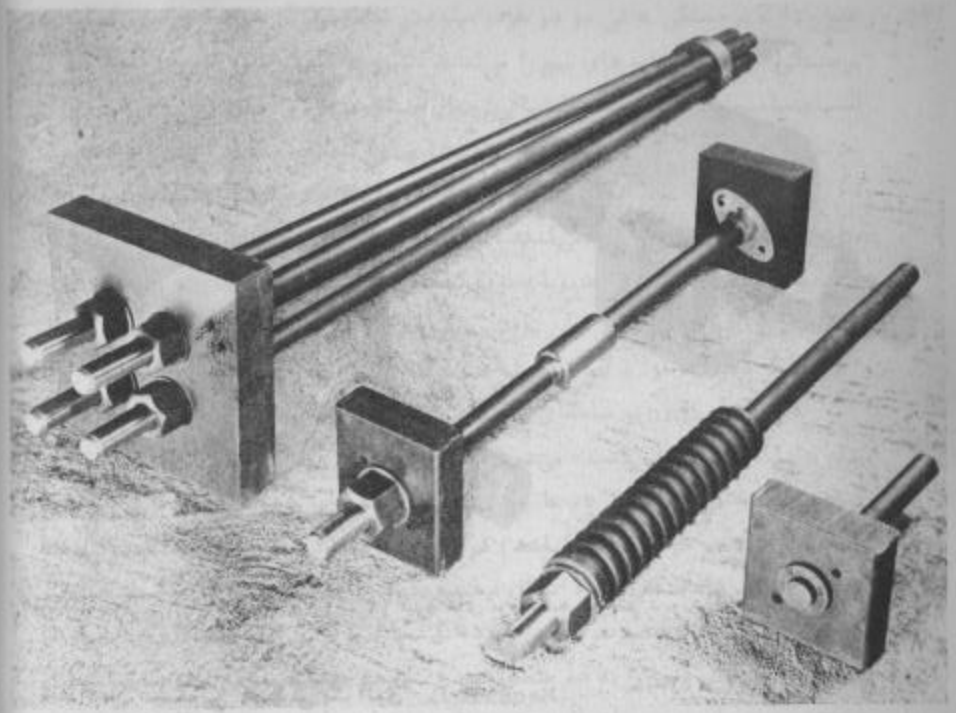


شکل (۳ ــ ۳) گیره های مربوط به سیستم دیویداگ

۶ ــ ۳ ــ سیستم‌بی کشیدگی مک الوی (Macalloy)

در این سیستم از میله های فولادی صاف که درروی دو انتهای آن پیچ هائـی ایجاد کرده اند به عنوان کابل استفاده می‌شود . سیستم مک الوی از نظر نحوه گیردادن کابل حـزو سیستم های پیچ و مهره‌ای وار نظر وضعیت کابل جز و سیستم های متشکل از میله های آلیاژدار می‌باشد . نیرو توسط یک مهره به یک واشرفولادی که خود به صفحـه حمال تکیه دارد به‌بتن منتقل می‌شود .شکل (۴ ــ ۳) ، وبااینکه به وسیله استوانه جدنی دندانه دار ، وبا توسط یک گیره کور (گیره کورگیره‌ای است که میله را محکم گرفته و اجازه حرکت به آن نمی‌دهد ، ومعمولا " موقعی استفاده می‌شود که بخواهند میله را فقط از یک طرف بکشند ، واضح است که از طرف گیره کورمیله را نمی‌توان کشید) کـه به صفحه حمال تکیه دارد به آن انتقال پیدا می‌کند .

میله های مک الوی به قطرهای ۲۰، ۲۵، ۳۲، و ۴۰ میلیمتر موجود می‌باشد که این میله ها را همیشه به‌صورت تکی می‌کشند . ولی می‌توان آنها را به صورت کابلهائی متشکل‌از ۲،۳،۴ ،و یا ۴ میله‌تنظیم نمود . نیروی‌پیش تنیدگی که می‌توان توسط کابلهای مک الوی وارد کرد بین ۲۳ تا ۳۵۰ تن می‌باشد .



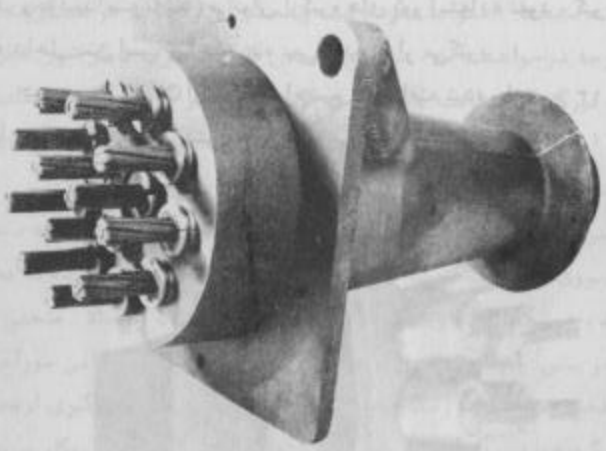
شکل (۴ – ۳) گیره های مک الوی برای کابلهای یک میله و چهار میله

در تمام سیستم های پیچ و مهره ای، نیرو را می‌توان در مراحل مختلف زمانی و به اندازه دلخواه که از نظر ساخت و طراحی مناسب باشد وارد کرد، همچنین می‌توان جبران اتلاف‌تنش ها را در هر زمان، تا موقعی که هنوز تزریق انجام نشده نمود (بعدار تزریق این کار امکان پذیر نمی‌باشد). گیره ها کاملا" موثر بوده و هیچ نوع اتلاف تنش پیش تنیدگی در موقع انتقال نیرو از جک به مهره وجودندارد.

۷ – ۳ – سیستم پس کشیدگی CCL:

CCL سه سیستم اصلی دارد، که در تمام آنها از سیم های بافته شده استفاده می‌شود. برای گیر دادن سیم های بافته شده به گیره، سیستم گوه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. گوه معمولا" از دو یا سه قطعه تشکیل می‌شود که توسط یک فنر که روی شیار بالای

این قطعات قرارمی‌گیرد به‌هم متصل می‌گردد.شکل (۲۷ – ۳). در روی سطح داخلی گوه شیارهائی وجود دارد که با کابل در تماس می‌باشد. این شیارها باعث افزایش اصطکاک بین کابل وگوه می‌شود. بعداز اینکه کابل را از داخل سوراخ های موجود در روی گیره رد کردند، آن را از داخل گوه عبور داده و سپس گوه را با ضربه ملایم چکش به داخل سوراخ گیره هدایت می‌کنند شکل (۵ – ۳). بعداز اینکه این کار در مورد تمام سیم های بافته شده انجام شد می‌توان کابل را کشید. لازم به تذکر است که‌به علت شکل مخروطی سوراخ های روی گیره، گوه ها رامی‌توان‌به راحتی از سوراخ گیره بیرون آورد ولی نمی‌توان آنها رابه‌طور کامل‌به داخل سوراخ راند شکل (۲۷ – ۳). با توجه به این موضوع کابل‌ها رامی‌توان‌به راحتی‌توسط جک های مخصوص‌کشید و بعدازآزاد کردن جک، به خاطر نیروئی که در کابل ها وجود دارد گوه کمی به داخل سوراخ روی گیره رانده می‌شود و بعد به‌طور کامل گیر می‌کند.



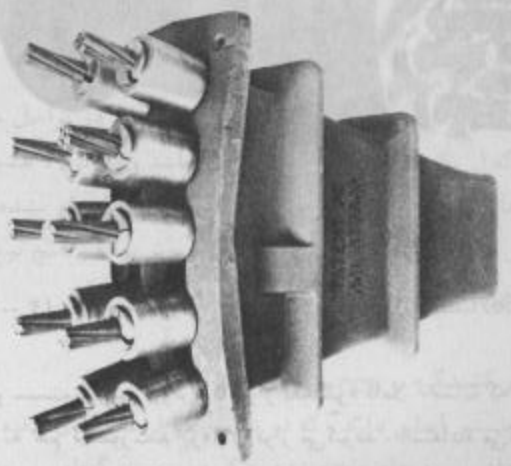
شکل (۵ – ۳) یک نمونه ازگیره مالتی فورس/کابکو (Multiforce/Cabco)

در هر دو سیستم مالتی فورس وکابکوار یک گیره کاملا" مشابه که در آن سیم‌های بافته شده نسبت به هم به‌صورت دایره ای قرار می‌گیرند، استفاده می‌گردد، لیکن در سیستم کابکو هرکدام از سیم های بافته شده به‌طور مجزا کشیده می‌شود، در حالی که در سیستم مالتی فورس تمام سیم های بافته شده به‌طور همزمان با هم کشیده می‌شود. شکل

(۵ – ۳) ، یک گیره کامل را نشان می‌دهد که تشکیل شده است از ، گوه های مجرا (به‌تعداد کابلها و سوراخهای گیره) برای گرفتن هر یک ازسیم های بافته شده ، صفحه حمال برای انتقال نیروازسیم‌های بافته شده به واحد شیپوری (ثیوب) و واحد شیپوری برای انتقال نیرو به داخل بتن (باید توجه کرد که دراین سیستم واحد شیپوری کاملا" داخل بتن قرار می‌گیرد وباید قبل ازبتن ریزی در داخل قالب کارگذارده شده باشد) . هر یک از گوه های دوتکه‌ای ،داخل سوراخ های مخروطی روی‌صفحه حمال‌قرار می‌گیرد ، درگیره های جدید CCL سعی براین شده که تا حدممکن سیم های بافته‌شده در فاصله کمتری نسبت به مرکز صفحه قرار گیرد ،تابه این ترتیب قطر صفحه‌کم شده و گیره جمع وجورتر شود وحجم کمتری را اشغال نماید .

در مواقعی که کابل باید فقط از یک طرف کشیده شود وطرف دیگر کابل کاملا" داخل بتن قرار گرفته است ، یا درحالتی که در زمان کشیدن کابل امکان دسترسی به یک گیره نباشد (مثل موقعی که به علت کمبود فضا در یک سرکابل امکان سوار کردن جک در آن طرف وجودنداشته باشد)می‌توان ازگیره های کور استفاده نمود . گیره کور در آن‌طرف کابل که داخل بتن است وباجک زده نمی‌شود ، قرار می‌گیرد .

در سیستم CCL از تمام انواع‌سیم های‌بافته شده ، از نوع ۱۳ میلیمتری‌معمولی گرفته تا نوع ۱۸ میلیمتری فشرده استفاده می‌شود .



شکل (۶ – ۳) گیره CCL از نوع استرندفورس (Strand force)

حدود نیروهائی که‌می‌توان توسط گیره های‌این سیستم واردنمود بین ۵۰ تا ۵۷۵ تن می‌باشد ،و برای ساختمانهای‌بسیار بزرگ مثل راکتورهای اتمی ، گیره‌ای وجوددارد که می‌تواند نیروئی برابر با ۸۵۰ تن را وارد نماید .

در سیستم استرندفورس CCL شکل (۶ – ۳) سیم های‌بافته شده‌به صورت‌خطی دریک‌ستون یادوستون ۵تائی‌قرارمی‌گیرندوهرسیم بافته شده به‌طور مجزا کشیده می‌شود . بنابراین هرگیره جابرای‌پنج یا ده تا سیم بافته شده دارد ، سیم های بافته شده را بعدار رد کردن از داخل شکاف روی گیره ، با استفاده از استوانه هائی که گوه در داخل آن‌قرار می‌گیرد مستقیما "به‌گیره ، گیرمی‌دهند.شکل (۶ – ۳) . در مورد گیره های کور برای‌اتصال کابل‌به گیره از استوانه های فشرده شونده (در این حالت برای گیردادن استوانه به‌کابل ازگوه استفاده‌نمی‌شود بلکه بعدار عبوردادن کابل از داخل استوانه فشرده‌شونده استوانه را از دستگاه مخصوص منگنه که خود یک نوع حدیده است رد می‌کنند . در اثرفشار وارده از طرف دستگاه به استوانه قطر آن کم و طولش زیاد می‌شود چون کابل قبلا" از داخل استوانه رد شده نتیجتا" استوانه فشرده شده و محکم آن را در برخواهد گرفت و این دو به‌صورت یکپارچه درخواهند آمد ، درموقع کشیدن کابل از طرف دیگر چون قطر مجموعه کابل واستوانه بزرگتر از ضخامت شکاف است کابل به‌گیره‌گیرخواهدکرد واز شکاف بیرون نخواهد آمد) استفاده می‌شود . شکل (۶ – ۳) یک گیره نمونه استرندفورس باده سیم بافته شده را نشان می‌دهد .

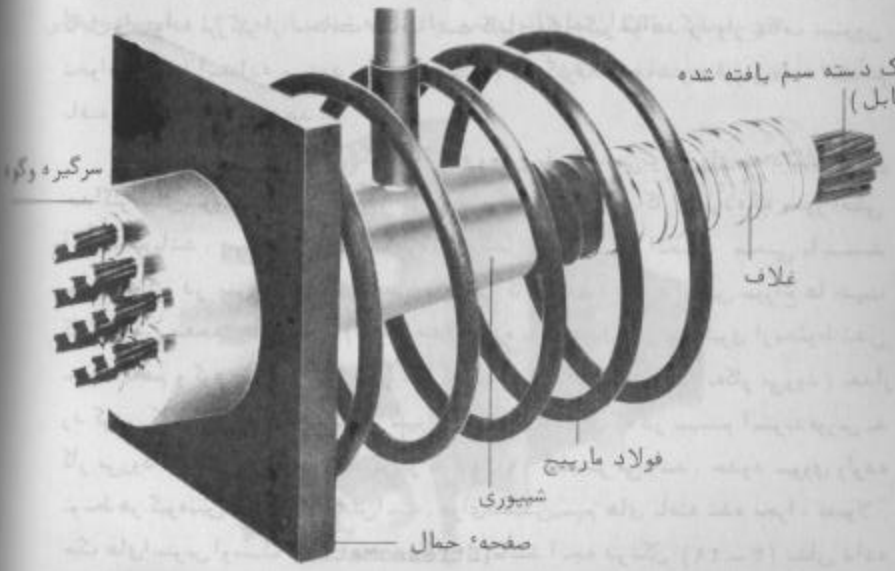
در تیرهای‌جعبه‌ای با تکیه‌گاه ساده وجان باریک ، می‌توان برای به دست آوردن حداکثر ممکن‌نیروی پیش‌تنیدگی در عرض‌کم ، کابلها را طوری کار گذارده که محور اصلی آنها قائم‌باشد . در ساختمانهای یکسره ، در محل تغییر جهت انحناء منحنی باید سوراخ هائی در بتن جهت دسترسی به محل کابل تعبیه شود . از این سوراخ ها جهت کارگذاردن صفحه‌ٔ جداکننده (صفحه جدا کننده برای هدایت و جلوگیری ازمخلوط شدن سیم‌هاباهم و گره خوردن آنها ، در محل تغییر جهت انحناء منحنی به‌کار می‌رود) بعدار رد کردن کابل ، استفاده می‌شود . سیم های بافته شده ای که در سیستم استرندفورس به کار می‌رود معمولا "دارای‌قطرهائی‌برابر با ۱۸ یا ۱۹ میلیمتر می‌باشد . حدود نیروی وارده توسط هر گیره‌بین ۱۳۰ تا ۳۲۰ تن‌است . برای‌کشیدن سیم های بافته شده مجرا ، معمولا" جک های‌استرس اومتیک (Stressomatic)مانند آنچه درشکل (۲۹ – ۳) نشان داده شده ، مورداستفاده‌قرار می‌گیرد لیکن‌برای کشیدن چند سیم‌بافته شده با هم ، ازجک‌های بسیار بزرگتری به نام مالتی ماتیک (Multi matic) استفاده می‌شود . برای

کارگذاردن وحمل ونقل این جک ها احتیاج به وسائل مکانیکی می‌باشد.

تمام جک‌ها، حتی جک های بزرگتر مجهز به سلولهای بار (Load - cell) بسیار دقیقی برای اندازه گیری مستقیم بارواردہ به کابل می‌باشند (سلول بار دستگاهی است که بابرق‌وبا باطری کار می‌کند و موقعی که تحت اثر بار قرار گیرد، مقاومت‌الکتریکی آن بسته به‌شدت بار تغییر می‌نماید. بنابراین با اندازه‌گیری مقاومت دستگاه می‌توان مقدار با وارده را با دقت تعیین نمود).

۸ – ۳ – سیستم پس کشیدگی لوزینگر Losinger یا VSL:

گیره های VSL از نوع‌گوه‌ای است، که در آن سیم های بافته شده نسبت به‌هم به صورت دایره‌ای قرار می‌گیرد، تمام سیم‌های بافته شده با هم وبه‌طور همزمان کشیده می‌شود و توسط گوه‌هائی که داخل سوراخهای مخروطی روی سرگیره قرار می‌گیرد، بار را به صفحه‌ٔ حمال فولادی واز آنجا به بتن منتقل می‌نماید. شکل (۷ – ۳) یک گیره نمونه را نشان می‌دهد.



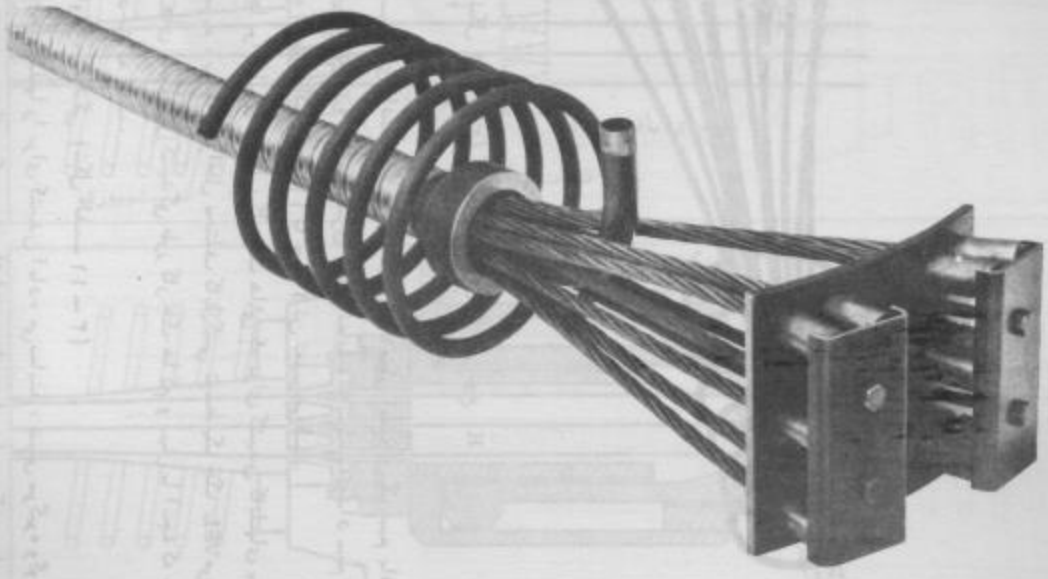
شکل (۷ – ۳) گیره نوع VSL

قسمت کشنده (Pulling head) جک VSL در انتهائی از جک که دورتر از گیره می‌باشد قرار دارد شکل (۱۱ – ۳). بعدار اینکه نیروی لازم به کابل وارد شد، جک را آزاد می‌نمایند (یعنی فشارمایع هیدرولیک‌داخل جک را کاهش داده و به‌صفر می‌رسانند، درنتیجه‌دیگرنیروئی ازطرف جک به کابل وارد نخواهد شد وکابل از جک جدا می‌شود)، دراین‌حال سیم‌های بافته شده گوه ها را به داخل‌سوراخهای مخروطی رانده وخود به‌گیره گیر می‌کند. سه نوع گیره کور VSL وجود دارد، در نوع اول (شکل ۸ – ۳) سیم های بافته شده به‌صورت یک‌حلقه‌دوریک‌صفحه منحنی چرخیده ودو مرتبه به انتهای دیگر که عملیات کشش از آن طرف انجام می‌شود (به طرف گیره زنده) برمی‌گردد.

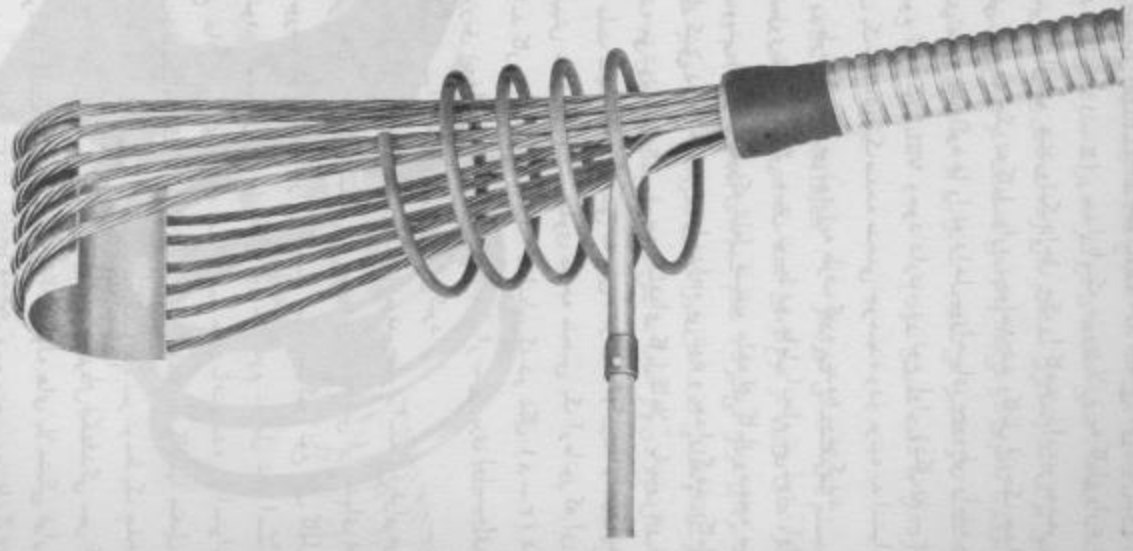
انتقال نیروی‌پیش تنیدگی‌به‌بتن توسط دو عامل انجام می‌شود: اول چسبندگی بین کابل حلقه‌ای وبتن (کل گیره کورکه شامل قسمت حلقه ای کابل وصفحه منحنی است قبل‌از عملیات‌کابل کشی در داخل بتن قرار داده می‌شود و بعدار گرفتن کامل بتن، کابل از طرف دیگرکشیده می‌شود. بنابراین قسمت حلقه‌ای کابل‌کاملا" با بتن در تماس‌است).

دوم به علت تکیه صفحه منحنی به بتن، برای جلوگیری از خرد شدن بتن (به‌علت نیروی پیش تنیدگی)، در جلوی صفحه منحنی یک آرماتور که آن را به صورت مارپیچ درآورده اند کار می‌گذارند. ضمنا" همانطور که در شکل (۸ – ۳) دیده می‌شود، جهت عملیات تزریق دوغاب به داخل غلاف، قبل از بتن ریزی لوله‌ای‌در داخل غلاف کار می‌گذارند که سرآن خارج بتن قرار می‌گیرد.

نوع دوم گیره‌کور VSL (شکل ۹ – ۳) موقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که انتقال متمرکز وسریع نیروی پیش تنیدگی به بتن در فاصله کمی از انتهای قطعه (انتهای طرف گیره کور) مورد نظر باشد. دراین حالت نیز مثل‌گیره نوع اول کابل فقط از یک طرف کشیده می‌شود (طرف‌گیره‌زنده). گیره کور نوع دوم تشکیل شده است از یک‌صفحه منحنی با سوراخ هائی در روی آن به تعداد سیم های بافته شده، و استوانه های فشرده شونده ای که توسط دستگاه مشکنه (که قبلا" شرح آن رفت) به کابلها متصل شده و آنهارا به صفحه‌منحنی گیر می‌دهد. استوانه های فشرده شونده نیز توسط یک صفحه نگاه دارنده سرجای خود محکم نگاه داشته می‌شود. برای از بین بردن‌چسبندگی بین کابل وبتن در انتهای طرف گیره کور، سیم های بافته شده را در لوله های پلاستیکی قرار می‌دهند تا با بتن در تماس نبوده و ضمنا" تمام نیروی کابل به صفحه منحنی منتقل گردد (تا نقطه اثر نیروهر چه ممکن است به انتهای نیز نزدیک تر شود).

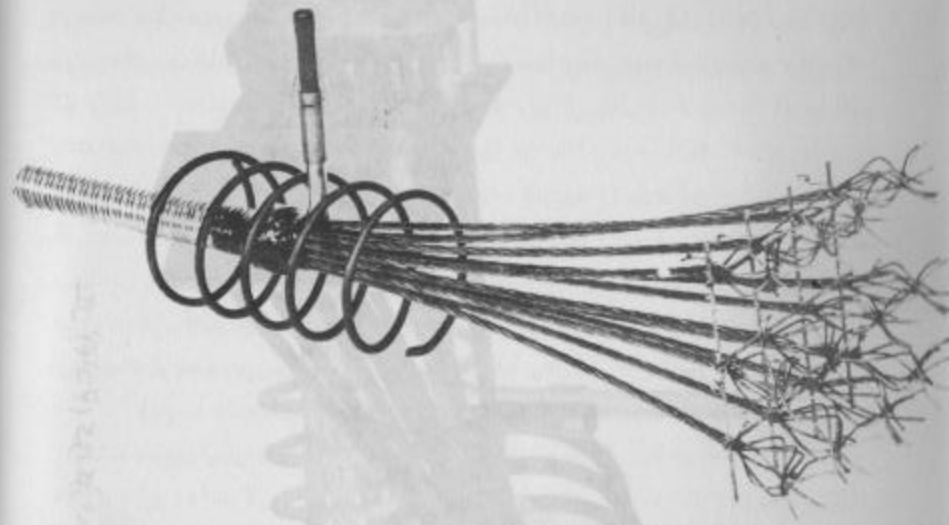


شکل (۹ – ۳) گیره کور VSL از نوع P



شکل (۹ – ۴) گیره کور VSL-U

در نوع سوم گیره کور، نیروتوسط ترکیبی از چسبندگی و فشار تماسی (bearing) به بتن منتقل می‌گردد. شکل (۱۰ ـ ۳) دراین حالت کل‌گیره به‌طور کامل در داخل بتن قرار می‌گیرد.



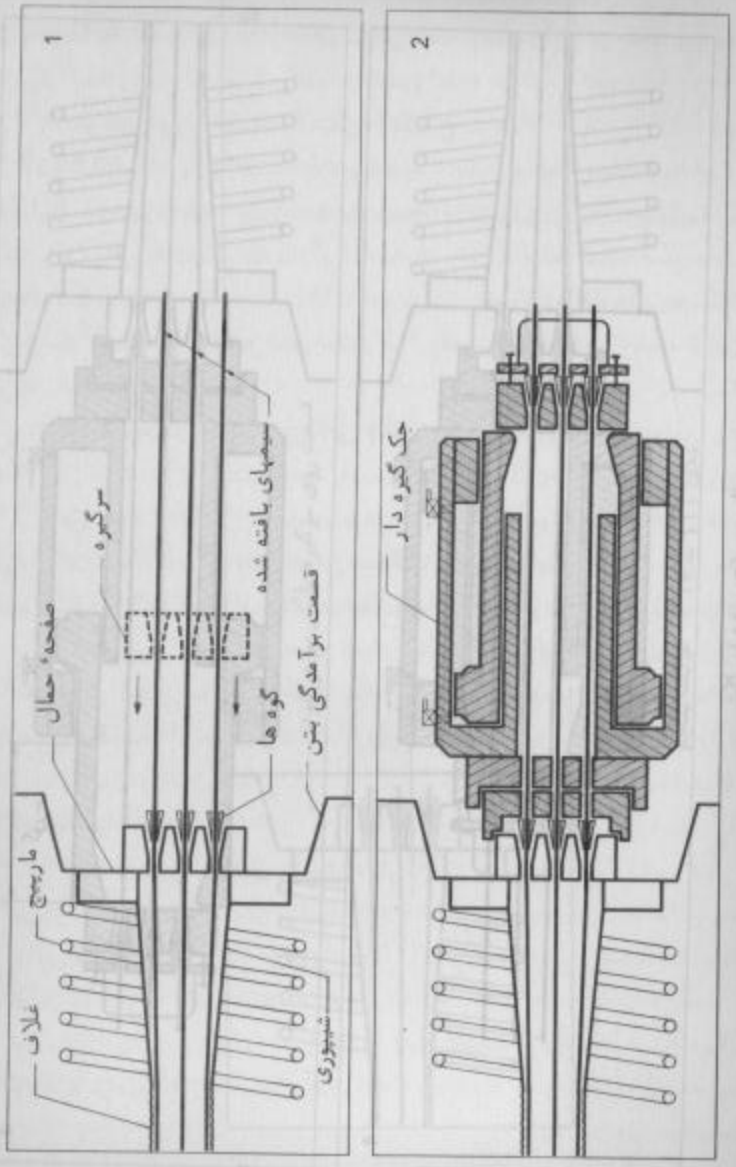
شکل (۱۰ ـ ۳) گیره کور VSL از نوع H

تعداد سیم های بافته شده در یک گیره VSL ممکن است از یک سیم بافته شده ۱۳ میلیمتری تا ۵۵ سیم بافته شده ۱۵ میلیمتری تغییر نماید، که بسته به‌تعداد سیم های‌بافته شده نیروی وارده از طرف گیره بین ۱۱ تا ۱۱۵۰ تن تغییر می‌کند.

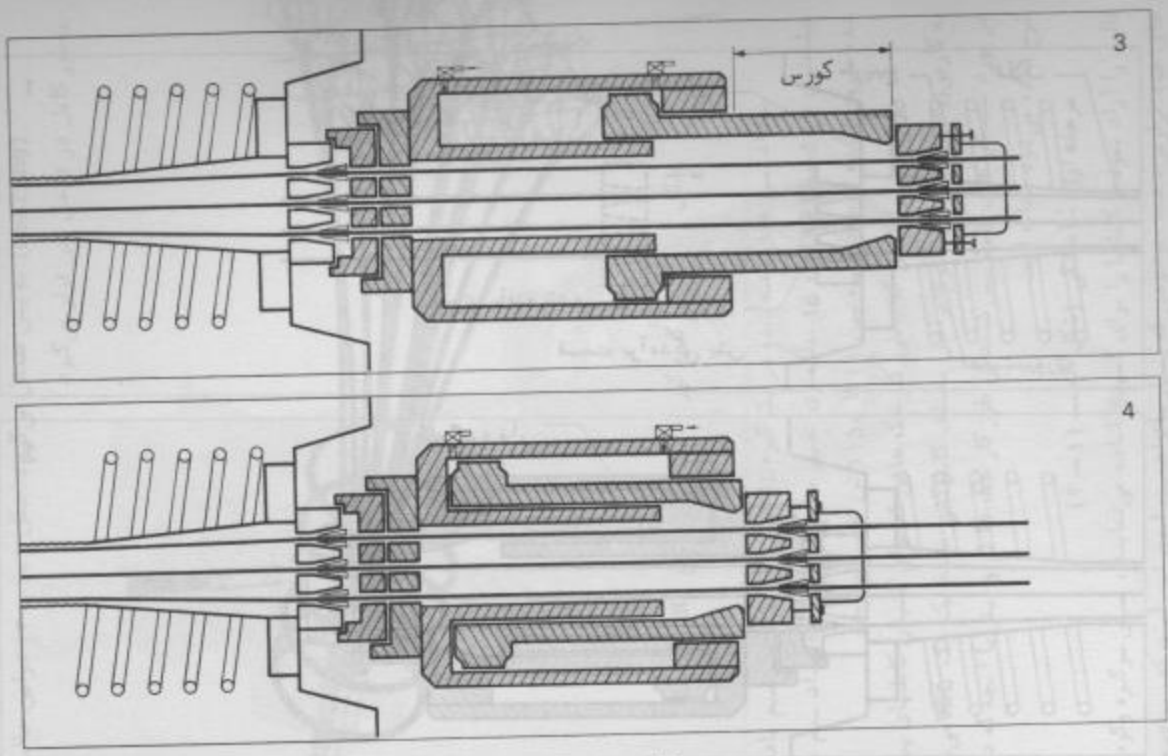
در اینجا برای این که به‌طرز کار جک هائی که برای کشیدن کابلهای پیش تنیده به کارمی‌رود بی‌ببریم، به شرح مراحل مختلف کابل‌کشی توسط یک جک VSL می‌پردازیم. در مورد سیستم های دیگر پس‌کشیدگی طرز کار جک ها کم و بیش با آنچه که در اینجا شرح داده می‌شود مشابه است.

مرحله اول: آمادگی (شکل الف ـ ۱۱ ـ ۳)

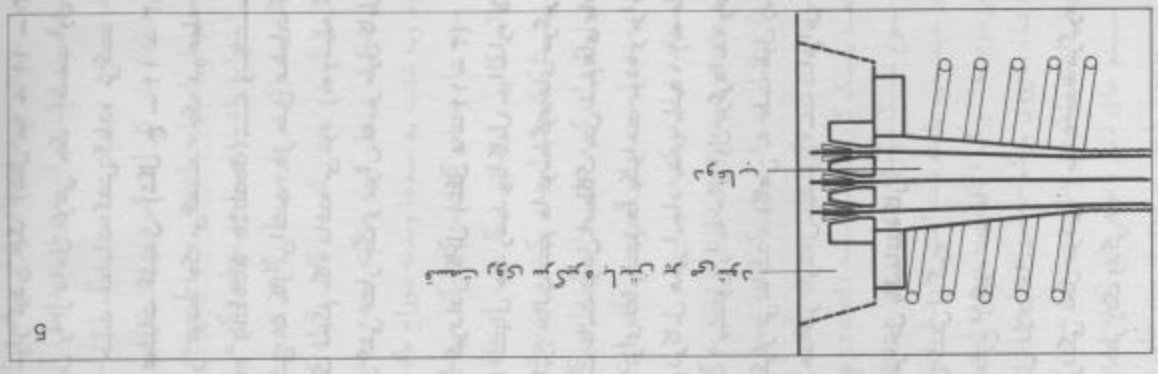
قالب را آزاد نموده‌و کابلها را برای کشیدن آماده می‌نمایند، سپس سرگیره وگوه ها را در جای خود قرارمی‌دهند. موضوعی که بسیارحائزاهمیت است این است که، برای جلوگیری از تماس شیرهٔ بتن‌باگیره، باید، کارگذاردن سرگیره وگوه ها بعداز بتن ریزی انجام شود.



شکل (۱۱ ـ ۳) حالت اول و دوم



شکل (۱۱ – ۳) حالت سوم و چهارم



شکل (۱۱ – ۴) حالت پنجم

مرحله دوم : سوار کردن جک (شکل ب – ۱۱ – ۳)

سیم‌های بافته شده کابل را از داخل کرسی جک (**قسمت اول سرجک**) ، جک وسرکشنده آن رد کرده و جک را جهت عملیات کشش آماده می‌کنند.

مرحله سوم : عملیات کشیدن (شکل ج – ۱۱ – ۳)

در این مرحله کابلها را توسط جک می‌کشند. جک دو عمله با سوراخ وسط (double acting centerhole jack) به وسیله یک پمپ هیدرولیک برقی یا بنزینی ،به کار می‌افتد. در حین عملیات کشش، سیم های بافته شده توسط سرکشنده جک محکم نگاه داشته می‌شود (به وسیله **گوه های** روی سرکشنده) . در مراحل مختلف کابل کشی فشار جک و میزان تغییر طول کابل **را** اندازه گیری و ثبت می‌نمایند.

مرحله چهارم : گیردادن کابل (شکل د – ۱۱ – ۳)

بعداز این که پیستون به انتهای جک رسید ویا کابل به اندازه لازم تغییر طول داد ،جک را آزاد می‌نمایند ودر این حالت سیم ها توسط **گوه های سرگیره به‌طور** یکنواخت به‌گیره گیرداده می‌شود. به علت ثابت بودن اصطکاک بین سیم‌های **بافته** شده و گوه ها ، مقدار لغزش سیم در داخل‌گوه برای تمام سیم ها یکنواخت بوده و **برابر با** ۶ میلیمتر می‌باشد.

اگر نیروی لازم درکابل هنوز ایجاد نشده باشد ، (**به علت** تغییر طول زیادکابل و تمام شدن کورس جک) پیستون را به حال اول برگردانده **وعملیات** شرح داده شده را به تعداد دفعات لازم تکرار می‌نمایند. (گاهی به علت طول **زیاد کابل**، مقدارازدیاد طول خیلی بزرگترازطول‌حداکثر بازشدن پیستون است بنابراین **در** این حالت باید کابل را در چند مرحله کشید) .

مرحله پنجم : مراحل باقیمانده کار:

– دور کردن دستگاههای کشش از گیره

– بریدن قسمت اضافی خارج از گیره سیم‌ها.

– تزریق دوغاب به داخل غلاف ها.

– بتن ریزی قسمت فرورفتگی محل سرگیره (جهت حفظ سرگیره، گوه ها و سرسیم ها از خطر زنگ زدگی) .

۹ – ۳ – سیستم پس کشیدگی PSC یا فریسینه (Freyssinet):

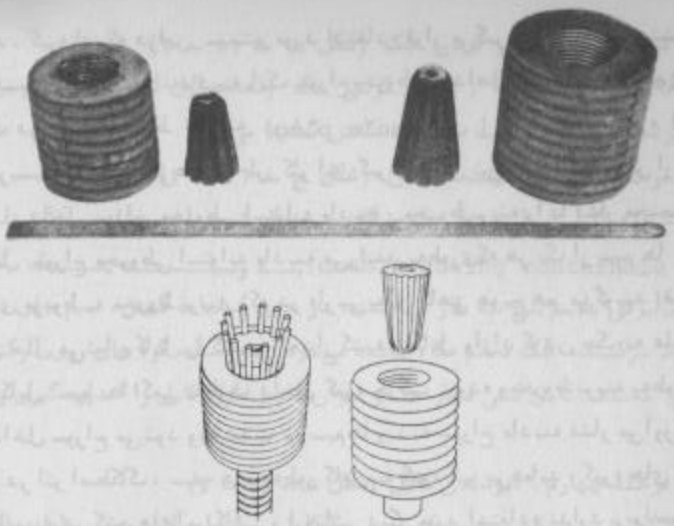
سیستم اولیه‌فریسینه ، یکی از اولین سیستم های پس‌کشیدگی با بیجهای موازی

می‌باشد . گیره ای که دراین سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد از دو قسمت تشکیل شده است ، قسمت‌اول‌یک‌استوانه‌مادینه‌بایک سوراخ‌مخروطی‌درداخل آن (female cone) و قسمت دوم یک مخروط نرینه (male plug).شکل (۱۲ – ۳) یک گیره اولیه نوع بتنی فریسینه را نشان می‌دهد. طرز کار این گیره به این ترتیب است که پس از ردکردن سیم‌ها از داخل سوراخ مخروطی استوانه مادینه ، مخروط نرینه را با فشار مختصر چکش به داخل سوراخ مخروطی استوانه مادینه می‌رانند به‌طوری‌که هر یک از سیم ها در داخل شیارهای مربوط به مخروط نرینه (که در فارسی‌به‌آن گاهی هویچ هم می‌گویند) قرار گیرد ، در این حال می‌توان کابل را کشید ، بعداز کشیدن کابل وآزاد کردن جک به علت نیروی داخل کابل سیم ها کمی به‌طرف داخل گیره حرکت نموده ومخروط نرینه به‌طور تقریبا" کامل داخل سوراخ می‌شود وبه شدت به سیم‌ها وبدنه سوراخ مادینه فشار می‌آورد . به‌این ترتیب در اثر اصطکاک ، سیم ها ، به‌طور کامل به گیره گیر می‌نماید . گیره های بتنی ذکر شده ، امروزه در کشورهای‌آمریکائی و اروپائی دیگر مورد استفاده ندارد ،زیرانیروئی‌که هر گیره می‌تواند وارد کند نسبتا" کوچک است . یک‌نوع جدیدترگیره فریسینه که جدنی است و در آن از همان اصول گوه ای گیره قبلی برای گیردادن کابل استفاده می‌شود ، در شکل (۱۳ – ۳) نشان داده‌شده است . دراین‌گیره‌سیم های بافته شده ۷تائی ویا ۱۹تائی به جای سیم‌ساده مورد استفاده قرار می‌گیرد .

انواع دیگر گیره های فریسینه وجود دارد که شبیه به گیره های CCL و یا VSL می‌باشد . این نوع گیره ها تشکیل شده است از یک قطعه شیوری آهنی که در داخل بتن قرار می‌گیرد ، یک سرگیره فولادی ، وگوه های سه قطعه ای برای گیردادن کابل. شکل (۱۴ – ۳) گیره نوع سیمه یک گروهه (Monogroup/Multistrand) و شکل (۱۵ – ۳) گیره نوع تک سیمه (Mono strand) را نشان می‌دهد . گیره نوع اخیر با اینکه دارای چند سیم بافته شده است ، از نظر اینکه هر کدام از سیم ها به‌طور جداگانه کشیده می‌شود به نام گیره تک سیمه معروف است .

سیم های‌بافته شده ،درروی سرگیره‌به‌صورت دایره ای قرارمی‌گیرند و سوراخ‌های روی سرگیره‌به‌تنها مخروطی است بلکه هر کدام نسبت به هم دارای زاویه خاصی می‌باشد (به همین‌علت‌برخلاف سیستم های دیگر ، سیم های بافته شده بعداز خروج از گیره باهم موازی نخواهند بود) ، این موضوع باعث می‌شود که سیم های بافته شده پیچ نخورد .

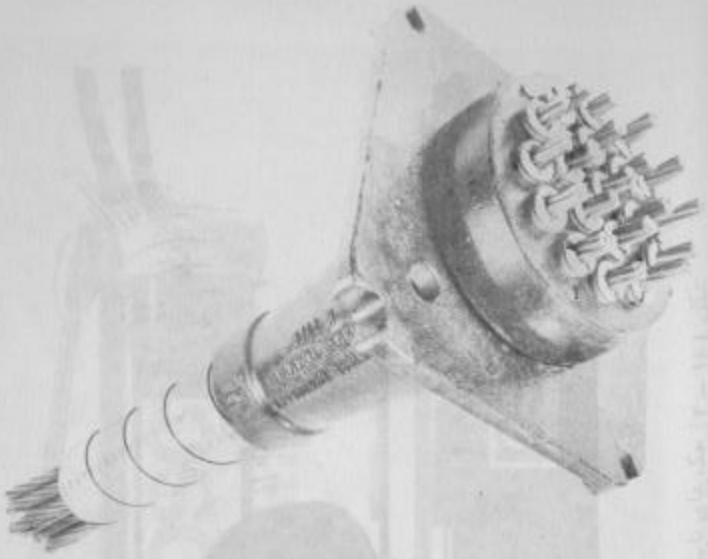
در مواقعی که امکان دسترسی به گیره وجود ندارد ، می‌توان از یکی از دو نوع گیره کورفریسینه‌استفاده نمود . در نوع اول کابل به‌صورت حلقه ای دوریک صفحه منحنی



شکل (۱۲ – ۳) گیره های بشتی فرسینه

جوحیده و به گیره‌زنده نرمی‌گردد (شبیه گیره کور نوع U ، VSL) در نوع دوم از استوانه‌های فشرده شونده که روی سیم های بافته شده منگنه می‌شود برای گیردادن کابل به صفحه گیره کور استفاده می‌گردد (شبیه گیره کور نوع P ، VSL).

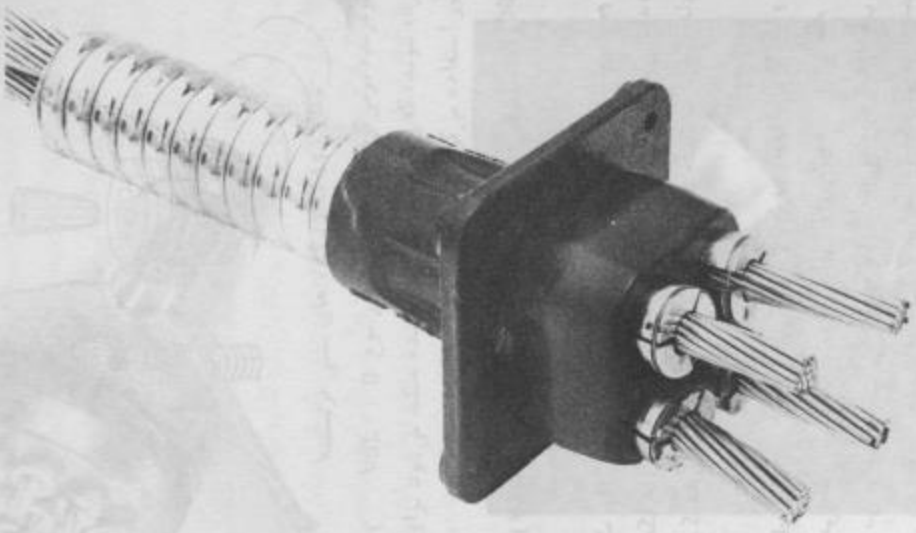
شکل (۱۳ – ۳) گیره جدنی فرسینه برای استفاده باکابل متشکل از ۱۲ سیم بافته شده ۱۳ میلیمتری ۷ نائی



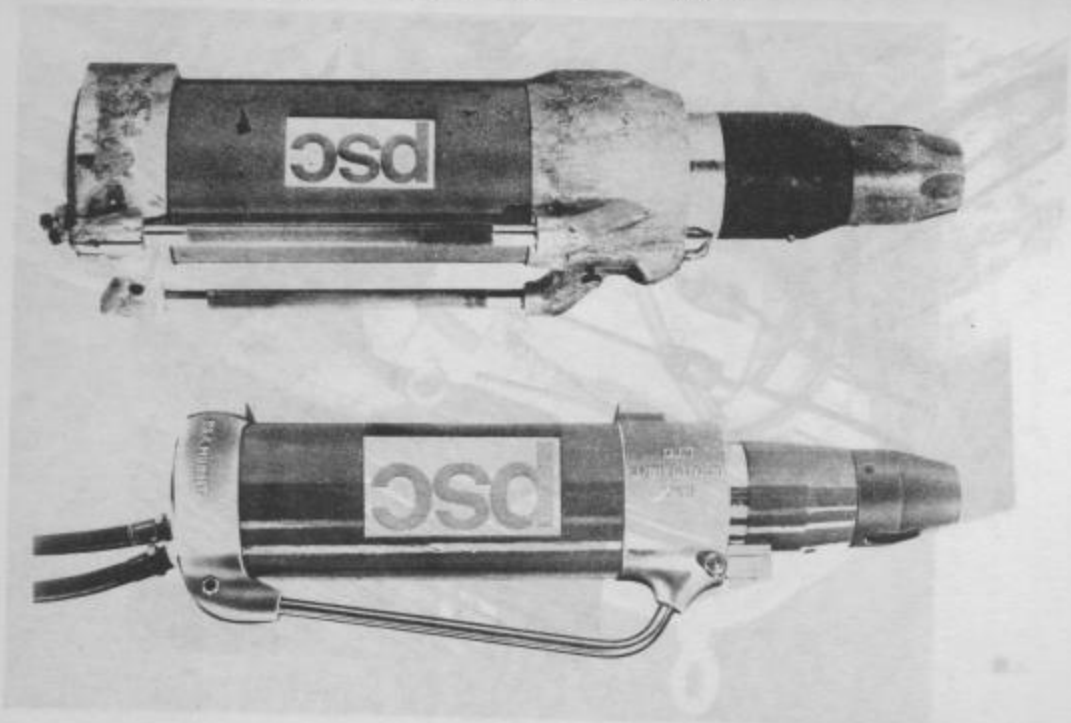
شکل (۱۴ – ۳) گیره نوع چند سیمه یک گروهه، فرسینه (PSC)

چندین نوع جک برای کشیدن کابلها موجود است. برای کشیدن سیم های بافته شده به‌طور تکی، ازجک های تایتان‌ماسد آنچه در شکل (۱۶ – ۳) نشان داده شده، استفاده می‌شود، وبرای کشیدن سیم های بافته شده به‌صورت چندتائی، جک های نوع " S " و " T " و " K " مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مدل‌های‌نوع Sو T در اصل برای وارد کردن نیروهای کوچک و متوسط می‌باشد، در قسمت خارجی دور این جک ها محل هائی برای گیر دادن ۱۲ سیم بافته شده تعبیه گردیده است، در موقع کشیدن، بقیه سیم های‌بافته شده که تعدادشان ممکن است متغیر باشد رااز داخل سوراخ‌وسط جکرد می‌نمایندو به‌انتهای جک گیر می‌دهند. شکل (۱۷–۳) یک جک مدل T را در حال کشیدن یک کابل نشان می‌دهد.

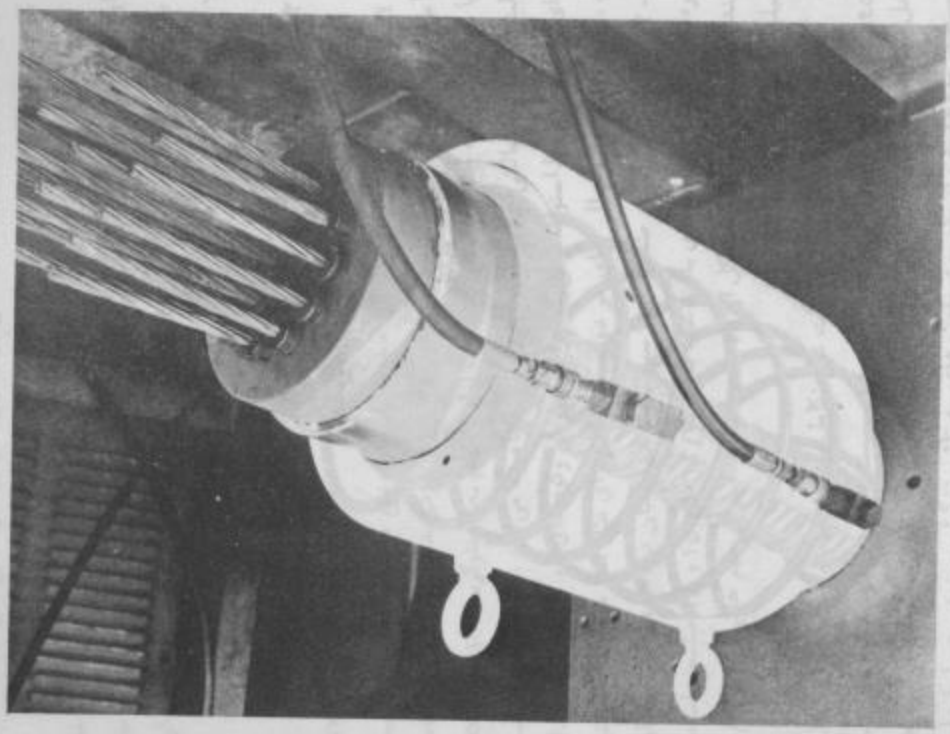


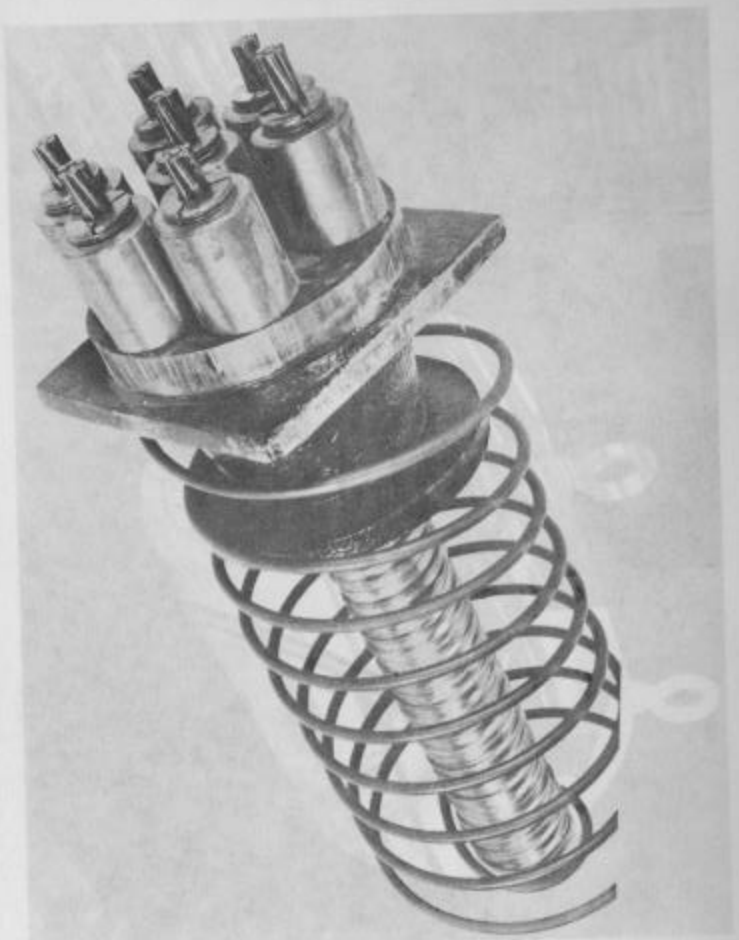
شکل (۱۵ – ۳) گیره نوع تک سیمه ، فوبسینه .



(PSC) ... (۱۵ – ۴) ...

شکل (۱۷ – ۳) جک نوع Tفرپسینه





شکل (۱۹ – ۳) گیره مرکب از ۷عددسیم بافته شده نوع SCD

در اوایل مدل K برای وارد کردن نیروهای بسیار بزرگ طرح و ساخته شده بود، لیکن امروزه جک های K در اندازه‌های‌مختلفی برای وارد کردن نیروهائی بین ۱۰۰ تا ۱۴۰۰ تن به کار می‌رود.

همانطورکه در شکل (۱۸ – ۳) نشان داده شده است، در یک جک‌مدلK تمام سیم‌های بافته شده ،ازداخل جکرد می‌شود، این سیم ها در موقع کشیدن، به‌طور موقت توسط یک صفحه گیره (که در انتهائی از جک که دور تراز گیره‌دائمی است، قراردارد) به جک گیرداده می‌شود.

۱۰ – ۳ – گیره پس‌کشیدگی نوع SCD:

Stressed Concrete دو نوع گیره اصلی در سیستم SCD (مخفف Design Limited)وجود دارد، نوع دایره‌ای ونوع مربع مستطیلی در سیستم نوع دایره‌ای ،سیم‌های‌بافته شده به‌صورت دایره ای قرار می‌گیرند وآنها را می‌توان‌به‌طور تکی ویا به‌صورت دسته جمعی کشید، درحالت اول سیستم به‌نام منوگریپ (Monogrip) ودرحالت‌دوم به نام مالتی گریپ (Multi grip)نامیده می‌شود. در هر دو حالت سیم های بافته‌شده‌توسط استوانه‌هائی‌با سوراخ مخروطی وگوه های سه تکه به گیره‌گیرداده می‌شود. صفحه توزیع وحمال برای هر دو سیستم دایره ای مثل هم می‌باشد. در شکل (۱۹ – ۳) یک نمونه از گیره، متشکل از ۷ سیم بافته شده نشان داده شده است، ازاین نوع گیره‌هابرای‌گیردادن سیم‌های بافته شده به‌قطر ۱۲/۷، ۱۵/۲ و ۱۸ میلیمتر استفاده می‌نمایند. همچنین گیره های متشکل از ۱۹ سیم‌بافته شده برای سیم هائی به‌قطر ۱۵/۲ و ۱۸ میلیمتر نیز موجود می‌باشد.

سیستم مربع مستطیلی در حقیقت نوع تکامل یافته، سیستم اولیه مگنل ــ بلتن (Magnel - Blaton) می‌باشد، که در این سیستم، سیم ها توسط گوه های تخت در داخل یک صفحه مطبق (Sandwich plate) نگاه داشته می‌شود. گیره های مربع مستطیلی‌نوع‌جدید، از یک سری بلوک های سه تائی تشکیل می‌شود. هربلوک‌دارای سه‌سوراخ مخروطی است که توسط گوه‌های استاندارد، سیم های بافته شده را به گیره، گیرمی‌دهد. سیم های بافته شده هر کدام به‌صورت تکی کشیده می‌شود. شکل (۲۰ – ۳) مجموعه‌ٔ یک گیره‌نمونه را نشان می‌دهد که در آن بلوک های گیره (صفحات فلزی مربع مستطیلی) به‌صورت افقی روی یکدیگر قرار می‌گیرند. چنانچه لازم باشد می‌توان کل

مجموعه بلوک هارا ۹۰ درجه چرخاند (به‌طوری که بلوک ها به‌صورت قائم قرار بگیرند) . در سیستم مربع مستطیلی می‌توان سوراخ محل کابلها را توسط هسته های لاستیکی قابل بیرون آوردن ویا غلاف های فلزی ایجاد نمود . هسته های لاستیکی قابل بیرون آوردن ، عبارتند از لاستیک‌هائی به شکل سوراخ محل کابل که در داخل بتن کارگذارده می‌شود و بعداز اینکه بتن خود را گرفت آنها را از داخل بتن بیرون می‌کشند ، در نتیجه این کار سوراخهائی در داخل بتن بوجود می‌آید که می‌توان کابلها را در داخل آن قرار داد . باگیره‌های مربع مستطیل می‌توان نیروئی بین ۱۲ تا ۴۰۰ تن را وارد نمود . برای وارد کردن نیروی ۱۲ تنی ، گیره های متشکل از یک سیم بافته شده ۱۳ میلیمتری وبرای وارد کردن نیروی ۴۰۰تنی گیره‌های‌متشکل از ۲۷ سیم‌بافته شده ۱۳ میلیمتری که در آن‌سیم‌ها به صورت مضربی از ۳ گروه بندی شده اند ، (مثل شکل (۲۰ – ۳) برای یک گیره متشکل از ۱۲ سیم بافته شده) به کار می‌رود .

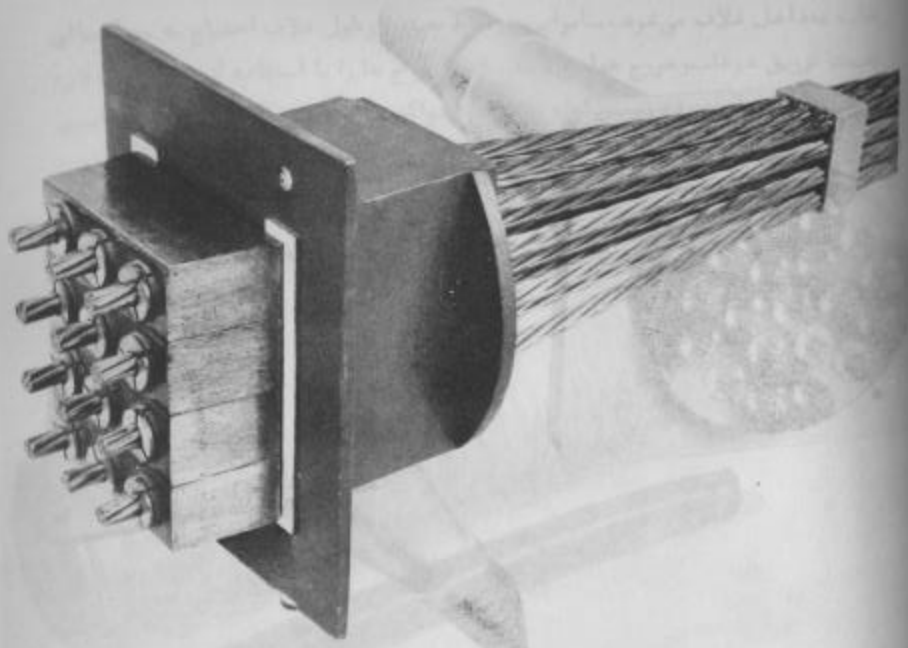
دراین سیستم اصولا" تعداد سیم های موجود در یک گیره معمولا" به صورت مضربی از ۳ می‌باشد . برای اینکه دو غلاف دور سیم های کابل را به‌خوبی بگیرد ، در فواصل مناسب ازیک شبکه فلزی جهت جلوگیری ازمخلوط شدن سیم ها و حفظ فاصله بین آنها استفاده می‌شود .

۱۱ – ۳ – سیستم پس‌کشیدگی استرانگ هولد (Stronghold) :

در این سیستم می‌توان از سیم ویا سیم بافته شده استفاده نمود .

سیم ها ویاسیم‌های‌بافته شده همگی با هم وبه‌طور همزمان کشیده می‌شود . گیره تشکیل شده است ازیک قطعه‌شیوری‌چدنی‌یا فولادی ، ویک سرگیره ، که دارای سوراخهای مخروطی وگوه های‌دوتکه ای برای گیردادن سیم و یا سیم بافته شده به گیره می‌باشد . در کابلهای متشکل از سیم‌ها ، در طرف گیره گوریعنی در طرفی که جک زده نمی‌شود ، برای احتراز از مصرف گوه ، سرسیم ها را به‌طورت دکمه در می‌آورند . در شکل (۲۱ – ۳) یک نمونه ازگیره زنده برای سیم ویک نمونه برای سیم های بافته شده نشان داده شده است .

جک استرانگ هولد تمام سیم‌ها ویا سیم های بافته شده را به‌طور همزمان محکم نگاه داشته و بعداز کشیدن آنها از داخل گوه های گیره وقبل از آزاد نمودن کابل ، گوه‌ها را به داخل سوراخهای مخروطی می‌راند (زیرا درموقع کشیدن کابل امکان دارد که گیره‌ها به سیمی که در حال کشیده شدن است چسبیده ویا آن از داخل سوراخ مخروطی بیرون



شکل (۲۰ – ۳) گیره نوع مربع مستطیلی SCD

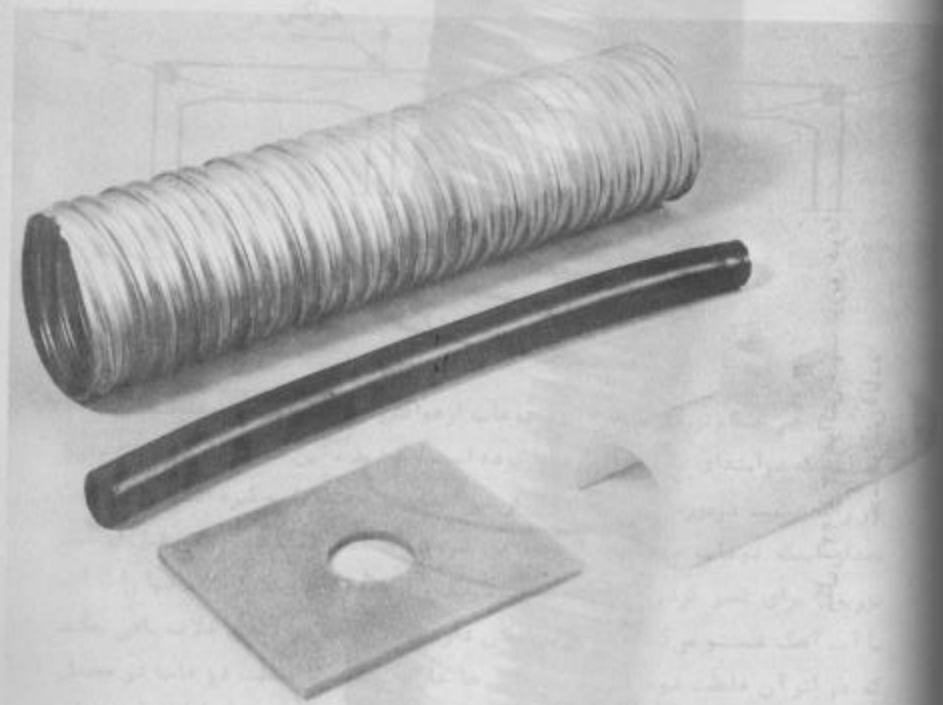
بیاید ، معمولا" قبل از آزاد کردن جک ، با کمک یک پیستون اضافی تمام گوه ها را بافشار به داخل سوراخهای گیره می‌رانند تا به سوراخ چسبیده و سیم رامحکم نگاه دارد . این کار برای احتراز ازلغزش زیاد کابل در داخل گوه ودر نتیجه اتلاف تنش زیاد در اثر این سرخوردن می‌باشدوبه نام عمل بلوکاژ نامیده می‌شود) . مقدار طول اضافی کابل که باید خارج از گیره باشد (برای اینکه در موقع کشیدن ، جک بتواند کابل را محکم نگاه دارد) فقط بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر است ، به این ترتیب مقدار هدر رفتن فولاد دراین سیستم بسیار کم است . حدود نیروهائی که به‌طور عادی می‌توان توسط گیره های استرانگ هولد وارد نمود ، بین ۳۴ تا ۳۴۰ تن می‌باشد ، لیکن گیره های نوع بزرگتری ، نیز موجود است که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد .

شکل (۲۱ ــ ۳) گیره های استرانگ هولد برای کابلهای
مرکب از سیم ویا سیم های بافته شده

۱۲ ــ ۳ ــ غلاف برای کارهای پس کشیدگی :

به غیر ازدر سیستم مربع مستطیلی SCD، معمولا" برای‌ایجادسوارخ مسیر کابل، ازلوله‌های پیش ساخته فلزی با مقطع دایره استفاده می‌شود. این لوله ها باید به اندازه کافی نرم باشد تا بتوان آنهارا طبق شعاع لازم خم نمود و در عین‌حال به اندازه کافی محکم باشد تا درموقع بتن ریزی تغییر شکل ندهد. با وجود اینکه می‌توان غلاف ها را به‌هرطولی که‌لازم باشدساخت، در بیشتر مواقع آنها را به طولهای استاندارد می‌سازند، که درنتیجه، برای ایجاد غلاف با طول لازم باید یک یا چند غلاف را به‌یکدیگر متصل نمود. این کاررا باید با دقت فراوان انجام داد تا مطمئن شد که درموقع بتن ریزی ملات داخل غلاف نمی‌شود. برای این کار اتصال دهنده های (Couplers) مخصوصی نیز وجود دارد. از آنجائی که، معمولا" بعداز خاتمه کار کشیدن کابلها، اقدام به تزریق دو

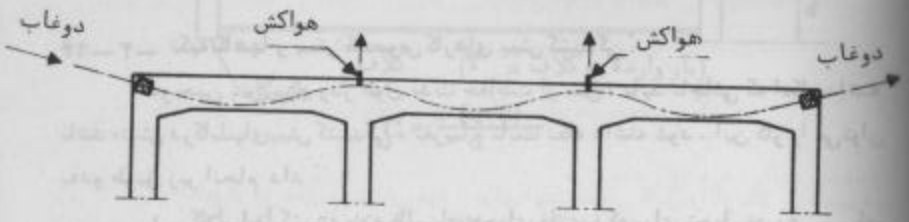
غلاف به‌داخل غلاف می‌شود، بنابراین درنقاط معینی ازطول غلاف احتیاج به سوراخهائی جهت تزریق دوغاب‌وخروج هوا می‌باشد. این سوراخ ها را با استفاده از مته درنقاط لازم روی غلاف ایجاد نموده وسپس لوله پلاستیکی هواکش را مطابق شکل (۲۲ ــ ۳) به این سوراخ اتصال می‌دهند.



شکل (۲۲ ــ ۳) هواکش جهت تزریق دوغاب
الف ــ اجزاء تشکیل دهنده

شکل (۲۲ ـ ۳) هواکش جهت تزریق دوغاب
ب ـ هواکش آماده

برای تزریق یک کابل یکسره باید در بالاترین نقاط مسیر کابل هواکش هائی جهت خروج هوا کارگذارد. زیراچنانچه‌این‌کار انجام‌نشود، در موقع تزریق، هوا در این نقاط محبوس شده وبنابراین دوغاب نمی‌تواند به خوبی اطراف کابل را بگیرد. شکل (۲۳ ـ ۳) محل هواکش ها را در یک کابل یکسره نشان می‌دهد.



شکل (۲۳ ـ ۳) تزریق یک کابل یکسره

در هنگام‌تزریق بعدار اینکه‌دوغاب ازهواکش اولی بیرون آمد وغلظت آن‌مانند غلظتی که درابتدای محل تزریق دارا بوده است، گردید، این هواکش‌را می‌بندند واین کار رابه ترتیب درمورد هواکش های دیگر نیز انجام می‌دهند تا به گیره انتهائی برسند، بعدار اینکه دوغاب خارج شده ازمحل این گیره نیز غلظتش‌ثابت شد (چون قبل از عمل تزریق، برای تمیز کردن کابلها از روغن، رنگ ویا آلودگی های دیگر، غلافها را با آب یا آب آهک شستشو می‌کنند. بنابراین‌امکان داردمقداری آب در داخل غلاف باقی بماند که در اثر آن غلظت دوغابی که از هواکش ها خارج می‌شود با غلظت دو غاب در محل تزریق تفاوت‌داشته باشد، البته بعدار گذشت مدت زمانی کوتاه این دوغلظت با هم‌برابر خواهد شد) هواکش مربوط به گیره رامی‌بندند. گاهی در پائین ترین نقاط کابل نیز هواکش هائی تعبیه می‌شود که از این هواکش‌ها برای تخلیه آب موجود در داخل غلاف استفاده می‌کنند.

۱۳ ـ ۳ـ وسائل پیش کشیدگی:

وسائل که درکارهای پیش کشیدگی به کار می‌رود به شرح زیر می‌باشد:

۱ ـ تکیه گاهها و بستر مخصوص کارهای پیش کشیدگی.

۲ ـ قالب های مخصوص کارهای پیش کشیدگی .

۳ ـ جک و مکانیزم های مخصوص کشیدن وآزاد کردن کابل های پیش کشیدگی .

۴ ـ ویبراتورهای متصل به‌قالب یاجدا ازآن جهت لرزاندن بتن و وسائلی‌جهت خم نگاه داشتن کابل (برای کابلهای پیش کشیده خم شده) .

۱۴ ـ ۳ ـ تکیه گاهها و بستر مخصوص کارهای پیش کشیدگی :

در حین بتن‌ریزی ودر طول مدت حفاظت از بتن ، باید تاجائی که امکان‌داشته باشد ،تنش درکابلهای‌پیش کشیدگی ، تقریبا " ثابت نگاه داشته شود . این کار را می‌توان به‌دو طریق زیر انجام داد :

۱ ـ کابلها را کشیده و به قالبهای مجزای فلزی ، که برای تحمل نیروهای پیش‌کشیدگی وتنش های ناشی از وزن بتن تازه طرح شده ، گیرمی‌دهند .

۲ ـ کابلها را کشیده و به تکیه گاههای‌مخصوصی‌اتصال می‌دهند ،این تکیه‌گاهها نیروی پیش‌کشیدگی درکابل رادرحین عملیات بتن ریزی حفظ کرده و ثابت نگاه‌می‌دارد . بین دوتکیه‌گاه‌سطح‌تراز‌وصافی‌وجود دارد که در روی آن قالب های مربوط به‌قطعات‌پیش‌کشیده را گذاشته سپس بتن ریزی را انجام می‌دهند . مجموعه دو تکیه گاه و سطح صاف بین آنها را بستر پیش کشیده (pre-tensioning bed)می‌نامند .

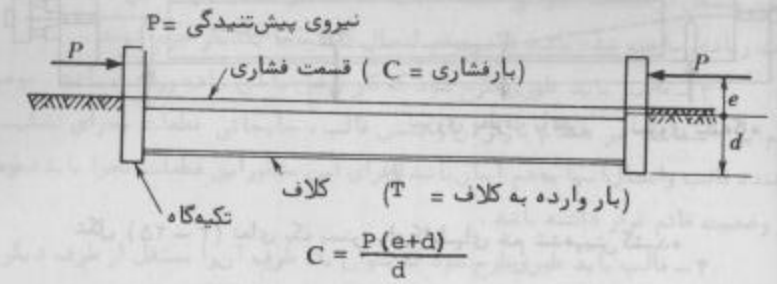
از قالب های مجزا که‌نیروی پیش کشیدگی کابل مستقیما " به‌آنها وارد می‌شود ، برای ساخت تیرهای T دو بله وشمع های پیش کشیده و تراورس های راه آهن استفاده می‌شود . به غیراز موارد ذکر شده معمولا " سیستم قالب های مجزا زیاد اقتصادی نبوده‌و مورداستفاده وسیعی ندارد . انواع بسیار متنوعی از بسترهای پیش کشیده وجود دارد که هرکدام برای کار خاصی مناسب است . هر تکیه گاه وبستر معمولا " برای تحمل یک نیروی ماکزیمم ویک لنگر حداکثر طرح می‌شود . مادر اینجا فقط به ذکر دو نوع خاص از بستر ، به نام بستر کلافی (Strut and tie) و بستر برای‌کابل‌های خم‌شده پیش‌کشیده می‌پردازیم :

الف ـ بستر کلافی :

اصول کار بستر کلافی در شکل (۲۴ ـ ۳) نشان داده شده است .

با توجه به این شکل معلوم می‌شود که‌نیروی پیش تنیدگی(P)باعث به وجود آمدن یک نیروی کششی (T)در کلاف ویک‌نیروی فشاری (C) در قسمت فشاری بستر

می‌گردد . توزیع این سه نیرو توسط تکیه گاه قائم انجام می‌شود .



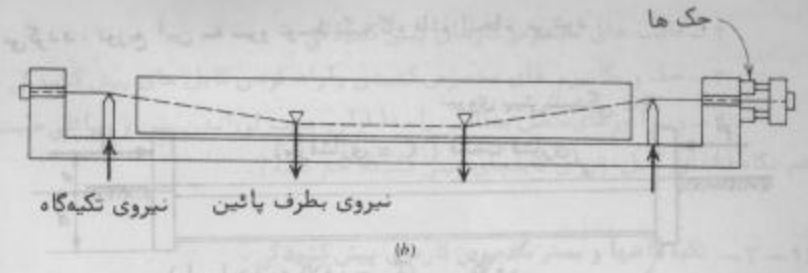
$$C = \frac{P(e+d)}{d}$$

شکل (۲۴ ـ ۳) نمای یک بستر کلافی برای کارهای پس‌کشیدگی

از این نوع بستر موقعی‌که‌خروج از مرکزیت‌بار بسیار بزرگ است می‌توان استفاده نمود . یکی از اشکالات مهم‌این نوع بستر این است که ، چنانچه نیروی پیش‌تنیدگی‌خیلی بزرگ‌باشد ،نیروی‌فشاری‌درقسمت‌فشاری‌بستربزرگتراز‌نیروی‌پیش‌تنیدگی (C = P + T) می‌شود و برای‌احتراز‌ازکمانش،ابعاد مقطع قسمت فشاری بستر باید خیلی بزرگ‌انتخاب شود . اشکال دیگری که این سیستم دارد این است که چنانچه طول بستر خیلی طویل باشد ، اثر تغییر شکل بستر در حین عملیات کشش ممکن است بسیار بزرگ باشد ، زیرا به‌تدریج‌که نیروی پیش تنیدگی وارد می‌شود ، کلاف طولش بزرگتر وقسمت‌فشاری بستر طولش کمترمی‌گردد .واضح‌است تغییر شکل در محل کابلها به علت خاصیت اهرمی‌قسمت قائم تکیه‌گاه خیلی بزرگتر از تغییر شکل بستر خواهد شد . به دلائلی که گفته شد از این نوع سیستم فقط درمواقعی که طول بستر کوتاه است استفاده می‌شود .

ب ـ بستر برای کابلهای خم شده پیش کشیده :

در مواقعی که لازم است کابل تیرپیش کشیده به‌صورت خم شده باشد ، از بستر مخصوصی برای کابلهای خم شده پیش کشیده استفاده می‌شود . شکل (۲۵ ـ ۳) نمای یک بستر برای کابلهای خم شده پیش‌کشیده‌را نشان می‌دهد .



شکل (۲۵ – ۳) نمای یک بستر برای کابلهای خم شده پیش کشیده

همانطورکه در شکل دیده می‌شود، برای اینکه بتوان کابل را از بالا به طرف پائین خم نمود کابل باید به تکیه گاه مخصوصی تکیه داشته باشد که این تکیه گاه به دال بستر، نیروی فشاری وارد می‌آورد وبرای اینکه بتوان کابل را در وضعیت پائین نگاه داشته و یا به طرف بالا خم نمود باید از وسیله مخصوصی استفاده کرد، (شکل ۳۱ – ۳) که به دال پائین نیروی کششی وارد می‌نماید. به این ترتیب دال بستر علاوه براینکه تحت اثر یک نیروی فشاری ناشی ازپیش تنیدگی ولنگرمربوط به آن است، تحت اثر یک سری نیروهای قائم نیز می‌باشد که این نیروها ممکن است در هر نقطه ای از بستر وارد شود. بنابراین نمی‌توان در ساخت دال این بستر از بتن معمولی استفاده نمود (برخلاف بعضی از انواع بسترهاکه دال کف آنها از بتن معمولی ساخته می‌شود) وباید برای این منظور از بتن آرمه و یا بتن پیش تنیده استفاده کرد.

۱۵ – ۳ – قالب های مخصوص کارهای پیش کشیدگی:

بطورکلی قالب‌هائی که برای ساخت قطعات پیش کشیده به کار می‌رود بایددارای مشخصات مخصوص ومناسبی برای این کار باشد. مهمترین این مشخصات به شرح زیر می‌باشد.

۱– مقاومت زیادنسبت به صدمه ناشی از عدم استفاده صحیح از قالب و رطوبت زیاد ناشی‌ازبخاردادن به بتن. با توجه به این شرط استفاده از قالب چوبی که نمی‌توان ازآن‌به‌دفعات زیاد (به عنوان قالب برای بتن ریزی) استفاده نمود و ضمنا" به بخار آب نیز حساس است، مناسب نمی‌باشد. با وجودی که استفاده از قالب های بتنی موفق بوده است لیکن قالب های سبک تر فلزی، معمولا" ارجحیت دارد.

۲ – دقیق بودن ابعاد قسمت های مختلف قالب. از آنجائی که معمولا" یک قالب متشکل از قطعات مجزائی است که باید به یکدیگر متصل شود، این قطعات باید با دقت زیادی ساخته شده باشد تا درموقع اتصال کاملا" با یکدیگر جزم شوند.

۳ – قالب باید طوری طرح شود که کار کردن با آن ساده وراحت باشد. موضوع مهم‌این است که در هنگام بازکردن و بستن قالب، جابجائی قطعات مجزای تشکیل دهنده قالب واتصال‌آنها به‌هم آسان‌باشد وبرای این منظوراین قطعات مجزا بایدعموما" در وضعیت قائم قرار داشته باشد.

۴ – قالب باید طوری‌طرح شود که بتوان یک طرف آن‌را مستقل از طرف دیگر در وضعیت نهائی خود قرار داد.

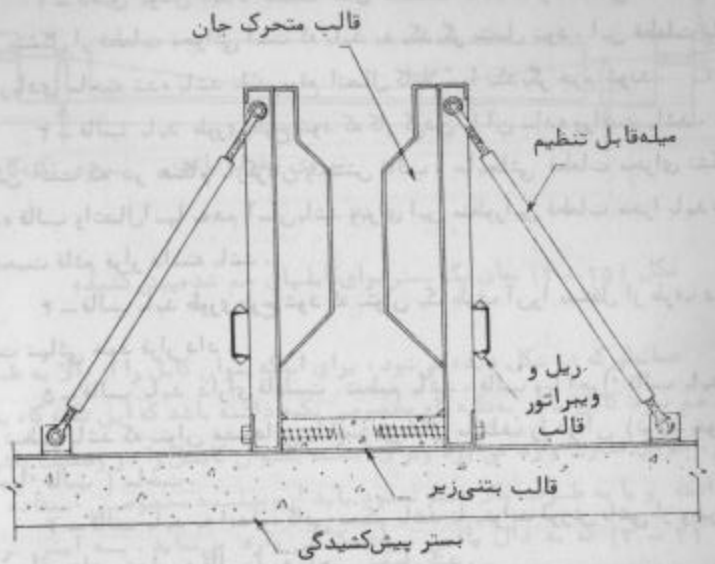
۵ – قالب باید دارای قابلیت تنظیم باشد. قالب ویا اجزاء قالب باید طوری قابل تنظیم باشد که بتوان عضوهائی با چندین شکل مختلف را در آن (توسط خودقالب ویا اجزاء قالب) ساخت.

۶ – قالب باید به اندازه کافی محکم باشد تا بتواند لرزش ناشی از ویبراتورها را (ویبراتورهای متصل به قالب) به راحتی تحمل کند.

۷ – قسمت زیرقالب باید بسیار صلب باشد ونباید در موقع استفاده تغییر شکل دهد، زیرا چنین تغییر شکل‌هائی باعث می‌شود که قسمت زیر عضوهای ساخته شه دراین قالب دارای‌ناصافی ها ویا انحناهائی گردد. بعلاوه، قسمت زیر قالب باید به صورت یک عضو سازه ای عمل کند و بتواند نیروهای جانبی ونیروهای روبه بالا را تحمل نماید. تا بتوان قالب های کناری را طوری محکم به آن اتصال داد که درموقع بتن ریزی حرکت نکند. این شرط آخری برای ساخت تیرهای I شکل با بال پائینی پهن، بسیار با اهمیت می‌باشد، زیرا نیروی روبه بالا (در اثر فشار هیدرواستاتیکی بتن تازه) در چنین حالتی ممکن است بسیار بزرگ باشد.

۸ – قالب باید طوری ساخته شود که دارای حداقل زوئن باشد و زوئن ها باید تاحدامکان محکم بوده تا امکان نفوذ بتن به خارج قالب وجود نداشته باشد.

در شکل (۲۶ – ۳) یک نمونه ازقالبی که برای ساخت قطعات پیش کشیده به‌کار می‌رود و دارای مشخصات مناسبی که ذکر شد نیز می‌باشد، نشان داده شده است.



شکل (۲۶ – ۳) مقطع یک قالب فلزی قابل تنظیم که برای ساختن قطعات پیش کشیده مناسب است .

۱۶ – ۳ – جک و مکانیزم های مخصوص کشیدن و آزاد کردن کابل های پیش کشیده :

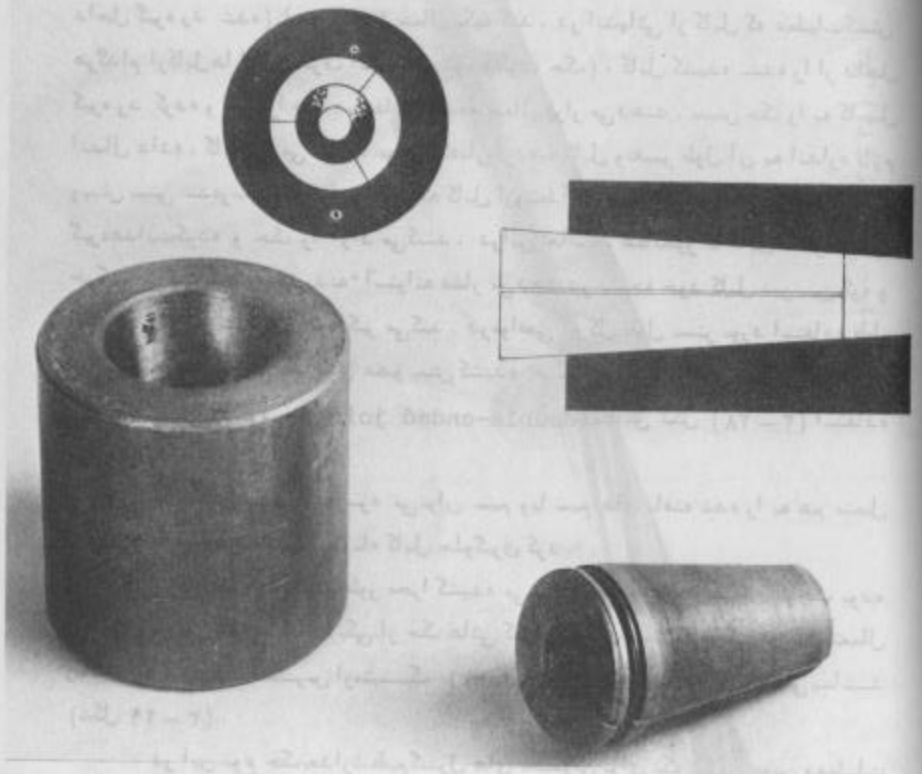
برای کشیدن کابل های عضوهای پیش کشیده دو روش به شرح زیر موجود است :

۱ – استفاده ازجک‌های تکی که کابل های پیش کشیده را به طور مجزا می‌کشد (شکل ۲۷ – ۳) . ازاین‌نوع جک‌هابرای کشیدن کابلهای‌پس‌کشیده به‌طور مجزانیز می‌توان استفاده کرد ، ضمنا " دراین سیستم همیشه کابل با جک در تماس است .

۲ – استفاده‌از جک و مکانیزم مخصوصی که معمولا " کلیه کابلهای موجود درعضو رابه‌طوردسته جمعی می‌کشد درحالی‌که‌خود (جک) باهیچکدام‌ازکابلها در تماس‌نمی‌باشد . ازجک های این‌نوع سیستم‌نمی‌توان‌برای‌کشیدن‌کابلهای پس کشیده ویاکابلهای‌پیش‌کشیده به‌طور مستقیم (بدون استفاده از مکانیزم‌مخصوص تکیه گاه انتهای بستر پیش کشیدگی) استفاده کرد (شکل ۳۰ – ۳) .

الف – جک های تکی وگیره‌های پیش کشیدگی :

در کارهای پیش کشیدگی مهمترین وسیله کار ، گیره موقتی می‌باشد که سیم ها و یاسیم های بافته شده را در حین و بعداز عملیات کشش محکم نگاه داشته و به تکیه گاه گیر می‌دهد . همانطور که قبلا " نیز اشاره شد ، ممکن است روشهای متفاوتی برای کشیدن کابل‌به‌کار رود ، لیکن گیره هائی که امروزه برای کارهای پیش کشیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد همه تقریبا " شبیه به هم بوده و شامل یک استوانه وتعدادی گوه مطابق شکل (۲۷ – ۳) می‌باشد .



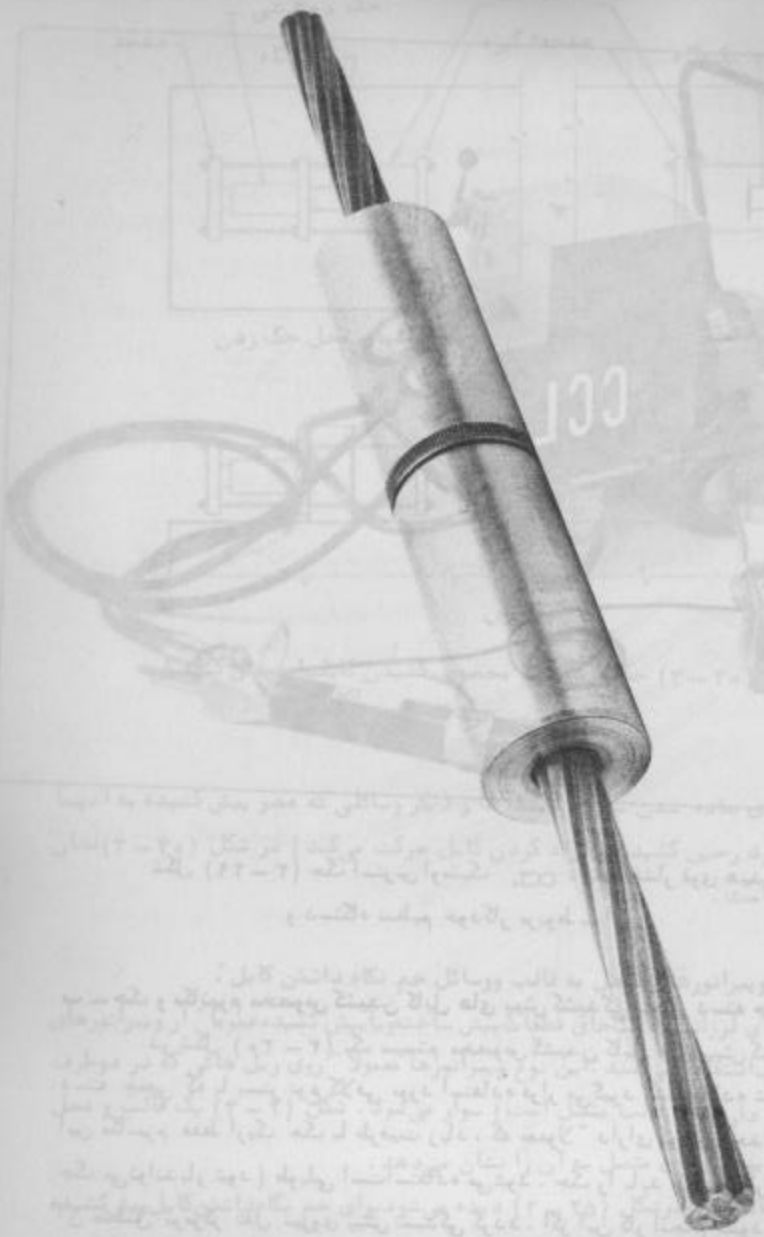
شکل (۲۷ – ۳) مجموعه یک گیره برای کارهای پیش کشیدگی

گوه معمولا" از دو یا سه قطعه تشکیل شده و یکفنر که در شیار قسمت بالای این قطعات قرار می‌گیرد ، آنها رابه هم متصل کرده و نسبت به هم در وضعیت ثابتی نگـــاه می‌دارد . درسطح‌قسمت داخلی گوه شیارهائی جهت افزایش اصطکاک‌بین کابل وگوه‌ایجاد نموده اندوباوجودی که گوه‌های پیش کشیده طوری طرح شده که می‌توان از آنها به تعداد دفعات زیاد استفاده نمود ، باید هر دفعه قبل از عمل کشیدن آنها را با دقت معاینـــه کرد تا چنانچه به شیارهای گوه صدمه ای وارد شده باشد از آن استفاده نشود . در طرف گیره ثابت (درطرفی که جک زده نمی‌شود) ،گیره (که شامل استوانه فلزی وگوه های داخل آن است) را با فشار روی کابلی که ، هنوز کشیده نشده می‌لغزانند (درحالی که کابل از داخل گیره رد شده)تا به صفحه‌ٔ حمال تکیه کند . در انتهائی از کابل که عملیات‌کشش هرکدام ازکابل‌ها از آن طرف انجام می‌شود (طرف جک) ، کابل کشیده نشده را از داخل گیره رد کرده و گیره را فقط در مقابل صفحه حمال قرار می‌دهند . سپس جک را به کابـــل اتصال داده ، کابل را می‌کشند . موقعی که‌باروارده‌به کابل وتغییر طول آن به اندازه لازم وپیش بینی شده‌رسید ،گوه رادرحالی که کابل ازوسط‌آن رد شده به داخل سوراخ استوانه گیره‌هدایت‌کرده و جک را آزاد می‌کنند . دراین حالت ، همانطور که کابل به‌طرف گیره حرکت می‌کند گوه را به بدنه‌ٔ استوانه فشار می‌دهد در نتیجه خود کابل نیز بین گوه و استوانه فشرده شده وبه گیره گیر می‌کند . درمواقعی که کل طول بستر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (مثل موقعی که طول عضو پیش‌کشیده خیلی کوتاه تراز طول بستر است) ، از اتصـــالات دو ســـره (double-ended joints) مطابق شکل (۲۸ – ۳) استفاده می‌شود .

با کمک اتصالات دوسره می‌توان سیم وبا سیم های بافته شده را به هم متصل کرده واز تلف شدن طولهای کوتاه کابل جلوگیری کرد .

در مواقعی‌که‌کابلهابه‌طور مجرا کشیده می‌شود ، جک مربوطه نسبتا" کوچک بوده و معمولا" با برق کار می‌کند . یکی از جک هائی که درکارهای پیش‌کشیدگی مورد استعمال زیاد دارد ، جـــک استرس اومتیـــک CCL (Stressomatic Jack) می‌بـــاشـــد (شکل ۲۹ – ۳) .

در این نوع جک‌بعدازتنظیم‌کنترل های مخصوص برای یک نیروی معین ، عملیات کابل کشی وگیردادن‌را می‌توان به‌طور خودکار انجام داد . به این ترتیـــب عملیـــات کابل‌کشی را می‌شود بسیار سریع وبا بازده خوب تمام کرد .

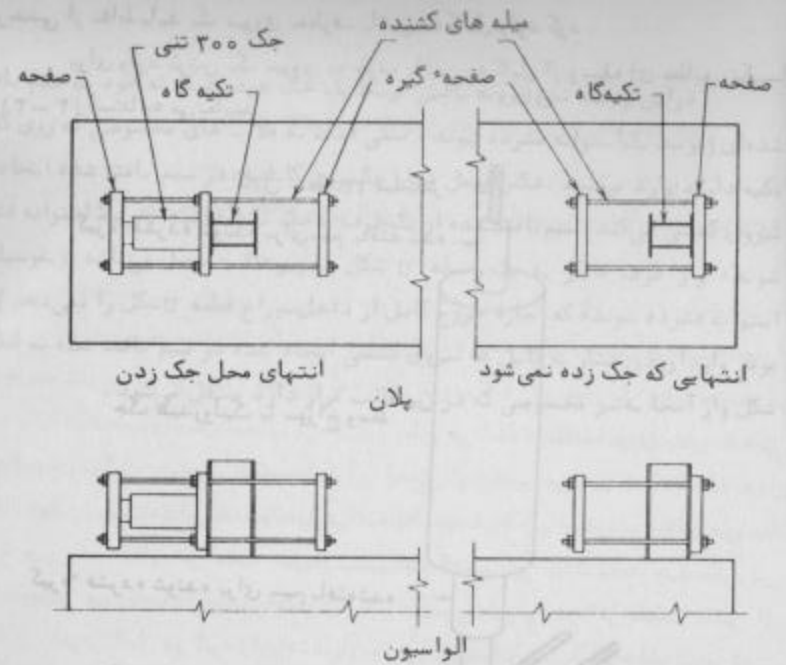


شکل (۲۸ – ۳) اتصالات دوسره

شکل (۲۹ – ۳) جک استرس اومتیک CCL ، پمپ فشار قوی هیدرولیک
و دستگاه تنظیم خودکار مربوط به آن

ب – جک و مکانیزم مخصوص کشیدن کابل های پیش کشیدگی به‌طور دسته جمعی :

در شکل (۳۰ – ۳) یک سیستم مخصوص کشیدن کابل های پیش کشیدگی به‌طور دسته جمعی که با بستر نوع کلافی مورد استفاده قرار می‌گیرد نشان داده شده است . در این مکانیزم فقط ازیک جک با ظرفیت زیاد ، که معمولا " دارای کورس (حداکثر طولی که جک می‌تواندباز شود) طویلی است‌استفاده می‌شود . جک را باید طوری قرار دادکه محور آن منطبق برمرکز ثقل سروی پیش تنیدگی گردد . اگر این کار انجام نشود . دستگاه در حین کشیدن کابل وآزاد کردن آن پایدار نخواهد بود .



شکل (۳۰ – ۳) جک و مکانیزم مخصوص کشیدن کابلهای پیش کشیدگی
با بستر نوع کلافی .

برای ساده شدن شکل ، غلطک ها و دیگر وسائلی که عضو پیش کشیده به آنها تکیه دارد (ود رحین کشیدن و آزاد کردن کابل حرکت می‌کند) در شکل (۳۰ – ۳)نشان داده نشده است .

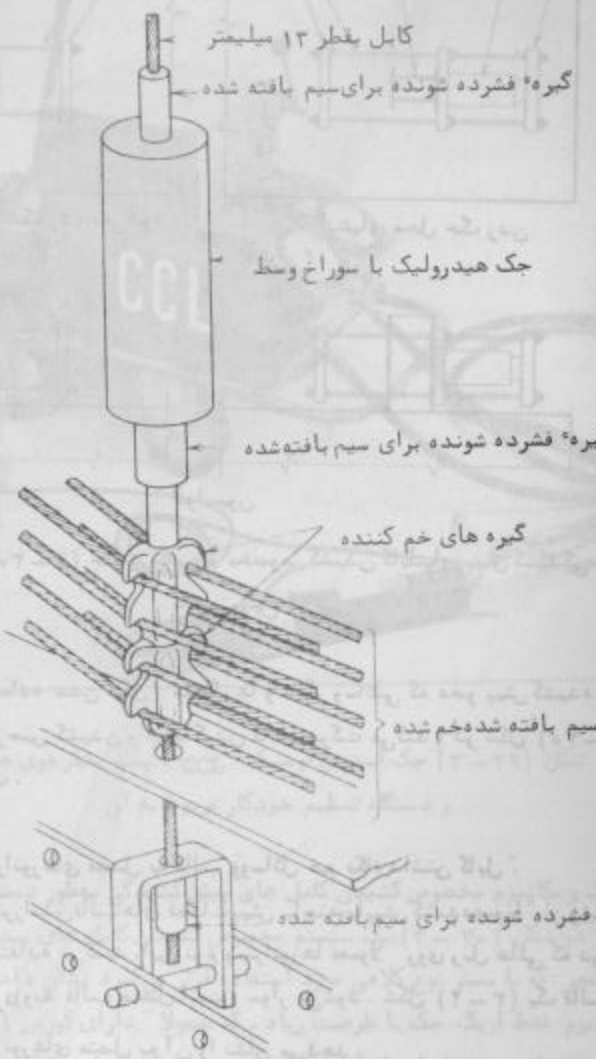
۱۷ – ۳ – ویبراتورهای متصل به قالب ووسائل خم نگاه داشتن کابل :

برای لرزاندن‌قالب‌های قطعات‌پیش ساخته‌وپاپیش کشیده‌عموما " از ویبراتورهای متصل‌به‌قالب‌استفاده می‌کنند .این نوع ویبراتورها معمولا " روی ریل هائی که در دوطرف قالب قرار دارد(وبه قالب متصل است) سوار می‌شود . شکل (۲ – ۳) یک قالب و محل سوار شدن ویبراتورهای متصل به آن را نشان می‌دهد .

همانطور که‌درشکل (۲۵ – ۳) دیده می‌شودبرای خم نگاه‌داشتن‌کابل‌پیش‌کشیده

دربعضی از نقاط باید یک نیروی به‌طرف پائین به کابل وارد کرد.

برای وارد کردن یک نیروی به طرف پائین به کابل از وسیله ای مطابق شکل (۳۱ – ۳) استفاده می‌نمایند.



شکل (۳۱ – ۳) وسیله خم نگاه داشتن کابلهای پیش کشیده

دراین وسیله نیروی‌رو به پائین توسط یک جک هیدرولیک که خود به سیم بافته شده‌ای (توسط یک‌استوانه فشرده شوند) متکی است به فلاب های مخصوصی که روی کابلها تکیه دارند وارد می‌شود، عکس‌العمل فشار جک روی کابلها، در سیم بافته شده ایجاد یک نیروی کششی می‌کند. سیم‌بافته شده از یک‌طرف به‌جک تکیه داشته (توسط استوانه فشرده شونده واز طرف دیگر به یک وسیله U شکل در زیر قالب متصل می‌باشد (به‌وسیله یک استوانه فشرده شونده که اجازه خروج کابل از داخل‌سوراخ قطعه U شکل را نمی‌دهد). در موقع واردآوردن فشار به کابل ها نیروی کششی ایجاد شده در سیم بافته شده به قطعه U شکل واز آنجا به‌تیر مخصوصی که در زیر قالب قرار دارد منتقل می‌شود.