

علل خوردگی ، راهکارهای تعمیر
و مقاوم سازی
سازه های بتن مسلح

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

با نام و یاد خداوند مهربان

رشته مهندسی عمران، یکی از قدیمی‌ترین و بنیادی‌ترین شاخه‌های مهندسی است که نقشی حیاتی در توسعه زیرساخت‌ها و آبادانی جوامع بشری ایفا می‌کند. از بناهای باستانی گرفته تا سازه‌های عظیم امروزی، همواره دستان توانمند مهندسان عمران در شکل‌دهی به دنیای پیرامون ما حضور داشته است.

این رشته، ترکیبی هنرمندانه از علم، هنر و خلاقیت است که به پیاده‌سازی طرح‌های نوآورانه در راستای ساخت مسکن، پل‌ها، راه‌ها، سدها، تونل‌ها و دیگر سازه‌های زیربنایی می‌پردازد. مهندسان عمران با بهره‌گیری از اصول فیزیک، ریاضیات و دانش روز، مسئولیت ایمنی، پایداری و کارایی این سازه‌ها را بر عهده دارند.

آینده شغلی در این رشته، با توجه به نیاز مستمر جوامع به توسعه و بازسازی زیرساخت‌ها، همواره پربرونق بوده و فرصت‌های متنوعی را برای متخصصان این حوزه فراهم می‌آورد.

فصل اول: علل خوردگی در بتن سازه های بتن مسلح

۳	۱-۱- علل خوردگی بتن مسلح
۳	۱-۲-قلیایی بتن
۳	۱-۳-شروع روند خوردگی
۴	۱-۴-خوردگی بتن مسلح
۴	۱-۵-جلوگیری از خوردگی
۴	۱-۶-عوامل خوردگی
۴	۱-۷-روند زنگ زدگی و طبله شدگی
۵	۱-۸-نفوذ کربناتسیون
۵	۱-۹-نفوذ کلرید
۵	۱-۱۰-آستانه مجاز تمرکز کلرید
۵	۱-۱۱-آسیب در دال و تیر
۵	۱-۱۲-MCI
۶	۱-۱۳-مراحل تشخیص آسیب
۱۱	۱-۱۴-تست کربناتسیون
۱۱	۱-۱۵-راهکارهای مقابله با خوردگی
۱۱	۱-۱۶-تست های مخرب بازرسی عینی
۱۱	۱-۱۷-ویندسورپراب
۱۲	۱-۱۸-چکش اشمیت
۱۳	۱-۱۹-زنجیرکش روی زمین
۱۳	۱-۲۰-صدای چکش
۱۴	۱-۲۱-تست اکو
۱۴	۱-۲۲-دستگاه الکتریک سنج بتن

فصل دوم: راهکارهای تعمیر سازه های بتن مسلح

صفحات

۲۶	۱-۲- بخش های تشکیل دهنده تعمیر و تقویت سازه
۲۷	۲-۲- خوردگی، خرابی و ترک در بتن
۳۵	۳-۲- آزمایش های بتن
۶۲	۴-۲- الیاف تقویت کننده پلیمری (FRP)
۷۱	۵-۲- شاتکریت
۷۸	۶-۲- کاشت آرماتور
۸۲	۷-۲- اسلب بتنی روی زمین یا دال بتنی
۹۲	۸-۲- سازه CFT

فصل سوم: مقاوم سازی سازه های بتن مسلح

صفحات

۹۶	۱-۳- روش های طراحی سازه بتنی در گذشته
۹۷	۲-۳- اضافه کردن عضو جدید و بزرگ کردن سطح مقطع
۱۰۲	۳-۳- کوتاه کردن دهانه
۱۰۳	۴-۳- اضافه کردن پلست کششی تقویتی در زیر تیر بت می شود
۱۰۴	۵-۳- شاهتیر بتنی که از بیرون توسط ناودانی استیل تقویت شده
۱۱۰	۶-۳- اضافه کردن پلست استیلی باند شده
۱۱۲	۷-۳- اضافه کردن پلیتهای FRP و دورپیچی
۱۱۵	۸-۳- مقاوم سازی با پس کشیدگی پیش تنیدگی بیرونی
۱۱۷	۹-۳- تقویت برشی تیر
۱۱۹	۱۰-۳- مقاوم سازی سازه های دال
۱۱۹	۱۱-۳- مقاوم سازی دال های یک طرفه
۱۲۱	۱۲-۳- مقاوم سازی دال دو طرفه
۱۲۲	۱۳-۳- مقاوم سازی دال خم شده ی کنسولی رو به پایین
۱۲۴	۱۴-۳- مقاوم سازی ستون های بتنی

۱۲۵	۳-۱۵- اضافه کردن سطح مقطع
۱۲۵	۳-۱۶- اضافه کردن ستون
۱۲۷	۳-۱۷- تقویت با سازه استیلی
۱۲۹	۳-۱۸- تقویت با دور پیچ الیافی ژاکت فایبرگلاس
۱۳۲	۳-۱۹- جزئیات روش های پرچ کردن برای تعمیر دال ، دیوار ، تیر و ستون

مقدمه :

دوام و پایداری سازه‌های بتن مسلح، ستون فقرات زیرساخت‌های مدرن بشری را تشکیل می‌دهد. با این حال، پدیده خوردگی میلگردهای فولادی درون بتن، به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل کاهش عمر مفید و به خطر افتادن ایمنی این سازه‌ها، همواره دغدغه‌ای جدی برای جامعه مهندسی در سراسر جهان بوده است. شناخت عمیق ریشه‌ها و علل این پدیده، در کنار تسلط بر روش‌های مؤثر ترمیم و تقویت، امری ضروری برای تضمین عملکرد بلندمدت سازه‌ها و حفاظت از سرمایه‌های ملی است.

اینجانب، در مقام نگارنده این اثر، مفتخرم که حاصل سال‌ها پژوهش و تجربه علمی، از جمله دوران تحصیلات تخصصی و کسب مدرک دکترای سازه در رشته مهندسی عمران از دانشگاه کوئین مری لندن در انگلستان، را در قالب کتاب “علل خوردگی و راهکارهای تعمیر و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح” تقدیم جامعه علمی و مهندسی کشور نمایم. این مجموعه با هدف ارائه یک دیدگاه جامع، مبتنی بر آخرین دستاوردهای علمی روز دنیا و استانداردهای بین‌المللی، تدوین شده است. این کتاب میتواند کمک درس و مرجع برای درس نگهداری و تعمیر و تقویت رشته مهندسی ساخت تهیه شده است.

در فصول ابتدایی کتاب، به تفصیل به بررسی عوامل کلیدی مؤثر در بروز خوردگی پرداخته شده است؛ از ماهیت شیمیایی و فیزیکی محیط‌های مهاجم مانند یون‌های کلراید و گاز کربن‌دی‌اکسید، تا نقش مصالح، طراحی نادرست، و شرایط اجرایی در تسریع این فرآیند مخرب. در ادامه، با اتکا بر دانش روز و تجربیات عملی، رویکردهای نوین و اثبات‌شده‌ای برای ارزیابی وضعیت سازه‌ها، ترمیم خسارات وارده، و اجرای راهکارهای تقویت و افزایش دوام بتن مسلح ارائه شده است. این راهکارها شامل آخرین نسل از پوشش‌های محافظتی، مواد ترمیمی هوشمند، و تکنیک‌های مهندسی برای بازسازی و مقاوم‌سازی سازه‌ها می‌باشند.

امید است که این کتاب، به عنوان یک مرجع کاربردی و علمی، بتواند در ارتقاء سطح دانش تخصصی مهندسان عمران، اعم از طراحان، ناظران، و مجریان پروژه‌ها، و همچنین دانشجویان گرامی، مؤثر واقع شود و گامی در جهت ارتقاء کیفیت، دوام و ایمنی سازه‌های بتن مسلح در کشور بردارد.

پیشگفتار:

خوردگی در سازه‌های بتن مسلح، یکی از چالش‌برانگیزترین و پرهزینه‌ترین مسائل در مهندسی عمران به شمار می‌رود. این پدیده که غالباً با گذشت زمان و در معرض عوامل محیطی مختلف رخ می‌دهد، می‌تواند به طور جدی یکپارچگی، دوام و ایمنی سازه‌ها را به خطر اندازد. نفوذ یون‌های مخرب مانند کلراید، واکنش‌های کربناسیون، و رطوبت، همراه با کیفیت نامناسب مصالح و طراحی ناکارآمد، جملگی عواملی هستند که روند مخرب خوردگی را تسریع می‌بخشند.

کتاب “علل خوردگی و راهکارهای تعمیر و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح” با هدف ارائه یک منبع جامع و کاربردی برای مهندسان عمران، متخصصان نگهداری و مرمت سازه‌ها، و دانشجویان این رشته تدوین شده است. در این اثر، تلاش شده است تا با نگاهی عمیق به مبانی نظری و علمی پدیده‌های خوردگی، زمینه‌های بروز این مشکلات در بتن مسلح به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد. از شناسایی دقیق عوامل مؤثر گرفته تا درک سازوکارهای شیمیایی و فیزیکی دخیل در تخریب بتن و میلگرد، همگی به زبانی علمی و قابل فهم ارائه شده‌اند.

بخش دوم و سوم حیاتی این کتاب به معرفی و تشریح روش‌های نوین و کاربردی برای برخورد با خوردگی، تقویت و مقاوم سازی سازه‌های آسیب‌دیده اختصاص یافته است. از پوشش‌های محافظتی و مواد ترمیمی پیشرفته گرفته تا تکنیک‌های مدرن مقاوم‌سازی و افزایش طول عمر مفید سازه‌ها، تمامی مباحث با رویکردی عملی و با در نظر گرفتن الزامات اجرایی و اقتصادی مورد بحث قرار گرفته‌اند.

این کتاب نه تنها به عنوان یک راهنمای فنی برای مواجهه با مسائل مربوط به خوردگی بتن مسلح عمل می‌کند، بلکه سعی دارد تا با ارتقاء دانش فنی مهندسان، به افزایش کیفیت ساخت و ساز، اطمینان از دوام بلندمدت پروژه‌ها، و در نهایت، تضمین ایمنی عمومی کمک نماید.

امید است که این مجموعه، چراغ راهی برای جامعه مهندسی کشور در جهت غلبه بر یکی از مهم‌ترین چالش‌های حوزه سازه باشد و نقشی مؤثر در ارتقاء سطح دانش فنی و مهندسی ایفا کند.

فصل اول :

۱-۱ علل خوردگی در بتن مسلح

بتن مسلح بصورت وسیعی بعنوان مواد ساخت پل ها، ساختمان ها و سکوهای نفتی و تونل و لوله های بتنی استفاده میشوند. اغلب حدود ۸۰٪ خوردگی بتن مسلح مربوط به خوردگی آرماتور درون است. در کشورهای پیشرفته حدود ۳۲۵ تا ۱۰۰۰ میلیون دلار صرف برخورد با خوردگی در اثر استفاده از نمک ضد یخ روی دالهای بتنی هزینه میشود. در نواحی دریایی تشدید در خوردگی در اثر نفوذ کلرید پدید میآید. کلر در آب مصرفی مخلوط بتن، سنگدانه، آب باران و نمک ضد یخ حاصل میشود.

۱-۲ قلیایی بتن:

سدیم و پتاسیم و کلسیم در سیمان عوامل قلیایی بودن بتن هستند. قلیایی بالای بتن و آب آن با OH^- بالای ۵ تا ۱۲ منجر به ایجاد لایه ایی منفعل در روی آرماتور میکند و از خوردگی ممانعت میکند. با نفوذ کربناتسیون و کلرید این لایه منفعل شکسته میشود. خوردگی یا بصورت گسترده و یا حفره ایی است. کاهش OH^- از ۱۲ به ۸ شروع خوردگی است. کربناتسیون واکنش مابین CO_2 یا دی اکسید کربن اتمسفر و هیدرو اکسید کلسیم سخت شده در بتن است. کدام سازه در معرض خوردگی است؟ سازه هایی که در معرض آب زیاد و اکسیژن هستند. یا در معرض نمک ضد یخ حاوی یون های کلر.

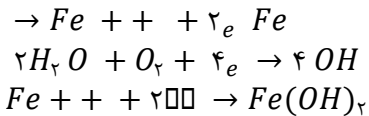
یون های سولفات در اسید باطری میتواند باعث خوردگی آرماتور در پارکینگ ها میشوند. با گرفتن مغزه و یا گُر میتوان هرگونه لایه لایه شدگی و زنگ خوردگی در آرماتور را مشاهده کرد و از تستهای غیر مخرب میتوان برای بررسی میزان خوردگی در بتن مسلح استفاده کرد.

۱-۳ شروع روند خوردگی:

خوردگی یک روند الکتروشیمی در بتن مسلح، هر دوی روند شیمیایی و جریان الکتریکی بین قسمت های بتن و آرماتور، خوردگی در اثر، لایه نازک و ضعیف قلیایی، بتن نامناسب، ترک خوردگی، عمق متفاوت کربناتسیون

۴-۱ خوردگی بتن مسلح:

یک قطعه مشابه از آرماتور دارای سطح متفاوت پتانسیل الکتریکی هستند. آند و کاتد مانند باتری الکتریکی در بتن عمل میکنند. الکترولیت همان آب بتن هستند که باعث انتقال الکتریسیته میشوند. شروع خوردگی وقتیست که این لوپ الکتروشیمی بوجود می آید. گذر یون هیدروکسیل OH و اکسیژن از طریق الکترولیت باعث شروع خوردگی است. آند فدا شونده و کاتد محافظت شده: درسل گالوانیک آند ابتدا صرف میشود یونهای آهنی مثبت و الکترون بوجود می آیند:



یون های مثبت در الکترولیت حل میشوند در و الکترون ها از طریق آرماتور بسوی کاتد حرکت میکنند یون های مثبت آهنی از آند متصاعد شده و تشکیل یون های هیدروکسیل از کاتد برخورد و واکنش میدهند و تشکیل هیدرواکسید آهن میدهند.

۵-۱ جلوگیری از خوردگی :

اگر آند و کاتد بوسیله یک سد غیر قابل نفوذ مانند کاور بتن از هم جدا شدند سیکل خوردگی کامل نمیشود و خوردگی حادث نمیشود.

۶-۱ عوامل خوردگی :

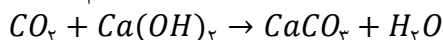
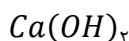
حرارت کاور نامناسب رطوبت نسبی درصد آب / سیمان اگر کاور بتن از ۶ سانت به ۳ سانت برسد زمان خوردگی به میزان ۸۶٪ کاهش می یابد.

۷-۱ روند زنگ زدگی و طبله شدگی:

زمانی که خوردگی شروع شد اکسید آهن متخلخل میشود که در نواحی آند جمع میشوند. زنگ زدگی باعث افزایش ۶ برابری حجم آرماتور اصلی میشود و باعث از هم گسیختگی از داخل میشود. نهایتا کاور ترک خورده طبله میشود. (شکل ۱-۱)

۸-۱ نفوذ کربناتسیون:

کربناتسیون در اثر نفوذ دی اکسید کربن از اتمسفر در بتن حادث میشود. ملکول دی اکسید کربن با هیدرواکسید کلسیم سخت شده و هیدراته شده بتن واکنش نشان داده و کربنات میشود به



درصد آب / سیمان - تمرکز میزان کربناتسیون - تمرکز دی اکسید

کربن باعث کاهش کلسیم قلیایی و افزایش میزان نفوذ کربناتسیون و تولید خوردگی میشود.

۹-۱ نفوذ کلرید:

فشار زیاد نفوذ کلرید باعث خوردگی میشود کلرید در زمان مخلوط کردن بتن چه در مواد افزودنی و چه در سنگدانه یا در آب بتن عوامل خارجی مانند آب دریا - اسپری نمک نمک ضد یخ روی سطح جاده و پیاده رو ها ۰,۶ تا ۰,۹ کیلوگرم / متر مکعب بتن یون کلر شروع خوردگی و اکسیده شدن و و پیل گالوانیک تشکیل و شکستگی لایه منفعل قلیایی حادث میشود.

۱۰-۱ آستانه مجاز تمرکز کلرید:

تمرکز کلرید کمتر از ۰,۴ درصد وزن بتن نمیتواند به بتن آسیب برساند. تست غیر مخرب نیم پیل یا هالف سل میتواند میزان خوردگی را تخمین بزند. تست الکتریک سنج شامل ۲ پراب یا ۴ پراب است مقاومت الکتریکی کم تر ۸ کیلو اهم سانتیمتر نفوذ پذیری زیاد و مقاومت متوسط بین ۸ - ۱۲ و مقاومت بالای ۱۲ کیلو اهم سانتیمتر

۱۱-۱ آسیب در دال و تیر:

هر چه زنگ خوردگی بیشتر شود ترکها بیشتر توسعه پیدا میکنند. عرض ترک با ورود آب و یخ زدگی افزایش می یابد. اگر فاصله آرماتور کم باشد همه بتن یک تکه میافتد. اثرات خوردگی در دال های دارای آرماتور کم ، کمتر قابل رویت هستند. خوردگی میکرو ترک تاثیر در آرماتور منفرد دارد و ماکرو ترک تاثیر در کل سازه دارد.

MCI: ۱۲-۱

Migrating Corrosion Inhibitors

برای حفاظت خوردگی میلگرد درون بتن استفاده میشود.

اسپری مخلوط در میکس بتن - روکش روی میلگرد

آند - کاتدیک حفاظت میلگرد از طریق نفوذ از کاور بتن (شکل ۱-۲)

مطالعه موردی؛ تعمیر پل سوم کیان پارس و روند تعمیر پایه های پل (تصاویر ذیل)
 پل سوم که سال ۱۳۵۱ ساخته شده دچار آسیب در محل پایه ها و ستون ها و المانهای دیگر شده بود که نحوه ترمیم آنها در شکل های ۱-۱ تا ۴-۱ نمایش داده است.



(شکل ۱-۱) طبله شدن بتن و خوردگی شدید میلگردها در اثر توامان نفوذ کلرید و کربناتسیون



(شکل ۲-۱) اعمال مواد متوقف کننده خوردگی با MCI



(شکل ۳-۱) ترمیم سطوح آسیب دیده با مواد مخصوص تعمیر



(شکل ۴-۱) پایه پل سوم بعد از تعمیر

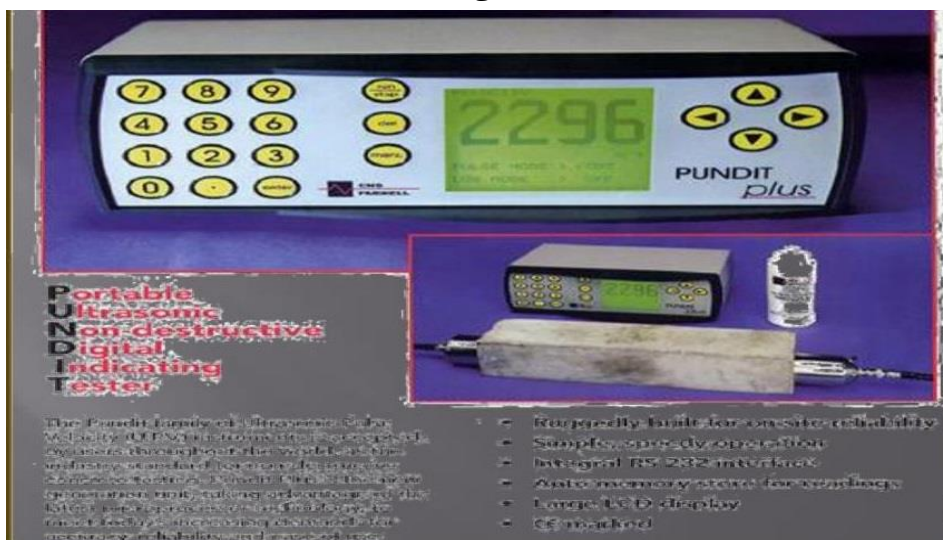
۱-۱۳ مراحل تشخیص آسیب:

روش تشخیص خرابی به شرح ذیل می باشند بازرسی چشمی (Visual Survey) جمع آوری اطلاعات تاریخی (Historical data Collection) بازرسی صوتی (Sonic Test) آزمایشگاههای درجا (In - situ tests) آزمایشهای لابراتوری (Laboratory Tests) همه موارد ضرورت ندارند.

دستگاه های نیمه مخرب (pull off و pull out) و تست های غیر مخرب شامل تست نوسان صوت و آرماتور یاب و تست بررسی خوردگی در المانهای پل در زیر نشان داده شده است.



Pull out جهت بررسی مقاومت باند Pull off



دستگاه اندازه گیری نوسان صوت

Discover our little wizard!



The PROFOMETER 5
locates reinforcing bars and
measures concrete cover –
quickly, simply and with
complete accuracy.

The PROFOMETER 5 Corrosion Wizard is a lightweight, compact unit. It works
on a battery and is insensitive to external interferences.

The PROFOMETER 5 is available in two versions: Model S and Model SCANLOG.



Display unit
Compact, plus that, user-friendly



Universal probe
Locates, depth and diameter
of rebars can be determined
using one unique probe



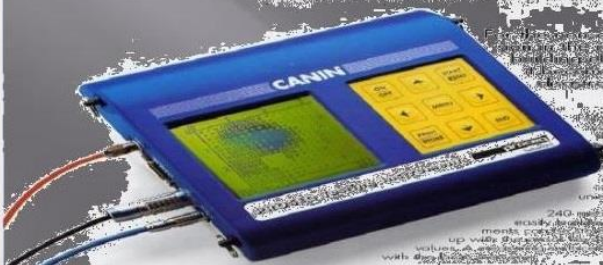
Display
Graphical presentation of results

PROCEQ

آرماتور یاب

CANIN

CORROSION ANALYSING INSTRUMENT



The CANIN Corrosion Analysing Instrument is a portable, battery-powered device that measures the corrosion rate of steel reinforcement bars (rebar) in concrete. It provides a visual display of the corrosion rate on its screen, which can be printed out for record-keeping. The device is easy to use and provides accurate results.

Portability and measurement

The CANIN Corrosion Analysing Instrument is a portable, battery-powered device that measures the corrosion rate of steel reinforcement bars (rebar) in concrete. It provides a visual display of the corrosion rate on its screen, which can be printed out for record-keeping. The device is easy to use and provides accurate results.

Controls, display and probe

The CANIN Corrosion Analysing Instrument features a simple control panel with a few buttons for operation. The display screen shows the corrosion rate in a color-coded format, making it easy to interpret. The probe is used to make contact with the rebar and the concrete surface.

The printed data contains

The printed data contains the following information:

- Corrosion rate (C_{corr})
- Rebar diameter (d)
- Concrete cover (c)
- Rebar location (x, y)
- Rebar identification (ID)
- Measurement date and time
- Operator name

PROCEQ

تست هالف سل



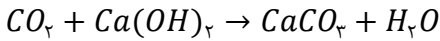
بررسی میزان خوردگی با هالف سل یا CANIN



بررسی میزان خوردگی با کانین تیر بتنی پل

۱۴-۱ تست کربناتسیون:

آزمایشهای درجا با استفاده از ماده فنل فتالین عمق کربناتسیون در داخل بتن رنگ خاکستری نشانه کربناته شدن بتن می باشد رنگ ارغوانی نشانه کربناته نشدن بتن می باشد.



۱۵-۱ راهکارهای مقابله با خوردگی:

افزایش کاور بتن : استفاده از بتن با مقاومت بالا ، میلگرد گالوانیزه ، میلگرد $\square\square\square$ ، استیل ضد زنگ ، استفاده از مواد متوقف کننده خوردگی MCI ، حفاظت کاتدیک (روش الکتروشیمی استخراج کلرید برای بتن های در معرض کلرید و روش احیای مجدد محیط قلیایی در بتن های خورده شده با کربناتسیون) استفاده از روکش اپکسی روی آرماتور ؛ هرکدام از این روش ها معایب و مزایا خود را دارد.

۱۶-۱ تست های غیرمخرب بازرسی عینی:

تست های غیر مخرب بتن شامل موارد زیر است :

بازرسی عینی چگونگی عملکرد : بازرسی بتن را به صورت چشمی و یا گاهی اوقات با استفاده از ذره بین یا نورفلسی و خط کش، کار بازرسی را انجام می دهند. از میکروسکوپ هم نیز میشود ترک هایی که با چشم دیده میشود سایز ترک ها را در سطح مشاهده کرد . موارد استفاده : بررسی سریع سطح بتن برای تعیین نقاط ترک خورده طبله شده و شوره زدگی و سایر صدمات بتن بررسی شرایط اتصالات و تعیین کردن خم شدگی زیاد و خزش سازه بتنی. بررسی چشمی متداول ترین روش بررسی بتن است.

نقاط قوت : روش ساده است و ارزان، سطوح مساله دار به طور سریع مشخص می شود. اگر با سایر تست ها ترکیب شود خیلی موثر است.

نقاط ضعف : این روش نمی تواند مسایل زیر سطحی را مشخص کند مگر اینکه ترک خیلی عمیق باشد و نیاز به مطالعات تجربی دارد.

۱۷-۱ ویندسور پراب:

پرآب (میله ی ویندسور) چگونگی عملکرد : یک گان خاص میله ای را در داخل بتن میراند. عمق نفوذ این میله تقریباً به مقاومت بتن ربط دارد. نوع الکترونیکی این دستگاه نیز ساخته شده است. موارد استفاده : بررسی مقاومت فشاری بتن و پیدا کردن سطوحی که بتن مناسب موجود نیست. نقاط قوت : هزینه ی کمتری دارد و کار کردن با آن ساده است.

نقاط ضعف : بررسی تقریبی را انجام میدهد.

۱۸-۱ چکش اشمیت:

چکش اشمیت (چکش ریباند) چگونگی عملکرد : چکش روی سطح بتن ضربه وارد میکند و مقدار بازگشت یا ریباند تبدیل به مقاومت تقریبی بتن شده براساس گراف های کالیبره شده.

(شکل ۱-۳)

نحوه ی اجرای آن را بر روی پایه های بتنی پل سوم اهواز را نشان داده شدند. البته دستگاه های الکترونیک چکش اشمیت نیز موجود است. موارد استفاده : بررسی مقاومت فشاری بتن و کیفیت آن در ارتباط با سایر تستهای مخرب و غیر مخرب مانند کر گیری و اولتراسونیک. نتایج آزمایشاتی که توسط محقق انجام شده اگر از مقادیر خوانده شده از چکش اشمیت ۵ یا ۶ مگاپاسکال کسر شود نتایج مقاومت فشاری تقریبی بدست می آید. متوسط ضربه ی ده نقطه در یک سطح باید لحاظ شود . نقاط قوت : این تست ارزان است و ساده است و سریع و خیلی مورد استفاده دارد و همچنین میتواند نقاط کم کیفیت بتن را تعیین کند. نقاط ضعف : این تست نیاز به کالیبره کردن مدام چکش دارد . برای ارزیابی تقریبی خوب است .

نتایج آن ممکن است بستگی به شرایط سطح و ترکیبات بتن از همدیگر دور و متفاوت باشند. بهتر است نتایج چکش با نتایج دیگر و تست های فشاری ارتباط داشته باشد.



چکش اشمیت



تست و اجرای چکش اشمیت

۱-۱۹ زنجیر کش روی زمین:

زنجیر کششی چگونگی عملکرد: یک زنجیر سنگین روی سطح بتن کشیده می شود. تغییرات در صدای برخواسته از این کار نشان دهنده ی حفره و خلل و فرج در بتن است. و در نتیجه لایه لایه شدگی بتن در آن سطح نشان میدهد. موارد استفاده: به صورت سریع سطوح لایه لایه شده بتن را تعیین میکند. نقاط قوت: خیلی سریع و ارزان است. نقاط ضعف: این تست دقت زیادی ندارد و نیاز به اپراتور تعلیم دیده دارد در سطح بتن که روی آن پوشش انجام شده نمیشود استفاده شود. تست های جدید جایگزین این تست شده اند.

۱-۲۰ صدای چکش:

تست ضربه چکش معمولی چگونگی عملکرد: به بتن به وسیله ی چکش ضربه وارد میشود و واکنش صدای چکش تعیین کننده ی خلل و فرج یا لایه لایه شدگی بتن است. عملکرد این چکش مانند تست زنجیر است. موارد استفاده: پیدا کردن سطوح لایه لایه شده و خلل فرج داخلی. نقطه قوت: این تست معمول در زمان بازرسی عینی انجام می شود. صدای زنگ چکش نشان دهنده ی پر بودن زیر سطح و صدای پخ نشان دهنده ی خالی بودن زیر سطح است. نقاط ضعف: این تست دقیق نیست و نیاز به تجربه اپراتور تعلیم دیده دارد.

۲۱-۱ تست اکو:

تست اکو ضربه چگونگی عملکرد : از یک گلوله ی آهنی استفاده می شود و به صورت مکانیکی ضربه ای به سطح بتن زده میشود. در نتیجه این کار تنش های با فرکانس پایین موجی تخت تاثیر شکاف های داخلی توسط دستگاه رکورد می شود . فرکانس صدا اطلاعاتی درباره ی شرایط بتن میدهد. عملکردش مانند چکش معمول است. نوع ضربه و موجی که ایجاد میکند در صفحه ی نمایشگر کامپیوتری نشان داده میشود.

موارد استفاده : تعیین نواحی لایه لایه شده و خلل و فرج داخلی.

نقاط قوت : این دستگاه قابل حمل است و موارد استفاده ی زیادی دارد. تست ضربه ی اکو خیلی دقیق تر از تست چکش است.

نقاط ضعف : شکل هندسی محل تست تاثیر در نتایج دارد.

۲۲-۱ دستگاه الکتریک سنج بتن:

تست لبراتورری:

تستهای آزمایشگاهی متداول به شرح زیر می باشند : آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه بتن، آزمایش تعیین مقاومت کششی نمونه بتن، آزمایش تعیین مقاومت کششی نمونه آرماتور، آزمایش سولفاتاسیون، آزمایش سنگدانه های واکنش گر $\square\square\square$ و آزمایش میکروسکوپی.



دستگاه الکتریک سنج بتن

رادار نفوذگر:

رادار نفوذگر زمین چگونگی عملکرد : یک رادار قابل حمل روی سطح حرکت کرده در حالی که همزمان ضربانات الکترومغناطیس را اعمال میکند . این ضربانات و انتقال دهنده دستگاه بر میگردد. خلل و فرج داخلی بوسیله ی سیگنال واکنش نشان میدهند. این بازگشت بستگی به خواص الکتریکی مواد دارد که تحت تاثیر رطوبت بتن و میزان رطوبت داخلی است. موارد استفاده : تعیین کننده ی سطوح لایه لایه شده و دارای خلل و فرج است. نقاط قوت : این تست خیلی سریع است و نتایجش دقیق تر از بقیه تست ها می باشد. نقاط ضعف : این تست گران است . نتایجش ممکن است با رطوبت بتن و آرماتور های درون آن تغییر کند. نیاز به کالیبره کردن در محل کار دارد و نتایج آن نیاز به پرسنل با تجربه دارد.

التراسونیک:

سرعت صوت و چگونگی کارکرد : موجهای ضربات التراسونیک بوسیله ی یک دستگاه قابل حمل اعمال میشود . صدمات داخلی و حفرات داخل بتن موج دیگری را ایجاد میکند. این دستگاه به صورت دیجیتالی آن نیز موجود است. موارد استفاده : خیلی مفید برای پیدا کردن آسیب های داخلی ترک ها و حفرات و همچنین برای تخمین مقاومت فشاری است. مدول الاستیسیته و کیفیت بتن نیز میشود از آن حدس زد.

نقاط قوت : این دستگاه ارزان است و نتایج مناسب تری نسب به بقیه ی دستگاه ها بدست می آید. نقاط ضعف : نیاز به تجربه اپراتور دارد و نتایج بوسیله ی پرسنل تعلیم دیده به صورت دقیق باید بررسی شود . وزن مخصوص تاثیر در نتایج دارد.

محاسبات تست التراسونیک:

سرعت ضربان صوت = مسافت طی شده روی زمان است که بوسیله ی دستگاه های مدرن التراسونیک مانند گالوا پلس (Galv Pulse) خوانده میشود. در فرمول زیر به مقادیر مدول الاستیسیته ی دینامیکی دست یافته میشود و از آنجا به مقاومت فشاری بتن رسیده می شود.

$$E_d = PV^2$$
$$E = 5000 \sqrt{\sigma}$$
$$E_d = PV^2 \frac{(1 - \gamma) - (1 + \gamma)}{1 - 2\gamma}$$

E_d = مدول الاستیسیته دینامیکی

P = وزن مخصوص المان

V = سرعت صوت

σ = مقاومت فشاری بتن

γ = ضریب پواسون

در این تست فرستنده و گیرنده به سه طریق می توانند میزان ضربات صوت را تعیین کنند :

طریق مستقیم فرستنده به یک طرف المان و گیرنده در مقابل آن در طرف دیگر قرار می گیرد.

طریق دیگر غیر مستقیم است به علت عدم دسترسی و فرستنده به یک طرف المان متصل و طرف دیگر به ضلع جانبی متصل می شود.

طریق سوم موازیست که فرستنده و گیرنده به فاصله ی بیست سانتی یکدیگر متصل می شود.

قابل ذکر است سطح زیرین گیرنده و فرستنده بایستی کامال تمیز و معمولاً از گریس یا مایع رقیقی استفاده میشود.

پاندیت تست



Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester

The Pundit family of Ultrasonic Pulse Velocity (U.P.V.) instruments is accepted, by users throughout the world, as the industry standard for non-destructive concrete testing. Pundit Plus is the new generation unit, taking advantage of the latest microprocessor technology, to meet today's increasing demands for accuracy, reliability and ease of use.

- Ruggedly built for on-site reliability
- Simple, speedy operation
- Integral RS 232 interface
- Auto memory store for readings
- Large LCD display
- CE marked



خرابی پارکینگ گاراژ در اثر اشتباه در طراحی و اجرا

مباحث مربوط به مقاوم سازی با استفاده از الیاف تقویت کننده پلیمری:
خمشی ، برشی ، محوری ، سازه های فلزی



کربن : باندینگ پلیت □□□□ ، نحوه های اجرا و نصب



برش کارگاهی پلّیت کربن



پولیش پلّیت



چسب اپوکسی



مقاوم سازی تیر و دال



غلطک جهت گذر هوا



شیت یا پارچه $\square\square\square$: پارچه های کامپوزیت ، نحوه های نصب



برش کارگاهی شیت کربن



نحوه نصب شیت



اعمال لایه دوم

پروژه های مقاوم سازی شده با FRP :

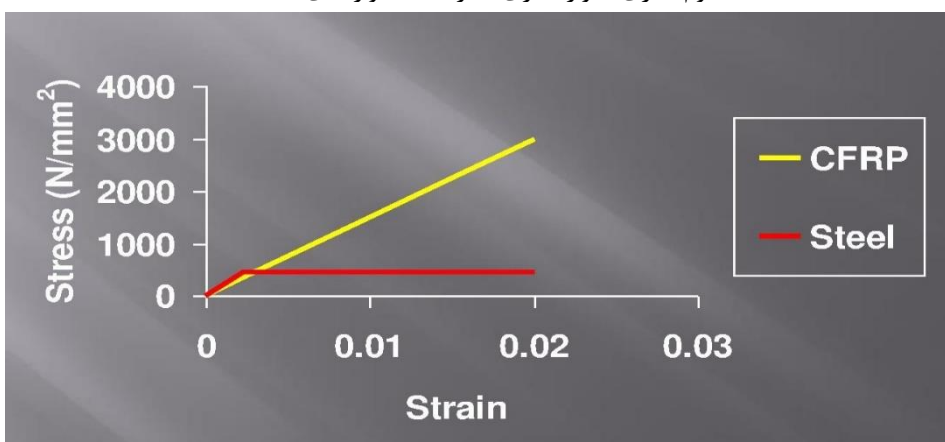
بیمارستان کینگز کالج لندن - زیر گذر میسندن در باکینگهام - پل دادلی در سندول مقاوم سازی قبل از نصب آسانسور در مرکز تجاری در کریدون و پورتنس موث ساختمان اداری در موهلی باچستر سوئیس- پل بایبل در کریستین در کورن ول بریتانیا و در نهایت بیمارستان آریا در اهواز.



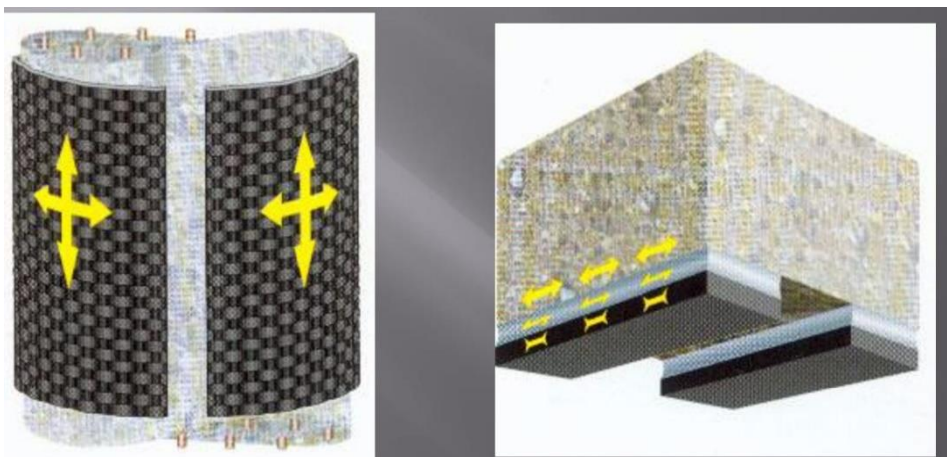
مقاوم سازی تیر، ستون و سقف بتنی بیمارستان آریا اهواز با سیستم FRP



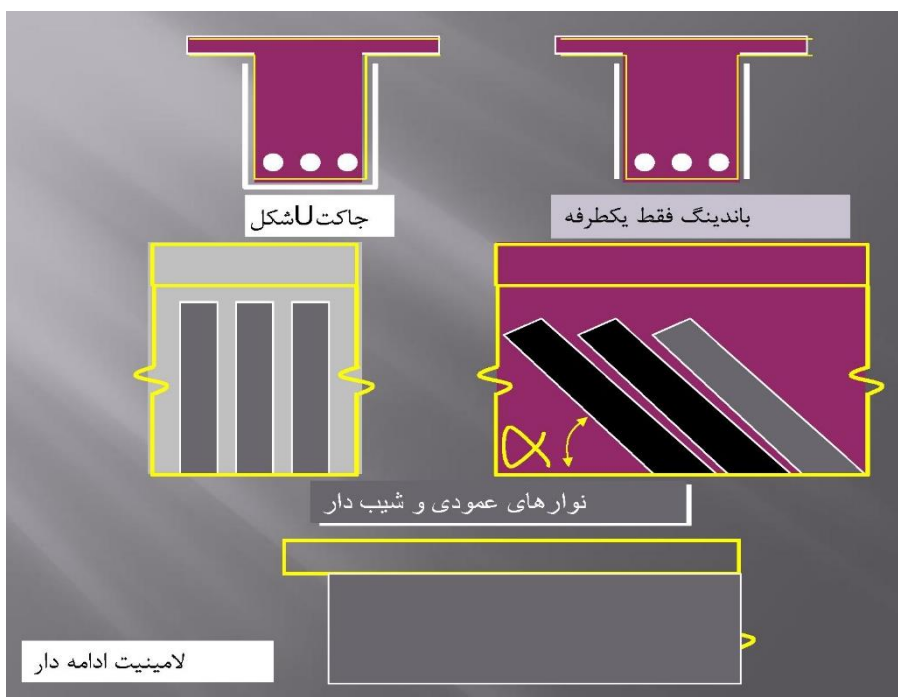
مقاوم سازی دیوار آجری با برسینگ نوار های CFRP



نمودار مقایسه ای کرنش / تنش فولاد و الیاف کربن



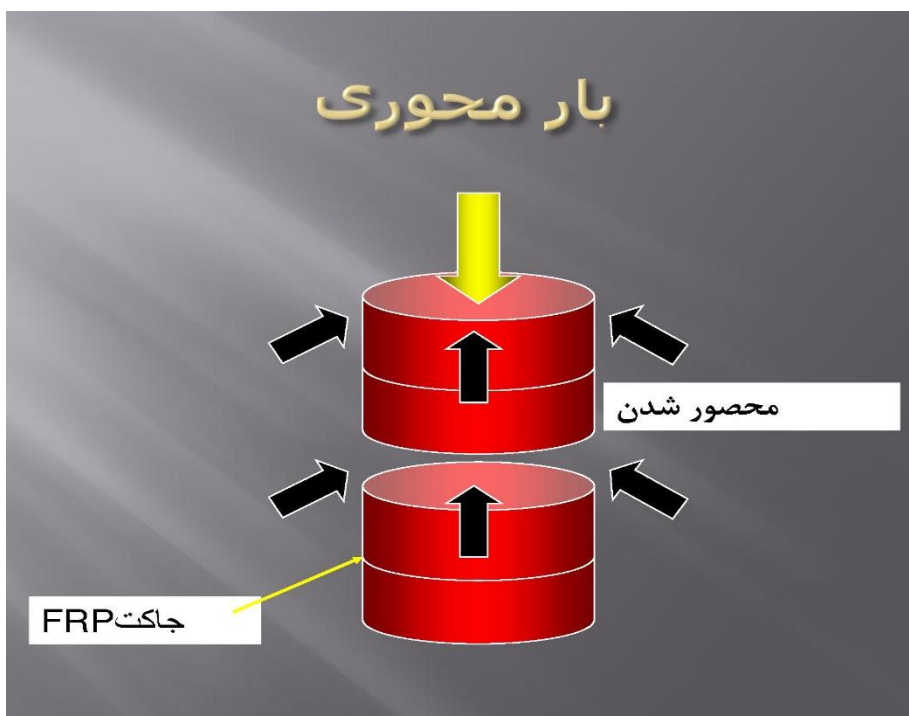
جهت الیاف در پارچه و پلیت



مقاوم سازی برشی با FRP



حالت خرابی در FRP در اثر بار محوری



ساختار مقاوم سازی ستون با FRP

نتیجه گیری:

کامپوزیتها ، مقاوم ، سبک و قوی هستند.
 کامپوزیتها مناسب برای مقاوم سازی، صرفه جویی در هزینه ساخت، ایمن؛ اگر درست طراحی، نصب و نگهداری شوند.

فصل دوم :

راهکارهای تعمیر و تقویت سازه های بتن مسلح

۱-۲- بخشهای تشکیل دهنده تعمیر و تقویت سازه ها

تعمیر و تقویت سازه ها به طور کلی شامل موارد ذیل میگردد:

۱-۱-۲- تعمیر و تقویت، به طور وسیع، در مورد فونداسیون، کف، دیواره، سقف و ستون

۱-۱-۱-۲- انواع مواد تعمیری بتن

الف- مواد تعمیری بتن، از نوع پلیمری

با استفاده از ملات ترمیم پلیمری بتن، توانایی انجام برنامه های تعمیراتی را داریم که تا پیش از این بسیار سخت و یا غیرممکن بودند. با ملات ترمیم کننده پلیمری بتن میتوانیم در طیف وسیعی از ساختمانها و اجزای سازه های بتنی دست به کار تعمیر و بازسازی بزنیم. این مصالح ترمیم بتن بر پایه استفاده از ترکیبات پلیمری توانایی کاملی برای هرچه مقاومتر کردن بتن در مقابل عوامل فرسایشی مانند آب و مواد شیمیایی تهاجمی، هوازدگی طولانی مدت و خراشیدگی ایجاد میکند.

ب- مواد تعمیری بتن، از نوع سیمانی

معمولا ملات تعمیری بر پایه سیمان و آماده مصرف میباشد، که پس از افزودن آب لازم، خمیر تعمیری دارای الیاف و لاتکس خشک، مقاومت بالایی به وجود میآورد. ترمیم کننده های بتن بر پایه سیمان و لاتکس ملاتی بدون انقباض بوده که نفوذ پذیری کم و دوام طولانی برخوردار میباشند. این ملات فاقد گرانولهای فلزی بوده و عاری از یون کلر میباشد.

ب-۱- موارد استفاده و کاربردهای مواد تعمیری بتن، از نوع سیمانی

ب-۱-۱- تمامی موارد تعمیر سازه ای که قابلیت استفاده پاششی یا ماله کشی را داشته باشند.

ب-۱-۲- تعمیر تمامی اجزای ساختمانی که تحت بارگذاری مکرر میباشند.

ب-۱-۳- تعمیر تیر و ستون پیش تنیده یا مسلح شده

ب-۱-۴- به منظور محافظت از مقاوم سازی سازههای بتنی در معرض عوامل مهاجم چون کلراید و سولفات

ب-۱-۵- تعمیرات سازه های در مناطق صنعتی به ویژه آنهایی که در معرض روغنهای معدنی و روغن هیدرولیکی میباشند.

ب-۱-۶- تعمیر سازه های دریایی

پ-مواد تعمیری بتن، از نوع قیری

کاربرد مواد تعمیری بتن، از نوع قیری، در درزبندی درزهای متحرک در سازه ها میباشد. مواد تعمیری بتن، از نوع قیری انواع مختلفی هستند، که هر یک بسته به شرایط، میتوانند مفید و موثر باشند، و هر کدام با توجه به نوع خرابی، میتوانند جهت تعمیر، مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۱-۱-۲- مراحل تشخیص خرابی در سازه ها

الف- جمع آوری اطلاعات تاریخی

ب- بازرسی صوتی، که خود شامل آزمایشهای درجا، نظیر چکش اشمیت و ضربه چکش، آزمایشهای لابراتوری، آزمایشهای بحرانی و مقایسه کلیه اطلاعات جمعآوری شده، و در نهایت، تشخیص خرابی، میشود.

پ- بازرسی چشمی

۲-۲- خوردگی^۱، خرابی^۲ و ترک^۳ در بتن

یکی از مشکلات مهم و به عبارت دیگر، اولین مشکلی که ممکن است در بتن ایجاد گردد، خوردگی در بتن میباشد. خوردگی در بتن به قدری مهم و حیاتی میباشد که سالانه در جهان بیش از ۱۰ ها بلیون دلار، صرف مقابله و رفع آن میگردد.

۲-۲-۱- راهکارهای مقابله با خوردگی بتن مسلح و ایجاد تاخیر در آن

۲-۱-۱-۲- افزایش کاور بتن

در ارتباط با موضوع خوردگی بتن مسلح، باید به این نکته توجه داشت که علت ۸۰ درصد خوردگی بتن مسلح (RC)^۱، بهوجود آمدن مشکلات گوناگون در آرماتورهای آن میباشد. یکی از راهکارهای مقابله با خوردگی بتن مسلح و ایجاد تاخیر در آن، افزایش کاور بتن مسلح، میباشد. ^{PH} بتن هنگام بتن ریزی باید ۱۲ الی ۱۲٫۵ باشد، زیرا در هنگام بتن ریزی به واسطه وجود سدیم، پتاسیم و کلسیم، در بتن، محیط قلیایی میشود.

¹corrosion

²Failure

³crack

در صورت نفوذ کلرید به درون بتن، و یا کربناسیون در بتن، لایه غشایی شکسته شده و PH، کاهش مییابد. با کاهش PH در بتن، محیط رو به اسیدی شدن میرود و شرایط خوردگی آرماتورهای درون بتن و به واسطه آن خوردگی بتن، مهیا می گردد. افزایش کاور در مقاطع بزرگ امکان پذیر است ولی برای سازه با مقطع کوچکتر کاور اگر اضافه شود. آرماتور نقش خود را ایفا نمیکند و در تار خنثی مقطع قرار میگیرد.

علل کاهش PH بتن

الف- نفوذ کلرید

نفوذ کلرید در بتن، علت‌های گوناگونی دارد. از آن جمله میتوان به وجود کلرید در آب باران، سنگدانه ها، آب مصرفی بتن و نمک ضد یخ اشاره نمود، که وجود کلرید در هر کدام از این مواد، میتواند سبب نفوذ کلرید بیشتر به بتن گردد.

ب- کربناسیون

کربناسیون در بتن به علت واکنش دادن دی اکسید کربن (CO_2)، با هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ ، در بتن میباشد.

نکته- در ساخت سازه‌های دریایی بتنی، حداقل ۶ تا ۷ سانت کاور بتن، لازم میباشد.
نکته: تولید یک کیلوگرم کلینکر سیمان، ۹۶۰ کیلوگرم دی اکسید کربن، (CO_2) تولید مینماید.

۲-۱-۲-۲- استفاده از بتن با مقاومت بالا

به منظور به دست آوردن بتن با مقاومت بالا، از پوزولان (میکروسیلیس) استفاده میگردد. به عنوان مثال، افزودن ۳۰ کیلوگرم میکروسیلیس به بتن با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع یا ۳۰ مگاپاسکال، مقاومت آن را به ۷۸۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع یا ۷۸ مگاپاسکال، میرساند. از آنجایی که مواد پوزولانی، برای افزایش مقاومت بتن، به بتن جایگزین قسمتی از سیمان میشوند و همچنین خاصیت سیمانی دارند، به آنها مواد سیمانی تکمیلی (کمکی) (SCM)^۴، گفته میشود. یکی از انواع مواد پوزولانی، میکروسیلیس میباشد. میکروسیلیس حتماً باید به صورت ژل، در بتن مورد مصرف قرار گیرد، زیرا استفاده آن به صورت خشک تأثیری در مقاومت بتن نخواهد داشت. پودر میکروسیلیس حتماً باید با آب مخلوط شود و به ژل میکروسیلیس تبدیل گردد و سپس درون بتن مورد استفاده قرار گیرد. ژل میکروسیلیس اقدام به پر نمودن منافذ بتن نموده و بتن را آب بند می نماید. پودر میکروسیلیس به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد وزن سیمان و به جای سیمان، درون بتن،

^۴Supplementary Cementing Material(SCM)

مورد استفاده قرار می گیرد و اگر به صورت ژل میکروسیلیس درون بتن استفاده شود، به میزان ۶ تا ۷ درصد وزن سیمان و به جای سیمان، درون بتن مورد استفاده قرار میگیرد. میکروسیلیس از فروسیلیس به دست میاید. همانگونه که قبلا نیز اشاره شد، جهت تولید ژل میکروسیلیس، پودر سیلیس را به نسبت یک به یک با آب مخلوط نموده و به دقت هم میزنیم، تا ژل میکروسیلیس به دست آید.

۲-۲-۲- علل خرابی سازه های بتنی

۲-۲-۲-۱- فیزیکی

انواع خرابی فیزیکی بتن را میتوان به دو دسته تقسیم نمود؛ الف- دسته اول خرابی فیزیکی بتن شامل فرسودگی سطحی یا کاهش جرم است. میتوان به عواملی مثل سایش، فرسایش و خلا زدایی اشاره نمود. ب- دسته دوم خرابی فیزیکی بتن، واکنش قلیایی سنگدانه ها میباشد.

۲-۲-۲-۲- شیمیایی

الف- خرابی شیمیایی سازه بتنی، در اثر واکنش به علت نفوذ کلرید

نفوذ کلرید در بتن، علت اول خرابی شیمیایی سازه بتنی میباشد. به علت تأثیری که نفوذ کلرید در بتن، بر آرماتور درون بتن میگذارد، سبب اکسید شدن آرماتور میگردد، این اکسید شدن باعث افزایش حجم آرماتور میشود و این افزایش حجم آرماتور به بتن فشار وارد نموده و سبب ترک خوردگی و خرابی بتن میگردد. کلرید موجود در آب باران، سنگدانه ها، آب مصرفی بتن و نمک های ضد یخ، میتواند سبب ایجاد خرابی شیمیایی سازه، بر اثر نفوذ کلرید در بتن گردد.

ب- خرابی شیمیایی سازه بتنی، در اثر واکنش به علت نفوذ کربناسیون

کربناتی شدن بر اثر نفوذ گاز دی اکسید کربن به جسم بتن و واکنش آن با هیدروکسید کلسیم موجود در خمیر سیمان، صورت میگیرد که در نتیجه فعل و انفعال شیمیایی، با ترکیبات داخل بتن، صورت میگیرد. و به وسیله فنل فتالین، مشخص میگردد. به این صورت که رنگ خاکستری، نشانه کربناته شدن بتن و رنگ ارغوانی نشانه کربناته نشدن بتن میباشد. برای جلوگیری از کربناتی شدن بتن، سازه بتنی باید دارای نفوذپذیری کم باشد.

جهت تشخیص خرابی شیمیایی سازه بتنی از تست شیمیایی E_{30} , ASTM استفاده میشود.

۳-۲-۲-۲- مکانیکی

علت خرابی مکانیکی سازه بتنی، قرارگیری بار و نیروی بیش از حد، بر روی سازه بتنی میباشد. برای تشخیص علت خرابی سازه بتنی، ابتدا باید تست هایی بر روی بتن انجام شود.

همچنین جهت بررسی خرابی بتن ابتدا باید با چشم، سازه را بررسی نمود و محل اتصالات و نواحی بحرانی را مورد بررسی قرار داد. اگر خرابی و ترک فعال^۵ باشد، یعنی عامل ترک خوردگی موجود میباشد، میبایست از روش مخصوص به آن جهت رفع ترک استفاده شود و اگر ترک و خرابی غیر فعال^۶ باشد، یعنی عامل ترک خوردگی موجود نمیشود، میبایست از روش مناسب جهت رفع ترک غیرفعال استفاده گردد.

و اگر ترک نهفته^۷ بود، از روشهای مخصوص به رفع ترکهای نهفته، استفاده نمود. ترک نهفته ممکن است بعد از تعمیر موضعی بوجود آیند.

۳-۲-۲-۳- راهکارهای مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن

۳-۲-۲-۱- راهکار اول مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن، افزایش کاور بتن میباشد. حداقل اندازه مناسب جهت کاور بتن، به طور تقریبی ۶۰ میلیمتر میباشد.

۳-۲-۲-۲- دومین راهکار مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن، استفاده از میلگرد گالوانیزه میباشد. آغشته کردن آرماتور با فلز مذاب روی باعث گالوانیزه شدن می شود. فلز روی آند فدا شونده است.

۳-۲-۲-۳- سومین راهکار مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن، استفاده از میلگرد FRP^۸ میباشد.

۳-۲-۲-۴- راهکار چهارم مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن، استفاده از روکش اپوکسی بر روی آرماتورها میباشد.

۳-۲-۲-۵- راهکار پنجم مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن، استفاده از مواد متوقف کننده خوردگی^۹ (پنترون)، میباشد.

۳-۲-۲-۶- راهکار ششم مقابله با خوردگی و اکسید شدن آرماتورهای درون بتن، استفاده از روش حفاظت کاتدیک میباشد.

نکته- آرماتور را نباید به صورت زنگ زده در بتن استفاده نمود.

^۵Active

^۶Passive

^۷Dormant

^۸Fiber Reinforced Polymer

^۹Corrosion Inhibitor

برای از بین بردن زنگ زدگی آرماتور، از^۱MCI (متوقف کننده نفوذ خوردگی)، استفاده میکنند. ماده‌ای به نام سولوزین لاگین، نوعی MCI است که به صورت محلول برای از بین بردن زنگ آرماتورها استفاده میشود.

۲-۲-۴- انواع ترک در بتن

۲-۲-۴-۱- ترک خمشی در بتن

هرگونه ترک در بتن، که به صورت مستقیم، از بالا به پایین و بالعکس باشد را، ترک خمشی می نامند. ترک خمشی در بتن، زمانی ظاهر میشود، که مقاومت خمشی بتن، پایین باشد و تار کششی، حداکثر عرض خود را داشته باشد. این ترک، در بتن، مقاومت کلی سازه را تحت تاثیر قرار میدهد، لذا عملیات تعمیر و ترمیم ترک در بتن، باید فوراً انجام گیرد.

۲-۲-۴-۲- ترک برشی در بتن

هرگونه ترک در بتن، که به صورت مورب باشد را، ترک برشی می نامند. علت بروز ترک برشی در بتن، نبود و یا کمبود خاموت در مقطع بتنی مورد نظر میباشد. زیرا خاموت عمل مهار برش در مقطع بتنی را انجام میدهد.

نکته: علت ۸۰ درصد خوردگی بتن مسلح، وجود مشکل خوردگی در آرماتورهای آن میباشد.

۲-۲-۵- شکل های مختلف ترک در بتن

۲-۲-۵-۱- ترکهای مویی

به ترکهایی در بتن که اندازه آن ها کمتر از یک میلیمتر باشند، ترکهای مویی، میگویند.

۲-۲-۵-۲- ترکهای باریک

به ترکهایی در بتن، که اندازه آنها، از ۱ میلیمتر تا ۵ میلیمتر میباشد، ترکهای باریک، میگویند. ۲-۲-۵-۳- ترکهای عریض به ترکهایی در بتن، که اندازه آنها، بزرگتر از ۵ میلیمتر میباشد، ترک های عریض میگویند.

نکته- ترکها در بتن، به علت از بین رفتن و باز شدن قفل و بست سنگدانه ها، به وجود می آیند. نکته- یکی از راهکارهای تاخیر در خوردگی بتن، این است که، بعد از ریختن بتن، به واسطه وجود سدیم، پتاسیم و کلسیم، درون بتن، آن محیط قلیایی میشود و به همین علت، مانع از زنگ زدگی آرماتور درون بتن مسلح، میگردد، و از تخریب بتن در نتیجه افزایش حجم آرماتورها به علت زنگ زدگی، جلوگیری مینماید.

^۱Migrating Corrosion Inhibitor (MCI)

^۲Aggregates Concrete Interlock

نکته- جهت بررسی خرابی سازه ها، ابتدا با چشم آشنا^۱ و مجرب، سازه را بررسی نموده و سپس آن را المان بندی مینماییم، به عنوان مثال؛ ابتدا از کف شروع به بررسی، مینماییم و توجه میکنیم که کف، دچار نشست نشده باشد، (نشست کف به علت عدم کوبش مناسبتر میباشد)، و به ترکهای کف توجه میکنیم.

ترکهای کف معمولاً ترکهای خمشی یا ترکهای برشی یا ترک در اثر نشست، میباشد. پس از آن، سقف را بررسی نموده و سپس دیوارها، ستونها، اتصالات بین ستون و تیرها و همچنین نقاط بحرانی تیرها را نیز بررسی مینماییم.

باید به یاد داشته باشیم که جهت سنجش خرابی در سازهها، باید ابتدا از تستهای غیر مخرب، استفاده نمود.

نکته- وجود ترک در دیوارها، کناره ها و یا بازشوها، نشانه نشست میباشد، و برای تعمیر و رفع آن نشستها، از روش دوخت از زیر^۲ استفاده مینماییم.

نکته- تزریق پلی اورتان^۳ سبب کشیده شدن سازه، به سمت بالا میشود.

نکته- نشست، در اثر خزش^۴ سازه در طول زمان، رخ میدهد.

ترک فعال در حال گسترش است در غیر این صورت ترک غیر فعال میباشد. در مواقعی جهت تشخیص فعال یا غیرفعال بودن ترک از گچ و ورق کاهی نیز استفاده میشود. در صورتی که ترک موجود در سازه بتنی ترک فعال بود، میبایست آن ترک را با مواد پایه سیمانی مخصوص (ملات تعمیری بیس سیمانی)، ترمیم نمود، و برای برطرف کردن مشکل ترکهای فعال، از اپوکسی به علت شکننده بودن آن، نمیشود استفاده نمود.

همچنین برای ترمیم و رفع ترکهای منفعل یا غیر فعال از مواد پایه پلیمری (بیس پلیمری) استفاده میگردد. ترکهای نهفته همانگونه که از نام آنها مشخص میباشد، ترکهایی هستند که به راحتی به مانند ترکهای فعال و غیرفعال مورد شناسایی قرار نمیگیرند. ترکهای نهفته زمانی مشخص میگردند، که در حال تعمیر ترکی فعال یا غیرفعال میباشیم که در اثر تعمیر آن ترکهای فعال و غیرفعال ترک دیگری پدیدار میگردد، که به آن ترک، ترک نهفته گویند. باید به این نکته توجه نمود، که بیش از ۱۶۰۰ نوع ماده تعمیری موجود میباشد.

^۱Visual Observation

^۲Under Pinning

^۳Poly Urethane (PU)

^۴Creep

۲-۲-۶- روشهای تعمیر ترکها

۲-۲-۶-۱- پر کردن با مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری

برای این منظور، از هر طرف ترک، به طول ترک و عرض ۳ میلیمتر و عمق یک سانت، برش ایجاد نموده و درزی در آن ایجاد می نمائیم، و به وسیله مواد پرکننده پایه سیمانی یا پایه پلیمری، درز ایجاد شده را، پر مینماییم.

نکته- وجود ترک در دیوارها، کنارهها و یا بازشوها، نشانه نشست میباشد، و برای تعمیر و رفع آن نشستها، از روش دوخت از زیر^{۱۶}، استفاده مینماییم.

نکته- تزریق پلی اورتان^{۱۷}، سبب کشیده شدن سازه، به سمت بالا میشود.

نکته- نشست، در اثر خزش^{۱۸} سازه در طول زمان، رخ میدهد.

جهت تشخیص فعال یا غیرفعال بودن ترک، ابتدا دور ترک، به وسیله ماژیک خط کشید، پس از گذشت چند روز مجدد محل ترک را بررسی نمود اگر ترک حرکت کرده بود و از محدوده مشخص شده توسط ماژیک

عبور کرده بود، آن ترک فعال است در غیر این صورت ترک غیر فعال میباشد. در مواقعی جهت تشخیص فعال یا غیرفعال بودن ترک از گچ و ورق کاهی نیز استفاده میشود. در صورتی که ترک موجود در سازه بتنی

ترک فعال بود، میبایست آن ترک را با مواد پایه سیمانی مخصوص (ملات تعمیری بیس سیمانی)، ترمیم نمود، و برای برطرف کردن مشکل ترکهای فعال، از اپوکسی به علت شکننده بودن آن، نمیشود استفاده نمود.

همچنین برای ترمیم و رفع ترکهای منفعل یا غیر فعال از مواد پایه پلیمری (بیس پلیمری) استفاده میگردد.

ترکهای نهفته همانگونه که از نام آنها مشخص میباشد، ترکهایی هستند که به راحتی به مانند ترکهای فعال و غیرفعال مورد شناسایی قرار نمیگیرند. ترکهای نهفته زمانی مشخص میگردند، که در حال تعمیر ترکی فعال یا غیرفعال میباشیم که در اثر تعمیر آن ترکهای فعال و غیرفعال ترک دیگری پدیدار میگردد، که به آن ترک، ترک نهفته گویند. باید به این نکته توجه نمود، که بیش از ۱۶۰۰ نوع ماده تعمیری موجود می باشد.

^{۱۶}Under Pinning

^{۱۷}Poly Urethane (PU)

^{۱۸}Creep

۲-۶-۲-۲- تزریق مواد سیمانی یا پلیمری

یک کف یا یک تیر بتنی ترک خورده را در نظر بگیرید، جهت رفع و برطرف نمودن ترک به وجود آمده، در ابتدا و انتهای ترک، سوراخهایی به قطر ۶ میلیمتر ایجاد مینماییم. سپس جهت سهولت تزریق مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری، در طول ترک نیز سوراخهایی را ایجاد مینماییم. و سپس مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری را به درون سوراخ اول تزریق نموده، و این کار را تا زمانی انجام میدهیم که روی ترک با چسب سیکیدل می پوشانیم. مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری، از سوراخ بعدی خارج گردد، و این کار را تا آخرین سوراخ ایجاد شده در مسیر ترک، ادامه میدهیم تا تمامی ترک به وسیله مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری پرگردد. باید توجه نمود فشار تزریق، از یک سوم مقاومت بتن محل تزریق بیشتر نگردد، زیرا سبب وارد آمدن فشار به محل تزریق میگردد. شعاع تزریق (فاصله بین سوراخها) را به دو صورت میتوان تعیین نمود در روش اول شعاع تزریق (فاصله بین سوراخها) را میتوان به صورت تخمینی و بر اساس تجارب گذشته، در نظر گرفت و در روش دوم میتوان به وسیله رابطه مخصوص، شعاع تزریق را به دست آورد.

شعاع تزریق از رابطه زیر به دست می آید؛

$$r = 0.6 \sqrt{\frac{qt\Omega g}{n\Omega w}}$$

r = شعاع تزریق

q = فشار تزریق بر حسب kg/cm^2

t = زمان تزریق

Ωg = ویسکوزیته مواد تزریق

n = ضریب خلل و فرج بتن (وزن خشک / وزن اشباع)

Ωw = ویسکوزیته آب (ویسکوزیته آب معمولاً ۱ (یک) است)

نکته: تجربه نشان داده است، بهترین فاصله بین سوراخها در مسیر ترک، جهت انجام عمل تزریق، برابر با ۳۰-۲۰ سانتی متر میباشد.

نکته- هر چه ضریب خلل و فرج (n) بیشتر باشد، شعاع تزریق کمتر میگردد.

جهت انجام عمل تزریق مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری، پس از ایجاد سوراخهای مورد نظر در مسیر ترک، بین سوراخهای اول و دوم ایجاد شده در مسیر ترک را به وسیله چسب کاغذی، نواری و یا سیلیکونی می پوشانیم و نیز تکرار مینماییم، تا کل ترک به وسیله مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری، پر گردد.

نکته- پکر، درپوش قیف ماندنی است که، درون سوراخ ترک قرار گرفته و موادی را که جهت تزریق درون ترک میباشد را، به درون سوراخ هدایت تا در هنگام تزریق، مواد به بیرون ترک، نفوذ ننماید.

سپس در محل سوراخ اول یک عدد پکر (قیف درپوش) قرار می‌دهیم و از محل پکر، اقدام به تزریق می‌نماییم، و این کار را تا زمانی که مواد پایه سیمانی یا پایه پلیمری از سوراخ دوم بصورت سیال خارج گردد، ادامه می‌دهیم. روال را به این ترتیب برای سوراخهای بعدی مینمایم، و معمولاً از جنس PVC^{۱۹} میباشد، تا منعطف تر باشد، و به دیواره سوراخ محل تزریق، فشار وارد ننماید.

۲-۶-۳- دوختن به وسیله آرماتور دو سر خم یا تسمه

هنگامی که در سازه، ترکهای بزرگ و عمیقی ایجاد میشود که به وسیله روشهای معمول، قابل تعمیر نیستند، از روش دوختن به وسیله آرماتور دو سر خم، استفاده میشود. به این صورت که در دو طرف ترک سوراخهایی را ایجاد نموده و سپس درون سوراخها را با مواد چسبنده مخصوص پر میکنیم و سپس آرماتورهای دوسر خمی را که از قبل آماده کرده بودیم، درون سوراخها قرار داده و بدین وسیله ترکها را تعمیر و از گسترش آنها جلوگیری میکنیم.

نکته حائز اهمیت در تعمیر و تقویت سازه ها، این است که، اگر هزینه تعمیر، حداکثر، دو پنجم یا ۴۰ درصد کل هزینه دوباره سازی گردد، تعمیر و تقویت مورد قبول میباشد، در غیر این صورت سازه باید مجدد ساخته شود. چرا که تعمیر و تقویت هیچگاه سازه را به شرایط ۱۰۰٪ اولیه بر نمی گرداند.

۲-۳- آزمایشهای بتن

یکی از موارد مهم در تعمیر و تقویت سازه ها، آزمایشهای بتن، میباشد. به وسیله آزمایشهای بتن، میتوان میزان مقاومت بتن را سنجید و در صورت وجود مشکل، آنرا تشخیص داده و در جهت رفع آن اقدام نمود.

۲-۳-۱- انواع آزمایشهای بتن

۲-۳-۱-۱- آزمایشهای مخرب بتن^۲

آزمایشهای مخرب بتن عبارتند؛

الف- مغزه گیری یا کرگیری

کر^۳، به معنای هسته، به عملیات ایجاد یک حفره یا خارج کردن قسمتی از بتن به شکل استوانهای اشاره دارد. این روش آزمایش مخرب، روی بتن معمولی و تقویت شده با ایجاد حفره در بتن به وسیله دستگاه مخصوص کرگیری (شکل ۲-۱)، و تهیه نمونه های استوانهای، جهت آزمایش (شکل ۲-۲)، در محل پروژه و بررسی ویژگیهای مختلف در آزمایشگاه بتن، انجام میشود.

^{۱۹}Poly Vinyl Chloride (PVC)

^۲Destructive Testing of Concrete (DT)

^۳Core



(شکل ۱-۲) ایجاد حفره در بتن به وسیله دستگاه مخصوص کرگیری



(شکل ۲-۲) نمونه های استوانه‌ای به دست آمده از دستگاه مخصوص کرگیری

سپس نمونه به دست آمده از کرگیری را به صورت ایستاده قرار می‌دهیم و مقاومت فشاری آن را به دست می‌آوریم.

دو روش برای تعیین مقاومت فشاری نمونه به دست آمده از کرگیری وجود دارد.

روش اول قرار دادن نمونه درون دستگاه آزمایش مقاومت فشاری بتن، و اعمال نیرو تا مرحله تسلیم و تخریب بتن می باشد. نیروی به دست آمده از تخریب نمونه کرگیری شده را، بر سطح مقطع نمونه تقسیم مینماییم، در نتیجه مقاومت فشاری نمونه کرگیری شده، به دست خواهد آمد.

روش دوم قرار دادن نمونه کرگیری شده در آزمایش کشش مستقیم می باشد، بدین منظور ابتدا و انتهای قطعه بارگیری شده را به وسیله Dolly (قطعه‌های که به بالا و پایین نمونه کرگیری شده متصل میشود) توسط چسب اپوکسی می چسبانیم و اقدام به کشش Dolly و در نتیجه کشش بتن، مینمایم. نیروی به دست آمده در اثر تخریب و تسلیم بتن را، بر سطح مقطع نمونه گیری شده تقسیم نموده و مقاومت فشاری را به دست می‌آوریم.

الف- ۱- نکات فنی کرگیری

الف-۱-۱- قطر مورد نظر جهت انجام عملیات کرگیری، معمولاً در اندازه های ۱۰۰ میلی متر و ۱۵۰ میلی متر، انتخاب میشوند.

الف-۱-۲- نسبت طول نمونه کرگیری شده به قطر آن، بهتر است که دو برابر باشد.

الف-۱-۳- پس از انجام عملیات کرگیری بتن، حد مجاز مقاومت بتن، جهت پذیرش، ۱۷۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد.

الف-۱-۴- هنگام کرگیری باید به این نکته توجه نمود، که قطر کر باید، حداقل یک و نیم برابر اندازه بزرگترین سنگدانه باشد.

الف-۱-۵- برای پیشگیری از قرار گرفتن آرماتور در مسیر کرگیری، با استفاده از دستگاهی به نام آرماتور یاب، محل آرماتور را شناسایی مینمایند، این عمل سبب میگردد که از محلی که در آن آرماتور وجود دارد، عمل کرگیری انجام نشود، و سعی گردد از چشمه بتن، کرگیری انجام شود، تا مته دستگاه کرگیری با آرماتورهای درون بتن، تداخل نداشته باشد، و ایجاد آسیب ننماید.

الف-۱-۶- بلافاصله پس از انجام عمل کرگیری، باید محل کرگیری شده ، به وسیله مواد مخصوص که مقاومت بتن را تامین میکنند، پر شود.

الف-۱-۷- جهت آزمایش بر روی نمونه های کرگیری شده، باید حداقل سه نمونه، از بتن مورد نظر، تهیه گردد.

الف-۱-۸- در هنگام کرگیری به سیستم خنک کننده با آب، نیاز است.

نکته- کرگیری، مرحله آخر آزمایش میباشد، و در ابتدا باید، از آزمایشهای غیر مخرب استفاده نمود.

آزمایش مقاومت کششی

این روش آزمایش مخرب بتن، برای طراحی و ساخت یک سازه به منظور اندازه گیری میزان مقاومت کششی بتن در آزمایشگاه انجام میشود.

پ- آزمایش فشاری

این آزمایش به منظور بررسی مهمترین خصوصیات بتن، یعنی مقاومت فشاری انجام میگردد. این آزمایش معمولاً پس از ۲۸ روز از نگهداری و عملآوری بتن و با تقسیم بار شکست به مساحت اعمال بار، محاسبه میشود.

آزمایش خمشی

در این روش مقاومت بتن در برابر نیروهای عمودی وارده بر تیر بتنی، بررسی میشود، در واقع در این آزمایش مقاومت بتن در برابر خم شدن به طور دقیق اندازه گیری خواهد شد که با استفاده از روش بار سه نقطه ای ASTM C۷۸ و روش بار مرکزی، ASTM C۲۹۳ انجام میشود.

۲-۳-۱-۲- آزمایشهای نیمه مخرب بتن^{۲۴}

در سالهای اخیر پیشرفتهای قابل توجهی در روشهایی پدید آمده است که درصدد ارزیابی مقاومت بتن سخت شده هستند، اما سبب ایجاد بعضی تخریبهای موضعی میشوند. این آسیب به قدری کوچک است که موجب اختلال در عملکرد سازه‌های نمیشود. همگی اینها آزمایشهای ناحیه سطح هستند که تنها نیاز به دسترسی به یک نما از بتن دارند. روشهای ترکیبی از مفاهیم مقاومت نفوذپذیری، روشهای کششی هم وجود دارند که سال هاست استفاده میشوند.

تخمین مقاومت از طریق نمودارهایی انجام میگردد که به طور کلی به تعداد متغیرهای آزمایش سرعت پالس وابسته نیستند.

مشکلاتی در برنامه و دقت وجود دارد که براساس روش، متغیر هستند اما این روشها اثبات کرده اند که در موقعیتهای زیادی ارزش قابل توجهی دارند. یک ویژگی کلیدی این است که تخمین مقاومت در مقایسه با چندین روز معطلی برای آزمایش مغزهای به سرعت انجام میگردد. البته ممکن است دقت زیاد خوب نباشد ولی آزمایش به طور قابل ملاحظه‌ای با تخریب و آسیب کمتری به سازه همراه است.

^{۲۴}Semi-Destructive Testing of Concrete (Semi-DT)

بهترین روش موجود توسط استانداردهای آمریکایی و ملی وجود دارد که در آیین نامه بتن انگلیس^۲ قسمت ۲۰۷ و گزارشی توسط انجمن آیین نامه بتن آمریکا آورده شده اند.

انتخاب روش برای موقعیتهای خاص تا حد زیادی به این وابستگی دارد که آزمایش از قبل به صورت پیش ساخته در آمده و همچنین فاکتورهای کاربردی مانند دسترسی، هزینه، سرعت و دانش قبلی از بتن هم تعیین شده باشد. همچنین این آزمایش تنها در جایی، با ساخت سطوح خوب، قابل استفاده است.

آزمایشهای نیمه مخرب بتن عبارتند از؛

الف - آزمایش چکش ویندزور

تکنیک میخ یا پیچ و مهره فولادی به درون سطح بتن، برای اتصالات به خوبی اثبات شده و مشخص است که عمق نفوذ تحت تاثیر مقاومت بتن است. یک روش تعیین مقاومت براساس این رویکرد، با استفاده از پیچ و مهره مخصوص طراحی شده و کارتریج استاندارد انفجاری، در آمریکا در طی دهه ۶۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است و با نام آزمایش آرماتور ویندزور شناخته میشود (شکل ۲-۳). این روش در آمریکا و کانادا محبوبیت یافت خصوصاً برای پایش پیشرفت مقاومت در سایت و موضوع استاندارد آمریکا است. بسیاری از مقامات در آمریکای شمالی به آن به عنوان معادلی برای محل مغزه ها می نگرند و در برخی موارد، در جای سیلندر کنترل، برای آزمایش مطلوبیت، پذیرفته میشود. استفاده از آن در خارج از آمریکای شمالی محدود شده است اما تجهیزات به راحتی در دسترس است و این روش در آیین نامه بتن انگلیس قسمت ۲۰۷ وجود دارد.

اگرچه نسبت دادن عمق نفوذ پیچ و مهره به مقاومت بتن از نظر تئوری سخت است، با این حال روابط تجربی سازگاری را میتوان یافت که عملاً تحت تاثیر تکنیک اپراتور هستند. این روش شکلی از آزمایش سختی است و اندازه ها تنها مربوط به کیفیت بتن نزدیک به سطح است، اما ادعا میشود که این ناحیه، بین حدود ۲۵ و ۵۷ میلیمتری زیر سطح است که بر نفوذپذیری تاثیرگذار است. عمق تا حد زیادی بیشتر از تعداد بازگشتها یا هر آزمایش دیگری از منطقه سطحی ایجاد شده است. یک روش با مقیاس کوچکتر نیز که در آن یک چکش ضربه ای، یک پین کوچک را به درون سطح بتن تا عمق بین ۴ تا ۸ میلی متری می فرستد پیشنهاد شده است. این آزمایش نفوذ پین در درجه اول برای تعیین مقاومت بتن سخت شده جهت مجاز بودن زمان برای برداشتن قالب است.

^۲British Standard (BS) – Structural Use of Concrete

^۳American Concrete Institute (ACI)



شکل ۲-۳ میل به بازرسی آزمایش مقاومت ویندوز (عمق نفوذ)

ب-۱- عملکرد و تجهیزات آزمایش به وسیله میل به بازرسی ویندوز

پیچ یا میل به بازرسی که درون بتن قرار دارد، از آلیاژ فولاد سخت ساخته شده است. وظیفه میل به بازرسی ویندوز، چسبندگی به بتن فشرده و اطمینان از قرارگیری محکم است. میل به بازرسی عموماً ۶/۳۵ میلی متر قطر و ۷۹/۵ میلی متر طول دارد، اما برای آزمایش بتنهای سبک وزن بولتهای با قطر بزرگ تر (۷/۹۴ میلی متر) استفاده میشود.

میل به بازرسی همچنین برای استفاده در بتنهای با مقاومت بالا به کار میروند. نوک شلیک فولادی به انتهای رشتهای بولت پیچ شده است و هدایت کننده پلاستیکی میل به بازرسی را در دهانه درایوری که از آن شلیک شده، قرار میدهد (شکل ۲-۳). درایور که در تصویر نشان داده شده است، از یک کارتریج پودر با دقت استاندارد شده استفاده میکند.

صرف نظر از جهت شلیک مقدار ثابتی از انرژی را به میل به بازرسی میدهد و سرعتی برابر با ۱۸۳ m/s تولید میکند که این سرعت بیش از ۱٪ تغییر نمیکند.

میزان مقاومت هنگام برخورد با بتن با مقاومت کم به راحتی از طریق قرار دادن میل به بازرسی در یک مکان معین در محفظه درایور قابل کاهش است. درایور به طور محکم در برابر پلیت مکانیابی فولادی تحت فشار قرار میگیرد که پلیت روی سطح بتن قرار گرفته و دستگیره ایمنی را آزاد میکند و هنگامی که ماشه کشیده شده است اجازه شلیک میدهد.

پس از شلیک، دماغه درایور و صفحه مکان یابی برداشته شده و هرگونه باقی مانده سطح اطراف میل به بازرسی خراشیده میشود تا یک سطح صاف ایجاد کند.

یک صفحه فولادی صاف روی این سطح قرار میگیرد و یک سرپوش فولادی بر روی میله بازرسی پیچ میشود تا طول نمایان قابل اندازه گیری باشد. (تا حدود ۵ میلیمتر با یک عمق سنج کالیبره فنی، مطابق شکل ۲-۴). یک دستگاه اندازه گیری الکترونیکی به این منظور استفاده میشود.



شکل ۲-۴ نحوه استفاده از دستگاه بازرسی ویندزور



شکل ۲-۵ عمق سنج کالیبره فنی

همان طور که شرح داده شد نفوذ میله بازرسی به صورت مجزا قابل اندازه گیری است یا میله های بازرسی به ترتیب در گروه های سه تایی با استفاده از یک قالب سه گوش با میله های بازرسی در مراکز ۷۷۱ میلیمتری قابل اندازه گیری هستند. در این حالت، سیستمی از صفحات اندازه گیری به کار میرود که یک قرائت میانگین طولی مشخص برای گروه میله های بازرسی را در اختیار میگذارد. ممکن است این روش ناسازگاریها و تناقضات میان تک تک میله های بازرسی را بپوشاند و بهتر است که هر میله بازرسی را به صورت مجزا اندازه گرفت.

سپس میانگین مقدار اندازه گیری شده از طول نمایان میله بازرسی با استفاده از جداول یا نمودارهای کالیبراسیون مناسب به مقاومت بتن ارتباط داده میشود. در بریتانیا تطابق با الزامات آیین نامه بتن انگلیس قسمت ۱ در مورد استفاده از واحدهای درایوینگ پودری در کنار طیفی از اقدامات ایمنی و سلامتی عنوان شده در آیین نامه بتن انگلیس قسمت ۲۰۷ ضروری است. این محدودیت ها ممکن است استفاده از این روش را در برخی موقعیتهای محدود کند.

ب-۲- روند کار در آزمایش مقاومت نفوذ به سطح بتن

ممکن است هر میله بازرسی جداگانه تحت تاثیر ذرات مصالح بسیار قوی در نزدیکی سطح بوده و در نتیجه توصیه می شود، حداقل سه آزمایش انجام گیرد، تا یک نتیجه میانگین به دست آید. اگر دامنه یک گروه شامل سه آزمایش از ۵ میلی متر تجاوز کند، باید یک آزمایش دیگر صورت گیرد و عددی که فاصله زیادی از میانگین دارد، کنار گذاشته شود. اگر چه سختی اندک سطح، اهمیت ندارد، سطوح سختتر باید قبل از آزمایش، صاف شوند و میله بازرسی باید همواره عمود بر سطح قرار داده شود. هر جا که مقاومت مکعب مورد انتظار بتن کمتر از ۲۶ نیوتن بر میلی متر مربع باشد، باید از تنظیمات با مقاومت کم استفاده شود. اما برای مقاومت های بالاتر و در جهت این نفوذ، اطمینان از جابجایی محکم میله بازرسی کافی نبوده و تنظیمات مقاومت استاندارد ضروری است.

اگر میله های بازرسی در بتن با مقاومت بسیار زیاد ثابت نماند میتوان پس از پاک سازی مستقیماً عمق سوراخ تشکیل شده را اندازه گرفت و این مقدار را از طول میله بازرسی کم کرد.

البته باید یادآور شد که این مساله مطابق الزامات آیین نامه بتن انگلیس قسمت ۲۰۷ نیست.

سازندگان این سیستم، پیشنهاد میکنند که باید حداقل فاصله لبه ۱۰۰ میلی متر حفظ شود (برای مقاومت کم، ۷۵ میلی متر) اما تجربه نشان داده است که این مقادیر همواره برای جلوگیری از ترک کافی نیست. همچنین میله بازرسی باید حداقل به طور جداگانه ۱۷۵ میلی متر باشند تا از هم پوشانی مناطق تاثیر اجتناب شود. آیین نامه بتن انگلیس قسمت ۲۰۷ فاصله لبه ۱۵۰ میلی متری و حداقل فاصله گذاری ۲۰۰ میلی متر را توصیه میکند با این محدودیت که یک آزمایش نباید در ۵۰ میلی متری یک میلگرد تقویتی مکان یابی شود.

حداقل ضخامت برای عضو بتنی هم ۱۵۰ میلی متر پیشنهاد شده است.

سختی مصالح عامل مهمی در ارتباط نفوذپذیری با مقاومت است لذا تعیین مقدار آن ضروری است. براساس مقدار سختی، مقدار سختی، به عنوان سیستمی برای طبقه بندی مواد معدنی به ده گروه از نظر سختی قابل ارزیابی است.

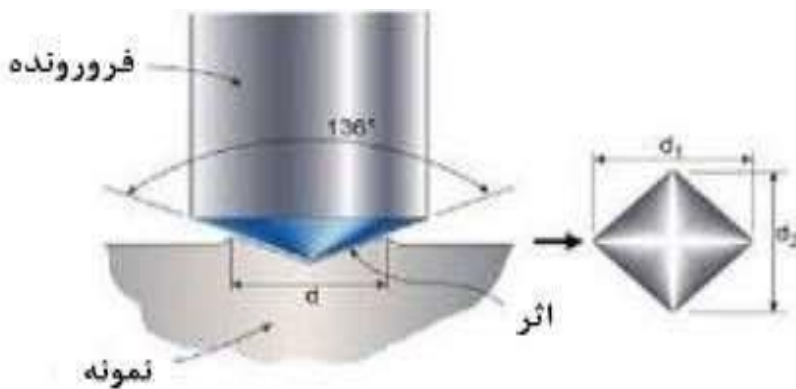
گروه ۱۰ سخت ترین و گروه ۱ نرم ترین مواد بوده، بنابراین هر ماده معدنی میتواند ماده معدنی دارای درجه پایین تر از خود را خراش دهد. آزمایش به صورت خراش دادن سطح یکی از ذرات مصالح نمونه به وسیله مواد معدنی با سختی معلوم تعریف شده است. ابتدا سخت ترین ماده از یک کیت آزمایش استفاده میشود، سپس بقیه به ترتیب کاهش سختی، تا زمانی که علامت خراش پاک شود. اولین خراش که قابل پاک شدن باشد، طبقه مصالح را نشان میدهد.

۲-۳-۱-۳- آزمایشهای غیر مخرب بتن^{۲۷}

الف- انواع آزمایشهای غیر مخرب بتن قبل از جنگ جهانی دوم

الف-۱- آزمایش بررسی مقاومت بتن درجا (برینل^{۲۸} ۱۹۳۴ میلادی)

در آزمایشهای درجا (برینل) بتن، مقاومت بتن، به وسیله فروکردن یک میخ، درون بتن، اندازه گیری میشود، بدین صورت که، عمق فرورفتگی میخ، نشانه مقاومت بتن بود (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶- آزمایش بررسی مقاومت بتن درجا (برینل)

نکته- آزمایشهای درجا، بهتر از آزمایشهای لابرآتواری میباشد. اما آزمایشهای لابرآتواری علت خرابی را بهتر و دقیق تر نشان میدهند.

^{۲۷}Non Destructive Testing (NDT)

^{۲۸}Brinell Hardness (Stiffness) Testing

الف-۲- آزمایش مانیتورینگ افت بتن، به هنگام سیکل‌های یخ زدگی و ذوب شدگی (۱۹۳۹ میلادی)

آزمایش مانیتورینگ افت بتن، به هنگام سیکل‌های یخ زدگی و ذوب شدگی، با استفاده از عنصر نیکل، انجام میگرفت.

در مواردی که احتمال ایجاد ترک در بتن، به علت سیکل‌های یخ زدگی و ذوب شدگی وجود دارد، به بتن موادی به نام هوازا اضافه مینمایند. هوازاها موادی افزودنی میباشند، مانند؛ فوق روان کننده ها. این مواد هوازا، درون بتن پخش شده و در صورت ایجاد ترک در آن، ترک به وجود آمده را از بین میبرند.

مقدار استفاده از مواد هوا زار در بتن، به میزان ۱ الی ۲ درصد وزن سیمان مورد استفاده در بتن، میباشد.

نکته- به ازای استفاده از هر ۱ درصد مواد هوا زار در بتن، و همچنین وجود هر ۱ درصد هوا در بتن، مقاومت بتن به میزان ۵ درصد، کاهش مییابد.

ب- انواع آزمایشهای غیر مخرب بتن بعد از جنگ جهانی دوم

ب-۱- آزمایش التراسونیک (ما فوق صوت) (۱۹۴۵ میلادی)

آزمایش التراسونیک آزمایشی است، که در آن با فرستادن امواج از یک سو به سوی دیگر مقطع بتنی، کیفیت بتن را مشخص مینمایند. همچنین التراسونیک در علم پزشکی نیز کاربرد دارد.

ب-۱-۱- روش انجام تست التراسونیک

روش انجام آزمایش التراسونیک بدین صورت است که یک مقطع بتنی منفرد را در نظر میگیریم، دستگاه التراسونیک دارای یک فرستنده و یک گیرنده میباشد. فرستنده را بر روی یک طرف مقطع بتنی قرار داده و دستگاه گیرنده را در طرف دیگر مقطع به موازات فرستنده قرار میدهیم. فرستنده صوت را از یک جهت مقطع به جهت دیگر ارسال مینماید و گیرنده آن را دریافت می کند. مسافت طی شده صوت از درون مقطع، بر روی زمان طی شده صوت از درون مقطع، سرعت صوت منتقل شده را مشخص مینماید.

حال با در دست داشتن مقدار سرعت صوت منتقل شده از مقطع بتنی ، وزن مخصوص بتن^۲ و همچنین مقدار ضریب پواسون^۳ و قرار دادن آنها در فرمول زیر، میتوان سختی بتن^۴ را محاسبه نمود.

$$K = \rho V^2 ((1-U) / (1+U) (1-2U))$$

$$V = L/T$$

K = سختی بتن

V = سرعت صوت منتقل شده از یک سو به سوی دیگر مقطع بتنی

L = مسافت طی شده صوت از درون مقطع بتنی

T = زمان طی شده صوت از درون مقطع بتنی

ρ = وزن مخصوص بتن معمولی

وزن مخصوص بتن معمولی از ۲۲۰۰ الی ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر میباشد

U = ضریب پواسون مقدار ضریب پواسون برای بتن معمولی ۰,۲ میباشد

$$U = - \epsilon / \epsilon'$$

ϵ' = کرنش جانبی یا کرنش عرضی

ϵ = کرنش محوری یا کرنش طولی

نکته- اگر سرعت به دست آمده در تست التراسونیک را، به توان دو نموده و سپس در وزن مخصوص بتن ضرب نماییم، مدول الاستیسیته دینامیکی بتن^{۳۳} به دست میآید.

$$Ed = \rho V^{۳۴}$$

Ed = مدول الاستیسیته دینامیکی بتن

ρ = وزن مخصوص بتن معمولی

V = سرعت صوت منتقل شده از یک سو به سوی دیگر مقطع بتنی

$$V = L/T$$

L = مسافت طی شده صوت از درون مقطع بتنی T = زمان طی شده صوت از درون مقطع بتنی

نکته- اگر مدول الاستیسیته دینامیکی بتن را در ضریب ۰,۷ (هفت دهم)، ضرب نماییم، مدول الاستیسیته استاتیکی بتن^۲ به دست خواهد آمد.

$$Ec = ۰.۷ \square \square$$

^۲Specific (Unit) Weight of Concrete

^۳Poisson's Ratio

^۴Hardness (Stiffness) of the Concrete

^{۳۳}Dynamic Modulus of Elasticity of Concrete

$$E_c = 4700\sqrt{f'c}$$

E_c = مدول الاستیسیته استاتیکی بتن

E_d = مدول الاستیسیته دینامیکی بتن

$f'c$ = مقاومت فشاری مشخصه بتن، برای بتن های معمولی با چگالی ۲۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، براساس آزمایشهای ۲۸ روزه بر روی حداقل دو نمونه استوانهای به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر. نکته- در هنگام اجرای آزمایش اولتراسونیک، باید سطح بتن که قرار است آزمایش التراسونیک بر روی آن انجام گیرد، همواره، تر باشد. همچنین فرستنده و گیرنده دستگاه التراسونیک را، به مقداری ژل آغشته نموده تا عمل چسبندگی به سطح بتنی بهتر انجام شود.

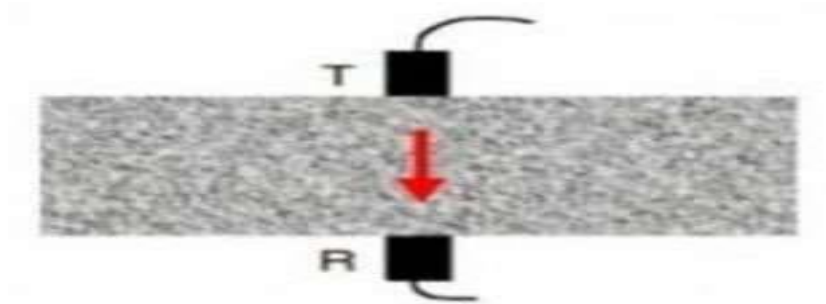
در صورتی که سرعت به دست آمده در آزمایش التراسونیک بر روی قطعه بتنی، بالاتر از ۳۰۰۰ متر بر ثانیه باشد ($V = 3000 \text{ m/s}$)، بتن از نظر کیفیت، در رده بتن خوب قرار میگیرد.

نکته-دستگاه آزمایش التراسونیک گزینه هایی نظیر، مدول الاستیسیته دینامیکی بتن، مدول الاستیسیته استاتیکی بتن و مقاومت فشاری بتن را، تعیین مینماید.

ب-۱-۲- انواع روشها جهت اجرای آزمایش التراسونیک

ب-۱-۲-۱- اجرای آزمایش التراسونیک به روش مستقیم^{۳۴}

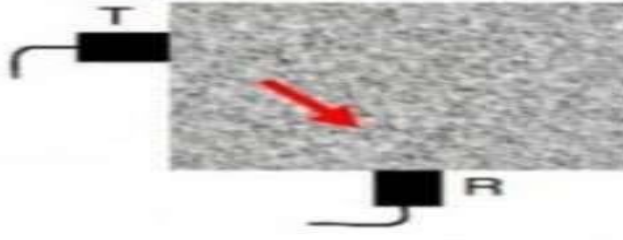
در صورتی که محل قرارگیری مقطع بتنی، به گونهای باشد که، جهت اجرای آزمایش التراسونیک، دسترسی به تمام جهات و وجوه مقطع بتنی، به راحتی امکانپذیر باشد، از آزمایش التراسونیک به روش مستقیم، استفاده مینماییم (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲ اجرای آزمایش التراسونیک به روش مستقیم

ب-۱-۲-۲- اجرای آزمایش التراسونیک به روش غیر مستقیم^{۳۵}

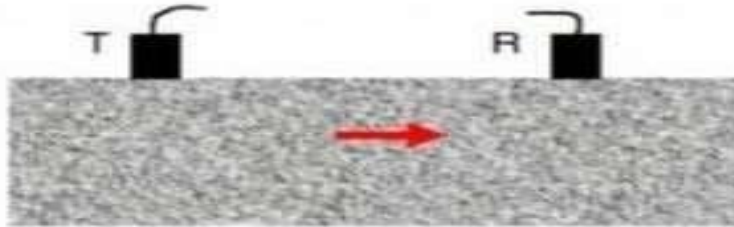
در صورتی که محل قرارگیری مقطع بتنی، به گونه‌ای باشد که، جهت اجرای آزمایش التراسونیک، دسترسی به تمام جهات و وجوه مقطع بتنی، با محدودیت همراه بوده و دسترسی کم باشد، از روش غیر مستقیم، استفاده مینماییم (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲ اجرای آزمایش التراسونیک به روش غیر مستقیم

ب-۱-۲-۳- اجرای آزمایش التراسونیک به روش موازی^{۳۶}

در صورتی که محل قرارگیری مقطع بتنی، به گونه‌ای باشد که، جهت اجرای آزمایش التراسونیک، تنها یک وجه مقطع بتنی در دسترس باشد، از آزمایش التراسونیک به روش موازی استفاده می نماییم (شکل ۹-۲).

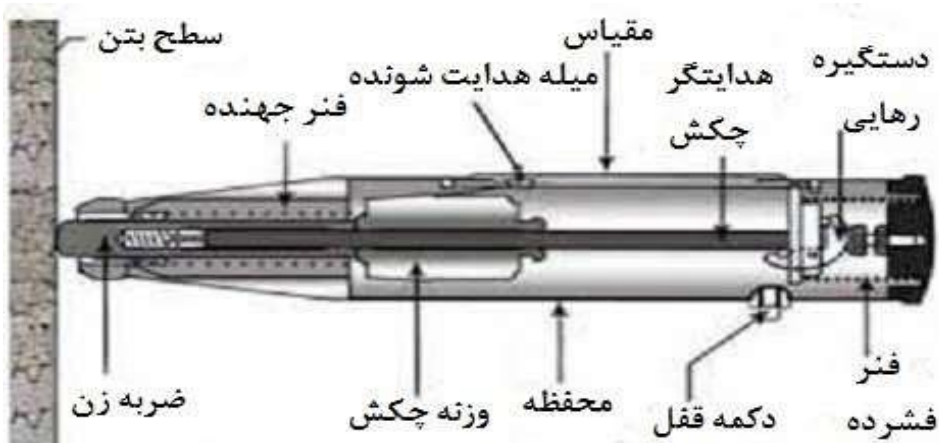


شکل ۹-۲ اجرای آزمایش التراسونیک به روش موازی

^{۳۵}Semi-Direct Ultrasonic Testing

^{۳۶}Indirect (Surface) Ultrasonic Testing

چکش اشمیت متداولترین روش تعیین سختی سطح، از روشهای آزمایش مقاوم سازی سازههای بتنی بوده، که به صورت غیر مخرب انجام میشود و به منظور اندازه گیری مقاومت فشاری بتن (fc) مییاشد (شکل ۲-۱۰).



برای تعیین مقاومت بتن، ابتدا به وسیله سمباده، سطح بتن را سمباده کشیده و صاف مینماییم. به بتن مورد آزمایش، با انرژی ضربهای مشخص، و با روش استاندارد، ضربه زده شده و پس از آن، بزرگی بازگشت این عمل اندازه گیری میشود (شکل ۲-۱۱).

یکی از نکات مهم و اولین نکته‌های که در هنگام استفاده از چکش اشمیت باید به آن توجه نمود، کالیبره بودن دستگاه چکش اشمیت، می‌باشد. نکته دوم که باید به آن توجه نمود این است که به منظور کاهش خطای دستگاه چکش اشمیت ابتدا باید به وسیله دستگاه میلگرد یا ϕ ، محل میلگردها را مشخص نمود تا خطای دستگاه چکش اشمیت به حداقل برسد.

Rebar Locator



شکل ۲-۱۱ نحوه انجام آزمایش تعیین مقاومت بتن با استفاده از چکش اشمیت

سوال- از دستگاه آرماتوریاب (میلگردیاب)، در چه مواردی استفاده میشود؟
پاسخ :

از دستگاه آرماتوریاب (میلگردیاب)، برای یافتن محل آرماتورها، در کرگیری، استفاده از چکش اشمیت و، استفاده میشود.

از دستگاه آرماتوریاب (میلگردیاب)، برای یافتن محل آرماتورها، برای پی بردن به اینکه آیا آرماتورها دقیقاً در محل خود قرار گرفته اند و نقش خود را ایفا میکنند، استفاده میشود.

نکته- از دستگاه Profometer^۱، برای یافتن محل آرماتورها و همچنین ضخامت بتن روی آرماتورها، استفاده میشود.

نکته سوم در استفاده از چکش اشمیت این است که، نتایج به دست آمده و مقاومت تعیین شده توسط چکش اشمیت، به تنهایی کافی نیست و باید نتایج به دست آمده، با نتایج آزمایش التراسونیک و یا نتایج کرگیری مقایسه شوند، بدین صورت که نموداری را که یک محور آن آزمایش چکش اشمیت و محور دیگر آن آزمایش التراسونیک و یا آزمایش کرگیری میباشد و بر روی هر محور، به وسیله اعداد شماره گذاری شده اند، رسم مینماییم. نتایج به دست آمده از آزمایش چکش اشمیت و همچنین آزمایش التراسونیک یا کرگیری را که با یکدیگر مطابقت دارند و یا به یکدیگر نزدیک هستند را بر روی نمودار علامت میزنیم، خطی که نزدیک به نتایج واقعی باشد را ^{Fit Line}، گویند، و مقدار مقاومت فشاری واقعی بتن، به دست آید، و نتیجه مطلوب، حاصل می گردد .

نکته چهارم این است که نتایج به دست آمده به وسیله استفاده از چکش اشمیت جهت یافتن مقاومت بتن با خطا همراه است، و در صورتی که ۵ تا ۶ مگاپاسکال از نتایج به دست آمده توسط چکش اشمیت کسر نماییم، به مقاومت فشاری واقعی بتن مورد نظر، خواهیم رسید. نکته پنجم این است که، آزمایش چکش اشمیت، میبایست حداقل ۱۰ بار انجام شود.

ب-۳- آزمایش تعیین بلوغ بتن

هنگامی که سیمان و آب درون بتن با یکدیگر ترکیب میشوند واکنش هیدراتاسیون آغاز میگردد، آزمایش تعیین بلوغ تعیین کننده میزان نهایی واکنش هیدراتاسیون و همچنین تعیین میزان نهایی مقاومت بتن میباشد. در این میان کیورینگ صحیح جهت رسیدن بتن در زمان مناسب، به مقاومت نهایی، بسیار اهمیت دارد. زیرا کیورینگ برای این است که بتن در زمان مناسب خود، به مقاومت برسد. کیورینگ در هنگام بتنریزی و بعد از آن انجام میشود.

ب-۳-۱- بلوغ بتن چیست

اندازه گیری مقاومت بتن در مراحل اولیه تهیه آن، امری مهم در تشخیص مقاومت نهایی بتن است. اما چالش اصلی در این خصوص یافتن راهی برای بدست آوردن داده های مقاومتی بتن به روشی ساده و سریع است. با استفاده از سنسورهای خاصی میتوان مقاومت بتن که به آن بلوغ بتن نیز گفته میشود را اندازه گیری کرد. استفاده از سنسورها روشی غیر مخرب بوده و نیازی به تخریب بتن و یا نمونه برداری آزمایشگاهی از آن نیست. بنابراین میتوان گفت که روشی بهینه است.

بلوغ بتن یک روش بدون نیاز به تخریب برای آزمایش بتن است، که به کاربر امکان میدهد آستانه مقاومت فشاری بتن را در محل و در زمان واقعی، تخمین بزند. به کارگیری این روش که در محل پروژه و بدون نیاز به استفاده از آزمایش شکست استوانه بتنی انجام میشود، بسیار بهینه و مقرون به صرفه خواهد بود.

به عبارت دیگر میتوان اینگونه بیان کرد که برای یک مخلوط مشخص از مواد تشکیل دهنده بتن، مقاومت بتن تابعی از مدت زمان آماده شدن بتن (یا همان زمان پخت و میزان دما و یا حرارت آماده سازی بتن) است. با این توصیف بلوغ بتن مفهومی است که تاثیر دما و زمان آماده سازی بتن را بر روی فرآیند هیدراتاسیون سیمان نشان داده و موجب ایجاد خصوصیات منحصر به فرد بتن، میشود. بتن در دماهای مختلف و با سرعتهای متفاوت تهیه می شود.

در نتیجه بلوغ بتن به ما این امکان را میدهد تا بتوانیم رفتار بتن در شرایط مختلف را مقایسه کنیم. بنابراین بلوغ بتن شاخصی برای تخمین مقاومت بتن است. طی آزمایشهای فراوان ثابت شده که این یک روش قابل اطمینان و با دقت بالا در تعیین مقاومت بتن است.

موسسه استاندارد ASTM معتقد است که روش استاندارد تعیین بلوغ بتن، روشی استاندارد برای تخمین مقاومت نهایی بتن بوده و بر اساس این فرض استوار است که، نمونه های یک مخلوط بتن مشخص در صورتی که از شاخص بلوغ یکسانی برخوردار باشند، مقاومت برابری دارند. یا به عبارت دیگر اگرچه بتنهای مختلف در دماهای متفاوت تهیه می شوند و مدت زمان پخت آنها متفاوت است؛ اما در صورت داشتن شاخص بلوغ یکسان دارای مقاومت برابر هستند.

بنابراین میتوان گفت بلوغ بتن شاخصی است که پیشرفت آماده سازی بتن را نشان میدهد. مقدار این شاخص با دمای بتن و مدت زمان آماده سازی آن رابطه مستقیم دارد. به عنوان مثال در صورتی که دو طرح اختلاط بتن متفاوت داشته باشیم که یکی در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۱۰ روز و دیگری در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، به مدت ۵ روز ریخته شوند، دارای شاخص بلوغ یکسان و در نتیجه مقاومت بتن برابر هستند. بدیهی است هرچه دمای بتن بیشتر باشد برای رسیدن به یک مقاومت خاص، زمان کمتری مورد نیاز است. زیرا دمای بالاتر روند هیدراتاسیون که همان واکنش بین سیمان و آب است را تسریع می کند.

استفاده از حسگر بلوغ بتن به کاربر امکان می دهد، دادههای دمایی را جمع آوری کرده و از طریق دادههای کالیبراسیون و هماهنگ سازی دما و مدت آماده سازی، میزان مقاومت نهایی یا بلوغ بتن را تعیین کند (شکل ۲-۱۲).

هدف از کالیبراسیون، تعیین رابطه بین بلوغ و قدرت بتن برای یک ترکیب خاص است. این حسگرها (حسگرهای بلوغ بتن) به صورت بی سیم در بتن تعبیه میشوند. حسگرها طی ده سال گذشته به شکل گسترده ای برای کنترل دمای بتن مورد استفاده قرار گرفته اند. استفاده از دادههای به دست آمده از حسگرها به منظور تعیین شاخص بلوغ بتن رواج زیادی یافته است. مزیت استفاده از این حسگرها، خودکار بودن و استفاده آسان از آنها به دلیل عدم نیاز به سیم است. این حسگرها به صورت بی سیم تمام اطلاعات مورد نیاز رادریافت و تحلیل میکنند. علاوه بر آن میتوانند به هر دستگاه تلفن همراه هوشمند متصل شده و دادهها را با سرعت بالا منتقل کنند.



شکل ۲-۱۲ تعیین میزان مقاومت نهایی یا بلوغ بتن، با استفاده از حسگر بلوغ بتن

ب-۳-۲- روشهای تعیین بلوغ بتن

روش تعیین شاخص بلوغ بتن روشی برای برآورد کردن مقاومت درجای بتن با استفاده از داده های آزمایشگاهی و داده های اندازه گیری شده محیطی است. این روش بر این پایه استوار است که اگر نمونه های یک مخلوط بتن معین دارای مقادیر مساوی از شاخص بلوغ باشند در نتیجه مقاومت بتن در تمامی آنها، یکسان خواهد بود. روشهایی که بیشترین استفاده را در تهیه منحنی کالیبراسیون بتن، برای تعیین شاخص بلوغ بتن دارند، به شرح زیر میباشند؛

ب-۳-۲-۱- روش فاکتور دما و زمان^۳

این عامل مهمترین و کارآمدترین و پر استفاده ترین روش در تعیین شاخص بلوغ است.

ب-۳-۲-۲- روش سن معادل^۴

ب-۳-۲-۳- روش بلوغ وزنی هلندی^۵

ب-۳-۲-۴- روش ویو^۶

در روش دما و زمان که مهم ترین روش در تعیین شاخص بلوغ است، اندازه گیری دمای بتن، ما را قادر میسازد بلوغ بتن را در هر زمان مشخص محاسبه نماییم. اما شاخص بلوغ بدون استفاده از منحنی کالیبراسیون هیچ چیزی را در مورد مقاومت بتن به ما نمیگوید. کالیبراسیون بتن توضیح میدهد که مقاومت بتن مربوطه برای هر سطح بلوغ بتن باید چگونه باشد. بدیهی است هر منحنی کالیبراسون برای هر طراحی مخلوط بتن منحصر به فرد است.

بلوغ بتن برای هر مخلوط بتن با استفاده از توابع مختلف بلوغ محاسبه میشود، که این توابع براساس دما میباشند. بنابراین دما و سرعت عمل آوری بتن، از اصول اصلی شاخص بلوغ بتن، به شمار میروند. به طور ساده میتوان گفت وقتی بتن، مخلوط میشود، یک واکنش شیمیایی گرمزا (واکنش هیدراتاسیون)، بین آب و سیمان اتفاق میافتد، که باعث افزایش ناگهانی دما میشود. با افزایش دما، سرعت عمل آوری نیز افزایش می یابد.

تمام بتن‌ها از یک الگوی عمل آوری متداول پیروی میکنند، اما سرعت آن در انواع مختلف بتن متفاوت است. بلوغ بتن راهی برای تعیین و پذیرش این واریانس و اختلاف دمایی است.

در هنگام اجرای پروژه ها، شرایط آب و هوایی و دیگر متغیرهای محیطی، همیشه بر اساس انتظار ما پیش نمیروند. لذا ضروری است سنسورهای دمایی را داخل بتن تعبیه کنیم تا چنانچه دمای بتن به هر دلیلی به دمای مورد انتظار ما نرسید، بدانیم عمل آوری بتن کندتر از حد انتظار خواهد بود. این

^۳Temperature-Time factor (Nurse Saul)

^۴Equivalent Age (Arrheninheus or Freiesleben-Hansen and Pedersen)

^۵Dutch Weighted Maturity

^۶Weaver and Sadgrove

بدان معنی است که بتن در زمان پیش بینی شده به مقاومت مطلوب نخواهد رسید. در نتیجه این فرصت را داریم که بتن را با یک لایه عایق بپوشانیم تا دمای بتن را افزایش دهیم. نکته- علت دانستن و اطلاع از مقاومت اولیه بتن، این است که مقاومت اولیه بتن، شمایی از مقاومت نهایی بتن را نشان میدهد، به همین علت، اطلاع از مقاومت اولیه بتن، اهمیت بسیاری دارد.

ب-۲- آزمایش تعیین مقاومت بتن با استفاده از روشهای رادیو اکتیو

^{۴۳} آزمایش تعیین مقاومت بتن با استفاده از روشهای رادیو اکتیو (۲-۱۳)، آزمایشی است که در آن، با استفاده از اشعه ایکس^{۴۴} و یا اشعه گاما^{۴۵}، میزان مقاومت بتن مورد نظر را به دست میآورند.



شکل ۲-۱۳ تعیین مقاومت بتن با استفاده از روشهای رادیو اکتیو

روشهای رادیو اکتیو در طول سالهای اخیر پیشرفتهای مداومی داشته است و با اینکه عموماً گراناند و با مسائلی برای سلامتی کاربر، بیشتر برای شرایط آزمایشگاه مناسب میباشد، تعداد کاربردهای میدانی آنها افزایش داشته است.

در حال حاضر سه روش اساسی برای آزمودن بتن وجود دارد: رادیوگرافی اشعه X، رادیوگرافی اشعه γ ، و رادیومتری اشعه γ می باشد.

روشهای رادیوگرافی الزاماً شامل گرفتن یک «عکس» از درون نمونه برای نمایان کردن تصویر داخلی آن است، درحالی که رادیومتری شامل استفاده از یک منبع متمرکز و یک ردیاب برای گرفتن و اندازه گیری امواج در قسمتی موضعی از عضو میباشد.

^{۴۳}Radioactive

^{۴۴}X Ray

^{۴۵}Gama Ray

اشعه های x و y هر دو در انتهای انرژی بالای طیف الکترومغناطیس هستند و در ماده رسوخ میکنند، اما با توجه به طبیعت و ضخامت آن دچار کاهش و تنزل میشوند. انرژی این اشعه ها معمولا در دامنه $1-30 \text{ KeV}$ برای اشعه X و برای اشعه γ ، $MeV^{1/3}$ - $1/3$ میباشند. افت تابشی امواجی که از بین ماده میگذرند، به شکل توانی قابل نمایش و به بیانی ساده ممکن است چنین باشد:

$$e^{-\mu m} I_0 = I$$

I = شدت تشعشع تابش

μ = شدت رویداد = ضریب جذب جرم

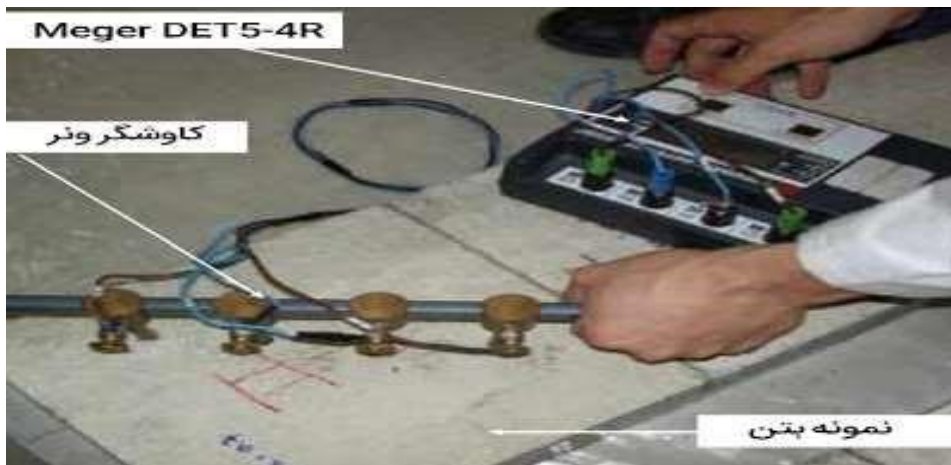
m = جرم در هر واحد منطقه $\times$ ضخامت ماده طی شده

در بازه انرژی x ، افت موج به عدد اتمی و چگالی ماده بستگی دارد، درحالی که در اشعه y ، چگالی عامل اصلی میباشد. قیمت و عدم جابجایی دستگاه اشعه X که به ولتاژ بالایی احتیاج دارد یکی از محدودیتهای اصلی در راه استفاده از آن بوده است. هر چند این روش در آزمایشگاه بسیار ارزشمند میباشد. منابع انرژی اشعه y راحت تر قابل جابجایی میباشد، بنابراین برای روش رادیواکتیو میدانی بهترین کاربرد را دارد.

ب-۵- آزمایش مقاومت الکتریکی بتن

از جمله آزمایشهای غیرمخرب بتن، آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی بتن، میباشد. این آزمایش با ارائه مقاومت الکتریکی بتن موجود، به طراحان و کارشناسان امکان تصمیم گیری در زمینه طرحهای مقاوم سازی و تقویت و یا صحت سنجی عملیاتیهای انجام شده را میدهد. سهولت یا سختی عبور جریان الکتریکی از بتن اشباع، میتواند نشانههای از نفوذپذیری آن در برابر آب، و به ویژه انتشار و مهاجرت یونی (به ویژه یون کلرید) باشد، مخصوصا اگر از آب نمک اشباع گردد. این آزمایش بین پژوهشگران بسیار معروف و رایج است. اما دستور استاندارد خاصی برای آن، تدوین نشده است. این آزمایش، با استفاده از دو صفحه مسی یا برنجی که بر سطح آزمون بتنی اشباع از آب به کمک خمیر سیمان تازه میچسبد، و مقاومت الکتریکی به کمک اعمال یک جریان متناوب، با فرکانس مشخص، به دست میآید، و میتوان با داشتن سطح بتن و فاصله بین دو صفحه فلزی، مقاومت ویژه الکتریکی را بدست آورد. همچنین میتوان با چهار الکتروود (روش ونر^۴، (شکل ۲-۱۳) و تعبیه آن بر سطح بتن، یا در سوراخ خاص، و برقراری اتصال و تماس الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مقاومت ویژه آن را بدست آورد (شکل ۲-۱۴).

این روش برای قطعات بتنی موجود نیز قابل استفاده است، در حالی که روش قبلی فقط برای نمونه های آزمایشگاهی مکعبی، استوانه‌ای یا منشوری و مکعب مستطیل کاربرد دارد.



شکل ۲-۱۴ کاشگر و نر جهت اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه بتن

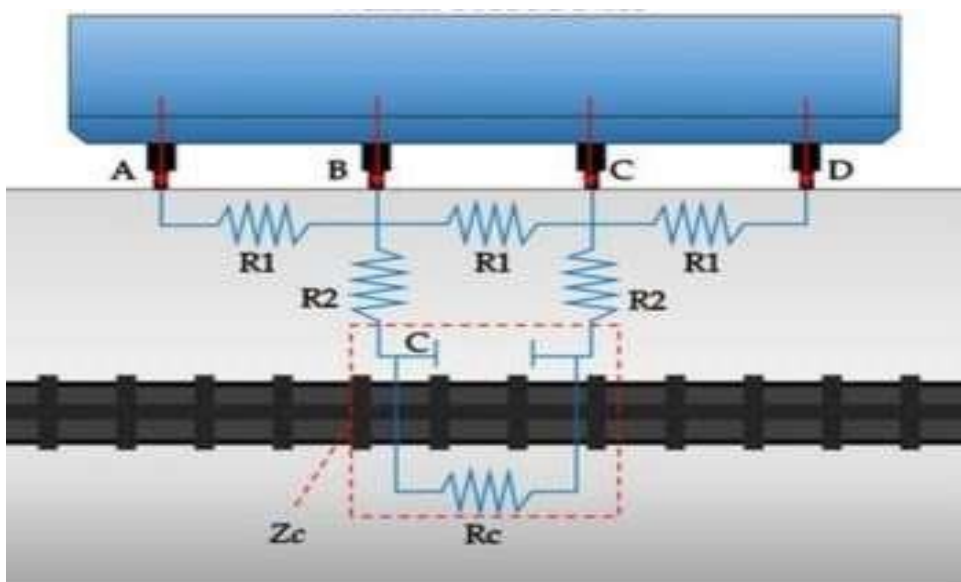
مقادیر قرائت شده :

مقاومت الکتریکی بتن کمتر از ۸ خوردگی دارد ،

شروع خوردگی:

$$8k\Omega cm < R < 12k\Omega cm$$

۱۲kΩcm ، ۹۵٪ خوردگی ندارد.



شکل ۲-۱۵ نحوه اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه بتن

در زمان اجرای آزمایش مقاومت الکتریکی بتن، هدف رسیدن به مقاومت الکتریکی $12 \text{ k}\Omega \text{ cm}$ می باشد هرچه مقاومت الکتریکی بتن به عدد ۱۲ نزدیکتر باشد، نفوذپذیری بتن، کمتر و دوام بتن بیشتر خواهد بود، و هرچه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد، دوام بتن کمتر خواهد بود، زیرا در صورت نفوذپذیری زیاد بتن، مواد زیان آور و مضر مانند سولفات ها و کلریدها وارد بتن شده و دوام بتن را کاهش میدهند.

ب-۵-۱- دستگاه الکتریک سنج^{۴۷} (مقاومت سنج الکتریکی)

یک ابزار کاملاً یکپارچه و غیر مخرب با پراب چهار نقطه ای برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن می باشد (شکل ۲-۱۶)، و برای استفاده در محل آزمایش (سایت)، برای تخمین احتمال خوردگی آرماتورهای درون بتن، سرعت خوردگی و رابطه مقاومت با آهنگ نفوذ کلراید، مناسب است. این دستگاه جهت بررسی پتانسیل خوردگی آرماتورهای درون بتن، در زمان حال و آینده، با استفاده از تعیین ضریب هدایت الکتریکی و نفوذپذیری بتن، می باشد. این دستگاه دارای یک صفحه نمایش بوده و واحد آن کیلو اهم سانتیمتر ($\text{k}\Omega \text{ cm}$)، می باشد.

^{۴۷}Electric Resistivity Meter

در هنگام استفاده از دستگاه الکتریک سنج، سه حالت ممکن است به وجود آید:
در صورتی که عدد به دست آمده به وسیله آزمایش دستگاه الکتریک سنج بزرگتر از $12 \text{ k}\Omega\text{cm}$ ،
باشد نشان دهنده این است که آرماتورهای درون :
بتن خوردگی ندارد و همچنین نشان دهنده نفوذ پذیری کم بتن و دوام زیاد آن میباشد.
در صورتی که عدد به دست آمده به وسیله آزمایش دستگاه الکتریک سنج کوچکتر از $12 \text{ k}\Omega\text{cm}$ ،
و بزرگتر از $8 \text{ k}\Omega\text{cm}$ ، باشد نشان دهنده شروع خوردگی آرماتورهای درون بتن، میباشد.
در صورتی که عدد به دست آمده به وسیله آزمایش دستگاه الکتریک سنج کوچکتر از $8 \text{ k}\Omega\text{cm}$ ،
باشد نشان دهنده این است که آرماتورهای درون بتن، ۹۰ درصد، دچار خوردگی شده اند و همچنین
نشان دهنده نفوذ پذیری زیاد بتن و دوام کم آن میباشد.



شکل ۲-۱۶ اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن به وسیله دستگاه دستگاه الکتریک سنج

ب-۶- آزمایش بررسی خوردگی^۸ (CANIN)

یکی دیگر از آزمایشهای غیر مخرب بتن، آزمایش بررسی خوردگی، نام دارد. از این آزمایش در مواقعی که احتمال خوردگی در آرماتورهای مدفون در بتن وجود دارد، استفاده میگردد (شکل ۲-۱۷).



شکل ۲-۱۷ بررسی میزان خوردگی بتن مسلح با استفاده از آزمایش بررسی خوردگی (CANIN)

در آزمایش بررسی خوردگی، با استفاده از یک ولت متر با مقاومت بالا، اختلاف ولتاژ بین فولاد و یک الکتروود مرجع در سطح بتن، اندازه گیری شده و در نتیجه با تفسیر نتایج به دست آمده، میتوان پتانسیل خوردگی آرماتور را به دست آورد (شکل ۲-۱۸).

باید به این نکته توجه نمود که الکتروود مرجع در سطح بتن، از جنس سولفید مس، میباشد. بدین ترتیب اختلاف پتانسیل الکتریکی آرماتورهای بین قسمت سالم و قسمتی که دچار خوردگی شده است را، به دست میآوریم.

^۸Corrosion Analyzing Non Destructive Instrument (CANIN)



شکل ۲-۱۸ تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش بررسی خوردگی (CANIN)

پس از به دست آوردن اختلاف پتانسیل الکتریکی آرماتورهای بین قسمت سالم و قسمتی که دچار خوردگی شده است، سه حالت ممکن است پیش آید:

در صورتی که اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آرماتورهای قسمت سالم بتن و قسمتی که دچار خوردگی شده است، بزرگتر یا مساوی 200 mV - (میلی ولت) باشد، نشان دهنده این است که آرماتورهای درون بتن، خوردگی ندارد. ۹۰ درصد، آرماتورهای بتن خوردگی ندارند.

در صورتی که اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آرماتورهای قسمت سالم بتن و قسمتی که دچار خوردگی شده است، از 200 mV - کوچکتر، و از 350 mV - بزرگتر باشد نشان دهنده شروع خوردگی آرماتورهای درون بتن، میباشد. (شروع خوردگی آرماتورهای درون بتن، با احتمال ۹۰ درصد). در چنین حالتی جهت مقابله با خوردگی از مواد متوقف کننده خوردگی (پنی ترون) استفاده مینماییم.

در صورتی که اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آرماتورهای قسمت سالم بتن و قسمتی که دچار خوردگی شده است، از 350 mV - کوچکترمنفی، و از 600 mV - بزرگترمنفی، باشد، نشان دهنده این است که آرماتورهای درون بتن، دچار خوردگی زیاد شده اند. و جهت رفع عیب و همچنین تقویت سازه، باید آرماتور کاشته شود.

جهت تعمیر بتنی که، آرماتورهای آن دچار خوردگی شده اند، ابتدا درون بتن، به طول آرماتور و قطری به اندازه یک سایز بزرگتر از آرماتور، سوراخ ایجاد مینماییم، و درون سوراخ ایجاد شده را به وسیله چسب کاشت آرماتور، پر مینماییم و سپس آرماتور جدید که ترجیحاً گالوانیزه نیز میباشد را به درون بتن (درون سوراخ های ایجاد شده) قرار می دهیم.

نکته- قبل از انجام تعمیر و تقویت بر روی محلی از سازه که نیاز به تعمیر و تقویت دارد، میبایست در محل مورد نظر آکرو (انکر کردن)^۴، (شوژ^۵) یا جک، استفاده نماییم.

سوال- برای بررسی خوردگی آرماتورهای درون بتن، از چه روشها و وسایلی، استفاده میشود؟

پاسخ :

بررسی خوردگی آرماتورهای درون بتن، با استفاده از آزمایش بررسی خوردگی، بدین صورت که، در آزمایش بررسی خوردگی، با استفاده از یک ولت متر با مقاومت بالا، اختلاف ولتاژ بین فولاد و یک الکتروود مرجع در سطح بتن (از جنس سولفیت مس)، اندازه گیری شده و در نتیجه با تفسیر نتایج بدست آمده میتوان پتانسیل خوردگی آرماتور را بدست آورد، تا مشخص شود که خوردگی آرماتورها وجود دارد یا خیر. در صورت وجود خوردگی جزئی در آرماتورها، به وسیله مواد متوقف کننده خوردگی (پنی ترون)، از گسترش خوردگی جلوگیری مینماییم، و در صورت وجود خوردگی وسیع و زیاد در آرماتورها، اقدام به کاشت آرماتور، مینماییم.

بررسی خوردگی آرماتورهای درون بتن، با استفاده از اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن مسلح به وسیله دستگاه الکتریکسنج، جهت بررسی ریسک یا خطر خوردگی. باید توجه نمود که، خوردگی آرماتور در بتن یک روند الکتروشیمیایی میباشد، که تشخیص آن توسط اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن، به وسیله تولید جریان الکتریسیته و دستگاه الکتریک سنج، انجام میشود. هرچه مقاومت الکتریکی (عبور جریان) کمتر باشد، ریسک خوردگی آرماتور، و همچنین احتمال وقوع خوردگی در بتن، بیشتر خواهد بود. نکته دیگری که باید به آن توجه نمود این است که هر چه محیط نامناسب بیشتر باشد، خوردگی هم بیشتر خواهد بود. و در پایان باید این نکته را یادآوری نمود که جهت بررسی میزان نفوذ پذیری بتن، از روش اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن که توسط دستگاه الکتریک سنج انجام میشود، استفاده می گردد.

بررسی خوردگی آرماتورهای درون بتن، با استفاده از آزمایش بررسی خوردگی هافسل (پتانسیل خوردگی بتن). آزمایش هافسل (پتانسیل خوردگی) تکنیک پایش خوردگی در بتن میباشد که روش آزمایش استاندارد برای پتانسیل خوردگی آرماتور بدون پوشش در بتن استاندارد شده است. از این آزمایش که یکی از انواع آزمایشهای غیر مخرب بتن میباشد برای تعیین محلهای فعال و محتمل خوردگی در میلگرد، در سازه های بتن مسلح استفاده میشود.

^۴Anchorage

^۵Shore

ب-۷- آزمایش بیرون کشیدگی^{۵۱}

آزمایش PULL OFF یا بیرون کشیدگی، یک آزمایش بتن کارگاهی برای ارزیابی مقدار نیروی کششی مورد نیاز، برای کشیدن دیسک چسبیده به سطح بتن با رزین اپوکسی میباشد، و برای بررسی مقاومت کششی و چسبندگی^{۵۲} یک لایه به لایه دیگر (لایه بتنی)، استفاده میشود و در مقاوم سازی ساختمان کاربرد زیادی دارد. پرکاربردترین آزمایش PULL OFF میباشد. در این آزمایش دیسک به وسیله چسب با مقاومت بالا، به بتن میچسبد و سپس توسط اهرم کشیده میشود. جهت اجرای آزمون یا بیرون کشیدگی، ابتدا محل و سطح مورد آزمایش را آماده مینماییم. سپس از یک مته کرگیری جهت سوراخ کردن سطح بتنی آماده شده، استفاده میکنیم. با استفاده از چسب با مقاومت بالا یک دیسک صلب^{۵۳} را به روی حفره ایجاد شده متصل مینماییم. در حالی که پایه های دستگاه PULL OFF، به قطعه بتنی تکیه داده شدهاند، به وسیله اهرم موجود در دستگاه، اقدام به کشش دیسک صلب مینماییم. و این عمل را تا زمان شکست و جدا شدن دیسک صلب از قطعه بتنی، ادامه میدهیم. نیروی کششی به دست آمده بر روی دستگاه نشان داده میشود. استحکام اتصال کششی، به عنوان بار و نیروی شکست، تقسیم بر مساحت سطح مقطع هسته، مقاومت کششی قطعه بتنی را، مشخص مینماید.

نکته- جهت اتصال بهتر دیسک صلب، به قطعه بتنی، بهتر است که درون حفره ایجاد شده بر روی قطعه بتنی صاف گردد.

نکته- در صورت وجود لایه اضافه بر روی سطح قطعه بتنی، باید سوراخ کرگیری شده، به اندازه سه هشتم ضخامت لایه بالایی، وارد لایه زیرین شود.

نکته- تجربه نشان داده است که مقاومت کششی به دست آمده از آزمایش PULL OFF، ۲ الی ۳ مگاپاسکال، میباشد.

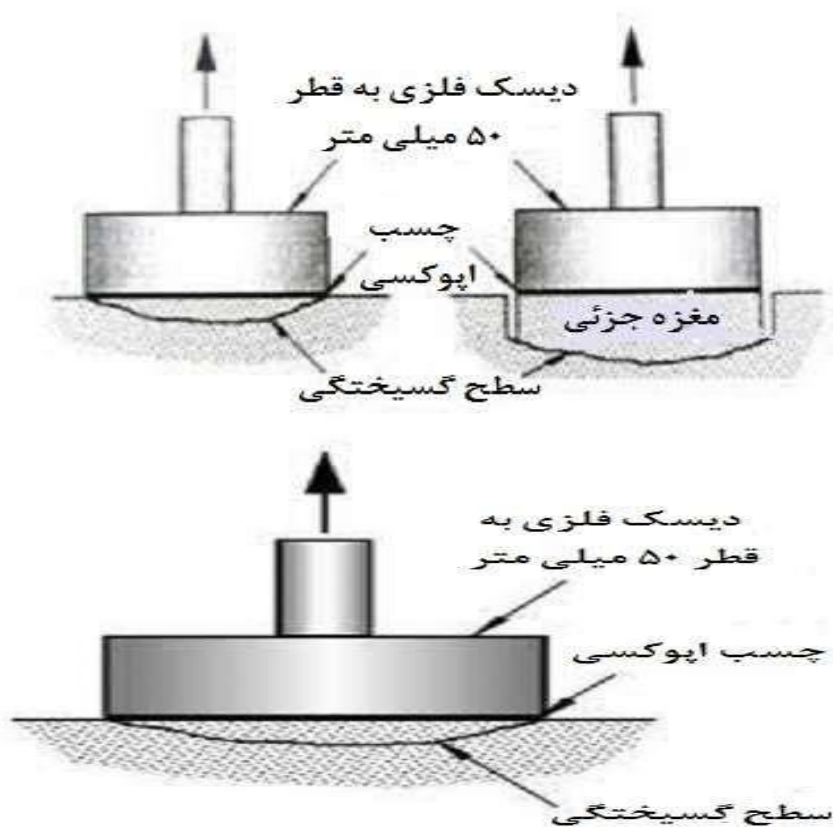
^{۵۱}PULL OFF

^{۵۲}Bonding

^{۵۳}Dolly



شکل ۲-۱۹ دستگاه PULL OFF



شکل ۲-۲۰ نحوه اجرای آزمایش PULL OFF

۲-۴- الیاف تقویت کننده پلیمری (FRP)

FRP (اف آر پی) در لغت مخفف کلمه Fiber Reinforced Polymer به معنی پلیمرهای تقویت شده با الیاف است. FRP (اف آر پی) از دو جزء ماتریس (رزین FRP) و فیبر (الیاف FRP) تشکیل میشود و کاربردهای متفاوتی در صنایع مختلف و ساختمان دارد. بیشترین کاربرد این مصالح در مقاومسازی سازه‌ها، جهت ترمیم، تقویت و مقاومسازی ساختمانهای بتنی بوده و در صنعت کامپوزیت جهت ساخت قطعات صنایع مختلف است.

الیاف FRP با قرار گرفتن و نصب بر روی سطوح بتنی از قبیل دالها، تیرها، ستونها، دیوارهای بتنی میتواند باعث افزایش مقاومت بتن شوند. همچنین این الیاف میتواند در ساختمانهایی با کاربری مسکونی، تجاری، اداری، صنعتی، تکیه گاه ماشین آلات و تاسیسات سنگین و همچنین سازههای آبی و دریایی مانند سد و کانال نیز کاربرد داشته باشند.

علاوه بر این از الیاف FRP میتوان در مقاومسازی زیرساختهای مهندسی از قبیل پلهای جادهای و ریلی، مخازن آب و مواد شیمیایی، سیلوها و برجهای خنک کننده نیز استفاده نمود.

مزیت استفاده از FRP جهت مقاوم سازی، این است که، در حین بهره برداری از سازه، میتوان عملیات مقاوم سازی را انجام داد. به صورت کلی FRP ترکیبی از دو ماده است. بخش اول آن ماتریس بوده و جز دیگر آن الیاف است. ماتریس خود از برخی مواد شیمیایی مانند؛ رزینهای اپوکسی و پلی استر تشکیل شده است. نقش الیاف و فیبر، تامین مقاومت مکانیکی کافی در FRP است.

در حالی که ماتریس نقش باربری مکانیکی ندارد و تنها باید از الیاف در مقابل خوردگی، عوامل محیطی و آسیب دیدن محافظت نماید. همچنین انتقال بار در FRP به کمک ماتریس و از طریق انتقال نیروی برشی بین فیبرها صورت میپذیرد. از دیگر کاربردهای ماتریس، کنترل کمناش موضعی الیاف تحت فشار است. بیشتر حجم FRP را الیاف تشکیل میدهند.

نکته- علت استفاده از FRP در تقویت سازه ها، به این جهت میباشد که:

پس از استفاده از FRP، در سازه، خوردگی دیرتر، رخ خواهد داد.

FRP، سبک بوده و کار کردن با آن، آسان و راحت، میباشد، و همچنین در عین ایجاد استحکام در سازه وزن FRP، یک پنجم وزن فلز است.

مقاومت کششی FRP، سه برابر بیشتر از مقاومت کششی فلز میباشد.

راحتی اجرا.

مقاوم سازی سازه به وسیله FRP، حین بهره برداری از سازه، قابل اجرا میباشد.

نکته- کرنش ایجاد شده در محل FRP، از ۰,۰۰۰۴ تا ۰,۰۰۸ میباشد.

پ ۲-۴-۲- انواع اشکال و محصولات FRP

۲-۴-۲-۱- ورقه^۶ (پارچه) FRP

پارچه ورق های FRP^۶، ورقه های با ضخامت کمتر از یک میلیمتر، و از جنس کامپوزیت هستند. این پارچه ها یا لمینیت ها با چسبهای مستحکم و مناسب به سطح بتن چسبانده میشوند. از ورقه های FRP^۶، جهت تعمیر و تقویت سازههای آسیب دیده (ناشی از زلزله و یا ناشی از خوردگی آبهای یون دار) استفاده میشود. لمینیت FRP^۶ از لحاظ شکل پذیری میتواند به صورت صفحات منعطف و سخت باشد. صفحات FRP^۶ منعطف، خاصیت شکل پذیری بالایی دارند و میتوانند در شعاع های کم، خم شوند.



شکل ۲-۲۱ نمونه پارچه های FRP



شکل ۲-۲۲ چسباندن پارچه های FRP به سطح بتن

الیاف FRP، که بافت آنها به صورت طولی و عرضی میباشد، در کارخانه به روش پالتروژن^۶، و به صورت نوار از درون ماده اپوکسی^۷ که تشکیل شده از رزین^۸ و هاردنر^۹، به نسبت ۳ واحد رزین به ۱ واحد هاردنر یا ۲ واحد رزین به ۱ واحد هاردنر، میباشد، عبور میکنند و آغشته به رزین شده و سپس شکل داده میشوند. پس از شکل دادن به جهت چسبندگی (Bond) بهتر با بتن کناری، به آن روکش ماسه^۸ میدهند. سپس آن را با یک فیبر دیگر (S-Glass, E-Glass و یا AR-Glass) دورپیچ نموده و به طول ۶ متر آماده مینماید. همان طور که اشاره شد الیاف FRP، مصالحی پارچهای هستند که فیبرهای آن در یک جهت یا دو جهت قرار دارند. جنس فیبرها میتواند از جنس کربن و یا شیشه باشد که الیاف بافته شده از آنها به الیاف شیشه GFRP و الیاف کربن CFRP، معروف هستند.

از روی هم گذاشتن چند لایه الیاف FRP و آغشته کردن آنها به رزین و فشردن آنها برای رسیدن به مقاومت و ضخامتهای مورد نیاز، ورقهای FRP تشکیل میشوند. ورقه های FRP با چسب اپوکسی به سطوح مورد نظر بتنی و فولادی میچسبند و باعث افزایش مقاومت المانهای باربر میشوند. از ورقه های FRP در اکثر مواقع برای مقاوم سازی و بهسازی ساختمانها، در پروژه های مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها استفاده می شود.

نکته- چسب (رزین) به کار رفته در الیاف FRP ممکن است به دو شکل باشد:

۱- ترموست: نوعی چسب (رزین) میباشد، که بعد از گیرش، دیگر قابلیت انعطاف و خم شدن ندارد. ترموپلاستیک: نوعی چسب (رزین) میباشد، که بعد از گیرش، قابلیت انعطاف و خم شدن را دارد. نکته- TG^۹، درجه حرارتی است که در آن در درجه حرارت رزین شکل نهایی خود را به دست میآورد و پس از آن دیگر نمیشود در آن تغییر شکل ایجاد نمود. درجه حرارت TG، معمولاً ۷۰ درجه سانتیگراد میباشد.

نکته- یک میلیمتر ضخامت تسمه FRP، معادل ۵ میلیمتر ضخامت تسمه فلزی، میباشد.

نکته- استفاده زاویه دار از ورقه FRP در تیرها و ستونها، مقاومت برشی را افزایش داده و از برش جلوگیری مینماید.

در ادامه نکاتی در ارتباط با نصب پارچه های FRP به محل مورد استفاده بیان مینماییم.

در هنگامه نصب پارچه های FRP به محل مورد استفاده، باید به نکات زیر توجه نمود:

۶ Pultrusion

۷ Epoxy

۸ Resin

۹ Hardener

۹ Sand Coat

۹ Glass Transition Temperature (TG)

سطح محلی که در نظر داریم از پارچه های FRP در آن استفاده نماییم، میبایست سطحی صاف و یکدست باشد و در صورت صاف و یکدست نبودن سطح مورد استفاده، میبایست با مواد مخصوص آن سطح را صاف و یکدست نماییم.

جهت اتصال پارچه FRP به محل مورد نظر، محل مورد نظر را آغشته به چسب و FRP را آغشته به رزین مینماییم و در محل مورد نظر متصل میکنیم.

پارچه های FRP را در محل مورد استفاده میتوان تا سه لایه بر روی یکدیگر ادامه داد و لایه های بیشتر از آن کارایی نخواهد داشت.

در هنگام استفاده از نوار FRP برای مقاوم سازی ستونها، حتما باید لبه تیزستون را پخ و کونیک (منحنی) نمود، تا لبه تیز ستون، در هنگام نصب نوار FRP، سبب پارگی نوار FRP نشود.

نکته- جهت انجام مقاوم سازی به وسیله FRP، ابتدا باید محلی که عملیات مقاوم سازی بر روی آن انجام میگردد را، تعمیر نموده و سپس به وسیله FRP، مقاوم سازی گردد.

نکته- هر لایه از پارچه های FRP، مقاومت را ۲۰ الی ۳۰ درصد افزایش خواهد داد.

نکته- در صورت وارد شدن فشار، به ستون تقویت شده به وسیله FRP، ابتدا FRP تخریب میشود و سپس بتن.

۲-۴-۲-۲- میلگردهای FRP

فولادها به طور مختصر در مقابل خوردگی به وسیله محیط قلیایی بتن محافظت میشوند اما خیلی از سازه هایی که در محیط های مهاجم از قبیل سازه های دریایی، پلها و پارکینگها که در معرض عوامل مهاجم قرار میگیرند، ترکیب رطوبت، افزایش دما و محیط کلریدی، خواص قلیایی بتن را کاهش میدهد و سبب خوردگی فولادها میشود. به همین خاطر امروزه از میلگردهای ساخته شده با مواد پلیمری FRP در این سازه ها استفاده میکنند. به دلیل اینکه میلگردهای FRP برای یک رفتار غیر شکل پذیر میباشند لذا موارد استفاده این میلگردها محدود به سازه هایی میشود که مهمترین مشکل آنها خوردگی یا مشکلات الکترومغناطیسی میباشد. میلگردهای فولادی دارای رفتاری تقریباً همسانگرد میباشند ولی میلگردهای FRP به بتن تاثیر میگذارد. مصالح FRP برخلاف مصالح فولادی رفتار الاستیک خطی از خود نشان میدهند.



شکل ۲-۲۳ میلگردهای ساخته شده با مواد پلیمری FRP

الف- موارد استفاده از میلگرد FRP

الف-۱- هنگامی که به جهت مقاوم سازی سازه نیاز به افزودن میلگرد به سازه می باشد. جهت مقاوم سازی سازه به وسیله میلگردهای FRP، ابتدا محلی را که می خواهیم مقاوم سازی نماییم را، به وسیله جک ثابت نگه میداریم، سپس محل مورد نظر جهت کاشت میلگرد FRP را، به وسیله دستگاه مخصوص برش، به قطر ۲ میلیمتر بزرگتر از قطر میلگرد FRP مورد استفاده، برش میزنیم و محل کاشت میلگرد FRP را، با چسب اپوکسی، پر مینماییم و سپس میلگرد FRP را در محل مورد نظر قرار میدهیم.

۲-۴-۲-۳- تسمه FRP

نوع دیگر از انواع FRP، تسمه FRP می باشد. تسمه FRP ورقه هایی از جنس کامپوزیت و به عرض ۶۰ میلیمتر، ۸۰ میلیمتر، ۱۰۰ میلیمتر و ۱۲۰ میلیمتر بوده و ضخامت آنها ۱،۴ میلیمتر می باشد (شکل ۲-۲۴).



شکل ۲-۲۴ تسمه‌های FRP

الف- نکات مهم جهت نصب تسمه های FRP

- جهت نصب تسمه‌های FRP، باید به نکات زیر توجه نمود:
- الف-۱- مقاومت فشاری محل استفاده از تسمه های FRP، نباید از ۷۱ مگاپاسکال کمتر باشد.
- الف-۲- ضخامت و کاور بتن محل استفاده از تسمه‌های FRP، نباید از یک سانتیمتر کمتر باشد.
- الف-۳- تسمه های FRP، در هنگام نصب، باید حداقل ۳۰ سانتیمتر بر روی یکدیگر همپوشانی داشته باشند.
- الف-۴- ستونهای با قطر بالاتر از ۲ متر را نمی توان به وسیله تسمه های FRP، پوشش داده و تقویت نمود.
- الف-۵- فونداسیون را نمیشود به وسیله FRP تعمیر و یا تقویت نمود، زیرا احتمال وجود آمدن برش پانچ در فونداسیون وجود دارد و FRP نمیتواند برش پانچ را تحمل نماید. بهترین راه جهت تقویت فونداسیون، افزایش مقطع آن میباشد.
- الف-۶- تسمه های FRP را باید قبل از استفاده، پالیش نمود.
- الف-۷- جهت اتصال تسمه های FRP به محل مورد استفاده، از چسب اپوکسی استفاده نموده و هر دو سطح تسمه‌های اف آر پی و محل مورد استفاده را، به چسب اپوکسی آغشته مینماییم.
- الف-۸- در هنگام نصب تسمه های FRP، در محل مورد استفاده، فاصله بین دو تسمه FRP، (داخل به داخل تسمه های FRP) حداقل ۶۰ سانتیمتر، میباشد.
- الف-۹- پس از نصب تسمه های FRP در محل مورد نظر باید با استفاده از غلتکهای مخصوص، تمامی هوای مابین تسمه های FRP و سطح مورد نظر را خارج نمود.
- نکته- یک مود خرابی FRP این است که از محل استفاده شده، جدا میگردد.
- نکته- جهت احداث حفره در طبقات به منظور احداث آسانسور راه پله و موارد دیگر، ابتدا دور محل حفره را به وسیله نوار و تسمه های FRP، میپوشانیم تا پس از انجام تخریب، به وسیله تسمه های FRP، از به وجود آمدن و گسترش ترک جلوگیری نماییم.

ب- تقویت دیوار آجری به وسیله تسمه های FRP

جهت تقویت دیوار آجری به وسیله تسمه های FRP، ابتدا بر روی دیوار به صورت قطری خطوط ۴۵ درجه را مشخص مینماییم. سپس به جهت آماده سازی سطح دیوار (سطح زیرین محل الصاق تسمه های FRP به دیوار)، سطح دیوار را با ملات و مواد مخصوص (چسب سیکادور) صاف و یکدست مینماییم و سپس نوارهای FRP را به صورت ضربدری بر روی سطح صاف ایجاد شده بر روی دیوار، قرار داده و نوارهای FRP را تا ستونهای کناری ادامه میدهیم تا سبب افزایش ظرفیت باربری دیوار مورد نظر گردد و به شکل بادبند بتواند بارهای جانبی را نیز تحمل نماید.

۴-۲-۴-۲- شبکه و مش کامپوزیتی FRP

شبکه کامپوزیتی FRP، از دیگر محصولات کامپوزیتی هستند که از برخورد میله های FRP در دو جهت و یا سه جهت ایجاد میشوند (شکل ۲-۲۵). نمونه ای از این محصولات، شبکه کامپوزیتی Nefmac است که از فیبرهای کربن، شیشه‌ای و یا آرمید و رزین اپوکسی، وینیل استر و یا پلی استر تولید میشود و برای مسلح کردن بتن مناسب است. گریتنینگ FRP، نیز که به روش سیستم قالبی^{۷۰} حرارتی تولید میشود، در صنایع و اکثر کارخانجات دارای مواد خورنده، کاربرد دارند.



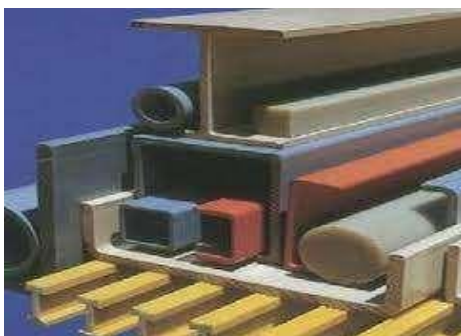
شکل ۲-۲۵ شبکه و مش کامپوزیتی FRP

۵-۲-۴-۲- پروفیل‌های ساختمانی FRP

مصالح FRP همچنین در شکل پروفیل‌های ساختمانی به صورت I شکل، T شکل، نبشی و ناودانی و به روش پالتروژن تولید میشوند (شکل ۲-۲۶). در این روش دسته‌هایی از فیبر یا نخ یا رشته‌های FRP پس از آغشته شدن با رزین از یک قالب عبور کرده و در کنار هم قرار گرفته و یک پروفیل دارای

مقطع ثابت را به وجود می‌آورند. از عمده ترین مزایای روش پالتروژن، چند منظوره بودن آن و کاربردهای گوناگون آن در صنایع مختلف است. به عبارتی صرفاً با تغییر قالب دستگاه میتوان علاوه بر محصولاتی که در صنعت ساختمان کاربرد دارد، همانند انواع میلگردها و آرماتورهای FRP، محصولات گوناگون دیگری در حوزه های مختلف از جمله تسمه های ماشین نساجی، ریلها، محافظ اتوبان ها یا گارد ریل، چارچوب پنجره ها و درها، تیرهای با مقطع I شکل، نبشی ها و غیره تولید نمود. عمر مفید و دوام محصولات پالتروژنی بسیار بالاست و سرعت تولید یک محصول پالتروژنی نیز نسبتاً زیاد است. از نظر قیمت نیز با وجود اینکه یک تیر پالتروژنی قیمت ظاهری بیشتری نسبت به نمونه مشابه آهنی دارد؛ ویژگیهایی مانند مقاومت بالا در برابر خوردگی و زلزله و دوام آن میتواند توجیه کننده قیمت اولیه بالای آن باشد. در مصارف عمومی مانند ساخت سازه ها اگر نیاز به مقاومت در برابر خوردگی و زلزله وجود داشته باشد، استفاده از تیرهای پالتروژنی میتواند توجیه اقتصادی نیز داشته باشد.

لذا محصولات پروفیل FRP میتوانند جایگزین بسیار مناسبی برای قطعات و سازه های فولادی تلقی شوند.



شکل ۲-۲۶ پروفیل‌های ساختمانی FRP



شکل ۲-۲۷ استفاده از پروفیل‌های FRP به عنوان جایگزین پروفیل‌های فولادی، در سازه ها

۵-۲- شاتکریت^{۷۲}

شاتکریت یا بتن پاشیده، بتن یا ملاتی است، که از طریق یک شیلنگ تحت فشار هوا، با سرعت زیاد، روی سطوح پاشیده میشود و به دو روش، تر و خشک، اجرا میشود.

۵-۲-۱- شاتکریت مخلوط مرطوب^{۷۳} (تر)

در این روش، بتن آماده به داخل پمپ شاتکریت ریخته شده و پس از انتقال توسط لوله، به سطح کار پاشیده میشود (شکل ۲-۲۸). از مخلوط تر، در مکانهایی که مقاومت فشاری بالایی مد نظر است، استفاده میشود. در این روش امکان اجرای دیوار بتنی با ضخامت ۵۰ سانتیمتر و سقف به ضخامت ۲۰ سانتیمتر در یک مرحله، امکان پذیر است.

۵-۲-۱-۱- مزایای شاتکریت مخلوط تر (WMS)

(مزایای شاتکریت مخلوط تر)^{MS} به شرح زیر است:

الف- به طور معمول، نیاز به قالب بندی^{۷۴} ندارد و بدین ترتیب هزینه های قالب بندی و تجهیزات نیروی انسانی و زمان انجام عملیات به طور قابل ملاحظه ای، کاهش مییابد. عدم استفاده از قالب سبب میشود که کارگر بتواند فضای کار را دیده و بتن را به شکل مناسبی بین میلگردها جای دهد.

^{۷۲}Shotcrete

^{۷۳}Wet Mix Shotcrete (WMS)

^{۷۴}Formatting

ب- امکان اجرای سازه های بتنی با اشکال منحنی، مدور و غیر منظم مثل استخر و آبگیر
 پ- امکان تثبیت کوه ها و صخره ها با پوشاندن آنها با یک شبکه مش و پاشیدن بتن، بر روی آنها
 ت- روکش کردن پایه پلها و لاینینگ^{۷۴} تونلها ، افزایش ضخامت لوله های بتنی در محیطهای خورنده
 و خطرناک در مقابل آتش ، مقاومت مکانیکی بهتر نسبت به شاتکریت مخلوط خشک.
 چ- چسبندگی بهتر مابین بتن و آرماتور ، کاهش نفوذپذیری و آببندی مناسب.

۲-۵-۱-۲- کاربردهای شاتکریت مخلوط تر (WMS) یا گانات (Guniting)

الف- یکی از کاربردهای وسیع WMS، که نیاز به تخصص زیاد ندارد، احداث استخر و آبگیر است. در این حالت، به علت فشار بالای هوا، آب بندی به خوبی انجام شده و نفوذ پذیری بسیار کم میشود.
 ب- از کاربردهای دیگر WMS، در تعمیرات سدها است. از این نوع شاتکریت میتوان در اجرای سرریزها، لاینینگ تونل های انحراف، روکش کردن بدنه سد (به منظور تقویت سازه های) و تثبیت دیوارهای حائل و کوه های اطراف سد استفاده کرد.



شکل ۲-۲۸ نحوه انجام شاتکریت مخلوط مرطوب (تر)

۲-۵-۲- شاتکریت مخلوط خشک^۷

در این روش، آب مورد نیاز شاتکریت در مرحله آخر و در حین خروج مواد از سرنازل به آن اضافه میشود (شکل ۲-۲۹). از این روش برای کارهای تعمیراتی و روکش به ضخامت کمتر از ۱۰ سانتیمتر استفاده میشود. از آنجایی که در این روش از مصالح سنگی درشت دانه استفاده نمیشود، لذا بتن به دست آمده دارای مقاومت مکانیکی بالایی نمیشود.

۲-۵-۲-۱- معایب شاتکریت مخلوط خشک

معایب شاتکریت مخلوط خشک به شرح زیر است:

- الف- به علت نرسیدن آب به همه دانه ها، ممکن است بعضی قسمت‌ها هیدراته نشده باقی بمانند.
- ب- گرد و غبار ناشی از پراکنده شدن دانه سیمان در محل کارگاه زیاد است.
- پ- به دلیل نجسبیدن ملات (بدلیل هیدراته نشدن) بخش عمده‌ای از آن، به هدر میرود.



شکل ۲-۲۹ نحوه انجام شاتکریت مخلوط خشک

^۷Dry Mix Shotcrete (DMS)

برای اجرای صحیح عملیات شاتکریت، سطوحی که نیاز به بتن پاشی دارند را بایستی از ذرات ریز، گرد و خاک، گل و از هر گونه مواد خارجی پاکسازی نمود این کار با استفاده از هوای فشرده یا پاشیدن ماسه تحت فشار زیاد

انجام میشود. در هنگام شاتکریت، فشار پمپ جهت تزریق بتن، میبایست، یک سوم فشار محل تزریق و یا معادل^۶ PSI ۲۵۰، باشد.

۲-۲-۵-۲ کاربردهای شاتکریت

کاربردهای شاتکریت به شرح زیر است:

- الف- استفاده از شاتکریت جهت تحکیم شیپها
- ب- استفاده از شاتکریت در سازههای نگهبان گود
- پ- استفاده از شاتکریت در دیواره های سد
- ت- استفاده از شاتکریت در ساخت استخر و آبگیر
- ث- استفاده از شاتکریت در مقاوم سازی دیوارهای آجری
- ج- استفاده از شاتکریت در لاینینگ تونلها

شرایط و لوازم مورد نیاز جهت شاتکریت

الف- مخزن مواد

ب- میکسر

پ- کمپرسورها

ت- مخزن آب (مخزن آب دو مخزنه)

نکته- در مقاوم سازی دیوار آجری، ابتدا مش را به وسیله آرماتور، به دیوار آجری متصل و اسکپ مینماییم. سپس آجرها را با برس سیمی (سوراخ سوراخ) نموده، و انجام شاتکریت (بتن پاشی شامل؛ شن، ماسه، آب، مواد افزودنی، الیاف و سیمان) به وسیله نازل یا نول یا سرشلنگی و یا اسپری کانکریت^۷، صورت میگیرد.

مقاوم سازی دیوار آجری بدین صورت میباشد که، بعد از بستن مش بر روی دیوار، با فشار پمپ بتن، بتن به ضخامت ۷ الی ۱۰ سانتی متر به سطح دیوار آجری، پاشیده میشود (شکل ۲-۳۰).

^۶Pounds per Square Inch (PSI)

^۷Sprayed Concrete



شکل ۲-۳۰ مقاوم سازی سازه آجری (دیوار آجری) با بهره گیری از مش و شاتکریت

روش دوم جهت تقویت و مقاوم سازی سازه آجری (دیوار آجری) به اینصورت است که، ابتدا بر روی دیوار مورد نظر به صورت ضربدری و به وسیله مواد مخصوص (چسب سیکا) به جهت صاف و یکدست نمودن محل الصاق تسمه های FRP، عملیات زیرسازی انجام میگردد و سپس نوارهای FRP به مقدار مورد نیاز و تا ابتدای ستونها، مورد استفاده قرار میگیرند، تا هم ظرفیت باربری دیوار آجری را افزایش داده و هم به مانند بادبند، بارهای جانبی را نیز تحمل نماید، سپس به جهت اشباع تسمه های FRP، به وسیله برس رنگ، تینر فوری را بر روی تسمه های FRP و نیز محل الصاق تسمه های FRP، قرار میدهیم و در انتها به جهت جلوگیری از به وجود آمدن آسیب به وسیله آتش در آینده، بر روی تسمه های FRP، اسپری بتن، انجام میدهیم (شکل ۲-۳۱).



شکل ۲-۳۱ مقاوم سازی سازه آجری (دیوار آجری) به وسیله تسمه های FRP

نکته- اندازه چشمه های مش ۱۰ الی ۱۵ سانتی متر میباشد.
نکته- بتنی که جهت شاتکریت استفاده میگردد، باید شن موجود در آن کم باشد، تا به هنگام پاشش، نریزد.

نکته- بتنی که جهت پاشش استفاده میگردد، در صورتیکه فاقد شن باشد، به آن، گانایت^{۷۸} گویند. به عبارتی اگر حداکثر اندازه سنگدانه ها از یک سانتیمتر کوچکتر باشد، به عملیات بتن پاشی، گانایت گویند، و اگر اندازه سنگدانه ها از یک سانتیمتر بزرگتر باشد، به عملیات بتن پاشی، شاتکریت گویند.

نکته- نسبت اختلاط مواد شاتکریت، به دو صورت میباشد؛
مواد شاتکریت پیش ساخته توسط شرکتهای Fosroc.MBT و Sika، که به آن مواد افزودنی، نظیر میکروسیلیس و یا الیاف، افزودهاند.

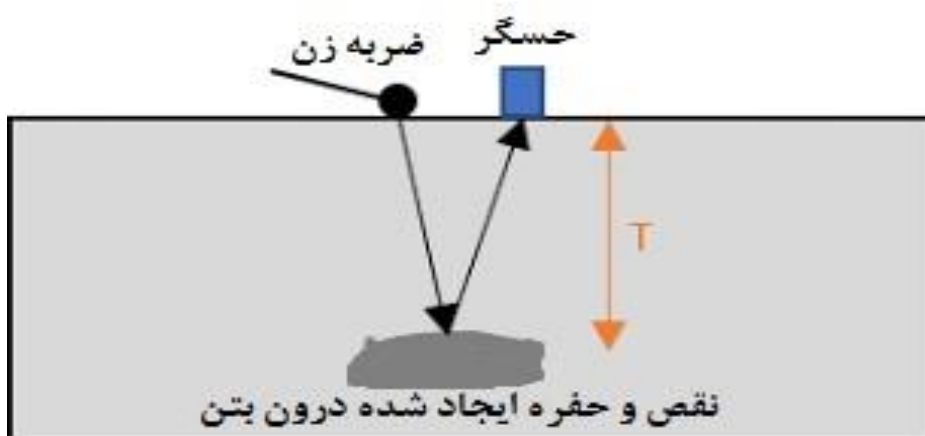
مواد ساخته شده در جا
نکته- در هنگام شاتکریت، ممکن است در پشت لایه شاتکریت، فضای خالی به وجود آید. به وسیله دستگاهی به نام^{۷۹}VIE، حفره های پشت لایه شاتکریت را، شناسایی مینمایند (شکل ۲-۳۲) و (شکل ۲-۳۳).



شکل ۲-۳۲ شناسایی فضای خالی درون بتن به وسیله دستگاه VIE

^{۷۸}Guniting

^{۷۹}Void Impact Echo (VIE)



شکل ۲-۳۳ نحوه عملکرد دستگاه VIE

۲-۶- کاشت آرماتور

کاشت آرماتور، فرآیندی است که با سوراخکاری بخشهایی از بتن در ستونها و یا فونداسیون (شکل ۲-۳۴)، و پر کردن سوراخها با چسب مخصوص (شکل ۲-۳۵) و اضافه کردن آرماتور و چسباندن آن انجام میشود (شکل ۲-۳۶). در ساختمانهای بتنی به منظور تقویت بتن، اصلاح ابعاد بخشی از سازه و یا افزودن بخشی جدید به سازهی بتنی که از قبل پیش بینی نشده است، از روش کاشت آرماتور استفاده میشود. به عنوان مثال، اگر در باربری بخشی از سازه، ضعفی وجود داشته باشد که نیاز به تقویت موضعی آن باشد، در بسیاری از مواقع، امکان تخریب و بازسازی وجود ندارد، از همین رو با کاشت آرماتور و افزودن بخش جدید به آن، میتوان ظرفیت باربری را به میزان قابل توجهی افزایش داد. کاشت آرماتور معمولاً به جای آرماتور ورده شده انجام می شود.



شکل ۲-۳۴ عملیات سوراخ کاری جهت کاشت آرماتور



شکل ۲-۳۵ پر کردن سوراخها با چسب مخصوص جهت کاشت آرماتور



شکل ۲-۳۶ اضافه کردن آرماتور و چسباندن آن

۲-۶-۱- کاشت آرماتور در بتن

کاربردهای کاشت آرماتور در بتن عبارتند از:

- ۲-۶-۱-۱- تقویت فونداسیون و ستونها در سازههای بتنی
- ۲-۶-۱-۲- افزودن بخشهای جدید مانند سقف، دیوار برشی، تیر و ستون به سازه ی اجرا شده
- ۲-۶-۱-۳- نصب صفحات فلزی به منظور اجرای نما در سازه
- ۲-۶-۱-۴- مقاومسازی ساختمان به روش ژاکت بتنی^۸
- ۲-۶-۱-۵- نصب صفحات اتصال به منظور ساخت تیر یا ستون جدید
- ۲-۶-۱-۶- اتصال تجهیزات تأسیسات ساختمان (مانند کانالهای هوا و داکتهای برق) به ستونها و سقفها

۲-۶-۲- مراحل کاشت آرماتور در بتن

- ۲-۶-۲-۱- تعیین محل شبکه آرماتور به وسیله دستگاه آرماتور یاب^۹، برای جلوگیری از برخورد دستگاه دریل و یا دستگاه کرگیر با آرماتورهای درون بتن
- ۲-۶-۲-۲- سوراخکاری بتن به وسیلهی دریل یا دستگاه مغزه گیر^{۱۰}
- ۲-۶-۲-۳- پاکسازی سوراخ با دمندهی هوا
- ۲-۶-۲-۴- پاکسازی جداره ها با فرچه
- ۲-۶-۲-۵- تکرار پاکسازی جداره و دمیدن هوا
- ۲-۶-۲-۶- تزریق چسب و نگهدارنده، درون سوراخ
- ۲-۶-۲-۷- نصب آرماتور

۲-۶-۲-۸- انتظار به مدت کافی جهت چسبیدن کامل آرماتور درون بتن، با توجه به نوع چسب بتن به طور کلی، کاشت آرماتور در فونداسیون، به منظور یکپارچه سازی فونداسیون، اصلاح ابعاد در یک یا چند وجه، افزایش ارتفاع و مقاومت فونداسیون برای باربری بیشتر و یا مواردی از این قبیل، صورت میپذیرد.

سوراخکاری برای کاشت آرماتور در فونداسیون، به وسیله دریل انجام میشود که بهترین و مطمئن ترین روش برای اجرا در فونداسیون است. زیرا در صورت استفاده از دستگاه مغزه گیر ممکن است به آرماتور کارشده در فونداسیون، آسیب وارد شده و یا سبب از هم گسیختگی آرماتور شود.

^۸Jacketing

^۹Rebar Locator

^{۱۰}Coring

قبل از شروع فرآیند، باید محاسباتی انجام شود تا قطر و عمق سوراخ، قطر آرماتور و روش سوراخکاری فونداسیون مشخص شود، چون با توجه به قطر سوراخ، ممکن است نیاز به استفاده از دستگاه مغزه گیر باشد.

عمق سوراخ مورد نیاز جهت کاشت آرماتور در فونداسیون ۶ الی ۱۲ سانت می باشد، و مناسبترین عمق نفوذ، جهت کاشت آرماتور ۶ الی ۹ سانت می باشد. عمق سوراخ، یکی از تأثیرگذارترین پارامترها در کل فرآیند کاشت آرماتور است. زیرا کم بودن عمق سوراخ، سبب عدم اتصال صحیح و کافی بین آرماتور و بتن میگردد و حتی ممکن است در صورت وارد شدن فشار مشخص به آن، باعث متلاشی شدن بتن شود. از طرف دیگر، زیاد بودن عمق سوراخ، علاوه بر مصرف بیش از حد چسب و آرماتور و افزایش هزینه های اجرای پروژه، ممکن است سبب کاهش مقاومت بتن، سوراخ شدن سمت دیگر ستون و یا سقف و مواردی از این قبیل شود. قطر سوراخ، جهت کاشت آرماتور، باید حداقل یک شماره بزرگتر از قطر آرماتور باشد. برای مثال اگر قطر آرماتور ۲۰ میلیمتر می باشد، قطر سوراخی که برای کاشت آن آرماتور ایجاد میگردد، باید حداقل ۲۲ میلیمتر باشد.

جهت گیرش آرماتور در بتن، از چسب اپوکسی استفاده میشود. چسب اپوکسی، چسبی است که از دو بخش اساسی هاردنر به علاوه رزین، تشکیل شده است. چسب کاشت آرماتور مادهای شیمیایی است که بر پایه رزینهای اپوکسی، پلی استر^۱ و وینی لستر^۲ تولید می شود. البته استفاده از وینیلستر در چسب بتن مناسبتر و بهینه تر و با دوامتر از پلی استر می باشد.

چسب کاشت آرماتور در بتن، علاوه بر رزینهای پلیمری که در ترکیب آن وجود دارد، دارای افزودنیهای بتن نیز می باشد. این افزودنیها شامل مواد نرم کننده برای افزایش انعطاف پذیری چسب کاشت آرماتور و کاهش دمای تبدیل شیشه ای، پرکننده ها، که انقباض چسب را در موقع گیرش و سخت شدن، کاهش میدهند و خصوصیات مکانیکی آن را تقویت میکنند. مهمترین ویژگی چسبهای کاشت آرماتور که به صورت عمومی باید در تمامی انواع مختلف این چسبها وجود داشته باشد، شامل ویسکوزیته مناسب در زمان اختلاط و نصب، زمان مصرف مناسب، زمان ژلهای شدن مناسب، مدت نگهداری مناسب، دانسیته و اشباع سازی قابل قبول می باشد. به طور کلی ویژگیهای مقاومتی چسب کاشت آرماتور در مقابل بارهای استاتیکی، دینامیکی و شبه دینامیکی بسیار مهم می باشد. همچنین این موضوع که عملکرد چسبها در محیطهای خورنده و اسیدی چگونه باشد نیز، محل توجه است.

^۱Polyester

^۲Vinnie Lester

۲-۶-۳- بولت منبسط شونده^{۸۵}

بولتی است، که به علت وجود شاخکهایی در انتهای آن، هنگامی که وارد بتن میشود، در بتن منبسط شده و سبب گیرش بولت، درون بتن میگردد. چنین بولتی نیاز به چسب بتن ندارد و اتصال آن با دوغاب انجام میگردد.

نکته- برای جلوگیری از به وجود آمدن برش پانچ ستون بر روی فونداسیون و همچنین در زیر دال سقف، ميبایست پای ستون و بالای ستون راه، از هر جهت، دو برابر بزرگتر نمود.

۲-۷-۷- اسلب بتنی روی زمین یا دال بتنی^{۸۶}

اسلب در عمران به دال معروف میباشد. دال بتنی یا اسلب بتنی که در انگلیسی Concrete Slab نام دارد، یکی از معمولترین عناصر سازه‌ای، در ساختمانهای امروزی میباشد. اسلب عنصر ساختاری ساده اما پر اهمیتی است که از آن برای ساخت سطوح تخت و پرکاربرد استفاده میشود. عمق یا ضخامت اسلب (دال) در مقایسه با طول آن، بسیار کوچکتر میباشد.

نکته- عمق و ضخامتهای اسلب (دال) عبارت اند از: ۱۰۰ میلیمتر، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۵۷، ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰ میلیمتر.

اسلبهای بتنی هم در محل پروژه ساخته میشوند و هم نوع دال بتنی پیش ساخته آن موجود است. برای ساخت اسلبها در محل پروژه از قالبهایی استفاده میشود که معمولاً شامل تخته های چوبی، پلاستیک و فولاد میباشد.

اسلبهایی که برای ساخت کفپوش به کار میروند، معمولاً به قالب خاصی احتیاج ندارند. برای تقویت کردن اسلبهای بتنی از فولاد تقویت کننده یا آرماتور استفاده می شود، که به این فولاد تقویت کننده یا آرماتور، مش^{۸۷} گفته میشود. این آرماتورها به صورت موازی با طول اسلبها در آنها قرار می گیرند. در برخی موارد نیز از آرماتورهای خم شده برای تقویت اسلبهای بتنی استفاده میشود.

۲-۷-۱- قسمتهای تشکیل دهنده اسلب بتنی (دال بتنی)

قسمتهای تشکیل دهنده اسلب بتنی (دال بتنی) (شکل ۲-۳۵)، عبارتند از:

۲-۷-۱-۱- لایه سطح زمین طبیعی کوبیده شده^{۸۸}

^{۸۵}Expandable Bolt

^{۸۶}Slab Grade, Concrete Slab

^{۸۷}Wire Mesh

^{۸۸}Grade

برای ساخت اسلب بتنی، ابتدا باید زمینی که قرار است اسلب بتنی بر روی آن احداث شود، به خوبی کوبیده شده و متراکم گردد. برای کوبیدن یک سطح ابتدایه وسیله غلطک ۶ پاس بدون ویبره آن را متراکم میکنیم. باید توجه شود کهدو پاس اول غلطک، جهت اتو سطح میباشد.

همچنین باید به این نکته توجه نمود که جهت انجام دو پاس اتو، غلطک باید بدون ویبره با سرعت ۴ الی ۶ کیلومتر بر ساعت، بر روی سطح مورد نظر حرکت نماید تا سطح مورد نظر به خوبی متراکم شده و در آن پستی و بلندی به وجود نیاید. سپس جهت انجام چهار پاس بعدی ویبره غلطک را فعال نموده و اقدام به متراکم نمودن سطح مینماییم. هدف از کوبیدن و متراکم نمودن بستر زمین، بالا بردن دانسیته خاک و افزایش ظرفیت برشی میباشد. نکته دیگر که باید به آن توجه نمود این است که هر لایه، جهت کوبیدن و متراکم شدن، نهایتاً باید ۱۵ سانتیمتر ضخامت داشته باشد، در غیر این صورت و با افزایش ضخامت لایه ها، عمل کوبیدن و متراکم شدن، به خوبی انجام نمیگردد. البته تجربه نشان داده است، در صورتی که ضخامت لایه های خاک، ۱۲ سانتیمتر باشند. عمل کوبش و تراکم، بهتر انجام میپذیرد.

نکته- تفاوت اسلب و فونداسیون، در ضخامت آنها میباشد.

۲-۷-۱-۲- لایه زیر اساس فشرده شده^۸

برای اجرای لایه زیر اساس از کوپال استفاده نموده و مانند لایه سطح زمین، اقدام به متراکم نمودن آن، مینماییم. (کوپال مصالحی است، که بزرگترین سنگ دانه های آن ۶ میلیمتر میباشد).

۲-۷-۱-۳- لایه مانع بخار یا لایه عایق و سد نفوذ رطوبت^۹

برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به لایه زیر اساس و همچنین لایه سطح طبیعی زمین از عایق و سد نفوذ رطوبت به لایه های زیرین استفاده مینماییم. بدین منظور لایه های عایق پلاستیکی را بر روی لایه زیر اساس و کف کوبیده شده، قرار میدهیم.

۲-۷-۱-۴- لایه ماسه^{۱۰}

پس از انجام عمل فشرده سازی لایه سطح طبیعی زمین و همچنین اجرای لایه زیر اساس فشرده شده و قرار دادن لایه پلاستیکی عایق نفوذ رطوبت بر روی آنها در مرحله بعد بر روی لایه پلاستیکی عایق نفوذ رطوبت، یک لایه ماسه قرار میدهیم. قرار دادن ماسه بر روی لایه پلاستیکی به جهت حفاظت از لایه پلاستیکی و همچنین مقداری زهکشی میباشد.

۲-۷-۱-۵- لایه اسلب (دال) بتنی مسلح شده با مش

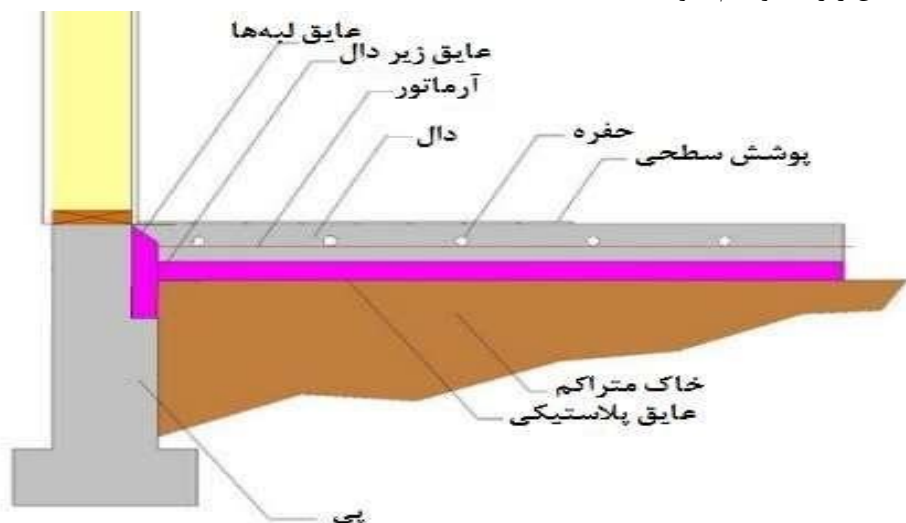
پس از انجام مراحل زیر سازی، نوبت به انجام دال بتنی (اسلب بتنی) میرسد.

^۸Compacted Subbase

^۹Vapor Barrier

^{۱۰}Sand Layer

بدین منظور اقدام به قالب بندی محل اجرای دال بتنی (اسلب بتنی) مینماییم.
 پس از قالب بندی اقدام به اجرای شبکه مش نموده و در مرحله بعد، پس از اجرای شبکه مش، اقدام
 به بتن ریزی خواهیم نمود.



شکل ۲-۳۷ قسمتهای تشکیل دهنده اسلب بتنی

بلافاصله پس از بتن ریزی و پرداخت بتن، اقدام به ایجاد بند کنترلی^{۹۲} بر رویدال بتنی مینماییم تا از
 ایجاد ترکهای احتمالی بر روی سطح دال پیشگیری نماییم (شکل ۲-۳۸).

^{۹۲} Contraction Joint



شکل ۲-۳۸ بند کنترلی و نحوه اجرای آن

همچنین روش دیگر جهت ایجاد بند کنترلی در اسلب (دال) بتنی، این است که پس از خشک شدن بتن به وسیله اهرای مخصوص اقدام به ایجاد بند کنترلی بر روی اسلب (دال) بتنی نمود. باید به این نکته توجه نمود که ضخامت و عمق بند کنترلی ایجاد شده در اسلب (دال) بتنی میبایست یک چهارم ضخامت دال باشد. همچنین در چشمه های ایجاد شده به وسیله بندهای کنترلی، نسبت طول به عرض چشمه ها، یک و نیم به یک میباید (شکل ۲-۳۹).



شکل ۲-۳۹ نسبت طول به عرض چشمه های بند کنترلی، ۵.۱ به ۱ میباید

شبکه مش، باید در محلی از اسلب (دال) بتنی قرار گیرد، که در مسیر اجرای بند کنترلی واقع نگردد، و همچنین برای آرماتوربند ایجاد مزاحمت ننماید.

نکته- اگر به هنگام اجرا و بریدن بند کنترلی، به شبکه مش، برخورد نمودیم، میبایست یکی در میان آرماتورها را ببریم، و مجاز به بریدن همه آرماتورها نیستیم.

۲-۷-۲- انواع بند

۲-۷-۲-۱- بند ساخت

در بعضی از موارد امکان بتنریزی یک عضو سازه‌ای در یک نوبت وجود ندارد. همچنین طبق توصیه آیین نامه ها، گاه لازم است بین اجرای اعضای قائم و افقی فاصله زمانی رعایت گردد. در چنین مواردی از درز ساخت استفاده میشود. به عبارت دیگر درز ساخت، سطح بتن سخت شده است که در تماس با بتن تازه قرار میگیرد.

در محل درز ساخت بین بتن قدیم و بتن تازه باید پیوستگی ایجاد نمود، برای این منظور، به هنگام بتن ریزی قسمت اول آرماتورها را، به صورت انتظار درون بتن قرار میدهیم تا در هنگام بتن ریزی قسمت دوم میان هر دو قسمت اتصال به وجود آید و اتصال سرد یا بند سرد ایجاد نگردد.

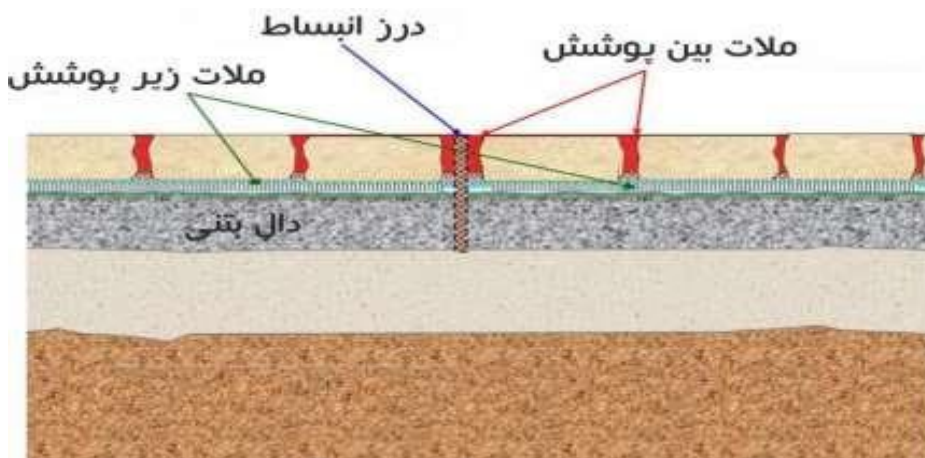
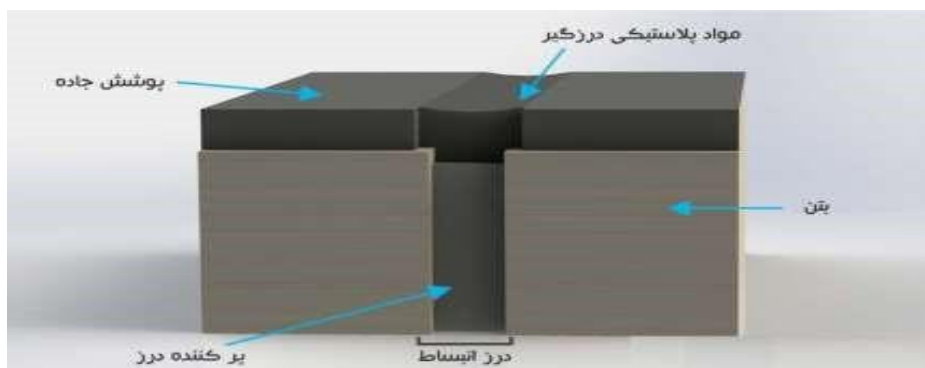
برای نصب آرماتورها، ابتدا باید در قالب حفره هایی با فواصل مورد نظر ایجاد کرد و سپس آرماتورها در داخل حفره ها جاسازی شود به صورتی که نصف طول آرماتورها در طرفین قالب قرار بگیرد. سپس بتنریزی انجام میگردد. به اینصورت در زمان قالب برداری، نصف طول آرماتورها خارج از بتن ساخته شده قرار میگیرند و در هنگام بتن ریزی قسمت دوم، سبب اتصال قسمت اول بتن ریزی شده و قسمت دوم بتن ریزی شده، میگردند. به چنین بندی، بند ساخت یا درز ساخت یا درز اجرایی، گویند. این نوع درزها که به درزهای سرد^{۴۰} نیز معروف هستند، برخلاف ۲ نوع درز دیگر به منظور تسهیل حرکت بتن و اجازه تغییر مکان آن ساخته نمیشوند، بلکه معمولاً در پایان شیفت کاری یا روزکاری بالاجبار ساخته میشوند (شکل ۲-۴۰).



شکل ۲-۴۰ محل ایجاد بند ساخت (درز اجرایی) در هنگام بتن ریزی

۲-۲-۷-۲- بند جداساز (درز انبساط)

در واقع این درزها در یک محل مشخص تعبیه میشوند، تا دال، حین انبساط و یا حرکت، به سازه های مجاور آن، صدمه نزنند (شکل ۲-۴۱). هدف از کاربرد این درزها آن است که، امکان حرکت آزادانه و مستقل قائم و افقی بین دال و سازه های مجاور بوجود آید. این سازه های مجاور میتوانند دیوارها، ستونها و یا محلهای بارگذاری باشند.



شکل ۲-۴۱ محل ایجاد بند جداساز (درز انبساط)

۲-۷-۲-۳- بند کنترلی^{۹۴}

این درزها محل ترک خوردگی ناشی از تغییر طول ابعاد دال بتنی را، تنظیم مینمایند، به نحوی که ترکها به محل درزها منتقل میشوند (شکل ۲-۴۲).

این درزها برای کنترل ترکهایی است که از تنشهای کششی خمشی به وجود آمده در بتن ناشی میشوند. این تنشها خود ممکن است از عوامل مختلفی چون هیدراتاسیون سیمان، شرایط محیطی و بارهای عبوری استاتیکی و دینامیکی سرچشمه بگیرند. با توجه به آنکه تعداد این درزها زیاد است، لذا اجرای آنها عملکرد بتن و کف پوش را به شدت تحت تأثیر قرار میدهد.

الف- ویژگیهای بند کنترلی

به طور کلی ویژگیهای یک درز کنترلی (انقباضی) مناسب عبارت است از:

الف-۱ درزی که به دال اجازه دهد آزادانه، منقبض شود.

الف-۲ اختلاف تغییر مکان عمودی دو طرف درز را محدود نماید.

الف-۳ توانایی انتقال برش از میان درز را داشته باشد.

الف-۴ توانایی ساخته شدن، مطابق نقشه طراحی شده قبلی را، داشته باشد.

الف-۵ هزینه آن به صرفه بوده و اجرای آن نیاز به مهارت بالای کارگری، نداشته باشد.

الف-۶ اجازه دهد که بتن ریزی بهطور پیوسته انجام شود و زمان زیادی در حالت انتظار، برای بتن ریزی پانل های نواری منفرد، به هدر نرود.



شکل ۲-۴۲ محل ایجاد بند کنترلی

ب- راهکارهایی جهت عدم استفاده از بند کنترلی در سطوح

ب-۱- استفاده از بتن پیش تنیده در اجرای سطوح

اولین راهکار جهت عدم استفاده از بند کنترلی در ساخت و اجرای سطوح، استفاده از بتن پیش تنیده می باشد (شکل ۲-۴۳). در اجرای بتن پیش تنیده، ابتدا غلافهای فلزی جایگذاری میشوند. سپس، کابلها درون غلاف قرار گرفته و پس از بتن ریزی و رسیدن بتن به مقاومت لازم (میزانی ذکر شده در مدارک محاسباتی طرح)، کشیده می شوند. باید به این نکته توجه نمود که کابل های درون غلاف موجود در بتن پیش تنیده، حداکثر ۴۰ درصد در معرض کشش قرار گیرند.



شکل ۲-۴۳ نحوه ساخت بتن پیش تنیده جهت احداث سطوح

ب-۲- استفاده از بتن الیافی در اجرای سطوح

بتن الیافی، نوعی کامپوزیت است، که با به کارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی، فوق العاده افزایش می یابد. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل پذیر جهت تولید سطوح مقاوم پر انحناء را فراهم می آورد

بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است و تحت اثر بارهای ضربه ای به راحتی از هم پاشیده نمیشود. استفاده از بتن الیافی در احداث سطوح، امکان به وجود آمدن ترک در سطح بتن را، به میزان بسیار زیادی، کاهش میدهد.

ب-۲-۱- انواع الیاف مورد استفاده در بتن الیافی

ب-۲-۱-۱- الیاف شیشه

الیاف شیشه بتن، جزء اقتصادی ترین و گسترده ترین نوع از انواع الیاف بتن، میباشد (شکل ۲-۴۴). پراکندگی بسیار بالای شیشه در بتن الیافی در حفظ مقاومت‌های فشاری و سایشی بتن تأثیر بسزایی دارد. این محصولات جایگاه نسبتاً مناسبی در تعمیر بناها و تقویت سازه های صدمه دیده دارند، و میتوانند مقاومت پیچشی و برشی مناسبی نیز پدید آورند.



شکل ۲-۴۴ الیاف شیشه مورد استفاده در بتن الیافی

ب-۲-۱-۲- الیاف کربن

الیاف کربن دارای مقاومت کششی و مدول الاستیک بالا هستند. بتن مسلح با الیاف کربن^{۹۵} ممکن است توسط ریخته گری دستهای ساخته شود. الیاف کربن را میتوان به عنوان الیاف جداگانه، در ماتریس سیمان قرار داد.

الیاف گنجانیده شده در طی فرآیند مخلوط دستهای به طور تصادفی در طول مخلوط جهت گیری میشوند. اندازه طول الیاف کربن ۵.۲ تا ۵ سانتیمتر، و ضخامت آنها یک میلیمتر، میباشد، و این الیاف، از جنس پلی پروپیلن^{۹۶} و یا استیل^{۹۷} میباشد. علت استفاده از الیاف استیل، به جهت خاصیت اکسید نشدن این الیاف، الیاف استیل میباشد (شکل ۲-۴۵).

^{۹۵}Carbon Fiber-Reinforced concrete (CFRC)

^{۹۶}Poly Propylene (PP)

^{۹۷}Steel



الیاف پیچ خورده الیاف مصنوعی



الیاف قلاب دار



الیاف صاف



الیاف پلی پروپیلن



الیاف شیشه



الیاف کربن

شکل ۲-۴۵ الیاف مورد استفاده در بتن الیافی

نکته- مقدار بهینه استفاده از الیاف کربنی پلی پروپیلن، به میزان ۰,۹ درصد وزن سیمان موجود در بتن میباشد، به عبارت دیگر در هر متر مکعب بتن ۲,۵ الی ۲,۸ کیلوگرم بر متر مکعب، از الیاف کربنی پلی پروپیلن، میتوان استفاده نمود.

نکته- مقدار بهینه استفاده از الیاف استیل، در هر متر مکعب بتن، به میزان ۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب، میباشد.

نکته- شکل ظاهری الیاف، یا به صورت حلقه‌های، یا به صورت ادکا و یا به صورت زیگزاگی، میباشد.

نکته- الیاف، پلی هستند که برای جلوگیری از شکست بتن^{۹۸} به کار میروند.

نکته- استفاده از الیاف و ریختن آنها درون بتن، به صورت رندوم میباشد.

بدین صورت که الیاف را با دست درون میکسر ریخته، تا به همراه بتن، ترکیب گردند.

نکته- پس از استفاده از بتن الیافی در احداث سطح، سطح مورد نظر را در معرض آزمایش ضربه قرار میدهیم. بدین صورت که، از بتن الیافی مورد استفاده در سطح مورد نظر، یک دیسک بتنی ایجاد

نموده، و سپس، به آن دیسک بتنی، به وسیله یک وزنه ۱۵۰ میلی متر و به قطر ۱،۵ اینچ، از ارتفاع ۵۰ سانتی، ضربه وارد مینماییم (شکل ۴۴-۲).

$$4 * 0.5 * 9.81 = 20 J = mgh$$

همچنین دیسک بتنی دیگری که عاری از الیاف میباشد را نیز، در معرض آزمایش ضربه قرار میدهیم. دیسک بتنی حاوی الیاف بعد از ۹۵ ضربه همچنان ترکی در آن مشاهده نمیگردد (شکل ۴۷-۲)، در صورتی که دیسک بتنی عاری از الیاف، بعد از پنج ضربه ترک میخورد (شکل ۴۸-۲).



شکل ۴۶-۲ دستگاه آزمایش ضربه



شکل ۴۷-۲ عدم وجود ترک در نمونه بتن الیافی، پس از انجام آزمایش ضربه
(پس از ۹۵ ضربه)



شکل ۲-۴۸ ایجاد شدن ترک در نمونه بتن معمولی، پس از انجام آزمایش ضربه
(پس از ۵ ضربه)

۲-۸- سازه^{۹۹} CFT

سازه^{۹۹} CFT، یکی از فناوریهای جدید در ساخت و ساز است. این سازه ویژگیهای منحصر به فردی دارد و نحوه اجرای آن با سایر ساختارها متفاوت است. سازه^{۹۹} CFT با به کارگیری روشهای جدید، بهتر از سازه های فلزی و بتنی، محسوب میشود و امروزه ساخت و سازهای زیادی بر اساس این نوع ساختار انجام میگیرند. برای تعریف درست سازه های CFT، باید بدانید که ستونهای مختلط به صورت قوطی یا لوله فولادی، با بتن، پر میشوند (شکل ۲-۴۹).



شکل ۲-۴۹ مقاطع فولادی پر شده با بتن CFT

جهت ساخت پایه های پل به روش CFT، نخست، انتهای لوله های فولادی را با ورق، میبندیم، تا ورود رطوبت به درون لوله های فولادی را را کند نماییم. سپس لوله های فولادی را به صورت شمع با چکش در محل خود خواهیم کوبید (شکل ۲-۵۰). بعد از این مرحله، قفسن^{۱۰۰} یا سبد بافته شده از آرماتور را، درون لوله یا قوطی های فولادی قرار میدهیم. پس از آن، اقدام به بتنریزی مینماییم. از آنجایی که ارتفاع بتن نباید بیشتر از یک و نیم متر باشد (زیرا ارتفاع زیاد بتنریزی، سبب جدا

^{۹۹} Concrete Filled Tube (CFT)

^{۱۰۰} Câge

شدن سنگدانه ها از بتن می‌گردد)، ابتدا یک عدد لوله ترمی^{۱۰} را درون لوله یا قوطی های فولادی فرستاده و تا حداکثر ارتفاع یک و نیم متر، شروع به بتن ریزی مینمایم. از آنجایی که به علت عمق زیاد درون قوطی های فولادی، امکان وایره و متراکم کردن بتن وجود ندارد، از بتن خود متراکم^{۱۲} استفاده مینماییم، تا خلل و فرج درون بتن موجود در لوله های فولادی، کاملاً پر شوند. بدین منظور از مواد اصلاح کننده لزجت یا ویسکوزیته^{۱۳} نیز میتوان استفاده نمود.



شکل ۲-۵۰ نصب غلاف فولادی ستونهای پل در روش CFT با استفاده از دستگاه شمع کوب

نکته- آزمایش اسلامپ فقط برای بتن معمولی قابل استفاده میباشد و اگر روانکننده یا فوق روان کننده، در بتن، استفاده شده باشد، نمیشود آزمایش اسلامپ را انجام داد.

نکته- برای آزمایش میزان روانی بتن خود متراکم، از تست اسلامپ، استفاده نمیشود.

جهت تست روانی بتن خود متراکم، از تستهای جی رینگ^{۱۴} و باکش^{۱۵} استفاده میشود. پس از ساخت و احداث پایه های پل، اسکله را بر روی پایه های پل، احداث مینماییم (شکل ۲-۵۱). اسکله، اجزایی از پل هستند که از بتن مسلح ساخته شده اند و دارای قطری بالغ بر ۳ متر میباشند، و بر روی پایه های پل، قرار میگیرند.

در انتها، دال بتنی مسلح سطح نهایی پل، بر روی اسکله ها قرار میگیرد (شکل ۲-۵۲)

^{۱۰}Tremie Pipe

^{۱۲}Self-Compact Concrete (SCC)

^{۱۳}Modified Viscous Agent

^{۱۴}J Ring Test

^{۱۵}Box Test

^{۱۶}Pier



۲-۵۱ احداث اسکله بر روی پایه های پل



شکل ۲-۵۲ احداث دال بتنی مسلح سطح نهایی پل، بر روی پایه ها و اسکله های پل

نکته- کاور بتن اجزای بتنی پلها، باید مناسب باشد، تا نفوذ رطوبت به درون بتن را، کند نماید. زیرا نفوذ رطوبت به درون بتن، سبب اکسید شدن آرماتورهای استفاده شده، درون بتن میگردد. با اکسید شدن آرماتور درون بتن، آرماتور افزایش حجم پیدا کرده، این افزایش حجم آرماتور، به بتن فشار وارد نموده و سبب تبله شدن بتن^۱ میشود. کاور مناسب جهت سازه های بتنی استفاده شده در پلها باید حداقل ۶ سانتیمتر، ضخامت داشته باشد.

نکته- دال پل را نمیتوان، مستقیم بر روی اسکله قرار داد و باید از دمپر (میراگر)، در بین آنها استفاده نمود. دمپرها (میراگرها)، اجزایی میباشند، که لایه خارجی آنها، از جنس استیل، و لایه میانی آنها، از جنس لاستیک میباشد.

نکته- در پایه های پل، دریچه های، تعبیه مینمایند. تعبیه این دریچه در پایه پل، از آن جهت صورت میگیرد، تا در هنگام جزر و مد، از آب شستگی جلوگیری نماید. (شکل ۲-۵۳)



شکل ۲-۵۳ تعبیه دریچه در پایه های پل، به جهت جلوگیری از آب شستگی در هنگام جزر و

مد

فصل سوم : مقاوم سازی ساختمانهای بتن مسلح

۳-۱- روش های طراحی سازه بتنی در گذشته

برای تقویت و نو سازی سازه های موجود بتنی، یکسری فرضیات را در مورد مقادیر طراحی برای بتن قدیمی و آرماتور باید در نظر گرفت. روشی که برای تعیین این خواص بتن است تست های مخرب و غیر مخرب است که در محل کار انجام می پذیرد. از جمله تست های غیر مخرب می توان به تست های التراسونیک به جهت بررسی مدول دینامیکی بتن و تست Pull off و Pull out همچنین تست بررسی مقاومت الکتریکی بتن، پتانسیل میزان خوردگی و تست به جهت بررسی میزان خوردگی آرماتور در بتن صورت می پذیرد استفاده کرد.

از تست های مخرب نیز میتوان کر گیری مغزه گیری را صورت داد و مطابق آن تست فشاری و کششی و دیگر تست های شیمیایی مانند نفوذ یون کلر ، نفوذ یون سولفات و تست های پتروگرافی جهت

بررسی واکنش های قلیایی سنگدانه ها را انجام داد. معمولاً بتن ها دارای مقاومت فشاری مجاز ۲۰۰۰ psi معادل 140 kg/cm^2 محدود می شدند که این با یک قسمت سیمان و دو قسمت ماسه و چهار قسمت حجمی از شن زیر بدست می آمد.

در مورد بتن ساخته شده در جا در انتهای قرن بیستم از بتن 350 kg/cm^2 استفاده می شد و حد جاری شدن آرماتور به 4127 kg/cm^2 یا حتی به 5160 kg/cm^2 میرسید [۳].

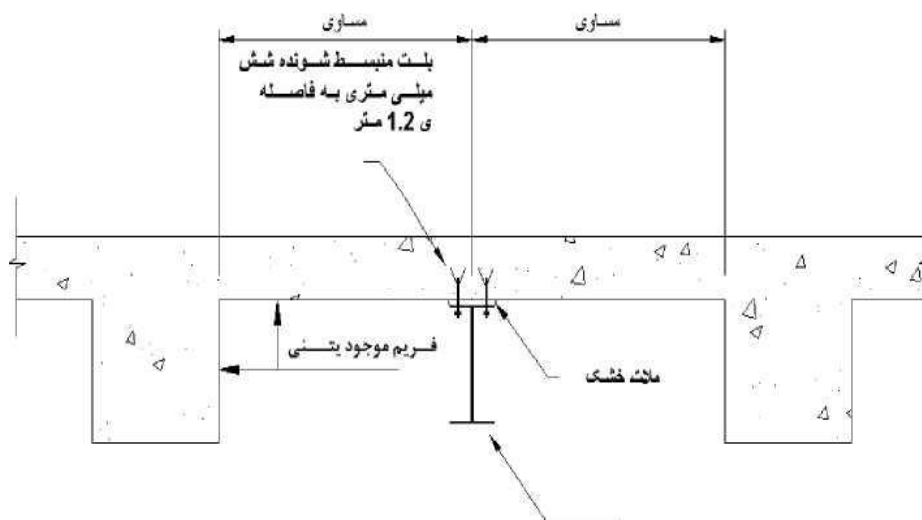
در این قسمت روش های مقاوم سازی عضوهای سازه ای توضیح داده می شود. اولین موضوع در مورد تیرها می باشد المانی که مرتباً بایستی ارتقاء داده شود، این به خاطر آسیب هایی است که در آن وارد شده و یا بار اضافی وارد بر آن. تکنیک های متعددی برای ارتقا عضوهای یک سازه وجود دارد ولی متأسفانه اطلاعات کمی موجود است که ما بتوانیم از آنها استفاده بکنیم. دستور العمل طراحی مستقیم و کد و یا استاندارد وجود ندارد آنچه در اینجا پیشنهاد می شود بر اساس کارهای موفقیت آمیز در قبل است.

ساده ترین راه برای ارتقاء ظرفیت باربری سازه های موجود با آنالیز کردن آنها انجام می گیرد، قبل از هر تغییری در وضعیت سازه بایستی مهندسین متوجه باشند که کاربری سازه کم شده است به خاطر اینکه کار تعمیر و مقاوم سازی صورت بگیرد برنامه تست کردن مواد بایستی صورت پذیرد که بتوانیم خواص اصلی بتن و آرماتور را بدست بیاوریم.

روش های توزیع مجدد ممان خمشی در دهانه های مثبت و منفی می تواند به اینکار کمک کند که در کد ACI ۳۱۸ فرمولی را برای توزیع ممان در بخش ۸،۴ عنوان کرده است. میزان توزیع ممان مجاز بسته به درصد آرماتور در عضو دارد در زمانی که مقاوم سازی اصلی عضوهای سازه های مورد نیاز باشد دو روش فعال و منفعل وجود دارد، در روش فعال عضو موجود ارتقاء پیدا می کند تا بتواند با هر دو بار وارده در آینده (بار زنده و بار اضافی) و بارهای حاضر (بار مرده) را تحمل نماید. روش فعال نوعاً شامل پیش تنیدگی و یا جک زدن می باشد که مقداری از تنش روی عضو تعمیر شده کاسته شود. روش منفعل شامل تعمیر است که فقط در مقابل بارهای وارده که در آتی ممکن است وارد شوند را تحمل میکنند سیستم تقویتی زمانی به کار می افتند که مقداری تغییر شکل در مقطع عضو موجود بوجود آید.

۳-۲- اضافه کردن عضو جدید و بزرگ کردن سطح مقطع

تیر بتنی را که تحت تاثیر تنش های اضافی است تحت تاثیر بار اضافی فرضی است می توانیم با افزایش عضو جدید مقاوم سازی کنیم. بسته به ظرفیت سازه ای دال، عضوهای اضافی را می توان ما بین تیرهای موجود یا در امتداد آنها قرار داد (شکل ۳-۱). از فواید بارز جایگزینی عضو جدید در وسط دهانه این است که دهانه دال تقسیم بر دو میشود، افزایش ظرفیت باربری تیر را نیز صورت می دهد.



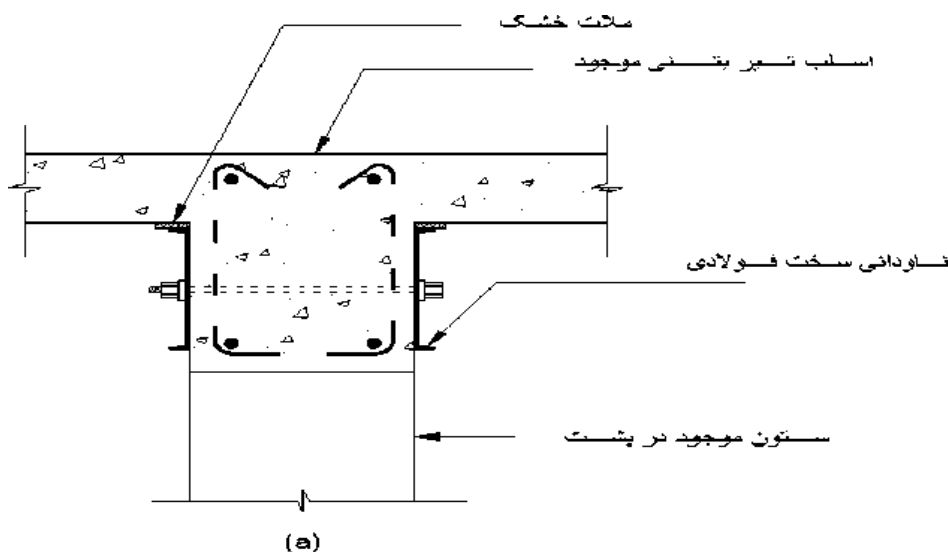
شکل (۳-۱) اضافه کردن تیر فلزی در وسط دهانه اسلب

اضافه کردن تیر فولادی با بِلِت به شاتیر بتنی موجود از فواید جایگزینی تیر جدید در مجاورت تیرهای موجود و ارتباط آن ها این است که بارهایی که در آینده ایجاد می شوند تقسیم شده و به تیر جدید منتقل می شود.

در مورد روش منفعل تیرهای جدید تنها بارهای اضافی را تحمل می کنند و دال موجود و تیرهای تحت تنش تحت تاثیر بارهای مرده هستند در روش فعال ، در زیر دال ها و تیرها جک قرار می گیرد تا فقط تغییر شکل در اثر بار مرده را بردارند این عملیات خیلی دقیق و حساس است و اغلب لازم نیست صورت گیرد، یا اینکه اعضای جدید به نحوی باشند که بتوانند نیرویی به سمت بالا روی سازه های موجود اعمال کنند این بار توسط جک زدن یا لایه فلزی که در بخش های بعدی توضیح داده می شود اعمال می شود. اغلب بهتر و سریع تر است که از عضو سازه ی فولادی به جای بتنی استفاده شود، به خاطر اینکه تیر بتنی احتیاج به قالب دارد و مشکل است که ساخته شود در حالی دال در محل خود باشد. برای اینکه این روش موثر واقع شود تیرهای فلزی بایستی با تغییر شکل های تیر بتنی سازگاری داشته باشد. بار باید مابین تیر جدید و قدیم توزیع شود و که این توزیع بایستی بر اساس سختی نسبی (EI) انجام پذیرد.

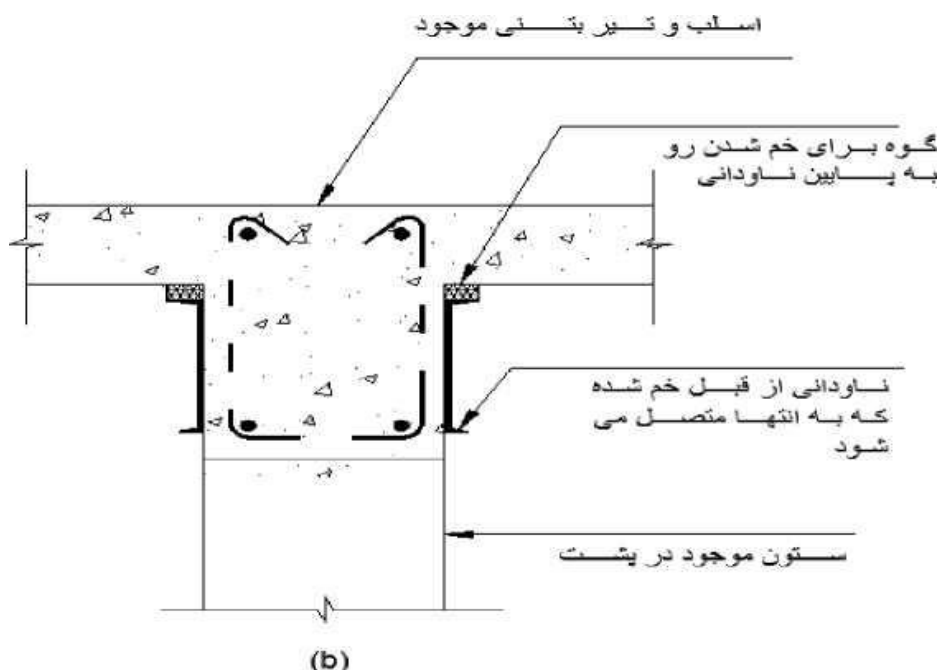
اضافه کردن یک ناودانی در دو طرف تیر موجود راهکار دیگری است که اجازه می دهد ناودانی ها به ستون موجود بتنی متصل شود.

برای اینکه بار وارده به بطور مساوی تقسیم بشود ناودانی ها و تیرها باید توسط یک پیچ به هم دیگر متصل شوند (شکل ۳-۲).



شکل (۳-۲) اضافه کردن تیر فلزی به دو طرف تیر بتنی موجود با ناودانی سخت که برای سازگاری و تطابق با سطح زیرین طراحی شده

این کار زمانی انجام می شود که بار زنده موجود را از روی سطح بالایی تیر تقویت شده برداشته شود. به منظور انتقال بار به تیرهای فلزی ، احتیاج است که بین این تیرها و دال بتنی توسط لایه ای تماس انجام پذیرد و کاملاً درگیر شوند. تیرهای اضافی فلزی که در محلی دورتر از تیر موجود واقع شده اند باید تماس مثبتی ما بین فلز و بتن دال به منظور مهار تیر به صورت جانبی داشته باشد، این ارتباط به وسیله ی بِلَت های منبسط شونده ایجاد می شود. راه کار دیگر در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



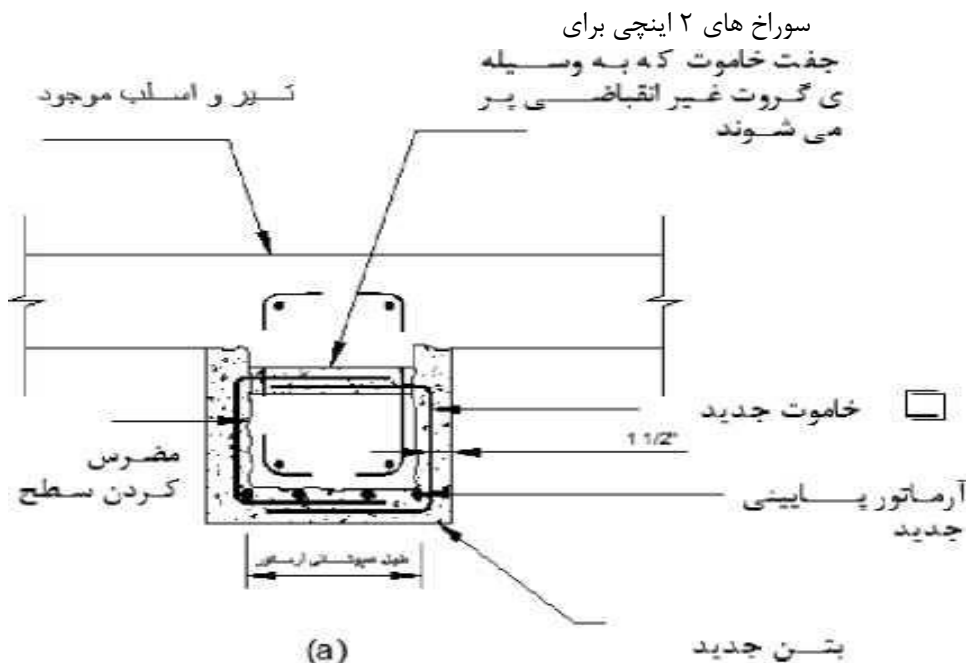
شکل (۳-۳) ناودانی انعطاف پذیر که به سمت پایین خم میشود تا مقداری از بار وارده کم شود

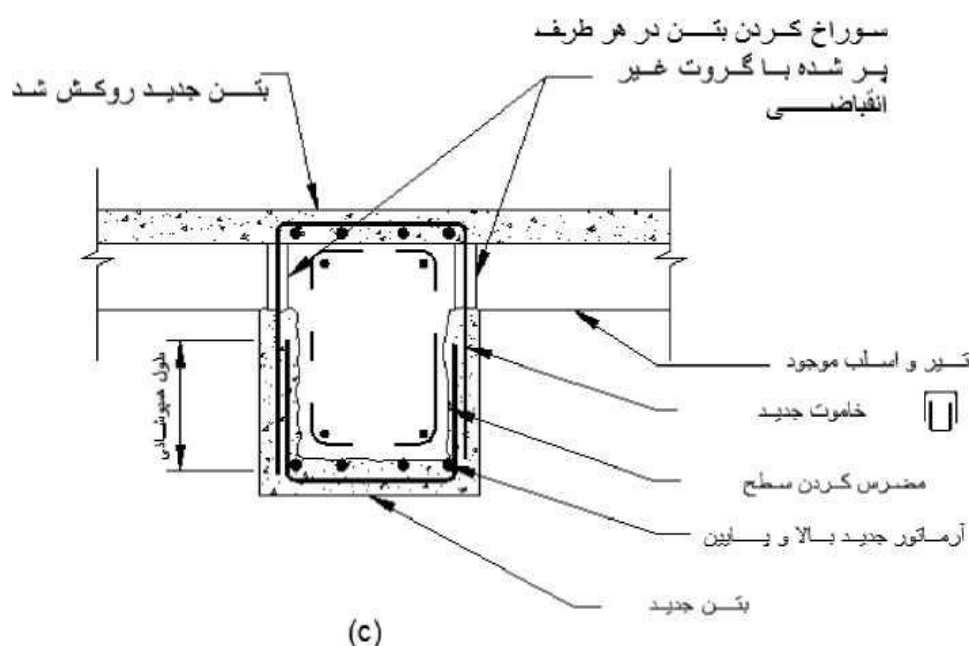
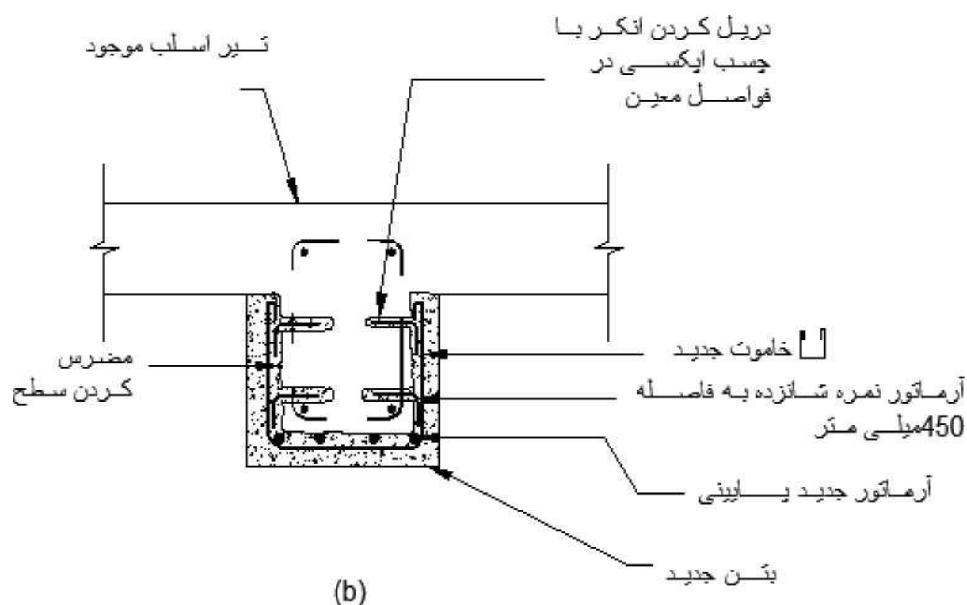
در این روش ناودانی فولادی به دو طرف بتن موجود اتصال پیدا می کند. هدف این ناودانی ها برداشتن قسمتی از بار وارده از روی تیر است به صورتی که نیرویی را به سمت بالا اعمال می نماید. با خم شدن تیر به سمت پایین به اندازه معین، بوسیله جک زدن آنها، یا گذاشتن گوه های فاصله ما بین پایین دال و تیرها صورت می گیرد یک روش ساده برای اندازه گیری تغییر شکل ناودانی ها استفاده از سیم پیانو یا سیم نازک مفید می باشد.

جک زدن تیر و یا گوه گذاشتن باعث انتقال نیرو به ناودانی ها شده و در مقابل کاهش بار وارده روی تیر بتنی میشود و اجازه می دهد که از تنش های حال و آینده جلوگیری بشود. یکی از فواید بزرگ این روش مقاوم سازی در مقایسه با روش قبلی که در شکل ۲-۳ نشان داده شد، سازگاری کرنشی مورد نیاز برای بدست آوردن سیستم ترکیبی است. در این روش به میزان سختی و صلبیت ناودانی ها نیازی نیست که با تیرها هماهنگ باشد، بنابراین میشود ناودانی های سبک و انعطاف پذیر را استفاده کرد و نیازی به ناودانی سنگین و سخت که در روش قبلی استفاده می شد نیست.

در بعضی موارد، اضافه کردن تیرهای فلزی بهترین راه کار نیست. در زمانی که مقطع نهایی باید در مقابل آتش محافظت شود و در جاهایی که نمای ظاهری مهم باشد مقاوم سازی را می توان با افزایش

سطح مقطع انجام داد این روش با برداشتن بار وارده روی تیر موجود، حتی المقدور، سطح زیرین باید مضرس باشد و مواد آلوده موجود نباشد و بعد از آن جایگزینی بتن جدید مسلح و یا شاتکریت در اطراف تیر موجود انجام گیرد. زیر سازی مناسب و محل تماس مواد جدید و قدیم بسیار مهم است تا بتوان مقطعی ترکیبی به وجود آورد و از لایه لایه شدگی بتن جلوگیری نمود سطح مقطع جدید و قدیم به هم دیگر توسط خاموتی که در سوراخ های سطح زیرین به صورت افقی ایجاد شده کار گذاشته شده اند . یا اینکه به وسیله ی یک آرماتور دوسرخم که درون سوراخ های تعبیه شده در مقطع وجود قرار می گیرند شکل (۳-۴).





شکل (۳-۴) بزرگتر کردن سطح مقطع تیر بتنی موجود. بتن جدید و بتن قدیم (a) به کمک خاموت نصب شده بصورت افقی در سوراخ دریل شده (b) آرماتور دو سر خم کوتاه که در سوراخهای دریل شده با چسب انکر شده (c) به فرم پاکت نامه Envelope در آوردن تیر

افزودن سطح مقطع یک روش نسبتاً ساده جهت مقاوم سازی تیرهای بتنی است ولی نقاط ضعفی دارد. از مسائلی که ممکن است پیش بیاید این است که بتن جدید و یا شاتکریت در حال کیور شدن منقبض شده در حالی که مقطع اصلی از نظر اندازه ای تغییر نمیکند.

از آن جایی که این دو مقطع به هم دیگر متصل هستند و به صورت مکانیکی به هم ربط دارند انقباض بتن تازه به وسیله ی بتن قدیمی متوقف شده و باعث به وجود آمدن تنش داخلی می شود اگر تنش به وجود آمده به مقدار کافی باشد سطح مقطع ترک خورده و از سطح قبلی جدا می شود. این مسئله را می توان تا حدودی متوقف کرد اگر از بتن های غیر انقباضی و یا بتن های خاص که دارای ظرفیت بالاتری در مقابل کرنشهای کششی هستند برای تعمیر استفاده کرد. مسئله ی دیگری که روش بزرگ کردن سطح مقطع دارد، خوردگی آرماتورهای جدید و و آرماتور دوسرخم است که در تماس نزدیک با بتن موجود هست که ممکن است در روند خوردگی قرار گرفته باشد.

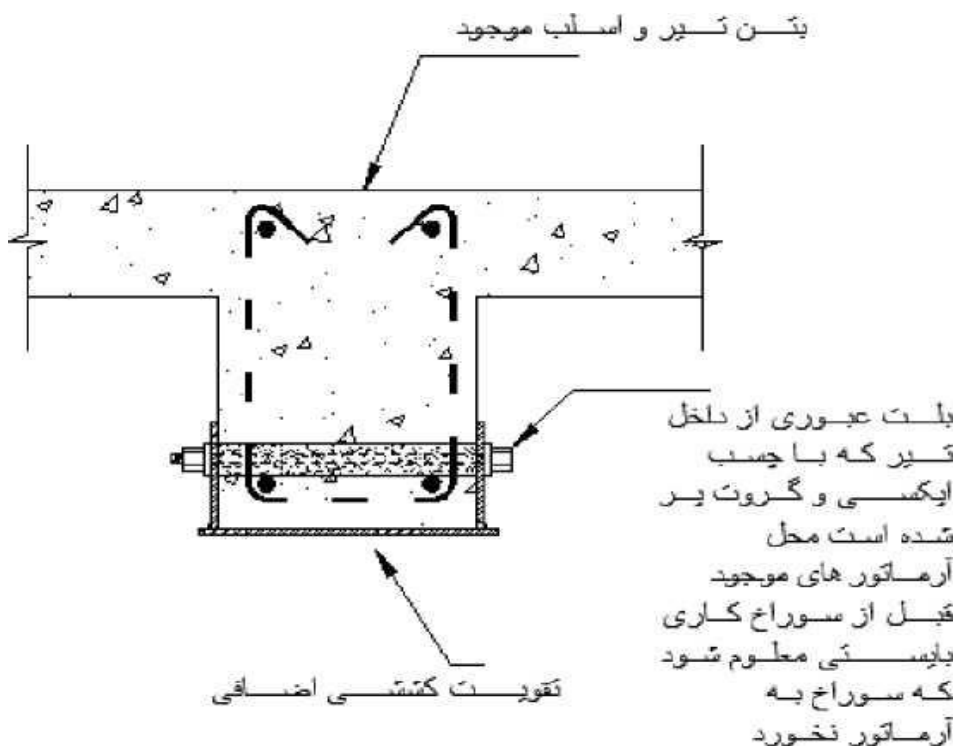
۳-۳- کوتاه کردن دهانه

در مواقعی که آنالیز تیری نشان داد که تیر تحت تنش مضاعف در خمش است این تیر را میتوان با کوتاه کردن دهانه ارتقاء داد این کار با اضافه کردن ستون هایی دور تر از ستون های موجود انجام داد. ستون جدید نیاز به فنداسیون نیز دارد که باید مقداری از کف برداشته شود. روش دیگری برای کوتاه کردن ، استفاده از مهار بندی قطری می باشد ، مهار از پایه ی ستون آغاز شده در فاصله ای به زیر تیر موجود متصل می شود از فواید مهار بندی قطری عدم استفاده از فنداسیون اضافی می باشد. هر دوی این روش ها فضایی در زیر تیر موجود را اشغال میکنند که برای مهار از فلز استفاده می شود بخاطر این که انقباض پیدا نمی کند و سریع نصب می شود، از آنجایی که بیشتر اتصالات نوعاً در فشار هستند یک جفت از میله ی استیلی در سوراخ حفر شده و در محل مناسب با چسب آنکر میشود. در جاهایی نیاز است که از مهار بندی زانویی استفاده بشود . استفاده از این نوع مهار باعث کاهش کمتر هدروم moordaeH میشود. البته مسئله ای که در مهار بندی زانویی پدید می آید، واکنش افقی در روی ستون ها و باعث تنش مضاعف ستون ها در خمش و یا برش میشود در حالیکه در مهار بندی قطری بار آن به پایه ستون نزدیک خط کف انتقال پیدا میکند، در جایی که بار افقی به وسیله ی اسلب یا دال تحمل می شود.

روش دیگری که نوعاً در شرایط خاصی اجرا می شود استفاده از دیوار باربر زیر تیر خم شده می باشد که توسط فنداسیون خود ساپرت شده است البته بسته به شرایط سازه هر کدام از روشهای بالا را می توان اعمال کرد.

۳-۴- اضافه کردن پلست کششی تقویتی که در زیر تیر بتی می شود

اگر تیری دارای ظرفیت ممان مثبت کم باشد، می توان آن را با اضافه کردن پلست کششی فلزی در جا که به زیر تیر بتی شده چنانکه در (شکل ۳-۵) نشان داده شده تقویت کرد.



شکل ۳-۵ بت کردن عضو استیلی ساخته شده در زیر تیر بتی موجود به منظور ارتقاء ظرفیت تیر بتی

در زیر تیر براکت استیلی جوش شده به صورت U که در شکل ۳-۵ نشان داده شده جهت تقویت استفاده شده است. این روش طراحی منفعل است استیل مورد استفاده بکار نمی افتد تا این که بتن تحت تأثیر بار اضافی تغییر شکل بدهد.

بهر حال در طراحی نهایی هر دوی آرماتور موجود داخلی و استیل تقویتی به طوری در نظر گرفته می شوند که به حد جاری شدن تحت تأثیر بارهای فاکتوردار برسند و سطح مقطع ترکیبی بگونه ای در نظر گرفته می شود که بتواند کل بار وارده را تحمل نماید (مثال ۱).

اندازه و فاصله ی مابین بت های اتصال به وسیله ی نیروهایی که مورد نیاز برای انتقال بار از عضو های استیلی به بتن در حالت تحمل بار و یا برش تعیین می شوند.

یک روش دیگر شامل پلیت استیلی بلت شده به پایین و زیر تیر است با استفاده از انکرهای چسبیده ی عمودی این راهکار برای جایگزینی به دقت بیشتری نیاز دارد و بایستی از برخورد با آرماتورهای تیر بر حذر باشد.

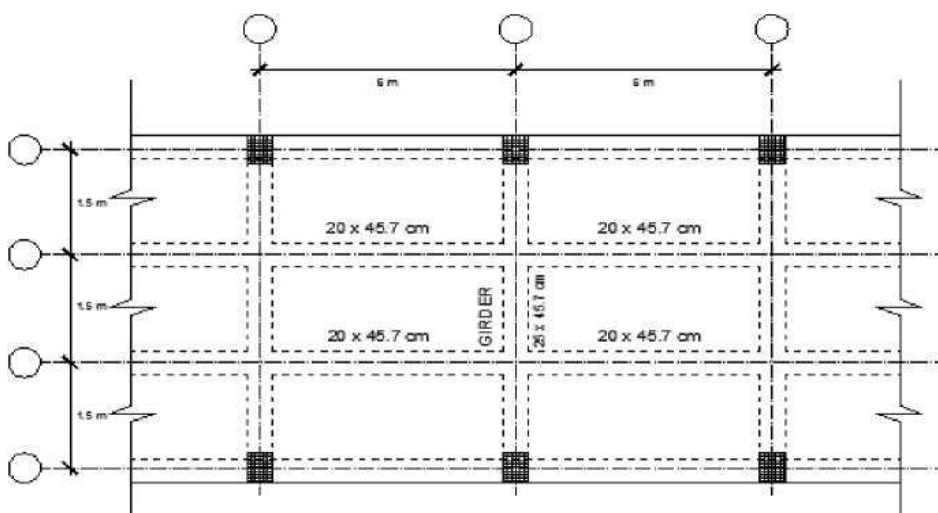
یک روش دیگر استفاده از ۲ تا پلیت اضافی در طراحی است یکی در بالای تیر و دیگری در پایین پلیتها به وسیله ی بلت به صورت عمودی از بالا به پایین تیر ارتباط پیدا می کنند و کل عمق تیر را در بر می گیرند این نوع تقویت در در زمانی که میخواهیم میزان باربری جسم را افزایش دهیم مورد استفاده دارد . در این روش نه تنها احتیاج به دریل کردن از داخل عمق تیر که بسیار مشکل است، بلکه پوشش روی پلیت بالایی و انکرهای آن ممکن است تولید در دسر کند. در همه ی این روش های مقاوم سازی تیر و تعدادی که در قسمت های بعدی بحث می شود بمنظور برای بالا بردن سختی تیرها استفاده می شود.

وقتی که عضوی به وسیله ی بلت اتصال پیدا کرد تعداد و ضخامت بلت ها تعیین کننده است ولی در ضمن کار میتوان با روش های دیگر به تقویت سازه پرداخت.

۳-۵- مثال ۱ شاهتیر بتنی که از بیرون توسط ناودانی استیلی تقویت شده

سیستم فریم طبقه شاهتیر بتنی ریخته شده درجا که در شکل ۳-۶ نشان داده شده بگونه ای طراحی شده است که می تواند بار زنده 250 kg/m^2 را تحمل کند. برای افزایش ظرفیت خمشی و سختی شاهتیر داخلی نشان داده شده به مقدار 250 kg/m^2 اضافی احتیاج به تقویت شاه تیر مذکور می باشد. مقاوم سازی تیرهای دیگر در این مثال لحاظ نشده است. فرضیه هایی در نظر گرفته شده است شامل :

۱. عضو موجود توانایی تحمل بارهای اصلی طراحی را دارد.
 ۲. این شاهتیر را می توان با مدل تکیه گاه ساده آنالیز کرد فرض دیگر این که محاسبات ممان مثبت جهت ساده سازی کار در نظر گرفته می شود.
 ۳. ظرفیت برش شاهتیر موجود کافی است تا بار وارده ی اضافی را تحمل نماید.
- این مثال از طریق طراحی مقاومت تیر استفاده می شود که در آن فرض می شود که آرماتورهای موجود داخلی به حد تنش جاری شدن می رسند در زمانی که بار نهایی به آنها اعمال می شود جاری شدن میله گردها ادامه پیدا می کند. تحت اثر بار زنده وارده بیشتر سازه های بتنی قدیمی به وسیله ی آرماتور ساده طراحی شده اند و اتکا به تنش های باند مابین بتن و آرماتور برای انتقال بار وارده میباشد. اگر قبل از این که آرماتورها جاری بشوند باند آنها از بین برود این فرضیه ها معتبر نمی باشند خوشبختانه در واقع خرابی تیرهای موجود بر اثر ازدست رفتن باند نادر هستند و کمتر اتفاق می افتد.



شکل (۳-۶) پلان فریم و مدل آنالیز

برای مثال ۱ تیر موجود دارای مشخصات زیر هستند.

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$d_r = 457 \text{ mm}$$

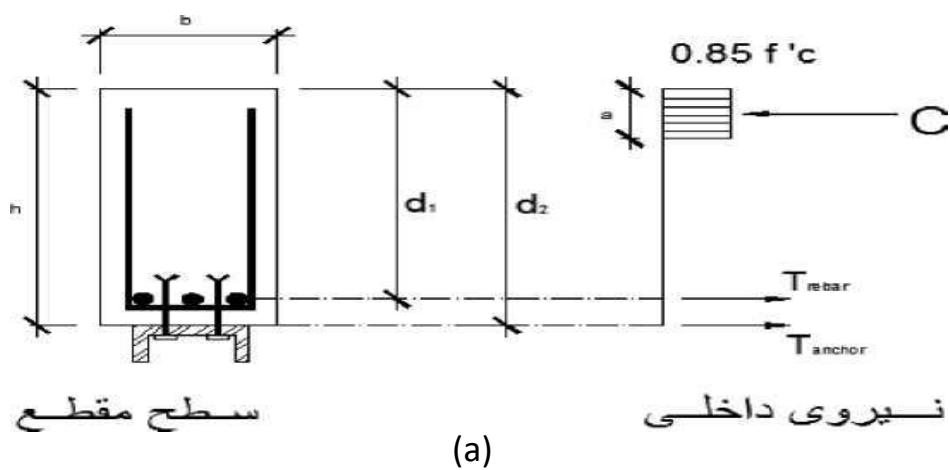
$$d_1 = 389 \text{ mm}$$

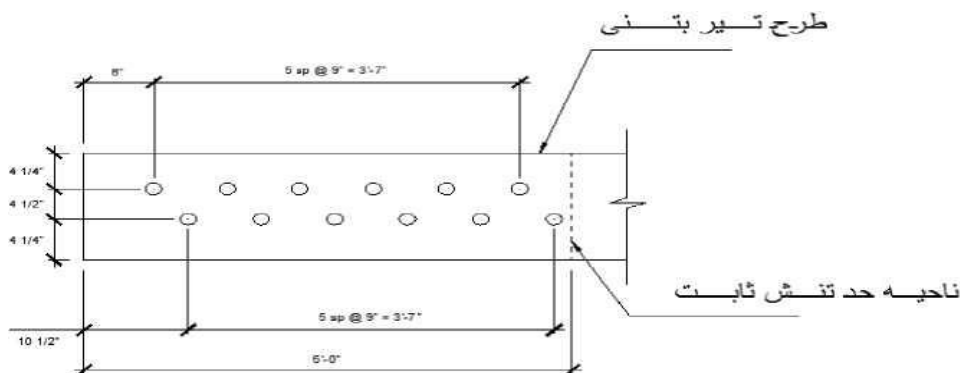
$$f_c = 25000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4210 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = 851 \text{ mm}^2$$

ناودانی که برای تقویت استفاده شده در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.





(b)

شکل (۳-۷) جزییات طراحی

برای مثال ۱ :

(a) سطح مقطع و نیروی داخلی تیر

(b) چیدمان بِلت ها منبسط شونده

- حل مسئله

اولین قدم محاسبه ی ممان خمشی فاکتوردار در اثر بارهای وارده ی اصلی بر روی تیر می باشد بار های موجود در سرویس که روی تیر اثر میکنند به شرح زیر است:

$$2250 \text{ kN} = (6 \text{ m}) (1.5 \text{ m}) (250 \text{ kN/m})$$

۱۰۰ mm وزن دال بتن موجود

(۲۰۰ mm) (۴۶۰ mm) تیر

$$1080 \text{ kN} = (6 \text{ m}) (200 \text{ mm}) (460 \text{ mm} - 100 \text{ mm}) (250 \text{ kN/m})$$

(۲۵۰ mm) (۴۶۰ mm) تیر

$$225 \text{ kN} = (250 \text{ mm}) (460 \text{ mm} - 100 \text{ mm}) (250 \text{ kN/m})$$

$$2250 \text{ kN} = (6 \text{ m}) (1.5 \text{ m}) (250 \text{ kN/m})$$

ممان ماکزیمم فاکتور دار موجود که روی قسمت تقویت نشده اعمال می شود شامل :

$$P_{\text{موجود}} = ۱.۷(۲۲۵۰) + ۱.۴(۲۲۵۰) = ۸۵۰۰ \text{ mm}$$

$$M_{\text{موجود}} = \frac{1}{8}(۱.۴)(۲۲۵)(۴.۵)^2 + \frac{1}{4}(۸۵۰۰)(۴.۵) = ۱۳۵۴۷ \text{ mm.m}$$

قدم بعدی محاسبه ی بار زنده ی اعمال شده اضافی می باشد و ممانی که از تیر بر روی سیستم اعمال می شود

ممان خمشی جمعی فاکتوردار که روی عضو بتنی مسلح اثر دارد مساوی است یا :

$$P_u = ۱.۷[(۲۵۰)(۱.۵)(۶)] = ۳۸۲۵ \text{ mm.m}$$

$$M_{u,LLa} = (۳۸۲۵) * \frac{۴.۵}{۳} = ۵۷۳۸۷ \text{ mm.m}$$

$$M_u = M_{u,exist} + M_{u,LLa} = 13547 + 5738 = 19285 \text{ kg.m}$$

قدم بعدی نیروی کششی داخلی که در انکرها به وجود می آید، تعیین میشود. حالت خرابی کنترلی بر اساس خرابی برش انکرها میباشد در جایی که مقاومت تقویت عضو سازه به وجود آمده است. عبارتی که برای ظرفیت اسمی مقطع تقویت شده ی بیرونی است به صورت زیر و در معادله (۱) عنوان شده است.

$$M_u = A_s f_y (d_1 - \frac{a}{\gamma}) + T (d_2 - \frac{a}{\gamma})$$

در جایی که انکر (T) تحت نیروی کششی است که در برش به وسیله ی بِلِت های انکر تحمل می شود.

A_s مقطع موجود آرماتور داخلی تقویت کننده های خمشی می باشد.

f_y تنش جاری شدن تقویت کننده های خمشی داخلی است.

d_1 عمق ناحیه ی فشاری است تا مرکز تقویت کننده های خمشی داخلی.

d_2 عمق ناحیه ی فشاری تا سطح برشی انکر می باشد.

که تعیین عمق بلوک تنش فشاری (a) در عضوهای بیرونی تقویت شده مشکل است. وبستگی به

نیروی انکر دارد. تعادل داخلی که در شکل ۳-۹ نشان داده شده این عبارت است:

$$T = \frac{M_u - A_s f_y (d_1 - \frac{a}{\gamma})}{(d_2 - \frac{a}{\gamma})} \quad \text{معادله (۲)}$$

یک مقدار کمی درجه ی کاهش از ظرفیت انکر مربوط به ظرفیت برش آن می باشد که آن را می

توان اعمال کرد کاهش بیشتر ϕ در زمانی که حالت خرابی مربوط به شکستگی بتن باشد در نظر

گرفته می شود را معمولاً ۰.۵ در نظر می گیرند بنابراین ظرفیت ممان اسمی مورد نیاز :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{۱۹۲۹۷}{۰.۸۵} = ۲۲۷۰۳ \text{ mm.m}$$

$$T = \frac{(227.3000) - 851(42)(389 \frac{a}{\gamma})}{(457 - \frac{a}{\gamma})}$$

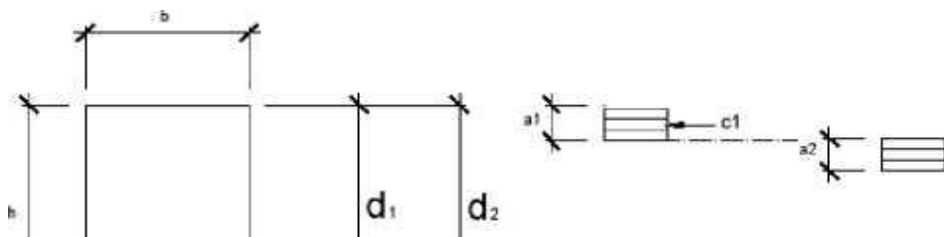
سپس باید از طریق سعی و خطا برای عمق بلوک تنشی عددی را انتخاب کرده و نیروی کششی مهاري را محاسبه کنیم. این اعداد باید در هر دو رابطه صدق کرده و به هم همگرا شوند.

از نکاتی که در نصب ناودانی در زیر تیر بتنی بایستی در نظر گرفته شود این است که کیفیت ناودانی که باید قبل از نصب چک شود. همچنین از آنجایی که سوراخهای ایجاد شده یک مقدار از قطر بیرونی بلتها بیشتر هستند ممکن است مقداری لغزش تحت بار وارده ایجاد شود. بدین منظور سوراخها بایستی با چسب اپوکسی پر شود. بر خلاف روش سعی و خطا که در مثال عنوان شد یک روش ساده تری برای پیدا کردن اندازه عضو اضافه شده و نصب آن وجود دارد که در این روش یک پلیت جهت توضیح کار استفاده میشود. اولین قدم در این روش محاسبه نیروها در آرماتورهای موجود است. مشکلات عمومی برای اضافه کردن بِلِت کششی این است که محل دقیق آرماتورهای موجود در زیر تیر بتنی بایستی مشخص باشد. باید دقت شود که صدمه به آرماتور موجود در زیر تیر بتنی بایستی مشخص باشد.

در مواردی آرماتورها خیلی بهم نزدیکند و ممکن است دریل کردن برای نصب آرماتور دارای ریسک باشد. در این موارد روشی که در شکل (۸-۳) ارائه شده در جاییکه تقویت بیرونی در طرفین تیر و نزدیک پایین آن، استفاده شود. یک مشکل که استفاده از عضو متصل شده جانبی است این است که ممکن است با لوله و مجاری حرارتی تیر برخورد کند.

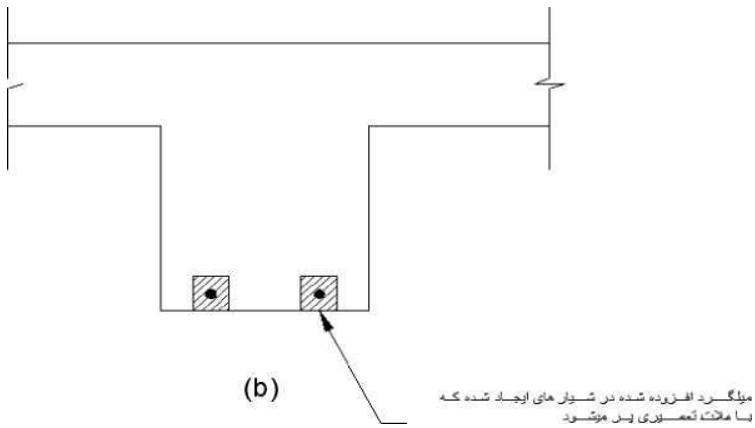
این کار از طریق دستگاهی به نام آرماتور یاب rebar locator که جهت تعیین محل آرماتورها به طریق غیر مخرب است صورت میگیرد. یا میتوان مقداری از بتن رویه را انداخت و به محل آرماتورها پی برد، سطح بتن کنده شده بایستی پرچ شود.

وقتی که آرماتورهای موجود کم هستند و فاصله آنها زیاد است استفاده از پلیت استیلی چندان مناسب نیست و به جای آن میشود با شیار طولی که در شکل (۸-۳) نشان داده شده از آرماتورهای جدید استفاده کرد. این شیارها بعداً با مواد مناسب تعمیر میمانند ملات اپوکسی پر میشود. این روش موسوم به نزدیک سطح نهادن آرماتور (NMS (Near Mounting Surface اگر قسمت پایین آرماتورهای موجود در تیر در این عملیات بریده شدند قبل از نصب آرماتورها بایستی ظرفیت برشی را بررسی کرد.



نیروهای اضافه شده با ورق

نیروهای مقطع موجود



(شکل b ۳-۸) روشی برای تعیین نیروها در عضو مسلح

۳-۶- اضافه کردن پلیت استیلی باند شده

به جای بت کردن پلیت استیلی تقویتی از چسب اپوکسی دو قسمته میتوان استفاده کرد. از مزایای این روش آسانی در نصب می باشد و بجای دریل کردن و بت کردن می توان با چسب مخصوص اپوکسی پلیت تقویتی را نصب در محل مورد تعمیر قرار داد و تعمیر به سرعت انجام می گیرد و میزان مزاحمت برای افراد داخل سازه کاهش پیدا می کند. از معایب مشخص این سیستم اتکا کار به کیفیت نیروی کار است. در اعمال اپوکسی همه ی نکات را می توان به سادگی مشاهده کرد نکاتی که بایستی به کار برد، شامل عدم آماده سازی سطح زیرین مواد اپکسی این که مناسب نباشد یا این که به صورت متقارنی با میزان تغییر شکل، تغییر شکل پیدا نکند این سیستم نیاز به دقت کافی در نصب دارد به هر حال اگر به خوبی این پلیت چسبنده شود و باند شود بهتر از روش مکانیکی بت کردن می باشد. سه فاکتور خیلی مهم و بحرانی برای این سیستم بایستی متذکر شد.

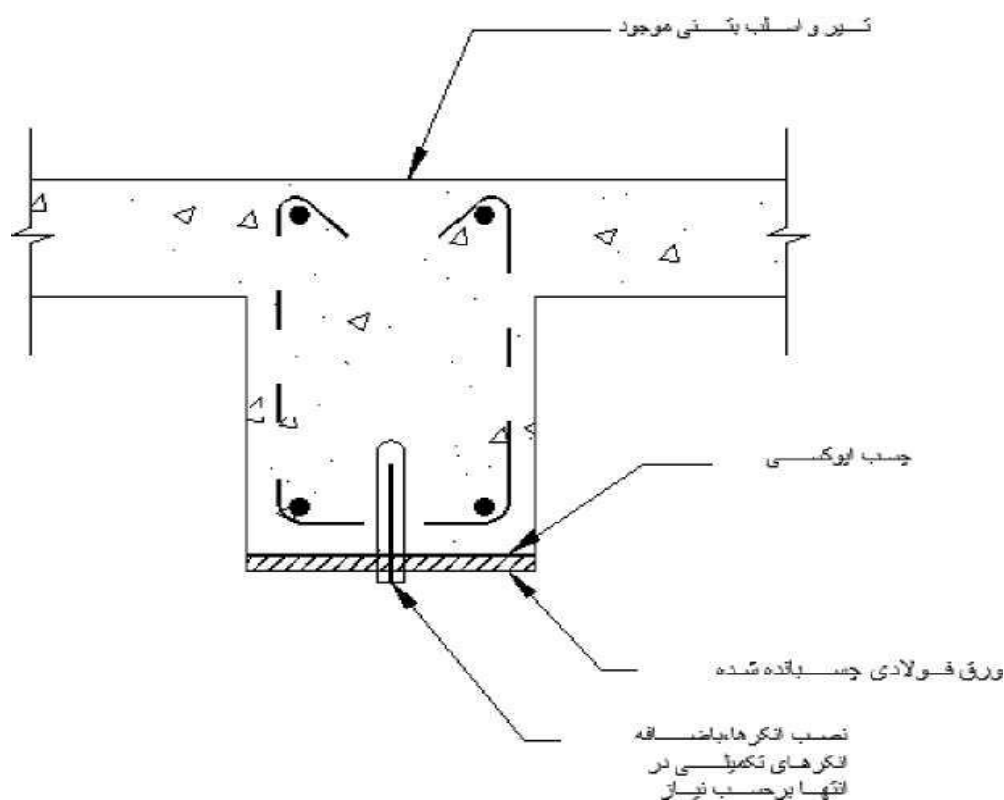
- سطح زیرین بایستی به طور کامل در مقیاس میلی متری آماده شود مواد آلوده از سطح زیرین برداشته شود.

- اپکسی مورد استفاده دارای مقاومت باندینگ مساوی یا بیشتر از بتن باشد و از نظر شرایط محیط مناسب باشد.

- پلیت تقویتی بایستی بلند و به اندازه ی کافی نازک باشد تا از جدا شدگی شکننده از بتن جلوگیری شود. اپکسی بایستی به وسیله ی فشار تزریق و رزین سیال جایگزین کرد. مانند سایر انواع چسب اتصال عضو تقویتی با ایکسی دو قسمته نیاز فشار پلیت را به زیر سطح مورد نظر و ساپرت موقت است، چنانچه در شکل ۳-۹ برای چسباندن نیاز به انکر موقت داریم. ساپرت در زمان نصب و مقداری از ظرفیت برشی اضافه را می توان با میله های رزوه شده انجام داد. چنان که در شکل ۳-۹ مشاهده میشود.

بهتر است که در انتهای پلیت از انکرهای اضافی استفاده شود این کار از جدا شدگی در زمانی که پلیت تحت بار است جلوگیری میکند از نکات دیگری که میشود استفاده کرد، استفاده از پلیتی است که به تدریج نازک می شود. مسئله این سیستم در جاهایی که در کارهای بیرونی میرود خوردگی فلز می باشد که این باعث از دست رفتن باند می شود.

حفاظت پلیت با روکش رنگ جواب این کار نیست بخاطر این که روکش ممکن است با چسب واکنش نشان دهد. از نکات دیگری که بایستی در نظر گرفت اضافه کردن تقویت بیرونی را نمی توان راهکاری مناسب برای مدت زیاد برای سازه های که در معرض خوردگی فعال هستند به کار برد. این عضو استیلی جدید نمی تواند باعث متوقف شدن خوردگی شود و در حقیقت واکنش گالوانیک را تسریع داده و شرایط را بدتر می کند و همچنین مسائلی در مورد اپکسی، شرایط محیطی که دارای حرارت بالا رونده است.



شکل ۹-۳ اضافه کردن پلیت استیلی به منظور ارتقاء ظرفیت ممان مثبت تیر موجود

۳-۷- اضافه کردن پلیتهای FRP و دور پیچی

بجای تقویت سازه با استیل پلیت، میتوان از تقویت کننده ی پلاستیکی FRP استفاده کرد. FRP از الیاف خیلی قوی و کوتاهی که توسط رزین به هم باند شده اند ساخته شده و مقاومت آن در بعضی موارد بیشتر از استیل است. مواد الیافی قبلاً استفاده میشد شیشه بود که به آن GFRP یعنی الیاف تقویت کننده پلاستیکی میگویند.

بدین معنی که یک تیر که از GFRP درست شده است به اندازه ی ۵ برابر تیری به همان اندازه که از استیل ساخته شده است خم می شود در این جا بایستی گفت که تیر ساخته شده با GFRP می تواند تا حد بالای حد مجاز برای تیر با تکیه گاه ساده ($L/250$) می تواند بار تحمل کند و زمانی که بار از روی آن برداشته شود به حالت اولیه ی خود باز گردد.

این از مشاهدات عینی نویسنده در مورد تست تیر مسلح با میله گرد GFRP است (عباسی و هاگ ۲۰۰۵). مواد اپوکسی که برای چسباندن پلیت استفاده میشود با موادی که برای چسباندن FRP هستند فرق دارد. انتخاب صحیح مواد اپوکسی از نکات اساسی موفقیت پروژه می باشد. اپوکسی بایستی به اندازه کافی سخت و قوی باشد که بتواند نیروهای پلیت و بتن را انتقال دهد. اپوکسی های الاستیکی سفت برای چسباندن FRP و اعمال آن مناسب می باشد. تقویت کننده های FRP در دو صورت موضعی خراب می شوند خمشی و یا مد خرابی خمشی شامل خرد شدن بتن و پارگی پلیت می باشد. مد موضعی خرابی شامل جدا شدگی FRP و یا خرابی برش لایه ای بتنی بین پلیت و تقویت کننده های طولی است مد خرابی خمشی نشانگر رفتار انتقال پذیری تعمیر می باشد و چندان بد نیست. ولی از خرابی موضعی بایستی جلوگیری کرد چنان که تحقیقات نشان داده مقاومت باند مابین پلیت و بتن عاملی مهم در واکنش تیر که مسلح به پلیت FRP می باشد است. بطور کلی، ارتقای مقاومت خمشی را می توان با FRP نازک در مورد تیرهای بتنی که دارای آرماتور کم هستند به برش و تمرکز معمول تنش در انتهای پلیت FRP و همچنین ترک های خمشی در تیرها را بایستی در طراحی سیستم تقویتی FRP در نظر گرفت. روش های طراحی عمومی برای محاسبه ی برش و تنش های معمول در نقاط مختلف سطح برخورد موجود باشد محل نقطه ی بریده شدن پلیت کاملاً بحرانی می باشد در مطمئن شدن خرابی در خمش صورت گیرد. بایستی طول باند FRP به اندازه ی کافی بلند باشد یک فرضیه ی سرانگشتی است که ضریب عرض به ضخامت پلیت بایستی ۵۰ باشد تا مطمئن شد خرابی در اثر انتقال پذیری صورت بگیرد.

کامپوزیت های الیافی دارای محدودیت های دیگری نیز هستند، الیاف آرامید علیرغم مقاومت ضربه ی بالا یک نوع آرامید به نام کولار kelvar ژاکت ضد گلوله است دارای مقاومت فشاری ضعیفی است که در عضو های فشاری دارای محدودیت می باشد بعلاوه هزینه ی آرامید تقریباً به اندازه ی کربن است که مواد خیلی قویتر هستند. الیاف شیشه دارای ضعف هایی می باشد که مهم ترین آن ها مقاومت ضعیف در محیط قلیایی است بنابراین پیشنهاد میشود محافظت الیاف GFRP با رزین از نوع AR (رزین مقاوم در محیط قلیایی) انجام شود.

ضخامت رزین کم است و به چند میلی متر در بهترین حالت می رسد بنابر این توانایی حفاظت کمی دارد از آن جایی که در بتن قلیا موجود است بایستی دوام الیاف شیشه ای را در نظر گرفت قبل از این که از GFRP تقویتی استفاده کرد. مسئله ی دیگر الیاف شیشه ای پارگی در خزش است یا خرابی تحت تاثیر بار ساکن در سطحی پایین تر از موادی که می توانند به صورت فوری کار ساپرت را انجام دهند بنابراین GFRP برای مقاوم سازی اعضای که مقاومت در مقابل بار سریع را داشته باشند به عنوان مثال بار لرزه ای و برای بارگذاری طولانی مناسب نیستند.

هم چنین در مورد اینکه استفاده از تقویت کننده های FRP تا چه حد می توانند به مقاومت سازه کمک کنند، میباشد. بعضی ها پیشنهاد دادند که در حد بالای ۵۰ درصد می باشد.

از مواد خیلی موثر CFRP با الیاف کربن است. CFRP قوی است و مقاوم در مقابل خوردگی که در اثر هر دو اسید و قلیا است وزن سبک دارد و خاصیت غیر مغناطیسی دارد بعضی از مواد کربن که برای مقاوم سازی هستند دارای مقاومتی بالا ۸ برابر آرماتورهای ردی ۶۰ می باشد و سختی آنها قابل مقایسه با استیل است. معایب آنها این است که کربن مانند استیل قابلیت انتقال الکتریکی دارد بنابراین ممکن است که قسمتی از محیط زنجیره ای الکترومغناطیس خوردگی حادث شود و خوردگی استیل را افزایش دهد.

در بیشتر موارد کربن FRP انتخاب خوبی است. استفاده از CFRP دارای قدمت زیادی نیست و تجارب کمی در این مورد موجود است و همچنین استانداردهای طراحی و مشخصات آن کم است، وقتی که این استانداردها توسعه پیدا کردند مواد FRP بهترین روش برای مقاوم سازی ساختمانهای بتنی می باشد.

رزین های پلیمری در حرارت بالا رونده نرم می شوند و مقاومت خود را از دست می دهند، بنابراین استفاده از چسب اپوکسی در جایی که درجه ی حرارت بالاست صورت نمی گیرد.

در زمانی که حرارت بالا می رود و بالای یک نقطه ی خاصی به نام حرارت (Glass transition temperature) TG میرسد خواص اپوکسی از قبیل مقاومت، سختی مقاومت در مقابل خزش به سرعت پایین می آید.

برای اپوکسی که در ساخت به کار می رود نقطه ی تبدیل به وسیله ی حرارت مابین ۷۰ تا ۱۷۰ درجه فارنهایت است. وقتی که حرارت در نهایت تقلیل یافت اپوکسی خواص سازه ی خود را تقریباً به دست می آورد.

برای کاهش این خواص در زمان آتش بایستی سطح تعمیر شده را در مقابل آتش محفوظ نگه داشت استفاده از دیوار و یا روکش مناسب است ولی مقداری پر هزینه هستند هزینه ی این حفاظت در آتش روی مواد FRP ممکن است این سیستم را از سیستم های دیگر گران تر کند.

چگونه می توان بررسی کرد که FRP به صورت صحیحی چسبیده شده است باند مابین راه می توان به وسیله ی صدای روی آن و ضربه ای که بروی FRP زده می شود و همچنین تست pulloff تشخیص داد. در جاهایی که به خوبی FRP چسبیده شده خرابی در بتن صورت میگیرد و خرابی به صورت خمشی است نه موضعی. با تست بارگذاری نیز میتوان مقاومت باند را بررسی کرد یک روش دیگر بجای چسباندن FRP پلیت دور پیچ پارچه ای CFRP می باشد. این طراحی تقریباً نو است و توسط شرکت های با پرستیژ در صنعت به کار برده میشود موفقیت هایی نیز داشته اند یکی از عظیم ترین پروژه های دنیا که در آن از پارچه ی CFRP استفاده گردید پروژه ی گاراژ پارکینگ ۲۱۰۰ جای پارک در سال ۱۹۹۸ برای فرودگاه بین المللی PITTSBURGH در سال ۱۹۹۲ ساخته شده بود. این گاراژ با تیرهای T شکل دابل و پیش ساخته بنا شده و در بعضی نقاط ترک های و طبله شدگی به وجود آمد. بیش از ۱۲۵۰ تیر پیش ساخته بوسیله ی پارچه های CFRP مقاوم سازی شدند و مقاوم سازی از دو جهت خمش و برشی صورت گرفت، قبل از مقاوم سازی اپکسی تزریق شد و ترک های سطحی به طور بیش از ۱۳۲۰۰ متر خطی کار تزریق ترک های سطحی انجام گرفت.

۳-۷-۱ مقاوم سازی سازه بتنی بیمارستان آریا اهواز

در اهواز بیمارستان آریا با سیستم CFRP پلیت و پارچه به منظور ارتقای ظرفیت باربری المان های تیر و ستون و سقف سازه ۸ طبقه بتنی بیمارستان، توسط نویسندگان این کتاب، استفاده شد. بنا بود یک دستگاه ۸ تنی MRI در طبقه همکف نصب شود. ابتدا ضمن مشاهده عینی و مصاحبه با سازنده اصلی و انجام تست های غیر مخرب مانند التراسونیک به آنالیز سازه با نرم افزار Etab مشخص شد که زیر دال محل استقرار که تحت این بار ضمن مقاوم سازی زیر اسلب با پلیت و ۱۵ ستون دیگر از ۶۰ ستون موجود و تیر مرتبط با پارچه بواسطه پوش اور نیاز تقویت و مقاوم سازی داشت. اعمال سیستم ضمن بهره برداری از بیمارستان انجام شد شکل ۳-۱۰.



شکل ۳-۱۰ مقاومسازی سقف و تیر و ستون بیمارستان با سیستم CFRP

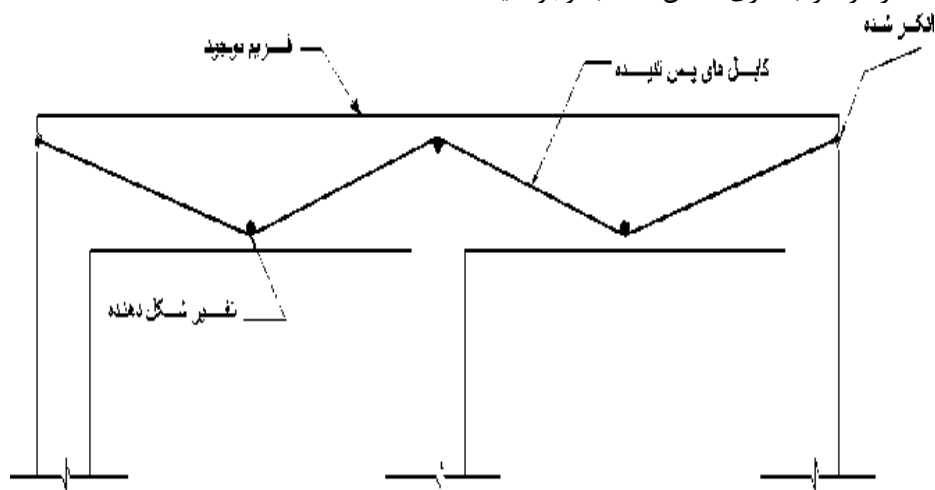
۳-۸- مقاوم سازی با پس کشیدگی پیش تنیدگی بیرونی

روشی دیگر که برای مقاوم سازی تیرهای بتن انجام می شود و خیلی کاربرد دارد استفاده از پس کشیدگی یا پیش تنیدگی بیرونی است در این روش با اعمال نیروهای خارجی عضو ها تقویت میشوند، تا این که به بارهای وارده در طراحی کمک کنند. نیروها به وسیله ی تاندون های پیش تنیده که خارج از سطح تقویت شده پیش تنیدگی خارجی یا از داخل پیش تنیدگی داخلی شده اند را برای مقاوم سازی سازه ای نیز میتوان استفاده کرد .

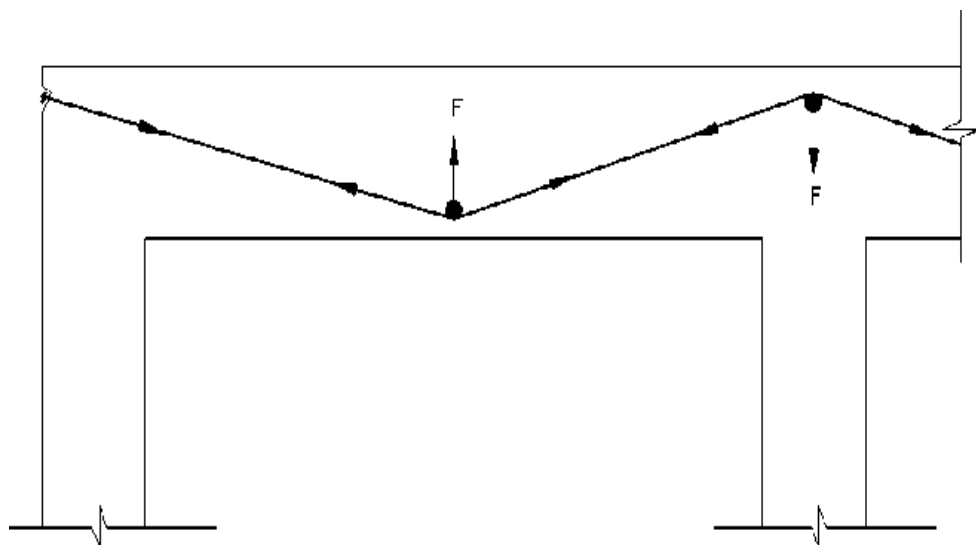
تاندون ها به سازه در محل نقاط انکر که نوعاً در انتهای عضو هستند متصل می شود نیروی جک زدن مورد نیاز توسط بلوک های تقسیم کننده و یا از سخت کننده های در بالا و پایین نقاط سازه اعمال میشود. روش متداول برای مقاوم سازی تیرهای بتنی یا پیش تنیدگی خارجی در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.

کابل مورد استفاده به طوری به کار برده می شود که نیروها در جهت های خواسته شده اعمال شوند. همان طوری که در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. روش پیش تنیدگی بیرون برای مقاوم سازی پلها استفاده می شود و برای مقاوم سازی ساختمانها و اعضای آن گران است از فواید این روش مقاوم سازی، سادگی و بررسی آسان و توانایی برای جابه جایی و تعویض تاندون هاست. از معایب این روش

حفاظت خوردگی در محیط های نامناسب است و همچنین محافظت در مقابل آتش و خرابی هایی که در اثر خراب کاری ممکن است به وجود آید.



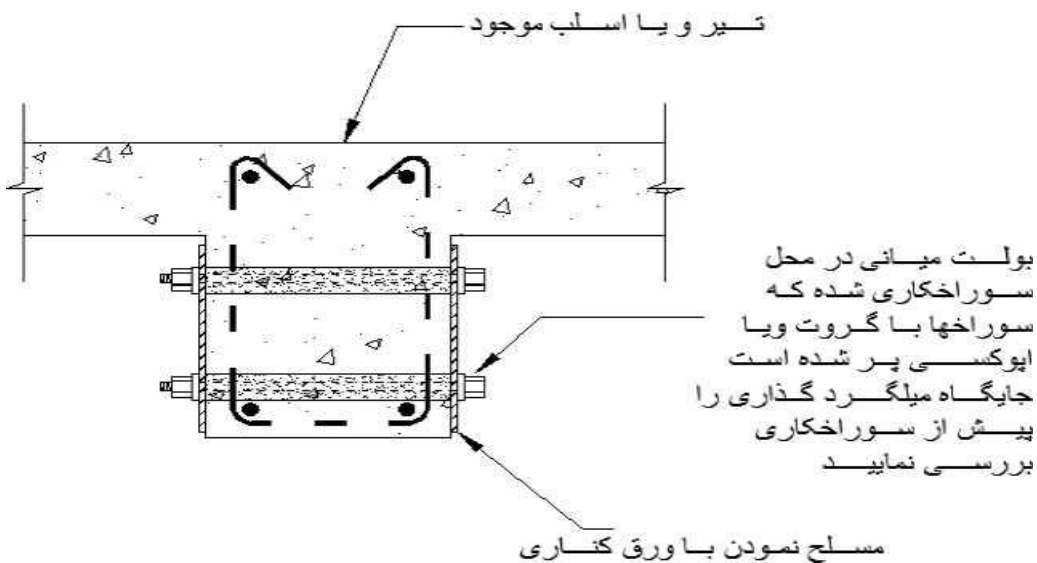
شکل ۱۱-۳ مقاوم سازی تیرهای بتنی با پیش کشیده ی بیرونی



شکل (۱۲-۳) برآورد نیروهای اعمال شده به وسیله ی کابل های پیش تنیده ی بیرونی که با بارهای وارده تلاقی دارند.

۳-۹- تقویت برشی تیر

بحث قبل در مورد بالا بردن ظرفیت خمشی تیرهای بتنی بود روش های مشابه نیز برای بالا بردن ظرفیت برشی استفاده می شود به عنوان مثال از دو پلیت تقویتی استیلی را می توان برای ارتقاء مقاومت برشی تیر بتنی موجود استفاده کرد . پلیت جدید طرفین تیر موجود را پوشانده و از طریق بِلَت بلندی از داخل تیر دو پلیت به هم وصل می شوند شکل (۳-۱۳).

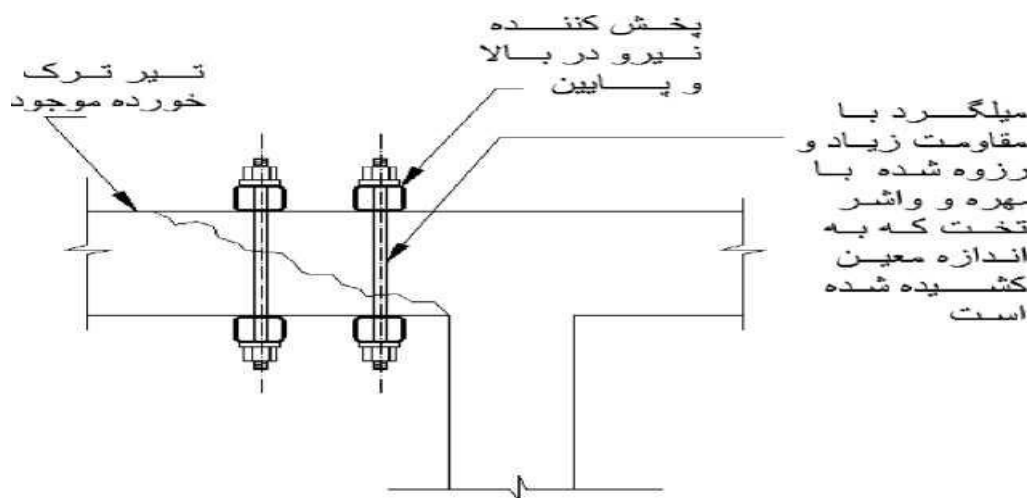


شکل (۳-۱۳) افزودن پلیت استیلی جهت بالا بردن مقاومت برشی تیر بتنی

بسته به شرایط هر دوی پلیت های کششی و برشی ممکن است در یک تیر مشابه در نقاط مختلف طول تیر استفاده شود. تکنیک دیگر برای ارتقاء ظرفیت برشی تیر موجود اضافه کردن خاموت شکل در سوراخ هایی که در آن چسب وجود دارد میباشد. خاموتها به صورت عمودی در پایین تیر اضافه می شود. معمولاً کاور مناسب برای گذاشتن خاموت در قسمت بیرونی آرماتور های کششی موجود

نیست و آرماتور U شکل به نحوی در سوراخ تعبیه می شود که صدمه ای به آرماتورهای اصلی نرسد و از میان آرماتورهای پایینی رد بشود.

تیرهای بتنی که دارای ظرفیت برشی نامناسب هستند ممکن است دچار ترک خوردگی قطری از قسمت لبه های داخلی ساپرت به وسط تیر می شوند. اگر این ترک ها خیلی عریض باشند قفل و بست سنگدانه قادر به نگهداری بتن نشده و به قطعات مجزا تقسیم می شوند . محدودیت عرض ترک بتن 0.508 mm می باشد. اضافه کردن پلیتهای جانبی یا خاموت هایی که در داخل سوراخ گروت می شوند کاری را برای تعمیر و مقاوم سازی تیر در شرایط صدمه شدید برشی انجام نمی دهد. به جای این ، استفاده از یک نوع گیردار کردن ممکن است کمک کند که در طراحی که در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴ بالا بردن ظرفیت برشی تیر بتنی موجود به وسیله ی بت میان گذر

تعدادی بت در هر جانب تیر ترک خورده تعبیه شده و این بت ها تا جایی که امکان دارد به همدیگر نزدیک و باعث کشش شده و مقداری ترک ها را نگه می دارند.

این گیرداری ها باعث جلوگیری فیزیکی از جدا شدن بتن می شود. یک روش دیگر این است که به وسیله ی تزریق اپوکسی مکانیزم قفل و بست سنگدانه ها را دوباره به وجود آورد نهایتاً دهانه تیر با

صدمات برشی قابل روئت ممکن است با اضافه کردن ستون و یا مهاربندی قطری کوتاه شوند یا این که با براکت های bolt شده به ستون می توان دهانه را کوتاه کرد.

یک روشی که برای مقاوم سازی برشی است استفاده از FRP کامپوزیت است که به وسیله ی اپوکسی دور تیر را در انتها و با ورقه های پارچه ای که نازک هستند میتوان پوشاند.

بحث سیستم FRP همان طور که قبلاً اشاره شد برای مقاوم سازی برشی دارای اختلاف نظرهایی در محافل تحقیقی است. به عنوان مثال کرنش در FRP ثابت نیست و با افزایش سختی محوری FRP این کرنش کاهش پیدا می کند.

۳-۱۰- مقاوم سازی سازه های دال

در بعضی موارد دال های سازه ای موجود را می توان مقاوم سازی کرد و ظرفیت باربری آنها را افزایش داد در این بخش چندین روش مقاوم سازی که مخصوص دال ها میباشد ذکر می شوند

مقاوم سازی دال های یک طرفه :

مقاوم سازی دال های دو طرفه :

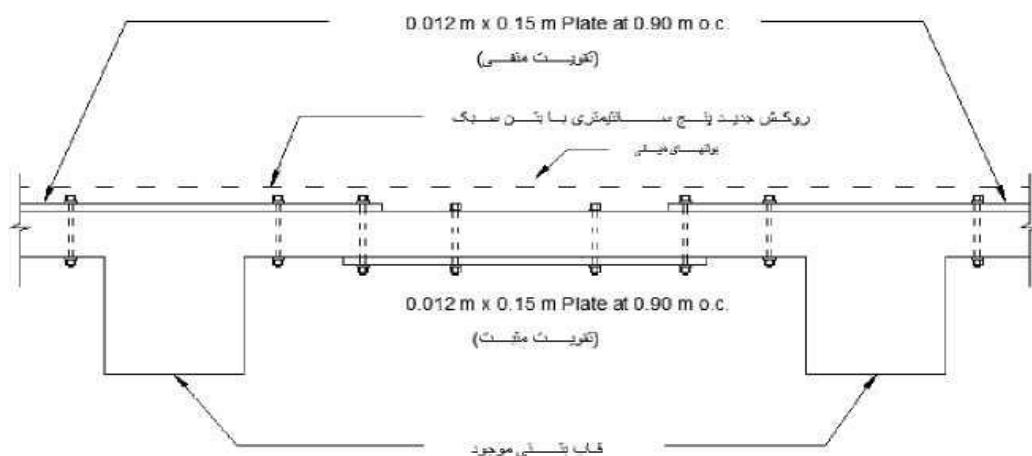
مقاوم سازی دال های کنسولی طره ای)

۳-۱۱- مقاوم سازی دال های یک طرفه

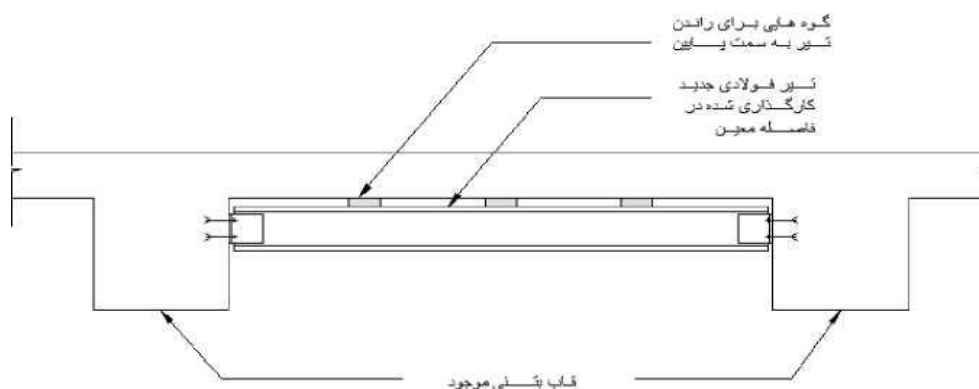
عملکرد دال های یک طرفه مانند تیرهای بتنی کم عمق هستند، ولی بعضی روش های تقویت تیر را نمیتوان به آن ها اعمال کرد. راهکار با اضافه کردن پلایت های داخلی یا بیرونی صورت می گیرد یا bolt شده هستند یا با چسب باند میشوند و آن هایی که بستگی به تقویت برشی گروت شده هستند پرواضح است که مناسب نمی باشند بزرگ کردن سطح مقطع در بعضی موارد عملی نیست.

احتمالاً روش ساده برای مقاوم سازی دال های یک طرفه با کوتاه کردن دهانه آن ها می باشد از مواردی که خیلی از نظر اجرایی مناسب است استفاده از تیر فولادی در وسط دهانه میانی می باشد چنانکه در شکل ۳-۱۶ توضیح داده شد. اگر بخاطر دلایلی این تکنیک نتواند مفید باشد پلایت فولادی برای ارتقاء مقاومت خمشی دال موجود و آن چه که برای تیرهای بتنی قبلاً به آن اشاره شد مناسب می باشد از آن جایی که بیشتر دال های بتنی دارای ضخامت نسبی کم هستند.

بهترین روش اضافه کردن پلایت تقویتی با بلتی که از مقطع گذر می کند می باشد. شکل (۳-۱۵)



شکل (۳-۱۵) روش برای بالا بردن مقاومت خمشی دال های بتنی



شکل (۳-۱۶) روشی برای اتقاء پایداری خمشی دال های بتنی

اضافه کردن تیر استیلی که به سمت پایین خم می شود و با گونه این کار صورت می گیرد.

سؤال این است که چه مقدار فاصله پلیت های استیلی باشد ؟

واضح است که هر چه فاصله آنها زیاد باشد میزان نیروی کار کاهش می یابد و اقتصادی تر است ولی بایستی متوجه بود که هر چه فاصله پلیت ها بیشتر باشد به عنوان تیر مجزا عمل میکند و به عنوان جزئی از دال و به صورت یکنواخت نمی باشد. ACI ۳۱۸ برای مقاومت خمشی فاصله بین پلیت ها را ۴۵ یا ۳ برابر قطر ضخامت دال سفارش کرده است.

در غیاب کد مشخص بعضی از مهندس ها از فاصله مابین پلیت به اندازه ی ۹۰۰ میلیمتر تا ۱۲۰۰ میلیمتر استفاده می کنند و از آرماتور تقویتی در زیر آن ها نیز استفاده می کنند.

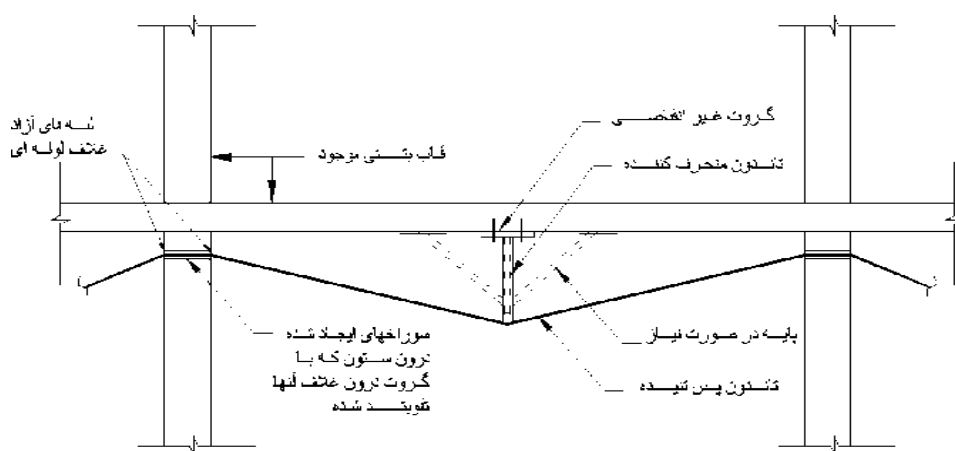
روش دیگر مقاومسازی دال استفاده از الیاف کامپوزیت است، بخصوص الیاف کربن در یک سیستم از اپوکسی با جامدیت بالا و ویسکوزیته کم بعنوان پرایمر اول اعمال میشود، بعد توسط اپوکسی خاصی سطح مورد نظر همسطح می شود. یک روکش اشباع رزین بعد از آن اعمال شده و بعد از آن پارچه الیاف کربن اعمال می شود. بعد لایه دوم رزین اشباع شده روی سطح برس میشود (لایه اضافه پارچه کربن اگر لازم باشد اعمال می شود) این سیستم را می توان با روکش نهایی ضد خوردگی پوشش داد.

۳-۱۲- مقاوم سازی دال دو طرفه

دال دو طرفه را می توان با روش های مشابه تقویت تیرهای بتنی و دال های یک طرفه مقاوم سازی کرد. استفاده از نوارهای تقویتی استیلی که یا بت می شوند و یا چسبیده می شوند، مفید است. بواسطه تقاطع مقطعی ممکن است تولید درد و سر کنند و عملی نباشند. ولی میشود با جوش نوار ها در هر تقاطعی این کار را صورت داد ولی روش پیچیده تر خواهد شد و بهتر است که تمام بالا و پایین سطح دال را با پلیت استیلی بزرگ پوشش داد. دال دو طرفه به ندرت در خمش خراب می شود، به خاطر این که می توانند واکنش لایه ای را به وجود بیاورند که ظرفیت باربری آنها را به اندازه ی مناسب بالا ببرند. در حقیقت نقطه ضعف این سیستم به واسطه ظرفیت نامناسب برشی و خمشی دال در محل ستون ها می باشد به خصوص در گوشه ستون بایستی گفت که واکنش لایه ای در زمانی موثر قرار می گیرد که تغییر شکل مناسبی در دال صورت پذیرد. بنابراین ظرفیت نهایی دال ممکن است مناسب باشد ولی خرابی در بهره برداری و صدمات به سطح پرداخت شده و خمش اضافی و غیره، شاید اتفاق بیفتد.

وقتی که ظرفیت برشی یک طبقه را که دارای سطح صاف می باشد، دالهای صاف آنهایی هستند که بدون کاپیتال تیر و ستون میباشند و قصد ظرفیت باربری را بالا ببریم، استفاده از روش های معمول مقاوم سازی که با استفاده از گریپ های برشی و براکت های استیلی است در زیر دال و ستون ها ممکن است مناسب باشد. براکت ها که دور ستون ها نصب می شوند و به ستون ها بت می شوند یک فاصله ای مابین بالا و پایین دال باقی می گذارند این فاصله بعداً با گروت غیر انقباضی به منظور تحمل یکنواخت بار وارده پر میشوند. با فراهم کردن محیط عریض تری برای تحمل دال این حلقه های برشی باعث کاهش تنش های برشی پانچینگ و رساندن آن به حد معمول میشوند. براکت های ساخته شده استیلی نیز می توانند برای افزایش ظرفیت ممان دال های تخت پلیتی استفاده شوند . هدف فراهم کردن انتقال گشتاور خمشی مابین محل ممان منفی می باشد (در بالای دال نزدیک ستون) در زمانی که براکت های استیلی به منظور زیبایی یا از نقطه نظر نگهداری با مشکل برخورد کنند استفاده از بتن و لایه بتنی برشی و درجا ممکن است مفید باشد . روش غیر متداول برای افزایش

مقاومت خمشی دال دو طرفه پیش کشیدگی بیرونی می باشد که قبلا راجع به آن صحبت شد . در این روش تاندون ها و محل مهار تاندون متفاوت می باشد. در دالها ، این تاندون ها در قسمت زیر نقاط از قبل تعیین شده نصب می شوند. انحراف دهنده تاندون شامل زین استیلی که به صورت بت دندانه دار است که به زیر دال بت میشوند که در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است. وقتی که تاندون لازم باشد و از داخل ستون رد بشود یک سوراخی ایجاد می شود که در آن سوراخ گروت هم زده می شود. محل سوراخ بایستی به نوعی باشد که از صدمه رساندن به آرماتورهای افقی در ستون جلوگیری شود .



شکل (۳-۱۷) مقاوم سازی دال های بتنی به وسیله پس کشیدگی

۳-۱۳- مقاوم سازی دال خم شده ی کنسولی رو به پایین

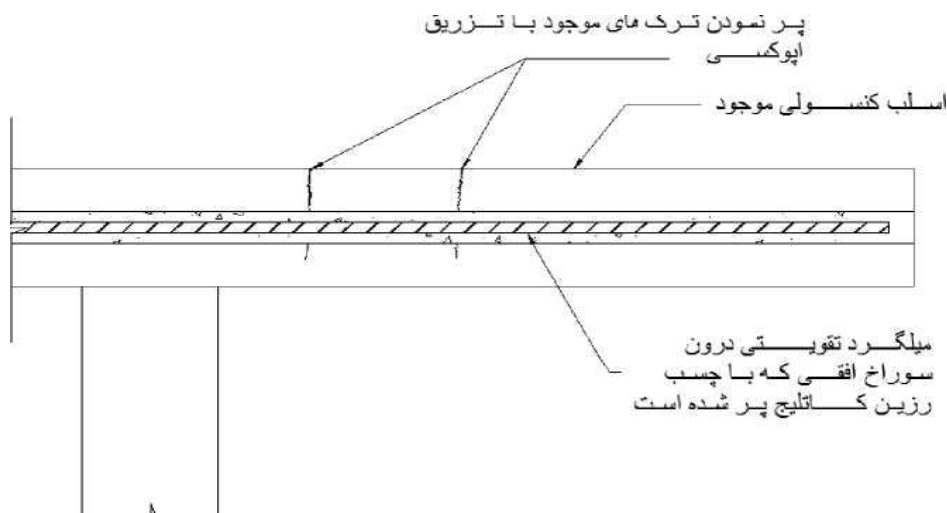
دال های کنسولی همه ی نوع آنها یک حالت آرشیتکت خوب را دارد. ولی دال های بتنی کنسولی نیاز به توجه زیادی در طراحی دارند. در دال های کنسولی اگر آرماتورهای تقویت کننده ی بالا صدمه دیدند توزیع تنش مجدد ممکن نمی باشد و بار وارده به قسمتهای دیگر سازه منتقل نمی شوند چه اتفاقی ممکن است به آرماتورهای بالای دال بیفتد؟ این آرماتورها ممکن است زنگ بزنند در زمانی که در نزدیکی سطح زهکشی آزاد و یا ناودانی جهت هدایت باشند. ممکن است در زمان ساخت یا تغییرات بعدی صدمه ببینند یا در مواد خیلی زیاد ممکن است آرماتورها در سطح خیلی پایین نصب شده باشند و باعث کاهش گشتاور داخلی بشوند که نتوانند بار وارده را تحمل کنند. از مسائل عمده ی این گونه تیرها خم شدگی رو به پایین (sagging) و ترک خوردگی دال میباشد. خم شدگی

رو به پایین در اثر نه تنها ضعیف بودن آرماتور، بلکه با خزش در اثر تغییر شکل طولانی مدت اضافی به وجود می آید ترک های عرضی ممکن است در قسمت بالای سطح در نزدیکی ساپرت به وجود بیایند و به آسانی قابل روئت می باشد .

روش های متعددی برای برخورد با دال کنسولی خم شده موجود است از روش های معمول گرفته که کم خرج هستند تا روش های پر هزینه مقاوم سازی ممکن است منفعل باشد، تقویت دال برای بارهای که در آتیه وارد می شود و در این مورد خم شدگی درجا می ماند یا فعال مانند جک زدن دال به بالا و بعد از آن مقاوم سازی برای بارهای حال و آینده.

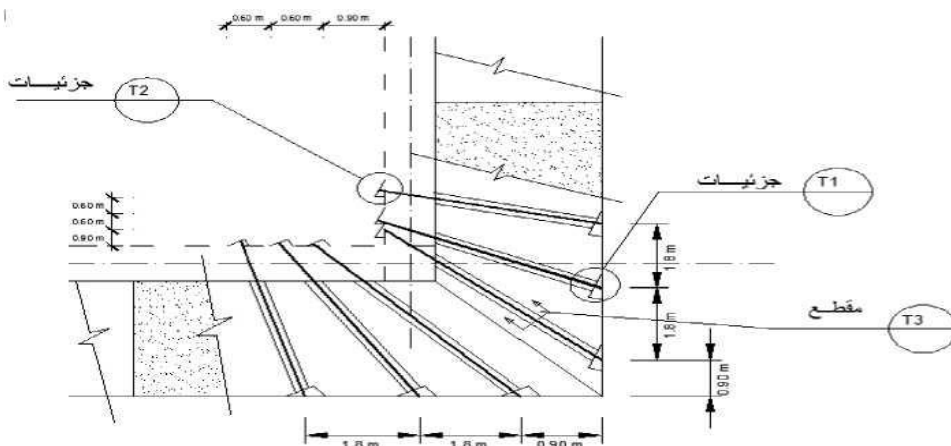
که از روش های معمول کاهش دهانه ی کنسول با اضافه کردن برکت های استیلی یا به وسیله مهار بندی های قطری و زانوی میباشد.

از روش های ساده ی دیگر که همیشه هم قابل قبول نیست استفاده از نصب ستون های جدید و ساپرت کردن تیر ها در قسمت گوشه ی بیرونی دال می باشد . تکنیک های پر هزینه نیاز به تخصص از نظر طراحی و تجربه پیمانکار دارد. در این روش ها با دریل کردن سطح از آرماتور جدید برای کمک به آرماتور های موجود یا تندن های پیش کشیده استفاده می شود . روش دیگری که بر اساس گرفتن مغزه ی افقی در داخل دال بتنی و جایگزینی آرماتور با رزین مانند آن چنانکه در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است. این روش به روش های دیگر که شامل اضافه کردن ستون و برکت ترجیح داده شده است بخاطر این که مزاحمت کمتری ایجاد می کند.



شکل ۳-۱۸ مقاوم سازی دال کنسولی به وسیله ی دریل کردن و کاشتن آرماتور در گروت

در این روش گرفتن گُر از داخل دال به طور دقیق می باشد به طوری که محل آرماتورها از قبل تعیین شده باشد و صدمه زیادی به دال موجود نرسد. از نکات دیگری که در این روش بایستی رعایت کرد گذاشتن صحیح میلگرد و چسب اپوکسی و یا رزین پلی استر می باشد. از کاتلیج رزین پلی استر برای پر کردن نصف سوراخ ها قبل از کاشت آرماتور نوعاً استفاده می کنند. در روش دیگر از تاندون های به ضخامت های مختلف استفاده می شود چنانکه در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۹ چیدمان میله گردهای پس کشیده در گوشه ها برای دال کنسولی که طول آن نزدیک به ۳ متر و ضخامت دال ۲۰۰ میلی متر می باشد

۳-۱۳-۱ مطالعه موردی تقویت تیر های کنسولی در ساختمان تجاری ۶ طبقه در اهواز

در کار اجرایی در اهواز کنسول ساختمانی بتنی واقع در زیتون در اثر وزن سنگ نما روی آن خم شده بود با تعبیه ناودانی و ایجاد سوراخ در جان ناودانی بصورت زیگزاگی و استفاده از بت هیلتی منبسط شونده زیر تیر بتنی کنسولی خم بتن با سفت کردن بلتها بر طرف شد. محل اتصال تیر کنسول به ستون با اتصال لچکی نیز تقویت شد، اینکار با نصب پلیت به ستون و زیر تیر صورت گرفت. متعاقب آن از سیستم CFRP برای تقویت تیر های کنسولی استفاده شد.

۳-۱۴-۱ مقاوم سازی ستون های بتنی

نیاز به تقویت ستون های موجود وقتی است که بار وارده از ظرفیت ستون بیشتر باشد. مقاوم سازی ستون ها در پروژه هایی که ستون بایستی یک یا چند طبقه را تحمل کنند مورد استفاده دارد. بعضی اوقات ستون ها نیاز به تقویت دارند وقتی که بتن آن ها از آن چه که به انتظار می رفت ضعیف تر باشد. ۴ روش که در زیر عنوان میشود توضیح داده خواهد شد.

اضافه کردن سطح مقطع

اضافه کردن ستون

تقویت با سازه ی فلزی

تقویت با پیچیدن الیاف و جاکت فایبر گلاس

۳-۱۵-۱ اضافه کردن سطح مقطع

مقاوم سازی ستون های موجود به روش های مختلفی انجام میگردد. و یکی از روش های متداول افزایش سطح مقطع می باشد این یک راهکاری برای بالا بردن فریم موجود برای ضد آتش کردن ستون و نگه داری شکل سطح مقطع مستطیلی ستون میباشد.

از فواید دیگر محصور کردن ستون کاهش لاغری ستون و افزایش سختی آن می باشد. چنانکه قبلا گفته شد مقطع اضافه شده برای بارهای زنده ای است که در آینده اعمال می شود و کمکی به ستونی که تحت بار اضافی موجود است نمیکند ، مگر این که همه این بارها ابتدا برداشته شوند.

۳-۱۶- اضافه کردن ستون

یک ستون بتنی را می توان با ساخت ستون دیگری در کنار آن تقویت کرد این دو ستون یا کاملاً از هم جدا هستند یا این که توسط میله ای که از درون سوراخی که از بدنه ی ستون اولی گذر میکند و گروت کاری شده است به همدیگر متصل میشود. اضافه کردن ستون دارای فواید خاصی است وقتی که ستون موجود قسمت زیادی از بار یک تیر را تحمل می کند اضافه کردن ستون می تواند کمک زیادی در تحمل بار وارده بکند.

مانند روش اضافه کردن سطح مقطع بتن جدید تنها می تواند از بارهای اضافه ی در آینده جلوگیری کند و نمی تواند بار وارده را در ستون موجود که قبلاً تحت آن هست جلوگیری کند مگر این که تمام بار وارده برداشته شوند.

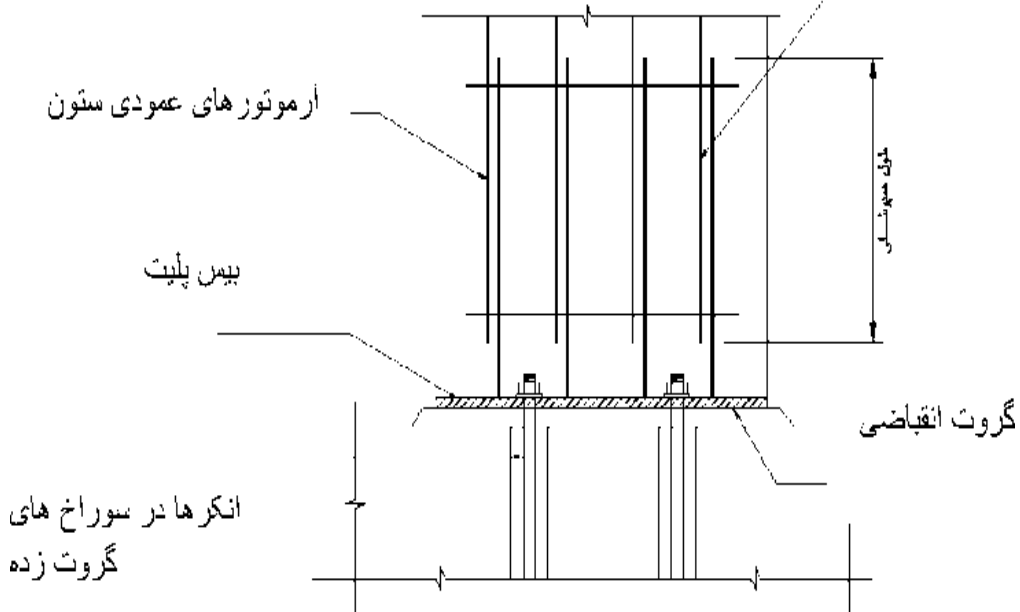
ستون جدید می تواند ساخته شده از فولاد یا بتن باشد. بتن در این مورد بخاطر مسائل آتش بهتر است ولی از نقطه نظر جا و مکان ستون استیلی مناسب تر است. یک کار دیگر را میتوان با محصور شدن ستون استیلی در داخل بتن انجام داد. می توان ارتباطی مابین ستون استیلی و بتن و جوش دادن چند میله گرد یک سر خم به وجود آورد. اگر استیل استفاده شود از نظر شکلی می توان آن را به شکلی زیبا درآورد. اما اگر از بتن استفاده شود شکل مستطیلی نوعاً انتخاب می شود. از مسائل عمده ی افزودن ستون مجاور مسئله ی فنداسیون آنها می باشد. فنداسیون موجود به اندازه ی کافی عریض نمی باشد و ممکن است فضای کافی برای ساخت فنداسیون جدید نباشد بنابراین اضافه کردن ستون در زمانی خوب است که فنداسیون موجود بتواند هر دو ستون را تحمل کند.

فرض کنیم فنداسیون موجود مناسب باشد حالا چگونه ستون جدید به آن وصل می شود؟ اتصال مثبت برای مهار بندی جانبی انتهای ستون لازم است تا بتواند نیروهای فشاری را تحمل کند، اگر توانایی تحمل بار بتن به تنهایی نا مناسب باشد و از آپ لیفت شدن آن در زمان زمین لرزه بدینوسیله جلوگیری میشود. در یک روش جدید ساخت ، میلگردهای عمودی ستون به وسیله میلگرد های دو سرخم که در ساپرت جایگزین شده اند همپوشانی می شوند.

در بعضی موارد این آرماتور دو سرخم استفاده نمی شود و بایستی در فنداسیون تعبیه شده و به آرماتورهای طولی ارتباط پیدا کند این راهکار فقط برای آرماتورهای طولیست که تعدادشان کم است (مثلاً ۴ تا در هر گوشه ۱ آرماتور). اگر تعداد زیادی آرماتور ستون باشد از نظر عملی بهتر است که از یک پلیت در زیر ستون جدید استفاده کرد در جایی که این پلیت و آرماتورهای یک سرخم جوش میشوند خود پلیت می تواند با ساپرت توسط انکرهای دریل شده چنانکه در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده مهار شود.

آرماتورهای جوش شده به پلایت در هر آرماتور ستون

۱



شکل (۳-۲۰) اتصال ستون بتنی اضافه شده به فنداسیون

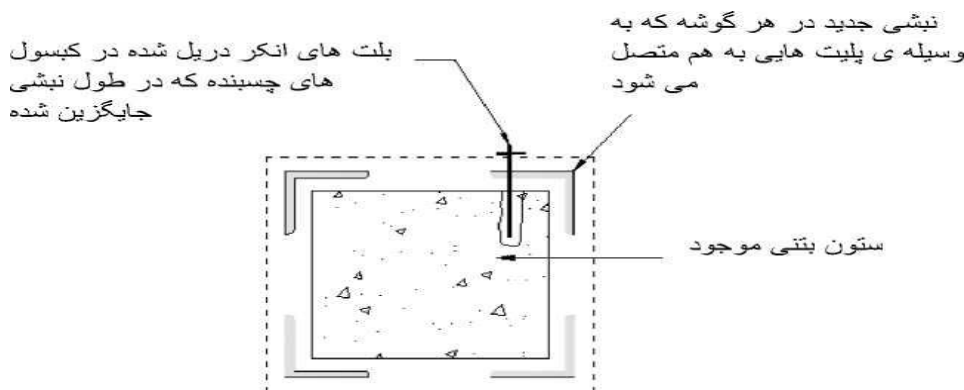
انگرها بایستی تا عمق ساپرتها انتقال یابند (تا پایین فنداسیون) تا از خرابی شکننده تحت بار جلوگیری شود و ساخت ستون با ایمنی انجام شود.

ستون جدید از استیل یا بتن، باید قابلیت تحمل بالایی چه در قسمت پایین ساپورت و چه در قسمت بالای آن زیر تیر را داشته باشد برای این منظور یک فاصله ای که در بالای ستون میباشد جای می گذارند و بعد بعد آن را با گروت غیر انقباضی بعد از نصب پر می کند. در مورد ستون بتنی این گروت را باید هر چه دیر تر استفاده کرد تا زمان کافی جهت خشک شدگی انقباضی باشد. این جایگزینی و پر کردن ممکن است ماه ها بعد صورت گیرد بخاطر کاهش اثر خشک شدگی انقباضی دو ستون را می توان با شکننده های باند بدون استفاده از آرماتورهای یک سر خم ارتباطی از هم جدا ساخت.

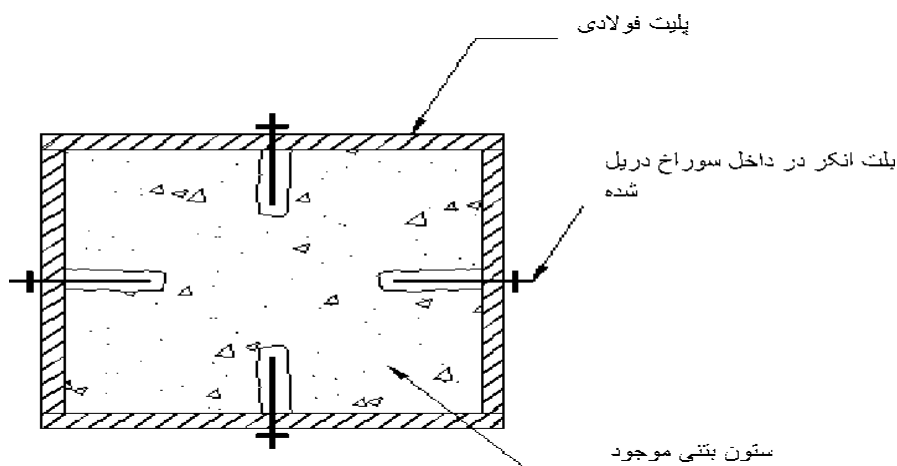
۳-۱۷- تقویت با سازه استیلی

روش سوم برای مقاوم سازی ستون های بتنی موجود به وسیله تقویت آنها با مقاطع استیلی است. این روش با جایگزینی نبشی در گوشه ها و اتصال آنها به بتن موجود به وسیله مواد چسبنده که در داخل سوراخ دریل شده هستند و انکر آنها چنانکه در شکل ۳-۲۱ a یا با انولپ کردن به صورت پاکت نامه درآوردن ستون با پلیت استیلی می باشد شکل ۳-۲۱ b تقویت با چهار نبشی که ارزان تر است، اگر چه این روش زیاد مورد استفاده ندارد. در این روش نبشی ها در فواصل معین به وسیله ی پلیتی تسمه ای که دارای ضخامت مشابه ای از نبشی می باشند به همدیگر متصل می شوند. فاصله بین تسمه های فلزی به صورتی است که لاغری هر نبشی از لاغری کلی ستون کمتر باشد هر پلیت متصل کننده به گونه ای طراحی می شود که نیروهای عمودی منتقل شده به عضو را به اندازه ۲٪ نیروی فشاری به ستون تحمل نماید.

این نبشی ها را می توان به بتن موجود با استفاده از سوراخ ۷ mm و عمق نفوذی ۶۴ mm با استفاده از اپوکسی به بتن موجود متصل کرد. استفاده از زاکت استیلی در مقابل برش و خمش به صورت گسترده ای برای مقاوم سازی پلها در دنیای غرب استفاده می شود به هر حال این روش روشی سخت است. و زمان زیادی احتیاج دارد و تجهیزات سنگین می خواهد تا استیل ها را بالا برده و جایگزین کند ضخامت پلیت حائز اهمیت است که در زمان بلند کردن کمانشی پیدا نکند و از نظر اجرایی این نکته نسبت به طراحی بیشتر در نظر گرفته می شود.



(□)



(۲۱-۳) مقاوم سازی ستون های بتنی با مقاطع استیلی (b)

(a) نبشی استیلی جایگزین شده در کناره ها

(b) محصور کردن ستون با پلیت استیلی

۱۸-۳- تقویت با دور پیچ الیافی ژاکت فایبر گلاس

یکی از تکنولوژی های جدید که می تواند به جای ژاکت استیلی جهت تقویت خمشی و برشی باشد این است که قسمت های بحرانی را با دور پیچ الیافی و چسب اپوکسی محصور کرد. دور پیچ ستون ها به وسیله الیافی کامپوزیت به مقدار زیادی جهت مقاوم سازی پلها استفاده می شود ولی در ساخت آن ها جهت نو سازی مورد استفاده قرار می گیرد این تکنیک تقریباً ارزان تر تنها جلوگیری از طبله شدگی ستون تعمیر شده میکند بلکه از صدمات بیشتر به المان جلوگیری و محافظت می کند همچنین باعث افزایش مقاومت برشی و خمشی در نتیجه محصور شدگی می شود.

در این روش مقاوم سازی بایستی بتن های سست و آسیب دیده برداشته شود یک ملات تعمیری پلیمری اعمال شده ترک ها با اپوکسی آب بندی شده و کار دور پیچی با نوارهای FRP که معمولاً با ابعاد مختلف هستند انجام می گردد. جاهایی که صدمه زیاد باشد میتوان از چند لایه استفاده کرد لایه نهایی را نیز می توان به عنوان مثال ۲۴ ساعت بعد روکش رنگی اپوکسی داد.

از خواص خوب الیاف بخصوص کربن این است که قوی بوده در مقابل خوردگی مقاومت کرده ، سبک بوده و مغناطیسی به آنها اثر نخواهد داشت وقتی که استاندارد برای طراحی الیاف کربن توسعه یافت می تواند این روش به عنوان یکی از روشهای مهم مؤثر و مقاوم سازی استفاده گردد.

مثال زیر توضیح روند ارتقاء یا افزایش ظرفیت باربری یک ستون را نشان میدهد.

مثال ۳ : یک ستون با سطح مقطع دایره به قطر ۱۶ اینچ ، با ۱۰ تا آرماتور نمره ی ۲۲ برای تحمل بار فاکتور دار محوری ۷۵۰ و گشتاور فاکتوری ۱۳۵ kipft. این ستون دارای کاور ۱٫۵ اینچ بوده و همچنین دارای خاموت دایره ای با قطر ۱۰ Ø میباشد.

مطلوب است طراحی به وسیله PRFC برای تحمل بار فاکتوری که ۲۰٪ اضافه شده باشد. بتن و آرماتورهای موجود دارای خواص $f_y = 4212 \text{ kg/cm}^2$ $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ می باشد. مرحله اول : محاسبه بار محوری فاکتوردار و ممان خمشی برای ۲۰٪ بار وارده اضافی می باشد.

$$P_u = (1.2)(570000) = 684 \text{ Kips}$$

$$M_u = (1.2)(1350000) = 162 \text{ Kips}$$

با استفاده از چارت های شکل ۲۲ و بر حسب ksi هستند می توان مقادیر زیر را محاسبه کرد.
محاسبه نسبت آرماتورهای طولی :

$$P_g = \frac{A_s}{A_g} \rightarrow P_g = \frac{0.6}{2.1} = 0.28$$

$$\gamma h = 16 \text{ in} - 2(1.5 \text{ in}) - 2\left(\frac{3}{8} \text{ in}\right) - \left(\frac{1}{8} \text{ in}\right) = 11.375 \text{ in}$$

$$\gamma = \frac{(\gamma h)}{h} = \frac{11.375}{16} = 0.71$$

پیدا کردن نیروی محوری و ممان خمشی

$$\frac{P_u}{A_g} = \left(\frac{684 \text{ Kips}}{2.1 \text{ in}^2} \right) = 324 \text{ Ksi}$$

$$\frac{M_u}{A_g h} = \frac{162000 \text{ ft} \left(\frac{12 \text{ in}}{\text{ft}} \right)}{2.1 \text{ in}^2 (16 \text{ in})} = 59 \text{ Ksi}$$

با این مقادیر ، که نسبت PRF تقویتی است) نسبت حجم الیاف مورد استفاده به حجم بتن محصور شده (می توانیم این مقادیر را از چارت های داده شده در شکل ۲۲ بدست آوریم.

$$\rho g = 0.03 = 0.9 \quad \rho f = 0.0015 \gamma$$

$$\rho g = 0.03 = 0.9$$

$$\rho f = 0.0015 \gamma$$

به روش میان یابی خطی اگر $\gamma = 0.71$ باشد $\rho f = 0.0024$ محاسبه ضخامت مورد نیاز ژاکت

$$ntf = \frac{\rho f h}{4} = \frac{0.0024(1600)}{4} = 0.96 \text{ in}$$

h : قطر مقطع

n : تعداد دورپیچ

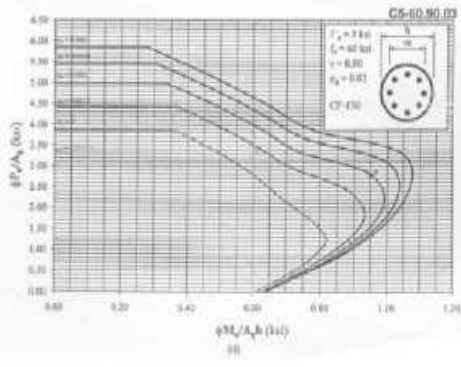
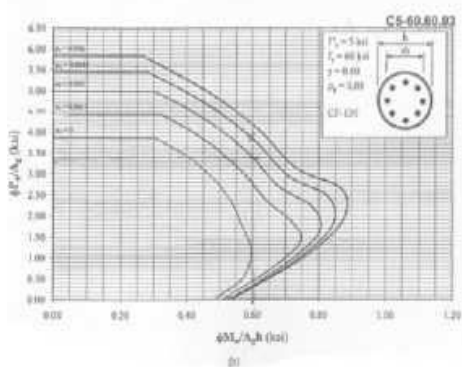
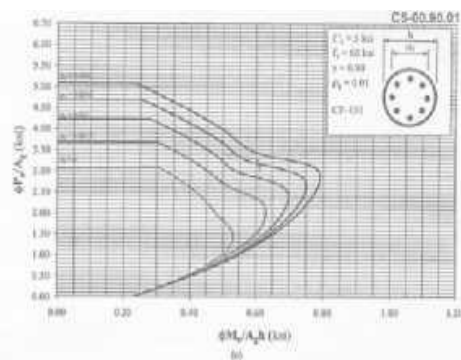
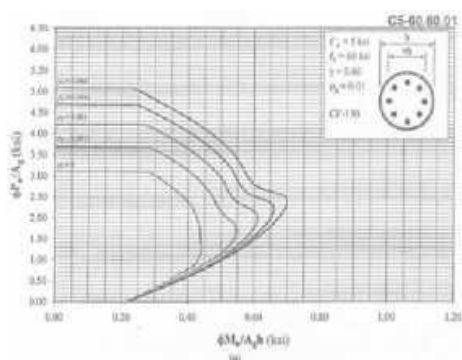
t f : ضخامت FRP

محاسبه تعداد لایه های مورد نیاز

$$n = \frac{0.96}{\left(0.0065 \frac{\text{in}}{\text{ply}}\right)} = 1.6$$

بنابراین استفاده از دولایه CFRP برای اضافه بار ۲۰٪ مناسب است.

روش های دیگر مقاوم سازی بجز استفاده از ژاکت سنگین وزن استیلی و دور پیچ PRF استفاده ژاکتهای فایبرگلاس و محصور کردن آنها می باشد. این ژاکت ها به طوری ساخته می شوند که بتوانند پروفیل ستون را در لایه های مختلف و با استفاده از چسب با مقاومت بالای پلی اورتان بدست آورد. روش ژاکت فایبرگلاس برای افزایش مقاومت بتن در مقابل طبله شدگی در زمان زلزله مناسب می باشد.



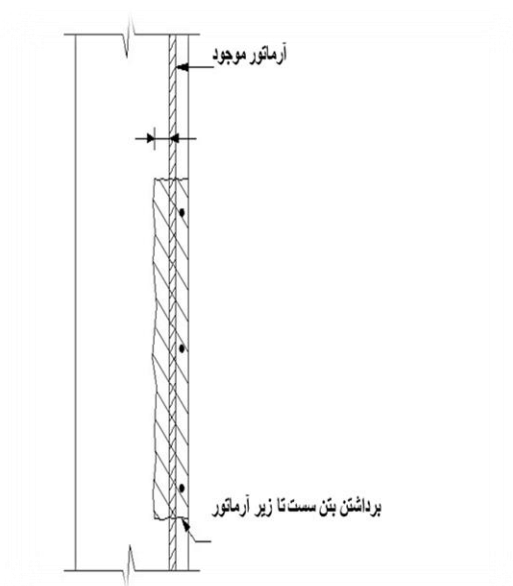
شکل (۳-۲۲) دیاگرام تلاقی ممان/تنش برای ستون های گرد گوشه که با دور پیچ FRP تقویت شده

۳-۱۹ جزئیات روش های پرچ کردن برای تعمیر دال ، دیوار ، تیر و ستون

روش پرچ کردن برای تعمیر طبله شدگی در مساحت های محدود در دال ، دیوارها ، تیرها در این بخش توضیح داده شده است. از نکاتی که بایستی روش تعمیر در نظر گرفت این است که به آرماتورهای موجود صدمه ای در زمانی که به برداشتن بتن سست اقدام می شود، وارد نشود. آرماتورهایی که خورده شده اند اگر ۲۰٪ از سطح خود را از دست داده اند باید با آرماتورهای جدید که روکش حفاظتی دارند عوض شوند.

تعمیر دال ها با لایه لایه شدگی بتن با مقداری زیاد خوردگی در آرماتور به مقدار شدید در شکل ۲۴ تشریح داده شده است. در این جزئیات هر دوی بتن لایه لایه شده و آرماتورهای خورده شده برداشته شده و با بتن جدید و آرماتور روکش شده تعویض می شود. از مسائل بزرگی که این جا بایستی به آن اطمینان داشت این است که بتن جدید از بتن موجود جدا نشود. برای این منظور از آرماتورهای U شکل با دریل کردن و گروت زدن در بتن موجود استفاده می شود.

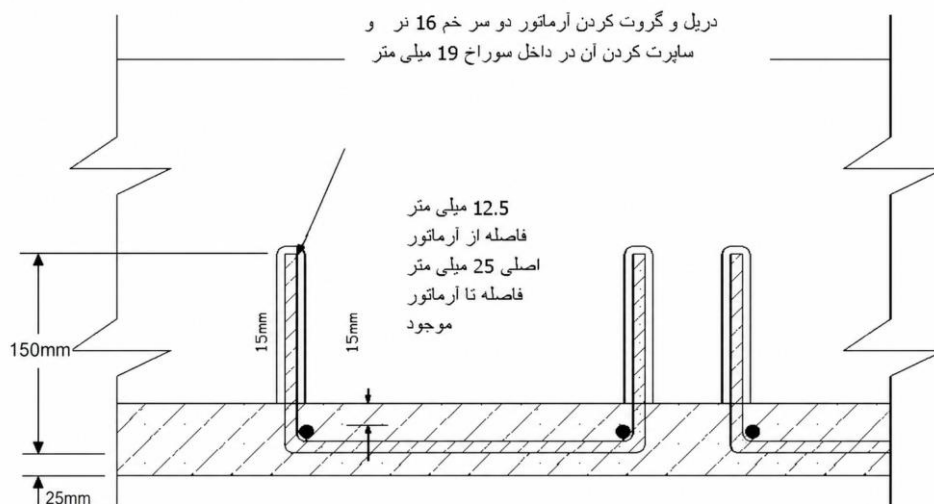
روش دیگر انکر کردن قسمت پرچ شده با استفاده از وسایل مکانیکی مانند وایر مهاری ضد زنگ استیلی که به وسیله ی وایر مهاری در بتن موجود دریل شده و انکر می شود. روش دیگر طراحی استفاده از شبکه ای از میله های ضد زنگ که به وسیله چشم های پیچ مانند ضد زنگ استیلی که در داخل بتن مناسب دریل شده است. در پرچ کردن زمانی که آرماتورها موجود نزدیک به هم به بتن اطراف وصل هستند انکر اضافی لازم نمی باشد.



شکل ۳-۲۳ روش تعمیر طبله شدگی به میزان متوسط

نحوه تعمیر

- ۱ - بتن های سست و تا سطح بتن مناسب برداشته شود.
- ۲ - سند بلاست یتن و آرماتور و زدودن زنگ و آلودگی
- ۳ - کاشت آرماتورهایی با روکش اپکسی بجای آرماتور هایی که ۲۰٪ یا بیشتر مقطع خود از دست دادند.
- ۴ - روکش آرماتور های موجود با مواد متوقف کننده خوردگی مثل MCI.
- ۵ - اعمال مواد باندینگ به منظور اتصال مواد تعمیری به سطح زیرین
- ۶ - اگر ناحیه آسیب دارای عمق کمتر از ۳۸ میلیمتر باشد با ملات تعمیری با حداقل هر لایه ۱۲ میلیمتر کار تعمیر صورت میگیرد. و اگر بیشتر بود از قالب استفاده میشود (سطح بایستی قبل از تعمیر باید مرطوب شود).
- ۷ - برای پرچ عمیق با بتن غیر مسلح از رابیتس یا وایر مش استفاده میشود.



شکل ۳-۲۴) روش تعمیر دالها و دیوار با لایه لایه شدگی شدید.

نحوه تعمیر

۱. جک و انکر کردن و ساپرت دیوار یا دال که بایستی تعمیر شود برای ۱۴ روز بعد از تعمیر.
۲. برداشتن همه بتن سست و آرماتورهای زنگ زده.
۳. نگه داشتن آرماتورهایی که دست کم ۵۰٪ مقطع آن باقیمانده باشد است.
۴. تهیه کردن آرماتور نو با روکش اپکسی و ایجاد سوراخ های ۱۶ میلیمتر دریل شده کاشتن آرماتور به همراه تزریق گروت.
۵. همه بتن سست و گرد و غبار زدوده شود.
۶. آماده سازی سطح زیرین و اعمال مواد باندینگ.
۷. اجرای بتن در قالب.

Reference:

۱. Abbasi, A and Hogg, P. J. Prediction of failure time of glass fiber reinced concrete rebars under fire condition, Journal of Composite for Construction , Vol. 9, No. 5, 450-457 **2005**.
۲. Abbasi Dezfouli A, Karbaschi M.E., Investigating Efficiency of Shotcrete for Retrofitting Masonry Buildings, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering 5-1 (2017) 47-66.
۳. Emmons, Peter H, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, Read Construction Data 1993.
۴. Li, Zonggin, Advanced concrete technology John willey& sons 2011.
۵. Newman, A, Structural Renovation of Building, Methods, Details, And Design Examples, McGraw- Hill 2001.
۶. اکابر، س و عباسی دزفولی، ع، بررسی آزمایشگاهی عوامل موثر برخوردگی بتن در شرایط دریایی و تاثیر استفاده از پسماند، فصلنامه علمی آنالیز سازه – زلزله ۱۴۰۴ vol. 22
۷. بارانی شیخ رباط، ف و عباسی دزفولی، ع، بررسی استفاده از بتن الیافی در ساخت کف های بتنی در مراکز صنعتی و مقایسه با بتن متداول دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری، شهرسازی، محیط زیست ۱۴۰۴
۸. خسروی، س و عباسی دزفولی، ع، بررسی تاثیر استفاده از مواد نانو سیلیس نانو تیتانیوم و نانو کامپوزیت بر خواص مکانیکی بتنهای سبک، فصلنامه علمی آنالیز سازه – زلزله ۱۴۰۴ vol. 22
۹. عباسی دزفولی، ع. روشهای نوین جلوگیری از خوردگی آرماتور در بتن انتشارات آبفار خوزستان ۱۳۸۸
۱۰. عباسی دزفولی، ع. خصوصیات فیزیکی و مزایای آرماتور ساخته شده الیاف پلیمری فراز اندیش ۱۳۸۷
۱۱. عباسی دزفولی، ع. مقالات و مبانی جدید در تکنولوژی بتن و ارایه روشهای نوین مقاومسازی انتشارات دوستدار ۱۳۹۴
۱۲. عباسی دزفولی، ع و نعامی ع بازرسی، تعمیر و تقویت سازه ها در مناطق جنوبی ایران متخصصان ۱۴۰۲

Abbasi Early Strength Testing for Sprayed Concrete

The Abbasi determines early concrete compressive strength (3-4) hours of sprayed concrete using 2 different probes and a proven conversion chart. This indicates building power of sprayed concrete on walls etc.

**For Assessing Compressive
Strength of Sprayed Concrete**



Advantages

- Simple to use, proven on site and in laboratory conditions.
- Probe A. Range 0-0.5 MPa. Determines early compressive strength from 40 minutes to 4 hours from initial spraying.
- Probe B. Range 0.5-5MPa. Tests Shooting Stiffness in line with Proctor needle (see ASTM C1117-89) using both the soil (0.5-5MPa) and concrete. Provides indication of sprayed concrete holding to walls and overhead surfaces.
- Relationship chart between probe and compressive strength of sprayed concrete.

Specification

- Probe A. Range 0-0.5MPa.
- Probe B. Range 0.5-5MPa. Tests Shooting Stiffness in line with modified Proctor needle.
- Instructions and chart.
- Gross Weight 1.1kg
- Net Weight 0.55 kgs
- 170(W) x 330(L) x 130(H)mm

Abbasi Hire Rates

Terms and Conditions

Hire rates are based on the type of testing you require on the equipment chosen. Customers are responsible for equipment insurance from the time of dispatch to return. Equipment lost or damaged will be charged as above.

Weekly Hire Rate	£25.00
Delivery & Return (UK mainland)	£25.00
Total (incl VAT)	£50.00

دستگاه ابداعی توسط دکتر عباسی که بوسیله آن مقاومت اولیه اندازه گیری و مقاومت سخت شده شاتکریت و بتن تخمین زده میشود



مفتخرم جهت ، تندیس به ستوده ترین مقاله تحقیقی در ژورنال کامپوزیت برای ساخت
از انجمن ASCE آمریکا



Queen Mary London University