Civil and Project Journal, ۲۰۲۳, ۵(۳), ۳۸-۵۹
https://doi.org/۱۰.۲۲۰۳۴/cpj.۲۰۲۳.۱۷۳۲۶۴

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Letter Document

Reinforcement and strengthening methods of concrete structure

Mehrdad Mashayekh Far[۱*]
۱- Master's student, Department of Civil Engineering, Payam Noor University, North Tehran Center, Tehran

Received: ۲۲ April ۲۰۲۳; Revised: ۰۸ May ۲۰۲۳; Accepted: ۱۸ Mayl ۲۰۲۳; Published: ۲۲ May ۲۰۲۳

Abstract

Iran is one of the countries where the probability of earthquakes is very high, and earthquakes have always caused numerous human and financial losses and the loss of national capitals. Therefore, many researches on the phenomenon of earthquakes and increasing the resistance of buildings as well as the vulnerability of buildings have been done in countries. A look at the damages caused by past earthquakes shows that a high percentage of the existing buildings do not have sufficient and acceptable resistance against earthquakes for various reasons and often meet the requirements of the new codes.

They do not, therefore, the need to strengthen these buildings in order to face the side forces with reliable, easy and fast resistance methods is felt. On this basis, in the current research, considering the importance of the subject, while presenting the seismic evaluation stages of the structures, an effort has been made to explain the different and effective methods of strengthening the reinforced concrete structures according to the type of application. More efficient and reliable methods will be.

Keywords: Reinforcement ؛damping ؛NSM ؛FRP system

Cite this article as: Mashayekh Far, M. (۲۰۲۳). Reinforcement and strengthening methods of concrete structure. Civil and Project, ۵(۳), ۳۸-۵۹. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/cpj.۲۰۲۳.۱۷۳۲۶۴

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution ۴.۰ International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/٤.٠/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: *mehrdad.mashayekh۷۱@gmail.com*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۲، ۵(۳)، ۵۹-۳۸
https://doi.org/۱۰.۲۲۰۳۴/cpj.۲۰۲۳.۱۷۳۲۶۴

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

روش های مقاوم سازی و تقویت سازه بتنی

مهرداد مشایخ فر *[۱]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه پیام نور تهران شمال ، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۳ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۰۷ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ خرداد۱۴۰۲

چکیده:

ایران از جمله کشورهایی است که استعداد وقوع زلزله در آن بسیار بالا بوده و همواره زلزله باعث بروز خسارات فراوان جانی و مالی و اتلاف سرمایه های ملی شده است. بنابراین تحقیقات بسیاری روی پدیده زلزله و افزایش مقاومت ساختمانها و همچنین آسیب پذیری ساختمانها در کشورانجام شده است. نگاهی به خسارت های ناشی از زلزله های گذشته نشان می دهد که درصد بالایی از ساختمانهای موجود، به دلایل مختلف از مقاومت کافی و قابل قبولی در برابر زلزله برخوردار نمی باشند و غالبا الزامات آیین نامه های جدید را ارضا نمی کنند، از این رو ضرورت تقویت این ساختمانها به جهت مقابله با نیروهای جانبی با روشهای مقاوم سازی قابل اعتماد، آسان و سریع احساس می شود . بر همین اساس در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت موضوع، ضمن ارائه مراحل ارزیابی لرزه ای سازه ها سعی شده است تا روشهای متفاوت و کارآمد مقاوم سازی سازه های بتن آرمه بر حسب نوع کاربرد تشریح گردیده تا افق استفاده از روشهای کارآمد و قابل اعتماد روشنتر گردد.

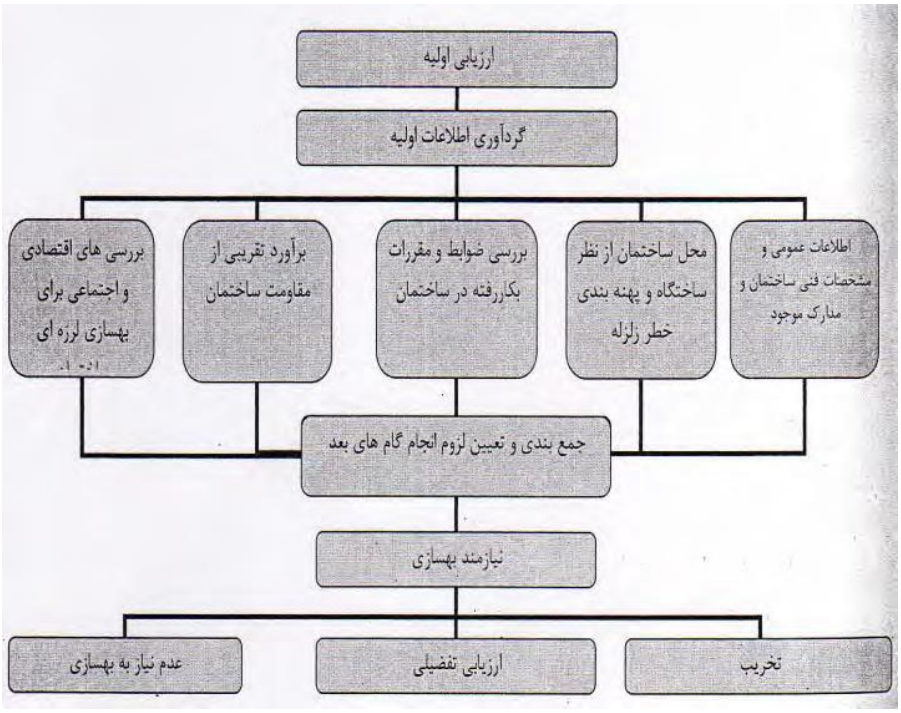
کلمات کلیدی: مقاوم سازی - میراگر - سیستم **FRP - NSM**

* پست الکترونیک نویسنده مسئول:Mehrdad.mashayekh۷۱@gmail.com

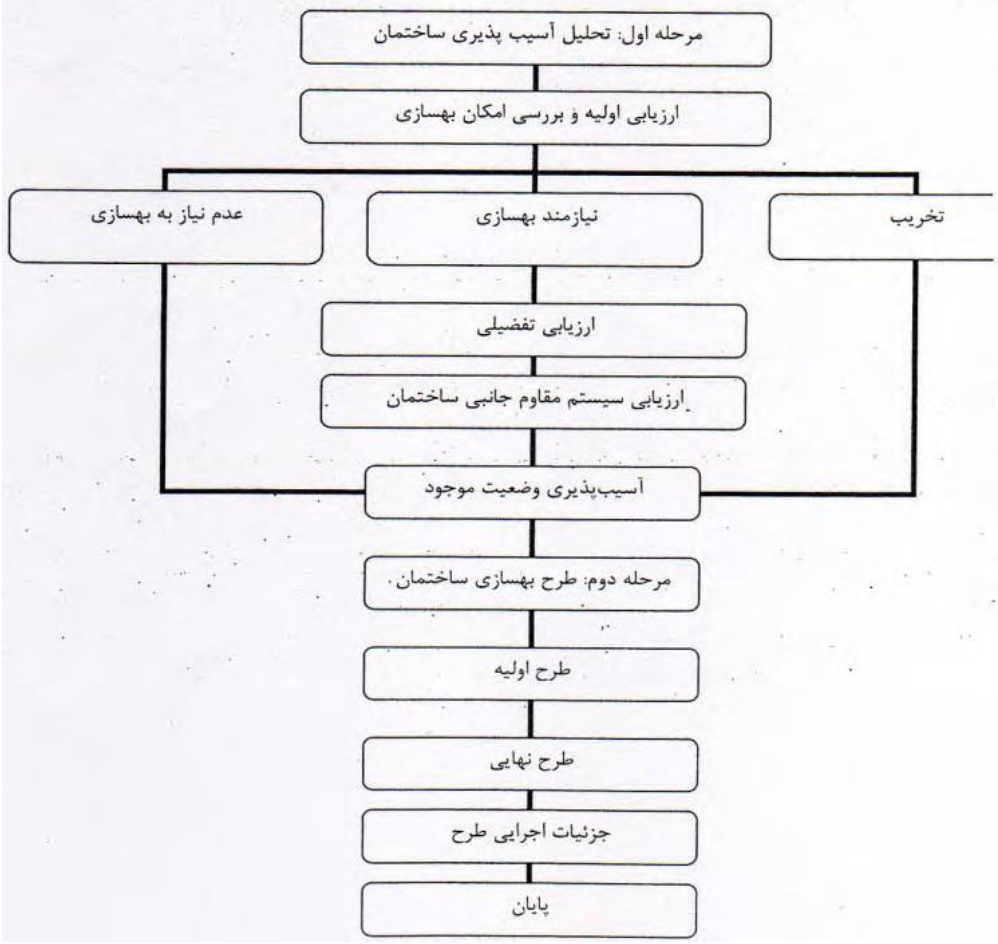
۱-مقدمه

بسیاری از سازه های بتن آرمه به دلایلی همچون خطای محاسباتی، اشتباه در ساخت و ضعفهای اجرایی، تغییر کاربری و عملکرد، خور دگی و زنگ دارند زدگی آرماتورها، تغییر بارهای بهره برداری و بسیاری از عوامل دیگر نیاز به مقاوم سازی . مقاوم می سازی به مجموعه عملیاتی اطلاق شود که روی بخشی یا کل سازه انجام شده تا سازه بتواند بارها و سربارهای بیشتری نسبت به حالت اولیه تحمل کند و خصوصیات رفتاری بهتری ا ز خود نشان دهد . امروزه نگهداری و مرمت سازه ها به دلیل هزینه های بالای ساخت آنها اهمیت بسیار زیادی پیدا نموده است به همین دلیل و به علت نیاز روزافزون مهندسین و متخصصین صنعت ساختمان به تقویت، ترمیم و بهسازی سازه های بتنی روشهای مختلف و متعددی برای این موضوع مطرح گشته است که از جمله آنها می توان به استفاده از دیوارهای برشی بتنی و فولادی، مهاربندی های فولادی، میراگرها، میانقاب با مصالح بنایی، کابلهای پیش تنیده، ورق های پوششی یا غلاف **FRP** و بسیاری روش های دیگر اشاره نمود.

برای اینکه بتوان تشخیص داد که سازه ای نیاز به مقاوم سازی دارد باید در ابتدا یک ارزیابی لرزه ای روی آن صورت گیرد .این ارزیابی بسته به نوع ساختمان، اهمیت آن و جمعیت ساکن در آن می تواند بصورت کیفی و کمی انجام گیرد .در شکل ۱ مراحل مختلف بهسازی لرزه ای ساختمانهای متداول نشان داده شده است.



شکل۱ :مراحل مختلف بهسازی لرزه ای



ساختمان اولیه ارزیابي : شکل ۲

ارزیابی اولیه ساختمان مطابق شکل ۲ شامل گردآوری اطلاعات اولیه، جمع بندی و ارزیابی سریع مشخصات کلی ساختمان و تشخیص نواقصی از ساختمان است که بر میزان آسیب پذیری آن تاثیر می گذارد .این مرحله از گردآوری و ارزیابی، محافظه کارانه و تقریبی بوده و بیشتر به منظور تشخیص جزییاتی است که در میزان آسیب پذیری ساختمان نقش عمده و اساسی دارند .در صورتی که نتیجه و جمع بندی ارزیابی اولیه اسیب پذیری ساختمان به نحوی باشد که مراحل بعدی را لازم بداند، ارزیابی تفصیلی آسیب پذیری به منظورتصمیم گیری برای ادامه مراحل کار انجام گیرد .ارزیابی تفصیلی برای دو هدف قابل انجام است :تامین ایمنی جانی و تامین ایمنی جانی محدود .ارزیابی برای تامین ایمنی جانی برای کلیه ساختمانها قابل اعمال می باشد ولی برای ساختمانهایی که در پلان و ارتفاع نامنظم بوده و دارای سقف انعطاف پذیر می باشند و یا اینکه تعداد طبقات آنها از ۴ طبقه بیشتر گردد الزامی می باشد .ولی ارزیابی برای تامین ایمنی جانی محدود برای کلیه ساختمانهایی که رعایت کامل ظوابط دستورالعمل لرزه ای به منظور بهسازی آنها از نظر اقتصادی و اجرایی امکانپذیر نباشد متناسب با بکارگیری ضوابط موجود، بهبود رفتار ساختمان در هنگام زلزله برای تامین ایمنی جانی محدود مورد نظر است.

از دیدگاه علمی اصطلاح مقاوم سازی به طور قطع بالا بردن مقاومت در برابر نیروی زلزله نیست. بلکه منظور بهبود عملکرد اجزاء سازه (ساختمان) در برابر نیروی زلزله است. به همین دلیل اصطلاح بهسازی و در حالت خاص برای نیروی زلزله، بهسازی

لرزه ای اصطلاح درست تری است. بهسازی در لغت به مفهوم اصلاح و اعاده وضع چیزی و در صنعت ساختمان به مفهوم احیاء یا افزودن قابلیت بهره برداری ساختمان و افزایش طول عمر مفید آن است . به عبارت دقیق تر بهسازی به مجموعه تمهید ات و عملیاتی گفته می شود که قابلیت انجام وظیفه یا وظایفی را در ساختمان ایجاد می کند که سازه در وضع موجود قادر به انجام تمام و کمال آنها نیست.بشر کنونی نمی تواند از وقوع زلزله جلوگیری نماید. اما می تواند با بکار گیری یکسری روشها از بوجود آمدن خسارات مالی و فجایع انسانی و همچنین آسیب هایی که ممکن است در طولانی مدت در اثر وقوع زلزله بوجود آید جلوگیری نماید. یکی از این روش ها مقاوم سازی سازه ها در برابر زلزله فن ترمیم، تعمیر و تقویت ساختمان ها و سازه های آنها برای جوابگویی به یکی از نیاز های اصلی انسان ها یعنی نیاز به احساس ایمنی همزمان با فن ساختمان سازی بوجود آمده، پا به پای آن تغییر و تحول یافته، رشد کرده و به همان قدمت ساختن است. برای دستیابی به این ایمنی است که در مورد هر ساختمان در ابتدای امر سعی می شود با کمک گرفتن از علوم و ضوابط مهندسی و به ازاء صرف حداقل وقت و هزینه، میزان معینی از عملکرد مطلوب ایمنی و پایایی تامین گردد .گاه ممکن است پس از اجرای ساختمان، وظیفه سنگین تری از سازه خواسته شود و بالا رفتن سطح وظیفه تقویت سازه ساختمان را ایجاب نماید.

تقویت ساختمان های بتنی

همانطور که به آن اشاره شد ، بتن دارای مقاومت فشاری مطلوبی است ولی از معایب آن می توان به مقاومت کششی کم آن اشاره کرد . ضعف بتن یا بصورت ظاهری مثل ترک در بتن ظهور می کند یا بر اثر پیامدهای آن در ساختمان متوجه آن می شویم که با انجام آزمایش های بتن می توان از از مقدار مقاومت حقیقی آن اطمینان حاصل کرد و در صورت پایین تر بودن آن از حد آستانه با استفاده از فرآیند به خصوص و به کمک ملات های ترمیمی بتن نسبت به اطلاح آن اقدام کرد. برای رفع مشکل مقاومت کششی پایین و تقویت ساختمان بتن می توان مقاومت کششی آنرا با کاشت میلگرد نیز بهبود بخشید .
در صورتی که در المان بتنی آرماتور بکار نرفته باشد یا به بیانی دیگر مسلح نشده باشد ، امکان ترک خوردگی ، آسیب و در نهایت پیش روی آسیب تا زوال سازه پس از اعمال بار در آن وجود دارد.
از علل ضعف در سازه های بتنی که اجرای فرآیند مقاوم سازی بتن را الزامی می کند، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

استفاده از مصالح نامرغوب

بتن ریزی نامناسب

عدم رعایت شرایط عمل آوری

بدلیل وجود اشباهات طراحی و اجرایی

بدلیل افزایش بار ساختمان

بدلیل عوامل محیطی آسیب زا

زمین لرزه

علل نیاز به تقویت سازه های بتنی

آسیب های بوجود آمده ناشی از ضعف در سازه های بتنی به شکل های زیر رخ می دهد:

۱-تقویت سازه های بتنی بعلت گسیختگی در پوشش بتن
۲-تقویت سازه های بتنی بعلت ظهور ترک در بتن
۳-تقویت ساختمان بتنی بعلت لایه لایه شدن مرکز بتن در اثر زمین لرزه
۴-تقویت ساختمان بتنی بعلت جدا شدن خاموت ها از محل خود
۵-تقویت سازه ی بتنی بعلت شکست برشی در اعضای بتنی کوتاه
۶-تقویت سازه ی بتنی بعلت کمانش در آرماتور های طولی
۷-تقویت سازه های بتنی بعلت تغییر مکان میلگردهای فولادی از نقطه ی اولیه
۸-تقویت سازه های بتنی بعلت ظهور ترک در نواحی اطراف بازشوهای دیواربرشی
۹-تقویت ساختمان ها بتنی بعلت ظهور ترک های برشی در نواحی اتصالات بتنی

: روش های تقویت سازه ی بتنی

۱ -تقویت سازه ی بتنی با دیواربرشی
۲ -تقویت سازه ی بتنی با ورق های فولادی
۳ -تقویت سازه ی بتنی با شاتکریت بتنی
۴ -تقویت سازه های بتنی با جداگرهای لرزه ای
۵ -تقویت سازه های بتنی با سیستم های جاذب انرژی
۶ -تقویت سازه های بتنی با الیاف FRP
۷ -تقویت سازه ی بتنی با تقویت اجزای بتنی تقویت تیر ، تقویت ستون و...
۸- روش مقاوم سازی به روش Near Surface Mount و یا به اختصار روش NSM

مقاوم سازی سازه های بتنی

وجود اشتباهات در هنگام طراحی و اجراء ، از بین رفتن تمام یا بخشی از سازه بدلیل فرسودگی میلگردهای فلزی و اعمال تغییرات در کاربری ساختمان از علل اساسی نیاز به **مقاوم سازی سازه های بتنی** است.
در برخی نقاط کیفیت ساخت بدلایل مختلفی پایین است که سبب بروز شرایط نامطلوب در سازه و لزوم اجرای **مقاوم سازی سازه های بتنی** در آن می شود.
ضمنا برخی ساختمان ها پیش از آئین نامه های جدید مقاوم سازی ساخته شده اند و به دلیل ضعف در جزئیات آرماتوربندی هم اکنون مشمول مقاوم سازی ساختمان می شوند .آرماتور گذاری ضعیف سبب پایین آمدن ظرفیت های تغییر مکانی جانبی و استهلاک انرژی می شود که به مرور مسبب فرسوده شدن سازه ، از دست رفتن مقاومت بتن و در نهایت تخریب ساختمان است.
وجود مصالح ساختمانی متنوع سبب بوجود آمدن روش های متفاوت مقاوم سازی ساختمان شده است . انتخاب روش مقاوم سازی سازه ی بتنی مورد نظر یکی از دغدغه های مهندسین ساختمان است که با در نظر گرفتن موقعیت سازه و پارامترهای موثر در امر **مقاوم سازی سازه های بتنی** قابل انتخاب است.

دلایل مقاوم سازی سازه های بتنی

سازه های بتنی به عنوان بخش گسترده ای از سازه ها چنانچه بر حسب محاسبات دقیق و روابط شکل پذیری طراحی و اجـرا شوند ساختمان های بسیار مطلوبی خواهند بود اما کیفیت ساخت در برخی سازه ها به دلایل مختلف بسیار نامطلوب است.

کیفیت بد بتن، آرماتور گذاری نامناسب، اجرای بد بتن ریزی، مصالح نامرغوب، خطاهای طراحی، خطاهای اجرایی، افـزایش بـار سازه، تاثیر شرایط محیطی مخرب و خطر زلزله در اکثر نقاط کشور ایران از جمله عواملی هستند که باعث ضعف سازه های بتنـی و نیاز آن ها به مقاوم سازی ساختمان می شوند.

بسیاری از سازه‌های بتن‌آرمه موجود که بر مبنای آئین‌نامه‌های قبل از سال ۱۹۷۰ طراحی و اجـرا گردیـده‌انـد، دارای جزئیـات ضعیف آرماتورگذاری بوده که مشکلاتی همچون ظرفیت تغییر مکان جانبی پایین، قابلیت استهلاک انـرژی پـائین، زوال مقاومـت و بروز مکانیزم در محل‌های نامطلوب در سازه را به همراه داشته که کلیه این موارد منجر به فروپاشی و انهدام سازه می‌گردد. جزئیات غیرشکل‌پذیر در یک سازه بتن‌آرمه در قالب مواردی همچون مقاومت برشی ضعیف اتصال بواسـطه عـدم آرماتورگـذاری عرضـی در هسته اتصال، ظرفیت برشی پائین ستون منتهی به اتصال، کم بودن طول هم‌پوشانی آرماتورهای طولی ستون، عـدم رعایـت ناحیـه خاموت گذاری فشرده در تیر و طول مهاری ناکافی آرماتورهای تیر در ناحیه اتصال مطرح می باشد. ضعف در ناحیه اتصـال تیـر بـه ستون به همراه عامل نامطلوب ستون ضعیف-تیر قوی پایداری سازه را به مخاطره می‌اندازد. وقـوع مکـانیزم در تیـر در مقایسـه بـا ستون ارجح بوده و مکانیزم ستون در مقایسه با ناحیه اتصال غیر بحرانی‌تر می باشد. بروز مکانیزم و تشکیل مفصل در ناحیه اتصـال تیر به ستون، منجر به دوران‌های فزاینده در تیر و ستون گشته که باعث از بین رفتن ظرفیت باربری ستون می‌گردد و ایمنی سـازه را متأثر می‌نماید.

جهت **بررسی مقاوم سازی سازه های بتنی**، بدون تردید شناسایی گونه‌های مختلف خسارت در ساختمان های بتنـی امـری مهم و اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین انواع مختلف ضعف‌های سازه های بتنی به شرح زیر می‌باشد:

- یجاد ترک های مورب در هسته بتن
- ورقه ورقه شدگی هسته مرکزی بتن دراکثر ترکهای مورب رفت و برگشتی ناشی از زلزله
- جدا شدگی پوشش بتن
- کنده شدن تنگها و خاموتها و خارج شدن از محل های خود
- شکست برشی المان‌های کوتاه یا اعضایی که به اطراف متصل شده اند و طول موثر آزاد آنها کم است.
- پدیده کمانش در آرماتورهای طولی
- خارج شدن میلگردها از محل‌های اولیه و در رفتن به نواحی تنش های متناوب زیاد
- گسیخته شدگی دال ها بتن آرمه در کناره های غیر ممتد
- ترک های مورب در دیوار برشی، بخصوصبه صورت متمرکز در اطراف بازشوها
- ایجاد ترک برشی در محل گره ها و محل اتصال تیر ستون

تقویت سازه های بتنی با ژاکت بتنی یا فولادی

مقاوم سازی با ژاکت فولادی و ژاکت بتنی از تکنیک های قدیمی و متداول در تقویت سـازه هـای بتنـی و بهسـازی آن اسـت . بکارگیری فولاد نیز یک شیوه ی اولیه در افزایش ظرفیت اسکلت های بتنی است ، در تقویت سازه بتنی با بکار گیری فـولاد ، لایـه

بتنی عضو مورد نظر در سازه جدا می شود و میلگردهای فلزی اضافه در این بخش نصب می شود سپس این فضا با استفاده از رزین های مخصوص که دارای مقاومت بالا هستند پوشیده می گردد.
از معایب بزرگ این روش عدم توجه به احتمال بروز زنگ زدگی و خوردگی در میلگردهای فولادی است.

تقویت سازه های بتنی با ژاکت فولادی (فلزی)

تکنیک مقاوم سازی با ژاکت فولادی یا ورقه های فلزی از روش های متداول تقویت سازه ی بتنی است . در این روش میلگردها یا ورقه های فلزی از بیرون به عضو بتنی مورد نظر متصل می شوند . در مقاوم سازی با ژاکت فولادی علی رغم افزایش مقاومت سازه و بالا بردن ظرفیت بار بردی آن معایبی نظیر : وزن بالای اجزای فولادی ، دسترسی سخت به اعضا و مشکل اتصال بین فولاد و بتن بدلیل احتمال خوردگی فولاد می باشد.
عموما وزن و ابعاد بالای فولاد در این روش از **مقاوم سازی سازه ی بتنی** سبب بروز مشکل و پیچیدگی در ساخت و حمل این اجزاء می شود.

تقویت سازه های بتنی با ژاکت بتنی

مقاوم سازی با ژاکت بتنی یکی دیگر از روش های قدیمی **تقویت سازه های بتنی** است . ژاکت بتنی از طریق افزایش میزان شکل پذیری و سختی اجزای سازه ، مقاومت کلی ساختمان را افزایش می دهد.
حین اجرای این روش ساختمان قابل بهره برداری نمی باشد . بکار بردن بتن آرمه در مقاوم سازی سازه های بتنی علاوه بر افزایش سختی موجب افزایش ابعاد سازه ی بتنی مورد نظر نیز می شود که همین امر مقدار بار مرده ی وارد بر سازه را بیشتر می کند و این پدیده از معایب این روش است.

تقویت سازه های بتنی با دیوار برشی

مقاوم سازی سازه های بتنی با دیوار برشی از تکنیک های متداول و اقتصادی است . هزینه ی ساخت پایین ، نصب سریع و قدرت جذب بالای انرژی سبب استفاده از این روش شده است.
دیوار برشی از طریق افزایش شکل پذیری ، اعضای بتنی را تقویت می کند و از بروز خسارت شدید در زلزله جلوگیری می کند . باید توجه داشت که اجرای دیوار برشی و مقاوم سازی با دیوار برشی مستلزم آماده سازی فونداسیون جهت تحمل نیروی وارد بر آن است.

تقویت سازه های بتنی با الیاف FRP اف ار پی

برای مقاوم سازی و تقویت سازه های بتنی به متریال هایی نیاز است که علاوه بر افزایش مقاومت بتن ضعیف در عضو مورد نظر، در شرایط نامطلوب محیطی نیز دوام خود را حفظ کنند و از بتن نگهداری کنند.
با گسترش روز افزون علم مهندسی و تولید متریال های جدید در صنعت ساختمان تکنیک های مقاوم سازی ساختمان نیز افزایش یافت و سبب پیشرفت زیادی در زمینه ی تعمیر ، ترمیم و تقویت سازه های بتنی شد.
محصولات FRP اف آر پی یکی از مصالح نوین و پیشرفته در صنعت ساخت و ساز است که ضمن تقویت سازه ها ، نقص های موجود در شیوه های سنتی مقاوم سازی را تا حد زیادی پوشش داده است.
محصولات FRP علاوه بر افزودن مقاومت سازه ، تعمیر و ترمیم بتن از وزن و ضخامت کمی برخوردارند و مشکل افزایش وزن و ابعاد در روش های سنتی مقاوم سازی را ندارند . ضمنا حین اجرای مقاوم سازی با FRP امکان استفاده از سازه وجود دارد و نیروی انسانی زیادی را جهت نصب بکار نمی گیرد.

طی روش تقویت سازه با FRP ، الیاف FRP به رزین اپوکسی FRP آغشته می شوند و مقاومت سازه را افزایش می دهند . سیستم مقاوم سازی با FRP بدلیل افزایش مقاومت در برابر خوردگی (شرایط محیطی) و عدم نگهداری خاصی بسیار مورد توجه مهندسین قرار گرفته است.

سهولت استفاده از FRP و عدم ایجاد تغییر در معماری سازه سبب افزایش بکار گیری از این روش در گسترده ی وسیعی از مقاوم سازی شده است.

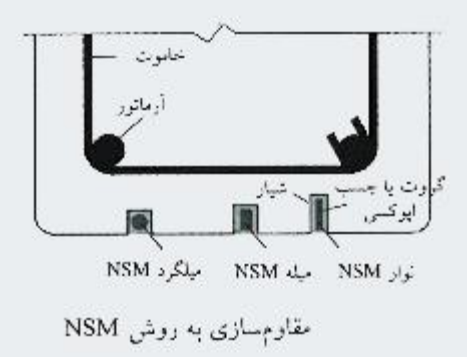
مقاوم سازی سازه های بتنی به روش خارجی و سهولت اجرای FRP سبب رایج شدن این تکنیک شده است . **تقویت سازه با FRP**نیز مشکلات خاص خود نظیر عدم مقاومت در برابر آتش سوزی را دارد که استفاده از عایق های حرارتی سبب پاسخ گویی به این ایراد شده است.

روش مقاوم سازی به روش Near Surface Mount و یا به اختصار روش NSM

در سال‌های اخیر پیش‌تنیده کردن نوار ها و تسمه‌های FRP نیز مورد توجه پروژه‌های عمرانی قرار گرفته است. پیش‌تنیده کردن یک عضو باعث بهبود در عملکرد خمشی عضو در محدوده خدمت رسانی می‌شود. ایجاد پیش‌تنیدگی باعث کاهش خیز عضو، کاهش ترک ها، افزایش بار ترک خوردگی و افزایش بار تسلیم آرماتورهای کششی می شود. این عمل زمانیکه در پل ها با دهانه بلند بکار گرفته می‌شود نقش اصلی خود را نشان می‌دهد. زیرا در این پل ها به علت دهانه بزرگ معمولا شاه تیرها دچار تغییر شکل زیادی می شوند اما پیش تنیدگی باعث اعمال خیز منفی اولیه به تیر شده و خیز حداکثر آن را کاهش می‌دهد. مزیت بزرگ دیگر اعمال پیش‌تنیدگی در پل‌ها افزایش مقاومت خستگی المان‌ها می‌باشد. شاه تیرها و پایه‌ی پل‌ها تحت بار متناوب ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه می باشند که همین امر باعث وقوع خستگی در این اعضا می‌شود. پیش‌تنیده کردن این اعضا باعث باربرداری آرماتورهای کششی این اعضا شده و مقاومت خستگی عضو را بطرز چشمگیری بهبود می‌بخشد.

در مواقعی که امکان ایجاد یک شکاف سطحی بر روی سطح بتن وجود داشته باشد، روش مقاوم سازی به روش NSM انتخاب بسیار عاقلانه ای می باشد. این روش نیاز به آماده سازی سطح را به میزان بالایی کاهش می دهد و همچنین ریسک ایجاد شرایط بحرانی در اجرای موفق و موثر سیستم مقاوم سازی و نیاز به اجرای سیستم های Lay-Up در کارگاه را از بین می برد. به دلیل اینکه میلگرد و یا لمینیت در سطح بیشتری به بتن چسبیده، لذا در این سیستم هنگام انتقال یک نیروی مشابه در روش EBR میزان کمتری تنش برشی در بتن ایجاد می شود. از این رو طول توسعه در روش NSM بسیار کمتر بوده و می توان تقریبا از کل ظرفیت مقاومت FRP استفاده کرد پیش از آن که گسیختگی ناشی از چسبندگی حاصل شود. اجرای این سیستم نیاز به نیروی آموزش دیده خاصی ندارد و طراحی آن با در نظر گرفتن راهنمایی های ACI ۴۴۰-۲ انجام می شود.

به عبارت دیگر در روش NSM همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود نوارها یا میلگردهای مصالح مقاوم کننده در شیارهایی که در وجه کششی بتن ایجاد شده اند، چسبانده می شوند و پوشش سیمانی و یا چسب اپوکسی روی آن ها قرار می گیرد. به طور کلی برخی از مزایای روش هایNSM نسبت به روش EBR عبارتند از: بهبود پیوستگی و انتقال نیرو به بتن اطراف به دلیل محصور شدن نوار داخل شیار، محافظت از نوار در برابر عوامل محیطی خارجی و عدم نیاز به آماده سازی سطحی بتن بعد از ایجاد شیارها.



مقاوم‌سازی به روش NSM

چگونگی نصب سیستم مقاوم سازی به روش مقاوم سازی NSM

۱. - ابتدا مهندس طراح محل شکاف را براساس نقشه های تامین شده مشخص می کند و با ماژیک آن را علامت می زند سپس با استفاده از دستگاه مناسب و رعایت مسائل ایمنی شکاف را ایجاد می کند اندازه نهایی عمق و عرض این شکاف برای میلگردهای FRP به طور معمول ۱.۵ برابر قطر میلگرد و در لیمینت ها عرض شکاف ۳ برابر ضخامت لیمینت و اندازه عمق آن ۱.۵ برابر عرض لیمینت می باشد رعایت چند نکته هنگام اجرای گام اول ضروری است: اگر از ابزار مناسب مانند یک فرز با تیغه الماس ، ریل هدایت کننده تیغه در مسیر سیستم و ابزارهای دیگر استفاده شود شکاف خیلی آسانتر و راحتر ایجاد خواهد شد بهتر است که در بعضی از موارد به جای برش یک مرحله ای شکاف چندین خط شکاف ایجاد کرده و سپس برای ایجاد کردن شکاف نهایی باید بتن میان آن ها را برداشت.

۲. تکه های بتن در شکاف که با استفاده از فرز برش داده نشده اند با قلم تراشیده شوند و یک شکاف عاری از هرگونه بتن و سنگدانه ای ایجاد شود.

۳. درون شکاف را باید از وجود هرگونه گرد و غبار با استفاده از پمپ هوا یا جاروبرقی تمیز کرد این مرحله هیچ نیازی به برس زدن و ایجاد کردن سطح ناصاف با هر نوع وسیله ای نخواهد داشت.

۴. پس از اجرا شدن سیستم مقاوم سازی برای اینکه ظاهر عضو بتنی دچار آسیب نشود و به دلیل جنبه های زیبایی می توان سطح کنار شکاف را با استفاده از نوارهایی پوشاند تا در حین اینکه چسب به بتن تزریق می شود به بیرون شکاف چسبیده نشود برای اینکه مرحله با سرعت و به آسانی انجام شود می توان مرحله یکپارچه را روی شکاف و بتن اطراف آن قرار داد و سپس با کاتر روی شکاف برش داده شود.

۵. شکاف را باید تقریبا تا نیمه با چسب پر کرد.

۶. میلگرد یا لمینیت به چسب آغشته شده و در داخل شکاف فرو کرده در این مرحله باید اطمینان حاصل شود که چسب بدون اینکه حباب های هوا را در آن ایجاد کند قادر است FRP را احاطه کند.

۷. داخل شکاف را باید با چسب پر کرده و از پوشانده شدن FRP به طورکامل مطمئن شد.

۸. اضافه چسب را باید با استفاده از لیسه یا ماله برداشت.

۹. نواری که در مرحله چهار قرار داده شده را باید از بتن جدا کرد و این کار قبل از سفت شدن چسب انجام می گیرد.

مراحل اجرای روش مقاوم سازی NSM چگونه است؟

مراحل انجام روش مقاوم سازی NSM به این صورت می باشد که ابتدا باید شیاری را در راستای موردنظر در سطح بتن ایجاد کرد اندازه شیار به گونه ای انتخاب شود که در اطراف مقاوم کننده فضا به اندازه کافی برای نفوذ چسب باشد درون شیار با فشار متوسط آب یا هوا از ذرات گرد و غبار تمیز کرده و سپس شیار را تا نیمه از چسب پر کرد **مصالح FRP** را در داخل شیار قرار داده و برای اطمینان حاصل کردن از نفوذ چسب به آرامی باید به فضاهای مجاور فشار وارد کرد در آخر شیار با چسب اضافه پر کرده و سطح تراز می شود. در این روش باید مصالحی برای مقاوم سازی به کار برده شود که شامل:

۱) به کار بردن تسمه های FRP : در روش مقاوم سازی به روش NSM با استفاده از تسمه های کربن سختی تیر به اندازه چشمگیری افزایش می یابد و به طورمشخص ایجاد تغییر شکل ها کاهش پیدا می کند.

۲) به کار بردن میله های FRP : تقویت کردن خمشی تیرها و اعضای بتن آرمه به روش مقاوم سازی NSM یکی از **شیوه های مقاوم سازی با FRP** می باشد در روش مقاوم سازی با استفاده از NSM پارامترهای مانند نوع بتن، نوع آرماتورها و فولادی و نوع چسب ها بسیار موثرند تیرهایی که با میله های NSM مقاوم سازی می شوند از خیز پایانی کمتر و سختی و ظرفیت بیشتری برخوردار خواهند بود همچنین باعث می شود لنگر پایانی در تیرها نسبت به نمونه های بدون تقویت بمی افزایش پیدا کند در روش مقاوم سازی با آرماتورهای NSM افزایش میزان شیار برای نمونه های با چسب اپوکسی به طورچشمگیر بر بار گسیختگی تاثیر نمی گذارند دلیل آن این است که افزایش میزان افت در بتن به اندازه ی افزایش شیار است روش NSM در پاسخ بار دگرگونی مکان تیرهای صدمه دیده را ترمیم می کند و میزان ظرفیت آن ها را افزایش خواهد داد.

۳) به کار بردن میله های دست ساز FRP MM : استفاده از این میله های دست ساز یکی دیگر از روش های تقویت FRP به روش مقاوم سازی NSM می باشد این میله ها که از روی ورق های FRP پیچیده شده اند دور یک میله چوبی ساخته خواهند شد این میله ها نسبت به آرماتورهای FRP که معمولی هستند به ازای مقدار الیاف یکسان محیط بزرگ تری را ایجاد می کنند زیرا هسته این میله دارای یک میله چوبی با مقاومت کم بوده که محیط یکپارچه بزرگ تر و به همراه آن مقاومت پیوستگی بزرگ تر را فراهم می کند مزیت اصلی این میله ها این است که اجازه می دهند سیستم مهرها ساخته شود که با استفاده از آن ها می توان عملکرد مسلح کننده های NSM-MM FRP را برای تقویت خمشی تیرهای بتن آرمه بهبود داد این کار با استفاده از آرماتورهای معمولی FRPبه آسانی قابل انجام نمی باشد.

استفاده از روش مقاوم سازی NSM چه مزایایی دارد؟

- این روش نسبت به روش EBR موثرتر است.
- به فراگیری روش اجرا نیازی ندارد.
- برطرف کردن مشکل به آماده سازی سطح کار نیاز دارد.
- قرار گرفتن در معرض شکاف را کاهش می دهد.
- عملکرد در حین قرارگرفتن در معرض آتش سوزی را بهبود می دهد.
- از قابلیت بازبینی مشخصات FRP قبل از نصب برخوردار می باشد.
- به بتن اطراف که با نوار داخل شیار احاطه شده اند نیرو منتقل می کند و پیوستگی را بهبود می دهد.
- از نوار در برابر عوامل محیطی خارجی محافظت می کند.

- در میله های ضد زنگ فولادی به عنوان مقاوم کننده سازه های بنایی و پل های قوسی را تقویت می کند.
- در برابر خوردگی مقاوم بوده و به دلیل اینکه وزن کمی دارد و اندازه شیار های آن به دلیل نسبت بالای مقاومت کششی به سطح مقطع در مصالح FRP کم است نصب آن به راحتی و سرعت بالایی انجام می گیرد.

استفاده از روش مقاوم سازی NSMچه معایبی دارد؟

- به مقدار پوشش بتن کافی نیاز دارد.
- به آسانی کنترل کیفیت در کارگاه به اندازه روش EBR نمی باشد.
- امکان اینکه حفر شکاف در سطوح سقف بسیار دشوار باشد وجود دارد.

روش مقاوم سازی

در حالت کلی دو روش برای افزایش ظرفیت لرزه ای سازه ها وجود دارد که در شکل ۴ نشان داده شده است .مطابق این شکل یا کل سازه با اضافه کردن اعضای جدید همانند :دیوار برشی فولادی یا بتنی، مهاربند فولادی، دیوارهای پر کننده، کابلهای پس تنیده، میراگرها و غیره تقویت شده و یا اینکه با ترمیم و تقویت اعضای موجود همانند استفاده از پوششهای FRP و غیره برای تقویت موضعی تیرها و ستونهای بتن آرمه آسیب پذیر و نیازمند به تقویت استفاده می گردد .البته لازم به ذکر است روش منحصر به فردی برای رسیدن به پاسخ سازه ای قانع کننده وجود ندارد و الگوهای مقاوم سازی متفاوتی می توان برای تقویت یک سازه خاص بکار برد ولی در تمامی روشها، معمولا اهداف و ملاکهای افزایش استحکام و مقاومت سازه ها، افزایش انعطاف پذیری و شکل پذیری و یا مجموعه ای از دو خاصیت مذکور دنبال می گردد که اهمیت هر یک از ملاکهای فوق به منظور انتخاب روش ترمیم بستگی به اهمیت، ارتفاع، مقاومت و انعطاف پذیری سازه و همچنین پلان مربوطه دارد.

عوامل موثر در تعیین روش مقاوم سازی

هدف از ترمیم و مقاوم سازی سازه ها، ارتقاء ظرفیت باربری برای تحمل بارگذاری های جدید نقلی و جانبی و افزایش عمر مفید آنها می باشد. در این رابطه ترمیمی و تقویت اعضاء برای پیشگیری از آسیب دیدگی، افزایش شکل پذیری اعضاء سازه و همچنین جبران خطاهای طراحی و اشتباهات صورت گرفته در هنگام ساخت از جمله اهداف اصلی مقاوم سازی محسوب می شوند.

تکنیک های مقاوم سازی موثر در صنعت ساختمانی

۱. ارزش سازه
۲. لرزه خیزی منطقه
۳. نیروی انسانی
۴. طول مدت اجرا
۵. تکمیل و تقویت براساس نظر کارفرما
۶. توجه به تناسب زیباشناسی (معماری) و نقش سازه ای
۷. اهمیت تاریخی و سیاسی سازه
۸. سازگاری روش مقاوم سازی با سیستم سازه های موجود

۹. کنترل آسیب وارده به اجزای غیر سازه ای
۱۰. ظرفیت مناسب باربری سیستم فونداسیون
۱۱. مواد ترمیمی و روش های موجود مقاوم سازی

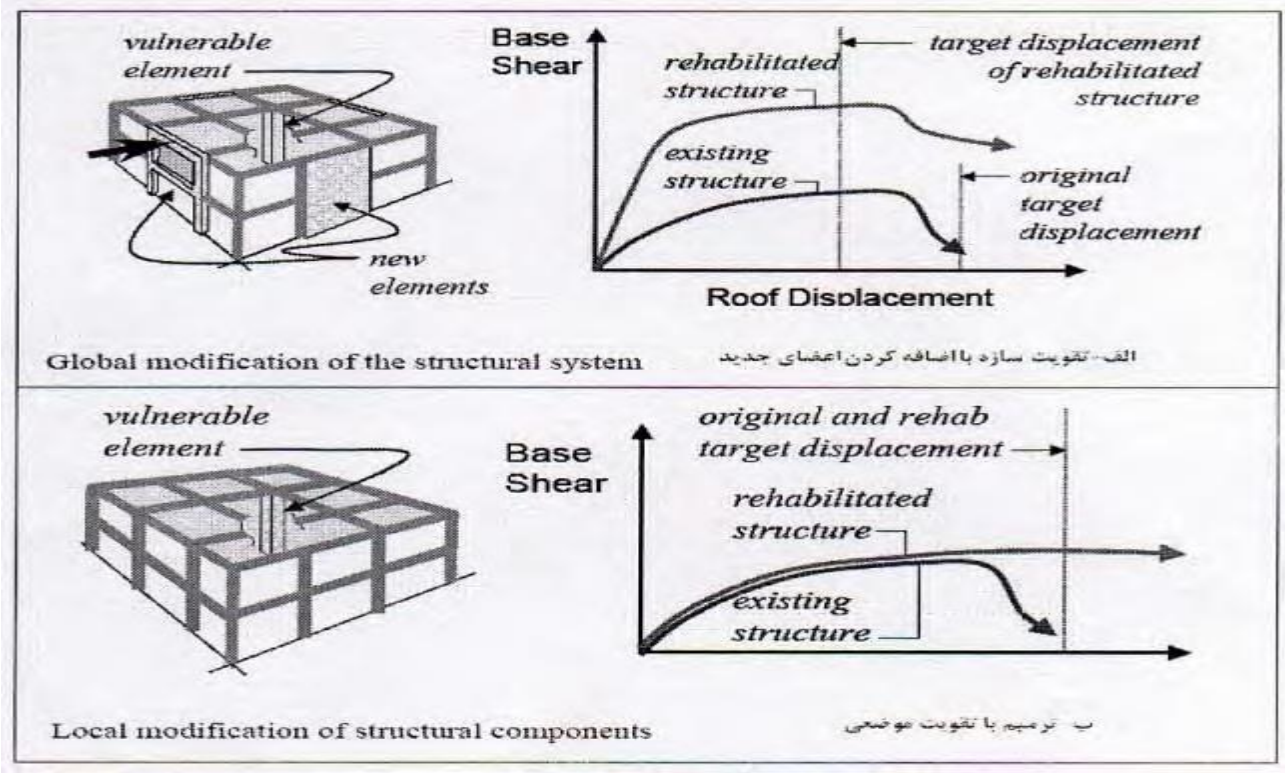
روش های مرمت و مقاوم سازی سازه های بتنی

در پایان مرحله ارزیابی از مقاومت و عملکرد یک سازه، در صورتی که به این نتیجه دست یابیم که سازه مورد نظر احتیاج به ترمیم و تقویت دارد، می بایست با انتخاب اجرایی ترین و در عین حال اقتصادی ترین روش، عملیات مقاوم سازی انجام گیرد. البته در پاره ای از مواقع، ترکیب چند روش مقاوم سازی به صورت توامان، پاسخ مسئله خواهد بود و با تلفیق پند روش، این مهم صورت می گیرد.

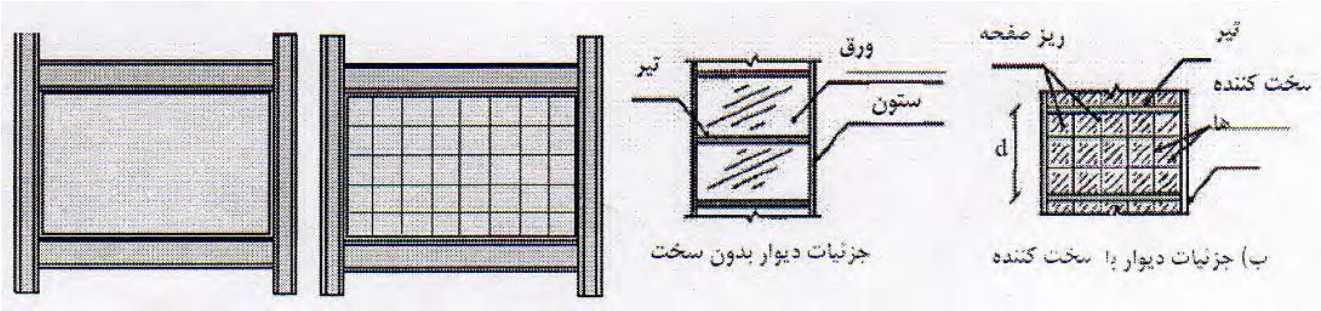
گرچه روش های ترمیم و مرمت و مقاوم سازی برای سازه هایی که در خشکی قرار گرفته اند با سازه های که در محیط های دریایی واقع هستند، کاملا متفاوت خواهد بود، لیکن اصول و معیارهای حاکم و همچنین راهکارهای کلی ترمیم و تقویت برای هر دو نوع، می تواند دارای مشترکاتی نیز باشد .

تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید

الف -اضافه کردن دیوار برشی :دیوارهای برشی به لحاظ دارا بودن سختی و مقاومت زیاد در برابر نیروهای جانبی مهمترین عنصر مقاوم سازه در برابر نیروهای جانبی می باشند .به عبارت دیگر افزایش تعداد دیوارهای برشی بی شک بهترین راه برای تقویت سازه موجود در برابر زلزله و بهبود رفتار آن است .استفاده از دیوار برشی بتنی با توجه به وزن بالایی که به سازه تحمیل می کند و حجم بالایی که دارد برای مقاو مسازی ساختمان های کوتاه مرتبه توصیه می شود در این حالت برش پایه افزایش یافته و به دلیل افزایش فشار، تقویت فونداسیون سازه موجود زیر دیوار برشی اضافه شده هزینه بالایی را در پی دارد. در صورتی که استفاده از دیوار برشی فولادی به دلیل زمان نصب و ساخت کوتاه از لحاظ اقتصادی مزایایی دارد همچنین هزینه تقویت سایر المانهای ساختمان نظیر فونداسیون را چندان تحت تأثیر قرار نمی دهد .اما یکی از معایب این دیوارها کمانش موضعی یا کلی در نواحی فشاری است که مقاومت برشی، سختی و ظرفیت استهلاک انرژی را کاهش م یدهد که برای جلوگیری از این کمانش، سخت کننده به آن اضافه کرده که باعث افزایش هزینه های ساخت می گردد که این مطلب در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل :۴ تقویت سازه با اعضای جدید یا تقویت موضعی



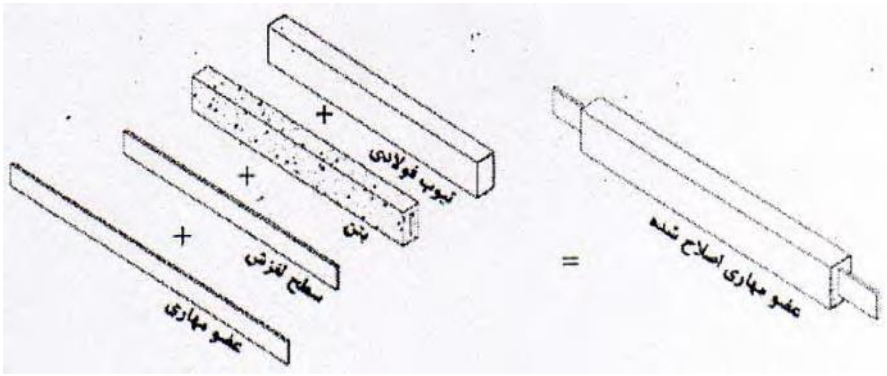
شکل ۵:دیوار برشی فولادی با و بدون سخت کننده

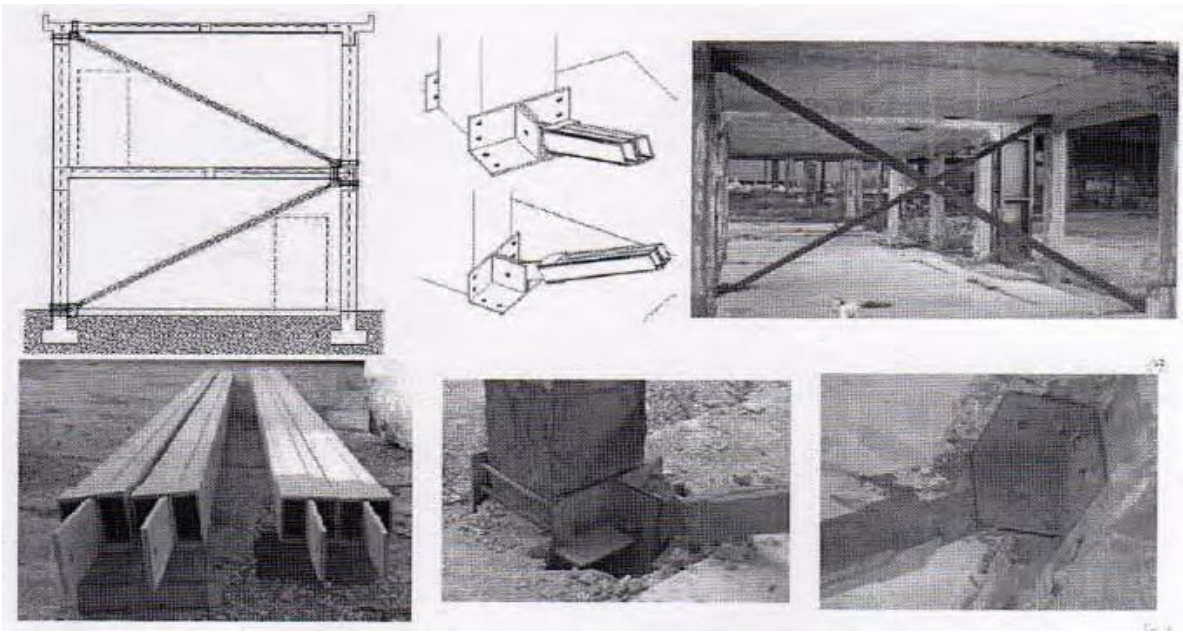
ب -اضافه کردن با دبند های فولادی:

اضافه شدن بادبند های هم محور و برون محور فولادی به قابهای بتنی باعث افزایش مقاومت جانبی قاب می گردد. بادبند ها به حالتهای فشاری، فشاری و کششی و کششی یا پس کشیده و به اشکالX ، شورون و زانویی اجرا می گردند .اصولاً بادبند های کششی نسبت به بادبند های فشاری در سیکهای متناوب بارگذاری رفتار لرز های بهتری داشته و حلقه های هیسترزیس آنها باریک شدگی کمتری داشته و افت سختی کمتری دارند .مزایای این روش عبارتند از :افزایش مقاومت و شکل پذیری سازه، اعمال

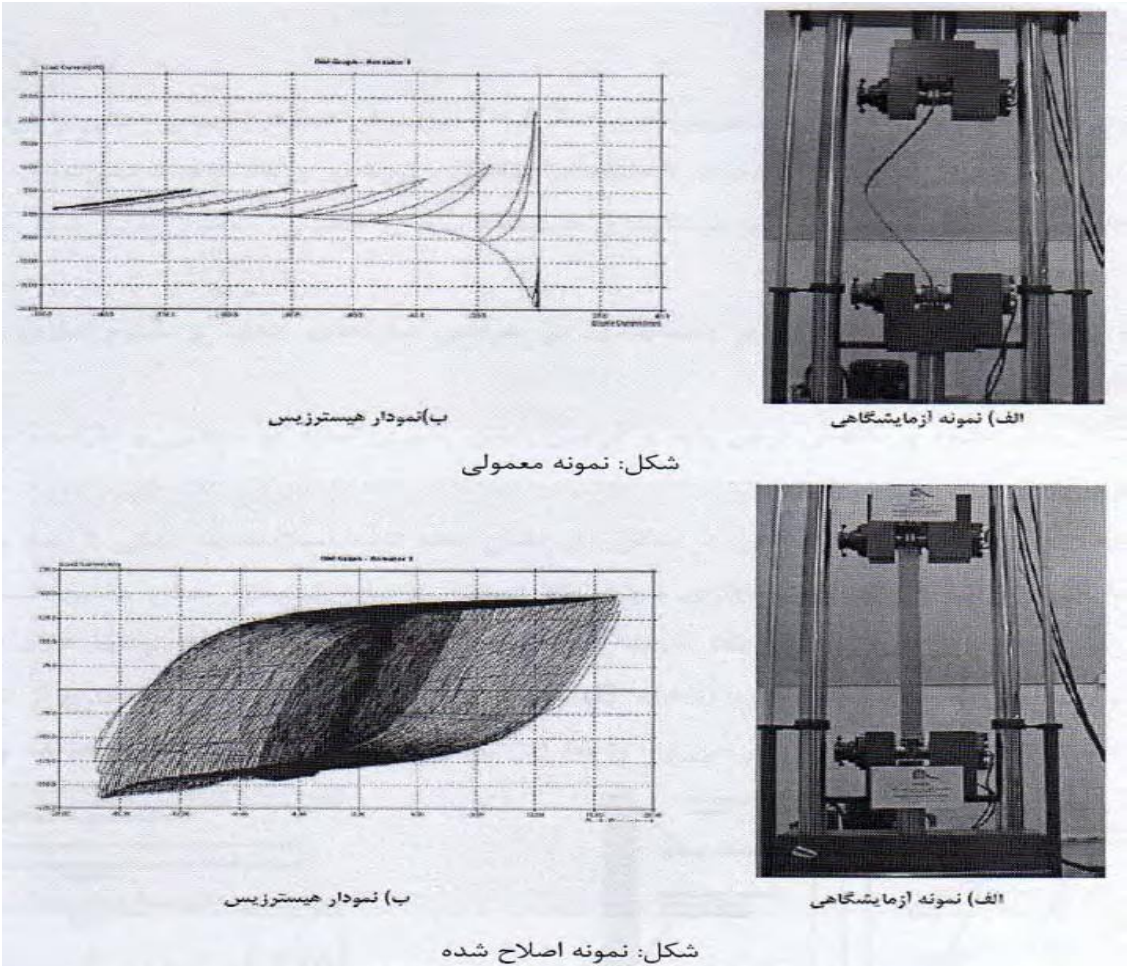
وزن کمتر به سازه، امکان استفاده از بازشو و پنجره در قاب بادبندی شده، اجرای نسبتاً آسان و کنترل کیفیت ساده تر مـی باشـد عیب روش فوق عدم اتصال مناسب بین بادبند فولادی و قاب بتن آرمه است که اتصال را حین زلزله آسیب پذیر می سازد.

در صورتی که در اعضای فشاری بادبند کمانش اتفاق نیفتد و امکان تشکیل مفصل محوری فشاری فراهم گردد، یعنی رفتار این اعضا در کشش و فشار یکی شوند، اعضای مهاری می توانند در کشش و فشار به تسلیم برسند .بر همین اساس مطالعـاتی در ایـن زمینه انجام گرفته و طرحی مطابق شکل ۶ که شکل پذیری لازم را فراهم می آورد مطرح گردید .در شکل ۷ نمودار هیسـترزیس نمونه معمولی و نمونه اصلاح شده نشان داده شده است. مطابق این شکل ملاحظه می گردد که در نمونه اصـلاح شـده عـلاوه بـر افزایش زیاد استهلاک انرژی، رفتار عضو اصلاح شده در کشش و فشار تقریباً یکی شده است.





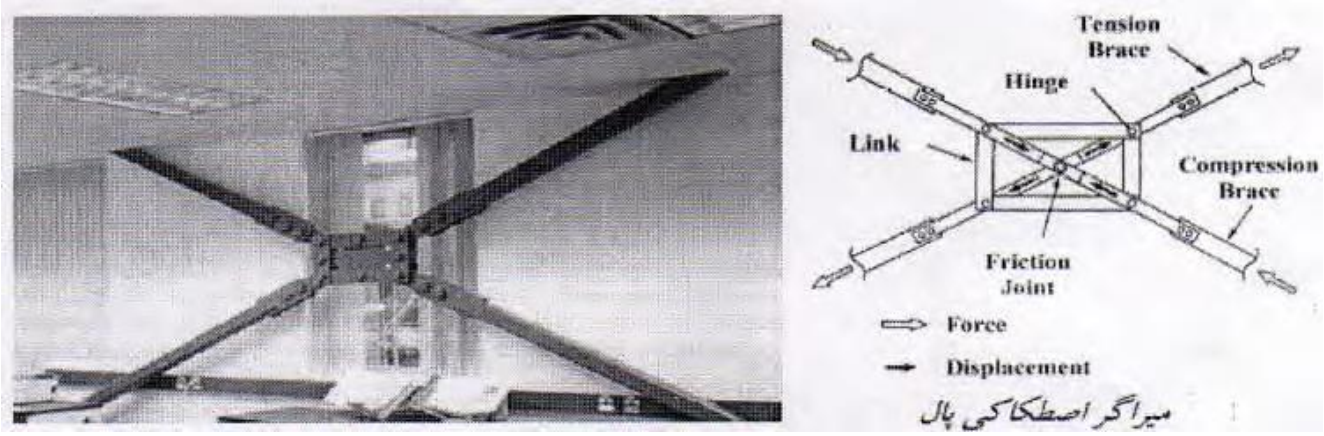
شکل ۶:مهاربندی فولادی اصلاح شده



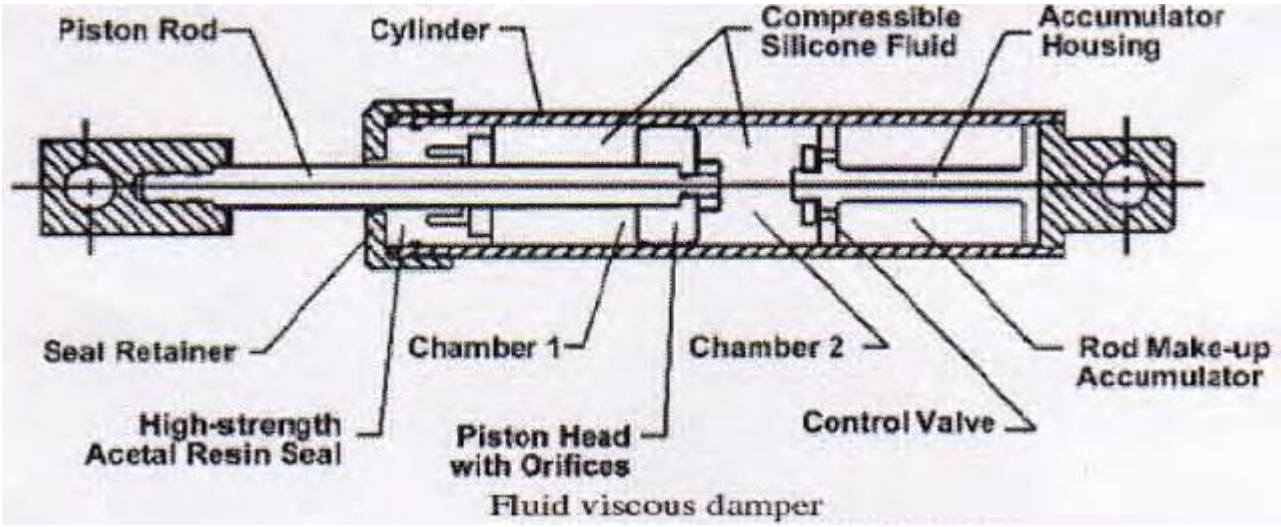
شکل ۷:نمودار هیسترزیس نمونه اصلاح شده و معمولی

پ -اضافه کردن میراگرها:

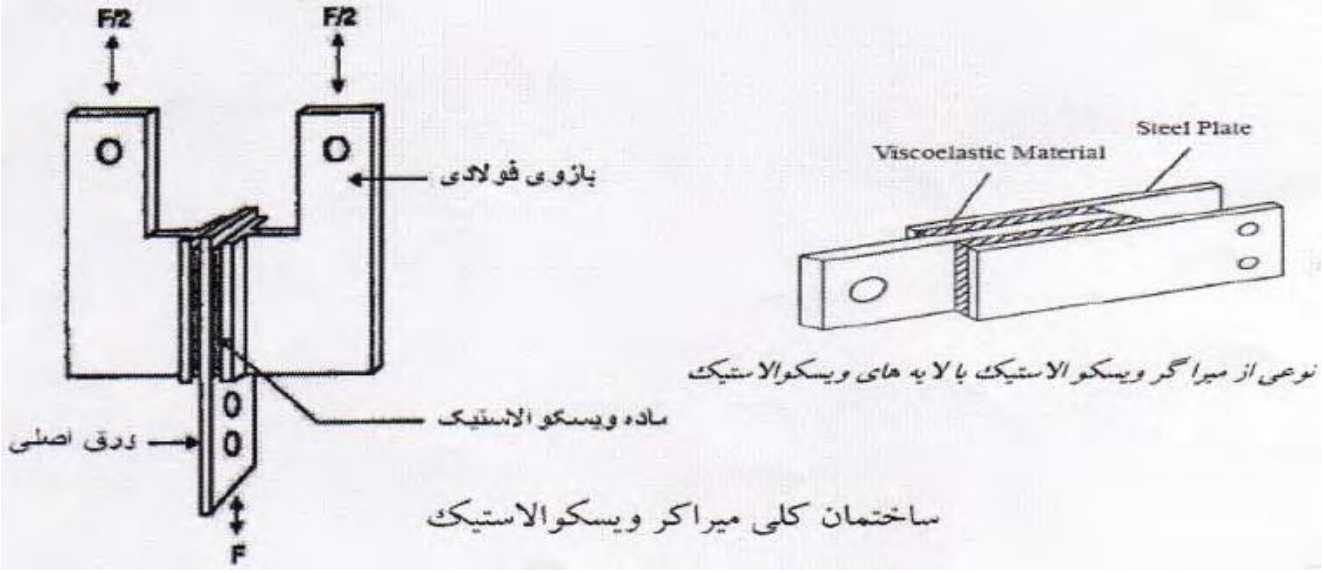
اضافه کردن میراگرها سبب می شود میرایی افزایش یافته و باعث کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای سازه می گردد .معمولاً میراگرها روی بادبند ، بین بادبند، تیر، بین دیوارها یا بین دیوار و تیر نصب می شون د .انواع میراگرها عبارتند از اصطکاکی، مایع لزج، ویسکو الاستیک، متالیک و غیره که مزیت اصلی همگی آنها سهولت در نصب می باشد.



شکل ۸:میراگر اصطکاکی



شکل ۹:میراگر مایع لزج



شکل ۱۰: میراگر ویسکوالاستیک

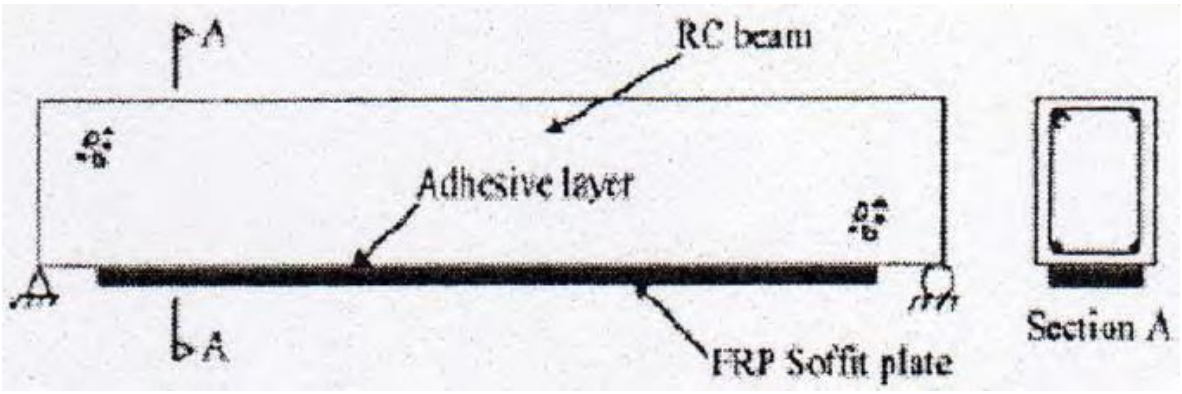
تقویت سازه با ترمیم اعضای موجود بوسیله ورقهای FRP

FRP یک کلمه اختصاری از Fiber Reinforced polymer or plastic می باشد و نوعی مادۀ کامپوزیت متشکل از ۲ بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که بوسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است .فیبرهای تشکیل دهنده می توانند در یک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند. به طور کلی FRP ها به دو شکل وجود دارند :ورقه های FRP و میلگردهای FRP.

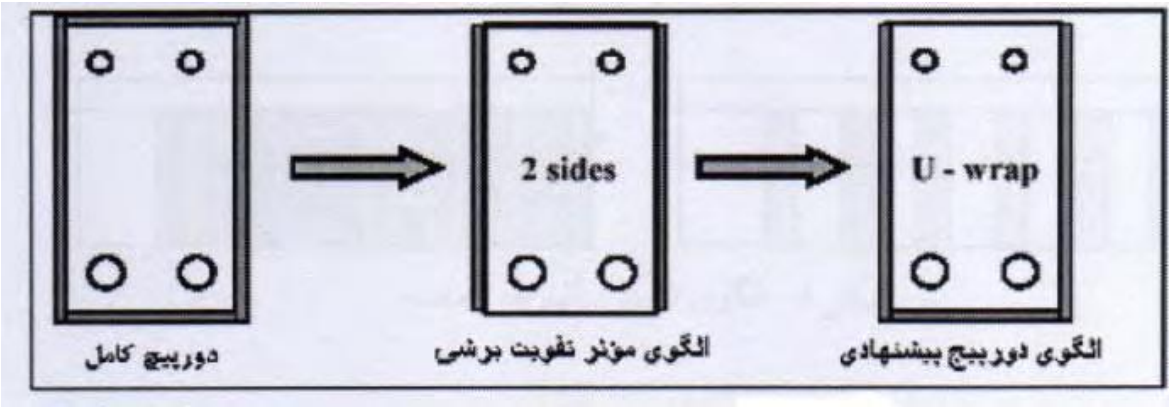
رفتار ورقه های FRP بصورت ارتوتروپیک یا شبه ایزوتروپیک بوده و مدول الاستیسته آنها در جهت قرارگیری فیبر با جهات عمود بر آن متفاوت است. FRP ها بر اساس فیبر تشکیل دهندۀ آن به چندین دسته تقسیم می شوند:

CFRP با الیاف از جنس کربن، GFRP با الیاف از جنس شیشه و AFRP با الیاف از جنس آرامید .توجه به این نکته ضروری است که درFRP های از نوع کربن خزش بوجود نخواهد آمد در صورتی که خزش در FRP های شیشه ای ناچیز بوده و قابل چشم پوشی است ولی خزش در FRP های آرامیدی را نمی توان نادیده گرفت و در درازمدت باعث افزایش تغییر شکل قابل ملاحظه ای در عناصر تقویت شده با این نوع FRP ها می گردد .موضوع مهم دیگر رفتار ضعیف GFRP ها در تحمل زیر فشار ثابت است، فیبرهای شیشه ای زیر فشار ثابت گسیختگی کششی پیش از موعد از خود نشان می دهند از این رو مقاومت کششی GFRP ها وقتی تحت کشش ثابت قرار می گیرند خیلی کاهش می یابد .سادگی اجرای FRP ها در عین سرعت عمل بالا، وزن کم، مقاومت کششی بالای ور ق ها، مقاومت در برابر خوردگی، جذب ارتعاشات، افزایش مقاومت و استحکام سازه خصوصاً در مقابل بارهای دینامیکی از جمله مزیت های این مواد م ی باش د .از ورقه های FRP برای تقویت خمشی، برشی، پیچشی و ترکیب آنها در اعضای باربر سازه چون تیرها، ستونها، اتصالات دیوارها و دالهای بتن آرمه و حتی عناصر غیر باربر استفاده می شود در شکل ۱۱

تقویت خمشی و برشی تیرها به کمک ورقه های FRP نشان داده شده است .جنس ورقه ای که برای تقویت خمشی بکار می رود CFRP و جنس ورق های که برای تقویت برشی بکار می رود GFRP می باشد.



الف -تقویت خمشی



ب - تقویت برشی

در حالت تقویت خمشی به جهت جلوگیری از گسیختگی های موضعی همانند عدم چسبند گی و مهاری و گیـردار شـدن در انتهای تیر مطابق شکل ۱۲ ازباریکه ها یا ورقه پیوسته U شکل استفاده می گردد. همانگونه کـه در شـکل ۱۳ نشـان داده شـده

است روشهای تقویت ستونها با ورقه FRP عبارتند از: ۱ -دور پیچ سراسری، ۲- پیچاندن بصورت دورانی، ۳- استفاده از نوارها و کابلهای کامپوزیت، ۴- دور پیچ بصورت خودکار و ا توماتیک، ۵- چسباندن پوسته های پیش ساخته و ۶- تزریق چسب یا ماتریس.

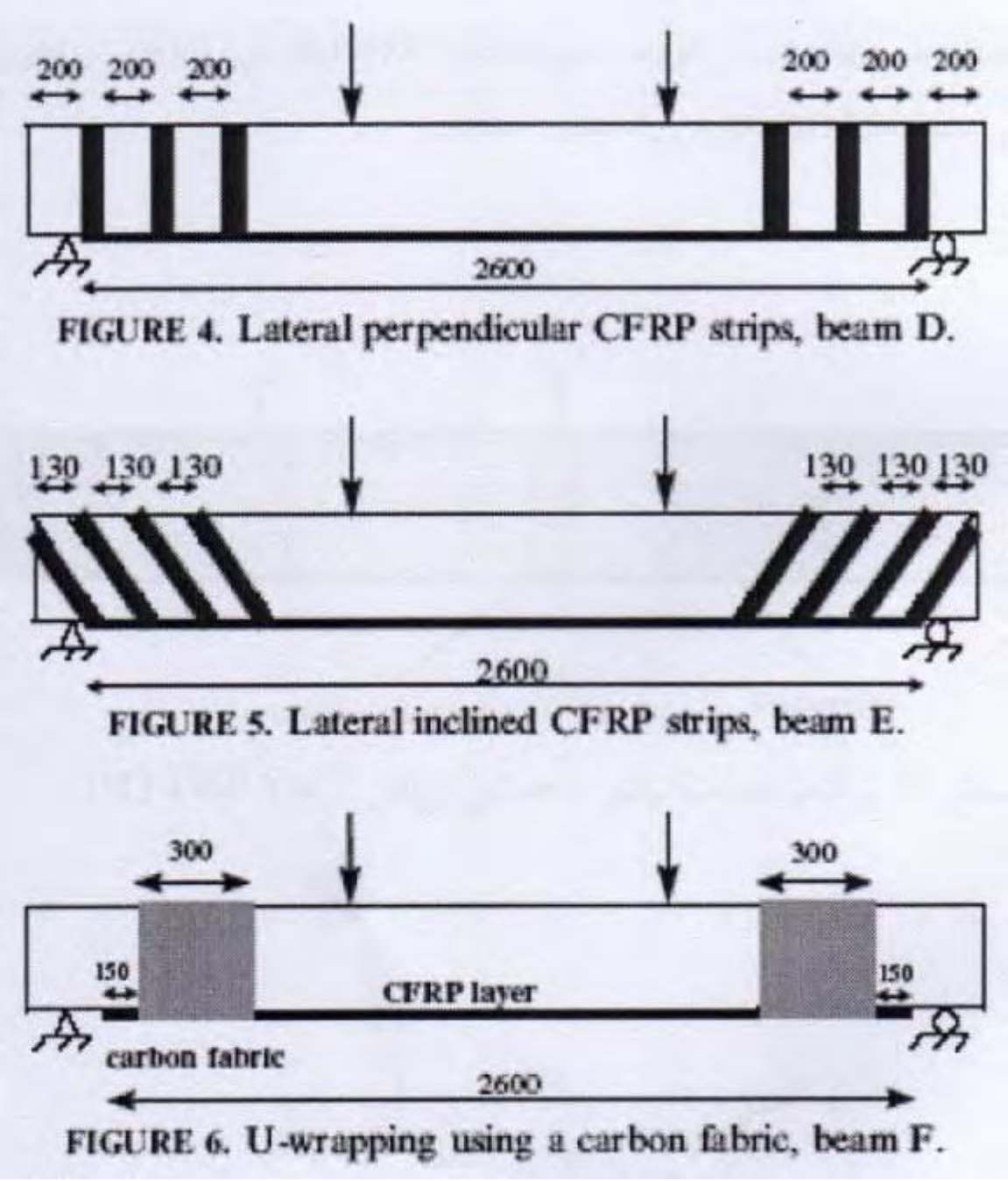
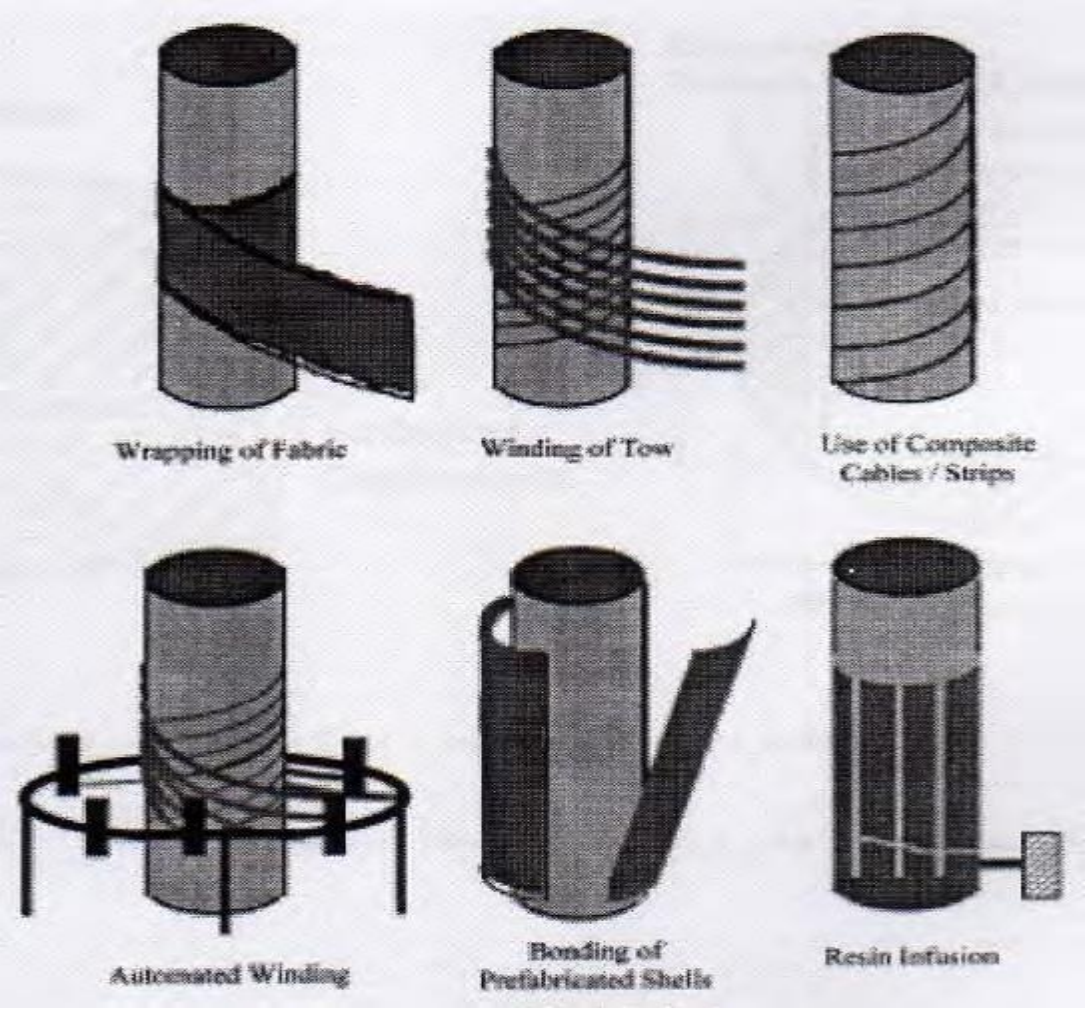


FIGURE 4. Lateral perpendicular CFRP strips, beam D.

FIGURE 5. Lateral inclined CFRP strips, beam E.

FIGURE 6. U-wrapping using a carbon fabric, beam F.

شکل ۱۲: تقویت خمشی تیرها با ورق FRP و نوار انتهایی U



شکل ۱۳: حالات مختلف تقویت ستونها با ورقFRP

نتیجه و ارائه پیشنهاد

۱- لزوم مقاوم سازی و آشنایی با نحوه عملکرد سازه ها در مقابل زلزله با توجه به اینکه کشور ما در محدوده گسل هـای بـا لرزه خیزی زیاد قرار دارد دارای اولویت می باشد لذا با در نظر گرفتن سطح عملکرد مورد انتظار با توجه به سطح خطر و توجیه اقتصادی آن و با توجه به پارامترهای مؤثر یکی از روشهای مقاوم سازی را انتخاب می کنیم.

۲- از آنجا که مکانیزم های خرابی و کاهش عمر مفید سازه ها عمدتا معلول الف: اشـتباهات طراحـی ب: اشـتباهات و نقـص های اجرایی می باشد. لذا می بایست سیستم صحیحی جهت اعمال دستورالعمل ها و آیین نامه های اسـتاندارد و کنتـرل در نظارت بر حسن اجرا در ساخت و سازها، پایه ریزی گردد.

۳- نظر به اینکه عمر مفید سازه ها بستگی به عوامل متعددی از جمله کیفیت مصالح، کیفیت اجـرا و شـرایط محیطـی دارد، لازم است از روش های نوین و پیشرفته کنونی بهره مند گردد تا علاوه بر جلوگیری از تخریب سـازه هـا، ایمـن سـازی و ارتقاء ظرفیت و عمر مفید آنها را افزایش داد.

٤- نتایج تحقیقات و پژوهش های اخیر، مبین آنست که، همواره روش های تلفیقی که ترکیبی از شیوه های مقاوم سازی را شامل می شود، می تواند بیشتر پاسخگوی نیازهای فنی باشد و در عمل نتایج بهتری را بدست داده است.

٥- قابهای مهار بندی شده هم مرکز شکل پذیر پیشنهادی، در طراحی سازه های جدید و مقاوم سازی ساختمانها می تواند گزینه مناسبی در قابهای مهاربندی شده باشد.

٦- در صورتی که میراگرها بصورت صحیح طراحی گردند روش بسیار مفید برای مقاو مسازی سازه ها می باشند بطوری که می توان قسمت اعظم انرژی زلزله را در این میراگرها مستهلک نمود و حتی سازه در حالت الاستیک باقی بماند.

٧- استفاده از ورقه ها و میلگردهای FRP برای تقویت ساز ههای بتن آرمه روز به روز در حال افزایش می باشد لذا انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه بصورت تئوری و آزمایشگاهی ضروری به نظر می رسد.

منابع

پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، روشهای مختلف مقاوم سازی سازه ها و تحلیل های مربوطه

مجموعه مقالات اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تهران، دانشگاه امیر کبیر، اردیبهشت ۱۳۸۵

ایمان الیاسیان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد، بررسی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه **FPR** به روش اجزاء محدود بصورت پارامتریک، بهار ۱۳۸۴

نشریه شماره ۳۶۰ دستور العمل بهسازی لرزه ای

نشریه ۵۲۴ راهنمای روش ها و شیوه های بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود و جزئیات اجرایی

دکتر مهدی قالیبافیان، چگونگی رفع نواقص و معایب بوجود آمده در سازه های بتنی ، چهارمین دوره آموزش مبانی مهندسی زلزله

Ali Sehat Tabatabaei “Energy dissipation systems for seismic resistance” Iran civil center website (ICC**۸۲**.com)

Jack. P. Moehle " State of Research on Seismic Retrofit of concrete Building Structures in the us

Lombard, J., et al. Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls. in Proc **۱۲**th World Conf on Earthquake Engineering.**۲۰۰۰**