

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان
گروه آموزشی مهندسی عمران
کارشناسی مهندسی عمران

بازرسی، تعمیر و ترمیم سازه ها

بخش اول مفاهیم ، روش ها و آزمایشات

مدرس: امیرمسعود تاکی

نیمسال دوم سال تحصیلی
۱۴۰۲-۱۴۰۳

نشریات و دستورالعمل‌های داخلی

جمهوری اسلامی ایران
ریاست جمهوری
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

ساختمان‌های فولادی

نشریه شماره ۱-۳۶۳

معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mpsorg.ir>

۱۳۸۸

جمهوری اسلامی ایران
ریاست جمهوری
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

ساختمان‌های بتنی

نشریه شماره ۲-۳۶۳

معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mpsorg.ir>

۱۳۸۸

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان‌های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP

نشریه شماره ۳۴۵

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
گامش خط‌برداری ناشی از زلزله

۱۳۸۵

جمهوری اسلامی ایران
ریاست جمهوری
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

ساختمان‌های بتنی

نشریه شماره ۳-۳۶۳

معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mpsorg.ir>

جمهوری اسلامی ایران

تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای
ساختمان‌های موجود (ویرایش اول)
نشریه شماره ۳۶۱

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mpsorg.ir>

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود

نشریه شماره ۳۶۰
(تجدید نظر اول)

معاونت نظارت راهبردی
امور نظام فنی
nezamfanni.ir

۱۳۹۲

نشریات و دستورالعمل‌های داخلی

جمهوری اسلامی ایران سازمان برنامه و بودجه کشور راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها ضابطه شماره ۵۲۳ (تجدید نظر اول) معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران Nezamfanni.ir ۱۳۹۸	جمهوری اسلامی ایران معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی نشریه شماره ۵۲۴ معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی nezamfanni.ir ۱۳۸۹	جمهوری اسلامی ایران سازمان برنامه و بودجه کشور دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی متداول موجود ضابطه شماره ۷۴۲ معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی امور نظام فنی و اجرایی Nezamfanni.ir مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی معاونت تحقیقات www.bhrc.ac.ir
--	---	---

جمهوری اسلامی ایران سازمان برنامه و بودجه کشور دستورالعمل استفاده از میراگرها در طراحی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها ضابطه شماره ۷۶۶ معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران Nezamfanni.ir مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی معاونت تحقیقات www.bhrc.ac.ir سازمان مجری ساختمانها و تاسیسات دولتی و عمومی معاونت برنامه‌ریزی و مهندسی www.cobi.gov.ir ۱۳۹۷	جمهوری اسلامی ایران سازمان برنامه و بودجه کشور دستورالعمل طراحی لرزه‌ای سازه و اجزای غیرسازه‌ای بیمارستان‌ها بر اساس عملکرد ضابطه شماره ۸۱۶ معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران Nezamfanni.ir وزارت راه و شهرسازی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی http://bhrc.ac.ir سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی معاونت برنامه‌ریزی و مهندسی www.cobi.gov.ir ۱۳۹۹
--	--

نشریات و دستورالعمل‌های بین‌المللی

FEMA 351, Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-Frame Buildings

| FEMA 353, Recommended Specifications and Quality Assurance Guidelines for Steel Moment-Frame Construction for Seismic Applications.

FEMA 306, Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings: Basic Procedures Manual. Applied Technology Council. Redwood City, CA, 1999.

| [ATC, 1996] – Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, completed by Applied Technology Council under project ATC 40, California Seismic Safety Commission, Report No. SSC 06-01. November 1996 (also available from ATC).

FEMA274; “GLOBAL TOPICS REPORT ON THE PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS”

| FEMA356, PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS.

Fema 440 :Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures

Asce 41-13 :Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings

ASCE41-17

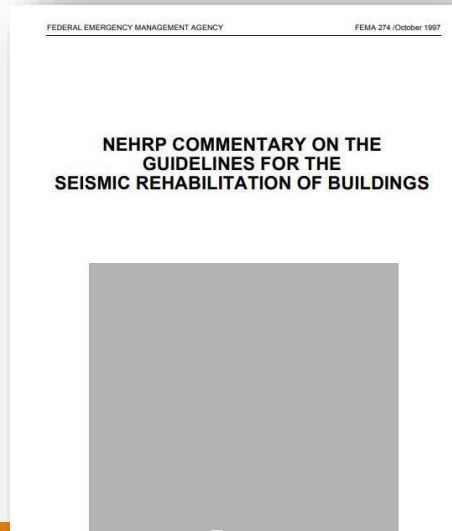
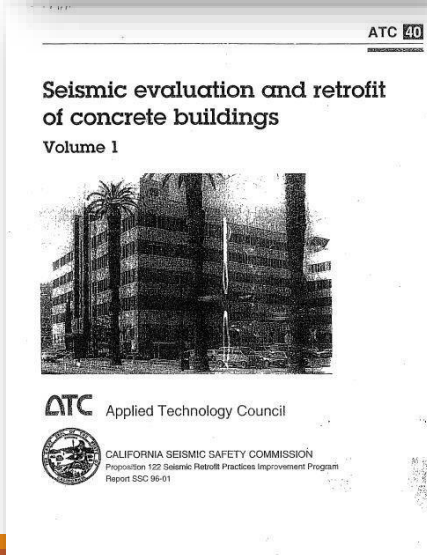
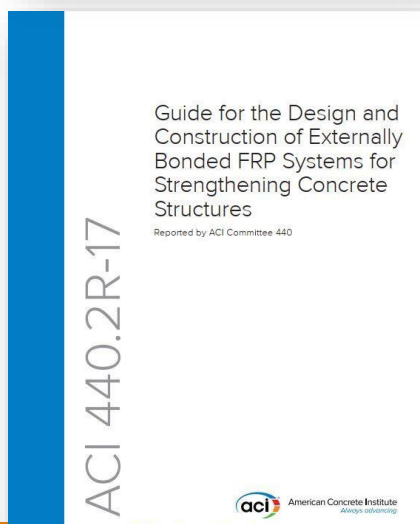
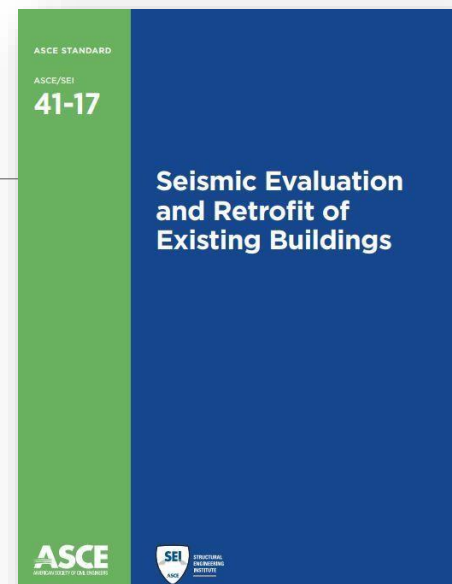
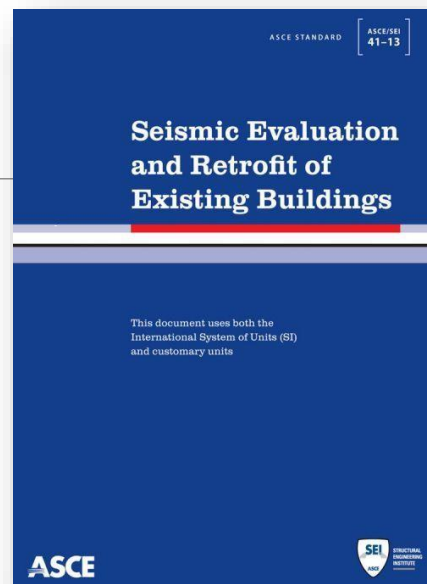
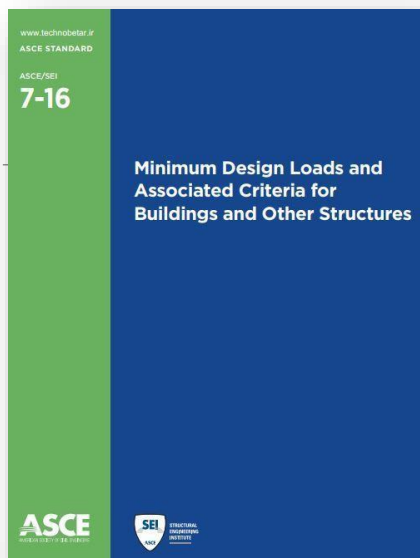
Asce7-16

Fema 547

Fema 273

ACI440

نشریات و دستورالعمل‌های آمریکا



FEMA 306
EVALUATION OF EARTHQUAKE DAMAGED
CONCRETE AND MASONRY WALL BUILDINGS
Basic Procedures Manual

Prepared by:
ATC
Applied Technology Council (ATC-43 Project)
555 Twin Dolphin Drive, Suite 550
Redwood City, California 94065

Prepared for:
The Partnership for Response and Recovery
Washington, D.C.

Funded by:
Federal Emergency Management Agency

1998



Earthquake Safety Activities

For Children and Teachers
FEMA 527 / August 2005



FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY

FEMA 273 / October 1997

NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS



FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY

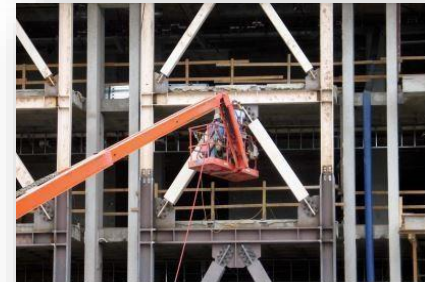
FEMA 356/November 2000

PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS



Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures

FEMA 440
June 2005



Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings

FEMA 547 / 2006 Edition



سوال اول:

تفاوت بهسازی، مقاوم سازی و ترمیم؟

مفاهیم اولیه:

ترمیم: Repair

رفع نقایص کوچک و محدود، مانند مسدود کردن ترک‌ها یا جایگزین کردن قسمت‌های کرموی بتن با ملات تعمیراتی غیر باربر و... را ترمیم می‌گویند.

تقویت: Strengthening

به مجموعه عملیاتی گفته میشود که روی یک قسمت یا تمام سازه انجام میگردد تا سازه بتواند با افزایش مقاومت اعضای باربر بارهای وارده را تحمل کند. به دلایل تغییر کاربری یا اشتباه طراحی برخی از مقاطع ضعیف بوده و باید تقویت شوند.

مفاهیم اولیه:

مقاوم سازی : Retrofit

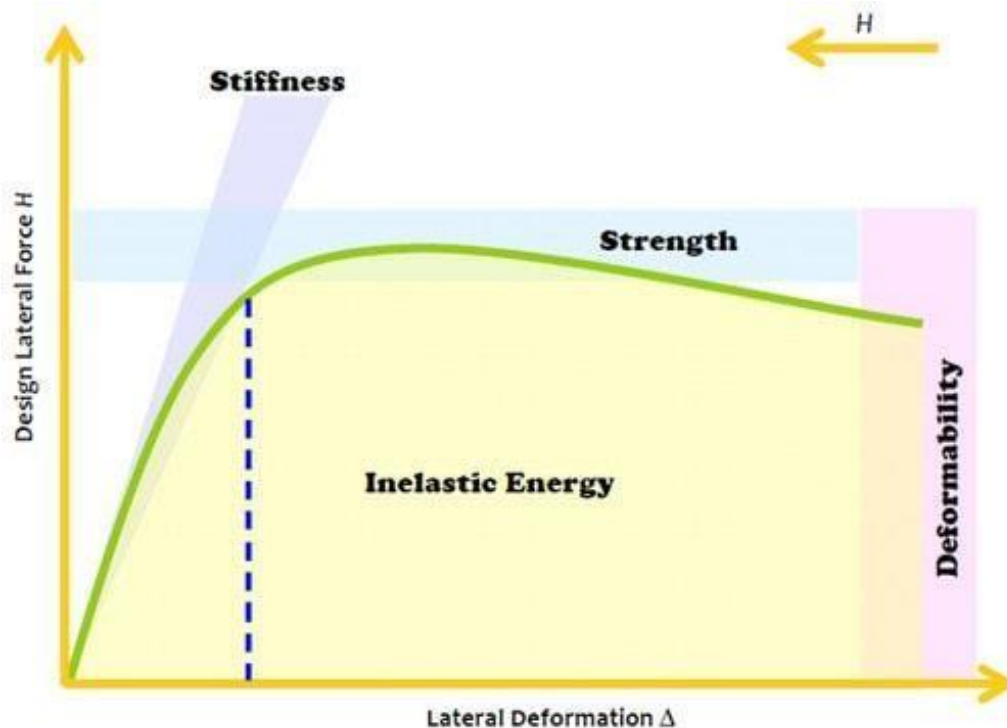
مقاوم سازی ساختمان به مفهوم بالا بردن مقاومت یک سازه در برابر نیروهای وارده می باشد. مقاوم سازی می تواند با افزایش سختی مثلا افزودن مهاربند، دیوار برشی و... یا افزایش مقاومت مانند استفاده از FRP، ژاکت بتنی و فولادی و ... یا عملکرد همزمان آنها انجام شود.

بهسازی : Rehabilitation

به طور کلی مقاوم سازی، ترمیم و تقویت از روش های بهسازی لرزه ای سازه هستند و در واقع جزئی از بهسازی می باشد بعضی مواقع بدون تغییر در المان ها به بهسازی مورد نظر می رسیم، گاهی با کاهش نیاز لرزه ای، کاهش جرم یا حتی استفاده از میراگرها در سازه به ظرفیت مورد نظر می رسیم.

سختی: Stiffness

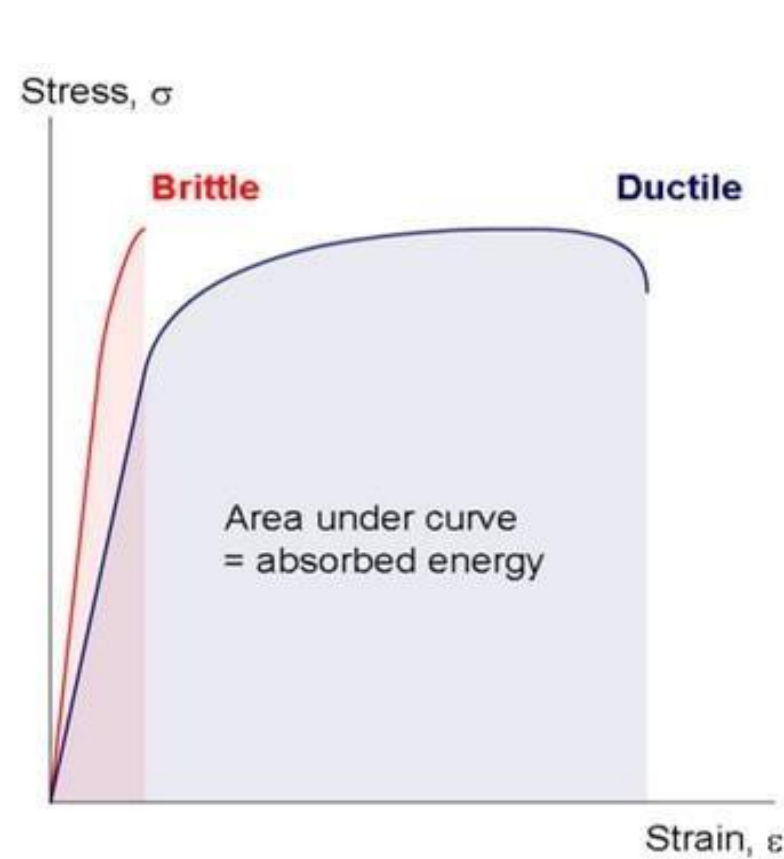
سختی مقاومت یک المان در برابر تغییر مکان است (در جهات مختلف). برای یک نیرو مشخص هر چقدر تغییر شکل سازه کمتر باشد سختی آن بیشتر است.



$$F = k.x$$

$$\sigma = E.\epsilon$$

شکل پذیری : Ductility



شکل پذیری در سازه به عنوان **خاصیت ذاتی** اعضای سازه، نقش تعیین کننده در رفتار مصالح را دارد؛ این خاصیت در اعضا باعث می شود تغییر شکل های بزرگ قبل از شکست کامل در مصالح قابل نمایش باشند. به طور مثال تیری را در یک ساختمان در نظر بگیرید که در اثر بارهای وارده، بدون نشان دادن تغییر شکل های قابل ملاحظه، به طور ناگهانی شکست می خورد اما در مقابل، تیری را فرض کنید که تحت همان مقدار بار، قبل از شکست کامل، تغییر شکل های زیادی را از خود نشان داده است در واقع ما می توانیم شکل پذیری سازه را به عنوان یک **نشانه هشداردهنده** برای انهدام سازه در نظر بگیریم.

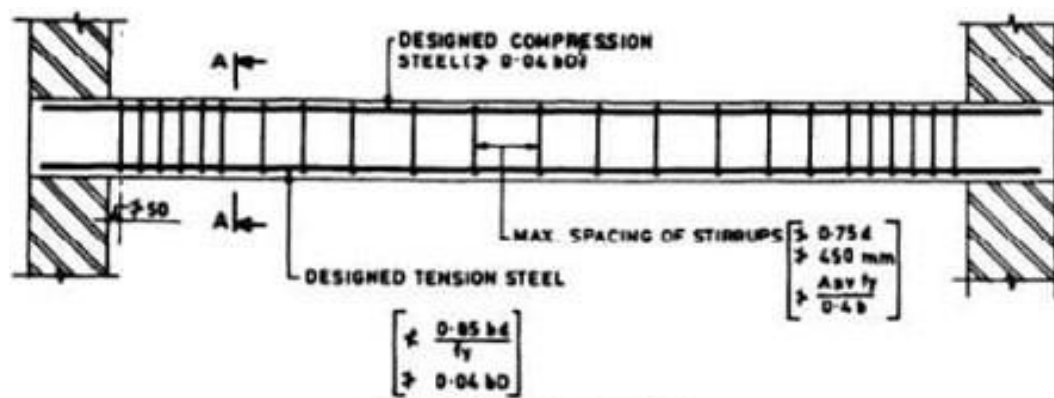
مقاومت: Strength

ظرفیت تحمل نیرو در هر نوع تنش (خمشی، برشی، کششی و فشاری) را مقاومت می گویند.

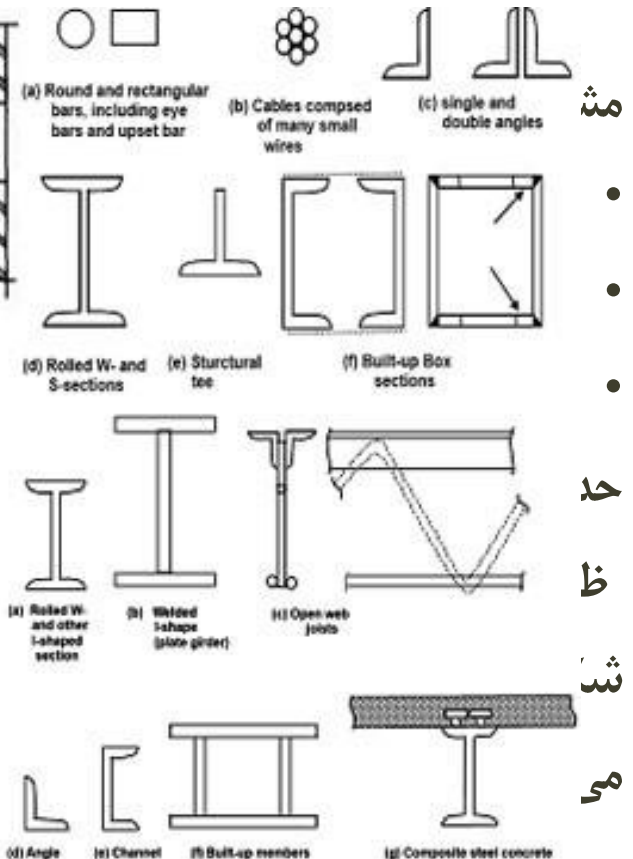
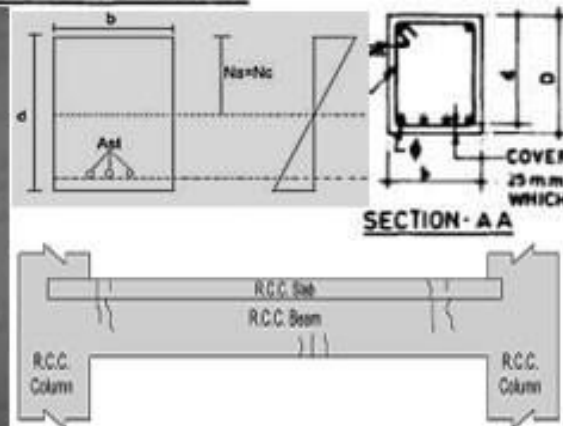
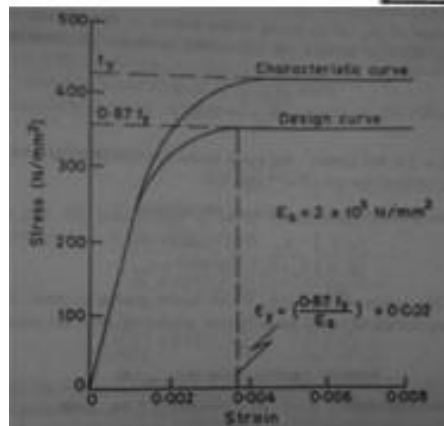
- مشخصات اصلی مکانیکی هر ساختمان عبارت است از سختی، مقاومت و شکل پذیری.
 - سختی عامل محدود کننده تغییر مکان جانبی است
 - مقاومت میزان آسیب را در سازه کنترل می کند
 - شکل پذیری برای جلوگیری از انهدام سازه می باشد
- حداکثر مقدار این سه عامل را در سازه **ظرفیت سازه** می شناسند.
- ظرفیت سختی، ظرفیت مقاومت و ظرفیت شکل پذیری به مشخصات مصالح، ابعاد و شکل مقاطع اعضا و نوع ساز بستگی دارد با افزایش مقطع یا افزایش مقاومت مصالح می توان ظرفیت سختی و ظرفیت مقاومت سازه را افزایش داد.

مقاومت: Strength

ظرفیت تحمل نیرو در هر نوع تنش (خمشی، برشی، کششی و فشاری) را مقاومت می گویند.



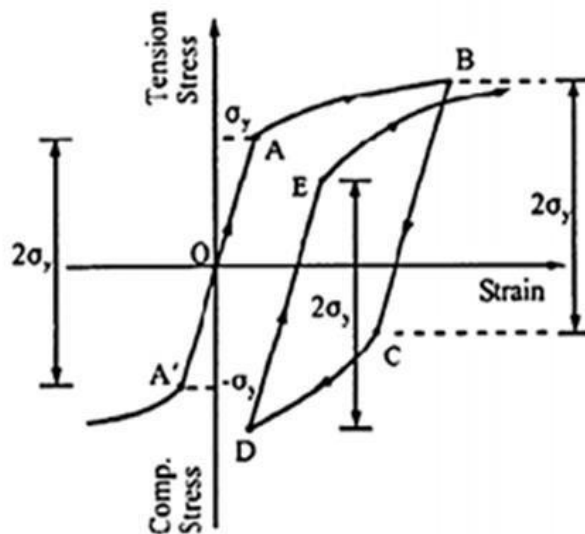
LONGITUDINAL SECTION



مش
•
•
•
خ
ظ
شد
می

رفتار پسماند: Hysteresis behavior

با وارد شدن سازه به مرحله پلاستیک به دلیل ماهیت رفت و برگشتی بار زلزله، سازه به صورت مداوم بارگذاری و باربرداری را تجربه می‌کند. این روند بارگذاری و باربرداری باعث می‌شود سازه از خود رفتاری را نشان دهد که به آن پسماند می‌گویند. در این فرایند برخی از مشخصات مکانیکی مقاطع با گذشت زمان و تجربه مداوم بارگذاری و باربرداری دچار کاهش مقاومت (خستگی) می‌شود. شکل و جهت منحنی پسماند در مراحل اولیه وابسته به فاکتورهای زیر می‌باشد



سختی سازی Structural stiffness
جابجایی تسلیم Yield Displacement
مصالح سازه‌ای Structural materials
سیستم سازه‌ای Structural system
شکل اتصالات Connection configuration

مفصل پلاستیک Plastic Hinge

در صورتی که در عضو یک سازه لنگر خمشی وارد بر عضو به قدری زیاد شود که دور ترین تار مقطع به حد تنش جاری شدن (σ_y) برسد، به لنگر به وجود آمده در این نقطه لنگر آستانه جاری شدن گویند. حال اگر مقدار لنگر خمشی بیشتر از M_y باشد، کم کم تارهای خارجی مقطع از بالا به پایین و از پایین به سمت بالا شروع به جاری شدن می کنند. در این حالت تنها قسمت وسط مقطع در حالت الاستیک باقی مانده که به آن هسته الاستیک گفته می شود و سایر قسمت های مقطع جاری شده اند و یا اصطلاحاً به حالت تغییر شکل غیر قابل برگشت (پلاستیک) تبدیل شده اند. حال اگر مقدار لنگر به قدری افزایش یابد که کل تارهای مقطع جاری شوند، این نقطه از مقطع دیگر نمی تواند لنگر بیشتری را تحمل کند و مثل یک مفصل در مقابل لنگر خمشی عمل می کند. در این حالت به این نقطه مفصل پلاستیک و به لنگری که باعث تشکیل این مفصل می شود لنگر پلاستیک M_p گفته می شود. البته مفصل پلاستیک تنها در اثر خمش یک محوره ایجاد نمی گردد بلکه می تواند به واسطه وجود لنگر خمشی دو محوره، نیروی برشی و یا ترکیبی از این نیروها تشکیل شود. در مقاطع فولادی روند به صورت فوق است. ولی در مقاطع بتنی مفصل زمانی تشکیل میشود که میلگردهای کششی جاری شده اند.

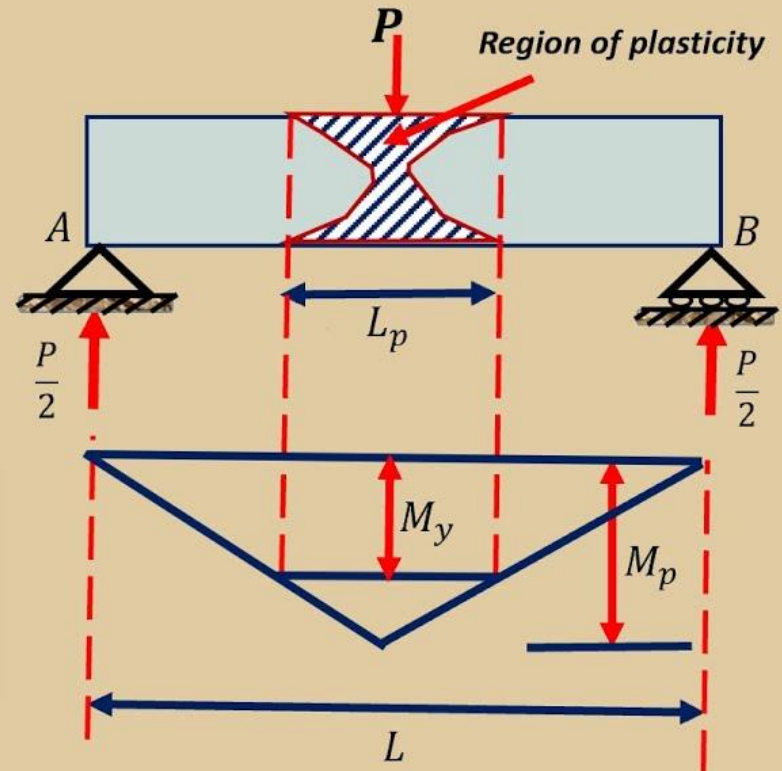
مفصل پلاستیک Plastic Hinge

Plastic hinges

$$\Rightarrow L_p = L \left(1 - \frac{M_y}{M} \right)$$

in Simply Supported beam

$f = 1.5$ so we get $L_p = L \left(1 - \frac{2}{3} \right) = \frac{L}{3}$



انواع روش‌های طراحی سازه :

۱ - طرح از ابتدا (سازه‌های جدید)

۲ - بهسازی لرزه ای سازه ها (سازه های موجود)

آیا آئین نامه طراحی از ابتدا و بهسازی لرزه ای باهم فرق دارند؟ چرا.....

نیاز یا تقاضا Demand: نیروی است که به سازه وارد میشود و برای تحمل ایمن آن طراحی می شود.

ظرفیت: Capacity

همان مقاومت **مقاومت یا Strength** سازه است و جزو مشخصات اصلی هر سازه است.

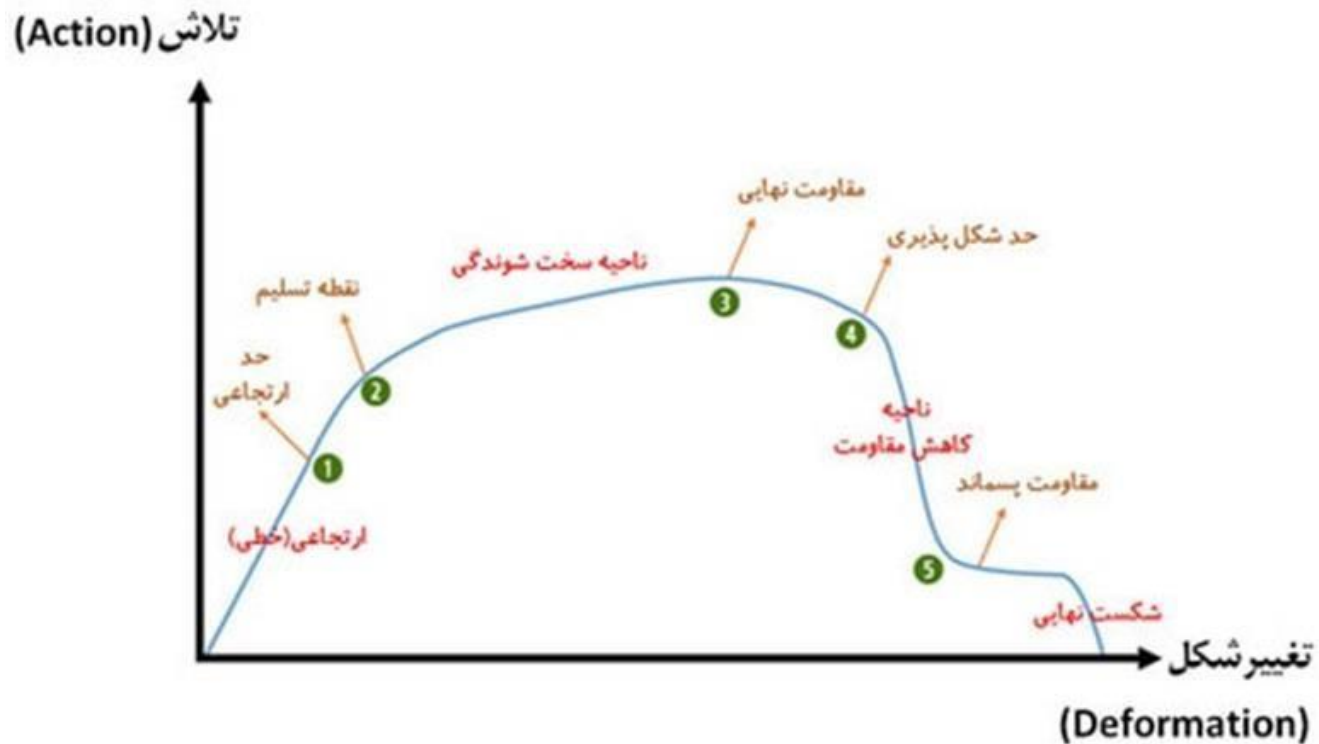
ظرفیت سختی، ظرفیت مقاومت و ظرفیت شکل پذیری به مشخصات مصالح، ابعاد و شکل مقاطع اعضا و نوع سازه بستگی دارد. با افزایش ابعاد مقطع و یا افزایش مقاومت مصالح و میتوان ظرفیت سختی و ظرفیت مقاومت سازه را افزایش داد.

هر سازه بر اساس تقابل میان ظرفیت (مقاومت) و مقدار تقاضای نیرویی که می بایست تحمل کند طراحی و یا کنترل می شود.

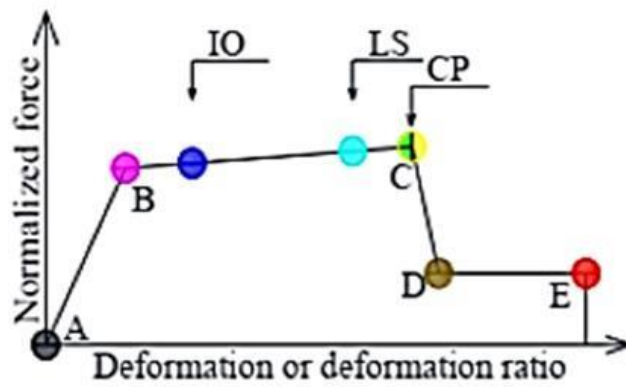
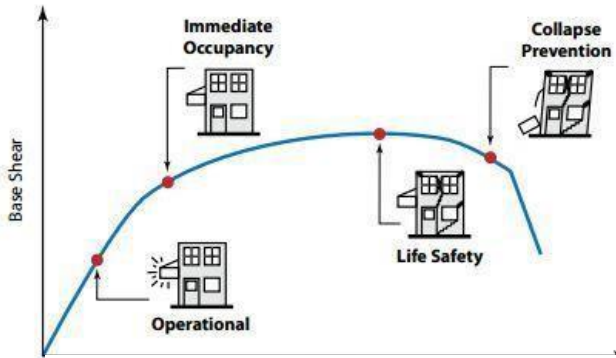
طراحی برای سازه جدید (نیرو یا تقاضا را برآورد میکنیم و ظرفیت را با مقاطع و مصالح مختلف تامین می کنیم یعنی طرح بهینه مقاطع را ارائه می کنیم)
بهسازی برای سازه موجود:

(در برآورد نیرو یا مقاومت یا هردو اشتباه کرده ایم یا عوامل مخرب محیطی اثرگذاری قابل توجه داشته اند بنابراین هم تقاضا و هم ظرفیت را برآورد و با هم بالانس می کنیم)

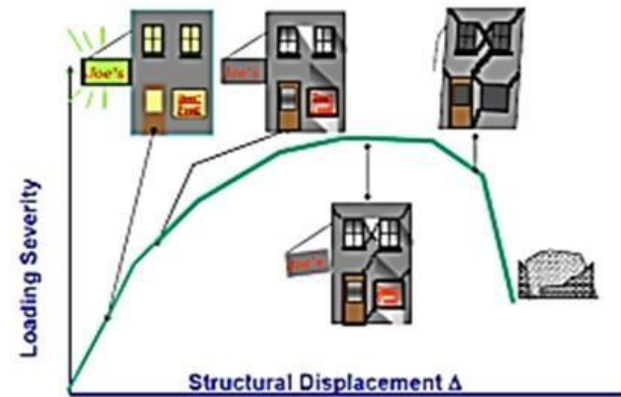
ظرفیت یا Capacity

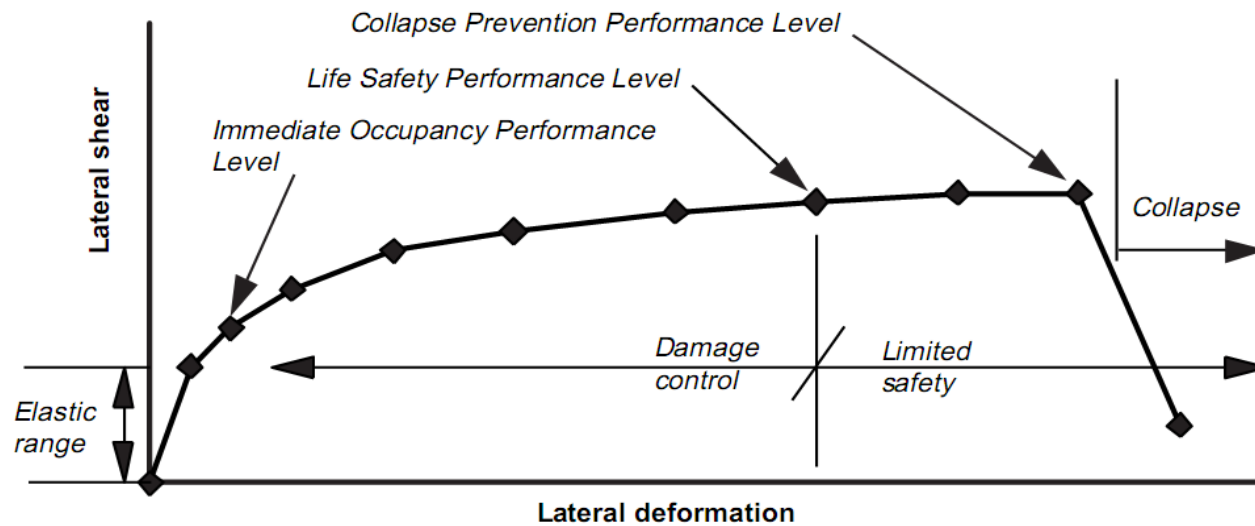


سطح عملکرد : Performance level : چگونگی برطرف کردن نیاز لرزه ای

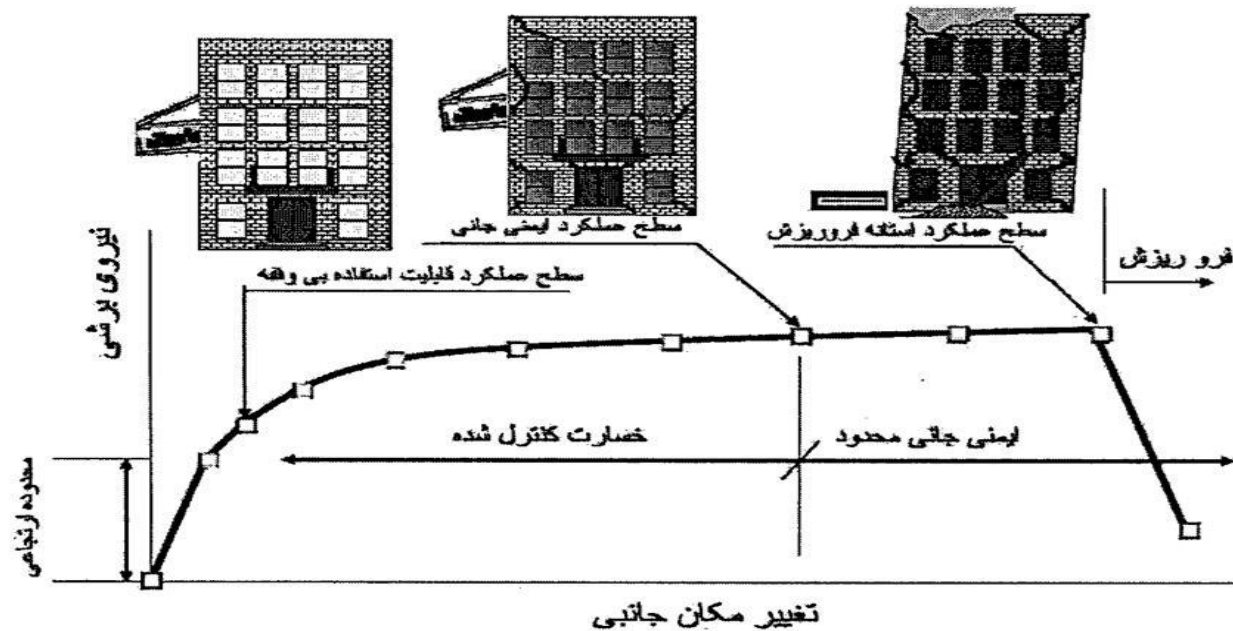


Global Response and Performance





◀ شکل زیر حدود سطوح عملکرد تعریف شده بر روی منحنی ظرفیت سازه را نشان می‌دهد.



منحنی ظرفیت سازه و نمایش حدود سطوح عملکرد تعریف شده بر روی آن

تعریف و هدف از بهسازی:

بهسازی ساختمانهای موجود در واقع افزایش سطح عملکرد اجزای سازه ای و ملحقات غیر سازه ای آن به سطحی است که پس از وقوع زلزله بر مبنای زلزله مورد نظر (زلزله ی طرح یا بهره برداری) سازه به سطح کاربری که موردنظر ماست پاسخگو باشد.

سطح عملکرد (خدمت رسانی) اجزاء: نشان دهنده ی حداکثر خرابی مورد انتظار ساختمان می باشد به گونه ای که اگر خرابی از این حد افزایش پیدا کند سطح عملکرد سازه تغییر می کند

سطح عملکرد اجزای غیرسازه ای شامل پنج سطح عملکرد به شرح زیر است:

A- سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه B - سطح عملکرد استفاده بی وقفه

C- سطح عملکرد ایمنی جانی D- سطح عملکرد ایمنی جانی محدود؛

E- سطح عملکرد سطح لحاظ نشده.

-عملکرد (خدمت رسانی) کل سازه: ۱- سطح عملکرد بی وقفه (O) ۲- سطح استفاده بی وقفه (IO)

۳- سطح ایمنی جانی (LS) ۴- آستانه ی فروریزش (CP)

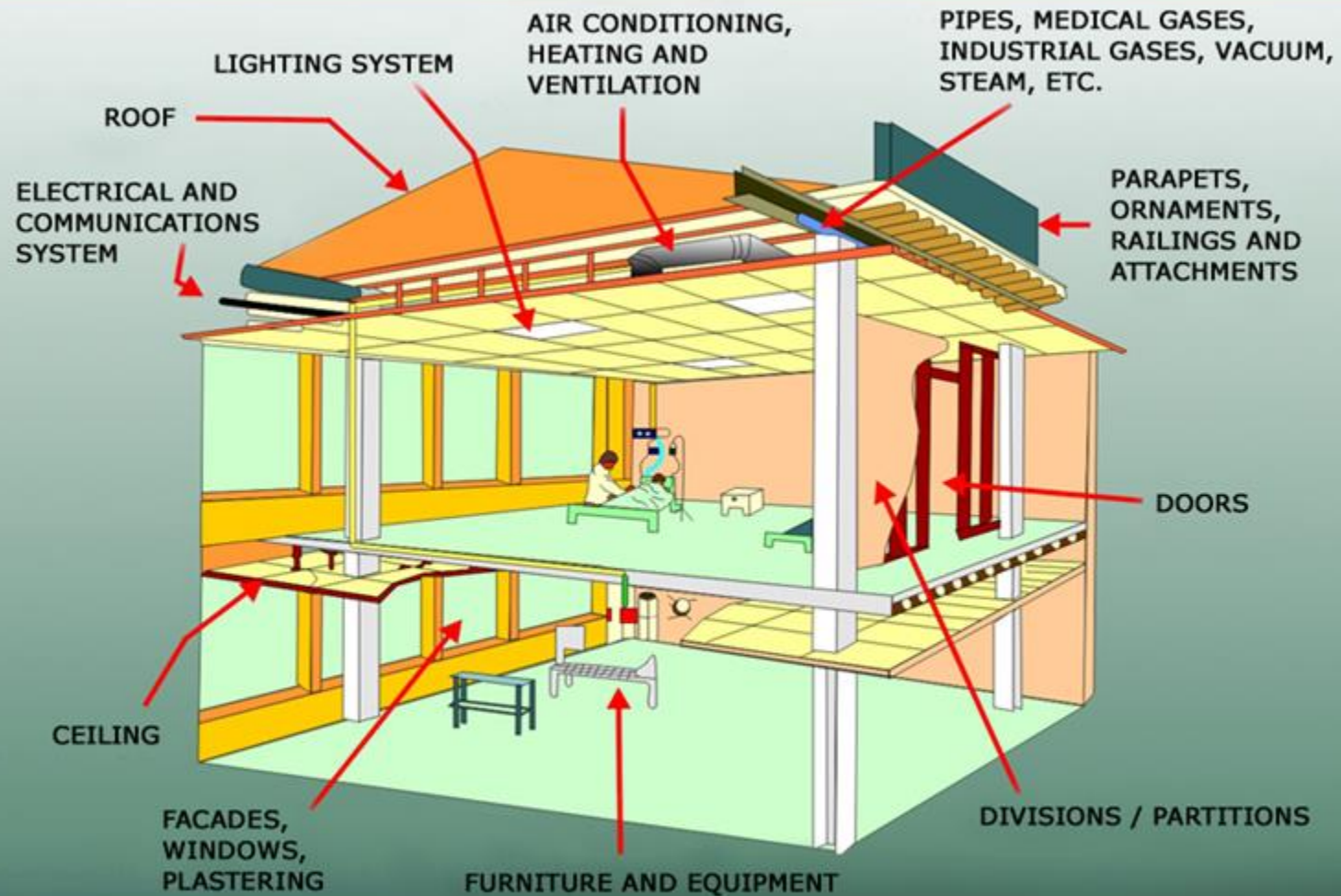
تعریف و هدف از بهسازی:

جدول (۱-۲): سطح عملکرد کل ساختمان

سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای						سطوح عملکرد
لحاظ نشده (۶)	آستانه‌ی فروریزش (۵)	ایمنی جانی محدود (۴)	ایمنی جانی (۳)	خرابی محدود (۲)	قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه (۱)	اجزای غیرسازه‌ای
*	*	*	*	A-2	خدمت‌رسانی بی‌وقفه A-1	خدمت‌رسانی بی‌وقفه (A)
*	*	*	B-3	B-2	قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه B-1	قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه (B)
C-6	C-5	C-4	ایمنی جانی C-3	C-2	C-1	ایمنی جانی (C)
D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	*	ایمنی جانی محدود (D)
نیازی به بهسازی نیست.	آستانه‌ی فروریزش E-5	E-4	*	*	*	لحاظ نشده (E)

* به دلیل وجود اختلاف زیاد بین سطح عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، این سطوح عملکرد برای ساختمان توصیه نمی‌شود.

تعریف و هدف از بهسازی:



PAHO/WHO - Disaster Mitigation in Health Facilities: Nonstructural Issues

سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه (OP-A1) Operational

ساختمانی دارای سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه است که اجزای سازهای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی وقفه) و اجزای غیرسازهای آن دارای سطح عملکرد A (خدمت رسانی بی وقفه) باشند.

سطح عملکرد ۱ اجزای سازهای (قابلیت استفاده بی وقفه)، به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله محتمل، مقاومت و سختی اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا | نکرده و استفاده ی بی وقفه از آن ممکن باشد.

سطح عملکرد A اجزای غیرسازهای (خدمت رسانی بی وقفه)، به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش بینی شود اجزای غیرسازهای در اثر زلزله محتمل، دچار خرابی بسیار جزئی شوند، به گونه ای که خدمت رسانی ساختمان به طور پیوسته انجام شود.

ساختمانی دارای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه است که اجزای سازهای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی وقفه) و اجزای غیرسازهای آن دارای سطح عملکرد B (قابلیت استفاده بی وقفه) باشند. سطح عملکرد B اجزای غیرسازهای (قابلیت استفاده بی وقفه)، به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش بینی شود اجزای غیرسازه ای در اثر زلزله محتمل، دچار خرابی بسیار جزئی شوند، به گونه ای که پس زلزله، راههای دسترسی و فرار مانند درها، راهروها، پله ها، آسانسورها و ثنایی آنها مختل نشده و استفاده از ساختمان بی وقفه میسر باشد.

ساختمانی دارای سطح عملکرد ایمنی جانی است که اجزای سازه ای آن دارای سطح عملکرد ۳ (ایمنی جانی) و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد C (ایمنی جانی) باشند.

سطح عملکرد ۳ اجزای سازه ای (ایمنی جانی)، به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله محتمل، خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی ها به اندازه‌ای بلند که منجر به خسارت جانی حداقل شود.

سطح عملکرد C اجزای غیر سازه ای (ایمنی جانی)، به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش بینی شود خرابی اجزای غیرسازه‌ای در زلزله محتمل، خطر جدی برای جان ساکنین به وجود نیاورد.

ساختمانی دارای سطح عملکرد آستانه ی فروریزش است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۵ (آستانه ی فروریزش) باشند. در این حالت محدودیتی برای سطح عملکرد اجزای غیرسازه ای وجود ندارد (سطح عملکرد لحاظ نشده E)

سطح عملکرد ۵ اجزای سازه ای (آستانه ی فروریزش)، به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله محتمل، خرابی گسترده در سازه ایجاد شود، اما ساختمان فرونریزد و تلفات جانی به حداقل برسد.

سطح عملکرد E اجزای غیر سازه ای (لحاظ نشده): اگر برای عملکرد اجزای غیر سازه‌ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نشده باشد. | سطح عملکرد اجزای غیر سازه‌ای لحاظ نشده نامیده می شود. |

سایر سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای

سطح عملکرد ۲ اجزای سازه‌ای (خرابی محدود)، به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله محتمل، خرابی در سازه به میزان محدود ایجاد شود، به گونه‌ای که پس از زلزله با انجام تعمیر بخش‌های آسیب‌دیده ادامه‌ی بهره‌برداری از ساختمان به سادگی میسر باشد.

سطح عملکرد ۴ اجزای سازه‌ای (ایمنی جانی محدود)، به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله محتمل، خرابی در سازه ایجاد شود. اما میزان خرابی‌ها به اندازه‌ای باشد که منجر به خسارت جانی حداقل شود.

سطح عملکرد ۶ اجزای سازه‌ای (لحاظ نشده): اگر برای عملکرد اجزای سازه‌ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نشده باشد. مسطح عملکرد اجزای سازه‌ای لحاظ نشده نامیده می‌شود.

اجزای غیرسازه‌ای (ایمنی جانی محدود)، به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که D سطح عملکرد پیش‌بینی شود خرابی اجزای غیرسازه‌ای در اثر زلزله محتمل، به اندازه‌ای باشد که خسارت جانی حداقل شود

علائم و نشانه‌های قابل مشاهده در اثر زلزله در سطوح عملکردی سازه‌ای و غیر سازه‌ای مختلف:

اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در سطح عملکرد کل ساختمان

سطح عملکرد ساختمان				
استانه فرو ریزش (E-۵)	ایمنی جانی (C-۳)	قابلیت استفاده بی وقفه (B-۱)	خدمت رسانی بی وقفه (A-۱)	خسارت کلی ساختمان
شدید	متوسط	کم	بسیار کم	اعضای سازه‌ای
سختی و مقاومت باقیمانده ناچیز ولی ستونها و دیوارها عمل می کنند تغییر شکل های ماندگار زیاد است. دیوارها و دست اننازهای مهار نشده گسیخته می شوند ساختمان در آستانه فرو ریزش است.	سختی و مقاومت باقیمانده در تمام طبقات وجود دارد. سیستم باربر ثقیلی عمل می کند . گسیختگی دیوارها خارج از صفحه آنها رخ نمی دهد تغییر شکل ماندگار در سازه وجود دارد	سختی و مقاومت اعضا تقریباً تغییری نمی کند . تغییر شکل ماندگار و ترک خوردگی در اعضا ایجاد نمی شود	سختی و مقاومت اعضا تقریباً تغییری نمی کند. تغییر شکل ماندگار و ترک خوردگی در اعضا ایجاد نمی شود	
خرابی گسترده در اعضای غیر سازه ای ایجاد می شود	از خطرات فرو ریزش اشیاء جلوگیری می شود اما بسیاری از تأسیسات ساختمان و عناصر معماری صدمه می بینند	آسانسورها قابل استفاده مجدد باقی می مانند تجهیزات اطفاء حریق قابل استفاده هستند تأسیسات ساختمان دچار خرابی ناچیز می شوند به گونه ای که با تعمیر جزئی قابل استفاده می شوند.	تمام سیستم های لازم برای عملکرد ساختمان فعال باقی می مانند دیوارهای داخلی و نما و سقفها ترک نمی خورند. خرابی های ناچیز ایجاد شده و سیستم تأسیسات و برق رسانی فعال باقی می مانند	اعضای غیر سازه ای

چگونگی برطرف کردن نیاز لرزه ای :

کم کردن نیاز (بارهای وارد بر سازه را کاهش دهیم):
وزن - نامنظمی - تغییر کاربری - میراگر و جداساز لرزه ای - اثرات
اندرکنش خاک و سازه

ارتقای ظرفیت (المانهای باربر اضافه کنیم یا ظرفیت المانهای
موجود را زیاد کنیم):
مقاومت - شکل پذیری - سختی سازه

روش های تحلیل سازه

روش های خطی: استاتیکی خطی (معادل) - دینامیکی خطی

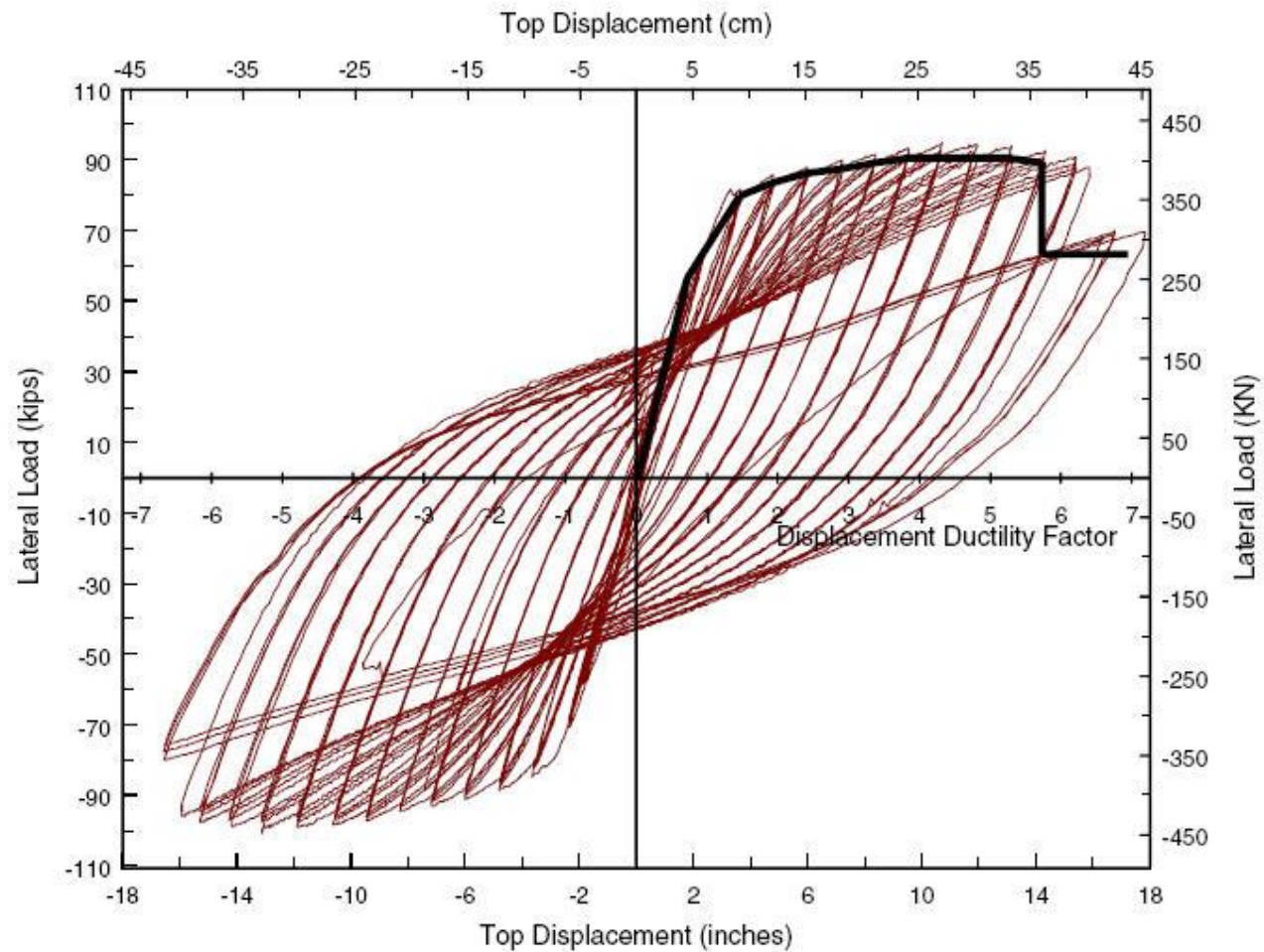
روش های غیرخطی: استاتیکی غیرخطی (Pushover) - دینامیکی غیرخطی

نتایج حاصل از روش های تحلیل خطی برای ساختمانهای بسیار نامنظم (هم در پلان هم در ارتفاع) ممکن است دارای خطای زیادی باشد مگر آنکه رفتار ساختمان تحت بارهای ناشی از زلزله طرح تقریباً ارتجاعی باشد.

روش استاتیکی غیرخطی (Pushover) معمولاً دقیق تر از روش های خطی می باشد. اما درحالتی که رفتار اجزا سازه هیستریزیس کاهنده باشد خطای این روش افزایش می یابد. برای ساختمانهای بلند و ساختمانهایی که در آنها اثر موده های بالا قابل توجه است در کنار این روش باید از **روش تحلیل دینامیکی خطی** که توزیع بار جانبی را به دقت بیشتری برآورد می کند استفاده شود.

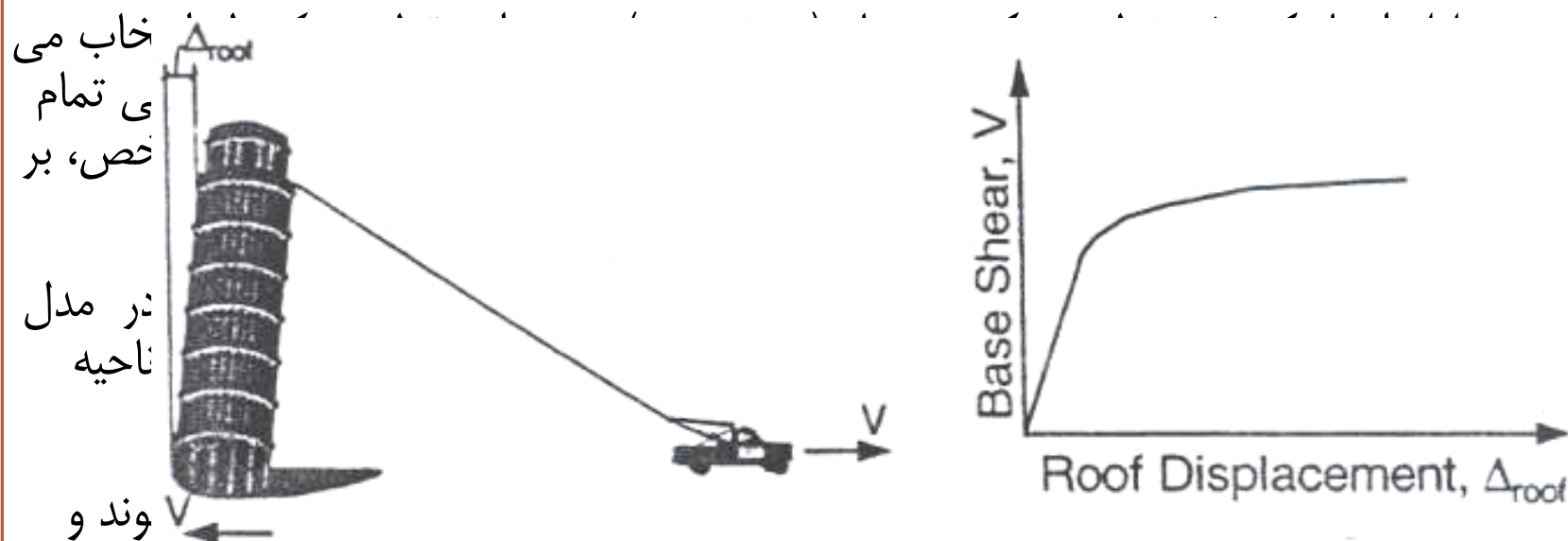
روش تحلیل دینامیکی غیرخطی برای تمام ساختمانها قابل استفاده است. اما نظر به اینکه نتایج حاصل از این روش حساس به شتاب نگاشت انتخاب شده برای تحلیل و مدل رفتار غیر خطی مصالح و اجزاء سازه می باشد لازم است کنترل و تفسیر نتایج حاصل توسط افراد مجرب انجام گیرد.

روش های تحلیل سازه



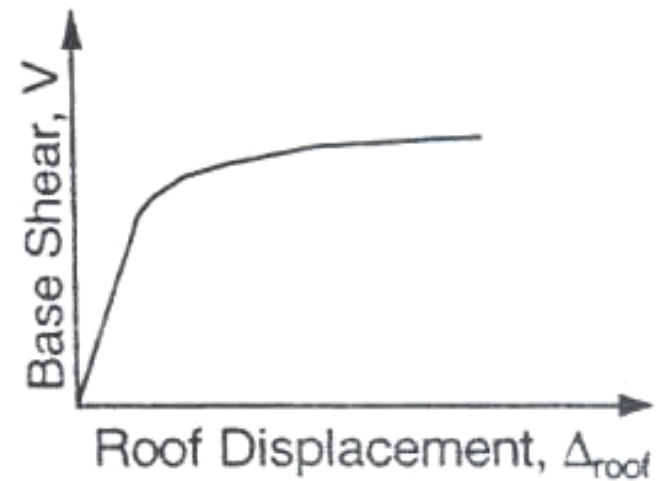
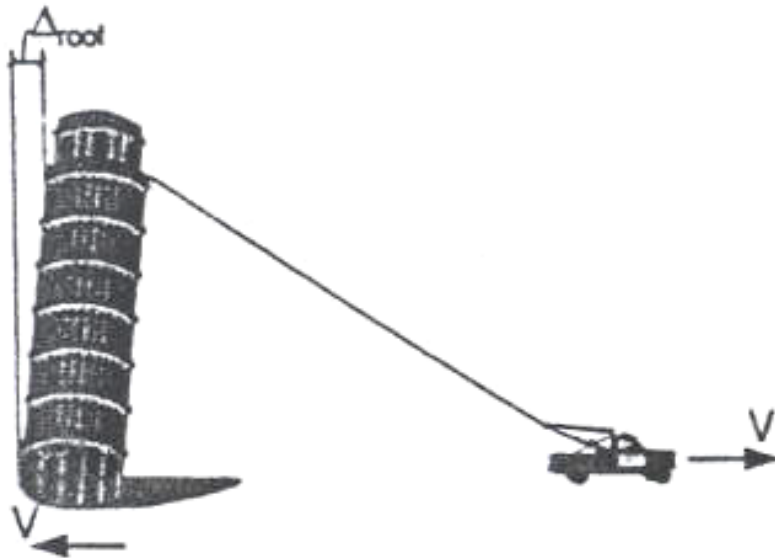
معرفی روش استاتیکی غیر خطی:

در این روش، بار جانبی ناشی از زلزله، به طور استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می شود تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه ی خاص (نقطه ی کنترل) تحت اثر بار جانبی به مقدار مشخصی (تغییر مکان هدف) برسد یا پیش از آن، سازه ناپایدار شود.

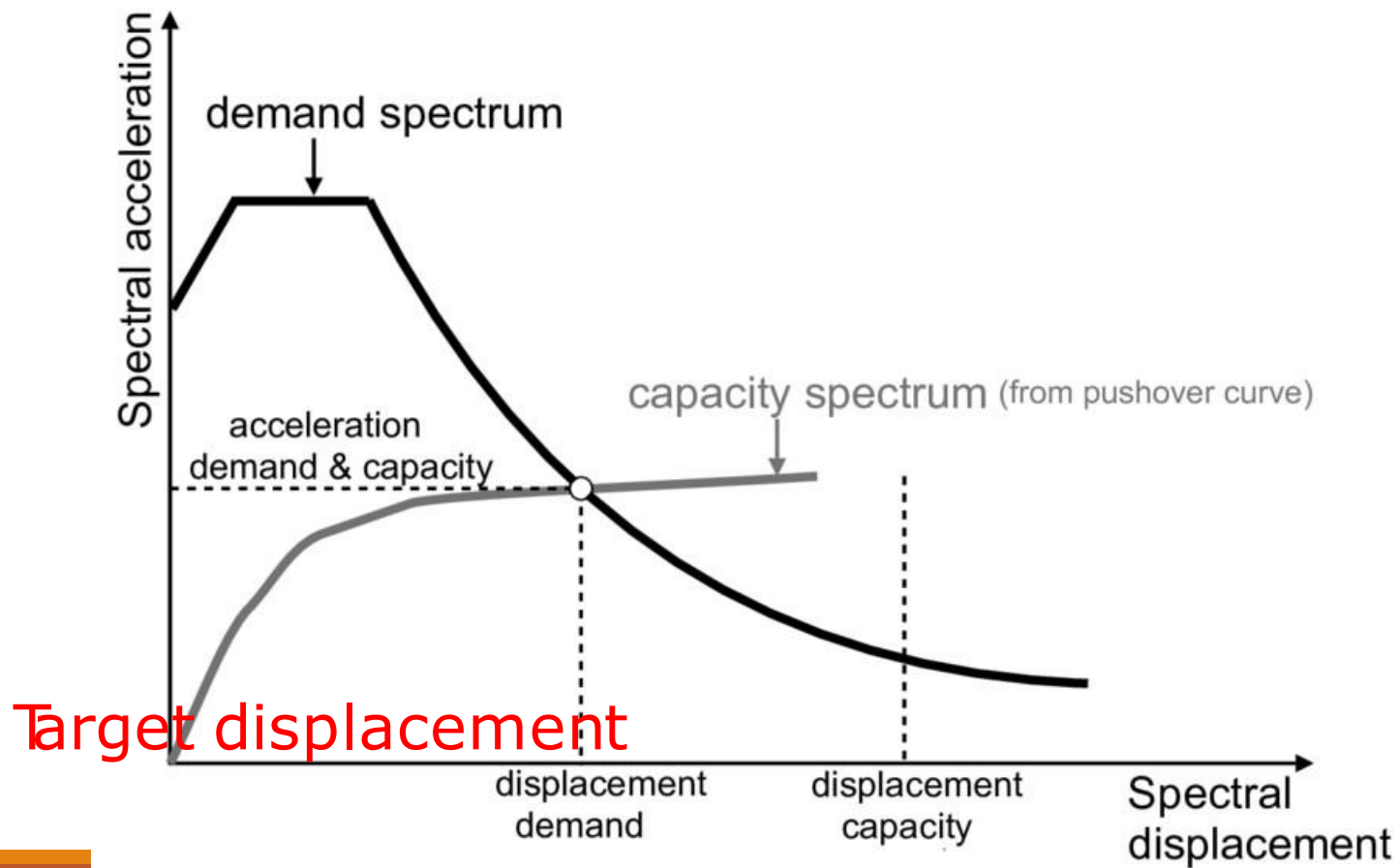


منحنی تلاش - تغییر شکل اعضا به صورت دوخطی در نظر گرفته می شود.

معرفی روش استاتیکی غیر خطی:



نقطه عملکرد : Performance point



سطوح خطر: (Risk levels)

انتظار میزان مشخصی از خرابی در برابر زلزله‌ای با قدرت مشخص را هدف بهسازی می نامند. سطوح خطر در واقع طبقه بندی شدت زلزله بوده و از دیدگاه نشریه ۳۶۰ به قرار زیر خواهد بود:

۲. معادل سطح از حرکت‌های قوی زمین است که احتمال فراگذشت از آن ۱۰٪ در ۵۰ سال عمر مفید سازه است. این سطح خطر معادل دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است. این سطح خطر به بیشینه زلزله محتمل معروف بوده و در آیین نامه ۲۸۰۰ نامی از آن آورده نشده است.

۳. سطح خط رانتخابی:

(زلزله با هر احتمال رویداد در ۵۰ سال): این سطح معادل احتمال فراگذشت با هر درصد انتخابی است و برای موارد خاص و ملاحظات ویژه بکار می‌رود.

سطوح خطر احتمالی براساس دوره بازگشت

دوره بازگشت	احتمال وقوع زلزله
۷۲	۵۰ درصد در ۵۰ سال
۲۲۵	۲۰ درصد در ۵۰ سال
۲۴۷۵	۱۰ درصد در ۵۰ سال
۲۴۷۵	۲ درصد در ۵۰ سال

سطح خطر انتخابی

زلزله ی سطح خطر-1

زلزله ی سطح خطر-2

سطوح خطر: (Risk levels)

1. سطح خطر ۲: (MCE: Maximum Considered Earthquake)
2. معادل سطح از حرکت‌های قوی زمین است که احتمال فراگذشت از آن ۲٪ در ۵۰ سال عمر مفید سازه است. این سطح خطر معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال است. این سطح خطر در استاندارد ۲۸۰۰ **سطح خطر طرح** نامیده می شود.

سطوح خطر احتمالی براساس دوره بازگشت

دوره بازگشت	احتمال وقوع زلزله	
۷۲	۵۰ درصد در ۵۰ سال	سطح خطر انتخابی
۲۲۵	۲۰ درصد در ۵۰ سال	
۴۷۵	۱۰ درصد در ۵۰ سال	زلزله ی سطح خطر-1
۲۴۷۵	۲ درصد در ۵۰ سال	زلزله ی سطح خطر-2

**در ژاپن: دنبال افزایش سختی در سازه‌ها هستند.
در ایران و آمریکا دنبال افزایش شکل‌پذیری هستیم**



**دوره
بازگشت**

هدف از طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد چیست؟ (در سازه‌های طرح از ابتدا)

۱. سبک سازی از ابتدا؟
۲. توالی خرابی
۳. مکانیزم سازه
۴. ارزیابی عملکرد

فلسفه طراحی عملکردی سازه این است که:

- افزایش ظرفیت جذب و استهلاک سازه در هنگام رخداد زلزله
- افزایش تشکیل تعداد مفاصل پلاستیک در سازه برای افزایش ظرفیت جذب و استهلاک سازه
- توانایی سازه در تغییر شکل های غیرخطی و غیرالاستیک ناشی از زلزله
- افزایش ظرفیت دورانی سازه و به تبع آن افزایش شکل پذیری سازه

روش‌های مقاوم سازی:

برای المان‌ها

برای کل سازه

ضرورت بهسازی

1. پایین بودن کیفیت مصالح مصرفی یا بد بودن اجرا
2. تغییر کاربری ساختمان یا افزایش بارها
3. عوامل مخرب محیطی مانند خوردگی ناشی از یون کلر
4. آسیب دیدگی حین وقوع زلزله یا در زمان بهره‌برداری
5. تغییرات و ضوابط آپین نامه‌ای (لزوم ارتقای سازه به آپین نامه جدید ایجاب کند)
6. مشاهده ضعف‌های سازه‌ای مانند ترک خوردی سازه‌ای به هر دلیلی
7. طراحی اشتباه

مراحل مقاوم سازی:

- ۱- گردآوری اطلاعات در مورد مشخصات سازه موجود
- ۲- تحلیل سازه ای ساختمان آسیب دیده
- ۳- طراحی تقویت سازه در صورت نیاز
- ۴- تهیه نقشه های طرح تقویت
- ۵- برآورد هزینه

معیارهای حاکم بر مقاوم سازی

۱ – معیارهای عمومی

۲ – معیارهای فنی

۳ – شیوه های کلی تقویت

معیارهای عمومی

- ۱ - قیمت اولیه ساختمان و قیمت طرح تقویت
- ۲ - قابلیت دوام اعضای جدید
- ۳ - فراهم بودن تجهیزات، امکانات و نیروی کار
- ۴ - امکان کنترل کیفیت و آزمایشها
- ۵ - پریا خالی بودن از سکنه
- ۶ - مدت زمان انجام کار
- ۷ - زیبایی طرح
- ۸ - حفظ هویت معماری برای ساختمانهای قدیمی

معیارهای فنی

- ۱ - برای ساختمانهای **بسیار نامنظم** باید یک **منظمی** تا حد امکان به سازه داد.
- ۲ - ساختمانهایی که داری طبقه ضعیف یا نرم هستند سختی طبقه اضافه و نرمی آن برطرف گردد.
- ۳ - بعد تقویت باید تمامی موارد آیین نامه ای رعایت گردند .
- ۴ - بالابردن شکل پذیری موضعی در مکانهای آسیب دیده .

روش‌های کلی تقویت سازه

۱ - محدود نمودن در استفاده از سازه یا تغییر کاربری

۲ - اصلاح کلی یا موضعی اعضای آسیب دیده شده یا آسیب دیده نشده

۳ - کاهش وزن سازه

۴ - اضافه کردن یکسری اعضای مقاوم سازی مانند: بادبند، دیواربرشی،

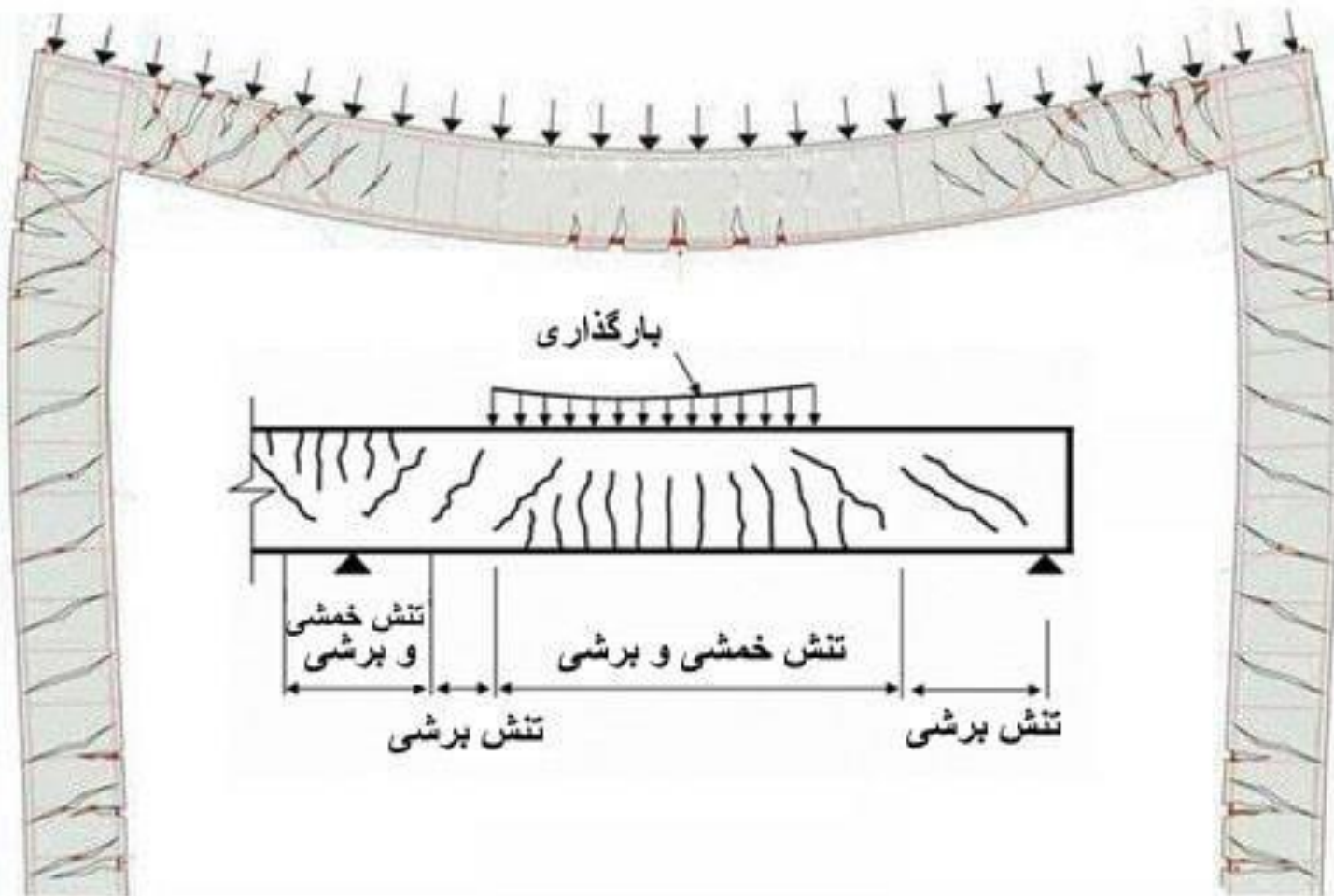
میراگرها و ...

ارزیابی سازه

پیش از اقدام به تعمیر و مقاوم سازی نخست باید سازه ارزیابی شود. دلایل ارزیابی سازه:

- ۱ - تشخیص علت یا علل آسیب دیدگی
- ۲ - تعیین وسعت آسیب دیدگی (عمق و سطح آسیب)
- ۳ - انتخاب روش مناسب تعمیر
- ۴ - انتخاب مواد مناسب تعمیر

ارزیابی سازه



پایش سلامت سازه‌ای



پایش سازه:

شیوه کلاسیک و قدیمی پایش و سلامت سازه ای :

بر اساس شیوه ی کلاسیک و قدیمی، بررسی وضعیت سازه با استفاده از بازبینی چشمی توسط یک متخصص انجام می شود که این مساله چند ضعف عمده دارد :

۱- طبیعتا خطای این روش بالاست .

۲- پوشیده بودن اجزای اصلی و شروع خرابی ها از بخشهای داخل المان .

۳- امکان دسترسی به بسیاری از بخشهای برخی از سازه ها به طور کلی وجود ندارد

۴- در بسیاری از خرابی ها در مقیاس کوچک قابلیت آشکارسازی با بازرسی چشمی وجود ندارد .

۵- بازرسی تمام نقاط سازه امکانپذیر نیست .

شیوه های نوین پایش سلامت سازه

ارزیابی غیرمخرب (NDT) معمولاً سه هدف عمده را مد نظر قرار می دهد :

۱- پایش سلامت سازه ای به عنوان فراهم کننده اطلاعات مورد نیاز در بحث ترمیم و مقاوم سازی سازه ها .

۲- پایش سلامت سازه ای ابزاری به جهت برآورد و تخمین باقیمانده ی عمر مفید سازه .

۳- پایش سلامت سازه ای ابزاری به جهت اعلام هشدار قبل از خرابی سازه و نیز تعیین مسیرهای فرار و نقاط امن سازه در مواقع بحرانی مانند جنگ، زلزله، بادهای شدید و...

پایش سازه:

دو دسته بندی کلی برای بحث پایش و سلامت سازه ای داریم:

- دوره ای: تست‌های غیرمخرب - نیمه مخرب - مخرب
- دائمی: پایش سلامت سازه‌ها

آیین نامه ها در زمینه مانیتورینگ:

آیین نامه سلامت سازه‌ای پل‌های آمریکا (FHWA)

آیین نامه کشور کانادا (ISIS)

پایش دائمی

در حالت کلی دارای مولفه های مشابهی هستند: سنسورها، انتقال دهنده اطلاعات، واحدهای ثبت داده ها و سیستم های مدیریت داده (مدیریت نرم افزاری). انتخاب سیستم مانیتورینگ بستگی به مشخصاتی مثل هدف مانیتورینگ، پارامترهای انتخابی، دقت، تکرار خواندن داده، سازگاری با محیط زیست روش های نصب برای مولفه های مختلف مربوط به سیستم مانیتورینگ، امکان عملکرد اتوماتیک، ارتباط از راه دور، نوع مدیریت داده ها و سطحی که سازه در آن مانیتور می شود.

مزایای پایش و سلامت سازه ای خودکار:

- ۱- بررسی و ارزیابی مداوم وضعیت سازه به صورت بی وقفه
- ۲- تعیین سریع و به هنگام نقاط آسیب دیده ی سازه به صورت خودکار و جلوگیری از انتشار و گسترش آسیب. این مزیت به بهره‌برداران سازه اجازه تصمیم گیری می دهد و متوجه خواهند شد که سازه چه زمانی نیاز به مرمت و بازسازی موضعی و چه زمانی نیاز به بازسازی کلی و حتی تخریب دارد .
- ۳- مشخص نمودن امن بودن یا نبودن کلی سازه در هنگام وارد آمدن نیروهای شدید بر سازه
- ۴- تعیین نقاط امن سازه به جهت پناه گرفتن یا خروج در هنگام وارد آمدن نیروهای شدید بر سازه به صورت خودکار .
- ۵- هزینه ی پایین به نسبت کارایی های بسیار ارزشمند

آزمایشهای غیر مخرب سازه NDT



اسکن میلگرد (آرماتور) در بتن



آزمایش هافسل (پتانسیل خوردگی بتن)

آزمایشهای غیر مخرب سازه NDT



تست التراسونیک بتن (UPV)



تست چکش اشمیت

تست نیم پیل (هاف سل)



تست هاف سل

این سیستم قابلیت شناسایی جریان یون متحرک در بتن بین بخش های کاتدیک و آندیک را با اندازه گیری خطوط هم پتانسیل را دارا می باشد. بتن مانند یک الکترولیت عمل می کند و خطر خوردگی به اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده بستگی دارد. تست پتانسیل خوردگی (آزمایش هافسل) روشی برای شناسایی محل های فعال و محتمل برای خوردگی است. توصیه می شود **تست کربناتاسیون و یون محلول کلرید** برای کسب نتایج دقیق تر انجام گیرد.



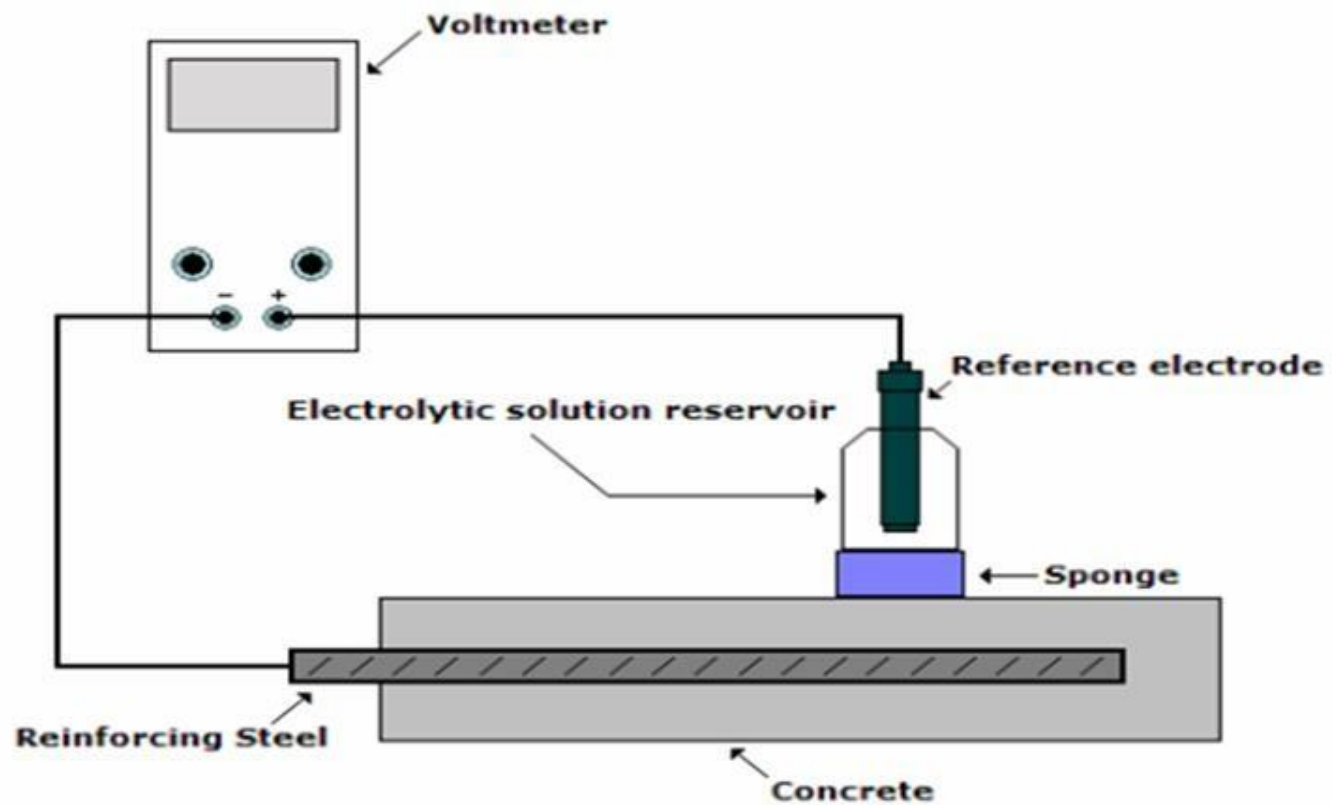
تست هاف سل

مقاومت بتن در برابر خوردگی به طور خلاصه به دو عامل بستگی دارد:

1. مقاومت بتن در مقابل نفوذ یون کلر که به ضخامت کاور بتن و نفوذپذیری آن بستگی دارد.

2. مقاومت میلگرد در مقابل خوردگی که به نوع فولاد مورد استفاده، قلیائیت محیط داخلی بتن و واکنش های انجام شده روی فولاد که ممکن است منجر به از بین رفتن پیوند بین فولاد و بتن شود، بستگی دارد.

تست هاف سل



تست هاف سل

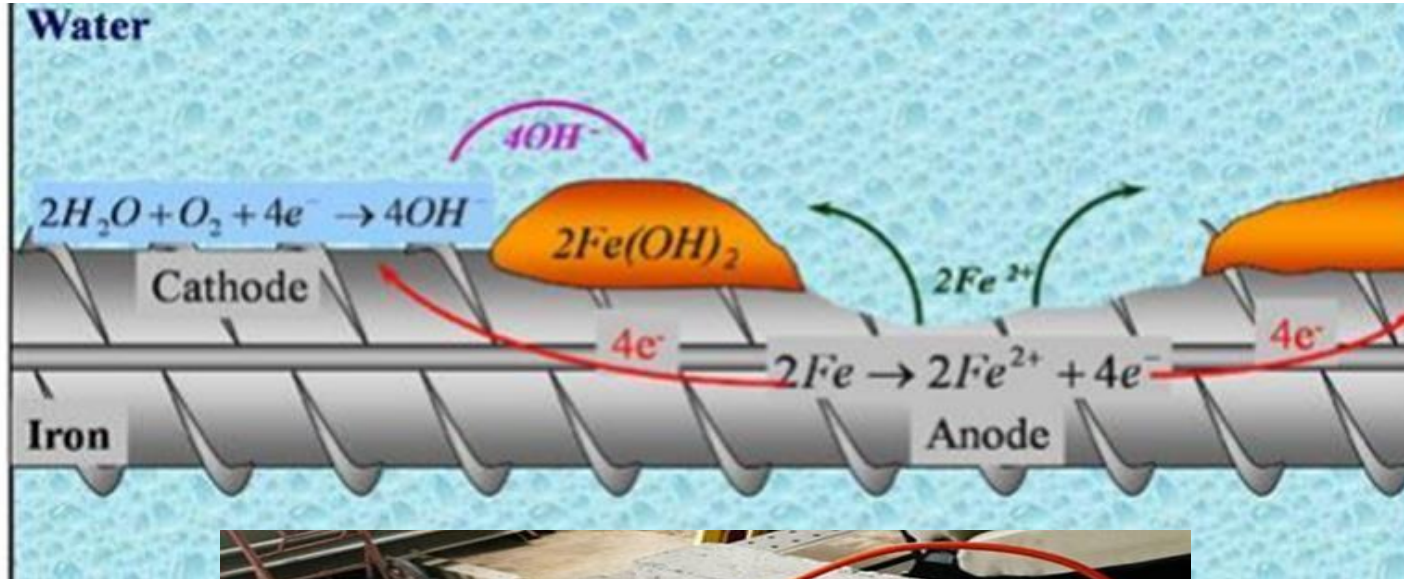
این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C C876 و با استفاده از الکتروود مرجع انجام شده اندازه گیری پتانسیل خوردگی آرماتور، شامل تعیین اختلاف ولتاژ بین آرماتور و یک الکتروود مرجع در تماس با بتن است. بسته به نوع الکتروود مصرفی ، ولتاژ قرائت شده متفاوت خواهد بود و قابل تبدیل به یکدیگر می باشند.

تست هاف سل

در آزمایش هاف سل باید میلگردها بصورت متصل تداوم داشته باشند و قطع در آنها باعث اختلال در نتایج می گردد. باید دانست که این آزمایش **فقط اختلاف پتانسیل موجود را به دست می دهد** که پتانسیل خوردگی نام دارد و به هیچ وجه **آهنگ خوردگی یا میزان خوردگی میلگرد را به نمایش نمی گذارد.**

آزمایش هافسل و ارقام ذکر شده فقط برای میلگردهای بدون پوشش گالوانیزه ، اپوکسی و ... کاربرد و مفهوم دارند و برای میلگردهای پوشش دار و صنعت متفاوت خواهد بود. آزمون هافسل مستقیماً کیفیت بتن را بدست نمی دهد فقط می توان کیفیت بتن را در مقایسه با یکدیگر ارزیابی کرد و نشان داد کدام نمونه زودتر و کدام یک دیرتر فعالیت خوردگی را آغاز می نمایند. جهت بررسی این آنالیز کانتورهای دو بعدی ترسیم گردیده است.

پایش سازه‌ها تست هافسل



اسکن آرماتور:



اسکن آرماتور:

اسکنر آرماتور یا پوشش سنج به وسیله ای اطلاق می شود که توسط آن محل آرماتور و ضخامت پوشش بتنی روی آرماتور با استفاده از روشهای الکترومغناطیسی تخمین زده می شود. برخلاف بتن، آرماتور داخل آن با امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین، اندرکنش شدید داشته و با اعمال این امواج از سطح می توان محل آرماتور را تشخیص داد.



۱. رادار نفوذی زمین Ground-penetrating radar

رادارهای نفوذی زمین (**GPR**) یک روش غیر مخرب بسیار مفید برای تصویربرداری و اسکن میلگرد بتن است. GPR از تابش الکترومغناطیسی پالس شده برای اسکن بتن استفاده می کند GPR از آنتن فرستنده و آنتن گیرنده و واحد پردازش سیگنال تشکیل شده است. GPR پالس های الکترومغناطیسی (**پالسهای راداری**) با **فرکانس مرکزی خاص** را برای اسکن محیط زیرسطحی منتشر می کند. امواج منعکس شده از لایه های زیرسطحی و اجسام توسط آنتن گیرنده ضبط می شوند. دستگاه اسکن را می توان روی کامیون یا وسیله نقلیه ویژه سوار کرد و اسکن را با سرعت ترافیک انجام داد. این امر نیاز به تعطیلی جاده طولانی را از بین می برد. این تست توسط **ASTM D6087** استاندارد شده است. مهمترین مزیت روش GPR سرعت تست است. مناطق بزرگ را می توان در یک دوره محدود اسکن کرد. از GPR می توان برای اسکن محل تقویت فولاد استفاده کرد. از این دستگاه می توان برای شناسایی پوشش بتنی استفاده کرد. در حالی که GPR نمی تواند به طور مستقیم مناطق بتنه را روی بتن تشخیص دهد، می تواند بطور غیرمستقیم لایه لایه شدن بالقوه را در جایی که میزان رطوبت متفاوت است شناسایی کند. خاطر نشان شده است که GPR نمی تواند اطلاعاتی در مورد خصوصیات مکانیکی بتن ارائه دهد.

۱. رادار نفوذی زمین Ground-penetrating radar



۲. عکسبرداری التراسونیک Ultrasonic-pulse-echo (UPE)

از روش التراسونیک [Pulse Echo \(UPE\)](#) می‌توان برای اندازه‌گیری ضخامت، تشخیص عیب، تشخیص لایه لایه شدن و ارزیابی مواد و فلزات و همچنین یکواختی و صحت داخل بتن استفاده کرد. مفهوم این روش متکی به **انتشار امواج تنش از طریق مواد** است. فرستنده یک پالس تنش را در یک سطح در دسترس در جسم معرفی می‌کند. پالس درون شیء آزمایش پخش می‌شود و توسط جریان‌ها یا رابط‌ها منعکس می‌شود. موج ضربه تابش شده و امواج صوتی منعکس شده در مبدل گیرنده کنترل می‌شوند. سیگنال‌ها در حوزه زمان تجزیه و تحلیل می‌شوند، تا زمان حرکت موج را محاسبه کنند. UPE می‌تواند برای شناسایی موثر حفره‌ها و منافذ زیاد در عناصر بتنی مانند صفحات و دیوارها استفاده شود.

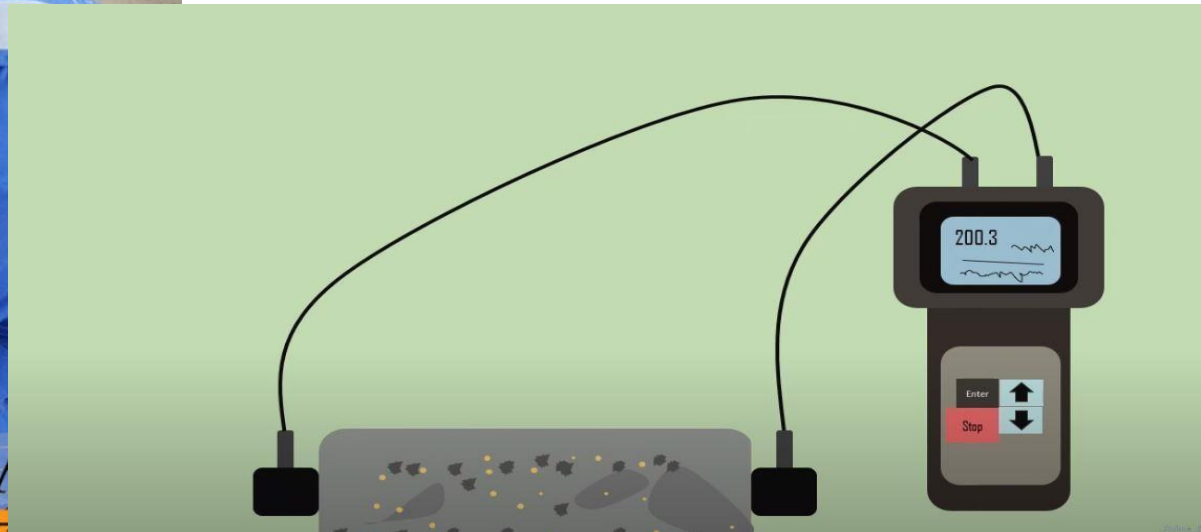
با استفاده از این آزمایش التراسونیک روی بتن، موارد زیر قابل ارزیابی است:

- ۱- ارزیابی کیفی مقاومت بتن، درجه بندی آن در مکانهای مختلف اعضای سازه و ترسیم آن.
- ۲- هرگونه ناپیوستگی در سطح مقطع مانند ترک‌ها، پوشش لایه بندی بتن و غیره
- ۳- عمق ترک‌های سطحی

۲. عکسبرداری التراسونیک Ultrasonic-pulse-echo (UPE)



www.afzir.com



تست التراسونیک بتن

تست التراسونیک بتن با ارائه مقاومت فشاری نسبی، طول و ابعاد ترک های ایجاد شده در بتن، به طراحان و کارشناسان امکان تصمیم گیری در زمینه طرح های مقاوم سازی و تقویت و یا صحت سنجی عملیات های انجام شده را می دهد.

اولتراسونیک بتن یک راه مؤثر برای ارزیابی کیفیت و یکنواختی و ارائه مقاومت فشاری نسبی و تخمین عمق ترک است. روش این آزمون با عنوان روش آزمون استاندارد برای سرعت پالس درون استاندارد شده است. ASTM C597, (2016) استاندارد شده است. این آزمایش زمان عبور امواج صوتی در یک محیط اندازه گیری و سپس با خواص کششی و تراکم مصالح ارتباط داده می شود. براین اساس می بایست **زمان انتقال (موج های پایینتر) در بتن باکیفیت پایین، بیشتر و زمان انتقال (سرعت موج بالاتر) در بتن باکیفیت بالا، کمتر** باشد.

تست التراسونیک بتن

کوپلنت ماده ای است معمولاً مایع که فرآیند انتقال انرژی فراصوتی از مبدل به قطعه ی مورد آزمون را تسهیل می کند. کوپلنت های مختلف می توانند برای از بین بردن حباب های هوا و اطمینان از تماس خوب بین بتن و مبدل استفاده شوند. توصیه می شود لایه کوپلنت تا حد ممکن نازک در نظر گرفته شود. کاربردهای تست التراسونیک در بتن:

- تعیین سرعت پالس
- بررسی کیفیت بتن
- بررسی همگنی و یکنواختی در بتن
- اندازه گیری عمق ترک سطحی
- پیش بینی مقاومت فشاری بتن
- اندازه گیری تغییرات خواص بتن با گذشت زمان
- تعیین مدول ارتجاعی و ضریب پواسون دینامیکی

تست التراسونیک بتن

فاکتورهای موثر بر نتیجه تست التراسونیک شامل خواص سنگدانه ها، نوع سیمان، نسبت آب به سیمان، طرح اختلاط و سن بتن می باشند.

عوامل موثر در سرعت امواج التراسونیک در بتن:

سرعت امواج التراسونیک در بتن تحت تاثیر عوامل مختلفی تغییر می کند. این عوامل به طور خلاصه عبارتند از:

- سن بتن
- شرایط رطوبتی
- نوع و مقدار سنگدانه
- ریز ترک ها
- وجود آرماتور

تست التراسونیک بتن

سن بتن

با پیشرفت هیدراتاسیون سیمان، تخلخل بتن کاهش یافته و امواج التراسونیک در جسم جامد سریع تر حرکت می کنند. از این خاصیت می توان در آزمایشگاه برای مطالعه تغییرات در واکنش ها در اثر استفاده از افزودنی های مختلف و نیز در کارگاه و محل برای بررسی روند پیشرفت هیدراتاسیون در اثر شرایط موجود رطوبتی و دمایی استفاده نمود.

شرایط رطوبتی

سرعت امواج التراسونیک در بتن در شرایط اشباع افزایش می یابد.

نوع و مقدار سنگدانه

سنگدانه ها عموماً نسبت به خمیر سیمان دارای سرعت امواج التراسونیک عبوری بیشتری می باشند و با افزایش میزان سنگدانه برای میزان خمیر سیمان ثابت، سرعت امواج مخلوط افزایش خواهد یافت.

ریز ترک ها

معمولاً وقتی که یک عضو بتنی تحت تنشی بزرگتر از ۵۰ درصد مقاومت فشاری خود قرار می گیرند، ترک در آن تشکیل می شود. همچنین از قرارگیری بتن در محیط های مهاجم نیز ریزترک ها تشکیل می شوند. ریزترک ها سبب کاهش مدول ارتجاعی بتن و در نتیجه کاهش سرعت امواج التراسونیک در داخل بتن می شوند.

وجود آرماتور

در هنگام اندازه گیری سرعت امواج التراسونیک در داخل بتن از وجود آرماتور باید پرهیز نمود. وجود آرماتور سبب افزایش سرعت ظاهری امواج التراسونیک در بتن می گردد.

رابطه تست التراسونیک با مقاومت فشاری بتن

ارتباط بین سرعت امواج التراسونیک و مقاومت فشاری بتن رابطه زیر ارتباط مقاومت فشاری بتن و سرعت امواج التراسونیک را نشان می دهد.

f_c مقاومت فشاری بتن بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع ، که در آن ضرایبی تجربی هستند.
 V سرعت امواج التراسونیک بر حسب کیلومتر بر ثانیه و a و b ضرایب تجربی هستند که برای انواع مختلف بتن و شرایط عمل آوری و سن بتن متفاوت است.

E مبنای لوگاریتمی میباشد.

$$f_c = ae^{bV}$$

پایش سازه‌ها

رابطه تست التراسونیک با مقاومت فشاری بتن

Pulse Velocity km/sec	Quality of Concrete
Above 4.5	Excellent
3.5 to 4.5	Good
3.0 to 3.5	Medium
Below 3.0	Poor Concrete (Presence of Flaws)

تست چکش اشمیت



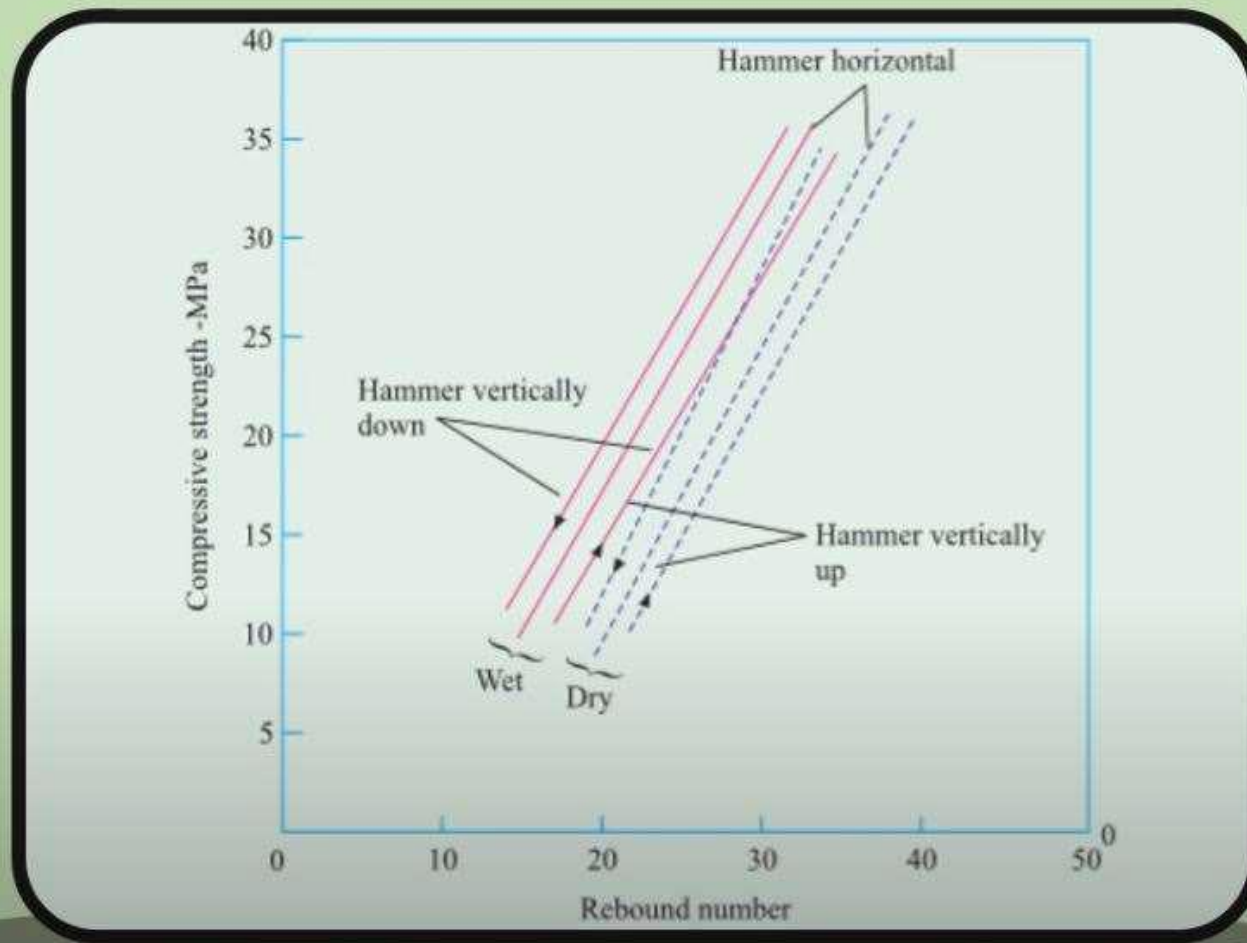
تست چکش اشمیت

- چکش اشمیت متداول ترین روش تعیین سختی سطح از روش های تست بتن بوده که به صورت غیر مخرب انجام می شود و به منظور اندازه گیری مقاومت فشاری بتن می باشد.
- در انجام تست و آزمایش غیر مخرب چکش اشمیت از استاندارد ASTM 805 استفاده میشود و توصیه شده است که برای آزمایش ۹ یا ۱۰ نقطه مورد عمل قرار گیرد. در صورتیکه هر قرائت بیش از ۷ واحد با متوسط قرائت ها اختلاف داشته باشد، کل قرائت ها در نظر گرفته نخواهد شد.
- نقاط باید حداکثر ۵ سانتیمتر و حداقل ۲.۵ سانتیمتر از هم فاصله داشته باشند.
- نتایج حاصل از این روش تنها محدود به کیفیت لایه سطحی بتن (عمق حدود ۳۰ میلیمتر) بوده و تعیین مقاومت فشاری واقعی بتن با آزمایش شکستن (جک مقاومت فشاری) بتن امکان پذیر می باشد.

تست چکش اشمیت



تست چکش اشمیت



تست چکش اشمیت

$$\text{Rebound Number} = \frac{\text{Sum of 15 Readings Recorded}}{15}$$

Average Rebound Number	Quality of Concrete
>40	Very Good Hard Layer
30 to 40	Good Layer
20 to 30	Fair
< 20	Poor Concrete
0	Delaminated

تست های نیمه مخرب



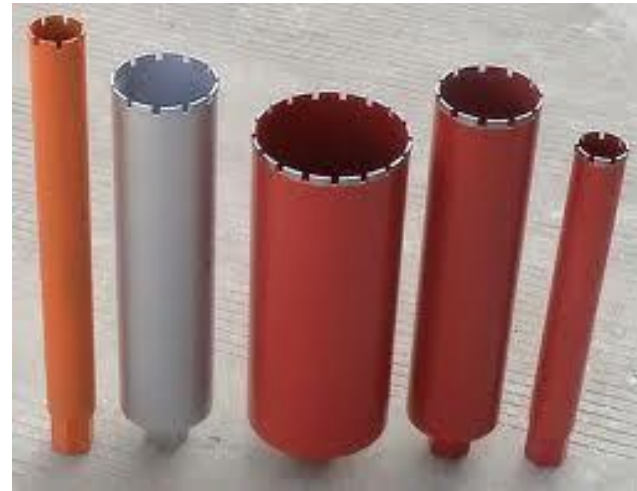
تست PULL OFF بتن

آزمایش Pull out در بتن

تست های نیمه مخرب



میله ویندزور



مغزه گیری

Pull off test



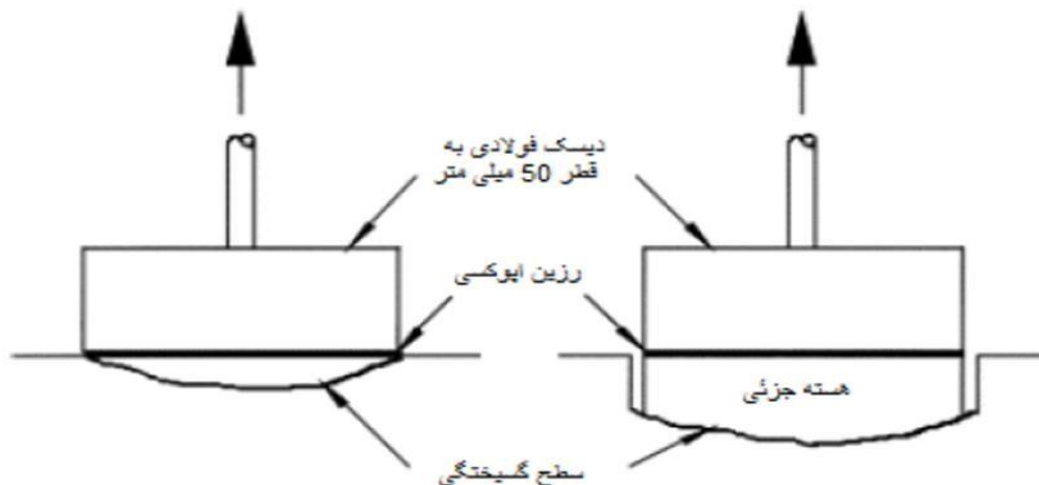
آزمون Pull-off

آزمون pull-off یا بیرون کشیدگی، یک تست بتن کارگاهی برای ارزیابی مقدار نیروی کششی مورد نیاز برای کشیدن دیسک چسبیده به سطح بتن با رزین اپوکسی یا پلی استر مناسب که مقاومت آن از مقاومت کششی بتن بیشتر است می باشد. به این دیسک فلزی دالی نیز گفته می شود.



آزمون Pull-off

تست Pull off به دو روش سطحی و مغزه جزئی انجام می گیرد. در روش سطحی، دیسک فلزی (فولادی یا آلومینیومی) مستقیماً بر روی سطح بتن چسبانده می شود. در این حالت فقط سطح بتن تحت تنش قرار دارد و نتایج بدست آمده با مقاومت کل بتن رابطه ضعیفی خواهد داشت. در روش مغزه جزئی، ابتدا مغزه گیری (مغزه ای که از بتن جدا نشده است) انجام می شود و سپس دیسک فلزی با چسب مخصوص روی سطح مغزه چسبانده می شود. مزیت این روش، **ایجاد سطح گسیختگی در عمق بتن** است.



آزمون Pull-off

همچنین اکثر استانداردها لازم می دارند که به منظور جلوگیری از تأثیر نتایج آزمایشات برهم، فاصله مرکز به مرکز دو آزمایش مجاور هم حداقل دو برابر قطر دالی آزمایش باشد و در حالت انجام آزمایش با مغزه گیری جزئی حداقل عمق مغزه گیری را برابر ۱۰ میلی متر توصیه می کنند. با توجه به قطر دیسک ۵۰ میلی متر، قطر مغزه نیز ۵۰ میلی متر خواهد بود. به طور کلی در استانداردها رعایت محدودیت حداقل قطر مغزه به ماکزیمم سائز سنگ دانه برابر ۳ توصیه شده است.

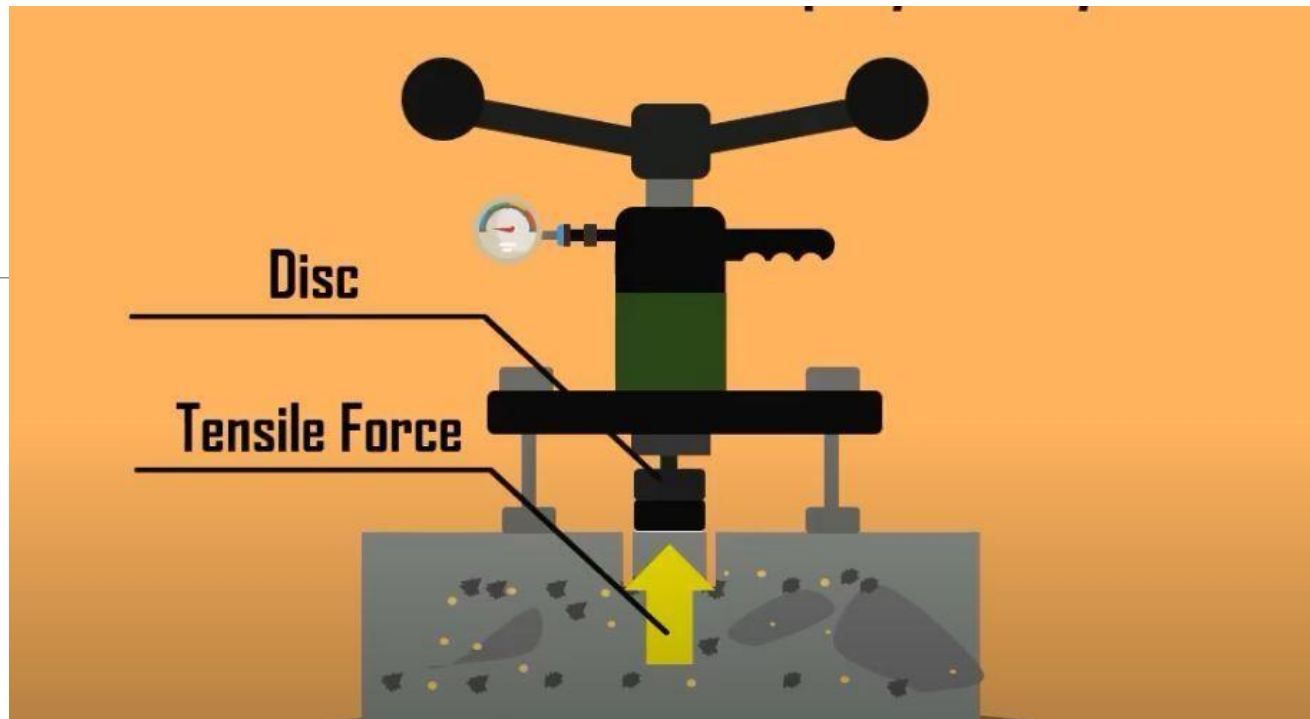
استانداردهای مختلفی این آزمایش را تحت پوشش قرار داده اند که از آن جمله می توان به استاندارد ASTM C1583 اشاره کرد.

رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت Pull off

رابطه زیر ارتباط مقاومت فشاری بتن و Pull off را نشان می دهد:

$$f_c = aP^b$$

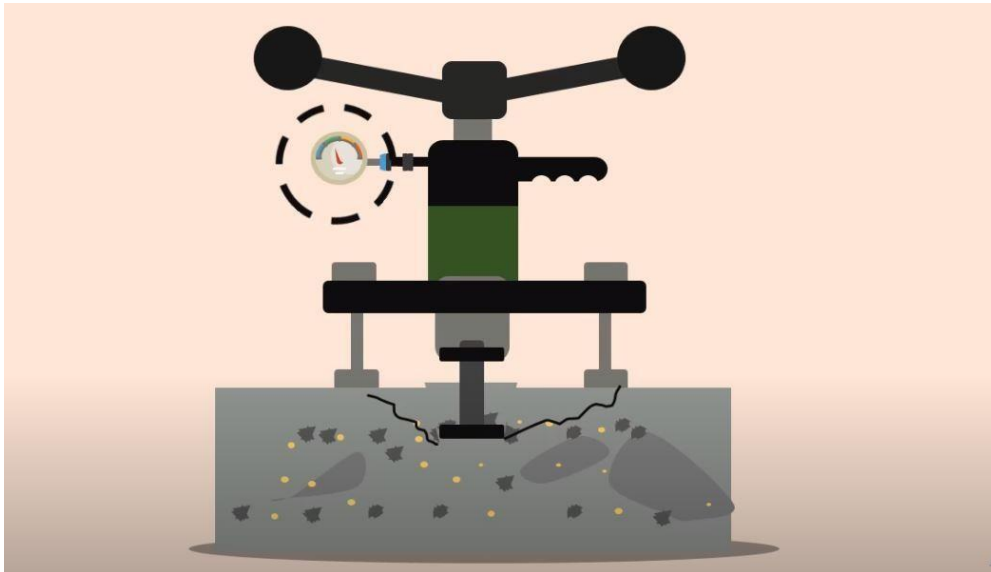
که در آن f_c مقاومت فشاری بتن بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع
 P مقدار مقاومت Pull Off بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع و
 a و b ضرایب تجربی هستند که بسته به نوع بتن و شرایط آزمایش متغیرند.



**Tensile Strength =
of Concrete**

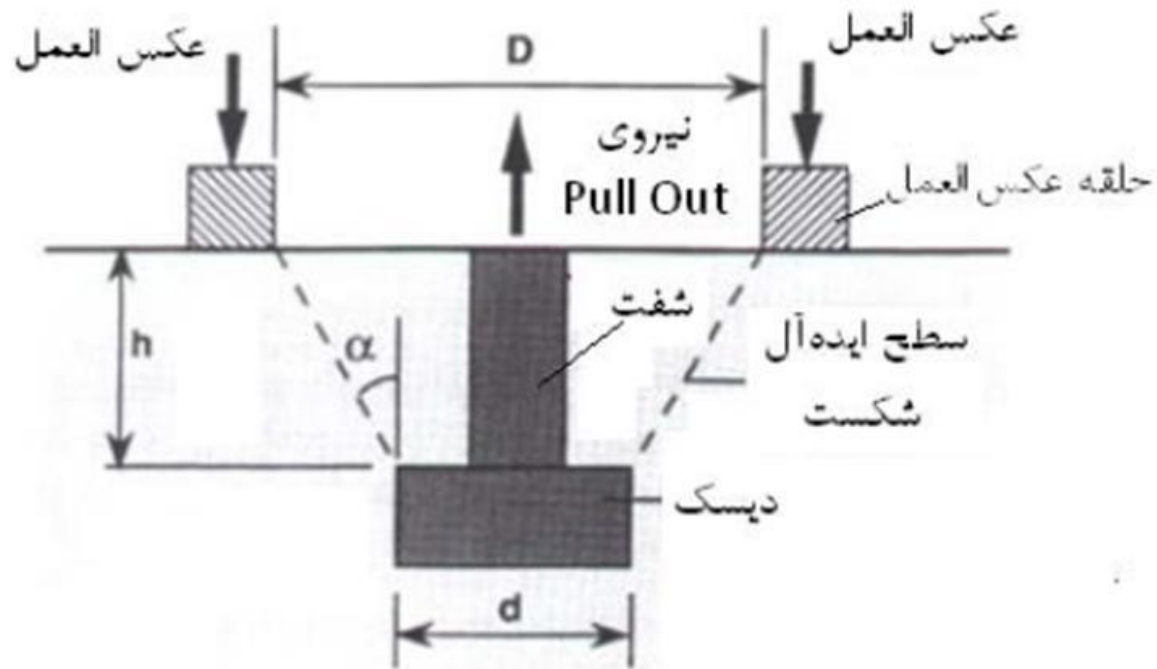
Tensile Force
Area of the Disc

آزمایش Pull out در بتن



آزمون Pull out

مقاومت پیوستگی بین آرماتور و بتن در سازه های بتن آرمه از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش های بدست آوردن مقاومت پیوستگی، آزمایش بیرون کشیدگی Pull out است. این آزمایش اولین بار در سال ۱۹۳۴ مورد استفاده قرار گرفت و بر مبنای اندازه گیری حداکثر نیروی لازم برای بیرون کشیدن یک پیچ فولادی مجهز به حلقه منبسط شونده می باشد. پیچ فولادی که هنگام انجام آزمایش در داخل بتن کار گذاشته شده است با اعمال یک نیروی کششی، پیچ تحت کشش قرار می گیرد. در نهایت گسیختگی با جدا شدن یک قطعه مخروط ناقص از سطح بتن اتفاق می افتد. در آزمایش زاویه گسیختگی حدود ۳۱ درجه است. از آنجایی که این زاویه حدوداً مساوی زاویه اصطکاک بتن (۳۷ درجه) است، می توان نتیجه گرفت که نیروی مورد نیاز برای بیرون کشیدن از طریق این تست با مقاومت فشاری بتن نسبت مستقیم دارد.



Pull out test

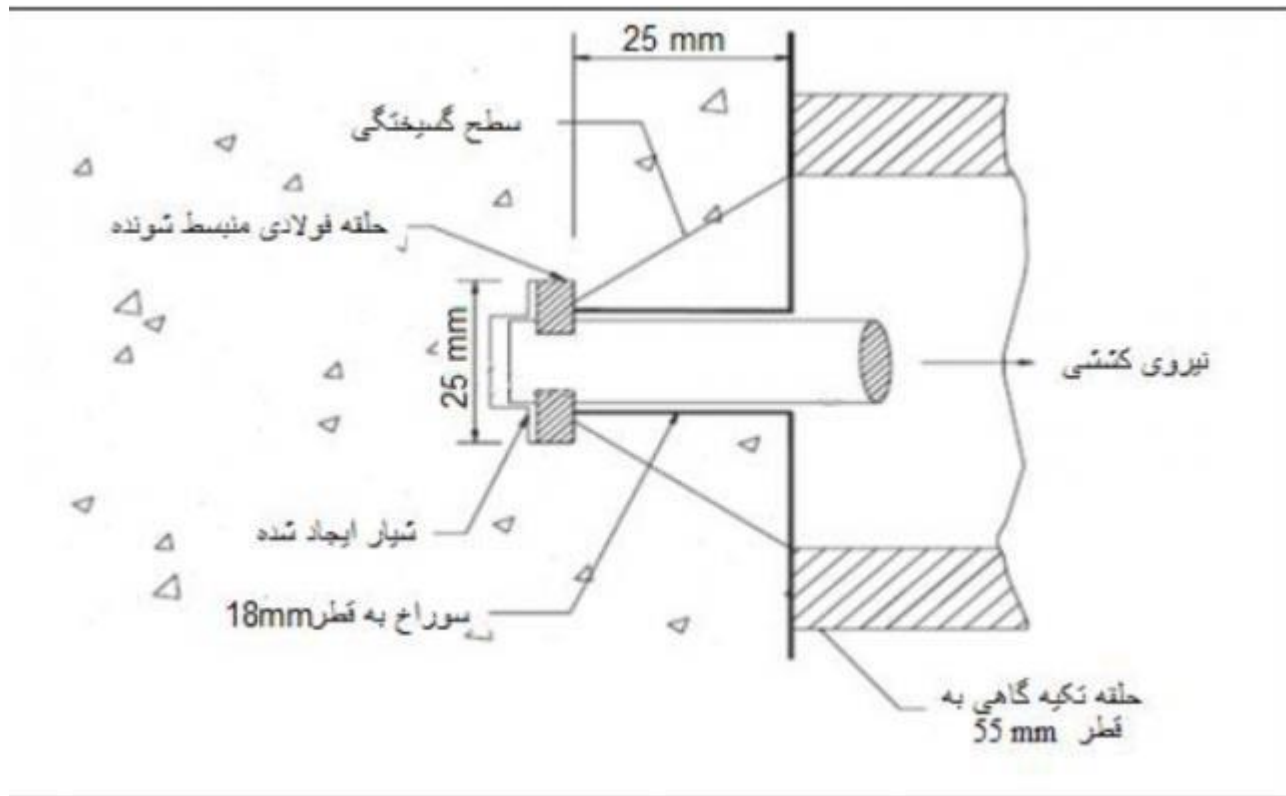
انواع روش های آزمایش: Pull out

آزمایش lok test:

شامل یک میله فولادی است که به یک صفحه فولادی دایره‌ای به قطر ۲۵ میلیمتر و ضخامت ۵/۸ میلی متر متصل شده است. این دستگاه در عمق ۲۵ میلیمتری زیر سطح بتن قرار می گیرد. کل مجموعه به روغن آغشته می شود تا از چسباندن و اصطکاک میان بتن و دستگاه جلوگیری شود.

محدودیت این روش آن است که می بایستی قبل از انجام آزمایش، برنامه ریزی برای آن انجام گرفته باشد. بنابراین نمی توان در مورد سازه های ساخته شده، از این روش استفاده نمود.

Pull out test: lok Test

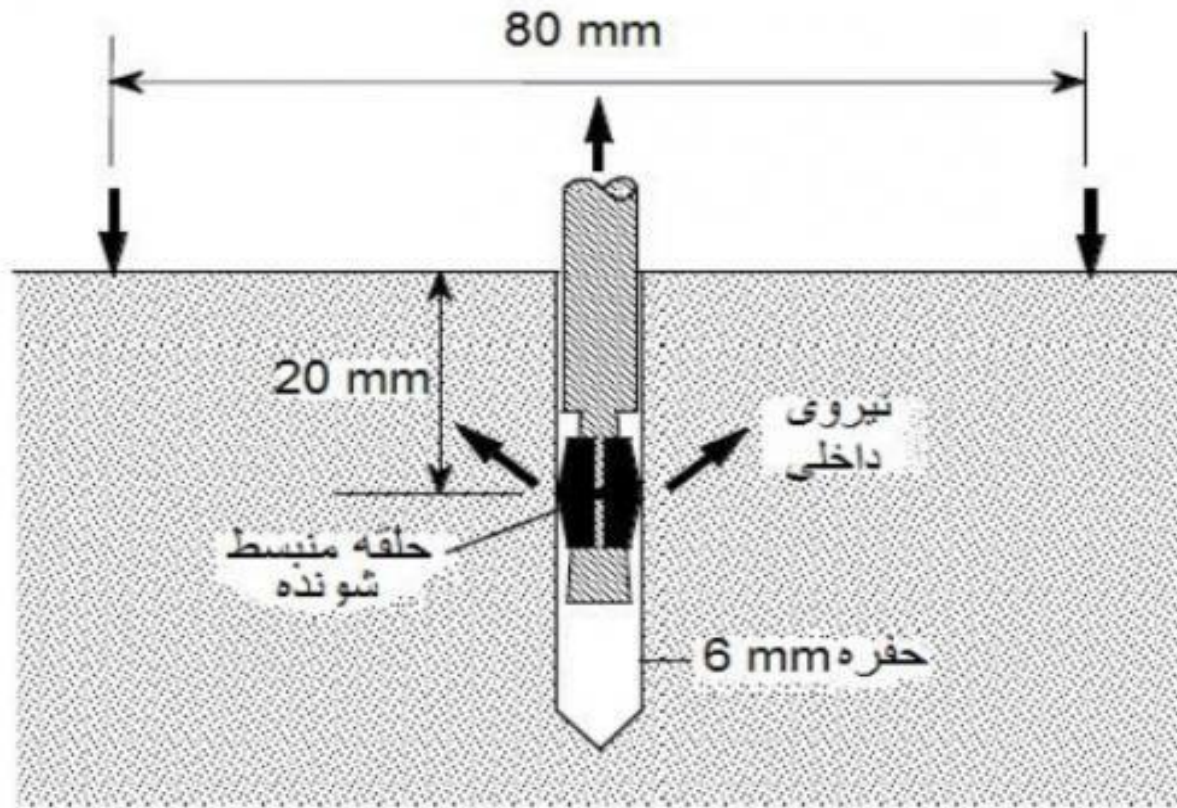


آزمون Pull out:

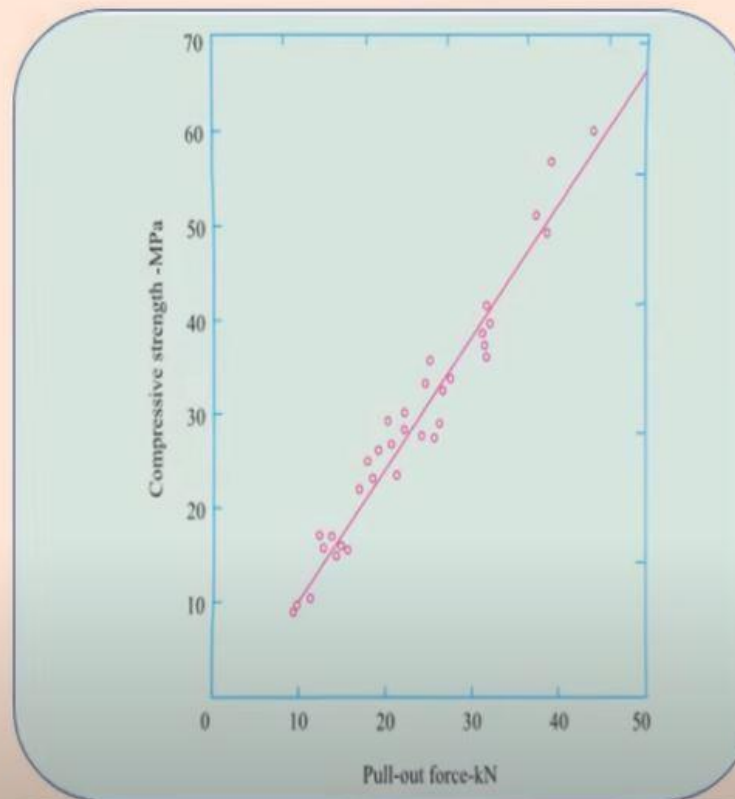
تست Capo

تست Capo روشی برای تخمین مقاومت بتن درجا می باشد که لایه های سطحی بتن را پوشش می دهد. این روش در واقع توسعه یافته آزمایش lok test است. این آزمایش روشی شامل حفاری یک سوراخ در عمق بتن با یک مته الماس به قطر ۱۸ میلیمتر است که با آب خنک می شود. سپس در عمق ۲۵ میلیمتری یک شکاف به قطر ۲۵ میلی متر توسط یک دستگاه چرخشی ایجاد می شود. یک دیسک فولادی منبسط شونده در میان سوراخ در شکاف قرار داده می شود و توسط میله مخصوص منبسط می شود و سرانجام با فشار بر روی یک حلقه عکس العمل تکیه گاهی به قطر ۵۵ میلیمتر که بر روی سطح بتن قرار داده شده، بیرون کشیده می شود. نیروی اعمال شده کاملاً عمود بر صفحه مهاری است.

Pull out test: Capo test



Pull out test: Capo test



تست مغزه گیری بتن:



تست مغزه گیری بتن:



تست مغزه گیری بتن:

پارامتر های مؤثر در مقاومت مغزه ها کدام است؟

پارامتر های مؤثر در مقاومت مغزه ها عبارتند از: نسبت L/D ، قطر، سطح مقاومت بتن، نوع دانه بندی، وضعیت رطوبت در زمان آزمایش، جهت مغزه گیری، حضور آرماتورها، محل مغزه گیری

استاندارد آزمایش کر گیری بتن کدام است؟

استاندارد BS 1881 (1983) در انگلستان، همچنین استانداردهای ASTM C42 (1984) و ACI 318-83(1983) در ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار می گیرند



تست مغزه گیری بتن:

رابطه زیر ارتباط مقاومت فشاری بتن و مقاومت بدست آمده از نتایج آزمایش کرگیری را نشان می دهد:

$$f_c = a f_{cc}^b$$

که در آن f_c ، مقاومت فشاری بتن بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع،
 f_{cc} ، مقاومت فشاری مغزه بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع و
 a, b ضرایب تجربی هستند. ضرایب تجربی a, b برای هر نوع بتن و شرایط عمل آوری متفاوت خواهد بود.

معیارهای فنی ارزیابی

الف- حذف یا کاهش نامنظمی در سازه

- حذف یا کاهش نامنظمی در پلان
- حذف یا کاهش نامنظمی در ارتفاع
- حذف طبقه نرم
- حذف یا کاهش نامنظمی پیچشی
- حذف مکانیسم ستون کوتاه از سازه
- حذف یا اصلاح کنجهای فرورفته

ب- تامین سختی جانبی لازم برای کل سازه؛

پ- تامین مقاومت لازم برای کل سازه؛

ت- کاهش جرم ساختمان؛

ث- کامل نمودن مسیر بار؛

ج- افزایش انسجام ساختمان با کلافبندی؛

چ- تغییر کاربری به منظور کاهش سطح عملکرد مورد انتظار از ساختمان؛

معیارهای فنی ارزیابی

ح- به کارگیری سیستمهای جاذب انرژی؛

خ- به کارگیری سیستم جداساز لرزه‌ای؛

در بیشتر اوقات برای تعیین راهبردها و راهکارهای بهسازی سیستم باربر جانبی، محدودیتهایی وجود دارد که تاثیر عمده‌ای

بهسازی سیستم سازهای ساختمان از طریق کامل نمودن مسیر بار، رفع نامنظمی ها در پلان یا ارتفاع، رفع نواقص پی و افزایش مقاومت لرزه‌ای ساختمان

مطالعه رفتار ساختمان ها در زلزله های گذشته نشان می دهد که عملکرد ساختمان ها نسبت به تغییرات کوچکی در **تقارن شکل کلی ساختمان**، بسیار حساس می باشد و انقطاع در مسیر انتقال بار و همچنین نامنظمی در پلان و ارتفاع منجر به خرابی سازه می گردد.

نامنظمی در پلان:

نامنظمی در پلان ساختمان، باعث تولید نیروهای پیچشی در ساختمان تحت اثر نیروهای جانبی می گردد. این نیروهای پیچشی به همراه نیروهای افقی ناشی از انتقال جانبی ساختمان، باعث وارد آمدن نیروهای اضافی قابل ملاحظه ای بر عناصر باربر سازه‌ای گشته و می تواند منجر به خرابی گردد. مطابق با بند ۱-۱-۸-۱ آیین نامه ۲۸۰۰، ساختمان هایی با مشخصات ذیل در گروه ساختمان های منظم در پلان قرار می گیرند:

نامنظمی در پلان:- ادامه

- ۱- پلان ساختمان دارای شکل متقارن و یا تقریباً متقارن نسبت به محور های اصلی ساختمان، که معمولاً عناصر مقاوم در برابر زلزله، در امتداد آن ها قرار دارند، باشد و در صورت وجود فرورفتگی یا پیشامدگی در پلان، اندازه آن در هر امتداد از ۲۵ درصد بعد خارجی ساختمان در آن امتداد تجاوز ننماید.
- ۲- در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۲۰ درصد بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نباشد.
- ۳- تغییرات ناگهانی در سختی دیافراگم هر طبقه نسبت به طبقات مجاور از ۵۰ درصد بیشتر نبوده و مجموع سطوح باز شو از ۵۰٪ سطح کل دیافراگم تجاوز ننماید.
- ۴- در مسیر انتقال نیروی جانبی به زمین انقطاعی مانند تغییر صفحه اجزای باربر جانبی در طبقات وجود نداشته باشد.
- ۵- در هر طبقه حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان، با احتساب پیچش تصادفی، بیشتر از ۲۰ درصد با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف نداشته باشد.

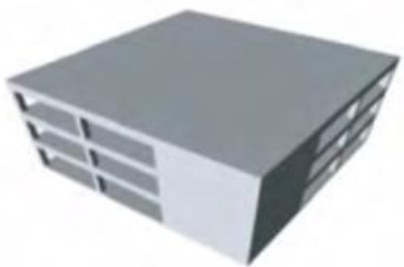
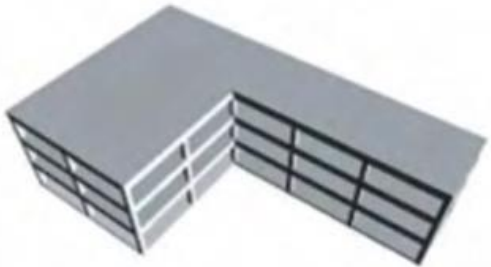
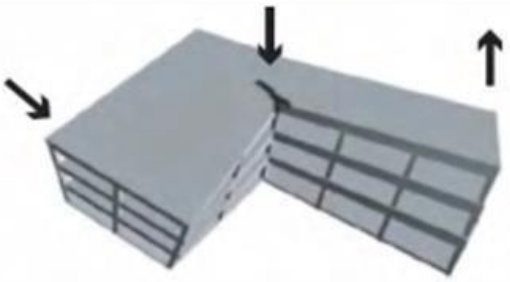
نامنظمی در ارتفاع:

نامنظمی قائم در ساختمانها شامل طبقه ضعیف، نامنظمی هندسی و نامنظمی در وزن طبقات می باشد که سبب اعمال نیروی قابل ملاحظه اضافی به برخی از اعضا در این طبقات می گردد.

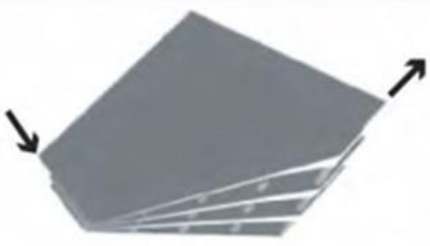
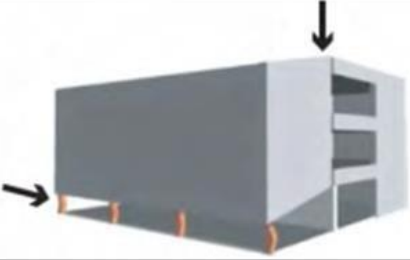
مطابق بابت ۸-۱-۲ ساختمان های بامشخصات زیر در گروه ساختمان های منظم در ارتفاع قرار می گیرند:

- ۱- توزیع جرم در ارتفاع ساختمان، تقریباً یکنواخت باشد بطوریکه جرم هیچ طبقه ای، به استثنای بام و خرپشته بام نسبت به جرم طبقه زیر خود بیشتر از ۵۰٪ تغییر نداشته باشد.
- ۲- سختی جانبی در هیچ طبقه ای کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی ۳ طبقه روی خود نباشد، **به عبارت دیگر هیچ طبقه ای نرم نباشد.**
- ۳- مقاومت جانبی هیچ طبقه ای کم تر از ۸۰٪ مقاومت جانبی طبقه روی خود نباشد (هیچ **طبقه ای ضعیف** نباشد) مقاومت هر طبقه برابر با مجموع مقاومت جانبی کلیه اجزای مقاومتی است که برش طبقه را در جهت موردنظر تحمل می نمایند.

جدول ۱-۳ انواع نامنظمی ها و مکانیسم خرابی در آنها

نوع نامنظمی	شکل و موقعیت ساختمان در پلان	مکانیسم خرابی
نامنظمی پیچشی		
وجود کنج‌های فرو رفته (L شکل)		

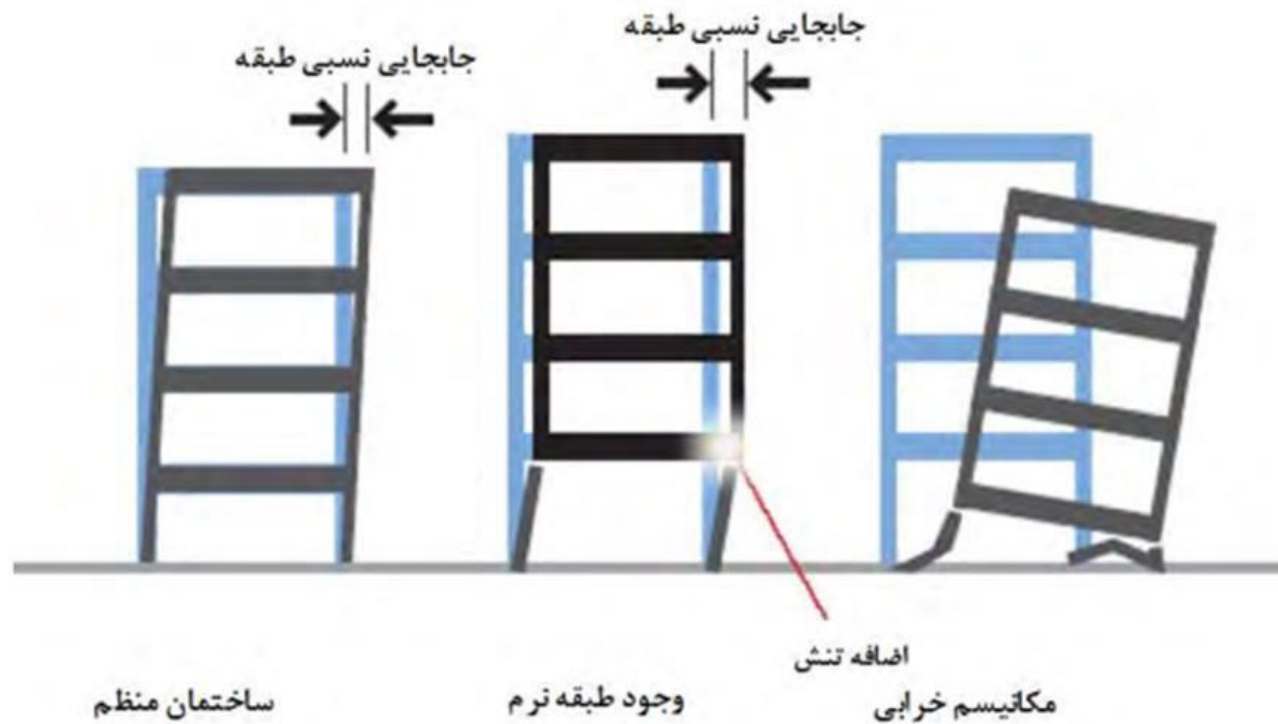
جدول ۱-۳ انواع نامنظمی ها و مکانیسم خرابی در آنها (ادامه)

نوع نامنظمی	شکل و موقعیت ساختمان در پلان	مکانیسم خرابی
وجود بازشوهای بزرگ در دیافراگمها		
موازی و متعامد نبودن سیستم‌های باربر جانبی		
قطع دیوارهای برشی (سیستم باربر جانبی) در ارتفاع		

		وجود طبقه نرم
		توزیع نامنظم جرم در ارتفاع
		بکارگیری سیستمهای متفاوت در ارتفاع
		نامنظمی در مسیر انتقال بار*
		وجود طبقه ضعیف

* چون جابجایی سیستم باربر در صفحه است طبق نشریه ۳۶۰ سازه نامنظم می باشد.

مکانیزم تشکیل طبقه نرم:

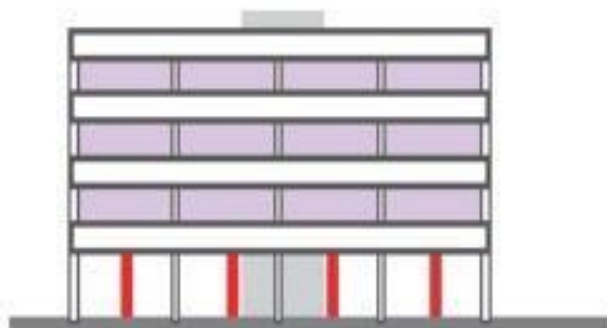


شکل ۳-۱- مکانیسم ایجاد طبقه نرم

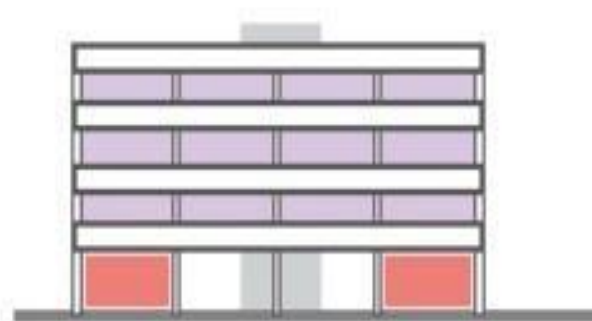
تشکیل طبقه نرم:



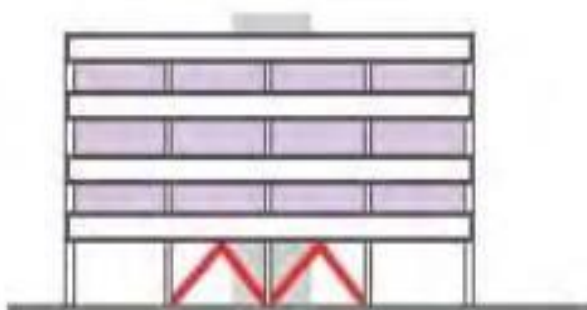
□ یکی از مشخصه های اصلی طبقه نرم ناپیوستگی در استحکام یا سختی است که در اتصالات ایجاد می شود.



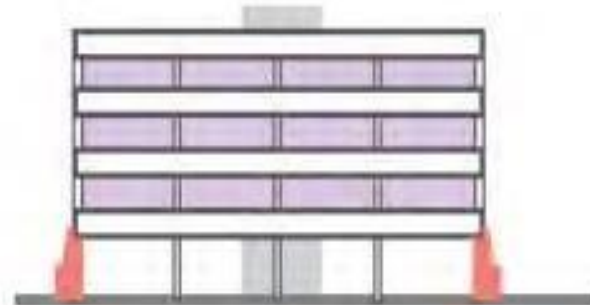
ب- اضافه کردن قاب خمشی



الف- اضافه کردن دیوار برشی



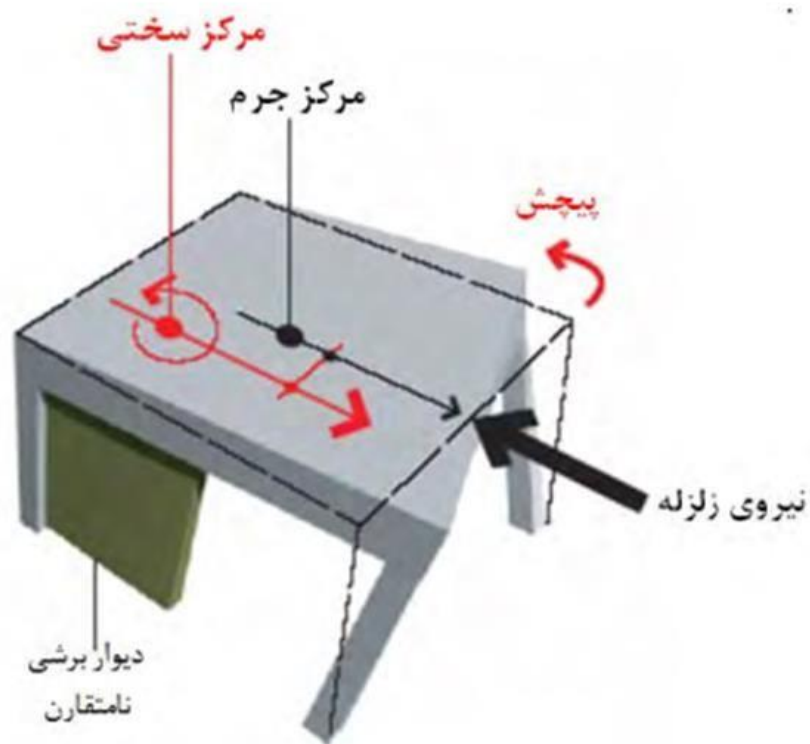
ت- اضافه کردن مهاربند فلزی



پ- اضافه کردن دیوار حائل

شکل ۳-۵- راهکارهای بکار گرفته شده برای حذف نامنظمی و اصلاح طبقه نرم

مکانیزم ایجاد پیچش در اثر نیروی زلزله در دیافراگم‌ها



وجود ستون کوتاه:

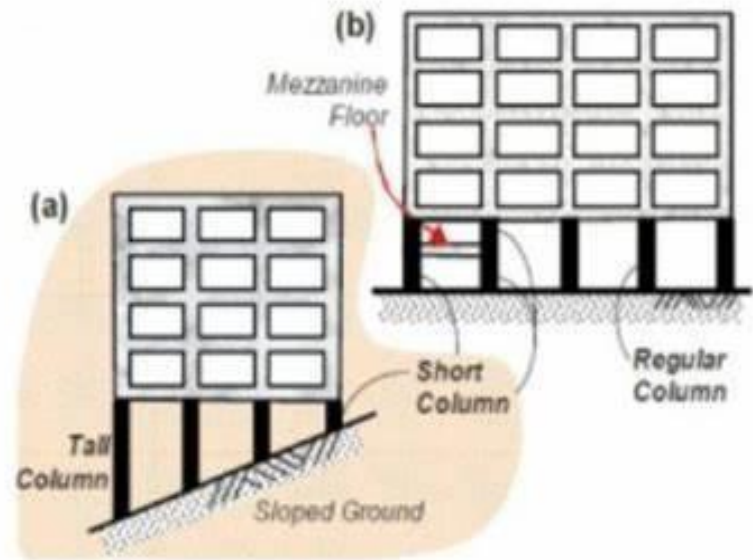
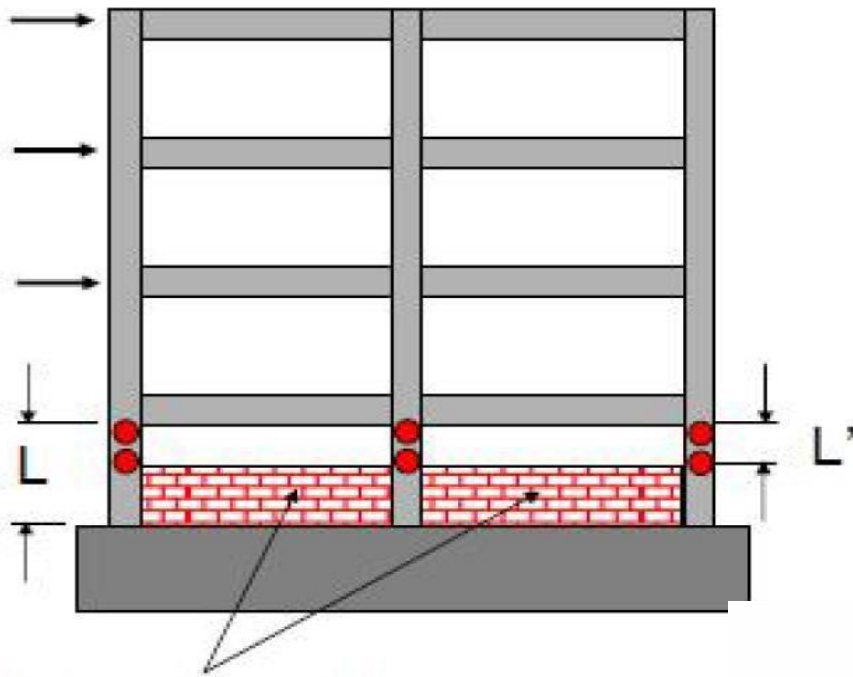
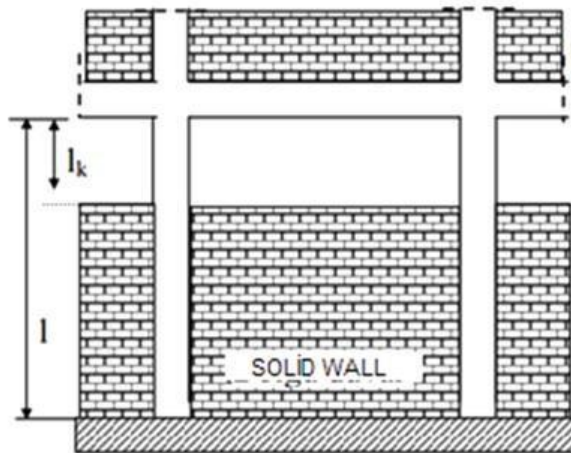
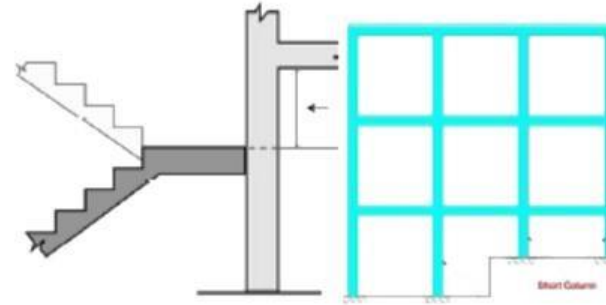
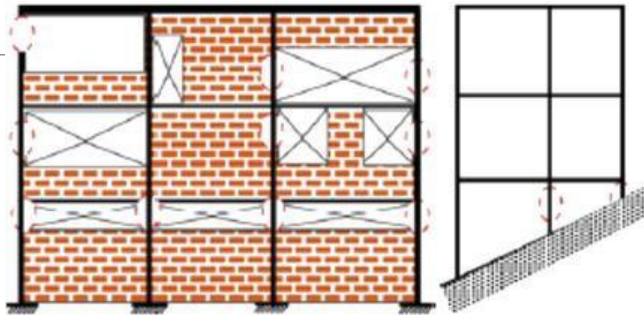
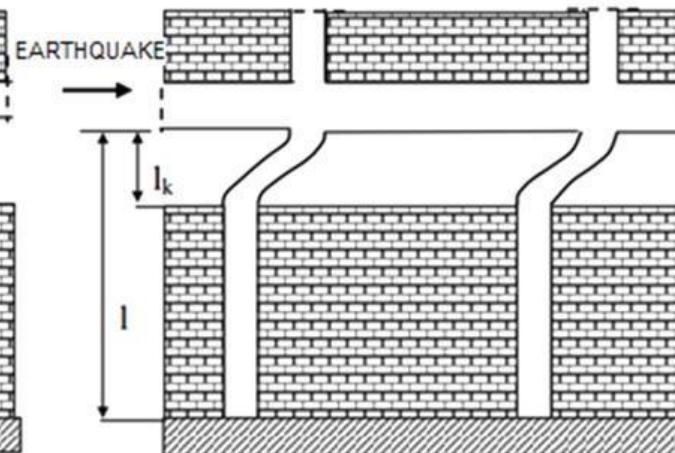


Fig.1. Short Columns Used in Different



(a)



(b)

آسیب های زلزله:

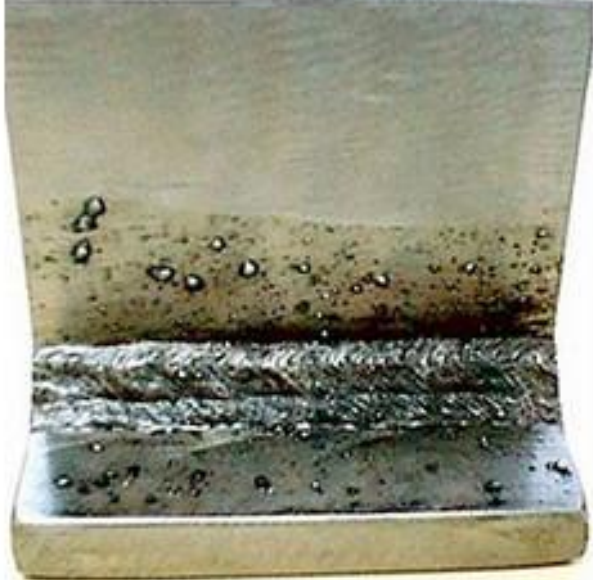
با توجه به این که سیستم سازه ای ساختمان از چه نوعی باشد زلزله می تواند آسیبهای مختلفی در سازه ایجاد کند.

انواع ساختمان های رایج در ایران عبارتند از:

- ساختمان های فولادی
- ساختمان های بتنی
- ساختمان های بنایی مسلح، نیمه مسلح و غیر مسلح

آسیب های رایج در ساختمان های فولادی:

- کمانش خارج از صفحه مهاربندها
- ایجاد طبقه نرم
- گسیختگی اتصالات
- عملکرد ضعیف بست ستون ها
- جوشکاری های نامناسب
- رعایت نشدن ضابطه تیر ضعیف – ستون قوی



برای نفوذ نبشی
نشین اتصال داخل آن
لچکی جوش داده اند

طول بسیار کوتاه تیر
و گیرایی بسیار کم
آن بر روی اجزای
اتصال





عدم اتصال
بادبند به تیر



اجرای بسیار ضعیف جوش
سربالا و سرازیر شدن جوشچه
در هنگام جوشکاری

آسیب های رایج در ساختمان های بتنی:

- ایجاد ترک ها
- از بین رفتن پوشش بتن
- کمانش آرماتورهای اصلی
- خستگی در اعضا
- تغییر شکل اعضا تحت اثر نیروی وارده
- تخریب کلی اعضا

آسیب های رایج در ساختمان های بتنی:



آسیب های رایج در ساختمان های بتنی:



اجرای نامناسب قالب بندی اطراف ستون

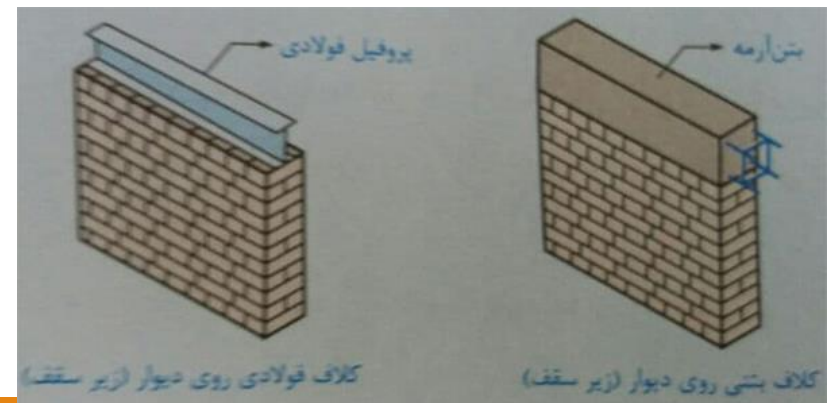
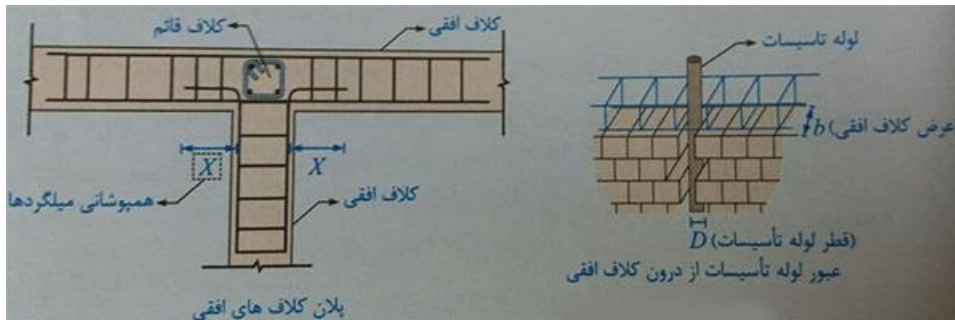
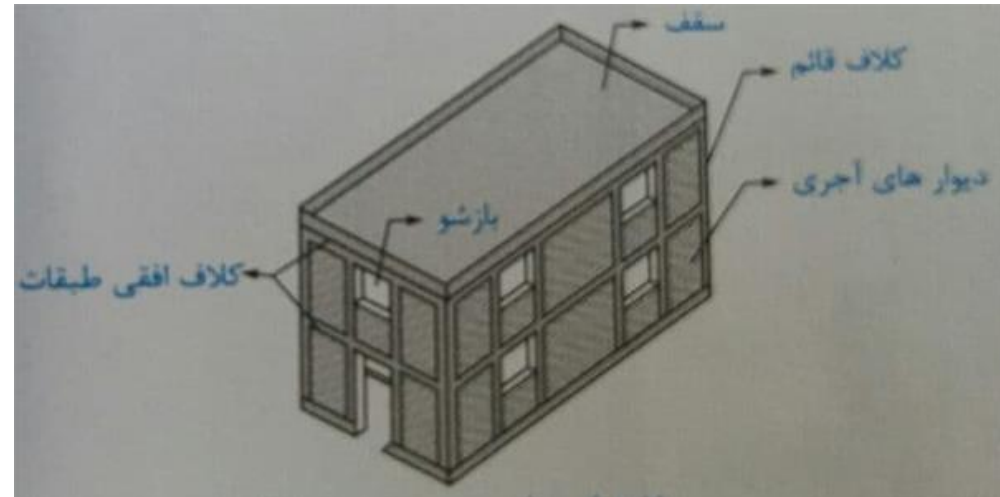
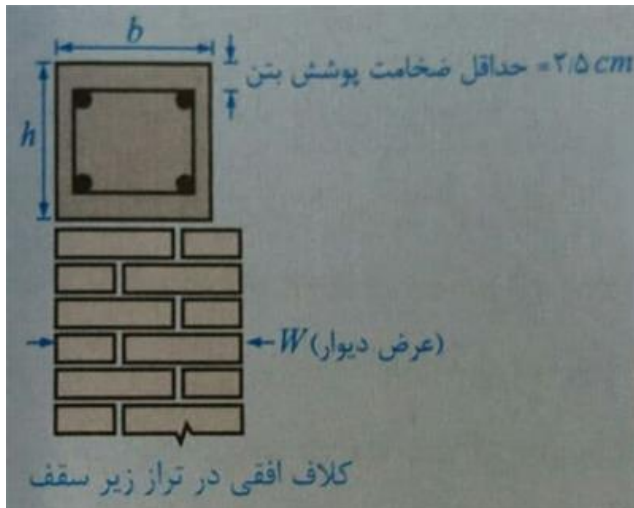
آسیب های رایج در ساختمان های بتنی:



آسیب های رایج در ساختمان های بنایی:

- ☐ ایجاد ترک و جدا شدن دیوارها از یکدیگر
- ☐ فروریختن خارج از صفحه دیوارها
- ☐ ایجاد ترک های مورب کششی در کنار بازشوها
- ☐ فروریختن دیوارهای باربر و سقف ها
- ☐ از بین رفتن انسجام سقف و فروریزش آجرهای طاق ضربی
- ☐ خسارت در گوشه ساختمان و فروریختگی جزئی

اجرای کلاف در ساختمان های بنایی اهمیت زیادی در حفظ انسجام و انتقال جریان نیروی جانبی دارد:



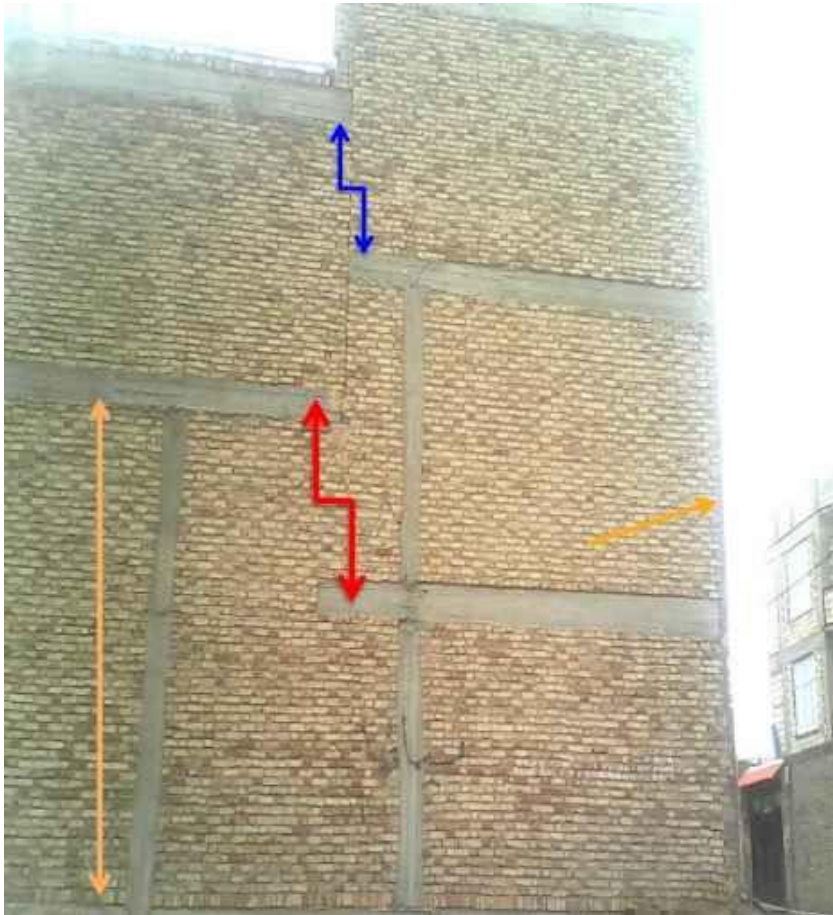
آسیب های رایج در ساختمان های بنایی:



آسیب های رایج در ساختمان های بنایی:



آسیب های رایج در ساختمان های بنایی:



ژاکت بتنی و فولادی

مزایای تقویت سازه با ژاکت بتنی یا ژاکت فولادی:

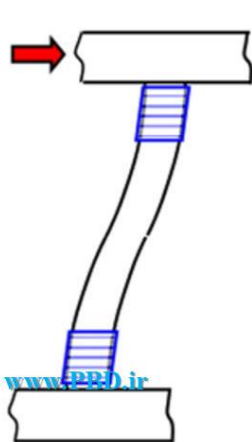
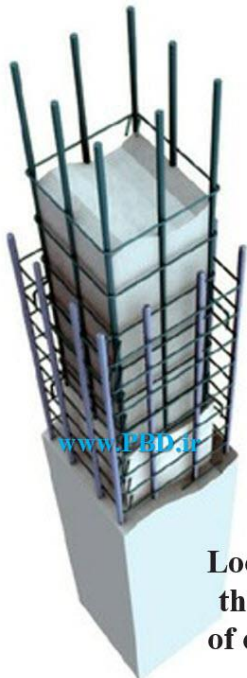
- امکان اصلاح بیشتر ضعف های قاب بتنی
- افزایش مقاومت خمشی و برشی در تیرها
- افزایش مقاومت فشاری در ستون های بتنی با افزایش محصور شدگی بتن
- افزایش شکل پذیری المان تقویت شده

معایب تقویت سازه با ژاکت بتنی یا فولادی:

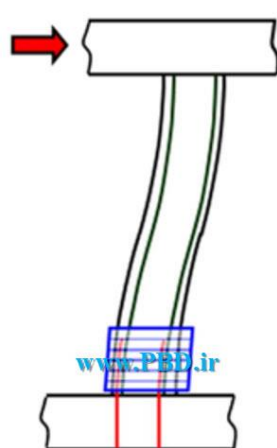
- در ژاکت بتنی به دلیل افزایش ابعاد مقطع محدودیت های معماری ایجاد می شود.
- در ژاکت های فولاد ایمنی سازه در برابر آتش به دلیل وجود رویه فولادی المانها (ژاکت) کاهش می یابد.
- در ژاکت بتنی باید اطراف المان به منظور تقویت برداشته شود.
- در ژاکت بتنی و فولادی ممکن است به دلیل افزایش سختی المان های تقویت شده مسیر نیرو تغییر نماید.
- در ژاکت بتنی و فولادی با افزایش سختی احتمال **ایجاد پیچش تصادفی** وجود دارد.

۱- مقاوم سازی به روش ژاکت بتنی

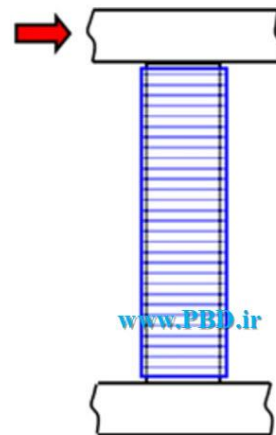
ژاکت بتنی و فولادی



Local jacketing to increase the deformation capacity of concrete and/or to delay rebar buckling

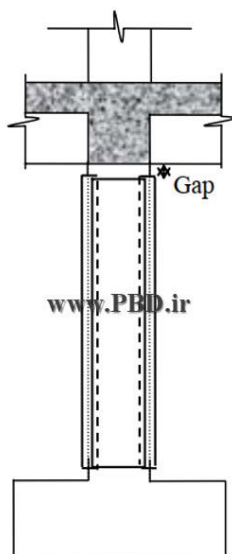


Local jacketing to prevent failure at lap splices

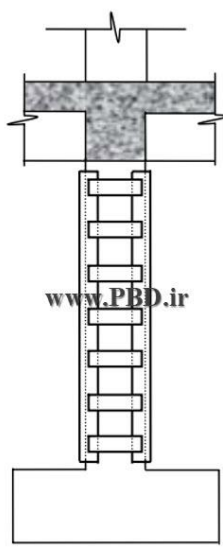


Full-height jacketing to increase shear resistance

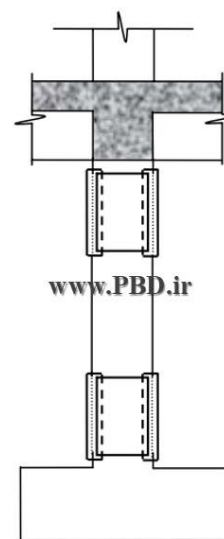
۲- مقاوم سازی به روش ژاکت فولادی



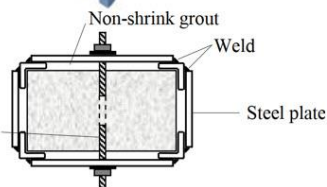
(a) Full height jacket



(b) Jacket with batten plates



(c) Jacket at top and bottom



Retrofitted section

ژاکت بتنی فولادی



افزودن دیوار برشی:



افزودن دیوار برشی:

مزایای تقویت سازه با افزودن دیوار برشی:

- کاهش محسوس سهم ستون از بارهای جانبی
- افزایش سختی جانبی سازه
- کاهش جابه جایی های جانبی سازه
- افزایش باربری ثقلی

معایب تقویت سازه با افزودن دیوار برشی:

- برای دسترسی به منظور اجرای دیوار نیاز به تخریب و کندن قسمت هایی از سازه است
- افزایش احتمال پیچش در ساختمان به دلیل پراکندگی نا منظم سختی در طرفین مرکز جرم
- اغلب اتصال دیوار به المان ها قاب نیاز به دیتیل های پیچیده ای دارد

افزودن مهاربند:



مقاومسازی سازه های بتنی با مهاربند کمانش تاب (BRB)

افزودن مهاربند:

مزایای تقویت سازه با افزودن بادبند :

- افزایش سختی جانبی سازه
- کاهش جابه جایی نسبی سازه تحت اثر زلزله
- کاهش پاسخ سازه تحت اثر زلزله
- اشغال فضای کمتری از فضای ساختمان نسبت به تقویت با دیوار برشی

معایب تقویت سازه با افزودن بادبند:

- برای دسترسی به منظور اجرای مهار نیاز به تخریب فضای اطراف ستون و تیر است
- افزایش احتمال پیچش در ساختمان به دلیل پراکندگی نا منظم سختی در طرفین مرکز جرم
- اغلب اتصال بادبند به پای ستون و یا پی نیازمند دیتیل های اجرایی پیچیده است
- در صورتی که اتصالات ناقص اجرا شوند احتمال جدا شدن بادبند و عملاً بدون کاربرد شدن بادبند وجود دارد

انجام شاتکریت دیوار

شاتکریت روشی برای بتن ریزی است که با **سرعت بالا** انجام می‌شود در واقع بتن یا ملات توسط **جریان هوای فشرده** بر روی سطح پاشیده می‌شوند. ذرات در طی فرآیند کاربرد به سطح گیرنده متراکم می‌شوند و یک لایه قوی و یکنواخت ایجاد می‌کنند. شاتکریت یک در هم کنش بین نیروی انسانی، ماشین آلات و بتن می‌باشد. در این فرایند پیوند عالی در اکثر لایه‌ها بخصوص در **اشکال پیچیده** صورت می‌گیرد. فرآیند شاتکریت به قالب کمتری احتیاج دارد و می‌تواند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر از بتن مستقر در محل باشد. بتن پاششی در ساخت و ساز و ترمیم بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای عناصر منحنی و نازک مناسب است.

ویژگی‌های اصلی مورد نیاز طرح اختلاط بتنی که بر کارایی (پمپ پذیری، قابلیت پاشش) و دوام و پایایی تاکید دارد عبارتند از:

مقاومت بالا در سنین اولیه- پمپ پذیری مناسب- مشخصات گیرشی صحیح و قابل قبول- قابلیت پاشش خوب و مناسب -حداقل بازگشت و ریزش گرد و خاک-نسبت آب به سیمان (در این شیوه از بتن ریزی حدودا ۰,۵ به ۰,۳۵ است.)- اندازه سنگدانه استفاده شده (در شاتکریت **حداکثر ۲۰ میلیمتر** است.)

انواع روش‌های انجام شاتکریت:

شاتکریت برحسب زمان افزودن آب به مخلوط سیمان و سنگدانه به ۲ نوع **خشک** و **تر** تقسیم می‌شود:

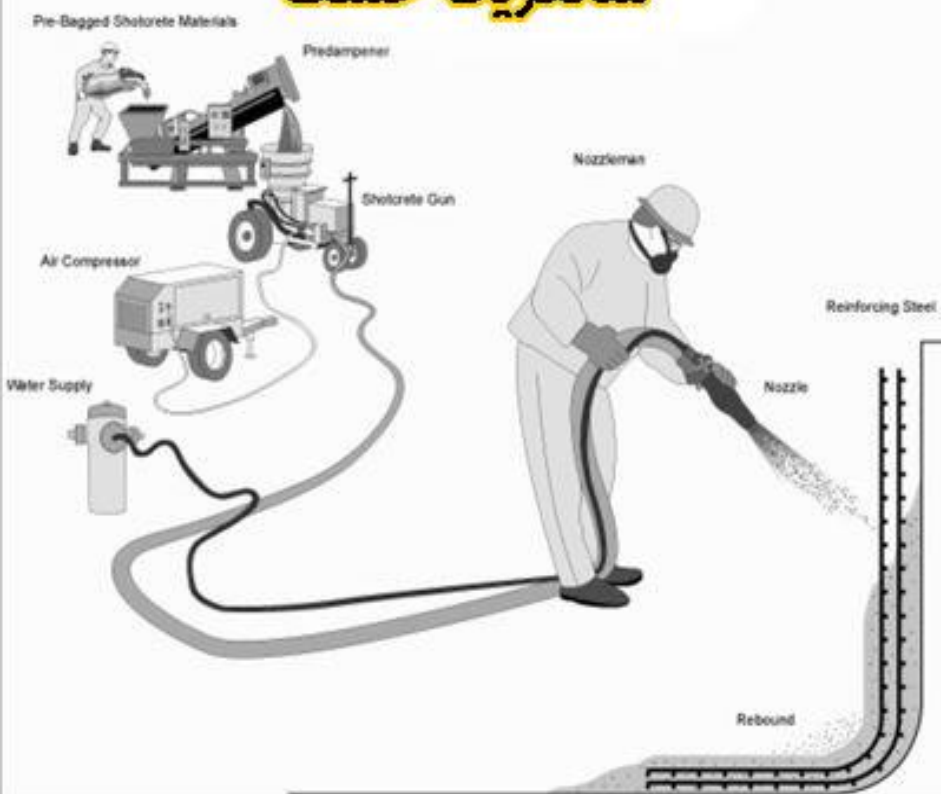
شاتکریت خشک

در این فرآیند، مخلوط سیمان، شن و ماسه از طریق لوله به سطوح مورد نظر پاشیده می‌شود. نسبت آب به سیمان باید بین ۰.۳۳ تا ۰.۵۰ باشد و اگر محتوای آب بیشتر از این مقدار باشد، بتن در هنگام پرتاب به سطح عمودی، تمایل به فروپاشی دارد؛ بنابراین با کنترل مقدار آب از هدر رفت مواد جلوگیری می‌شود. شاتکریت خشک، مقاومت بالا و پایداری دارد و به فضای کمی هنگام اجرای عملیات نیازمند است.

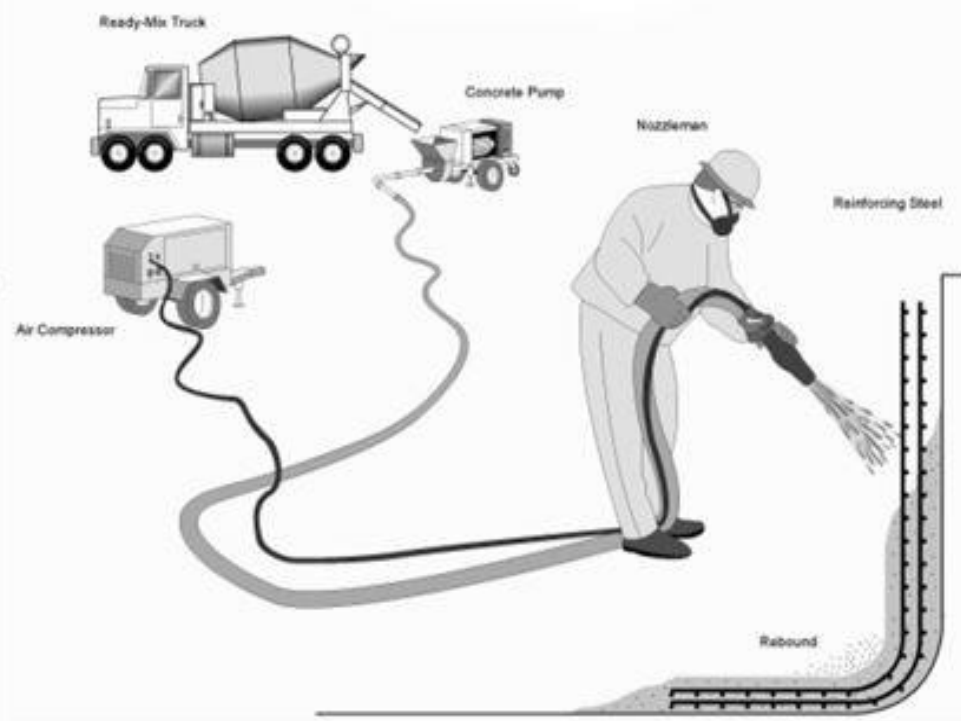
این نوع از شاتکریت قدیمی است و در مقایسه با شاتکریت مرطوب کم‌تر استفاده می‌شود. تجهیزات مختلفی با هزینه پایین، برای شاتکریت خشک موجود است. این نوع شاتکریت دارای معایبی از جمله ایجاد گرد و غبار، محدودیت در استفاده از مواد افزودنی، هزینه بالای استهلاک و نداشتن دقت کافی می‌باشد.

انواع روش‌های انجام شاتکریت:

شاتکریت خشک



شاتکریت تر



انواع روش‌های انجام شاتکریت:

شاتکریت تر

در این روش، تمامی مواد تشکیل دهنده مانند سیمان، ماسه، شن ریزه و آب، قبل از ورود به محفظه انتقال با هم مخلوط می شوند. بتن آماده شده از طریق یک لوله (شیلنگ) هدایت می شود، هوای اضافی نیز به منظور افزایش شتاب و بهینه شدن فرآیند کار به لوله تزریق می شود. در شاتکریت تر قادر به پاشش بتن با حداکثر اندازه سنگدانه ۳ تا ۹ میلی متر است. محدوده تقریبی بازگشت بتن از سطح (ریباند) ۵ تا ۱۵ درصد برای دال های افقی، ۱۵ تا ۳۰ درصد برای سطوح شیب دار و عمودی و ۲۰ تا ۵۰ درصد برای سطوح بالای سر و گوشه ها است.

در صورت نیاز به بتن سبک، استفاده از شاتکریت خشک ترجیح داده می شود. لازم به ذکر است نسبت آب به سیمان می تواند به دقت در فرآیند مرطوب کنترل شود و این فرآیند اکثر مشکلات روش خشک را ایجاد نمی کند.

مقایسه بتن شاتکریت تر و خشک

مخلوط خشک	مخلوط تر	جنبه مورد نظر
هزینه نگهداری بالاتر هزینه سرمایه گذاری کمتر	هزینه نگهداری کمتر هزینه سرمایه گذاری بالاتر	تجهیزات
امکان اختلاط مصالح در کارخانه تهیه بتن، کارگاه اجرا و یا استفاده از کیسه های از قبل آماده شده، رطوبت سنگ دانه ها عملکرد را دچار اختلاط می کند (حداکثر ۶ درصد رطوبت)	امکان کنترل دقیق طرح اختلاط، قابل قبول بودن رطوبت سنگ دانه ها، محدود بودن فاصله از محل اختلاط تا محل اجرا	اختلاط
نرخ اجرای کم تا متوسط (۱ تا ۵ متر مکعب در ساعت)	نرخ اجرای متوسط تا بالا، بیشتر از ماشین های اختلاط خشک مشابه (۳ تا ۱۰ متر مکعب در ساعت برای اجرای دستی و تا ۲۵ متر مکعب در ساعت برای تجهیزات کنترل از راه دور)	اجرا
به طور کلی با توجه به شرایط اجرا و اپراتور پس ریز بیشتر نسبت به حالت تر (تا ۳۰ درصد)	پس ریز کم، معمولاً با توجه به طرح اختلاط و کاربرد بین ۵ الی ۱۵ درصد	پس ریز
تولید بسیار زیاد گرد و غبار	تولید گرد و غبار کم	گرد و غبار
پتانسیل بالا در تغییرات در کیفیت بر جای مانده	کیفیت ثابت	کیفیت بر جا
فاصله بالای جابجایی به عنوان مثال حداکثر ۵۰۰ متر با تجهیزات خاص	فاصله کمتر جابجایی به عنوان مثال حداکثر ۲۰۰ متر با خطوط و ترکیبات ویژه	انتقال از طریق شلنگ
مناسب تر برای حجم های کاری کم و عملیات دارای وقفه، مناسب برای محل های دور افتاده، جاهایی که ترکیب و انتقال بتن مشکل می باشد.	مناسب تر برای حجم های بالای کار	کاربردها

استفاده از الیاف در شاتکریت:

ایجاد ترک بر روی سازه های بتنی یکی از بزرگ ترین چالش هایی است که مهندسان عمران در پروژه های ساختمانی با آن درگیر هستند. برای حل این مسئله از شاتکریت تقویت شده با الیاف استفاده می کنند. بتن الیافی از تکنیکهای ساختمانی باستانی مانند خشت، الهام گرفته است؛ چرا که قابلیت شکل پذیری خوبی دارد و تحت تنش کششی تغییر شکل می دهد همچنین با وجود ترک خوردگی، ظرفیت جذب انرژی بیشتری هم دارد. ابعاد الیاف استفاده شده در بتن پاشیده از ۱۲ تا ۵۰ میلی متر متغیر است و میزان رایج الیاف در آن نیز **حدوداً ۳ تا ۵ درصد وزنی** آن می باشد.

مزایای شاتکریت الیافی:

- استفاده از الیاف باعث کاهش نفوذ آب و هوازدگی در سطح می شود.
- در بتن پاشنده الیافی کنترل ضخامت به راحتی انجام می شود.
- الیاف موجود در بتن، در تمامی سطوح و لایه ها پخش می شود؛ بنابراین مقاومت کششی خوبی به سازه بتنی می بخشد در حالی که مش را نمی توان در همه سطوح اجرا کرد.

انجام شاتکریت دیوار



انجام شاتکریت دیوار

مزیت تقویت سازه با انجام شاتکریت دیوار :

- افزایش شکل پذیری درون و برون صفحه دیوار
- افزایش مقاومت درون و برون صفحه دیوار
- ایجاد انسجام در المان ها بویژه دیوارها
- اجرای به نسبت ساده تر
- استفاده از مصالح متداول

معایب تقویت سازه با انجام شاتکریت دیوار :

- اغلب اتصال شبکه فولاد به پی مناسب اجرا نمی شود
- امکان اجرا غیر یکنواخت و متخلیل بتن بویژه در پشت میلگردها
- لایه لایه شدن بتن پاششی در چاله ها و گود افتادگی ها
- بتن ریخته شده در پای کار دوباره به به نحو نامناسبی مورد استفاده قرا می گیرد
- عدم بتن پاشی مناسب در کنج ها و قسمت های متصل بین دیوار با سایر المان های سازه ای

نمایش اعضای متداول پل از روی عرشه



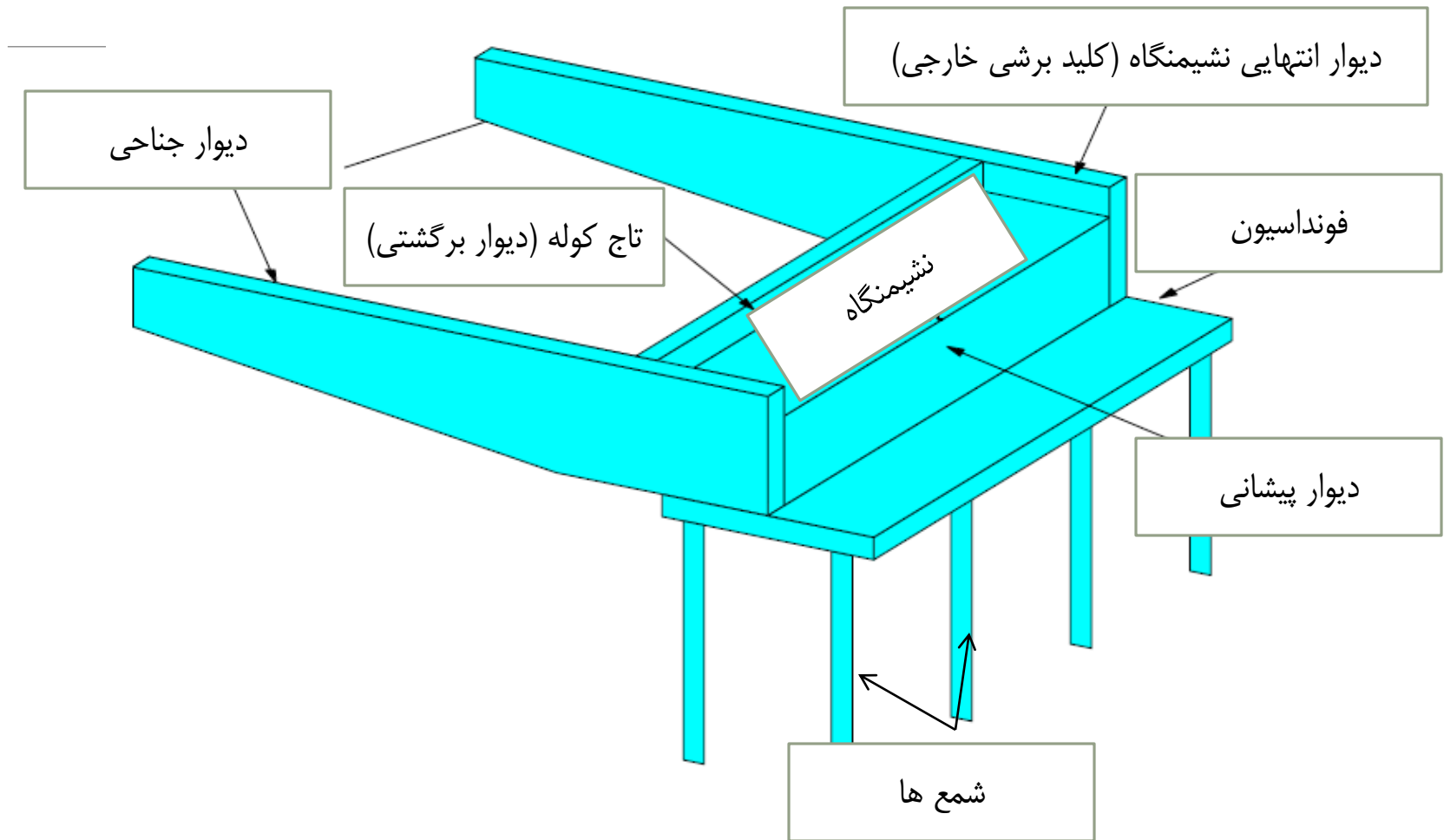
نمایش اعضای متداول پل از زیر عرشه



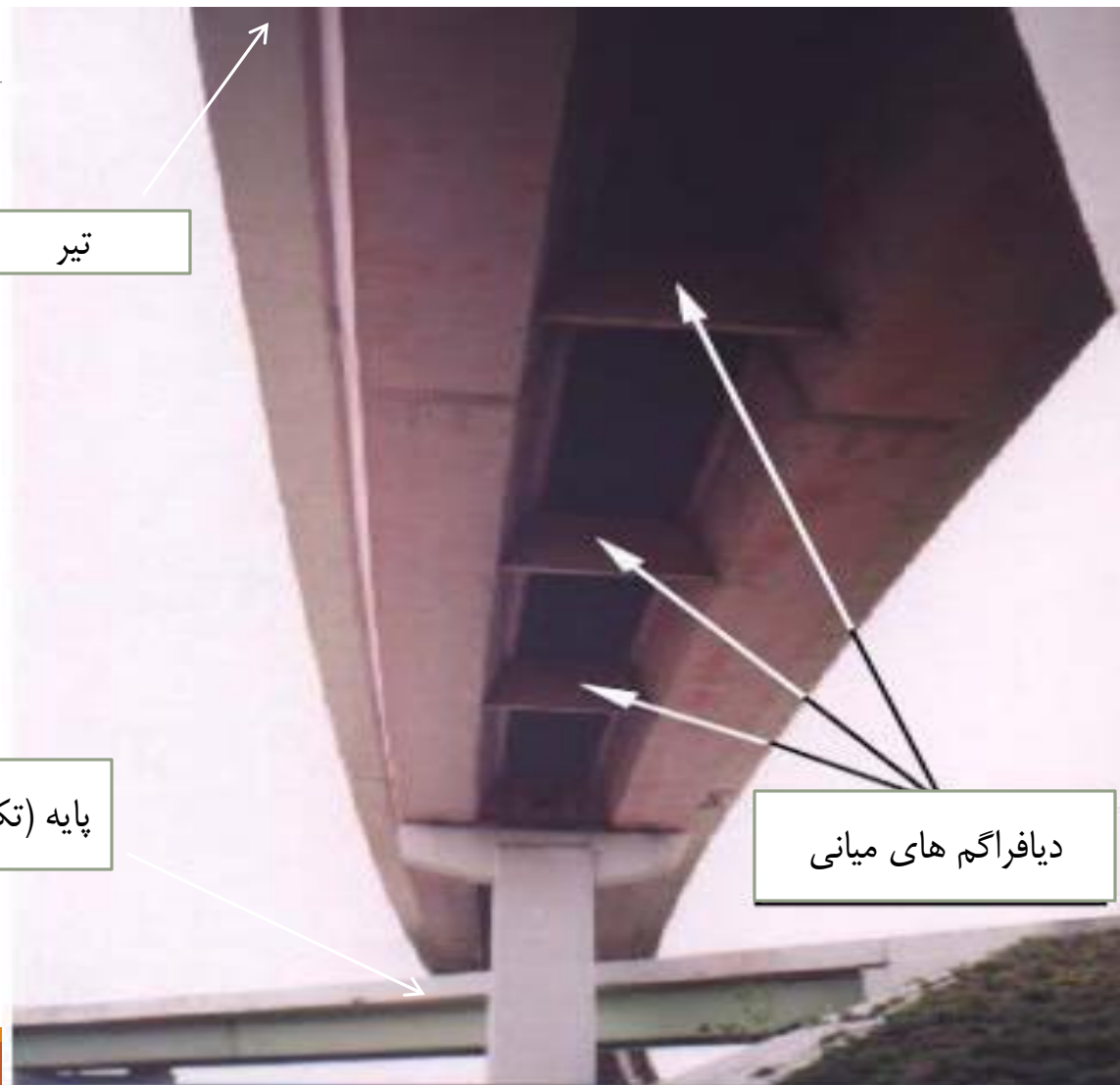
نمایش اعضای متداول پل بتنی



نمایش اعضای متداول پل (کوله)



نمایش اعضای متداول پل با پایه سرچکشی



تیر

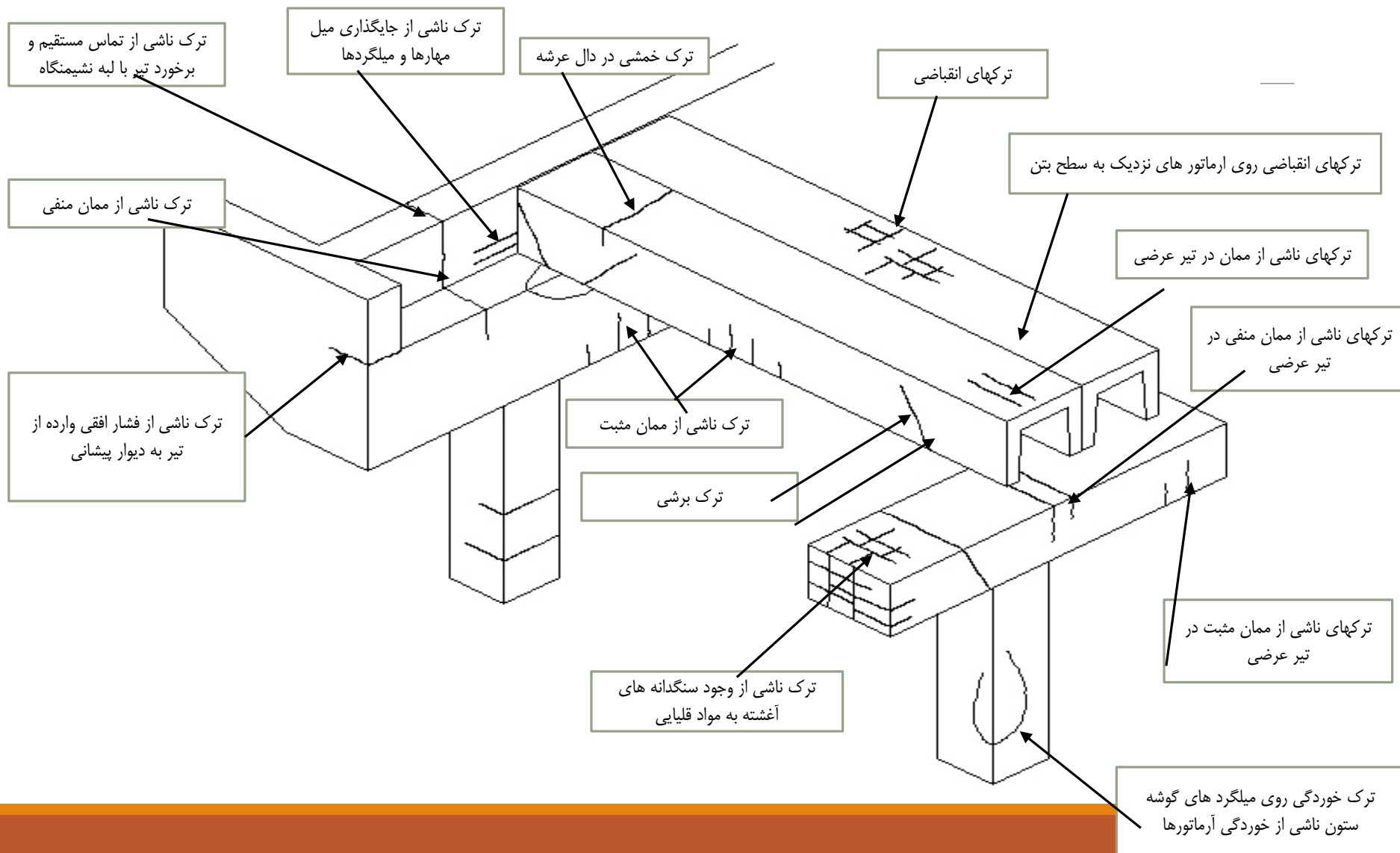
پایه (تک ستون سرچکشی)

دیافراگم های میانی

نمایش اعضای متداول پلها (روی پایه)



انواع ترکهای محتمل در پلهای بتنی



❖ پوسته شدگی بتن:

➤ از بین رفتن و اضمحلال تدریجی ملات و سنگدانه ها در سطح خارجی بتن است که ناشی از شکست شیمیایی پیوندهای سیمان ایجاد شده و باعث کاهش دوام بتن می شود.

❖ تورق شدید و لایه لایه شدن بتن:

➤ این پدیده باعث جدا شدن قطعه های از سطح بتن یا قلوه کن شدن بتن میشود و در اثر خوردگی آرماتورها، تمرکز تنش یا اعمال نیروهای خارجی و یا تنشهای حرارتی بوجود می آید. تفاوت پوسته شدگی با تورق شدید و لایه لایه شدن بتن در عمق آن است.

➤ پوسته شدگی سطحی است (حداکثر عمق ۲۵ میلیمتر) و معمولاً سطح وسیعی از بتن را فرا میگیرد اما تورق شدید و قلوه کن شدن معمولاً موضعی و عمیق است.

❖ ترک خوردگی:

➤ ترک خوردگی از جمله خرابیهای ایجاد شده در سازه های بتنی است. ترکها بر اساس عرض آنها مطابق جدول زیر طبقه بندی می شوند:

نوع ترک	عرض ترک
مویی	کمتر از ۰.۱ میلیمتر
ریز	بین ۰.۱ تا ۰.۳ میلیمتر
متوسط	بین ۰.۳ تا ۰.۷ میلیمتر
بزرگ	بزرگتر از ۰.۷ میلیمتر

خرابی ناچیز: در شرایط مناسب با خرابی جزئی یا بدون خرابی است.

ترک مویی (عرض کمتر از ۱.۰ میلیمتر) ممکن است وجود داشته باشد. ترکها بسیار کم تعداد و با فاصله زیاد از هم ایجاد شده اند. هیچ ترکی در عضو پیش تنیده وجود ندارد. ترک موزاییکی در سطح عضو دیده نمیشود. هیچ نمونه ایی از ترکهای کششی مشاهده نمیشود.



لکه های سطحی آب در دیافراگم



لکه جزئی آب در زیر تیر



به طور جزئی هوازده شده است، مقدار کمی تغییر رنگ و اضمحلال سطحی وجود دارد، اما عضو هنوز در شرایط خوبی است.

❖ عرشه بتنی

➤ **خرابی با اهمیت کم:** شرایط نسبتا خوب، همراه با خرابیهای نسبتا جزئی است.

➤ ممکن است ترکهای ریز (عرض بین ۰.۱ تا ۰.۳ میلیمتر) و پوسته شدگی کم در بتن وجود داشته باشند. اما ترکها ریز و خشکند و تورق بتن در حدی نیست که آرماتورها یا کابلها نمایان شوند. لکه های نم و شوره زده گی ممکن است مشاهده شود.

➤ در اعضای پل پیشتنیده هیچگونه ترکی مشاهده نمی شود.

➤ ممکن است ترکهای موزاییکی مویی با عرض کمتر از ۱ میلیمتر مشاهده شود.

➤ احتمال دارد ترکهای کششی مویی با عرض کمتر از میلیمتر نیز وجود داشته باشد.



ترکهای مویی فراوان و نزدیک به هم، خرابی با اهمیت کم را نشان میدهد.



ترکهای مویی با فاصله کم همراه با شوره زدگی بر روی سطح وجود دارند.



ترک نشان داده شده همراه با اثرات رطوبت ممکن است نشان دهنده خرابی ناچیز باشد، اما تعدادی ترکهای مویی وجود دارند که این الگو نشانگر خرابی با اهمیت کم است.



لکه های ایجاد شده نشان دهنده مشکلات نهان و برخی خرابیهای جزئی است.

❖ خرابی با اهمیت متوسط:

ترکهای متوسط (عرض بین ۰.۳ تا ۰.۷ میلیمتر) همراه با نشانه های سایش و تورق در سطح بتن مشاهده می شود که ممکن است ناشی از خوردگی فعال و پیش رونده در آرماتورها باشد و به تدریج زمینه سطح مقطع آرماتورها و کابل ها فراهم شود.

➤ لکه های زنگ زدگی بصورت تک لکه در سطح بتن دیده می شود. تعداد لکه های نم زدگی و شوره زدگی و تجمع آنها می تواند نشان از وجود آهک در بتن باشد.

➤ ترکهای انقباضی با عرض متوسط (۰.۳ تا ۰.۷ میلیمتر) در امتداد خط مرکزی دال تخت همراه با زنگ زدگی و رطوبت اطراف ترک مشاهده می شود.

➤ ترک خوردگی در اعضای پیش تنیده مشاهده می شود.

➤ ترکهای ریز موزاییکی با عرض (۰.۱ تا ۰.۳ میلیمتر) دیده می شود.

➤ ترکهای کششی ریز با عرض (۰.۱ تا ۰.۳ میلیمتر) مشهود است

نمونه ی از قالب بندی دائمی فولادی. بخشی از دال دارای خرابی با اهمیت متوسط میباشد. در این قسمت، دال پوشش خود را از دست داده است. اهمیت خرابی سایر بخشها کم است.





ترکهای مکرر با عرض بزرگتر از ۰.۳ میلیمتر وجود دارد.



پوسته شدگی و نمایان شدن آرماتور نشانگر خرابی با اهمیت متوسط است. البته بتن دارای ترک نیز میباشد.



نمایان شدن آرماتور به دلیل پوسته شدگی
موضعی در بتن است و شواهد حاکی از کم
بودن پوشش بتن است.



تنها یک ترک متوسط با عرض کمتر از ۷
میلیمتر دیده میشود. قابل توجه است که این
ترک فعال و پیشرونده است.

ایجاد جداشدگی نسبتاً بزرگ در بتن. این
جداشدگی در کلید برشی به دلیل ممانعت در
برابر حرکت میباشد. و بیانگر خرابی با اهمیت
متوسط است.



❖ خرابی با اهمیت زیاد

➤ ترکهای بزرگ (عرض بیش از ۰.۷ میلیمتر) همراه با سایش و پوسیدگی مشاهده می شود. زنگ زدگی شدید آرماتورها در یک سطح بزرگ وجود دارد. و این نشانه از دست رفتن مقدار قابل توجهی از سطح مقطع آرماتورها و کابلهاست.

➤ ترکهای انقباضی بزرگ در طول

➤ خط مرکزی، همراه با نفوذ رطوبت خیلی زیاد و لکه های شدید زنگ زدگی اطراف ترک مشاهده میشود.

➤ عرشه ممکن است دارای ترکهای طولی گسترده، همراه با جابه جایی ناهمگون بین اعضای آن باشد.

➤ ترک خوردگی در اعضای پیش تنیده مشاهده می شود.

➤ ترکهای ریز موزاییکی با عرض (۰.۳ تا ۰.۷ میلیمتر) دیده می شود. فاصله بین ترکها در هر شبکه ۳۰۰ میلیمتر است

➤ ترکهای کششی ریز با عرض (۰.۳ تا ۰.۷ میلیمتر) مشهود است

خسارت ناشی از وارد شدن ضربه شدید به تیر است که باعث خرابی کامل تیر شده است. اقدام فوری برای تعمیر مورد نیاز است.





ترکهای موزاییکی با عرض تا ۰.۶ میلیمتر و فواصل نزدیک در سطح بتن دیده می شود



خسارت اساسی مربوط به خوردگی و کاهش سطح مقطع آرماتورهاست که منجر به شکست تیرها شده است.

خسارت اساسی وارده به عضو کاهش سطح مقطع آن است که ناشی از خورد شدن بتن می باشد.



عرشه فولادی

خوردگی موضعی سطحی مشاهده می شود.

همه جوشها و سخت کننده ها در شرایط خوبی هستند.

هیچگونه ترک یا خوردگی سطحی اساسی دیده نمیشود. ممکن است خوردگی کمی در اتصالات دیده شود.

کابلها و آویزها: میل مهارها و سوکتها سالم هستند اما گیره ها ممکن است کمی دچار خوردگی شده باشند.



خوردگی جزئی در اتصالات، خوردگی سطحی موضعی



زنگ زدگی و خوردگی موضعی سطحی وجود دارد اما کاهش سطح مقطع رخ نداده است.



خوردگی در سطحی وسیع مشاهده میشود که نشان دهنده خرابی با اهمیت کم میباشد.



خوردگی سطحی موضعی، بیشتر در نواحی که در معرض هوا قرار دارند شایع میباشد، از بین رفتن مقطع رخ نداده است.



خوردگی همه جانبه و وسیع اما سطحی رخ داده است

عرشه فولادی خرابی با اهمیت متوسط:

خوردگی در سرتاسر عضو دیده میشود و حتی ممکن است قلوه کن شدن، بیرون پریدگی و کاهش مقطع هم مشاهده شود. جوشها ممکن است ترکهای مویی غیریوسته داشته باشند.

خوردگی در سخت کننده ها هم دیده میشود و حتی ممکن است بعضی سخت کننده ها شل شده باشند. ورقهای پرچ شده ممکن است در حد ۱ تا ۲ میلیمتر جابه جایی داشته باشند ولی پرچها هنوز دیده میشوند.

کابلها و آویزها: میل مهارها ممکن است ترکهای مویی داشته باشند، سوکتها شل شده باشند و فلز گیره ها دارای ترک ریز باشد. کابلها ممکن است شل شده باشند و آویزها از جای خود لغزیده باشند اما سیم کابلها پاره نشده باشد.



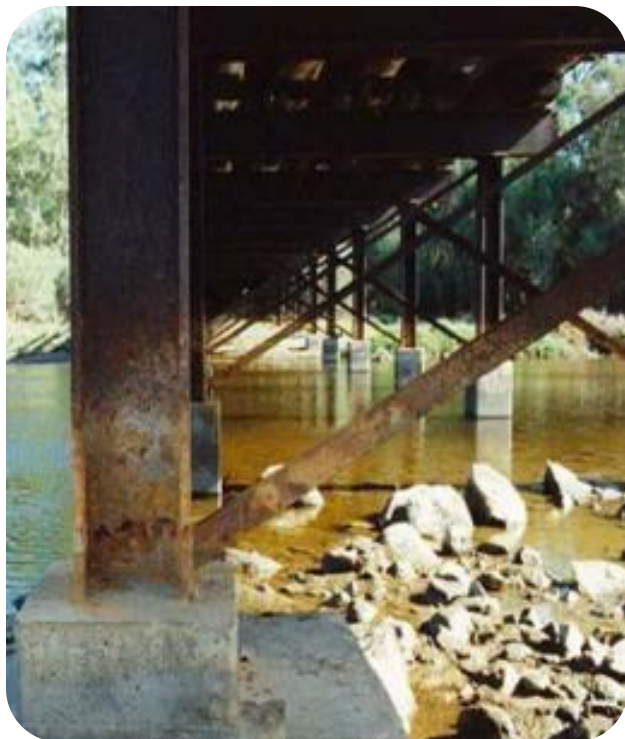
خوردگی موضعی شدید در نواحی خاص و کاهش سطح مقطع وجود دارد.



خوردگی سطحی جوش همراه ترکهای مویی غیر ممتد وجود دارد.



خوردگی سطحی فعال و زنگزدگی شدید در پوشش فلزی دیوار جناحی، باعث کاهش سطح مقطع این پوشش شده است.



بالها فقط مقدار کمی از سطح مقطع خود دست داده اند، اما پوسته شدن و را از نشان دهنده اینست که کنده شدن جان مقدار بیشتری از سطح مقطع آن کاهش یافته است.



خوردگی موضعی متوسط به همراه مقداری کاهش سطح مقطع دیده میشود، با این وجود همچنان عضو قابل استفاده است.



خوردگی شدید بال و جان مشهود است. بازرس باید توجه داشته باشد این عضو نیاز به بازرسی زیر سطح آب دارد.

عرشه فولادی

❖ خرابی با اهمیت زیاد:

➤ مقطع دارای خوردگی شدید شده و بخش قابل توجهی از سطح مقطع از دست رفته است.

➤ جوشها ترک خورده اند، سخت کنندهها به شدت خورده شده و سطحشان کاهش پیدا کرده است. تیرها و شاتیرها دچار تغییر شکل و تغییر فرم شده اند.

➤ کابلها و آویزها :

➤ آویزها در طول کابلها لغزیده اند. کابلها کاملاً شل شده اند. مهارها کاملاً ترک خورده اند یا حرکت کرده و لغزیده اند. سوکتها خراب شده اند و گیرهها کاملاً آسیدیده اند.

➤ تعدادی از سیمهای بعضی از کابلها نیز پاره شده و در آستانه گسیختگی هستند.



مقطع فولادی به شدت دچار خوردگی شده است.



ترک قابل توجه در جوش دیده میشود. مقطع به صورت بالقوه قابلیت شکست دارد.

پایه پل و کوله بتنی :

جهت پایه ها، شمع ها، ستونها، سرشمع ها، سرستونها، دیوارها، شالوده ها و کوله های بتنی
خرابی با اهمیت ناچیز :

بتن:

اعضای بتنی در شرایط خوبی هستند و ممکن است ترکهای مویی در سطح آنها دیده شود.
هیچ ترکی در اعضای پیش تنیده دیده نمیشود.
ترک کششی وجود ندارد.

مصلح بنایی:

ترکهای مویی یا ترکهای ریز در ملات و محل های اتصال دیده میشود.



شکل منفرد، پایه پل را شکل میدهد. پایه پل
همانند ستون بتنی میباشد.



لایه ملات کاملاً نو به نظر میرسد.
توجه شود که این بخشی از پایه میانی
جدید در عملیات مقاومسازی است.
عملکرد بخش مقاومسازی شده کاملاً
خوب است.



ترکهای مویی نزدیک قسمت فوقانی وجود دارند. با این که
شمع پیش- تنیده میباشد و هر نوع ترکی در اعضای
پیشتنیده نشانگر خرابی با اهمیت کم است، اما بالاترین
بخش عضو بدون تنش است و میتوان آنرا
مانند اعضای بتن مسلح در نظر گرفت.

خرابی با اهمیت کم :

❖ بتن:

➤ اعضای بتنی ترکهای ریز دارند. پوسته شدگی کم و موضعی دیده میشود. اما آرماتورها و کابلها هنوز دیده نمیشوند. هیچ ترکی در اعضای پیش تنیده مشاهده نمیشود. ترکهای کششی مویی ممکن است وجود داشته باشد.

➤ مصالح بنایی:

➤ ترکهای متوسط یا بزرگ (با عرض حتی بیش از ۱ میلیمتر) در ملات بین مصالح وجود دارد. اما قطعات سنگ و بلوکها همچنان سر جای خود قرار دارند.

➤ مصالح بدون ملات و یا سنگهای قواره نشده هنوز به خوبی روی هم دارند.

➤ گابیونها نشست و یا افت خیلی کمی دارند و یا تعداد کمی از سیمهای توری گابیون پاره شده اند.

کنده شدن بتن به دلیل ضربه است. اما این آسیب عمیق نیست.





لکه های آب، نشانگر آغاز ایجاد لکه های زنگ است. خصوصاً در محل تلاقی پایه دیواری با عرشه و قسمت فوقانی داغ آب



مقداری سایش و ترک در نمای انتهایی پایه مشاهده میشود. البته ممکن است خرابی ایجاد شده ناشی از عوامل محیطی بیش از مقداری باشد که دیده میشود.

پایه پل و کوله بتنی خرابی با اهمیت متوسط : بتن:

اعضای بتنی ترک متوسط دارند. تورق و پوسته شدن همراه با آشکار شدن آرماتورها نشان از خوردگی شدید و پیشرفته همراه با کاهش سطح مقطع آرماتورها دارد. لکه های زنگزدگی بصورت موضعی دیده میشود. ممکن است بعضی از کابلها نیز مشهود باشند که نشان از آغاز خوردگی آنهاست. ترک خوردگی در اعضای پیشتنیده دیده میشود. ترکهای کششی ریز ممکن است نمایان شود.

مصلح بنایی:

ترکهای بزرگ در ملاتها، شل شدگی بعضی از بلوکها و یا سنگها همراه با ریزش مقداری از خاکریز پشت مصالح مشاهده میشود. توری گابیونها ممکن است تا حدی آسیب دیده و پاره شده باشند و تعدادی از سنگهای درون توریها خالی شده باشد.

این شکل نشانگر خرابی با اهمیت کم است. اما به دلیل شرایط محیطی خورنده و گسترش اثرات آن به سمت بالای عضو و نیز وجود شبکه ترکها، میتوان خرابی این عضو را با اهمیت متوسط تلقی کرد.

پوسته انداختن، نمایان شدن آرماتورها، هوازگی قابل توجه قسمت انتهایی و قلوه کنشدن سطحی نشانه خرابی با اهمیت متوسط است.





❖ پایه پل و کوله بتنی خرابی با اهمیت زیاد:

بتن:

اعضای بتنی ترک‌های بزرگ دارند و تورق شدید همراه با خوردگی پیشرفته آرماتورها یا کابلها دیده میشود و قسمت قابلتوجهی از سطح مقطع اعضا دچار اضمحلال شده است. ترک‌های کششی متوسط در عضو دیده میشود.

مصلح بنایی:

ترکهای بزرگ با عرض بیش از ۲ میلیمتر در ملات دیده میشود. دیوارهای جناحی ساخته شده از مصلح سنگی قواره نشده کاملاً حرکت کرده اند و تعدادی از سنگها از جای خود خارج شده و کنده شده اند. این دیوار دیگر نقش محافظ و نگهدارنده را ندارد.

گابیونها ممکن است خرابی شدیدی داشته باشند و تعداد قابل توجهی از سیمهای توری ها پاره شده و سنگها از داخل آن خارج شده باشند.

به دلیل خسارت ناشی از پوسته زدگی و بیرون پریدگی، ظرفیت مقطع کاهش یافته است. فرض بر این است که خرابی به سرعت گسترش پیدا کند.

مقاوم سازی المان‌ها:

راهکارهای بهسازی دال

راهکارهای بهسازی تیرها

راهکارهای بهسازی ستون‌ها

راهکارهای بهسازی دال

دال ها عملاً وظیفه تحمل بارهای قائم را دارا می باشند ولی چون عملکرد دیافراگم افقی را نیز دارند، باید با اعضای مقاوم جانبی سازه اتصال داشته و از سختی و مقاومت کافی برخوردار باشند.

آسیب های دال معمولاً در قسمت های نامنظم آن مانند محل برخورد با راه پله، دیوار برشی و یا در نزدیکی بازشوهای کف مشاهده می شوند.

اصلاح دال ها نسبت به سایر اعضای سازه ساده تر می باشد و در صورتی که دال به هر دلیلی مقاومت لازم در برابر بارهای وارد بر آن را نداشته باشد می توان از روش های بسیار ساده ای برای بهسازی آن استفاده کرد.

انواع راهکارهای تقویت دال

با توجه به نوع ضعف موجود در دال، راهکارهای مختلفی برای تقویت آن وجود دارد که عبارتند از:

☐ تعمیر موضعی،

☐ افزایش ضخامت دال (از بالا یا پایین)،

☐ اضافه کردن تیرک فولادی،

☐ اضافه نمودن نوارهای فولادی در وجوه دال،

☐ استفاده از مصالح FRP در وجوه دال،

☐ مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی،

☐ بهبود عملکرد دیافراگمی دال.

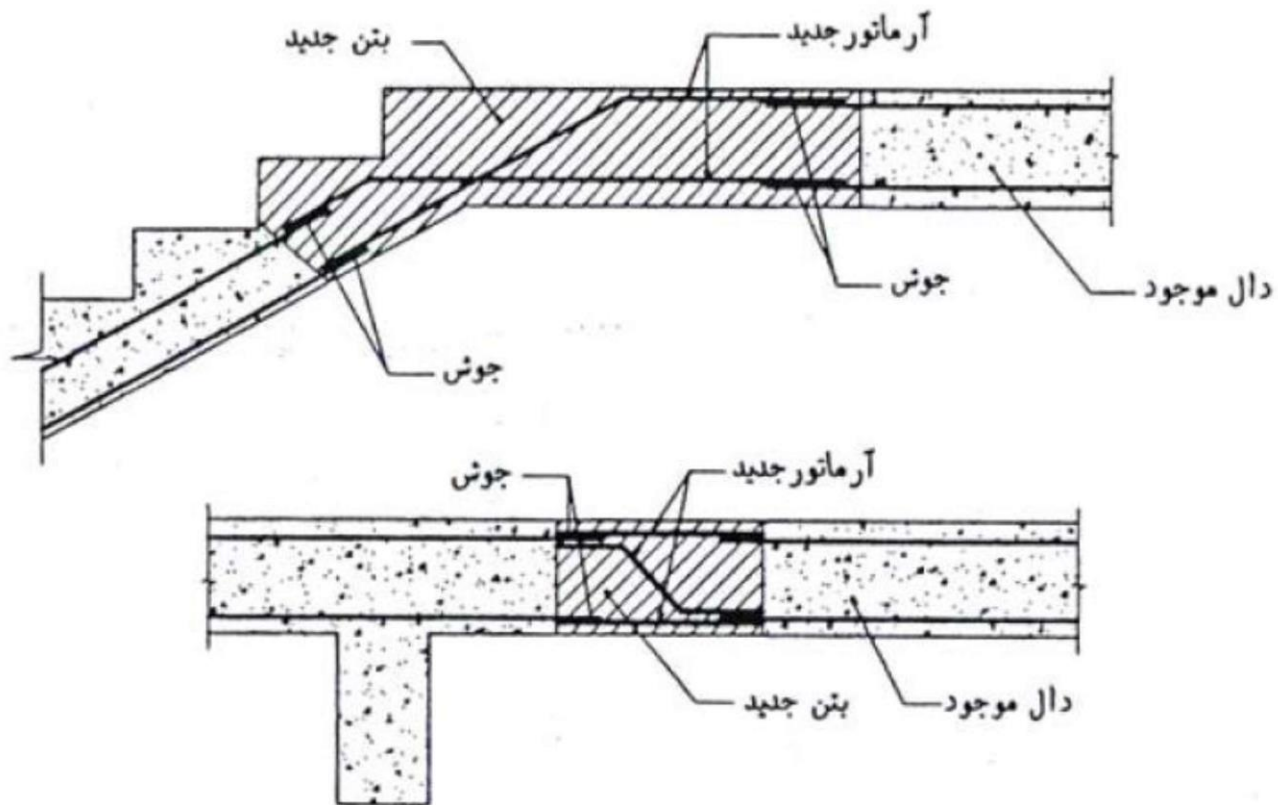
تعمیر موضعی

برای تعمیر ترک های موجود در بتن، مواد پلیمری اپوکسی یا دوغاب سیمان را میتوان در داخل ترکها تزریق نمود.

برای خردشدگی بتن و کمانش و شکست میلگردها باید از راهکارهای تعویض استفاده نمود.

بدین گونه که بعد از جدا نمودن مصالح آسیب دیده، آرماتورهای جدید جایگذاری و به آرماتورهای موجود جوش می گردند. مشخصات بتن جدید باید شبیه به بتن موجود باشد. در مکان هایی که خوردگی شدید باشد، آرماتورهای جدید جایگذاری شده نباید نو و بدون خوردگی باشند، چرا که آرماتورهای جدید و قدیم با یکدیگر تشکیل پیل الکتریکی می دهند که این امر منجر به خوردگی شدید آرماتورها میگردد.

تعمیر موضعی



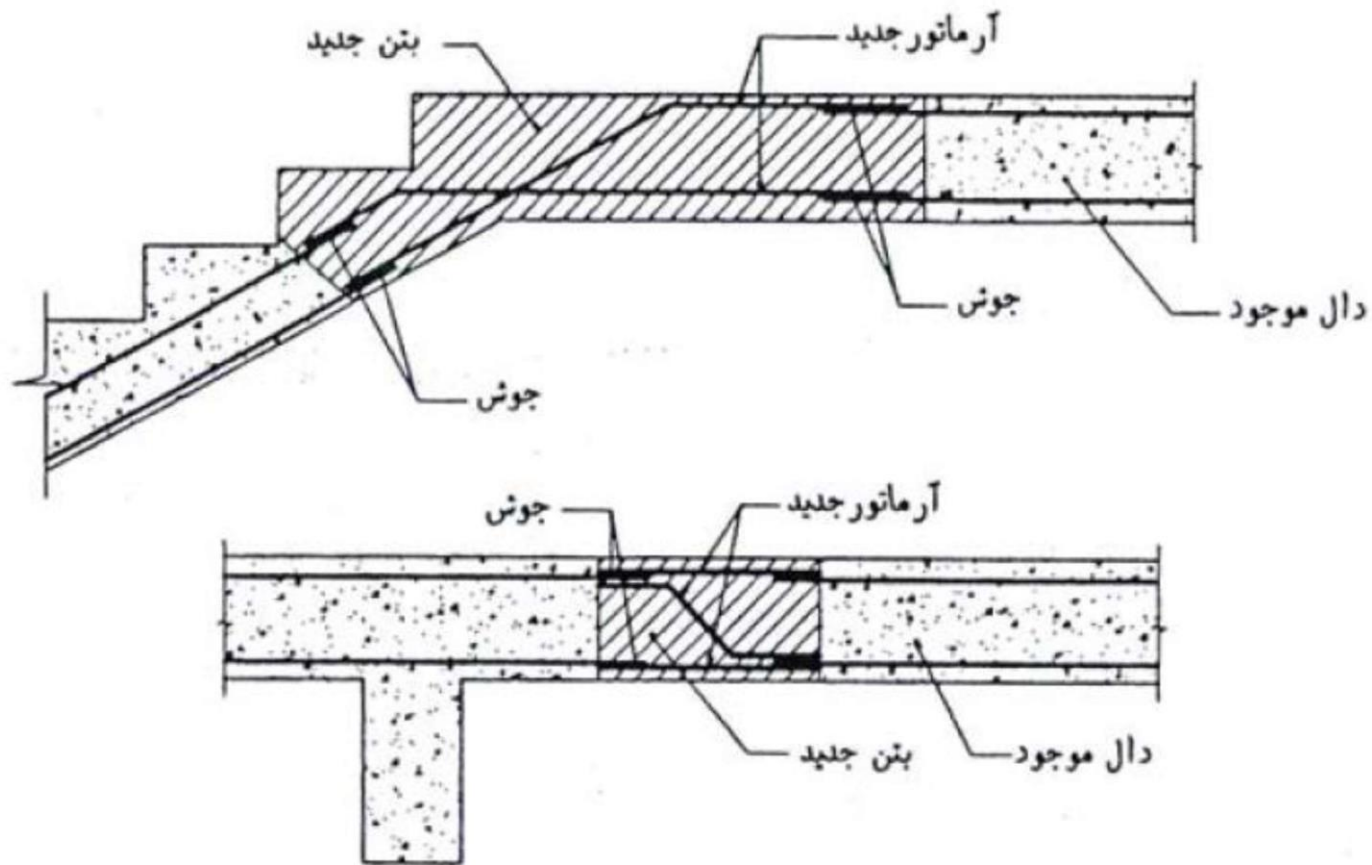
شکل ۲-۳-۱- تعمیر موضعی دال‌های کف و راه‌پله

افزایش ضخامت دال

در مواردی که مقاومت و سختی دال کم باشد، با افزایش ضخامت آن می توان این عیب را رفع نمود. بتن و میلگردهای جدید بر روی سطح و یا زیر دال موجود میتواند اجرا گردد.

در روشی که افزایش ضخامت از قسمت فوقانی آن صورت می گیرد، مقاومت خمشی نیز افزایش می یابد، زیرا علاوه بر افزایش عمق مؤثر، آرماتورهای منفی نیز اضافه میگردند.

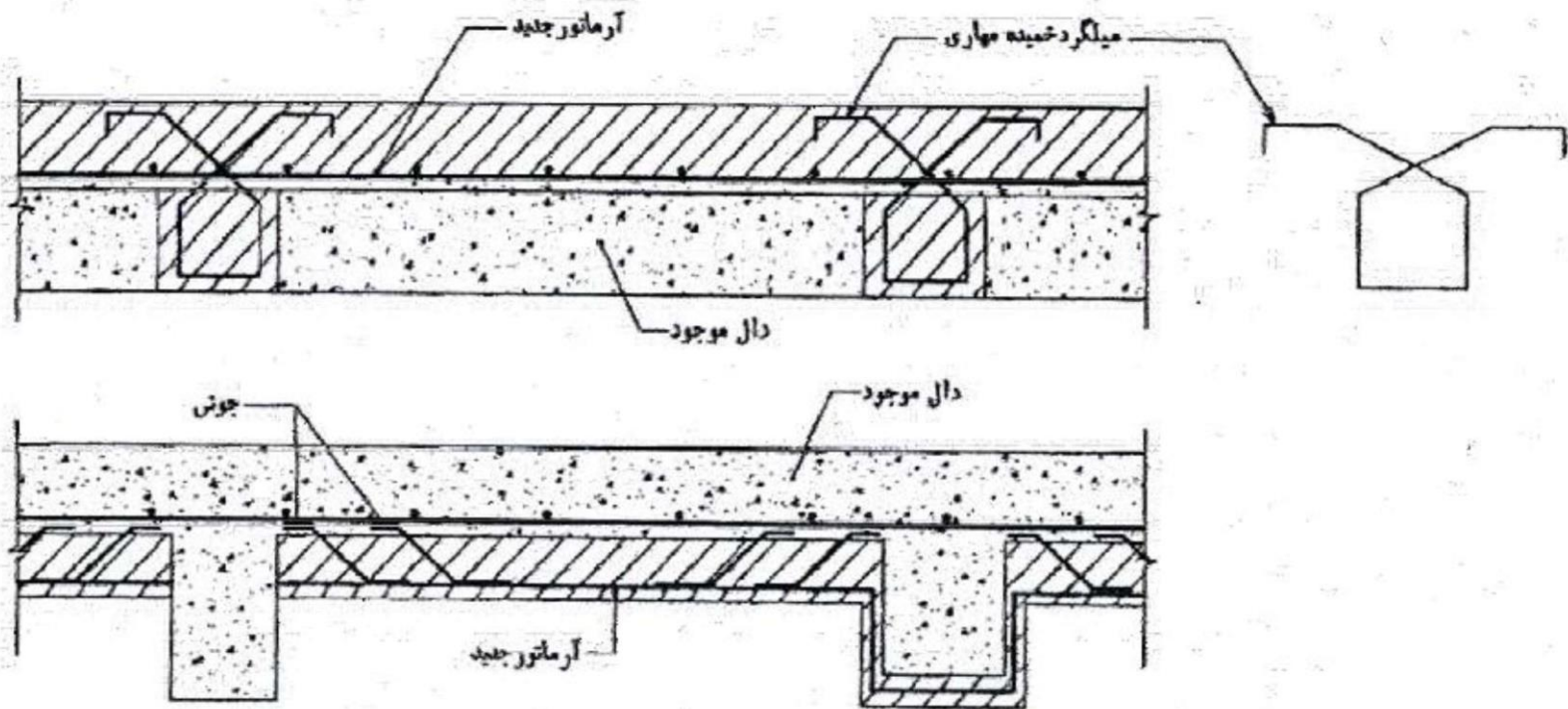
افزایش ضخامت دال



شکل ۲-۳-۱- تعمیر موضعی دال‌های کف و راه‌پله

افزایش ضخامت دال

در روش دیگر که افزایش ضخامت از قسمت زیرین دال می باشد، مقاومت خمشی به علت افزایش آرماتورهای کششی اضافه می گردد.



شکل ۲-۳-۲- افزایش ضخامت دال

افزایش ضخامت دال

با بتن ریزی معمولی می توان ضخامت دال را از قسمت فوقانی افزایش داد، ولی برای افزایش ضخامت دال از قسمت تحتانی آن بهتر است از روش بتن پاشی (شاتکریت) استفاده نمود.

با افزایش ضخامت از روی دال، سختی مورد نیاز برای عملکرد دیافراگمی کف نیز افزایش یافته و به طور کلی این روش نسبت به روش افزایش ضخامت از قسمت تحتانی دال، روش متداول تر و آسان تری می باشد.

اگر افزایش ضخامت دال از قسمت تحتانی آن صورت گیرد، برای بهبود عملکرد دیافراگمی باید تیرها نیز با ژاکت بتنی مقاوم سازی شوند.

افزایش ضخامت دال

برای یکپارچه نمودن دال موجود با بتن مسلح جدید، بکارگیری وصله برشی لازم است. برای اجرای وصله برشی مناسب می توان رو شهای زیر را بکار برد:

سطح زبر، که با خرده سنگ و چسب اپوکسی ایجاد شده باشد

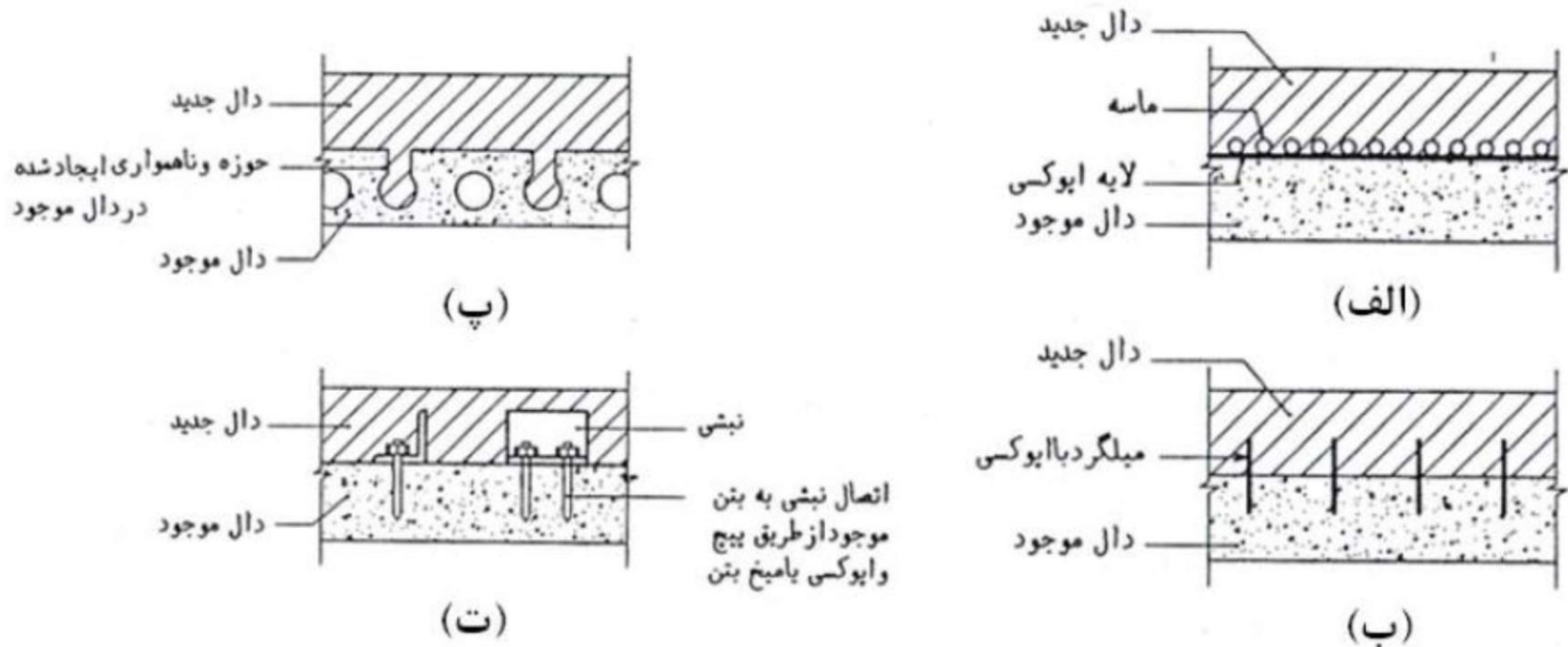
میلگرد میخچه‌ای فولادی (با نبشی یا گل میخ قرار داد)

بتن های اضافی که در داخل فضاهای خالی ایجاد شده در دال اصلی قلاب میشوند

پروفیل نبشی که با میخچه فلزی اجرا می شود و میخچه ها با چسب اپوکسی یا بصورت رول پلاک به بتن قدیم متصل می شود. وجود نبشی منجر به یکپارچه شدن بتن قدیم و جدید میگردد

زبر نمودن سطح بتن اصلی بصورت کاملاً مشخصی چسبندگی بین بتن اصلی و جدید را افزایش می دهد. این عمل را می توان با ماسه پاشی، جت آب و یا تراشیدن سطح بتن انجام داد.

افزایش ضخامت دال



شکل ۲-۳-۴- روش‌های متداول درگیر نمودن بتن جدید و قدیم در راهکار افزایش ضخامت دال

اضافه کردن تیرک فولادی

از روش های سنتی و بسیار موثر تقویت دال، اضافه نمودن تیرک فولادی میباشد. از مزایای آن میتوان به سادگی اجرا، عدم افزایش وزن دال ، افزایش ارتفاع موثر دال ، کاهش ارتعاش کف، ایجاد خیز معکوس برای رفع افتادگی و افزایش سختی دیافراگم کف اشاره نمود. اضافه کردن تیرک فولادی باید به گونه ای انجام شود که با رفتار طبیعی دال هماهنگ باشد.

برای تیرک فولادی آرایشهای متفاوتی می توان در نظر گرفت:

آرایش موازی که در این حالت تیرک ها بصورت یکطرفه عمل می نمایند.

آرایش متقاطع که تیرک ها عمود بر یکدیگر بصورت (+) در زیر دال قرار داده می شوند.

اضافه کردن تیرک فولادی



شکل ۲-۳-۵- اضافه کردن تیرک فولادی

اضافه کردن تیرک فولادی

مراحل اجرای تیرک فولادی مطابق زیر می باشد:

نصب صفحه تکیه گاهی برای اجرای تیرک فلزی.

نصب تیرک فلزی در محل.

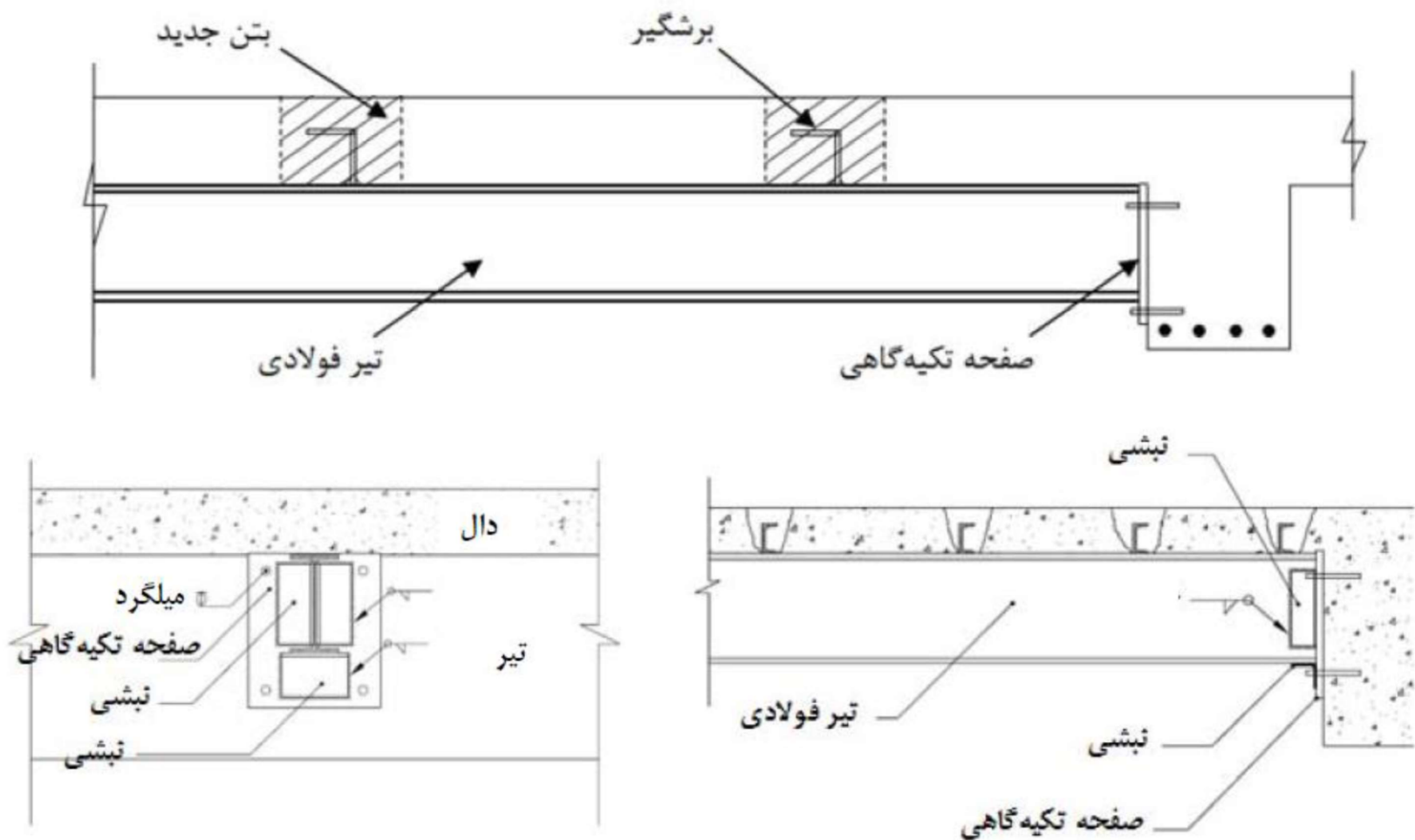
جک زدن زیر تیرک بطوریکه آنرا محکم به دال بچسباند و حتی خیز اولی های در دال ایجاد نماید. در این حالت باربرداری کامل یا ناقص از دال صورت می گیرد.

نصب اتصالات برشگیر و بتن ریزی در اطراف آن

تکمیل اتصال تکیه گاهی تیرک.



اضافه کردن تیرک فولادی



شکل ۲-۳-۶- جزئیات اجرایی تیرک فولادی

اضافه نمودن نوارهای فولادی

یکی دیگر از روش های افزایش مقاومت دال، اضافه نمودن ورق های فولادی از طریق چسباندن و یا بولت کردن آنها در وجوه افقی دال می باشد. در این روش مقاومت خارج از صفحه دال به شکل کاملاً محسوسی افزایش می یابد.

بر خلاف روش افزایش ضخامت دال، این روش منجر به افزایش وزن سازه نمی گردد و همچنین مشکلاتی را که روش مقاوم سازی با تیر فولادی برای معماری ساختمان ایجاد می نماید، ندارد. زیرا ضخامت ورق فولادی نسبت به ارتفاع تیر ک فولادی بسیار کم می باشد.



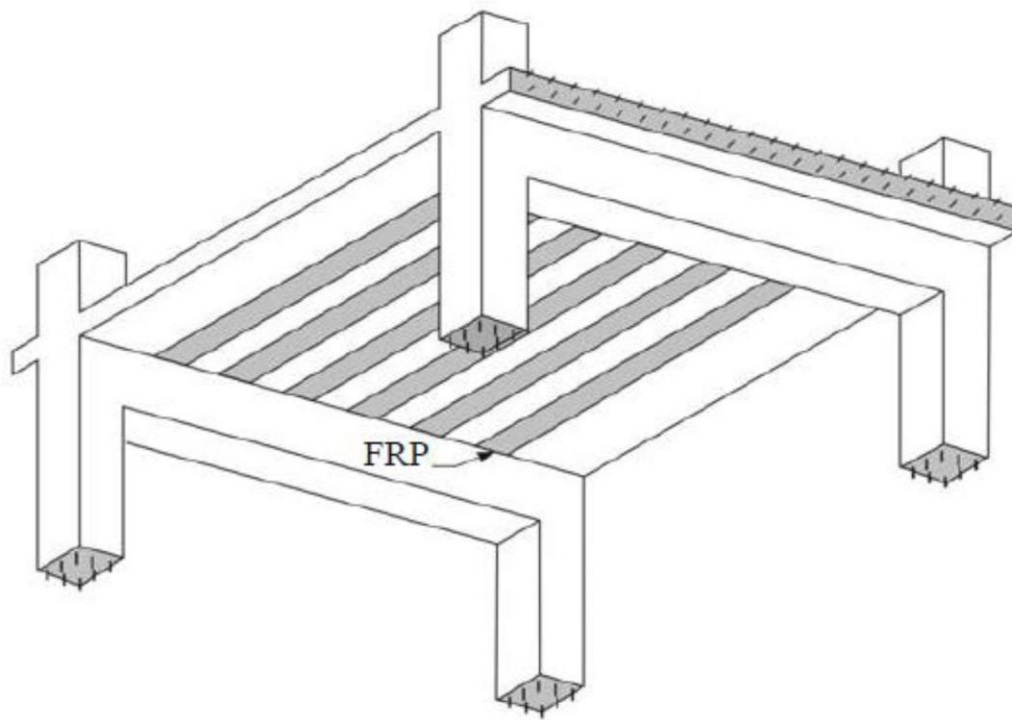
اضافه نمودن نوارهای فولادی



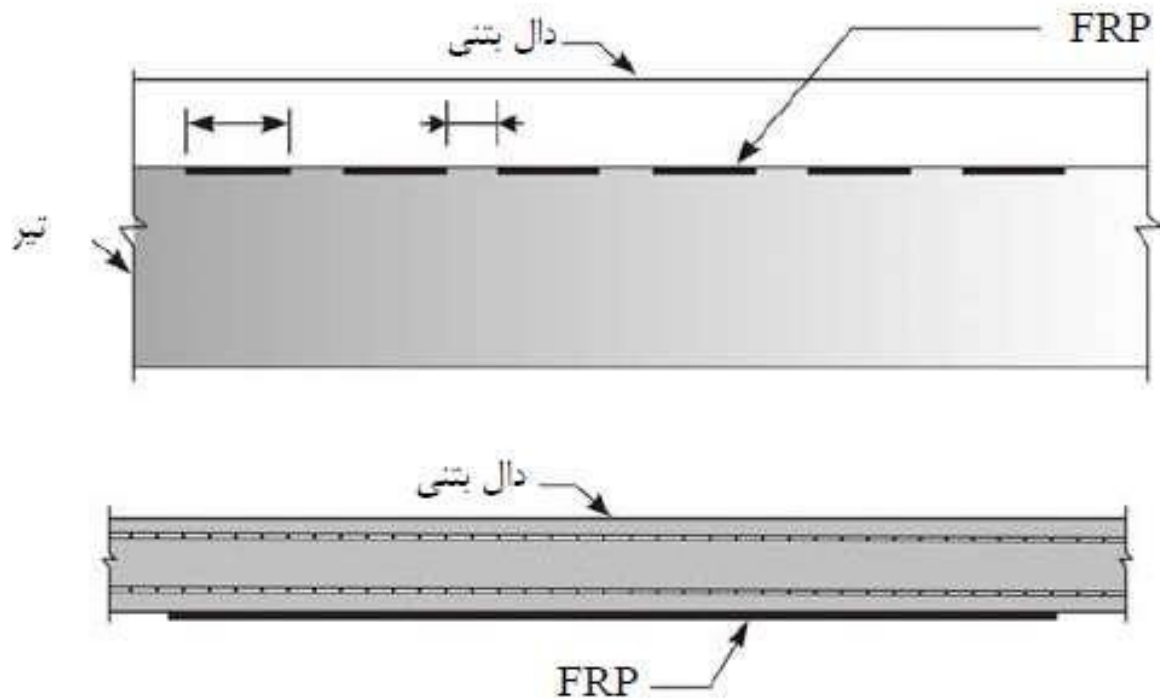
شکل ۲-۳-۷- تقویت دال‌ها با استفاده از ورق‌های فولادی

استفاده از مصالح FRP

از دیگر راه های تقویت خمشی دال ها بطور موضعی، استفاده از مصالح FRP می باشد. بکارگیری مصالح پلیمری مسلح شده با الیاف بجای مصالح سنتی و شیوه های موجود روشی است که امروزه در دنیا متداول می باشد. مصالح FRP ضمن سبکی از مقاومت کششی بالائی برخوردار می باشند. با وجود قیمت بالای مصالح FRP، نحوه اجرای آن بسیار آسان و ارزان می باشد.

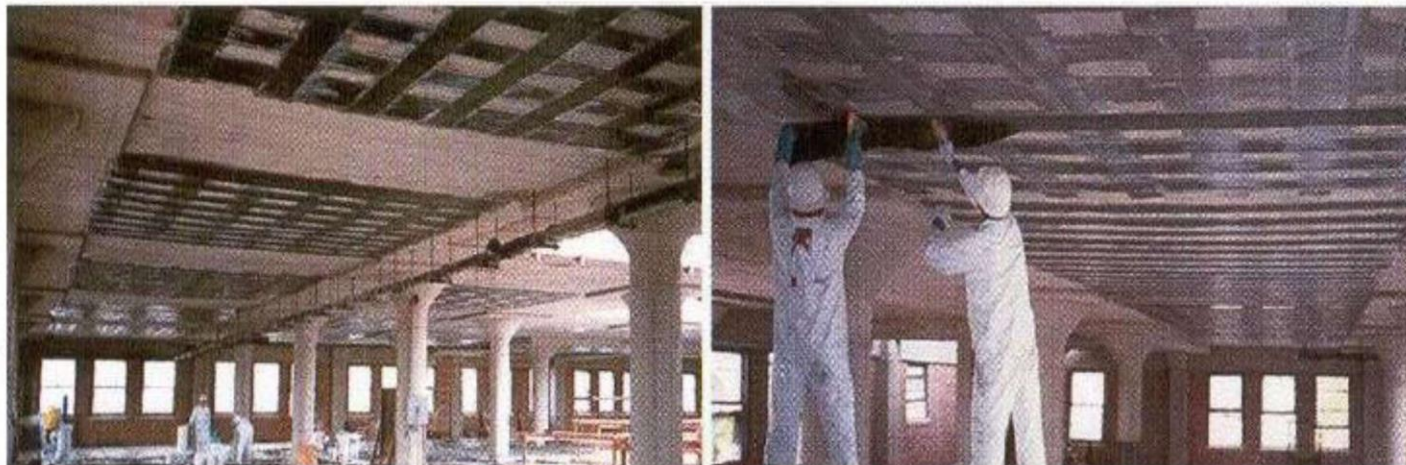
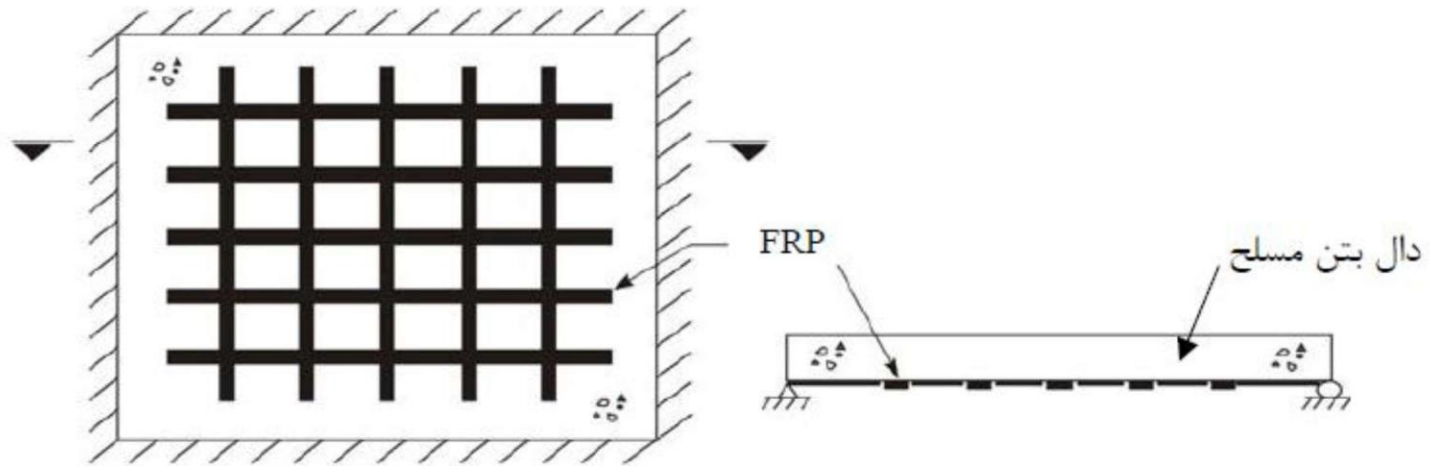


استفاده از مصالح FRP



شکل ۲-۳-۸- تقویت خمشی دال با نوارهای FRP در جهت اصلی

استفاده از مصالح FRP

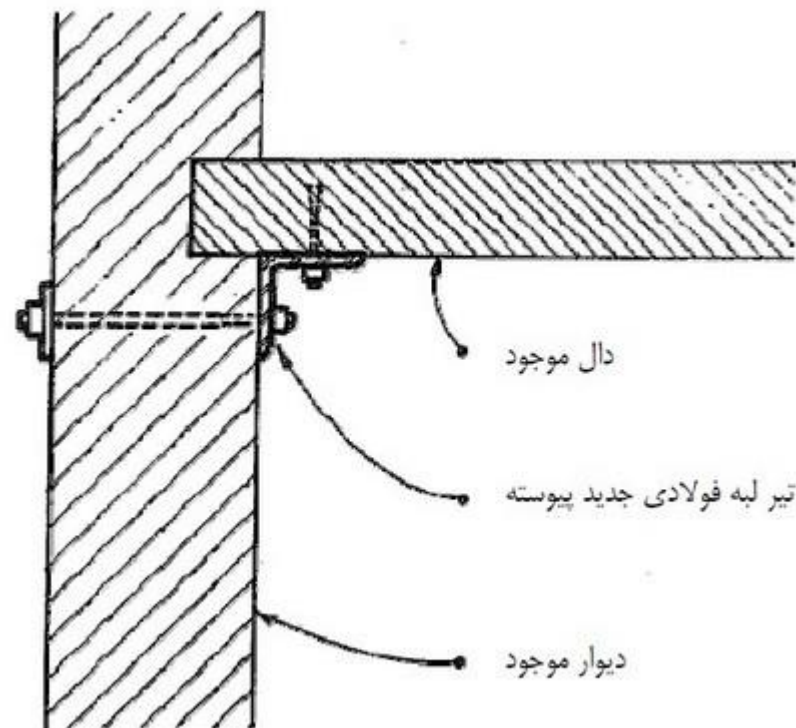
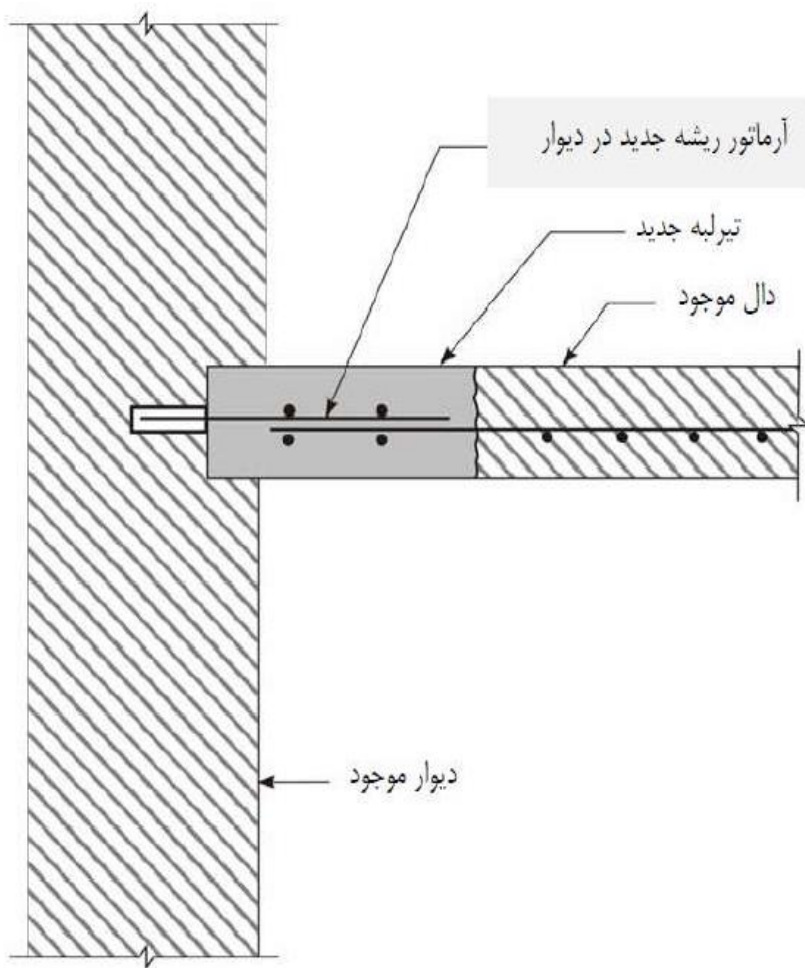


شکل ۲-۳-۹- تقویت دال با نوارهای FRP در دو جهت

مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی

همان گونه که در قسمت های قبلی نیز بدان اشاره شد، **آسیب های دال بیشتر در قسمت های نامنظم آن، مانند محل اتصال دال به دیوار برشی مشاهده می شوند.** از سویی بدلیل اینکه دال ها باید به عنوان دیافراگم افقی با تمام المان های مقاوم جانبی نیز اتصال داشته باشند، لذا **وجود اتصالی قوی بین دال و دیوار برشی ضروری است .** بهسازی اتصال دال به دیوار را می توان به کمک **میلگردهای اتصال (میلگرد ریشه)** انجام داد.

مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی



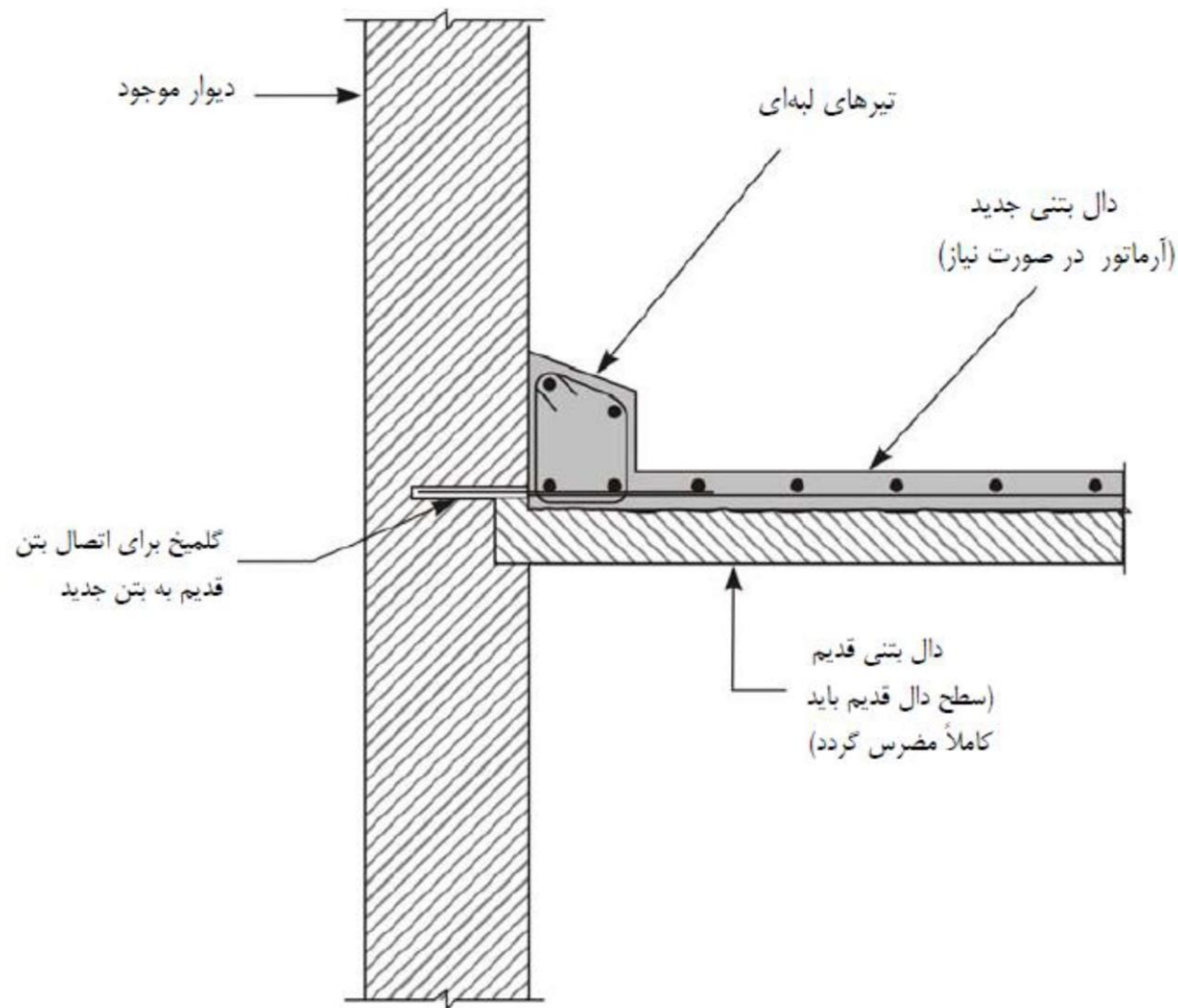
شکل ۲-۳-۱۶- بهسازی دال با اضافه کردن تیر لبه‌ای

مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی

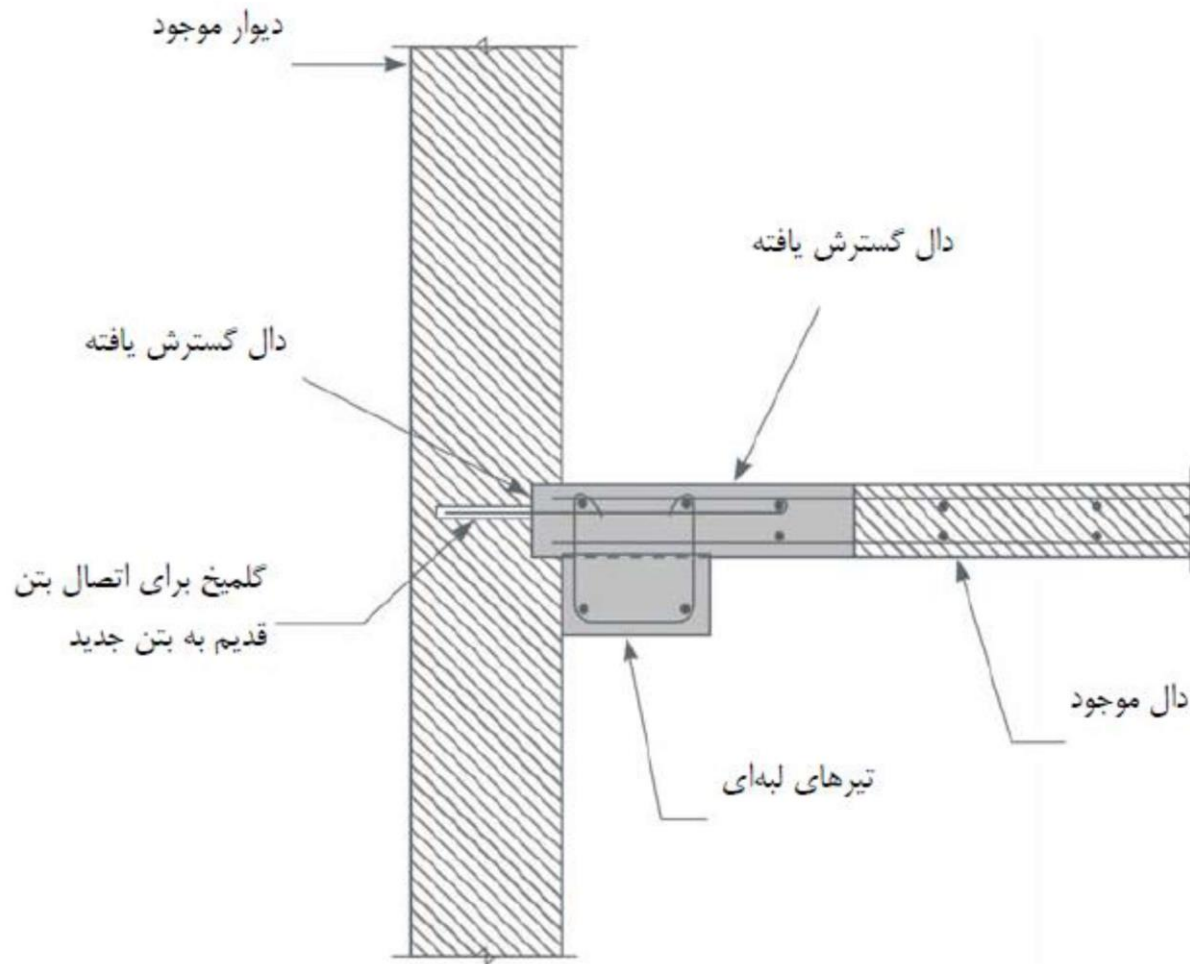
پس از ایجاد شکاف در دال و قسمت هایی از دیوار، سوراخ هایی در دیوار تعبیه می گردند به گونه ای که بتوان میلگردهای ریشه را از طریق این سوراخ ها توسط چسب اپوکسی به دیوار متصل نمود . سپس شکاف موجود با بتن قوی منبسط شونده ای پر می گردد تا از عملکرد صحیح اتصال اطمینان حاصل گردد.

یکی دیگر از روش های تقویت اتصال دال به دیوار برشی اضافه کردن تیرهای لبه ای و تقویت در نواحی مرزی می باشد . در این روش می توان قسمت مرزی دال و دیوار را تخریب و با کاشت آرماتور، تیرهای لبه ای ایجاد نمود . تیر لبه ای را می توان در قسمت فوقانی دال و یا تحتانی اجرا نمود.

مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی



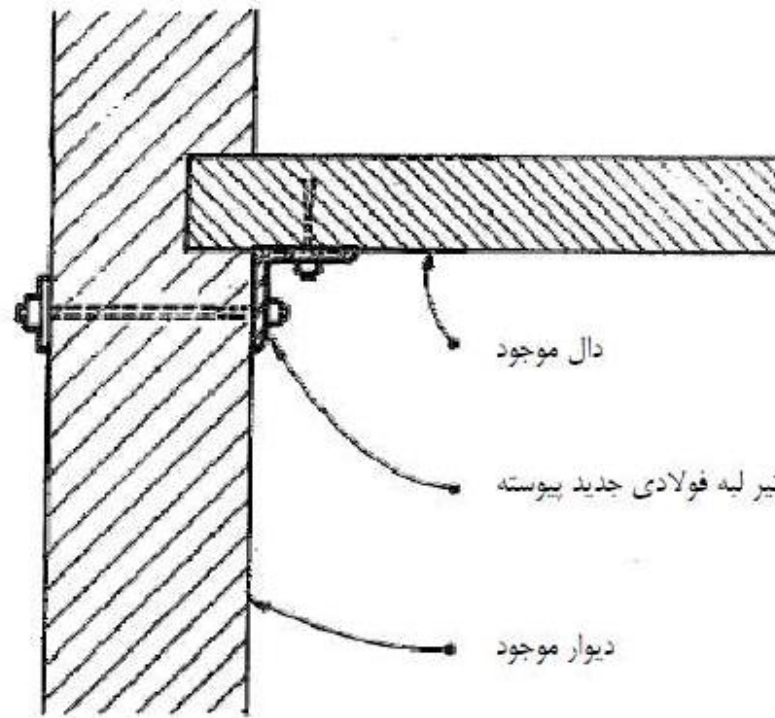
مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی



شکل ۲-۳-۱۸- بهسازی دال با اضافه کردن تیر لبه‌ای از پایین

مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی

روش دیگر برای مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی، پیچ نمودن نبشی در محل تماس دال با دیوار می باشد. این روش برای سیستمهای پیش ساخته نیز بسیار مناسب می باشد.



شکل ۲-۳-۱۹- بهسازی اتصال دال و دیوار پیش ساخته

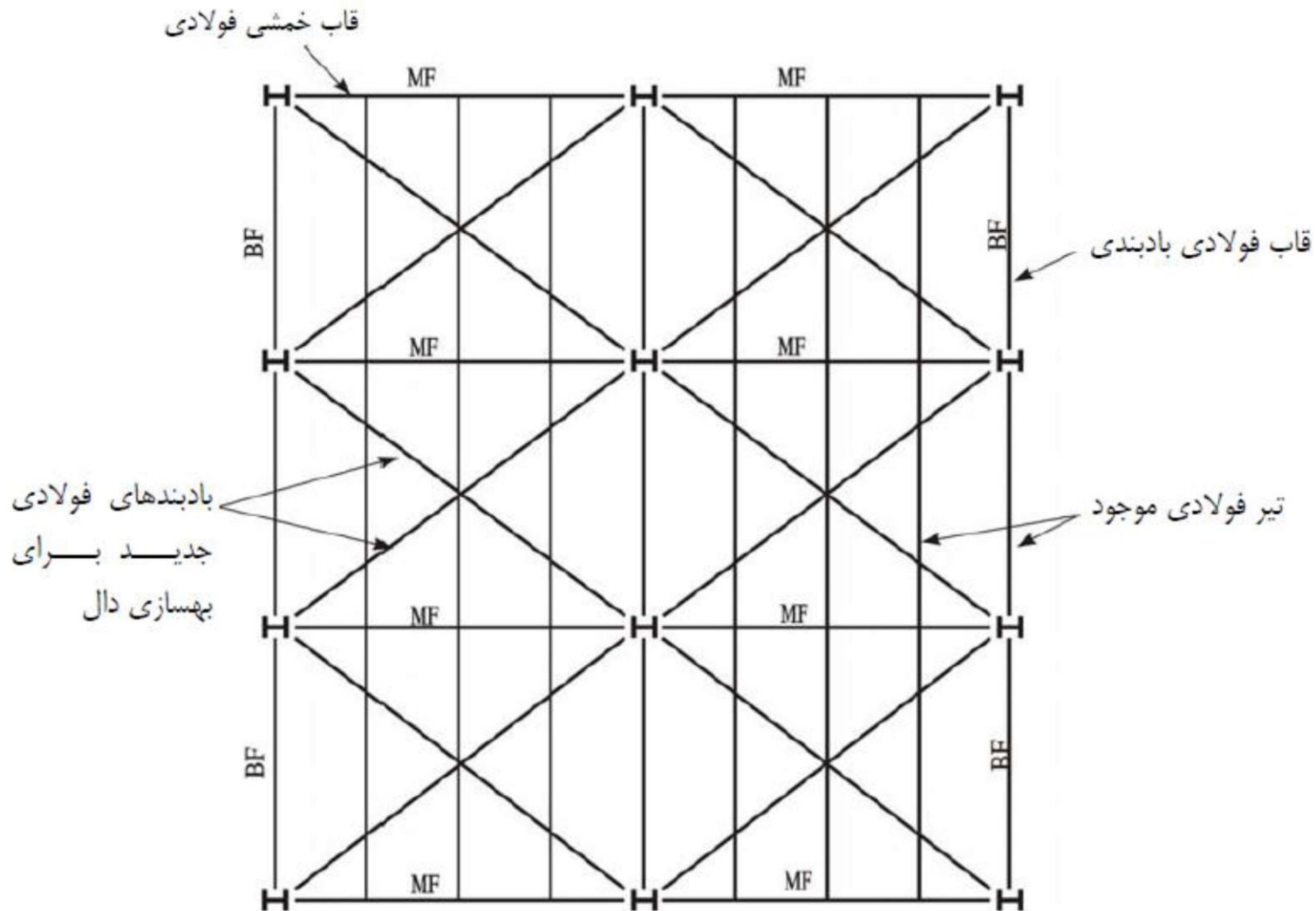
بهبود عملکرد دیافراگمی دال

از مواردی دیگری که می توان در بهسازی دال ها به آن اشاره کرد، تقویت دال برای بهبود عملکرد دیافراگمی آن می باشد.

دال ها علاوه بر تحمل بار قائم، وظیفه انتقال بارهای جانبی را نیز بر عهده دارند.

بدین منظور می توان راهکارهایی مانند اضافه نمودن مهاربند افقی برای اصلاح سختی دیافراگم و یا بهسازی بازشوهای موجود در دال را بکار گرفت.

بهبود عملکرد دیافراگمی دال



شکل ۲-۳-۲- بهسازی دیافراگمها بوسیله مهاربندهای افقی

راهکارهای بهسازی تیرها

تیرها عموماً بصورت افقی و یا شیبدار در سازه قرار می گیرند و بارهای قائم وارده بر محور خود را به ستون ها منتقل می نمایند. در سازه های با قاب خمشی، تیرها علاوه بر تحمل بارهای ثقیلی باید بارهای جانبی ناشی از زلزله را نیز تحمل نمایند.

در زلزله های شدید ستون ها نباید آسیبی ببینند و مفصل های خمیری خمشی و برشی باید به تیرها و یا بادبندها منتقل شوند بدین منظور به هنگام مقاوم سازی، همواره تیر مقاوم سازی شده نباید قویتر از ستون متصل به آن باشد.

معایب تیرها بر اثر طراحی نادرست، جزئیات ناقص، ساخت نامناسب و کیفیت پایین مصالح می باشد.

راهکارهای بهسازی تیرها

بر اساس نوع تیر (بتنی یا فولادی) و معایب آن روش های متعددی برای بهسازی تیر ها وجود دارد که در ادامه به آن پرداخته شده است. عوامل مؤثر در انتخاب طرح مقاوم سازی تیر عبارتند از:

میزان دسترسی به تیر در محل (دسترسی به کل محیط تیر)

وضعیت بارهای وارده (بارهای یکنواخت، بارهای متناوب و رفت و برگشتی)

میزان افزایش مقاومت برشی و خمشی مورد نیاز

دسترسی به اناء مصالح برای مقاوم سازی

ملاحظات اقتصادی

در برخی موارد ارزانترین روش، بهترین انتخاب است اما گاهی اوقات کار باید در کوتاهترین زمان ممکن تمام شود. در بعضی از موارد ابعاد هندسی مقاطع نباید بزرگ شود و گاهی نیز از مصالحی باید استفاده نمود که دوام بالا و مقاومت خوبی در برابر خوردگی دارند.

تیرهای بتن مسلح

شکست های برشی و خمشی، دو حالت عمده شکست در تیرهای بتن مسلح میباشند. شکست خمشی عموماً نسبت به شکست برشی، ارجح است زیرا رفتار شکل پذیرتری از خود نشان می دهد. شکست نرم امکان پخش مجدد تنش را فراهم می آورد و به کاربران و حاضران در محل نیز فرصت بیشتری برای پی بردن به وضعیت بحرانی تیر میدهد.

برای تقویت تیرهای بتن مسلح می توان از راهکارهای زیر استفاده نمود:

روکش بتن مسلح

روکش FRP

روکش فولادی

پیش تنیدگی خارجی

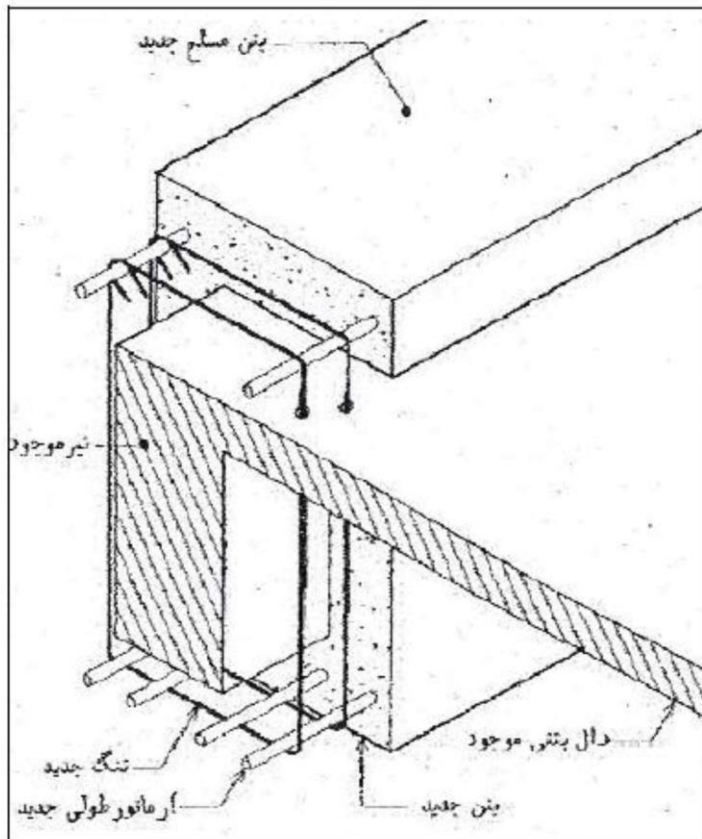
تیرهای بتن مسلح



شکل ۲-۴-۱- نمونه‌هایی از آسیب‌دیدگی تیرهای بتنی

روکش بتن مسلح

در تیرها می توان از روکش بتنی در سه و یا چهار وجه تیر برای بهسازی و افزایش مقاومت آن استفاده نمود . با این روش می توان ناحیه کششی و فشاری تیر را با روکشهای بتنی جدید تقویت کرد.



شکل ۲-۴-۲- اجرای روکش بتنی برای افزایش مقاومت تیرهای بتنی

روکش بتن مسلح



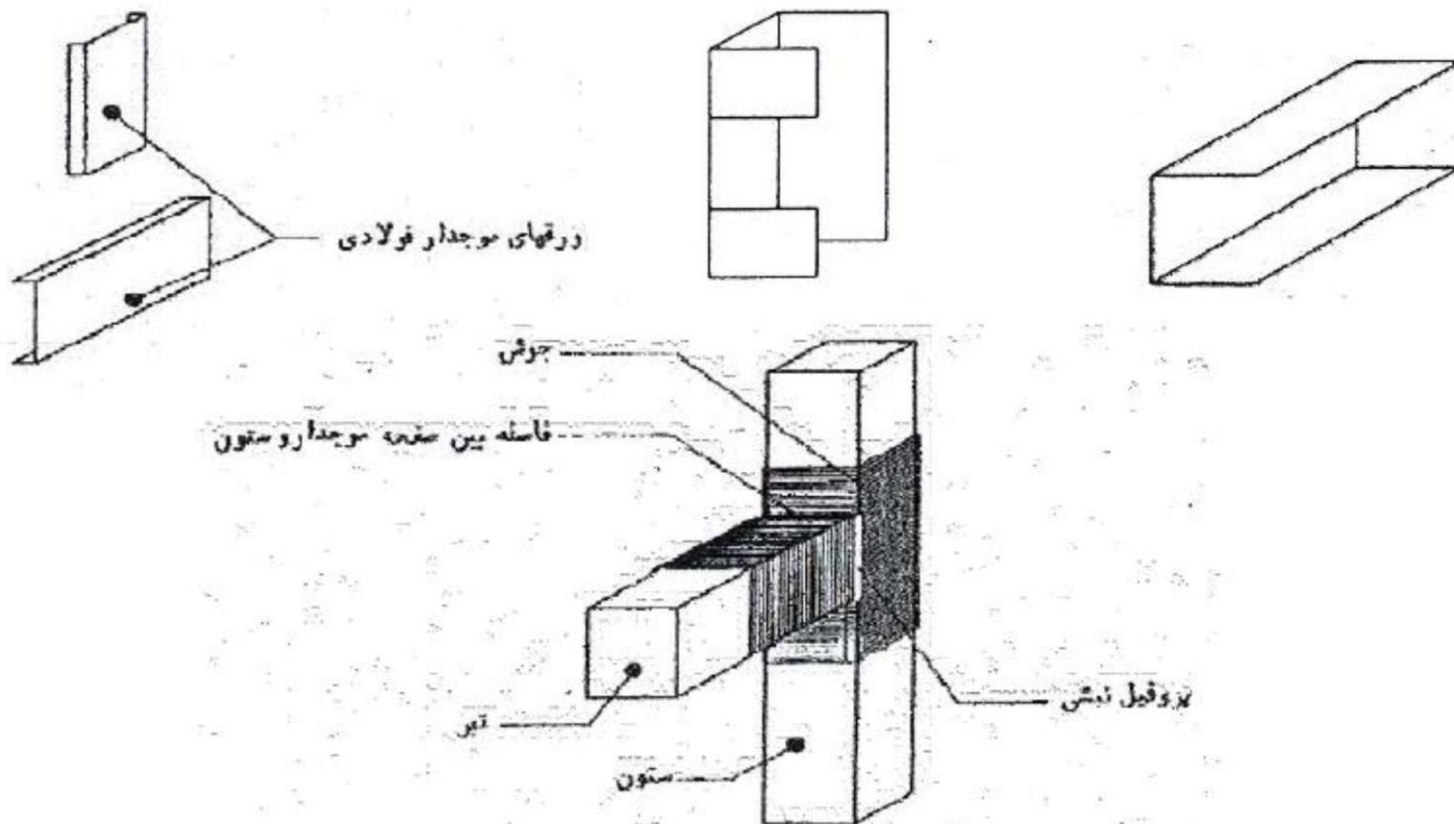
شکل ۲-۴-۴- استفاده از روکش بتنی در مقاوم سازی تیرها

روکش فولادی

برای تقویت خمشی تیرها می توان ورق هایی به ضخامت کم را با رزین اپوکسی به وجه کششی تیر چسباند . چسباندن ورق به وجه قائم تیرها در نزدیکی تکیه گاه ها موجب افزایش ظرفیت برشی و چسباندن ورق به بال تحتانی موجب افزایش ظرفیت خمشی تیر می گردد.

در صورت نیاز به استفاده از ورقه هایی با ضخامت بیشتر باید از پیچ ها و بولت های مهاری برای انتقال برش استفاده نمود . در این حالت نیز توصیه می شود ابتدا ورق فولادی با چسب اپوکسی چسبانده شده و بعد پیچ ها به صورت میان گذار یا کاشته شده مورد استفاده قرار گیرد.

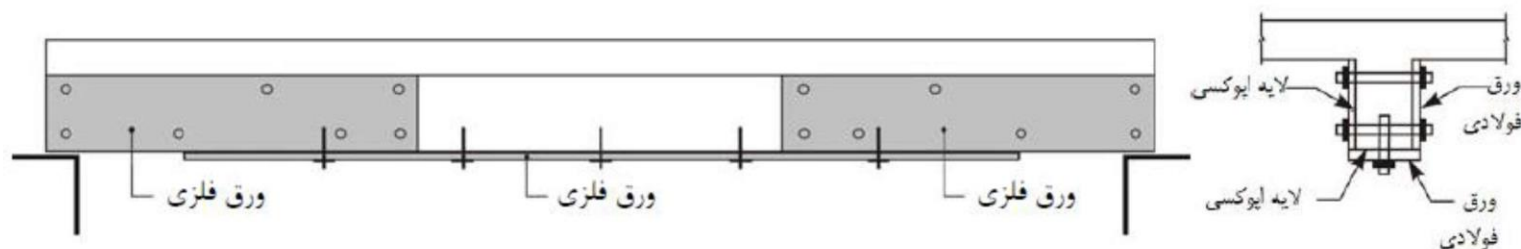
روکش فولادی



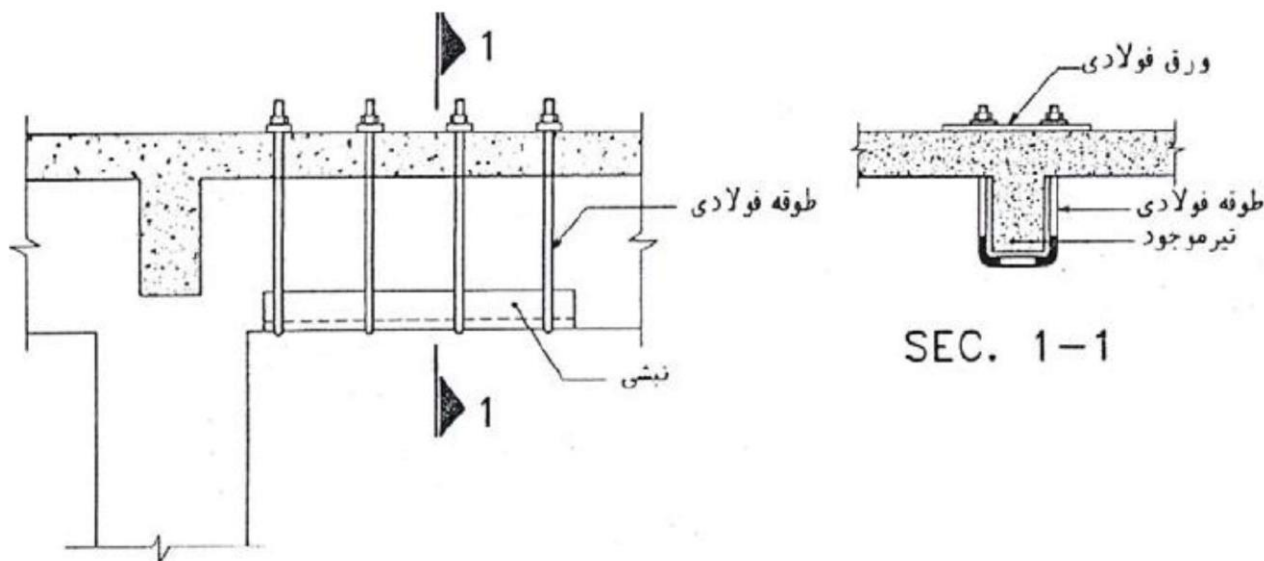
شکل ۲-۴-۵- تقویت خمشی و برشی تیرها با چسباندن ورق‌های فولادی با ضخامت کم با چسب اپوکسی

روکش فولادی

میتوان بجای استفاده از ورق های فولادی که در وجوه تیر نصب می شوند از قفس های فولادی بصورت نبشی و رکابی استفاده نمود.



شکل ۲-۴-۶- تقویت خمشی و برشی تیرها با ورق فولادی



شکل ۲-۴-۷- تقویت خمشی و برشی تیرها با قفس فولادی شامل نبشی و رکابی

استفاده از مصالح FRP

مقاوم سازی اعضای بتنی با مصالح کامپوزیتی FRP روش نسبتاً جدیدی به شمار میرود. مصالح FRP خواص فیزیکی مناسبی دارند که می توان به مقاومت کششی بالا و ضخامت و وزن کم اشاره نمود.

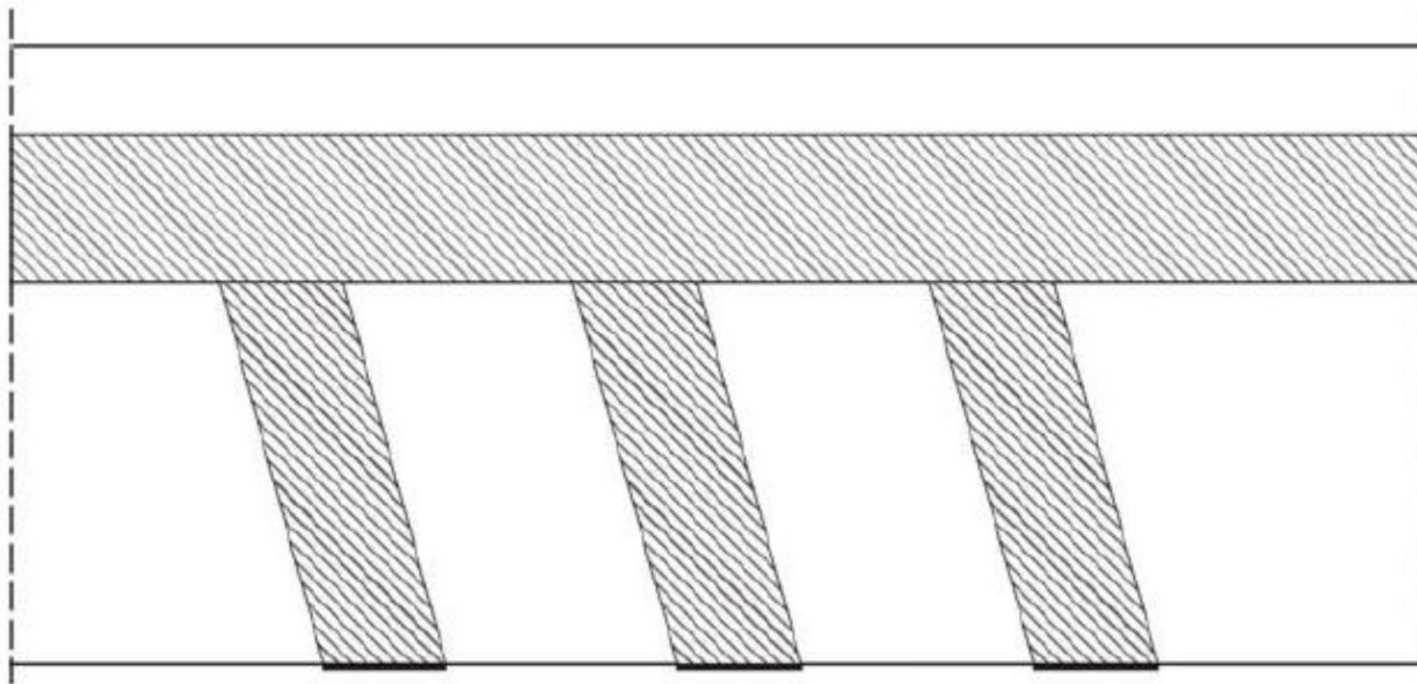
مصالح FRP را می توان برای افزایش مقاومت خمشی، مقاومت برشی و مقاومت پیچشی تیر بکار برد. در هنگام استفاده از مصالح FRP باید سطح بتن و سطح FRP را آماده نمود.

تقویت خمشی تیر با مصالح FRP



شکل ۲-۴-۸- کاربرد مصالح FRP در مقاوم سازی

تقویت برشی تیر با مصالح FRP



شکل ۲-۴-۱۳- نمایش از تقویت برشی

افزایش مقاومت موضعی تیرهای دارای سوراخ با مصلح FRP



شکل ۲-۴-۱۵- تقویت موضعی سوارخ‌ها در تیر FRP

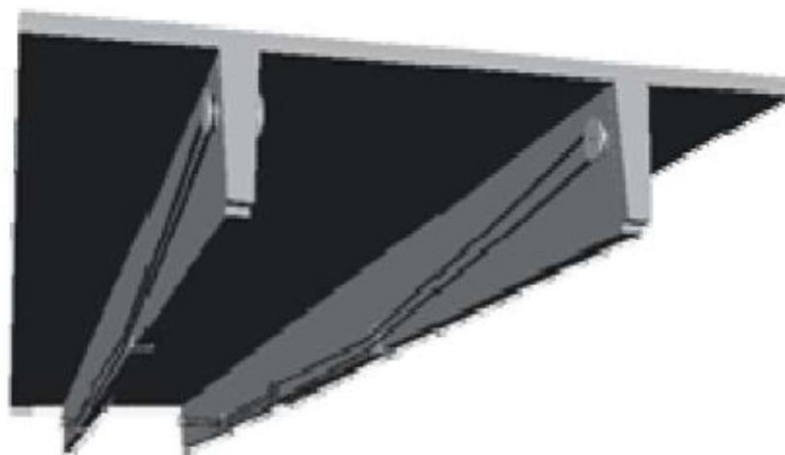
استفاده از پیش تنیدگی خارجی در تیر بتنی

پیش تنیدگی خارجی جز روش های نوین مقاوم سازی می باشد. کابل های پیش تنیدگی بکار گرفته شده برای این کار از همان نوع کابل ها و مفتول های متداول در کارهای پیش تنیدگی هستند.

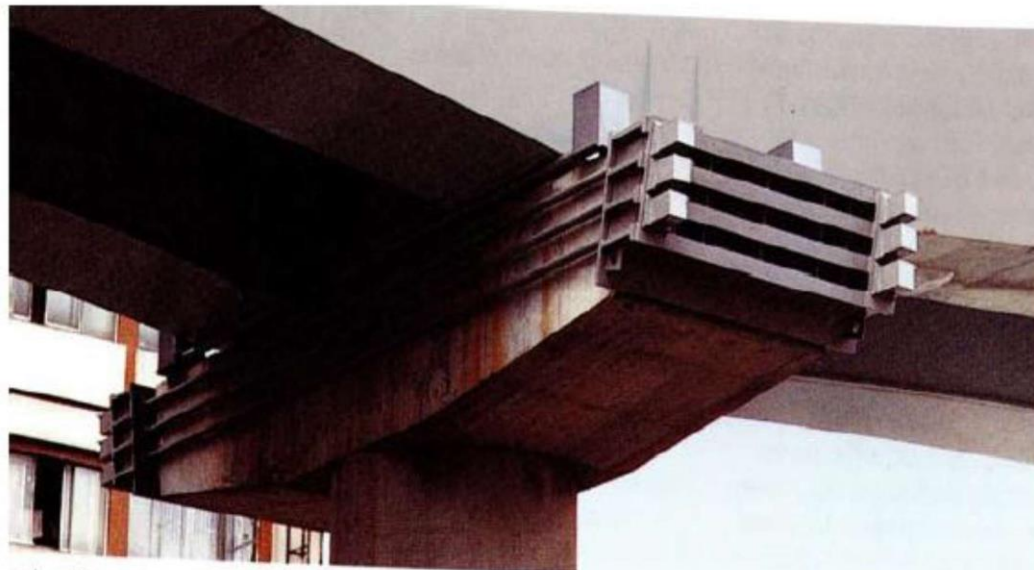
مقاوم سازی بدین روش می تواند **موضعی** و یا **کلی** باشد. در حالت کلی نیروهای پیش تنیدگی که به سازه مقاوم شده القا میگردند، منجر به باز توزیع نیروهای داخلی گشته و باعث کاهش تنش ها در اعضا نسبت به حالت اولیه آنها می شوند. با این حال ممکن است در برخی دیگر از اعضای سازه، پیش تنیدگی موجب افزایش تنش گردد. به همین دلیل در استفاده از پیش تنیدگی خارجی باید آنالیز تنش در سازه مقاوم سازی شده به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

استفاده از پیش تنیدگی خارجی در تیر بتنی

جدا از مسئله مهارها، به هنگام استفاده از کابل های پیش تنیدگی یک سری المانهای اضافی که اکثرا شامل انواع مختلفی از سخت کننده هاست، مورد نیاز است . این امر به ویژه در پیش تنیدگی موضعی دیده می شود زیرا پیش تنیدگی، نیروهای متمرکز جدیدی شامل نیروهای محوری اضافی در اعضا بوجود می آورد، از این رو اعضا باید بصورت موضعی برای حفظ پایداریشان تقویت شوند.



استفاده از پیش تنیدگی خارجی در تیر بتنی



شکل ۲-۴-۱۹- روش استفاده از پیش تنیدگی کلی در مقاوم سازی تیرها



شکل ۲-۴-۲۰- روش استفاده از پیش تنیدگی موضعی در مقاوم سازی تیرهای بتنی

تیرهای فولادی

عمده خرابی موجود در تیرهای فلزی شامل کمانش کلی و موضعی بال و جان و گسیختگی در محل درزها و وصله ها می باشد. از آنجایی که قسمتی از مقطع تحت فشار است، خطر کمانش در این ناحیه وجود دارد. این کمانش به دو صورت ممکن است رخ دهد:

کمانش موضعی: بدین ترتیب که بال و یا جان نیمرخ به طور موضعی در مقابل تنشهای فشاری کمانش کند.

کمانش کلی: بدین ترتیب که ناحیه فشاری مقطع، همانند ستون تحت فشار به صورت کلی دچار کمانش شود.

دلایل اصلی این خرابی ها عبارتند از:

سطح مقطع کم تیر

عدم فشردگی مقطع

لاغری بیشتر از حدود مجاز

خستگی

ایجاد ناحیه متأثر از حرارت بر اثر جوشکاری زیاد

ضعف درجوش ها

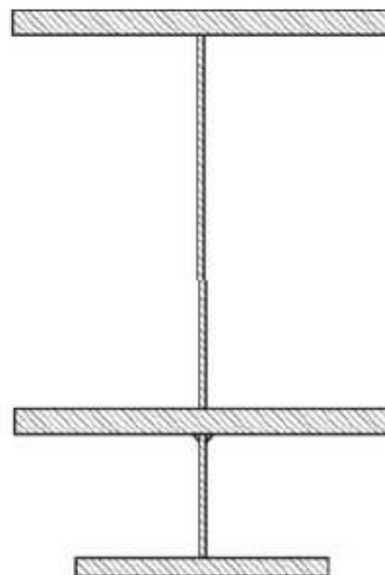
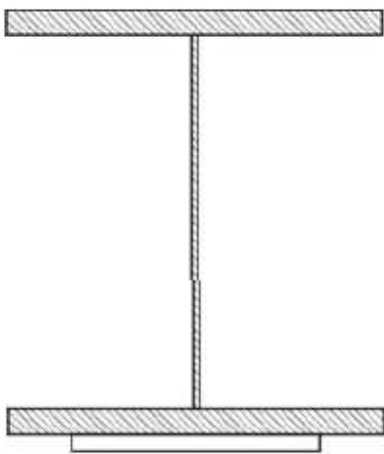
زنگ زدگی و خوردگی تیر

تقویت تیرهای فولادی با روکش فولادی

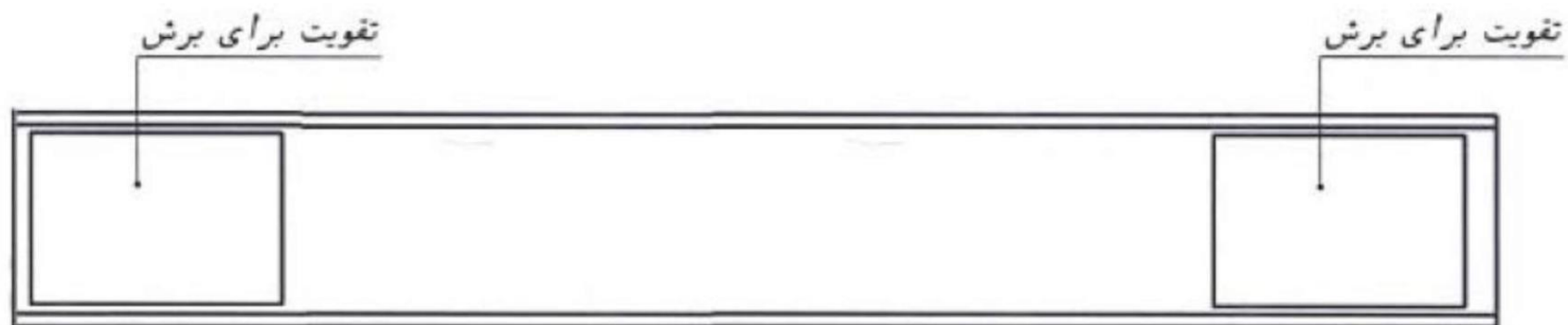
برای **تقویت برشی جان تیر** میتوان از دو روش استفاده نمود:

اضافه نمودن ورقهای موازی با جان تیر

اضافه نمودن سختکننده های جان

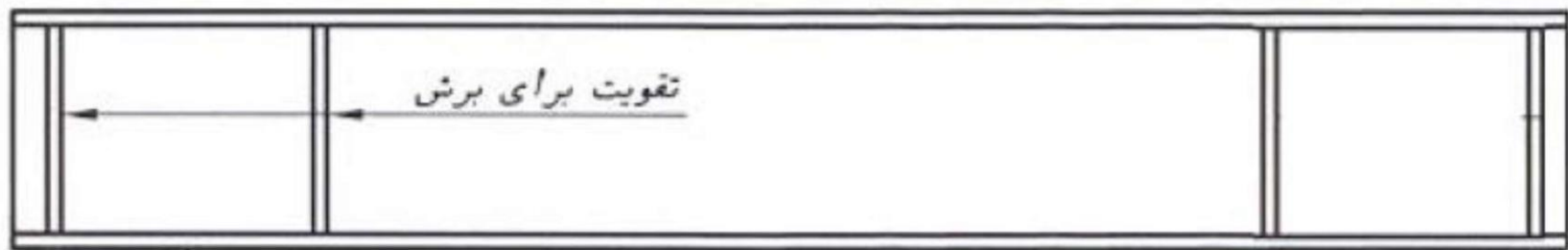


اضافه نمودن ورقهای موازی با جان تیر



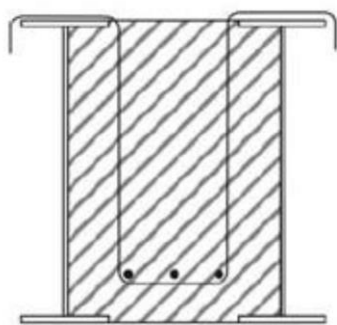
شکل ۲-۴-۲۲- اضافه نمودن ورق به صورت موازی با جان تیر

اضافه نمودن سخت کننده های جان

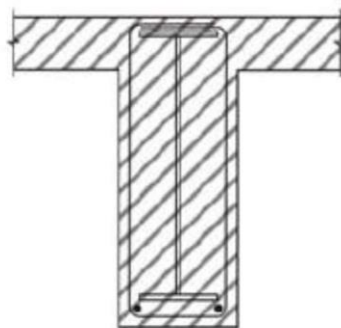


شکل ۲-۴-۲۳- اضافه نمودن ورق های سخت کننده عرضی

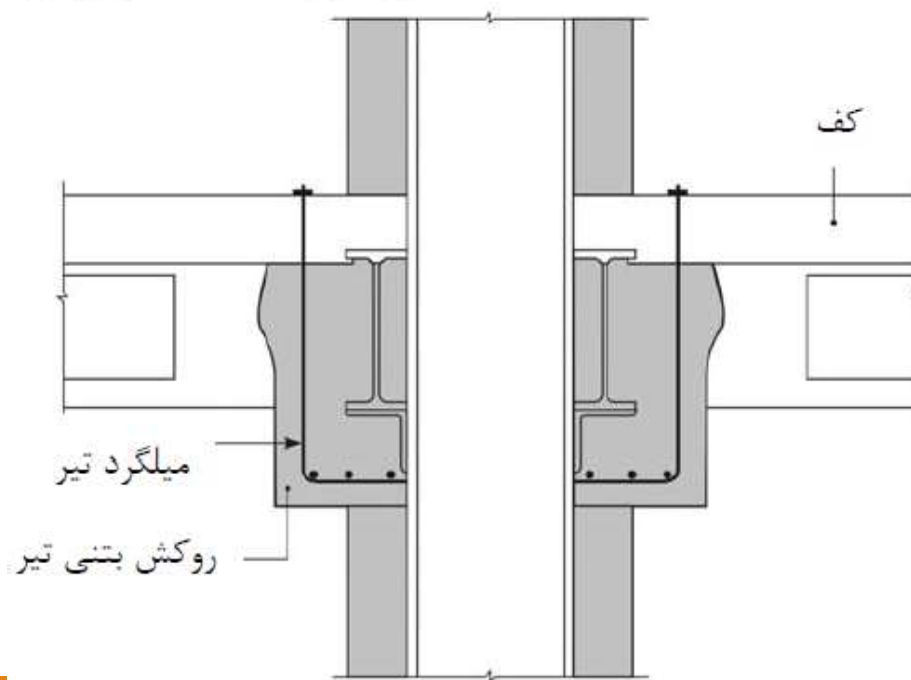
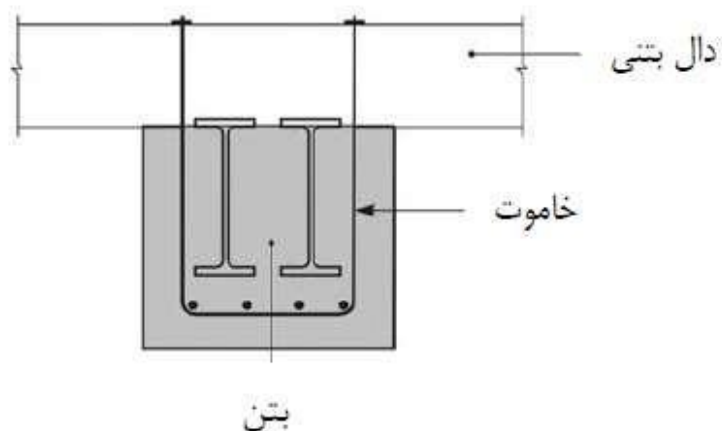
استفاده از روکش بتنی برای افزایش مقاومت تیرهای فلزی



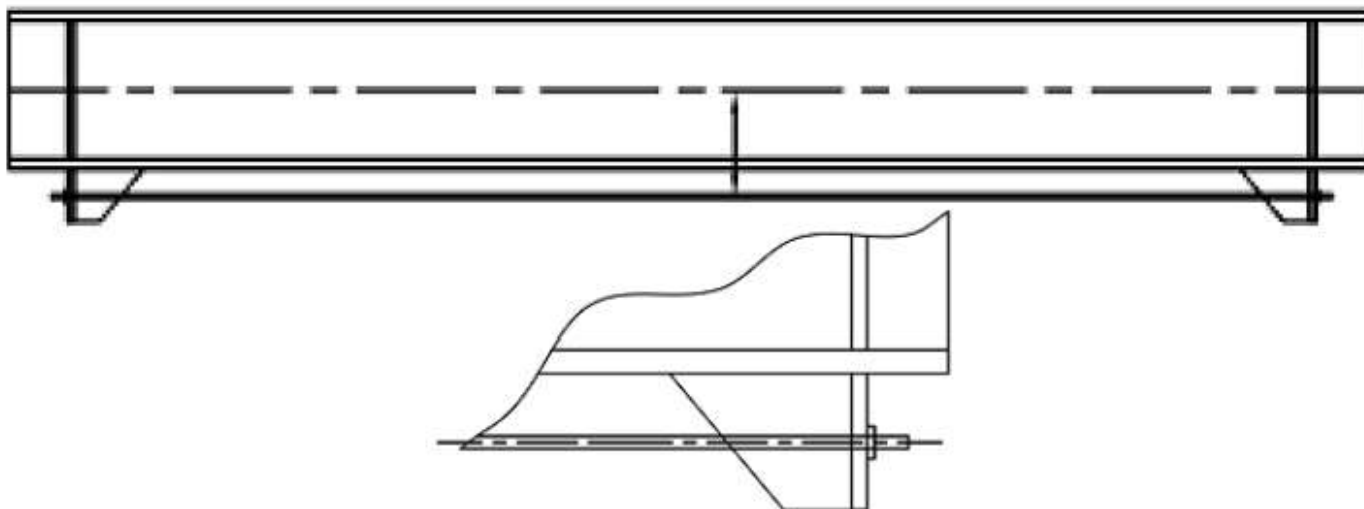
مقطع کامپوزیت با پر کردن بین دو تیر



مقطع کامپوزیت با محیط کردن بتن



استفاده از پیش تنیدگی خارجی ایلام سازی تیر فولادی



شکل ۲-۴-۲۵- استفاده از پیش تنیدگی خارجی برای مقاوم سازی تیر فولادی

مقاوم سازی اتصالات:

- استفاده از طوق های پیش تنیده X شکل
- مقاوم سازی و تقویت اتصالات با استفاده از FRP
- نصب ژاکت ورق فولادی در اتصالات بتنی
- ایجاد قفس فولادی در اتصالات بتنی
- پیش تنیدگی اتصالات
- ایجاد ژاکت بتنی در اتصالات

