

روشهای ارزیابی مقاومت بتن در سازه

علی اکبر شیرزادی جاوید

دکترای مهندسی عمران
مدرس دانشگاه علم و صنعت ایران
عضو حقیقی انجمن بتن ایران



فهرست مطالب

✓ ضوابط نمونه گیری بتن تازه

✓ بررسی بتن کم مقاومت

✓ مقدمه ای بر انواع آزمایش های ارزیابی خواص مکانیکی بتن سخت شده

✓ آزمایش مغزه گیری - نکات و مباحث فنی

✓ نحوه ارتباط آزمایش مغزه گیری با مقاومت

✓ آزمایش چکش اشمیت - نکات و مباحث فنی

✓ نحوه ارتباط آزمایش چکش اشمیت با مقاومت

فهرست مطالب

- ✓ آزمایش بیرون کشیدن - نکات و مباحث فنی
- ✓ نحوه ارتباط آزمایش بیرون کشیدن با خواص بتن
- ✓ آزمایش کشش سطحی - نکات و مباحث فنی
- ✓ نحوه ارتباط آزمایش کشش سطحی با خواص بتن
- ✓ آزمایش ما فوق صوت - نکات و مباحث فنی
- ✓ نحوه ارتباط آزمایش ما فوق صوت با خواص بتن
- ✓ نحوه استفاده از فاکتور رواداری

کنترل بتن سخت شده

از طریق سه روش به کار می رود :

۱- نمونه گیری از بتن تازه و قالبگیری و سپس آزمایش بر روی بتن سخت شده

۲- تهیه نمونه از بتن سخت شده و ریخته شده در قطعه

۳- انجام آزمایش در جا بر روی بتن سخت شده در قطعه

آزمایش های کنترل بتن سخت شده

- مقاومت فشاری، کششی و خمشی
- خشک شدگی و جمع شدگی بتن سخت شده
- مدول الاستیسیته استاتیکی و نسبت پواسون
- آزمایش اولتراسونیک جهت تعیین سرعت پالس در بتن و تعیین مدول الاستیسیته دینامیکی
- تعیین چگالی و جذب آب و تخلخل
- تعیین عیار سیمان بتن سخت شده
- تعیین وضعیت میکروسکپی سیستم حبابهای هوا
- مقاومت بتن در برابر یخبندان و آب شدن سریع
- مقاومت در برابر سایش
- تهیه مغزه و تعیین مقاومت آن
- تعیین مقاومت در برابر بیرون کشیدن

آزمایش های کنترل بتن سخت شده

- آزمایش بتن با اشعه گاما
- تعیین یون کلر بتن
- مقاومت بتن در برابر یون کلر با شاخص الکتریکی
- مقاومت الکتریکی بتن
- آزمایش جذب آب حجمی
- آزمایش جذب آب سطحی
- آزمایش جذب آب موئینه
- تعیین نفوذپذیری تحت فشار آب
- تعیین نفوذپذیری تحت فشار هوا
- چکش اشمیت و تعیین عدد برجهندگی

پس برای کنترل کیفی بتن تازه و همینطور روش شماره ۱
بتن سخت شده نیاز به نمونه گیری از بتن تازه داریم

**آیا نحوه نمونه گیری از بتن تازه دارای روش
استاندارد است؟**

نمونه برداری از بتن تازه

هدف – آزمایش بتن تازه

– آزمایش بر روی نمونه بتن سخت شده قالب گیری شده

- نمونه برداری برای آزمایش بتن تازه و سخت شده ASTM C 172 و استاندارد ۴۸۹ ایران
- تهیه نمونه و قالب گیری و نگهداری در آزمایشگاه ASTM C 192 و استاندارد ۵۸۱ ایران
- تهیه نمونه و قالب گیری و نگهداری در کارگاه ASTM C 31
- تهیه نمونه و قالب گیری درجا و نگهداری در کارگاه ASTM C 873

آیا محل نمونه گیری و تعداد آن و زمان لازم
برای این کار دارای ضوابط است؟
(برای همه آزمایش های کنترل ی بتن تازه)

- بین اولین و آخرین بخش نمونه اخذ شده نباید بیش از ۱۵ دقیقه فاصله زمانی وجود داشته باشد.

- بخش‌های نمونه اخذ شده باید به کمک یک پیل یا بیلچه مجدداً بخوبی مخلوط شود تا یکنواختی در حداقل مدت زمان ممکن حاصل گردد.

- آزمایش‌های تعیین اسلامپ و هوای بتن یا هر دو آن‌ها را باید ظرف مدت ۵ دقیقه پس از تهیه آخرین بخش بتن آغاز کرد.

- قالب‌گیری از آزمونه‌های مقاومتی باید ظرف مدت ۱۵ دقیقه پس از تهیه نمونه مخلوط شده، آغاز شود و سریعاً ادامه یابد (طبق دستور تهیه قالب).

- آزمونه باید در برابر باد، آفتاب و سایر عوامل تبخیر سریع و نیز از نزدیکی با مواد مضر و عوامل آسیب رسان محافظت شود.

- حداقل اندازه نمونه برای آزمایش های مقاومت ۲۵ لیتر است (حداقل ۵ برابر حجم آزمونه ها) نمونه های کوچکتر برای انجام آزمایش های روانی و درصد هوا مجاز تلقی می شوند.

- تهیه نمونه از مخلوط کن های ثابت (بجز بتونیرها) با مخلوط نمودن ۲ بخش یا بیشتر از نمونه های اخذ شده در فواصل منظم زمانی در هنگام تخلیه بخش های میانی مخلوط بتن انجام می شود. هرگز نباید از قسمت های اول و آخر مخلوط نمونه گرفته شود. نمونه اخذ شده باید از تمام سطح جریان مخلوط گرفته شود و نباید جدا شدگی در جریان بوجود آید.

پس از تخلیه بتونیر حداقل از 5 نقطه دپوی بتن، 5 بخش مساوی بتن برداشته و با یکدیگر مخلوط می شود. سطحی که بتن بروی آن تخلیه می شود نباید جاذب باشد و مواد مضر و گل و لای را به داخل بتن وارد کند. در اختلاط بخش های اخذ شده باید بتن ها در یک طرف بزرگ (مانند طشت یا فرقون) ریخته و بخوبی با بیلچه و سرتاس، مخلوط شود. رعایت حداکثر فاصله زمانی بین بخش اول و آخر نمونه برداری ضروری است.

- تهیه نمونه از تراک میکسر با مخلوط نمودن ۲ بخش یا بیشتر از نمونه‌های اخذ شده در فواصل منظم زمانی در هنگام تخلیه بخش‌های میانی انجام می‌شود.

- باید از قسمت های اول و آخر تراک نمونه گرفته نشود و نباید قبل از اختلاط کامل آب یا افزودنی مورد نظر نمونه‌گیری شود. توصیه می‌شود بخش‌های این نمونه از تخلیه $\frac{1}{5}$ ، $\frac{2}{5}$ ، $\frac{3}{5}$ و $\frac{4}{5}$ تهیه شود. در انجام آزمایش روانی می‌توان پس از تخلیه $\frac{3}{5}$ مترمکعب بتن از تراک میکسر، نمونه‌گیری را انجام داد.

بخش های مختلف بلافاصله

باید با یکدیگر به خوبی مخلوط شود و سپس مورد آزمایشهای مختلف واقع گردد. فاصله زمانی بین اولین و آخرین بخش نمونه گیری نباید از 15 دقیقه تجاوز کند .

آیا با توجه به اینکه کنترل انطباق مقاومت فشاری بتن
سازه با مقاومت مشخصه از اهمیت برخوردار است برای
نمونه گیری آن ضوابط دیگری هم قرار داده اند؟

ضوابط نمونه برداری و آزمایش نمونه های کنترلی برای آزمایش مقاومت فشاری

- نمونه گیری باید بصورت تصادفی (عدم نمونه گیری عمدی از بتن سفت تر یا شل تر یا دارای وضعیت خاص در زمان خاص) باشد تا مبانی آماری پذیرش بتن مخدوش نگردد و قضاوت صحیح میسر باشد.
- نمونه از آخرین محل قبل از ریختن در قطعه برداشته شود.
- به هیچ وجه بتن هایی که در قالب قطعه ریخته شده اند مجدداً برداشت نشوند.
- هر نوبت نمونه گیری شامل حداقل دو آزمونه برای سن مقاومت مشخصه (۲۸ روز) می باشد که در صورت نیاز به تعیین مقاومت بتن در سن دیگر می توان تعداد آزمونه را افزایش داد.
- با توجه به نکات مندرج در تفسیر جدید آیین نامه بتن ایران بهتر است یک آزمونه اضافی برای قضاوت در زمانی که اختلاف زیادی بتن دو آزمونه وجود دارد تهیه شود. این آزمونه همان آزمونه شاهد که اخذ آن در کارگاه ها رایج است نمی باشد.

ضوابط نمونه برداری و آزمایش نمونه های کنترلی برای آزمایش مقاومت فشاری

تهیه آزمونه های شاهد در آیین نامه خاصی پیش بینی نشده است اما رویه رایج در ایران است و تهیه و آزمایش آن مانعی ندارد.

- در هر روز برای هر نوع بتن حداقل یک نوبت نمونه برداری لازم است.
- حداقل ۶ نوبت نمونه برداری از یک سازه برای یک رده بتن الزامی است (در ACI پنج نوبت).
- در ACI برای سازه های معمول ساختمانی اخذ یک نوبت نمونه به ازاء هر ۱۱۰ مترمکعب بتن یا هر ۴۶۰ مترمربع سطح دال و دیوار ضروری است اما برای بسیاری از سازه های خاص (بجز بتن حجیم و سد) به ازاء هر ۷۵ مترمکعب یک نوبت نمونه برداری لازم است. در قالب لغزنده حداقل یک نوبت نمونه برداری در هر ۸ ساعت کار روزانه ضروری است.

ضوابط نمونه برداری و آزمایش نمونه های کنترلی برای آزمایش مقاومت فشاری

در آبا در صورتیکه حجم هر نوبت اختلاط بیشتر از یک مترمکعب باشد

❖ برای دال و دیوار از هر ۳۰ مترمکعب بتن یا هر ۱۵۰ مترمربع سطح یک نوبت نمونه برداری ضروری است.

❖ همچنین در آبا برای تیر و کلاف (در صورت ریختن قطعات بصورت جدا از هم) به ازاء هر ۱۰۰ متر طول

❖ برای ستونها به ازاء هر ۵۰ متر طول یک نوبت نمونه برداری پیش بینی شده است .

در تفسیر جدید برای قطعاتی مانند شالوده هایی با حجم زیاد، یک نمونه برداری از هر ۶۰ مترمکعب بتن توصیه شده است (بویژه هر نوبت اختلاط بیش از ۲ مترمکعب).

ضوابط نمونه برداری و آزمایش نمونه های کنترلی برای آزمایش مقاومت فشاری

● در آبا گفته شده است که اگر حجم هر نوبت اختلاط کمتر از یک مترمکعب بتن باشد

❖ می توان مقادیر فوق را به همان نسبت کاهش داد یعنی تعداد دفعات نمونه برداری بیشتر می شود. مسلماً اگر به تشخیص دستگاه نظارت، کنترل کیفی مطلوبی در ساخت بتن دیده نشود و یکنواختی خوبی حاصل نگردد، می توان از این اختیار استفاده نمود.

گاهی نگرانی ما این است که آیا بتن هایی که در کارگاه ساخته می شود از نظر کیفیت اختلاط یکنواخت است؟

کنترل بتن از نظر یکنواختی اختلاط بویژه برای بتن آماده

هدف : بررسی یکنواختی بتن مخلوط شده (بتن آماده)، کنترل مدت و نحوه اختلاط، کنترل نحوه حمل و بتن ریزی از نظر جداسدگی.

روش :

– تهیه دو نمونه از دو بخش مخلوط کن پس از اختلاط و در هنگام تخلیه (۱۵ و ۸۵ درصد) و یا تهیه دو نمونه از دو بخش بتن مشکوک به عدم یکنواختی (جداسدگی) پس از حمل یا ریختن

– انجام آزمایش های خاص مانند تعیین وزن مخصوص بتن، درصد هوا، روانی، درصد مانده روی الک شماره ۴ و تعیین مقاومت فشاری ۷ روزه بر روی نمونه های حاصله از دو بخش مختلف

– مقایسه نتایج دو نمونه با یکدیگر و قرار گرفتن در محدوده اختلاف مجاز

کنترل بتن از نظر یکنواختی اختلاط بویژه برای بتن آماده

آزمایش	حداکثر اختلاف مجاز دونمونه
وزن مخصوص بتن تازه کاملاً متراکم	16kg/m^3
درصد هوای بتن	۱ درصد
اسلامپ برای ۱۰۰ میلی متر و کمتر	۲۵ میلی متر
اسلامپ برای بیشتر از ۱۰۰ میلی متر	۳۸ میلی متر
درصد مانده روی الک شماره ۴	۶ درصد
مقاومت فشاری ۷ روزه	۷/۵ درصد

کنترل بتن سخت شده

سه روش به کار می رود :

۱- نمونه گیری از بتن تازه و قالبگیری و سپس آزمایش بر روی بتن سخت شده

۲- تهیه نمونه از بتن سخت شده و ریخته شده در قطعه

۳- انجام آزمایش در جا بر روی بتن سخت شده در قطعه

پس تا به اینجا مطابق اسلاید های قبل، از بتن تازه نمونه گرفته شد و حالا باید از آن نگهداری نمود تا سن مورد نظر

سوال اول :

ابعاد نمونه ها طبق استانداردهای مختلف متفاوت است. چطور میشود آن ها را به هم تبدیل کرد؟

آزمونه‌های استاندارد استوانه‌هائی به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر است.

در تفسیر آبا - در صورتیکه نمونه مکعبی تهیه شود، این نمونه می‌تواند به استوانه استاندارد تبدیل شود. نحوه تبدیل در جدول زیر مشاهده می‌شود.

همچنین در آبا مکعب ۱۵۰ میلی‌متری و ۲۰۰ میلی‌متری یکسان فرض شده است و در صورت تهیه استوانه به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر ضریب تبدیل آن به استوانه استاندارد ۱/۰۲ خواهد بود.

ضوابط نمونه برداری و آزمایش نمونه های کنترلی

جدول - تبدیل مقاومت مکعبی ۱۵۰ میلی متری به استوانه استاندارد و بالعکس

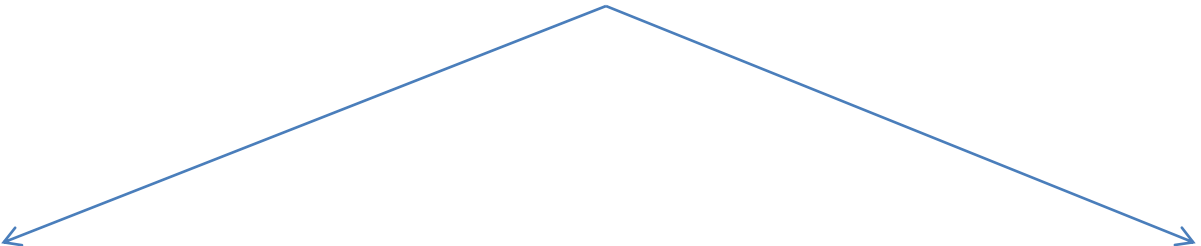
مقاومت فشاری مکعبی MPa	کمتر از ۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
ضریب تبدیل استوانه به مکعب	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱
مقاومت فشاری استوانه ای استاندارد MPa	با توجه به ضریب کمتر از ۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
ضریب تبدیل مکعب به استوانه	۰/۸	۰/۸۳۳	۰/۸۵۷	۰/۸۷۵	۰/۸۸۸	۰/۹	۰/۹۱

طبق تفسیر جدید آبا اگر اختلاف مقاومت دو آزمون به بیش‌تر از ۵ درصد میانگین آن دو باشد نتیجه آزمون سوم قاضی خواهد بود.

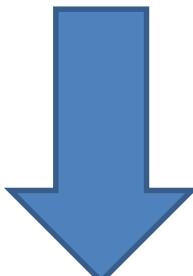
طبق تفسیر جدید آبا اگر مشخص شود ایرادی در مراحل نمونه‌گیری تا آزمایش وجود دارد، نتیجه آزمون مربوطه قابل استناد و میانگین‌گیری نمی‌باشد.

سوال دوم:

اینکه چند روز و تحت چه شرایطی نگهداری کنیم بستگی به دیدگاه و هدف ما از ارزیابی دارد.

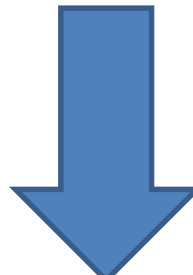


آیا هدف ما کنترل کفایت و
صحت شرایط عمل آوری
کارگاهی بتن است؟



نمونه در شرایطی دقیقاً مشابه
بتن سازه در کارگاه نگهداری
می شود و در روز مورد نظر
شکسته می شود

آیا هدف ما کنترل انطباق رده
مقاومتی بتن سازه با مقاومت
مشخصه است؟



نمونه ها در آزمایشگاه و تحت
شرایط استاندارد نگهداری
می شود تا روز آزمایش

اگر : هدف ما کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است

- بعد از اینکه از بتن نمونه گیری شد، نمونه ها در آزمایشگاه و تحت شرایط استاندارد نگهداری می شود تا روز آزمایش
- اگر استوانه ای هستند حتما باید کلاهک گذاری (Capping) شود.
- اگر مکعبی هستند نیازی به کلاهک گذاری نیست و از دو وجهی که به سمت دیواره قالب بوده اند و صاف هستند زیر دستگاه جک گذاشته می شوند

هدف : کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است



نمونه گیری از بتن مورد نظر طبق روش استاندارد و
انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه ها

طبق ACI

هدف : کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است



نمونه گیری از بتن مورد نظر طبق روش استاندارد و
انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه ها

طبق ACI

باید هر دو شرط زیر برقرار باشد:

$$\bar{f}_2 \geq f_c$$

$$f_i \geq f_c - 3.5 \text{ MPa}$$

شرط اول یعنی میانگین هر سه نتیجه متوالی بزرگتر یا مساوی مقاومت مشخصه باشد

شرط دوم یعنی مقاومت هر نمونه بزرگتر از مقدار سمت راست آن باشد

هدف : کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است



نمونه گیری از بتن مورد نظر طبق روش استاندارد و
انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه ها

طبق ACI

باید هر دو شرط زیر برقرار باشد:

$$\bar{f}_2 \geq f_c$$

$$f_i \geq f_c - 3.5 \text{ MPa}$$

شرط های بالا برقرار است

بتن با رده مقاومتی منطبق است و از
نظر سازه ای سازه مورد تایید است

هدف : کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است



نمونه گیری از بتن مورد نظر طبق روش استاندارد و
انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه ها

طبق ACI

باید هر دو شرط زیر برقرار باشد:

$$\bar{f}_2 \geq f_c$$

$$f_i \geq f_c - 3.5 \text{ MPa}$$

شرط بالا برقرار نیست

باید از بحث بتن کم مقاومت
طبق ACI عمل شود

شرط های بالا برقرار است

بتن با رده مقاومتی منطبق است و از
نظر سازه ای سازه مورد تایید است

هدف : کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است



نمونه گیری از بتن مورد نظر طبق روش استاندارد و
انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه ها

طبق آبا



یکی از شرایط الف یا ب باید برقرار باشد:

الف)

$$f_i \geq f_c$$

ب)

$$\bar{f}_s \geq f_c + 1.5$$

$$f_{i_{min}} \geq f_c - 4$$

شرط الف بیان میکند که نتیجه مقاومت هیچ یک از سه نمونه متوالی کمتر از مقاومت مشخصه نباشد

شرط ب بیان می کند که متوسط مقاومت سه نمونه متوالی بزرگتر از مقدار سمت راست باشد و مقدار کوچکترین مقاومت سه نمونه هم بزرگتر مساوی مقدار سمت راست آن باشد

هدف : کنترل انطباق رده مقاومتی بتن سازه با مقاومت مشخصه است

نمونه گیری از بتن مورد نظر طبق روش استاندارد و
انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه ها

طبق آبا

یکی از شرایط الف یا ب باید برقرار باشد:

الف)

$$f_i \geq f_c$$

ب)

$$\bar{f}_3 \geq f_c + 1.5$$

$$f_{i\min} \geq f_c - 4$$

یکی از شرایط زیر برقرار است

شرط الف یا ب بالا برقرار است

$$\bar{f}_3 < f_c$$

$$f_{i\min} < f_c - 4$$

بتن با رده مقاومتی منطبق است و از
نظر سازه ای سازه قابل قبول است

بتن غیر قابل قبول خواهد بود و بحث بتن
کم مقاومت باید بررسی شود

اگر نه قابل قبول بود و نه غير قابل قبول

شرط زیر را کنترل می کنیم

$$\bar{f}_3 \geq f_c$$

$$f_{i_{\min}} \geq f_c - 4$$

اگر هر دو شرط بالا برقرار بود می توان به تشخیص طراح آن را بدون بررسی بیشتر از نظر سازه ای قبول نمود

اگر طراح بتن را بدون بررسی بیشتر قبول نکند باید بحث بتن کم مقاومت و بررسی از آن دیدگاه مورد نظر قرار بگیرد

جریمه پیمانکار در هر حال به جای خود باقی است

مثال:

- نتیجه مقاومت فشاری استوانه ای استاندارد سه نمونه متوالی برابر $24/8$ ، $26/5$ و $24/5$ بدست آمده است. اگر مقاومت مشخصه بتن این پروژه برابر 25 مگاپاسکال باشد از نظر پذیرش بتن طبق آبا و انطباق با رده مقاومتی چه وضعیتی دارد؟

مقاومت مشخصه مندرج در نقشه برابر ۲۵ مگاپاسکال برای نمونه استوانه ای در سن ۲۸ روزه

نتایج بدست آمده نمونه ها در سن ۲۸ روزه

نمونه شماره ۱ = ۲۴/۸ مگاپاسکال

نمونه شماره ۲ = ۲۶/۵ مگاپاسکال

نمونه شماره ۳ = ۲۴/۵ مگاپاسکال

میانگین سه نمونه برابر ۲۵/۳ می باشد.

طبق آبا :

شرط الف را ندارد.

شرط ب کنترل می شود :

حداقل مقاومت نمونه ها بزرگتر از ۲۱ مگاپاسکال است. اما میانگین سه نمونه از ۲۶/۵ بزرگتر نیست. بنابراین

شرط ب را هم ندارد.

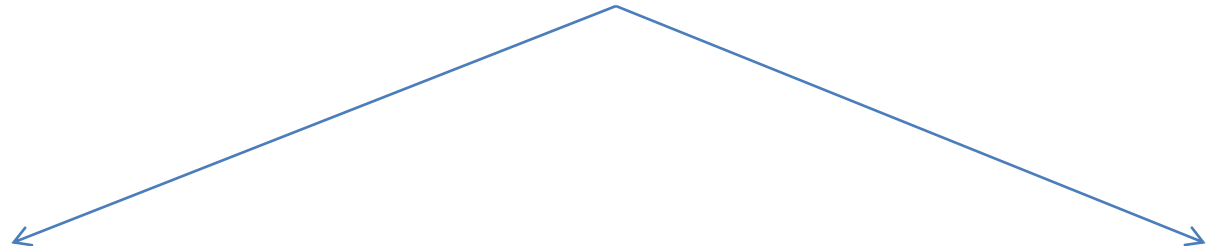
پس از نظر انطباق با رده مقاومتی قابل قبول نیست.

شرط غیر قابل قبول بودن را بررسی می کنیم:
میانگین سه نمونه کوچکتر از ۲۵ مگاپاسکال نیست
کوچکترین عدد مقاومت فشاری نمونه ها از ۲۱ کوچکتر نیست.

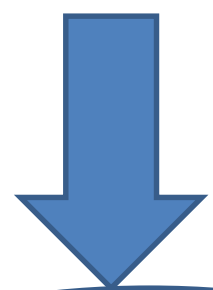
پس شرط غیر قابل قبول بودن را هم ندارد.

شرط قابل قبول بودن از نظر سازه ای بررسی می شود:
میانگین مقاومت نمونه ها بزرگتر از ۲۵ است. حداقل مقدار مقاومت فشاری نمونه ها بزرگتر از ۲۱ است.

بنابراین شرط قابل قبول بودن از نظر سازه ای را داراست و طراح سازه با تشخیص خود و بدون هیچگونه بررسی بیشتر می تواند طرح را از نظر سازه ای قبول بداند.

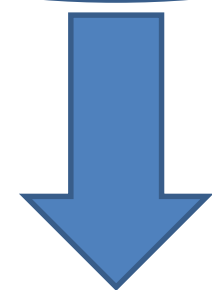


آیا هدف ما کنترل کفایت و
صحت شرایط عمل آوری
کارگاهی بتن است؟



نمونه در شرایطی دقیقاً مشابه
بتن سازه در کارگاه نگهداری
می شود و در روز مورد نظر
شکسته می شود

آیا هدف ما کنترل انطباق رده
مقاومتی بتن سازه با مقاومت
مشخصه است؟



نمونه ها در آزمایشگاه و تحت
شرایط استاندارد نگهداری
می شود تا روز آزمایش

هدف ما کنترل کفایت و صحت شرایط عمل آوری بتن است؟

- به همین منظور نمونه ای متشکل از چند آزمون باید تهیه شود و در شرایط کارگاهی از نظر عمل آوری دقیقاً شبیه قطعات اصلی سازه نگهداری شود. در همان زمان نیز باید نمونه ای از همان بتن تهیه و در شرایط عمل آوری آزمایشگاهی نگهداری شود.
- پس از گذشت ۲۸ روز (سن مقاومت مشخصه) نتیجه میانگین هر کدام از دو نوع نمونه که در شرایط متفاوت عمل آوری شده اند بدست می آید.
- در صورتی عمل آوری قابل قبول تلقی می شود که یکی از دو شرط زیر برقرار باشد:

$$f_{cp} \geq 0.85 f_{cl}$$

$$f_{cp} \geq f_c + 4$$

f_{cp} مقاومت فشاری عمل آوری شده در شرایط کارگاهی، f_{cl} مقاومت فشاری نمونه های عمل آوری شده در آزمایشگاه و f_c مقاومت مشخصه فشاری بتن میباشد.

- اگر هیچکدام از رابطه ها بر قرار نبود یعنی روش عمل آوری قابل قبول نیست
- همانطور که از بالا معلوم است ۱۵ درصد کاهش مقاومت در کارگاه پذیرفته شده است.

چطور می توانیم در سن خاصی از مقاومت بتن آگاهی حاصل کنیم تا معلوم شود آیا به مقاومت خاص جهت بعضی هدف ها رسیده ایم یا نه؟

بحث نمونه آگاهی

- برای باز کردن قالب زیرین و برداشتن پایه های اطمینان و حمل و نقل قطعات پیش ساخته
- نمونه ای از بتن (حداقل ۲ آزمون برای یک سن) تهیه و در شرایط عمل آوری کارگاهی نگهداری شده و در سن مورد نظر مقاومت آن تعیین می شود.
- در صورت رسیدن به مقاومت مورد نظر قالب برداری انجام یا قطعه قابل حمل می شود

بررسی بتن کم مقاومت

❖ در وهله اول، می توان همان مقاومت کم را مورد استفاده قرار داد.

❖ با استفاده از تحلیل موجود سازه و صرفاً با دقت در تحلیل مقاطع (بدون تحلیل مجدد و طراحی مجدد) اگر بتوان نشان داد به ازای مقاومت بتن کمتر از مقاومت مشخصه نیز ظرفیت باربری سازه تأمین می شود، نوع بتن از نظر تأمین مقاومت سازه ای قابل قبول است.

بررسی بتن کم مقاومت

- در صورتیکه در طی انجام مراحل فوق نتیجه‌ای حاصل نشود می‌توان با تحلیل و طراحی مجدد و با فرض وجود بتن کم مقاومت در قسمت هائی از سازه که احتمال می‌رود در این نقاط مصرف شده باشد، کنترل باربری سازه و مقاطع آنرا به انجام رسانید.

- داشتن بایگانی برای بررسی مدارک کارگاهی شرط مهمی برای استفاده از این بند می‌باشد و دقت در این مرحله می‌تواند احتمال قبول بتن را از نظر سازه‌ای بیشتر نماید.

کنترل بتن سخت شده

سه روش به کار می رود :

۱- نمونه گیری از بتن تازه و قالبگیری و سپس آزمایش بر روی بتن سخت شده

۲- تهیه نمونه از بتن سخت شده و ریخته شده در قطعه

۳- انجام آزمایش در جا بر روی بتن سخت شده در قطعه

علل تعیین مقاومت بتن در سازه

- (۱) عدم تطابق نمونه های استاندارد با مقاومت طرح
- (۲) تطابق نمونه های استاندارد اما ظاهر نامطلوب بتن
- (۳) آسیب دیدگی ها مانند آتش سوزی
- (۴) تطابق مقاومت مواد تعمیری با مقاومت بتن پایه
- (۵) تغییر کاربری

آمارهای موجود

- در سال ۱۹۹۱ کشور آمریکا نیاز به صرف ۹۰ میلیارد دلار هزینه بهسازی و تعمیر فراسازه های مرتبط با حمل و نقل بوده است.
- تا سال ۱۹۹۷ این مبلغ به ۲۱۲ میلیارد دلار رسید.
- در حال حاضر بسیاری از کشورهای اروپایی حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد بودجه عمرانی خود را صرف تعمیر و تقویت سازه ها میکنند.

تقسیم بندی آزمایش ها:

غیر مخرب: مانند مافوق صوت

نیمه مخرب: مانند مغزه گیری

مخرب: بارگذاری

انواع آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن در سازه

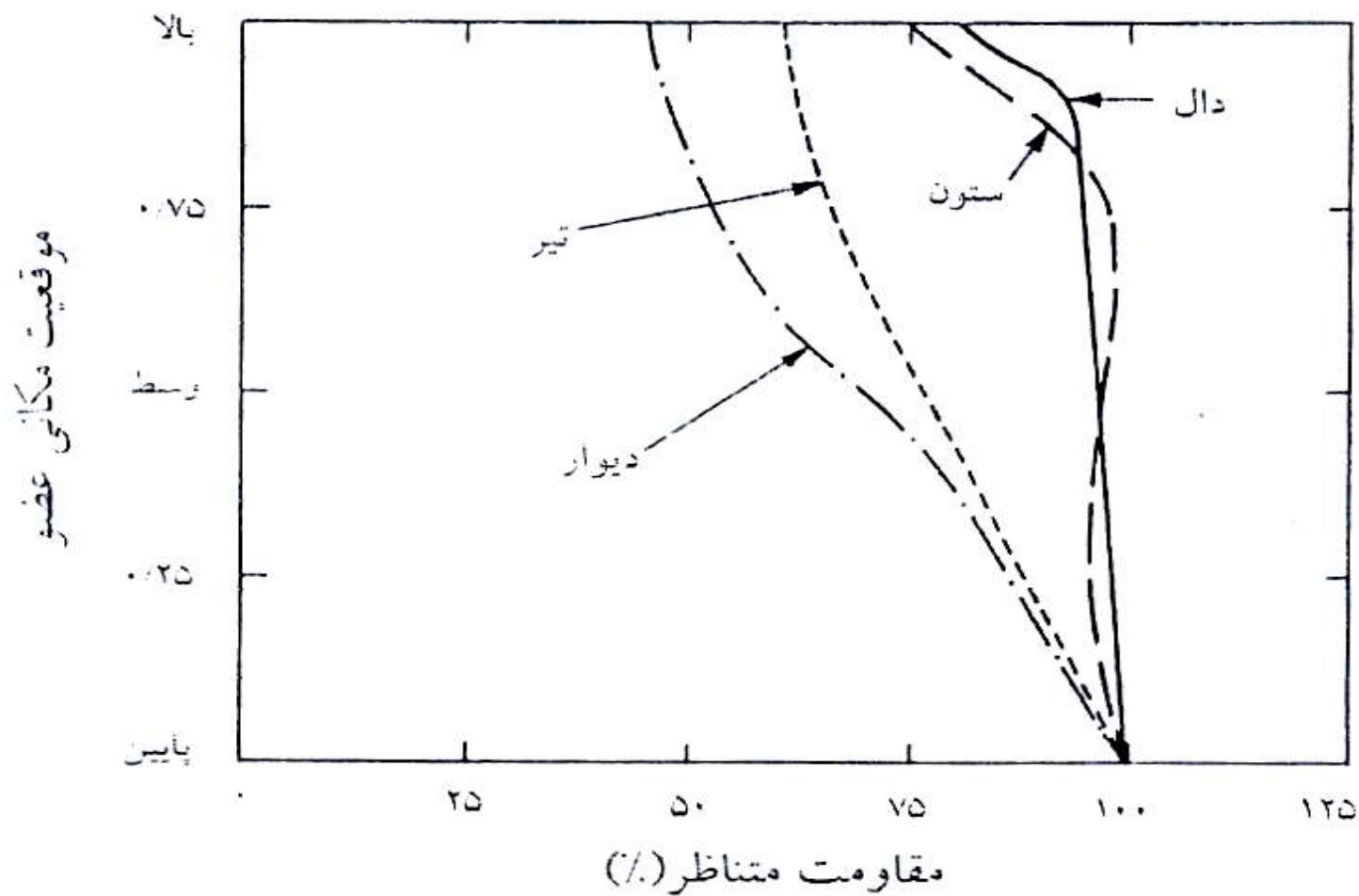
مقایسه انواع آزمایش‌ها

محل مورد آزمایش در بتن	آزمایش	دقت در تخمین مقاومت	سرعت آزمایش	هزینه آزمایش	حد صدمه به سازه
در عمق	آزمایش مغزه	خوب	آهسته	زیاد	متوسط
	سرعت مافوق صوت	ضعیف	سریع	کم	بدون صدمه
نزدیک به سطح	بیرون کشیدن	متوسط	سریع	زیاد	جزئی
	کشیدن از سطح	متوسط	سریع	زیاد	جزئی
در سطح	سختی سطح (چکش اشمیت)	ضعیف	سریع	کم	بدون صدمه

بر اساس نیاز، محل آزمایش باید تعیین شود.

(۱) پذیرش؟

(۲) تغییر کاربری یا آتش سوزی؟

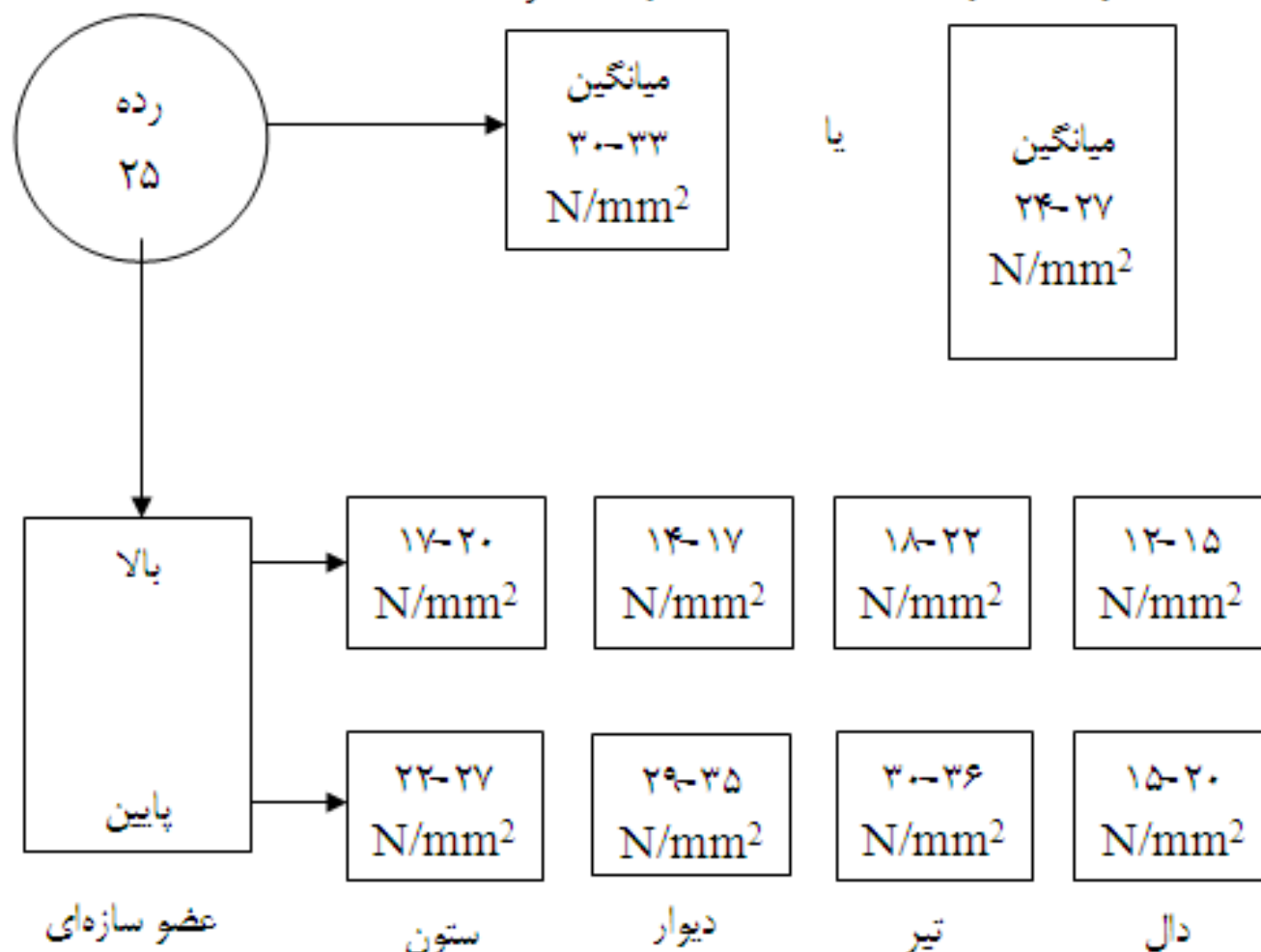


تغییرات مقاومت در محدوده اعضای بتنی

مقاومت مشخصه بتن

مکعب استاندارد

استوانه استاندارد



الف- نمونه مقاومت مکعب معادل ۲۸ روزه در محل

آزمایش مغزه گیری

- تنها روش کاملاً مستقیم برای تخمین مقاومت بتن در سازه آزمایش مغزه است.
- معمولاً با نمونه‌گیری بتن در شکل استوانه انجام می‌پذیرد.
- سپس مغزه تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار می‌گیرد.

شرایط مغزه گیری:

- قبل از آنکه بتن سختی کافی را کسب نکرده است، مغزه گیری مجاز نیست.
- در غیر این صورت پیوستگی بین ملات و سنگدانه های درشت دچار آسیب می شود.
- معمولاً مغزه گیری باید پس از سن ۱۴ روزه بتن انجام شود.
- در هنگام مغزه گیری باید دستگاه مته زنی کاملاً در محل خود محکم نگاه داشته شود، در غیر این صورت سطح مغزه ها غیرصاف یا با انحنا خواهد بود.
- محور مته باید کاملاً عمود بر سطح بتن باشد مگر آنکه وضعیت عضو بتنی یا موقعیت دسترسی به عضو ایجاب کند که زاویه ای دیگر انتخاب گردد.

- نمونه‌هایی که دارای نقص غیرمعمول هستند و یا در روند مغزه‌گیری آسیب دیده باشند، نباید برای آزمایش مورد استفاده قرار بگیرند.
- نمونه‌هایی که دارای میلگرد هستند، نباید برای آزمایش مورد استفاده قرار بگیرند، زیرا وجود میلگرد در مغزه‌ها باعث می‌شود که مقاومت فشاری مغزه‌ها بیشتر یا کمتر از مقاومت واقعی نشان داده شود.
- اگر با برش زدن مغزه امکان حذف میلگرد وجود دارد استفاده از مغزه برای آزمایش بلامانع است، مشروط بر آنکه نسبت طول به قطر نمونه (L/D) مساوی یا بیشتر از ۱ باشد. بلافاصله پس از مغزه‌گیری باید مشخصات از قبیل موقعیت و امتداد (افقی یا عمودی) مغزه‌گیری بر روی نمونه‌های مغزه ثبت گردد.

- چنانچه مغزه حاوی یک میگلرد عمود بر محور مغزه است، مقدار مقاومت مغزه باید در ضریب تصحیح طبق فرمول زیر ضرب شود.

$$1.0 + 1.5 \left(\frac{\Phi_r d}{\Phi_c L} \right)$$

که در آن:

Φ_r = قطر میگلرد

Φ_c = قطر نمونه مغزه

d = فاصله محور میگلرد از نزدیکترین سطح نمونه

L = طول نمونه (بدون کلاهک)

- اگر چندین میگلرد در مغزه وجود دارد، ضریب تصحیح از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$1.0 + 1.5 \left(\frac{\sum \Phi_r d}{\Phi_c L} \right)$$

اگر فاصله میلگرد کمتر از قطر بزرگترین میلگرد است، فقط آن میلگرد با مقدار بیشتر $\Phi_r d$ باید در محاسبات منظور شود. در فرمول $\sum \Phi_r d$ مجموع قطر میلگردها و فواصل محور آنها از نزدیکترین سطح نمونه است.

قطر مغزه‌ها:

- حداقل قطر مغزه‌ها باید ۱۰۰ میلیمتر باشد.
- تحت شرایط خاص مانند محدودیت ابعاد عضو بتنی، قطرهای ۷۵ میلیمتر و ۵۰ میلیمتر نیز مجاز است.
- ولی تحت هیچ شرایطی نباید قطر مغزه از سه برابر حداکثر اندازه سنگدانه در بتن کمتر باشد.

طول مغزه‌ها:

- نسبت طول مغزه به قطر آن L/D باید بین ۱ و ۲ باشد.
- توصیه می‌شود که نسبت L/D برابر با ۲ انتخاب شود.
- در مواردی که نسبت L/D بین ۱ و ۲ است، مقادیر باید با ضرائب ارائه شده در جدول تصحیح گردد.

جدول – ضرائب تبدیل مقاومت نمونه استوانه ای با نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۲ به مقاومت نمونه استاندارد

نسبت ارتفاع به قطر	بیشتر از ۱/۹۴	۱/۷۵	۱/۵	۱/۲۵	۱
ضریب تبدیل	۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۸۷

– مقادیر جدول برای بتن‌های معمولی یا بتن‌های سبک با چگالی بیشتر از 1600 kg/m^3 (بصورت خشک یا اشباع) بکار می‌رود و مقاومت نمونه‌ها باید بین ۱۴ تا ۴۲ مگاپاسکال باشد. از درون یابی می‌توان ضریب تبدیل را بدست آورد و در صورتیکه نسبت ارتفاع به قطر مغزه بیشتر از ۱/۲ باشد باید آنرا کوتاه‌تر نمود.

– نتایج هر آزمون و متوسط آن‌ها باید پس از تبدیل به مقاومت استوانه استاندارد در گزارش آورده شوند.

- آن گونه که آزمایشها نشان میدهند ، مقاومت نمونه هایی که بطور عمودی مته میشوند (در امتداد لایه های بتن ریزی) به خاطر اثار لایه ای ، بیشتر از مقاومت مغزه هایی است که بطور افقی مته میشوند .
- اطلاعات منتشر شده در این مورد متفاوت است ، اما متوسط اختلاف (حدود ۸ درصد) در اکثر موارد اعلام شده است .
- با اینکه نمونه های استوانه ای استاندارد بصورت عمودی آزمایش میشوند ، نمونه های مکعبی معمولاً " در صفحه ای عمود بر جهت بتن ریزی تحت آزمایش قرار میگیرند ، بدین ترتیب تطابق بیشتری با مغزه هایی دارند که بصورت افقی مته شده اند .

ضرایب تصحیح برای مقاومت فشاری

ضریب تصحیح مقاومت		نسبت طول به قطر مغزه $\frac{L}{D}$
در امتداد افقی	در امتداد عمودی	
۱	۰/۹۷	۲
۰/۹۷	۰/۹۳	۱/۷۵
۰/۹۴	۰/۹۰	۱/۵۰
۰/۹۰	۰/۸۶	۱/۲۵
۰/۸۴	۰/۸۱	۱

آزمایش مغزه گیری

گام اول: استخراج مغزه ها از سازه

گام دوم: آماده سازی دو سر انتهایی مغزه

گام سوم: انجام آزمایش های دیگر بر روی مغزه

گام چهارم: آزمایش مقاومت فشاری

چه برای بررسی بتن کم مقاومت و چه آزمایش بر روی نمونه از بتن سخت شده نیاز به مغزه گیری داریم

- ابعاد و اندازه مغزه ها و شرایط آن چگونه باید باشد؟

ضوابط تهیه مغزه بتن سخت شده از قطعه

- پس از تهیه مغزه‌ها باید سر و ته آن بریده شود و کلاهک‌گذاری گردد. توصیه می‌شود حتی اگر سطح خارجی صاف باشد باز هم به میزان ۲ تا ۳ سانت بریده شود تا ترک‌های ناشی از جمع شدگی، بر مقاومت موجود اثر نگذارد.

- مغزه‌ها بصورت خشک یا اشباع تحت آزمایش فشاری قرار می‌گیرند. در بررسی بتن معمولاً به شرایط بهره‌برداری توجه می‌شود و شرایط رطوبتی مغزه مشخص می‌شود.

ضوابط تهیه مغزه بتن سخت شده از قطعه

برای مغزه‌های خشک باید ۷ روز آن‌ها را در دمای ۱۶ تا ۲۷ درجه و در رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد نگهداشت.

در صورتی که شرایط اشباع مد نظر باشد مغزه‌ها باید به مدت حداقل ۴۰ ساعت در آب (یا آب آهک) غوطه‌ور شوند.

بدیهی است در صورت نیاز به اشباع کردن، عمل کلاhek گذاری پس از خروج از آب انجام می‌شود.

کلاhek گذاری برای مغزه‌های اشباع شده

- ماده کلاhek شامل ملات است که از سه قسمت وزنی سیمان از نوع آلومینیوم زیاد و یک قسمت وزنی ماسه ریزدانه (عبور کرده از الک ۳۰۰ میکرومتر) تشکیل شده است.
- نمونه باید بر روی یک صفحه افقی قرار داده شود. طوقه فولادی را در انتهای بالای نمونه محکم کنید به طوری که طوقه کاملاً افقی باشد و نسبت به بالا ترین قسمت سطح نمونه، قدری بالاتر نصب شود.
- ماده کلاhek را در داخل طوقه بریزید به نحوی که سطح ملات کمی بالاتر از سطح طوقه باشد.
- ورقه شیشه‌ای را بر روی ملات قرار دهید و با حرکت چرخشی همراه با فشار، سطح ملات را هم تراز با لبه‌های طوقه کنید.
- بلافاصله نمونه همراه با طوقه و ورق را در محیط مرطوب با ۹۰٪ رطوبت نسبی و دمای $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ قرار دهید. پس از سخت شدن ملات، صفحه شیشه‌ای و طوقه را از نمونه جدا کنید.

کلاhek گذاری برای مغزه‌های خشک

- ماده کلاhek شامل مخلوطی از گوگرد و ماسه سیلیسی ریزدانه که از الک ۳۰۰ میکرومتر عبور کرده و بر روی ۱۵۰ میکرومتر باقی مانده است. این دو ماده باید به نسبت وزنی مساوی مخلوط شوند.
- . مخلوط را بر روی صفحه فولادی مخصوص تراز کردن بریزید و سپس نمونه را بر روی لایه مخلوط قرار دهید به طوری که محور نمونه کاملاً عمودی باشد (قبل از ریختن مخلوط بر روی صفحه فولادی باید قدری پارافین بر روی صفحه اعمال گردد). پس از چند ثانیه ماده سولفور اضافی در اطراف نمونه را به وسیله چاقویی تیز جدا کنید، و نمونه را از صفحه بلند کرده و خارج کنید.
- پس از کلاhek گذاری، نمونه‌ها باید در آب با دمای $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ برای حداقل مدت ۴۸ ساعت نگهداری شوند و سپس آزمایش مقاومت انجام گردد.

کلاهک گذاری

- ضخامت کلاهک باید تا حد ممکن نازک باشد و نباید در هیچ نقطه از سطح بیشتر از ۱۰ میلیمتر باشد. قبل از کلاهک گذاری باید سطوح مغزه با برس سیمی زبر شود.

کاربرد نمونه های مغزه

- بازرسی ظاهری
- تخمین مقاومت بتن در سازه
- تعیین مدول الاستیسیته بتن
- تعیین وزن مخصوص بتن
- تعیین پروفیل کلرید در بتن
- تعیین عمق کربناسیون
- تخمین مقاومت کششی بتن در سازه
- تهیه نمونه برای آزمایش پتروگرافی

• آزمایش مغزه گیری تنها آزمایش اجباری است.

• بقیه آزمایش ها تکمیلی هستند. زیرا:

(۱) ارزانترند

(۲) تخریب کمتر دارند.

تبدیل مقاومت مغزه به مقاومت مکعب استاندارد:

- از آنجایی که مغزه به شکل استوانه است برای تبدیل مقاومت مغزه به مقاومت معادل مکعب 100 میلیمتری از ضریب $1/25$ استفاده می‌شود.
- با ضرب کردن $1/25$ در مقاومت مغزه می‌توان مقاومت مکعب را به دست آورد.
- برای تبدیل مقاومت مکعب 100 میلیمتری به مکعب 150 میلیمتری باید مقاومت مکعب 100 میلیمتری به مقدار 4 درصد کاهش داده شود.

تعداد مغزه مورد نیاز و محل آزمایش:

- اگر منظور از آزمایش تعیین میانگین مقاومت در سازه است، برای آنکه عامل ارتفاع لایه‌های بتن و اثر آن در مقاومت منظور گردد، توصیه می‌شود که از وسط اعضا مغزه‌گیری شود.
- معمولاً ۲ عدد مغزه برای هر محل کافی است ولی اگر قطر مغزه کمتر از ۱۰۰ میلیمتر است به ازاء هر عدد مغزه به قطر ۱۰۰ میلیمتر (یا بیشتر) ۳ مغزه مورد نیاز است، زیرا پراکندگی در نتایج برای مغزه‌های کمتر از ۱۰۰ میلیمتر قابل توجه می‌باشد.

- در صورتیکه بررسی‌های تحلیلی بیان شده در قسمت قبل به سرانجام نرسد، مغزه‌گیری از قسمت‌هایی که احتمال وجود بتن با مقاومت کمتر در آن‌ها داده می‌شود در دستور کار قرار می‌گیرد. حداقل سه مغزه از قسمت‌هایی از سازه که نمونه بتن آن‌ها شرایط پذیرش را فراهم نکرده‌اند، تهیه می‌شود و در صورتی بتن از نظر تأمین مقاومت پذیرفته می‌شود که شرایط زیر برآورده شود. که در اینصورت نیازی به بررسی‌های تحلیلی فوق وجود نخواهد داشت.

$$\bar{f}_{3CC} \geq 0.85 f_c \quad \text{مغزه‌ها}$$

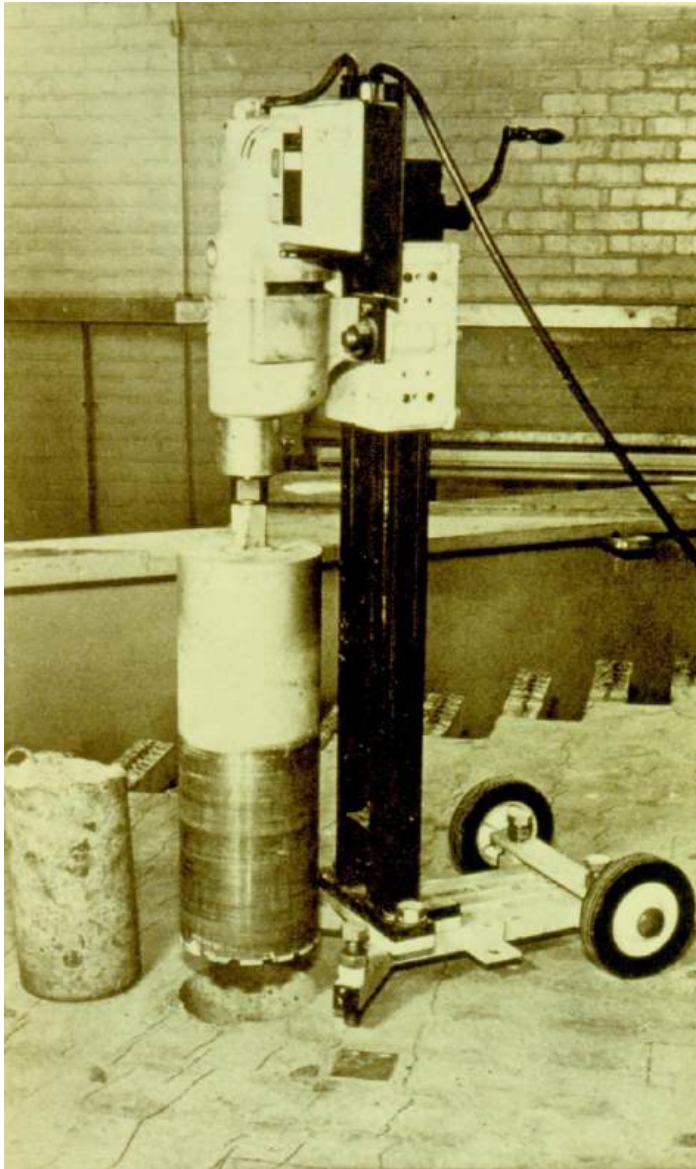
$$f_{CCmin} \geq 0.75 f_c$$

در این حالت ۱۵ درصد کاهش در متوسط مقاومت مغزه‌ها و ۲۵ درصد کاهش در مقاومت حداقل مغزه‌ها مجاز شمرده شده است زیرا در عملیات بتن‌ریزی، تراکم و عمل‌آوری در کارگاه کاستی‌هایی نسبت به تهیه نمونه‌های عمل‌آمده در آزمایشگاه وجود دارد.





دستگاه مغزه گیری



دستگاه مغزه گیری



دستگاه مغزه گیری



آزمایش عدد بازگشت (سختی سطح یا چکش اشمیت)

به طور کلی روش سختی سطح جایگزین روش‌های معتبر دیگر (برای تعیین مقاومت بتن در سازه) محسوب نمی‌شود و فقط به عنوان روش مقدماتی و تکمیلی مفید است.

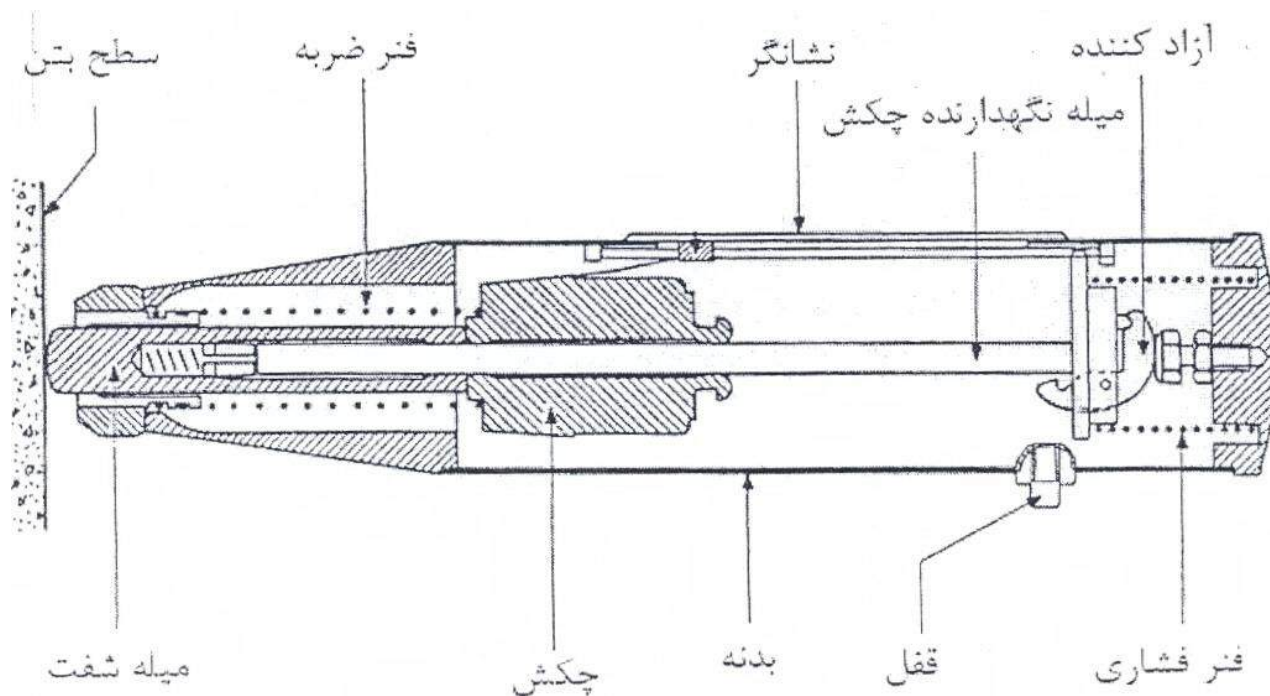
اطلاعات حاصل از این روش فقط محدود به کیفیت لایه سطحی بتن (حدود ۳۰ میلیمتر عمق) است. بنابراین رابطه بین نتایج آزمایش با دیگر خواص بتن جنبه تجربی دارد.

. آزمایش عدد بازگشت برای ارزیابی یکنواختی بتن در محل‌های مختلف سازه مناسب است.

در این روش‌ها، بتن مورد آزمایش با انرژی ضربه ای مشخص با روش استاندارد ضربه زده میشود و بزرگی بازگشت این عمل اندازه گیری می شود.

- برای هر نوع بتن نیاز به منحنی رابطه همبستگی است، به عبارت دیگر قبل از آزمایش بر روی سازه باید کالیبره مخصوص انجام گردد. استفاده از کالیبره عمومی مانند منحنی رابطه که سازنده دستگاه ارائه می‌دهد ممکن است منجر به اشتباه در نتیجه شود.

آزمایش چکش اشمیت یا اعداد بازگشت



اجزای چکش اشمیت

آزمایش چکش اشمیت

روش کار:

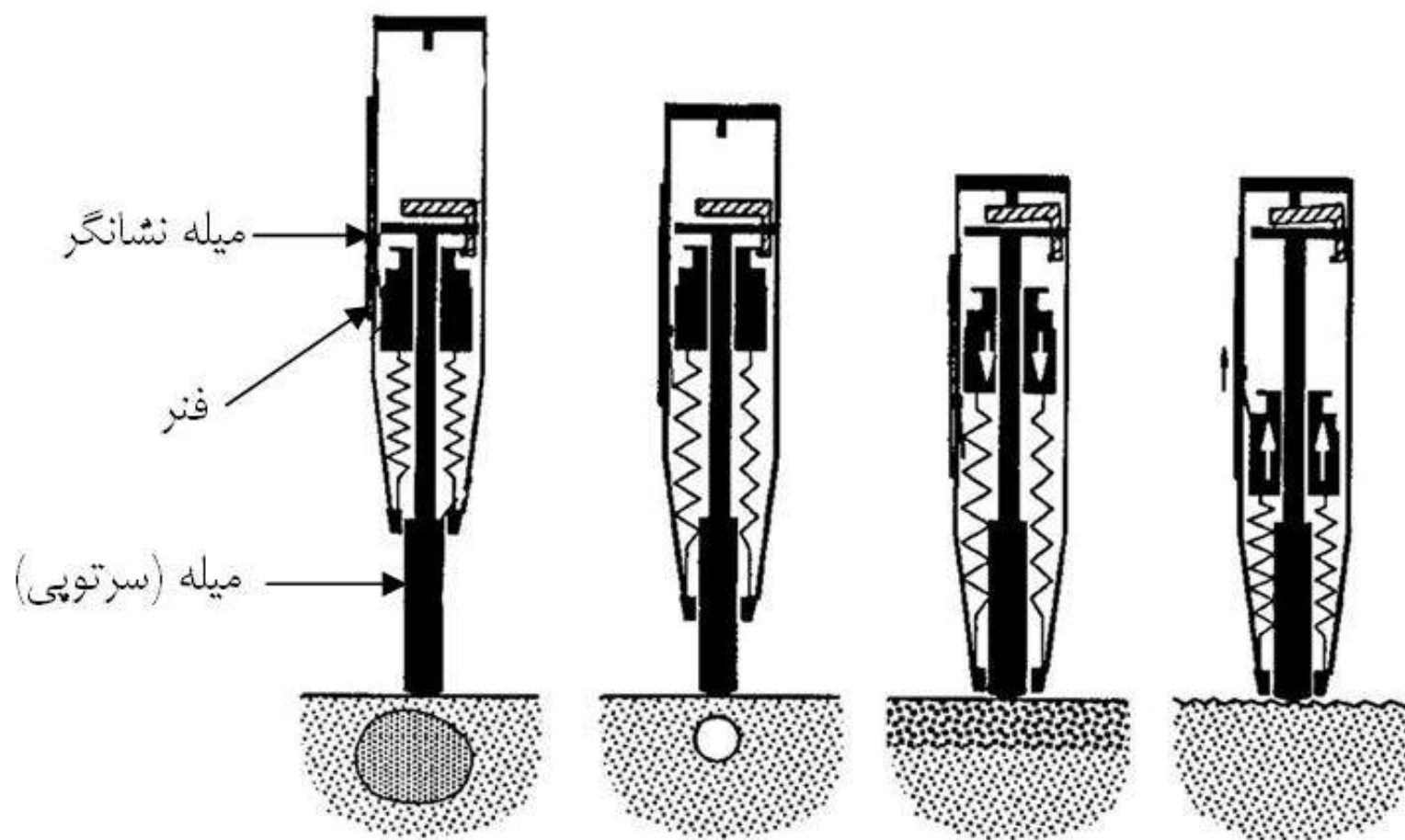
در آغاز آزمایش، میله یا پیستون سرآزاد چکش بر روی سطح بتن قرار داده می شود. سپس بدنه خارجی چکش به سطح بتن فشار داده می شود تا فنر داخل دستگاه کشیده شود.

چفت دستگاه هنگامی که فنر کاملاً کشیده شده و چکش به سمت سطح بتن حرکت میکند آزاد می گردد.

چکش به سر پیستون ضربه وارد میکند و جرم همراه فنر بازگشت یافته و عقربه ای را با خود بر روینواری مدرج حرکت می دهد تا از روی آن بتوان عدد بازگشت چکش را قرائت نمود.

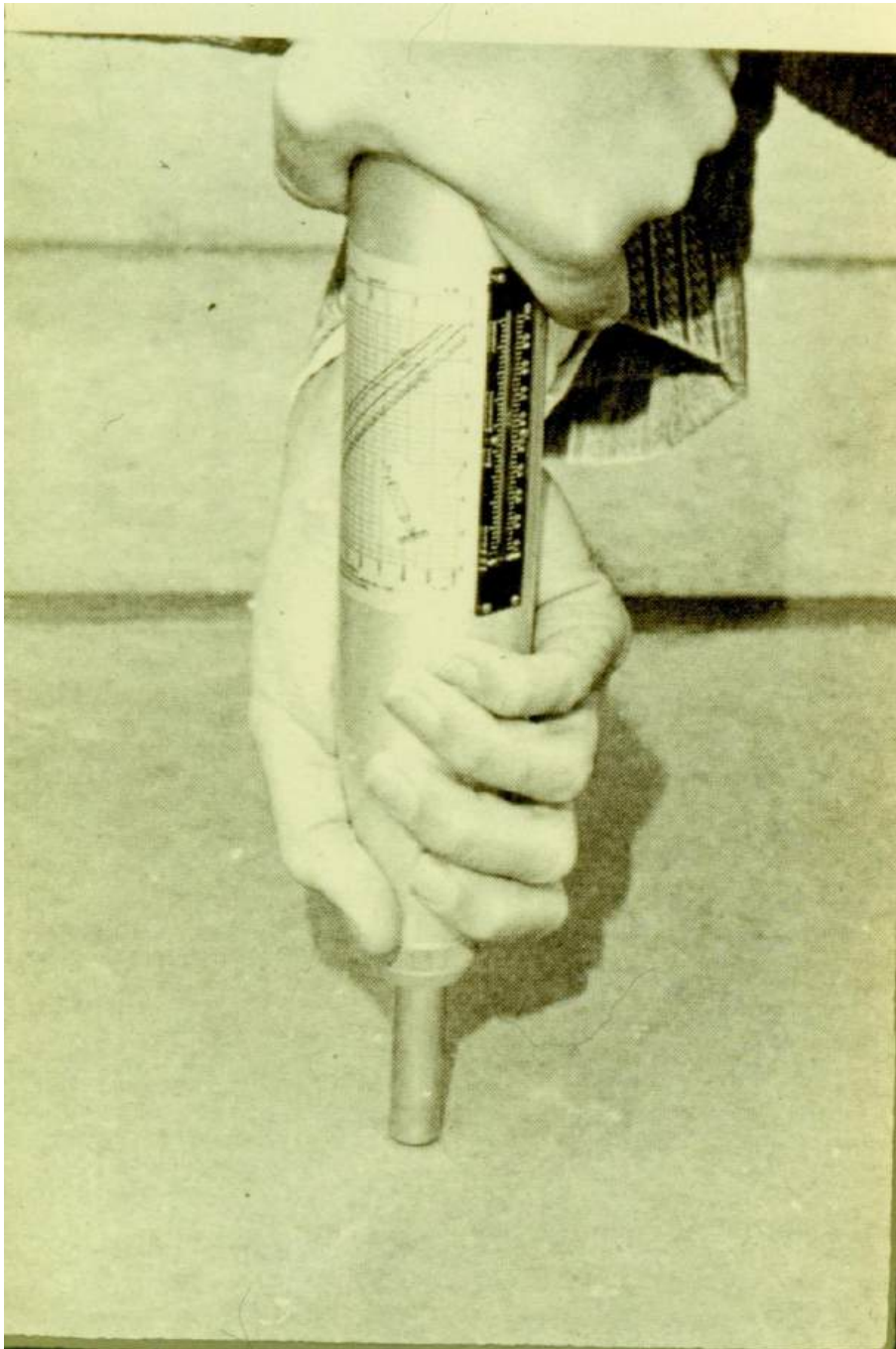
آزمایش چکش اشمیت

چکش اشمیت روش ساده و سریعی است که با هزینه کم می توان توسط آن یکنواختی سطح بتن سخت شده را کنترل نمود.



نحوه انجام آزمایش چکش اشمیت (از چپ به راست)

چکش اشمیت



چکش اشمیت



نتایج این روش به عوامل زیر بستگی دارد:

- **نوع و مقدار سنگدانه:** نوع و حجم سنگدانه تأثیر قابل توجهی بر نتایج آزمایش دارد. برای مثال استفاده از سنگدانه آهکی شکسته ممکن است منجر به عدد بازگشت کمتر از بتن حاوی سنگدانه ماسه‌ای با مقاومت مشابه شود. اختلاف در نتیجه ممکن است به حدود ۷ مگاپاسکال برسد.

- **شرایط سطح:** سطح مرطوب عدد بازگشتی کوچکتری را نشان می‌دهد. تا ۲۰ درصد مقاومت کمتر

- **نوع سیمان:** نرمی سیمان پرتلند کمتر از ۱۰ درصد بر رابطه مقاومت اثرگذار است.

- مقدار سیمان: تغییرات در مقدار سیمان، سبب تغییرات در سختی سطح نمی شود.

- کربناتاسیون سطح: کربنات کلسیم که حاصل کربناتاسیون بتن بوده و در سطح آن ایجاد میشود به علت سختی خود باعث افزایش عدد چکش می شود. احتمال دارد که نتیجه آزمایش تا ۵۰ درصد مقاومت را بیشتر نشان دهد.
در هنگام آزمایش ساختمان های قدیمی که در آنها کربناتاسیون اتفاق افتاده توصیه میشود لایه کربناته شده سطحی برداشته شود و نتایج این بخش با سایر نتایج قسمت های دیگر سازه مقایسه گردد.

- شرایط رطوبت: وقتی که بتن خیس است، سختی سطح بتن در مقایسه با شرایط خشک کمتر است. ممکن است تخمین مقاومت تا ۲۰ درصد کمتر از مقدار واقعی مقاومت باشد.

- **سختی عضو:** سختی نمونه بتنی در آزمایشگاه یا عضو بتنی در محل سازه می بایستی به اندازه کافی زیاد باشد تا از ایجاد هر نوع لرزش هنگام ضربه چکش جلوگیری نماید. هر نوع لرزشی سبب کاهش عدد چکش شده و پیش بینی مقاومت را غیر قابل اعتماد می سازد.

- **محل پیستون یا میله :** در صورتی که میله روی سنگدانه سخت قرار گیرد اعداد بالایی از بازگشت توسط چکش نشان داده می شود. در حالت عکس اگر میله روی سنگدانه نرم و یا حفره ای قرار گیرد، اعداد چکش پایین خواهد بود. برای بر طرف کردن این مورد در ASTM C805 توصیه شده است که برای آزمایش ۱۰ نقطه مورد عمل قرار گیرد. در صورتی که هر قرائت بیش از ۷ واحد با متوسط قرائت ها اختلاف داشته باشد آن قرائت حذف می گردد و در صورتیکه دو قرائت بیش از ۷ واحد با میانگین اختلاف داشته باشد، کل قرائتها در نظر گرفته نخواهد شد.

روش آزمایش:

- دستگاه به تغییرات منطقه‌ای سطح بتن، بسیار حساس است، به خصوص وجود ذرات سنگدانه نزدیک سطح، سبب نتایج مقاومت می‌شوند.
- بنابراین، در هنگام آزمایش در یک محل، تعداد قرائت باید در حدی باشد تا میانگین آنها، نمایان‌گر مقاومت در محل باشد.
- بر این اساس، بهتر است که یک شبکه 300×300 میلیمتر با خطوط ۵۰ میلیمتر فاصله ترسیم گردد و سپس ۱۲ نقطه از تقاطع خطوط انتخاب و آزمایش بر روی آن نقاط انجام شود.
- میانگین نتایج قرائت‌ها، به عنوان یک نتیجه محسوب می‌شود.

	۲۰	۲۱		۲۲
		۱۸		۲۰
	۲۳		۲۱	۲۲
		۲۳		۲۴

بخشی از شبکه ۳۰۰ ۳۰۰ میلیمتر برای انجام آزمایش چکش اشمیت

- برای یافتن رابطه مناسب و قابل قبول بین عدد بازگشت چکش و مقاومت فشاری نمونه، کلیه این عوامل در شرایط ایده آل در محل سازه باید ملحوظ گردد.
- بر اساس نظریات مالهورتا، دقت اندازه گیری مقاومت نمونه های بتنی در آزمایشگاه با یک چکش کنترل شده و دقیق حدود $15 \pm$ تا ۲۰ درصد و در روی سازه بتنی در محل $25 \pm$ می باشد

نباید از آزمایش چکش اشمیت برای تعیین مقاومت استفاده شود، مگر آنکه منحنی همبستگی خاص تهیه شود.

زیرا:

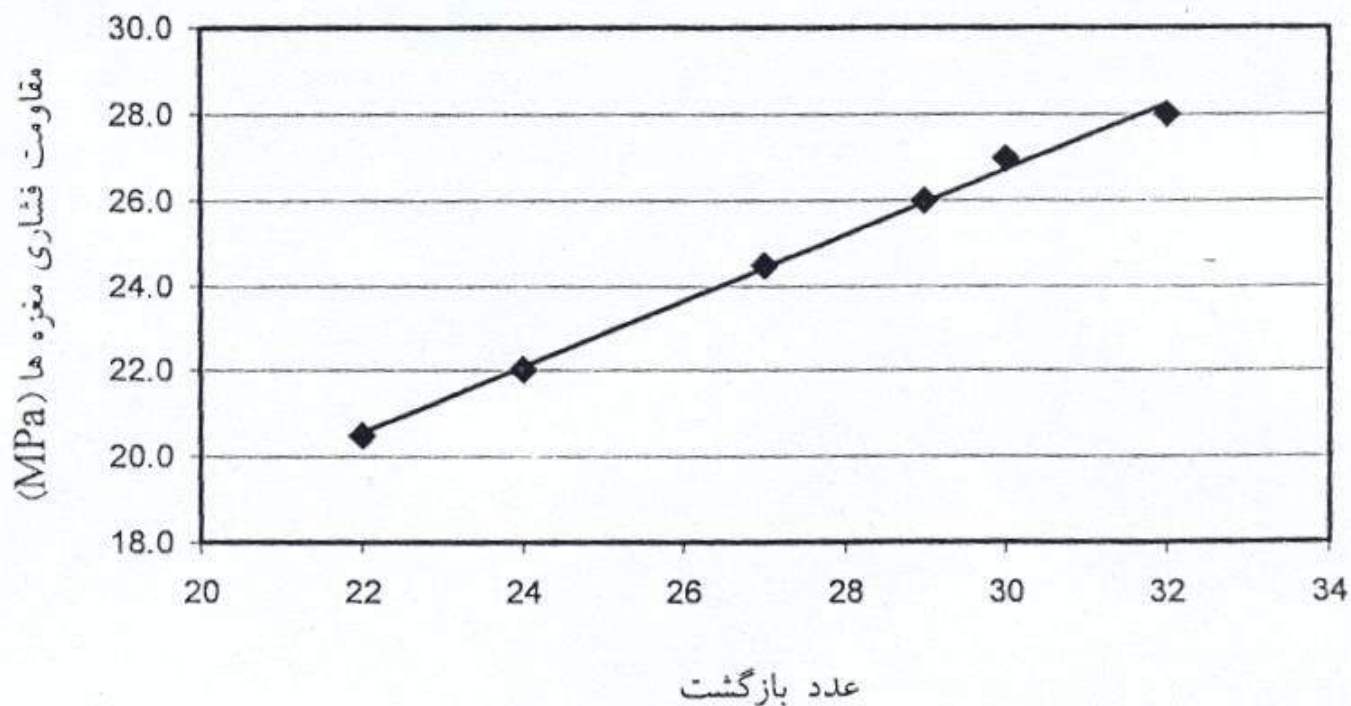
با تغییر رطوبت بتن، سیمان، سنگدانه و ... نتایج تغییر می کند.

رابطه همبستگی بین مقاومت بتن و عدد بازگشت:

- انجام آزمایش عدد بازگشت و مقاومت بر روی نمونه‌های بتن
- از قسمت‌های مختلف سازه مغزه‌گیری کرده و آزمایش عدد بازگشت و مقاومت بر روی نمونه‌ها انجام گردد.
- توصیه می‌شود که از مکعب‌های ۱۵۰ میلیمتری استفاده شود. در هنگام آزمایش عدد بازگشت بر روی نمونه‌ها، باید آنها را در میان فک‌های ماشین فشاری قرار داده و تنش ۷ تا ۱۰ مگاپاسکال اعمال شود.
- با افزایش تعداد نمونه‌ها دقت در منحنی همبستگی بیشتر می‌شود باید حداقل ۹ عدد قرائت از هر مکعب به دست آید.

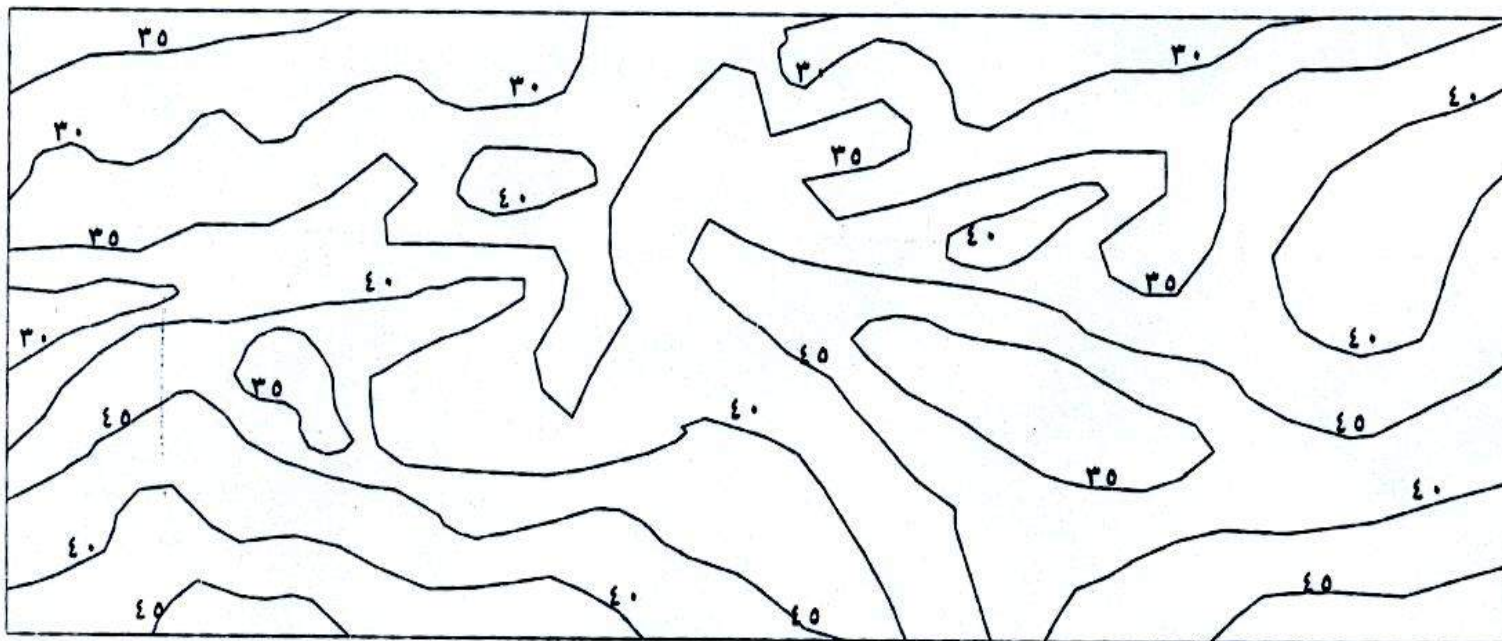
- نقاط مورد آزمایش نباید فاصله‌ای کمتر از ۲۰ میلیمتر از لبه‌ها باشند و فاصله بین نقاط آزمایش باید حداقل ۲۰ میلیمتر باشد.
- یک نقطه نباید بیش از یک بار مورد آزمایش قرار گیرد.

تهیه رابطه همبستگی



رابطه بین عدد بازگشت و مقاومت فشاری مغزه ها

چکش اشمیت برای تعیین یکنواختی بتن در سازه ساده ترین،
سریعترین و ارزانهترین است



منحنی های همتراز اعداد بازگشت

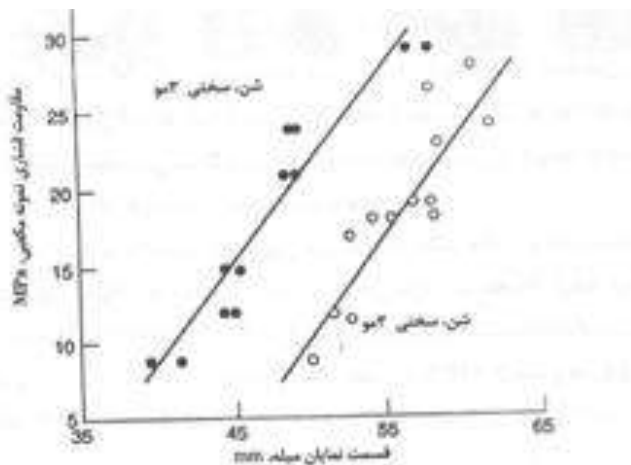
روش مقاومت در نفوذ

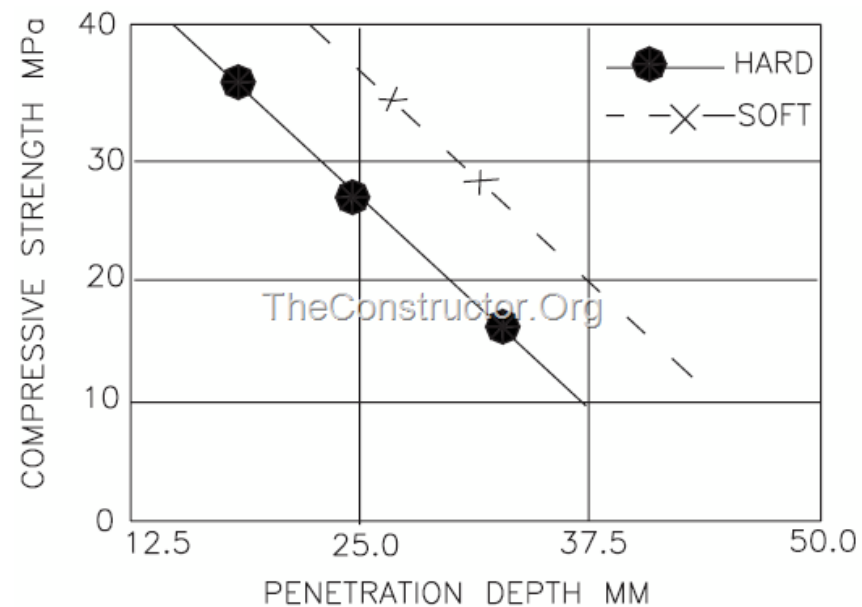
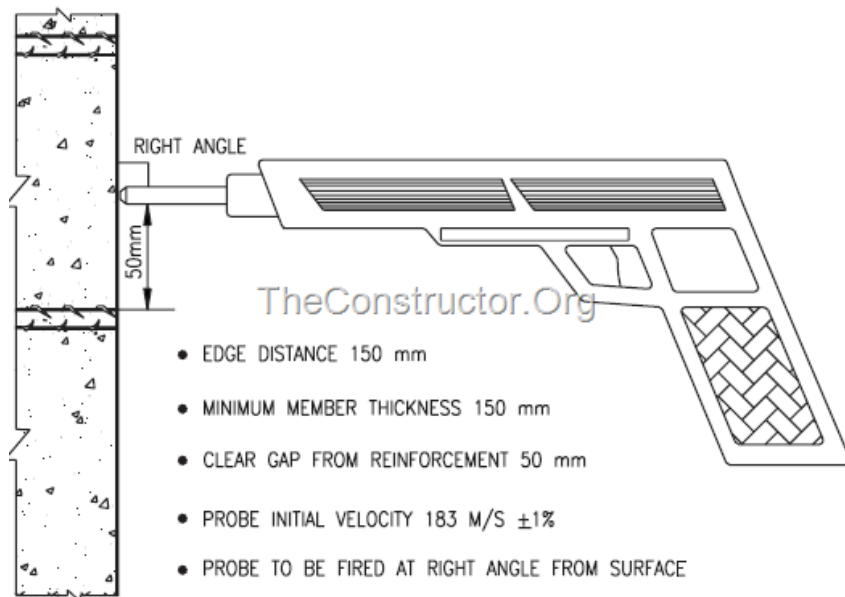
- وسیله ای که برای تعیین مقاومت در نفوذ بتن مورد استفاده قرار میگیرد، با یک ماده پودری فعال شده عمل می کند.
- دستگاه متداول معروف به میله وینسور با شلیک یک میله از آلیاژ سخت به داخل بتن توسط پودر فعال عمل می کند.
- قسمت بیرون مانده میله از بتن اندازه گیری و به عنوان مقاومت به نفوذ آن بیان می گردد.
- در ASTM C803 توضیح داده شده است.

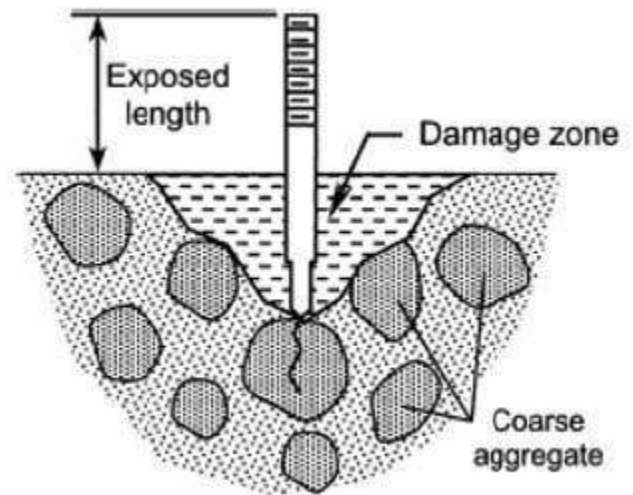
- در تعیین رابطه میزان نفوذ و مقاومت در برابر آن با مقاومت فشاری بتن، نوع و مقدار سنگدانه نقش عمده ای داشته و تعیین کننده است.

- همانطور که در شکل نشان داده شده است برای یک مقاومت فشاری یکسان، بتن ساخته شده با سنگدانه نرم (با درجه سختی به میزان کم) نفوذ میله بیشتری نسبت به سنگدانه سخت خواهد داشت.

- این روش بسیار مناسب برای تعیین نسبی روندافزایش مقاومت بتن در سنین اولیه به ویژه در تعیین زمان بازکردن قالب ها می باشد.







روش‌های آزمایش «نزدیک به سطح»

- الف) آزمایش بیرون کشیدن

Pull-out

- ب) آزمایش کشش سطحی

Pull-off

آزمایش‌های نزدیک به سطح

- فقط کیفیت بتن در نزدیک سطح را نشان می‌دهد.
- احتمال دارد که بتن در لایه سطحی نماینده بتن در عمق‌های بتن نباشد.
- ممکن است که لایه سطحی بتن توسط عوامل مخرب مانند آتش‌سوزی، یخ زدگی، نفوذ عناصر شیمیایی و غیره آسیب دیده باشد.
- در چنین مواردی لایه سطحی بتن نماینده توده بتن نیست و نباید از روش‌های ارائه شده در این بخش برای ارزیابی مقاومت بتن در سازه استفاده شود. مگر آنکه منظور از آزمایش ارزیابی مقاومت لایه آسیب دیده باشد.

- رابطه بین نتایج آزمایش و مقاومت فشاری بتن به صورت منحنی توسط سازنده دستگاه ارائه می‌شود، که به منحنی همبستگی عمومی موسوم است.

- برای تخمین مقاومت بتن استفاده از منحنی همبستگی عمومی بلامانع است.

- ولی برای پروژه‌های بزرگ و با اهمیت توصیه می‌شود که از منحنی همبستگی خاص استفاده گردد.

- در این آزمایش، تنش های سه بعدی پیچیده در داخل بتن گسترش می یابند.
- مزیت این آزمایش، سادگی و اندازه گیری مستقیم مقاومت بتن در سازه است.
- روش آزمایش مطابق ASTM C900 می باشد.
- آزمایش معروف LOK (برش قیچی) که در دانمارک ابداع گردید بطور گسترده ای استفاده می شود. در این آزمایش با اعمال نیرو توسط یک جک هیدرولیکی قابل حمل به یک پیچ و ادامه آن تا شکست و سریع رها شدن بار

بررسی همگنی (یکنواختی) بتن

- تعیین کردن قسمت‌هایی از عضو سازه‌ای که از لحاظ کیفیت متفاوت هستند با استفاده از روش‌های «تزدیک به سطح» امکان‌پذیر است.

تعیین مقاومت پیوستگی:

- به منظور تعیین کردن مقاومت پیوستگی بین مصالح تعمیری و بتن سازه، روش‌های «نزدیک به سطح» مؤثر و مناسب است.

تعیین روند خرابی:

- در مواردی که انتظار می‌رود خرابی سطح بتن در طول زمان افزایش یابد، می‌توان با انجام آزمایش‌های «نزدیک به سطح» به صورت دوره‌ای روند خرابی را تعیین کرد.

مقایسه دقت آزمایش‌ها و تعداد مورد نیاز [۳]

روش آزمایش	تعداد نمونه مورد نیاز در هر محل*	دقت در تخمین مقاومت بتن در سازه با قابلیت اعتماد در محدود ۹۵٪	نحوه آماده‌سازی
بیرون کشیدن	۴	۲۰٪± با استفاده از منحنی همبستگی عمومی ۱۰٪± با استفاده از منحنی همبستگی خاص	به دو روش انجام می‌شود: ۱- نصب در قالب ۲- نصب در بتن سخت شده
کشش سطحی	۶	۱۵٪± با استفاده از منحنی همبستگی خاص	به دو روش انجام می‌گیرد: ۱- بدون مغزه‌گیری ۲- با مغزه‌گیری

*توضیح: منظور از واژه محل در جدول فوق، قسمتی از بتن سازه است که کیفیت آن یکنواخت است. بنابراین ممکن است عضوی از سازه شامل چندین محل با کیفیت‌های متفاوت باشد. از طرفی امکان دارد که کل سازه فقط شامل تعداد محدود محل بوده و هر عضو یا چند عضو از آن سازه از کیفیت یکنواخت بتن برخوردار باشد.

آزمایش بیرون کشیدن Pull out

- بر این اصل استوار است که حداکثر نیروی کششی که به قطعه نصب شده در داخل بتن اعمال می گردد و قبل از آنکه بتن گسیخته شود با مقاومت بتن رابطه همبستگی دارد.
- در آزمایش بیرون کشیدن زاویه گسیختگی حدود 37°C است و از آنجایی که این زاویه حدوداً مساوی زاویه اصطکاک بتن 37°C است، می توان نتیجه گرفت که نیروی مورد نیاز برای بیرون کشیدن نسبت با مقاومت فشاری بتن دارد.
- به طور کلی تخمین مقاومت بتن بر اساس آزمایش بیرون کشیدن در مقایسه با آزمایش کشش سطحی از دقت و قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار است.

آزمایش بیرون کشیدن Pull out

- در این روش به هنگام ریختن بتن، یک قطعه فلزی به شکل خاص با انتهای بزرگ شده در داخل بتن تازه قرار می گیرد. این قطعه بعد از سخت شدن بتن با دستگاه نیرو سنج و جک بیرون کشیده شده و نیروی لازم اندازه گیری می شود.
- قسمت کنده شده بعدا باید با مصالح مناسب تعمیر شود.
- در صورتی که از این آزمایش برای اطمینان از زمان مناسب باز کردن قالب ها استفاده می شود نیازی نیست که قطعه فلزی و بتن کنده شود. به جای آن می توان آزمایش را تا رسیدن به نیروی از پیش تعیین شده لازم خاتمه داد و سپس قالب ها را با اطمینان باز نمود.

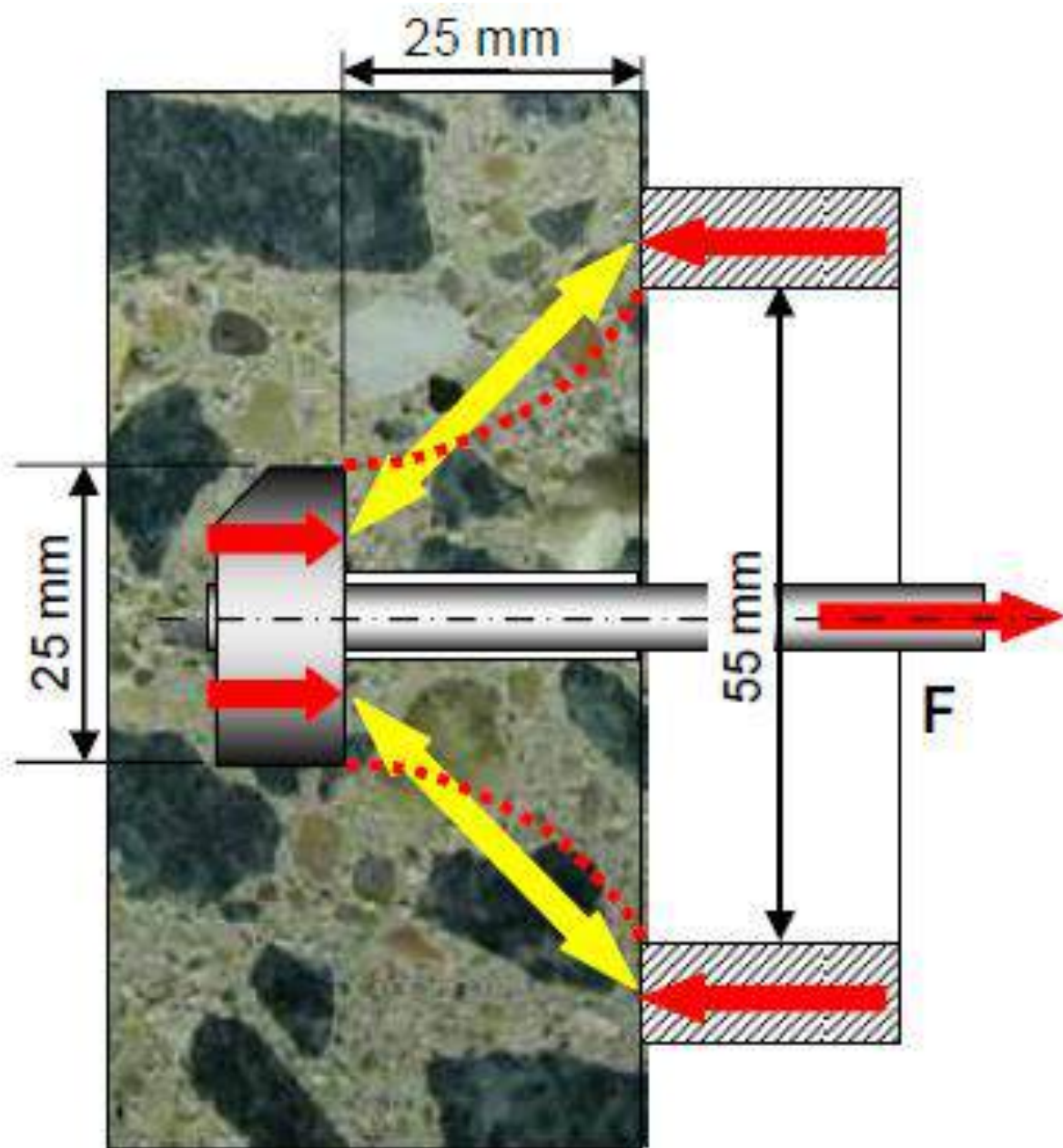
روش ها:

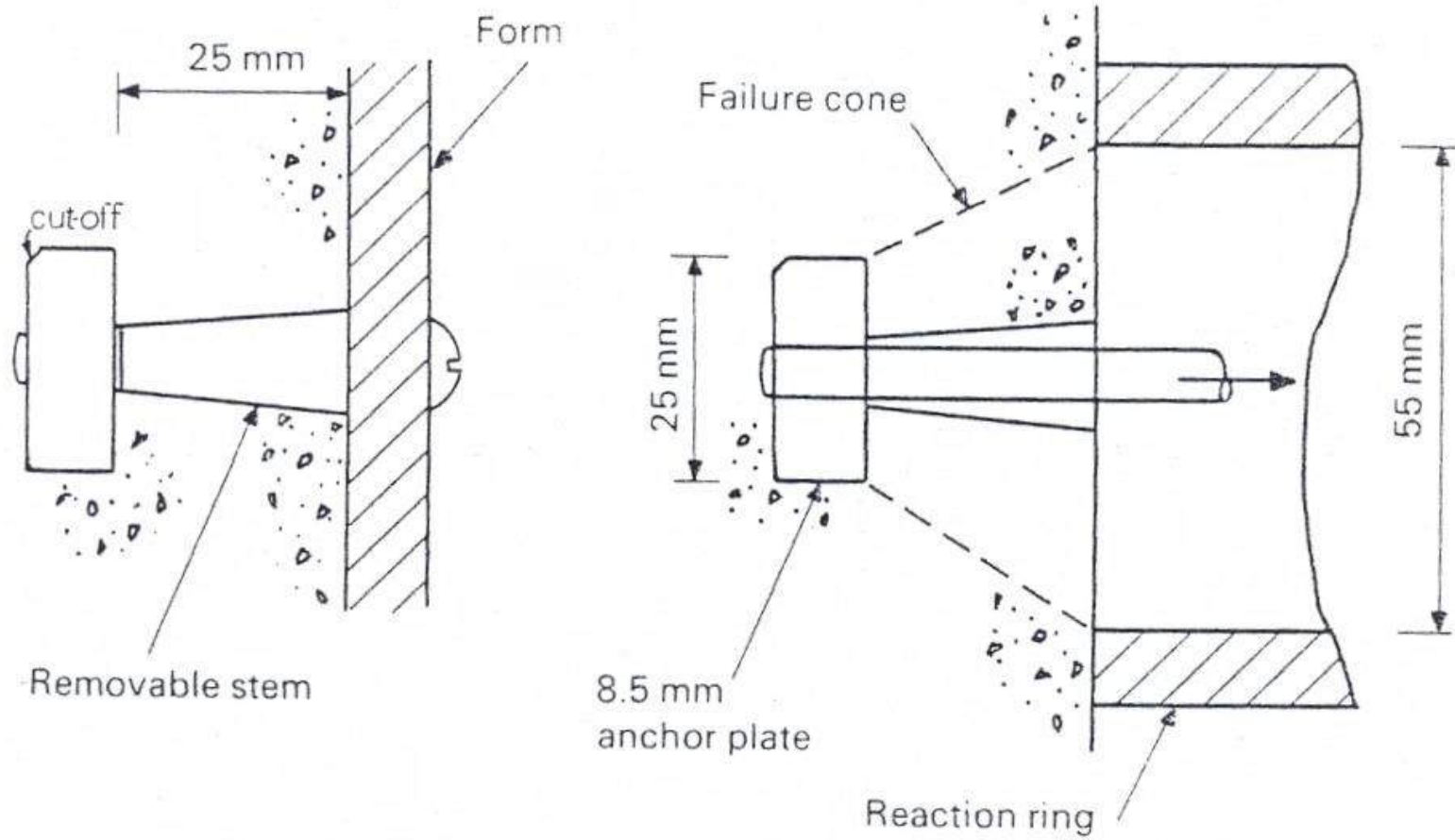
(۱) نصب در قالب یا آزمایش *Lok*

قطعه فلزی به قالب نصب می شود و سپس بتن ریزی می گردد. بنابراین قبل از ساخت سازه باید نسبت به انجام آزمایش، برنامه ریزی شود.

(۱) نصب در بتن سخت شده یا آزمایش *Capo*

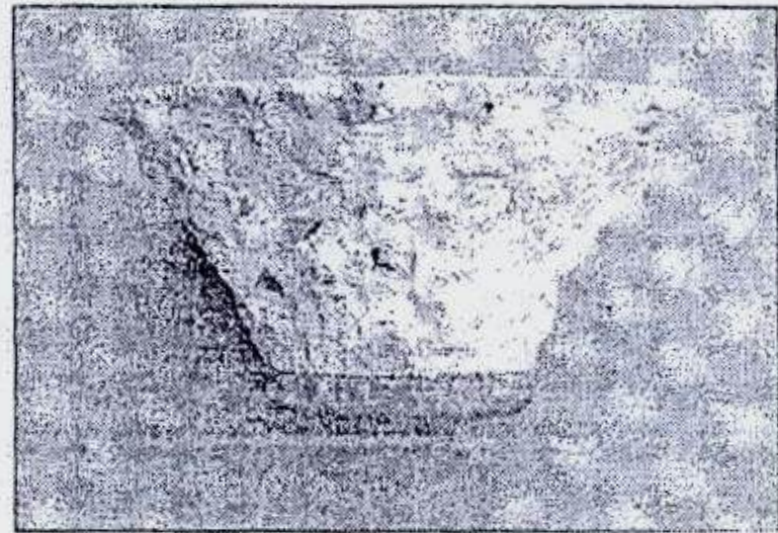
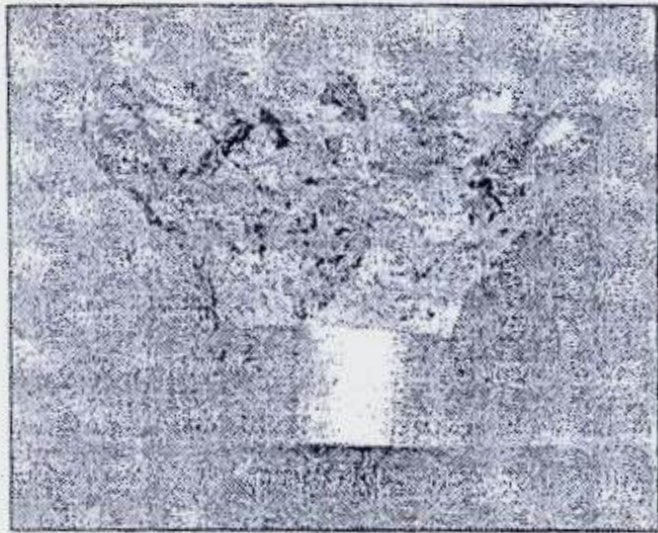
در بتن سخت شده مته زنی می شود و در داخل حفره ایجاد شده، قطعه فلزی تعبیه می گردد. در نتیجه این روش از لحاظ تصمیم گیری برای انجام آزمایش در هر سنی از سازه، انعطاف بیشتری دارد.





Lok-test insert.

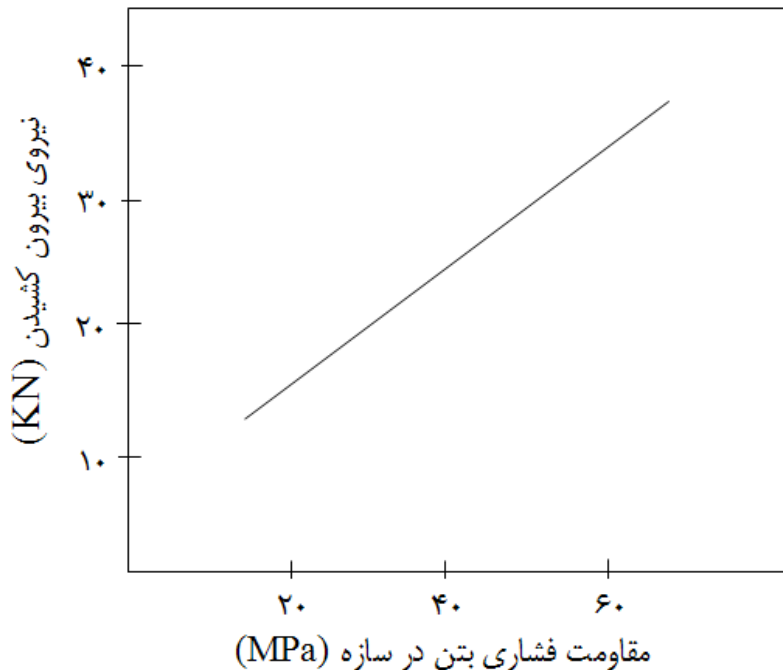
- مراکز وضعیت آزمایش باید حداقل ۲۰۰ میلیمتر از یکدیگر فاصله داشته باشند.
- همچنین فاصله مراکز تا لبه عضو بتنی تحت آزمایش باید حداقل ۱۰۰ میلیمتر باشد.
- قطعه مغزی باید در وضعیتی نصب گردد که آرماتور خارج از مخروط گسیختگی قرار بگیرد.
-
- ضخامت عضو بتنی تحت آزمایش باید حداقل ۱۰۰ میلیمتر باشد، در روش «نصب در قالب» (آزمایش LOK) قطعه مغزی باید به قالب محکم اتصال داده شود.
- اگر هدف از آزمایش تعیین زمان قالب برداری است، باید قسمتی از قالب که قطعه مغزی نصب می شود، قابل جدا شدن از قالب باشد. قبل از قالب برداری باید از جدا شدن شفت از قالب اطمینان حاصل کرد.
- در روش نصب در بتن سخت شده (آزمایش CAPO)، برای نصب مغزی باید در بتن حفره‌ای ایجاد شود و سپس در پائین حفره شکاف تعبیه گردد. معمولاً قطر حفره باید ۱۸ میلیمتر و عمق آن ۴۵ میلیمتر باشد و شکاف در عمق ۲۵ میلیمتر از سطح بتن و به قطع ۲۵ میلیمتر ایجاد گردد. سپس حلقه منبسط شونده در داخل شکاف قرار داده می شود.



مقایسه ابعاد مختلف مخروط بتن با اندازه های مختلف ابزار

رابطه بین مقاومت بتن و نیروی بیرون کشیدن:

- دقت نتایج $\pm 20\%$ است، ولی در مواردی که منحنی رابطه خاص به کار می‌رود، دقت در محدوده $\pm 10\%$ خواهد بود.



منحنی همبستگی عمومی آزمایش بیرون کشیدن

آزمایش کشیدن از سطح (Pull-off)

ماهیت آزمایش کشش سطحی بر این استوار است که مقدار نیروی کششی که لازم است بر دیسک فولادی اعمال شود تا دیسک همراه با لایه سطحی بتن جدا گردد با مقاومت بتن رابطه همبستگی دارد.

آزمایش کشیدن از سطح (Pull-off)

روش ها:

(۱) بدون مغزه گیری

(۲) با مغزه گیری (*Bond test*)

طبق روش *ASTM C 1583*

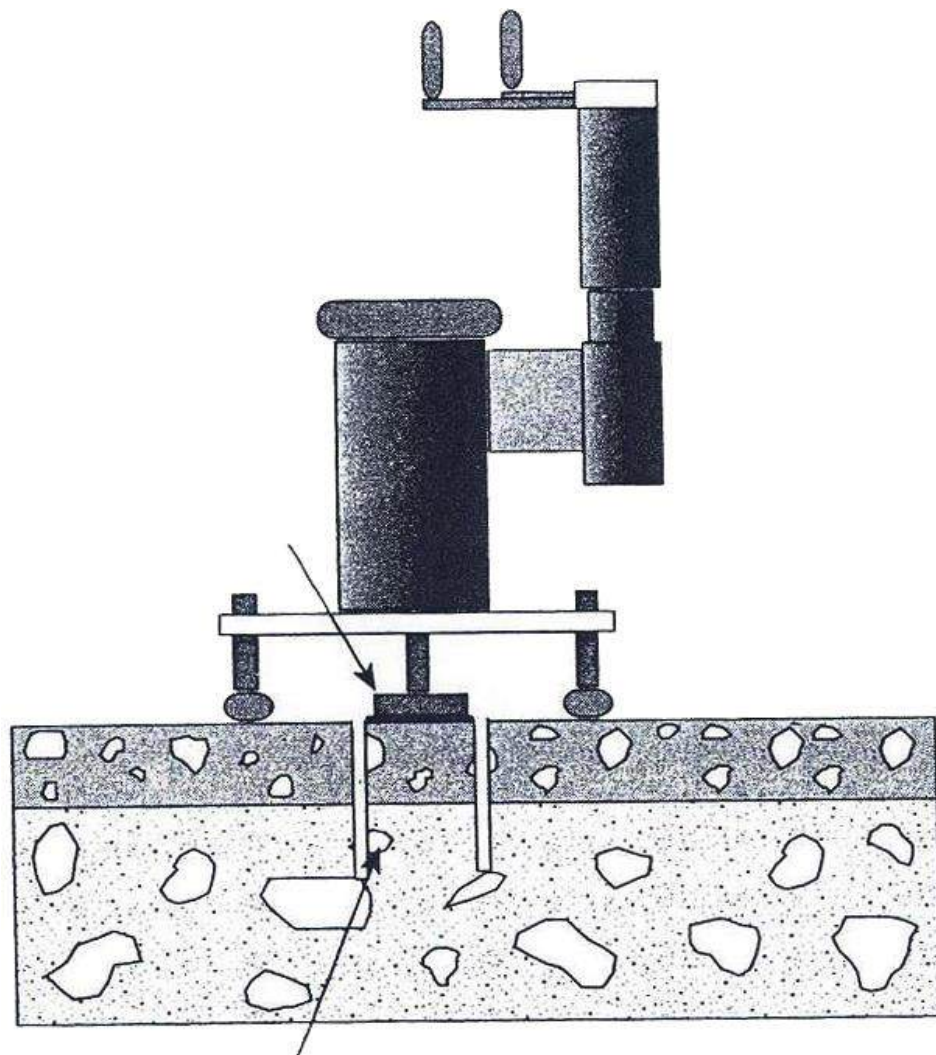
- در روش بدون مغزه‌گیری، دیسک فولادی مستقیماً بر سطح بتن اتصال داده می‌شود. در این حالت فقط سطح بتن تحت تنش قرار دارد و نتایج به دست آمده با مقاومت توده بتن رابطه ضعیف خواهد داشت.

- در روش با مغزه‌گیری، در ابتدا مغزه‌گیری نسبی (مغزه‌ای که از بتن جدا نشده است) انجام می‌شود و سپس دیسک فولادی با چسب مخصوص بر سطح مغزه چسبانده می‌گردد. مزیت این روش در ایجاد سطح گسیختگی در عمق بتن می‌باشد.

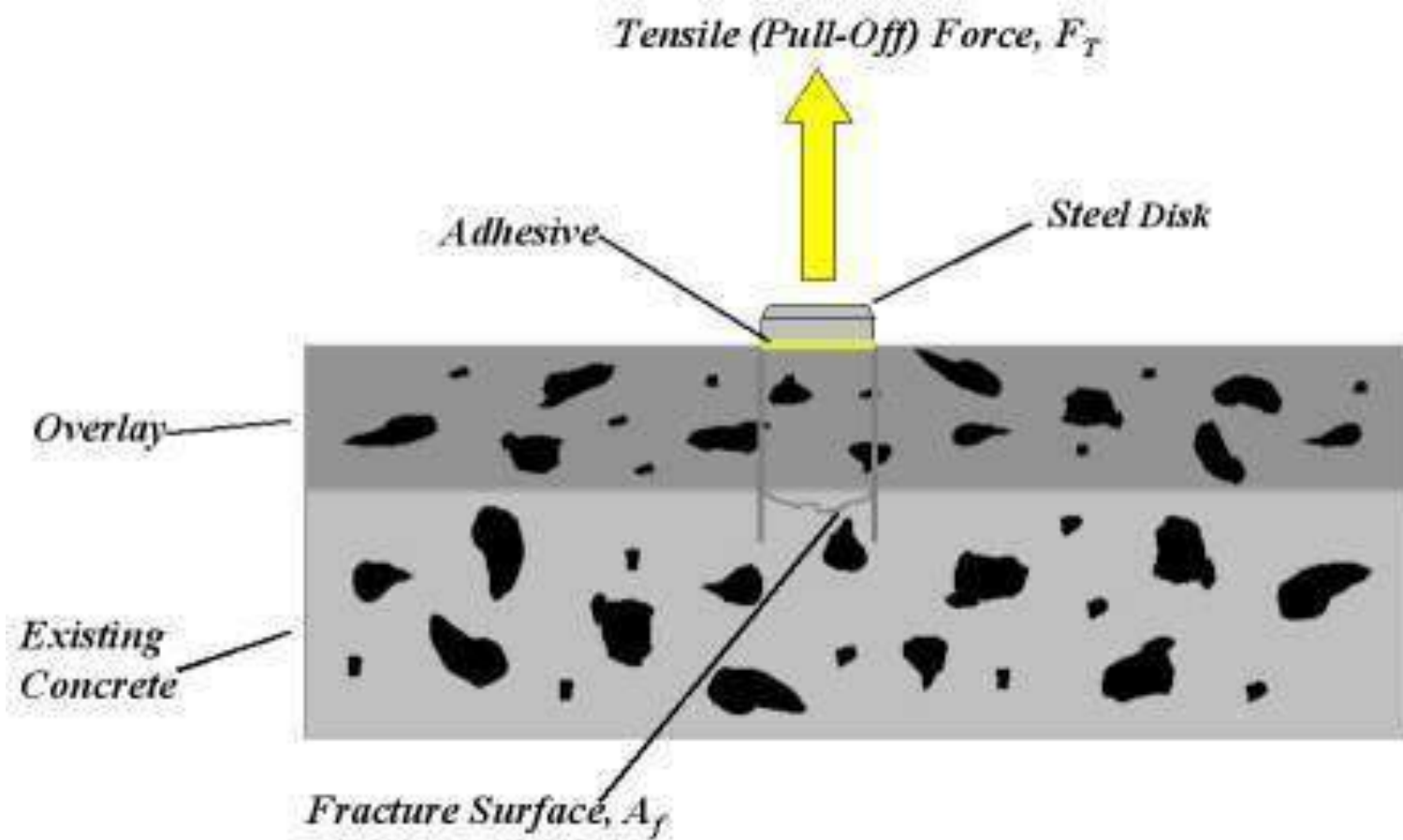
روش آزمایش:

- مراکز وضعیت آزمایش باید حداقل دو برابر قطر دیسک فولادی و از لبه‌های عضو تحت آزمایش حداقل به اندازه قطر دیسک فاصله داشته باشد.
- اگر آزمایش بر اساس روش مغزه‌گیری انجام می‌شود، وجود آرماتور در نتیجه بی‌اثر است ولی در روش با مغزه‌گیری، باید حفره ایجاد شده با آرماتور به اندازه بزرگ‌ترین سنگدانه فاصله داشته باشد.
- آماده سازی سطح بتن و دیسک فولادی ضروری است تا اتصال مناسب بین آنها برقرار گردد. سطح بتن باید از هر گونه لایه ضعیف خمیر سیمان پاک شود و سپس با وسیله‌ای مناسب سائیده گردد.
- سطح دیسک فولادی باید عاری از هر نوع مواد زائد، گریس و گرد و غبار باشد. باید رزین چسب به صورت لایه‌ای نازک و یکنواخت بر تمام سطح تماس اعمال شود و چسب اضافی در اطراف دیسک پاک گردد.
- زمان مورد نیاز برای سخت شدن رزین متفاوت است و بسته به نوع چسب و دما بین ۵/۱ تا ۲۴ ساعت است.





آزمایش کشیدن از سطح برای اندازه گیری مقاومت پیوستگی



آزمایش مافوق صوت

(۱) غیر مخرب است.

(۲) کاربرد:

- تعیین مقاومت بتن در سازه
- تعیین ضخامت لایه آسیب دیده

روش های انتشار امواج تنشی

آزمایش سرعت پالس

- سرعت امواج تابع خواص الاستیک و جرم بتن است و بنابراین اگر جرم و سرعت امواج اندازه گیری شود، ارزیابی خواص الاستیک بتن امکان پذیر است.

آزمایش سرعت پالس مافوق صوت برای موارد به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- تعیین یکنواختی کیفیت بتن در یک عضو یا بین اعضا سازه
- تعیین مقاومت بتن
- کشف وجود ترک و اندازه‌گیری عمق آن و دیگر نارسائی‌ها
- تعیین مدول الاستیک و نسبت پواسون دینامیکی

- دستگاه شامل تولیدکننده پالس الکتریکی، دو عدد مبدل، تقویت کننده (آمپلی فایر) و وسیله‌ای الکترونیکی برای اندازه‌گیری زمان عبور پالس بین مبدل فرستنده و گیرنده می‌باشد.
- معمولاً فرکانس طبیعی مولدها بین ۲۰ تا ۱۵۰ KHz است. هرچند فرکانس‌های کمتر مانند ۱۰ KHz برای مسیر طولانی عبور پالس و فرکانس‌های زیادتر تا ۱ KHz برای ملات و گروت مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- مولد با فرکانس زیاد برای مسیر کوتاه و مولد با فرکانس کم برای مسیر طولانی (عمق زیاد بتن) ترجیح داده می‌شود.

- در اکثر موارد، مولدهایی با فرکانس ۵۰ تا ۶۰ KHz مناسب است.
- برای اجرای آزمایش، مبدل اکترو-آکوستیک (فرستنده) که تولید کننده پالس است، بر روی سطح بتن قرار داده می شود. پس از عبور پالس از طول معین L (ضخامت بتن)، ارتعاشات پالس توسط مبدل ثانویه (گیرنده) به علامت های الکتریکی تبدیل می گردد.
- مدار الکترونیکی دستگاه قادر است که زمان عبور پالس T را اندازه گیری کند.

- سرعت پالس V (بر حسب km/s یا m/s) از رابطه زیر به دست می آید:
-

$$V = \frac{L}{T}$$

که در آن:

L = طول مسیر پالس

T = زمان عبور پالس، مدت زمانی که پالس از طول L عبور می کند،

از طرف دیگر سرعت پالس V با مدول دینامیکی رابطه مستقیم دارد:

$$V = K \times E_d$$

که در آن:

$$K = \frac{(1-\gamma)}{(1+\gamma)(1-2\gamma)}$$

E_d = مدول الاستیک دینامیکی (KN/mm^2)

D = وزن مخصوص بتن (Kg/m^3)

γ = ضریب پواسون دینامیکی

- اگر فرض شود که وزن مخصوص و ضریب پواسون برای بتن‌های مختلف چندان تفاوت ندارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سرعت پالس تابع مدول دینامیکی است. از طرف دیگر مدول استاتیکی با مدول دینامیکی طبق فرمول زیر رابطه دارد:

$$E_c = 1/25 E_d - 19$$

- E_d و E_c به ترتیب مدول استاتیک و دینامیکی بر حسب GPa است. همچنین مقاومت فشاری بتن F_{cu} با مدول استاتیکی رابطه دارد.

$$E_c = 9/1 f_{cu}^{2/3}$$

- بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با تعیین سرعت پالس امکان تعیین مقاومت فشاری وجود دارد.

تنظیم دستگاه:

- قبل از شروع آزمایش، ضروری است که دستگاه تنظیم و کالیبره شود، به عبارت دیگر دستگاه بر روی قرائت مبنای صفر قرار داده شود.
- به همین منظور مولدها در دو طرف میله مخصوص مربع قرار داده و سپس بر اساس مدت زمان حکاکی شده بر روی آن میله، قرائت دستگاه تنظیم می‌گردد. چنانچه قرائت دستگاه مساوی با مدت زمان میله مرجع باشد، نشانه تنظیم و کالیبره شدن دستگاه می‌باشد.
- معمولاً میله‌هایی که برای تنظیم دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای مدت زمان عبور پالس برابر با $25\text{ }\mu\text{s}$ است برای برقراری ارتباط بین مولدها و میله مربع باید از مواد مخصوص اتصال مانند گریس به حداقل مقدار ممکن استفاده نمود.

آرایش قرارگیری مبدل‌ها:

- انجام آزمایش به صورت‌های مختلف مستقیم (سطوح مخالف)، نیمه مستقیم (سطوح مجاور) و غیرمستقیم (در یک سطح) بر اساس موقعیت قرار گرفتن مبدل‌ها امکان‌پذیر است

تعیین سرعت پالس در روش انتقال مستقیم:

- روش انتقال مستقیم مطلوب‌ترین آرایش قرارگیری و مبدل‌ها است و در مواردی که امکان‌پذیر است باید از این روش استفاده نمود، زیرا حداکثر انرژی پالس‌ها منتقل و دریافت می‌شود.
- بنابراین تعیین دقیق سرعت پالس اساساً تابع دقت در اندازه‌گیری طول مسیر می‌باشد. به عبارت دیگر چنانچه طول مسیر با دقت اندازه‌گیری شود، سرعت پالس تعیین شده از دقت کافی برخوردار خواهد بود.

- تعیین سرعت پالس در روش انتقال نیمه مستقیم: در

مواردی که از این روش استفاده می‌شود نباید فاصله بین مبدل‌ها
چندان زیاد باشد، در غیر این صورت امکان عدم دریافت پالس‌ها وجود
دارد. برای تعیین طول مسیر باید فاصله بین مراکز مولدها اندازه‌گیری
شود. این روش اندازه‌گیری از دقت کافی برخوردار است.

- تعیین سرعت پالس در روش انتقال غیرمستقیم: از روش

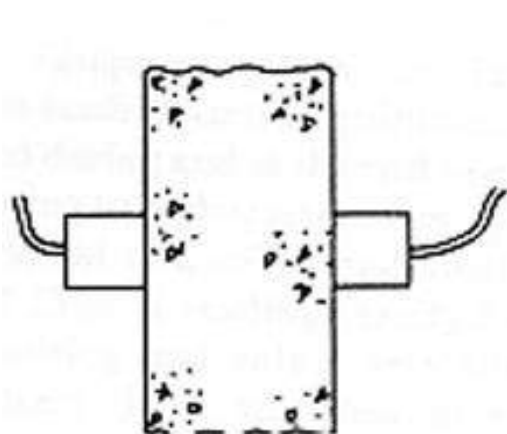
انتقال غیرمستقیم باید در موارد زیر استفاده گردد:

الف- فقط یک طرف بتن قابل دسترس است.

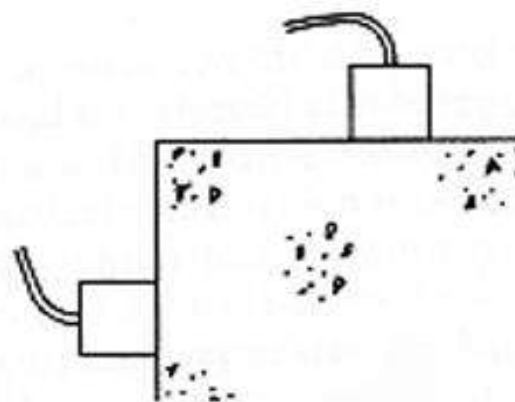
ب- عمق ترک باید تعیین گردد.

ج- ضخامت لایه سطحی بتن که کیفیت نامطلوب دارد باید اندازه گیری شود.

- در روش غیرمستقیم، اندازه‌گیری طول دقیق مسیر انتقال همراه با عدم قطعیت است.
- بنابراین برای دقت بیشتر باید یک سری اندازه‌گیری با تغییر دادن فاصله مولدها، انجام شود. نحوه آزمایش به این صورت است که در ابتدا محل مولد فرستنده ثابت نگاه داشته می‌شود و محل مولد گیرنده در فواصل معین و در طول یک خط تغییر می‌یابد. هر دفعه که محل مولد تغییر می‌کند، زمان انتقال پالس اندازه‌گیری می‌شود.
- فاصله بین دو مولد در محور X و زمان‌های انتقال پالس در محور Y گراف ترسیم می‌گردد. در واقع شیب خط در گراف برابر با سرعت پالس است. چنانچه خط رسم شده غیریپوسته باشد نشانه وجود ترک در لایه سطحی است و یا کیفیت لایه سطحی بتن نامطلوب می‌باشد



روش مستقیم



روش نیمه مستقیم

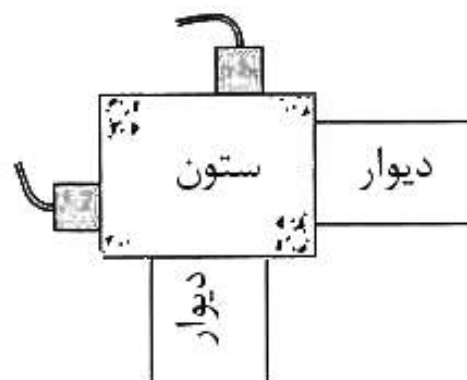


روش غیرمستقیم

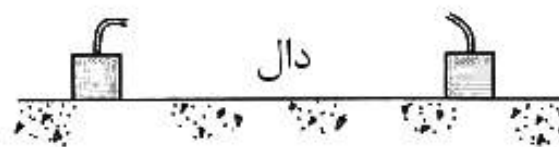
روشهای مختلف آزمایش مافوق صوت



الف- روش مستقیم

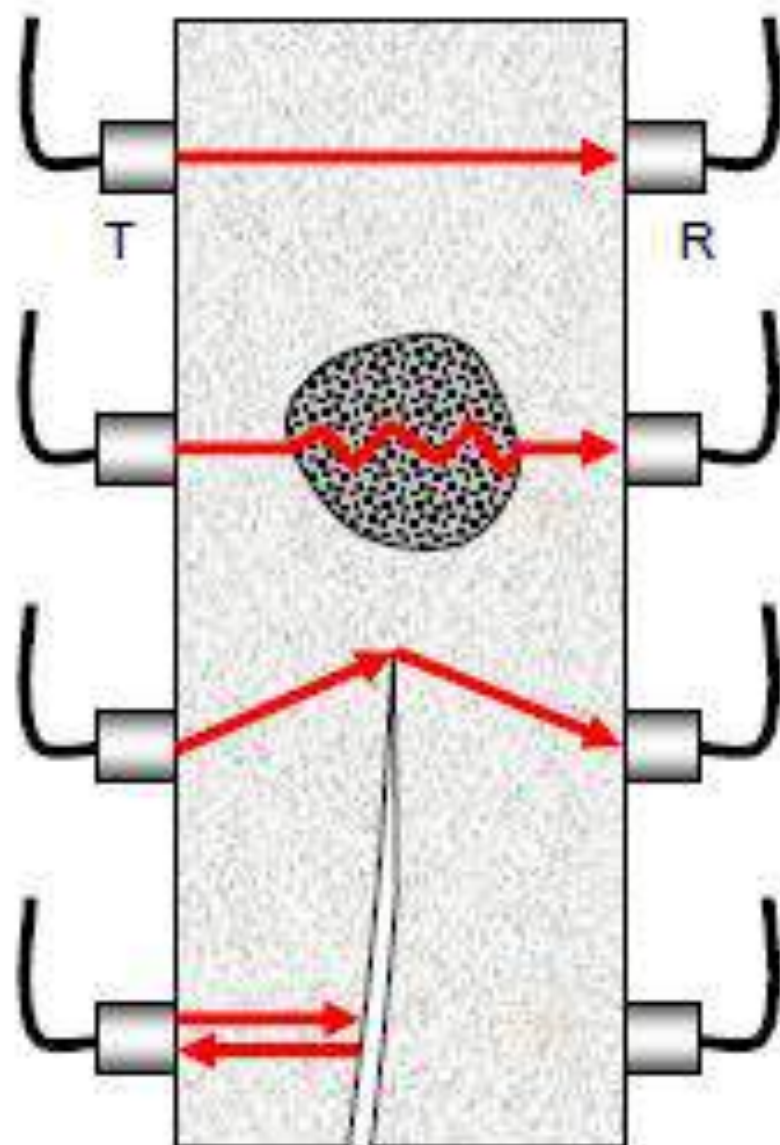


ب- روش نیمه مستقیم

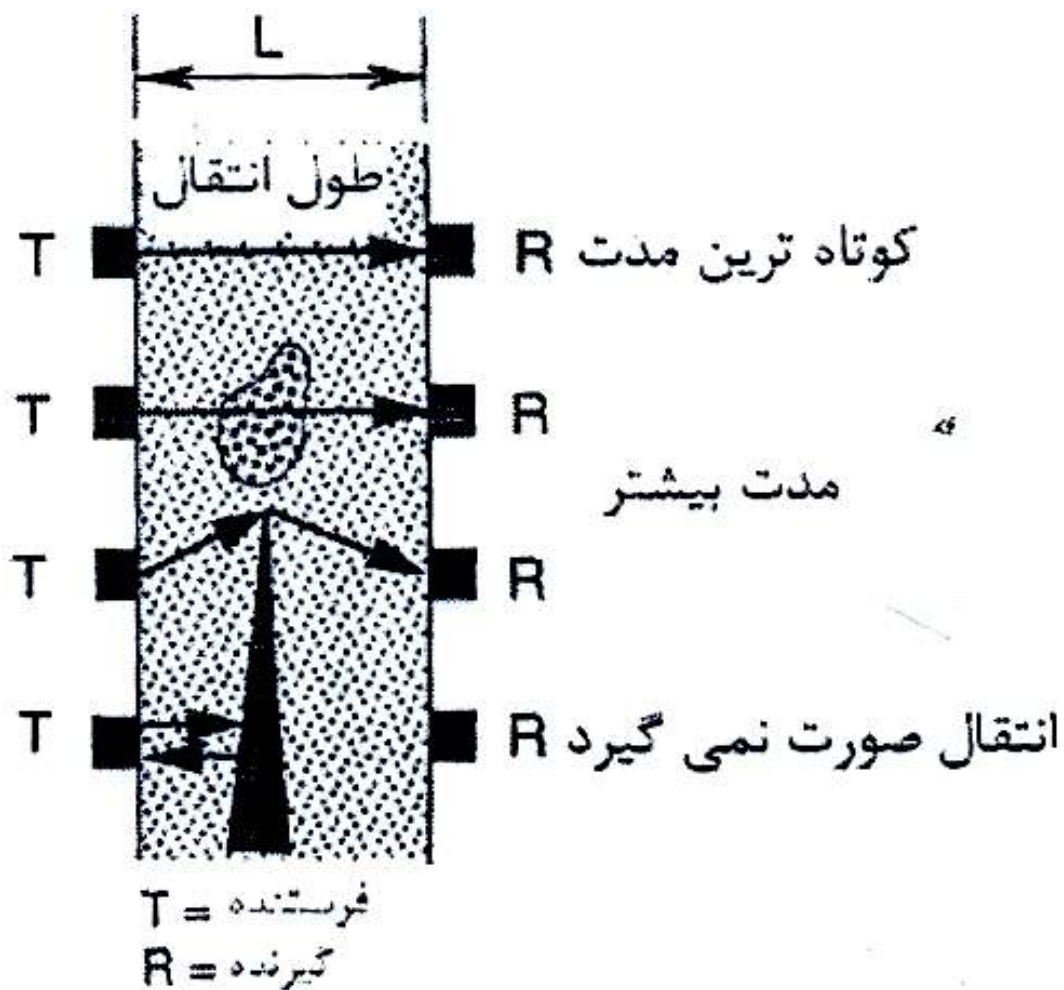


ج- روش غیر مستقیم

آرایش فراگیری مولدها (الف) روش مستقیم، (ب) روش نیمه مستقیم و
(ج) روش غیر مستقیم [۱]



T = Transmitter
R = Receiver







دستگاه مافوق صوت در هنگام آزمایش

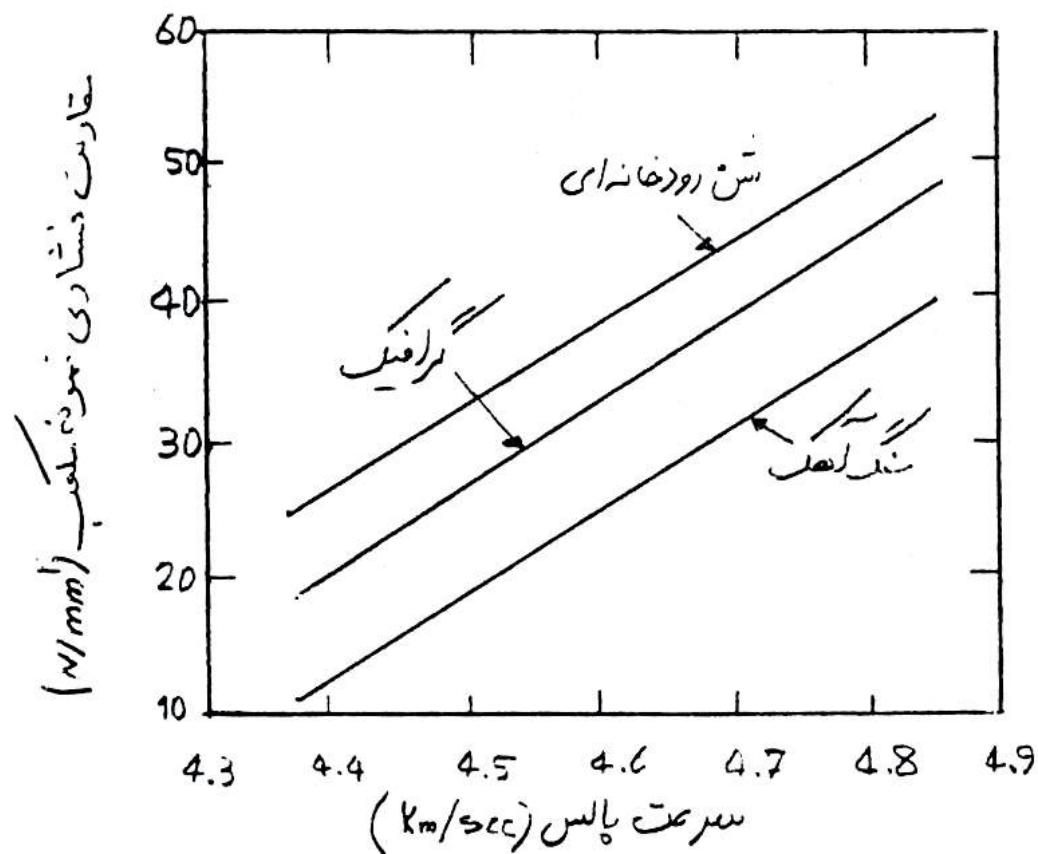
اتصال دادن مولدها بر سطح بتن:

- به منظور اطمینان از اینکه پالس‌های تولید شده در مولد فرستنده به درون بتن وارد می‌شوند و سپس توسط مولد گیرنده دریافت می‌گردد، ضروری است که اتصال صوتی مناسب بین مولدها و سطح بتن قرار باشد.

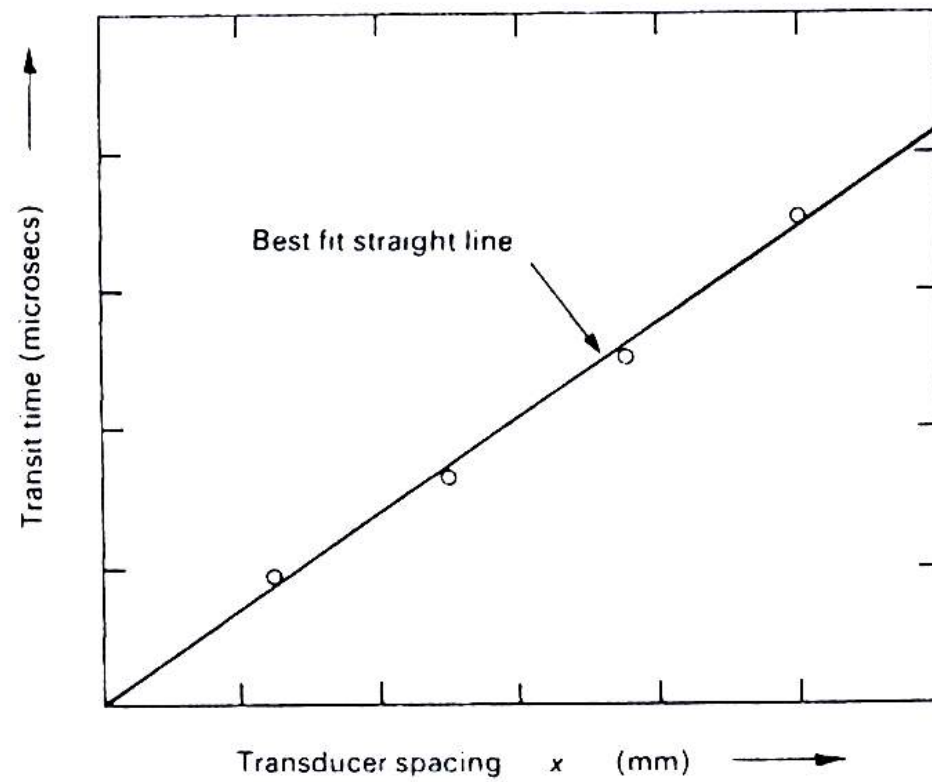
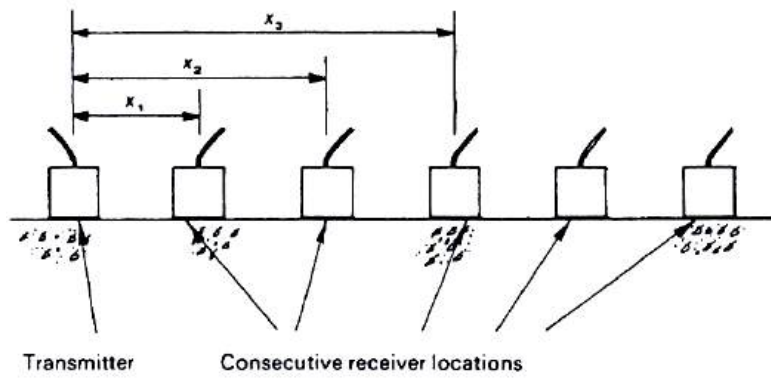
- در بسیاری از موارد، سطح پرداخت شده بتن به اندازه کافی صاف است و با استفاده از ماده‌ای مخصوص اتصال و با فشردن مولدها بر روی سطح بتن، تماس صوتی برقرار می‌گردد. در صورت عدم تماس کافی بین مولدها و سطح بتن در سطح مشترک ممکن است حباب هوا ایجاد شود و باعث خطا در اندازه‌گیری زمان انتقال گردد.

اتصال دادن مولدها بر سطح بتن:

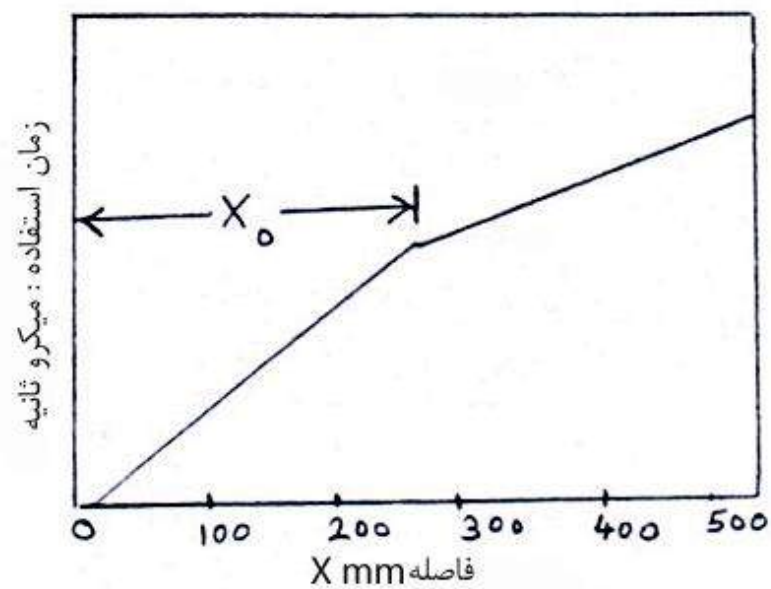
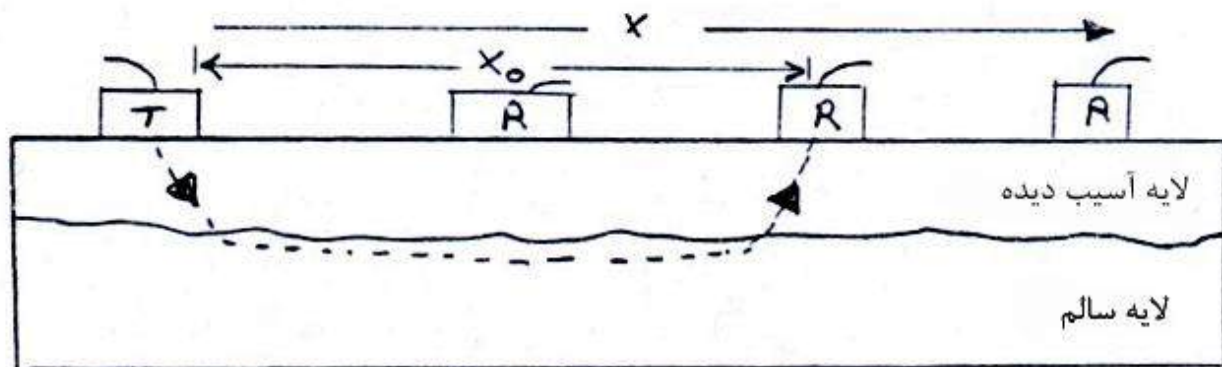
- مواد مخصوص اتصال تنوع زیادی دارند مانند وازلین، گریس، مایع صابون و خمیر کائولین-کلیسرول که مناسبترین آنها وازلین است.
- مواد اتصال باید تا حد امکان در ضخامت کم اعمال گردد و در یک محل باید چندین قرائت گرفته تا حداقل مقدار زمان انتقال به عنوان نتیجه آزمایش به دست آید.



تأثیر نوع مصالح سنگی در سرعت پالس



Indirect reading—results plot



کشف نارسائی‌ها

- از آنجایی که پالس قادر است که از هوا عبور کند، وجود ترک یا منافذ در مسیر سبب می‌گردد که طول مسیر افزایش یابد زیرا پالس از پیرامون ترک یا منافذ عبور می‌کند و در نتیجه زمان انتقال افزایش یافته و از سرعت پالس کاسته می‌شود.
- از همین پدیده می‌توان برای این نارسایی‌ها در بتن استفاده نمود. باید توجه داشت که منافذ و ترک اشباع شده از آب قادرند که امواج را از خود عبور دهند و در نتیجه در بتن‌های اشباع استفاده از این روش توصیه نمی‌شود.
- همچنین در صورت کم بودن قطر منافذ و عرض ترک احتمال عبور پالس از آن منافذ وجود دارد، به طور کلی این روش برای کشف منافذی مناسب است که سطح منفذ عمود بر پالس بزرگ‌تر از طول موج و قطر مبدل‌ها باشد.

تخمین عمق ترک:

- برای تخمین عمق ترک عمود بر سطح بتن از روش انتقال غیرمستقیم استفاده می‌گردد. مبدل‌های فرستنده و گیرنده در فاصله‌ای مساوی X بر سطح بتن قرار داده می‌شود. با استفاده از رابطه زیر عمق ترک قابل محاسبه است

$$h = X \sqrt{\left(\frac{T_c^2}{T_s^2} - 1 \right)}$$

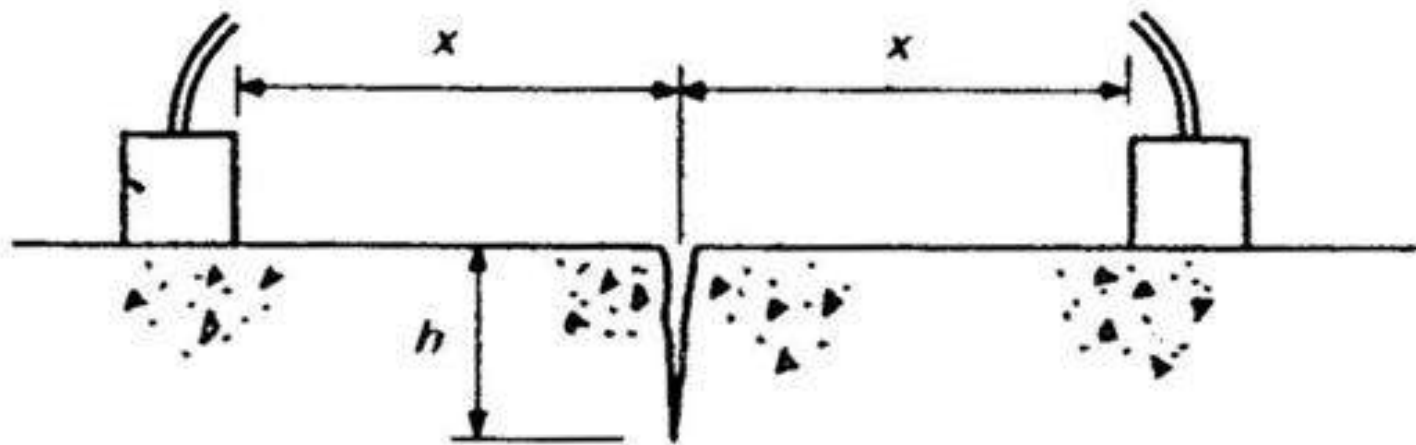
که در آن:

T_s = زمان انتقال در بتن سالم (بدون ترک)

T_c = زمان انتقال از کنار ترک

X = فاصله مبدل‌ها از دو طرف ترک (mm)

h = عمق ترک (mm)



روش آزمایش برای تعیین عمق ترک

تخمین عمق لایه آسیب دیده:

- ممکن است لایه سطحی بتن دارای کیفیت نامطلوب باشد. این پدیده ممکن است به دلیل ساخت نامناسب باشد یا به دلیل آسیب دیدگی ناشی از آتش سوزی، یخ زدگی، حمله سولفات و غیره ایجاد شود. ضخامت لایه آسیب دیده را می توان با استفاده از اندازه گیری مافوق صوت محاسبه نمود.

تخمین عمق لایه آسیب دیده:

- براساس روش انتقال غیرمستقیم مولدها بر روی سطح بتن قرار داده می‌شوند و زمان انتقال اندازه‌گیری می‌شود و تغییر دادن فاصله مولدها و اندازه‌گیری زمان انتقال به دفعات تکرار می‌گردد .
- نتایج حاصله به صورت گراف مانند شکل ترسیم می‌شود. موقعی که مبدل‌ها در فاصله کم از یکدیگر قرار دارند، پالس از میان لایه سطحی عبور می‌کند و شیب خط گراف نشانه سرعت پالس در لایه سطحی است.
- اما با افزایش فاصله مولدها از مقدار معین، پالس از لایه عمیق با کیفیت بهتر بتن عبور می‌کند و شیب خط به دست آمده سرعت پالس در آن لایه را نشان می‌دهد.

- ضخامت لایه ضعیف t از رابطه زیر به دست می‌آید

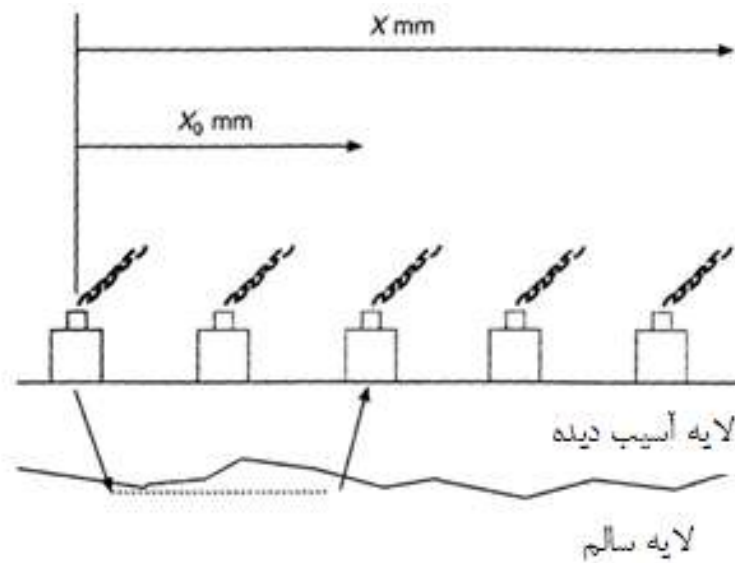
$$t = \frac{x_0}{v} \sqrt{\left(\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d} \right)}$$

که در آن:

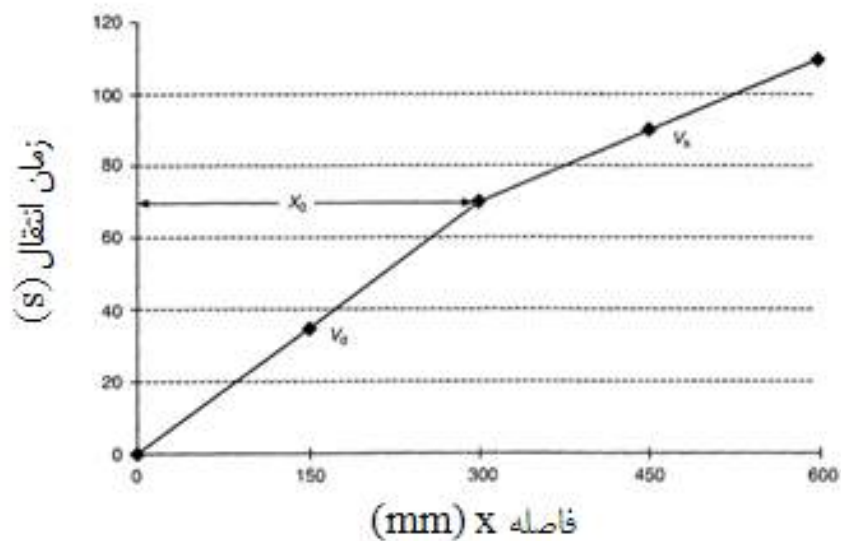
X_0 = فاصله‌ای که شیب خط تغییر کرده است (mm)

V_s = سرعت پالس در بتن سالم (لایه زیرین) (km/s)

V_d = سرعت پالس در بتن آسیب دیده (لایه سطحی) (km/s)



الف - نحوه آزمایش

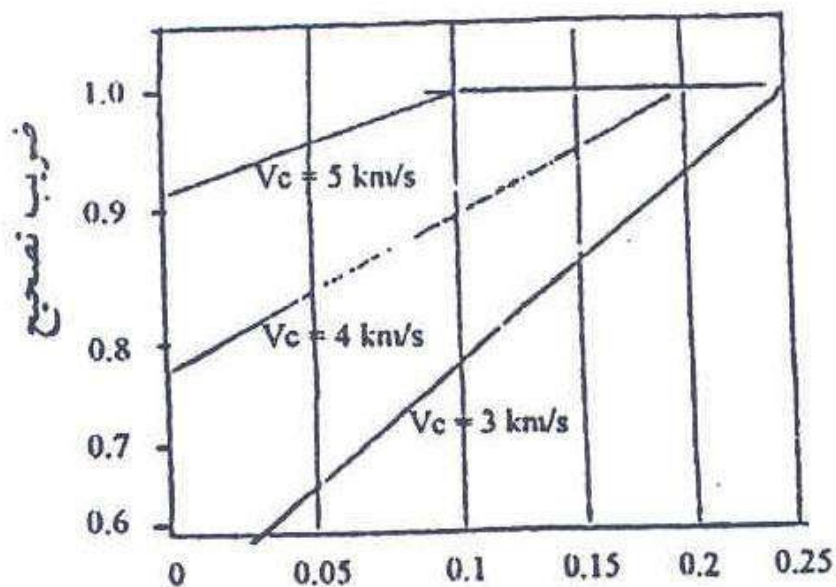


ب - منحنی ترسیم شده

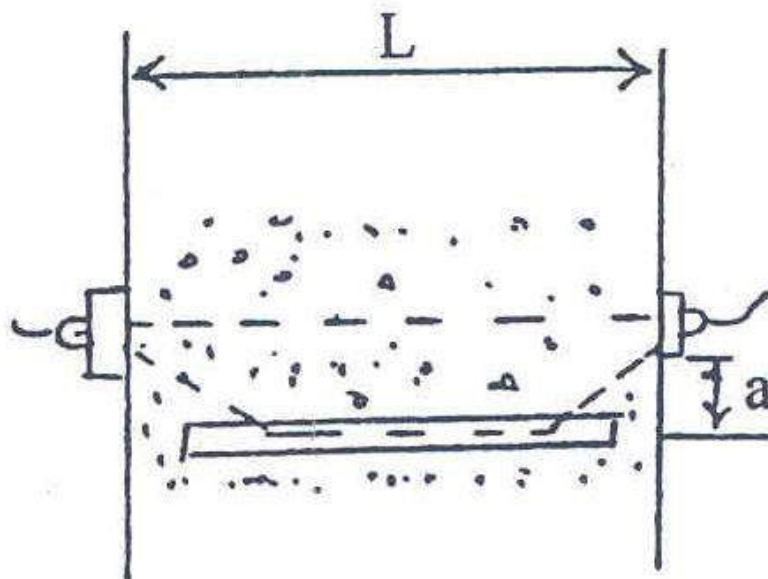
اثر آرماتور در سرعت پالس:

- سرعت پالس در بتن آرمه بیشتر از بتن معمولی با همان نوع بتن می باشد. به دلیل آنکه سرعت پالس، در فولاد حدود دو برابر سرعت در بتن است و پالسی که مولد گیرنده دریافت می کند، بخش از بتن و بخشی دیگر از فولاد عبور می کند.
- افزایش ظاهری در سرعت پالس به نزدیکی مولد به آرماتور، قطر و تعداد میلگردها و امتداد آنها نسبت به مسیر انتشار پالس بستگی دارد.
- به هر حال تصحیح مقادیر اندازه گیری شده دقت تخمین پالس را کاهش می دهد بنابراین تا آنجایی که امکان دارد باید از نزدیک بودن مولدها به آرماتور اجتناب شود.

- محور آرماتور موازی با مسیر پالس: در مواردی که محور آرماتور به موازات مسیر پالس است، ضریب تصحیح از شکل مربوطه به دست می‌آید. در شکل V_c سرعت واقعی پالس و V سرعت ظاهری پالس است



ب - ضرائب تصحیح

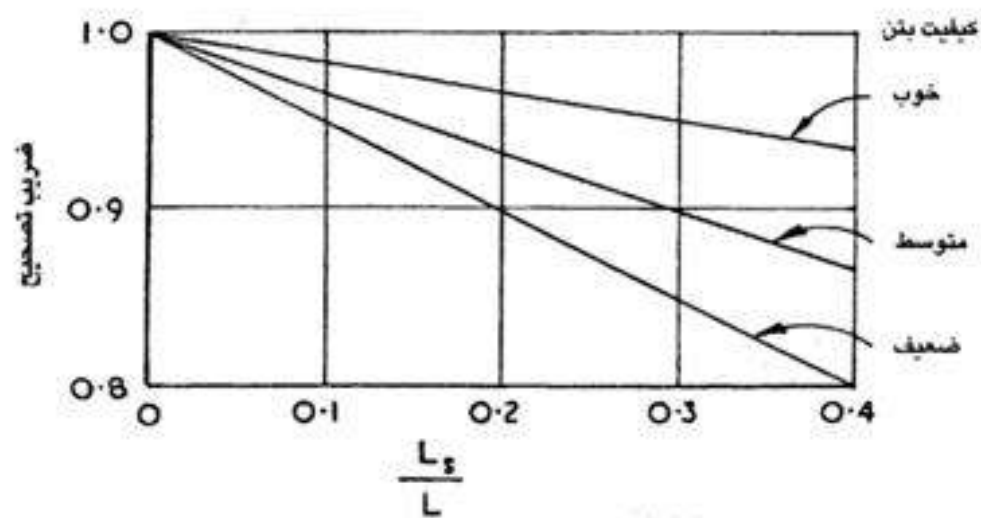
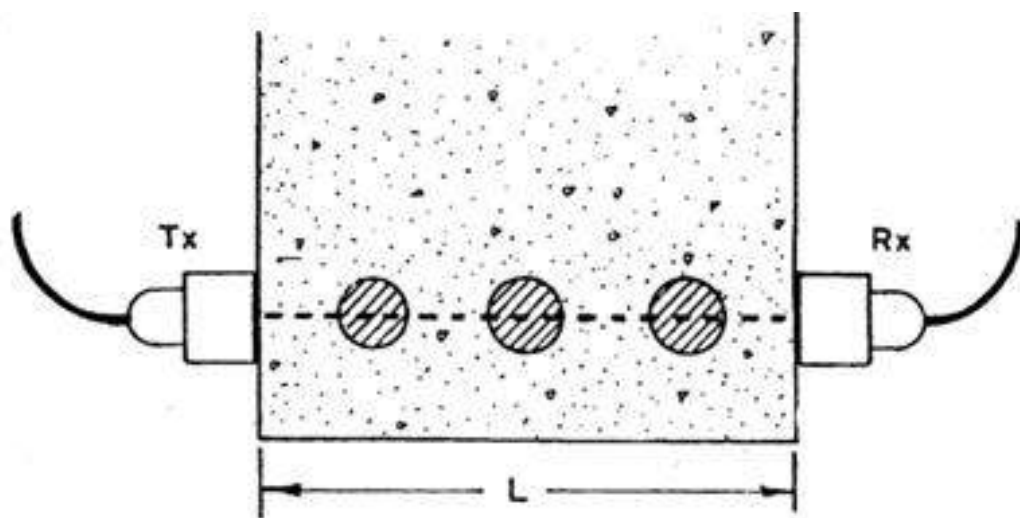


الف - سطح مقطع بتن با فولاد

اثر میلگردها در سرعت پالس، میلگرد به موازات مسیر پالس

محور آرماتور عمود بر مسیر پالس:

- چنانچه محور آرماتور عمود بر مسیر پالس باشد، ضرایب تصحیح از گراف شکل مربوط، به دست می‌آید. در این شکل ما طول مسیر پالس در آرماتور یا به عبارت دیگر مجموع قطر میلگردها می‌باشد



اثر میلگردها در سرعت پالس، میلگرد عمود بر مسیر پالس

روش فاکتور رواداری:

پارامترها:

- (۱) کنترل کیفیت خوب، توزیع نرمال
کنترل کیفیت نامطلوب، توزیع لگاریتم نرمال
- (۲) اهمیت سازه، p
برای سازه معمولی ۷۵٪
برای سازه مهم ۹۰٪
برای سازه های خیلی مهم ۹۵٪
- (۳) تعداد آزمایش n

$$f'_c = f_m - K(SD)$$

که در آن:

$$f'_c = \text{مقاومت مشخصه}$$

$$f_m = \text{مقاومت میانگین}$$

$$SD = \text{انحراف استاندارد}$$

$$K = \text{فاکتوری که تابع درصد احتمال است و یا در اینجا به}$$

فاکتور رواداری مرسوم است.

فاکتور رواداری k

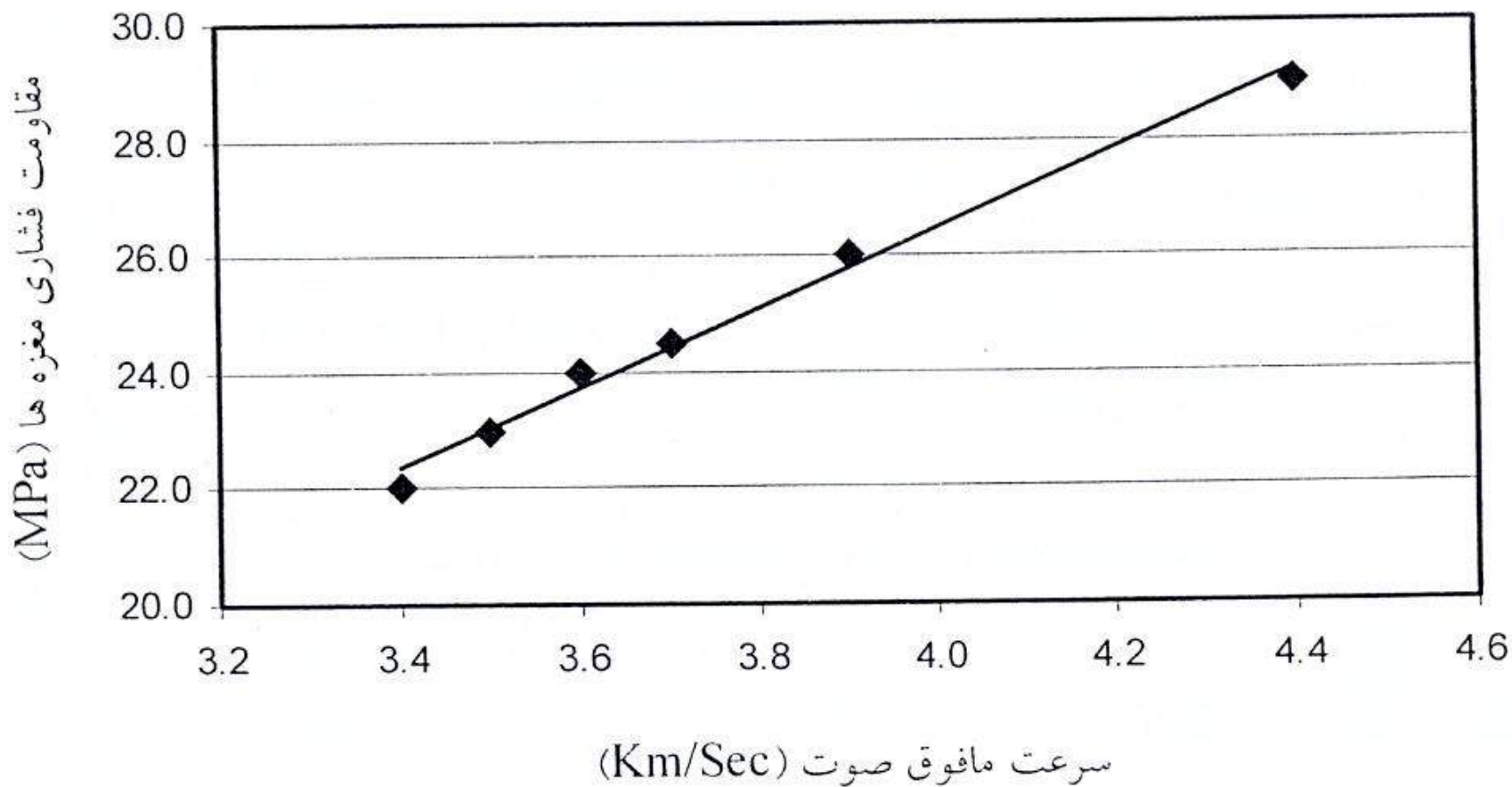
حد اطمینان			تعداد آزمایش
۹۵٪	۹۰٪	۷۵٪	
۱۵۸/۶	۲۵۸/۴	۵۰۱/۲	۳
۱۶۳/۴	۱۸۷/۳	۱۳۴/۲	۴
۴۰۷/۳	۷۴۲/۲	۹۶۱/۱	۵
۰۰۶/۳	۴۹۴/۲	۸۶۰/۱	۶
۷۵۵/۲	۳۳۳/۲	۷۹۱/۱	۷
۵۸۲/۲	۲۱۹/۲	۷۴۰/۱	۸
۴۵۴/۲	۱۳۳/۲	۷۰۲/۱	۹
۳۵۵/۲	۰۶۵/۲	۶۷۱/۱	۱۰
۲۷۵/۲	۰۱۲/۲	۶۴۶/۱	۱۱
۲۱۰/۲	۹۶۶/۱	۶۲۴/۱	۱۲
۱۵۵/۲	۹۲۸/۱	۶۰۶/۱	۱۳
۱۰۸/۲	۸۹۵/۱	۵۹۱/۱	۱۴
۰۶۸/۲	۸۶۶/۱	۵۷۷/۱	۱۵
۹۲۶/۱	۷۶۵/۱	۵۲۸/۱	۲۰
۸۳۸/۱	۷۰۲/۱	۴۹۶/۱	۲۵
۷۷۸/۱	۶۵۷/۱	۴۷۵/۱	۳۰
۷۳۲/۱	۶۲۳/۱	۴۵۸/۱	۳۵
۶۹۷/۱	۵۹۸/۱	۴۴۵/۱	۴۰
۶۴۶/۱	۵۶۰/۱	۴۲۶/۱	۵۰

ردیف	نتایج آزمایش مافوق صوت Km/Sec
۱	۳/۵
۲	۳/۷
۳	۳/۶
۴	۳/۹
۵	۳/۴
۶	۴/۴
۷	۴/۵
۸	۴/۶
۹	۳/۵
۱۰	۴

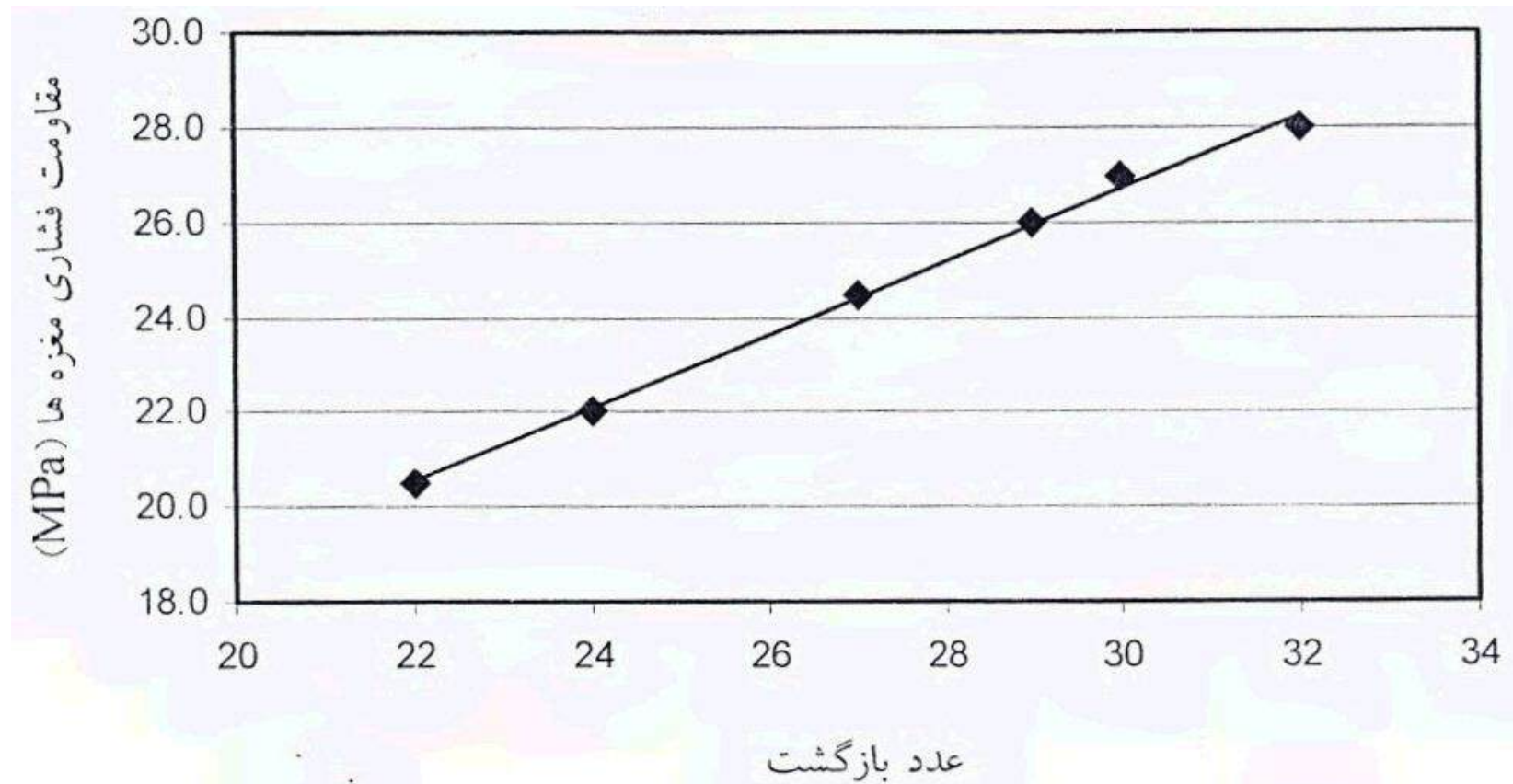
ردیف	نتایج آزمایش چکش اشمیت
۱	۲۲
۲	۲۴
۳	۳۰
۴	۳۲
۵	۲۷
۶	۲۹
۷	۲۵
۸	۲۶
۹	۳۳
۱۰	۳۰

نتایج آزمایش مغزه ها

ردیف	نتایج مقاومت نمونه های مغزه (Mpa)
۱	۲۸
۲	۳۰
۳	۲۵
۴	۲۴
۵	۲۲
۶	۲۶



ارتباط بین نتایج سرعت مافوق صوت و مقاومت فشاری مغزه ها



ارتباط بین نتایج آزمایش چسب آسمیت و مقاومت فشاری مغزه ها

نتایج کالیبره آزمایش مافوق صوت با نتایج مغزه ها

ردیف	مقاومت فشاری بر اساس نتایج سرعت مافوق صوت (Mpa)
۱	۲۳
۲	۲۴/۵
۳	۲۴
۴	۲۶
۵	۲۲
۶	۲۹
۷	۳۰
۸	۲۴
۹	۲۳
۱۰	۲۷

نتایج کالیبره آزمایش اعداد بازگشت با نتایج مغزه ها

ردیف	مقاومت فشاری بر اساس نتایج اعداد بازگشت (Mpa)
۱	۲۰/۵
۲	۲۲
۳	۲۷
۴	۲۸
۵	۲۴/۵
۶	۲۶
۷	۲۳
۸	۲۳/۵
۹	۲۹
۱۰	۲۷

ردیف	تبدیل مقاومت های آزمایش چکش اشمیت به لگاریتم طبیعی (Ln)	تبدیل مقاومت های آزمایش ما فوق صوت به لگاریتم طبیعی (Ln)	تبدیل مقاومت های نمونه های مغزه به لگاریتم طبیعی (Ln)
۱	۳/۰۲۰	۳/۱۳۵	۳/۳۳۲
۲	۳/۰۹۱	۳/۱۹۸	۳/۴۰۱
۳	۳/۲۹۵	۳/۱۷۸	۳/۲۱۸
۴	۳/۳۳۲	۳/۲۵۸	۳/۱۷۸
۵	۳/۱۹۸	۳/۰۹۱	۳/۰۹۱
۶	۳/۲۵۸	۳/۳۶۷	۳/۲۵۸
۷	۳/۱۳۵	۳/۴۰۱	—
۸	۳/۱۵۷	۳/۱۷۸	—
۹	۳/۳۶۷	۳/۱۳۵	—
۱۰	۳/۲۹۵۳	۳/۲۹۵	—
میانگین	۳/۲۱۴۸	۳/۲۵۳۹	۳/۲۴۶۳
انحراف استاندارد	۰/۰۹۲۹	۰/۱۰۸۷	۰/۰۱۳۸

با محاسبه کردن لگاریتم میانگین مقاومت $Ln(f_m)$ و انحراف استاندارد $(SD)_{Ln f}$ می توان لگاریتم مقاومت مشخصه $Ln(f'_c)$ را بر اساس فرمول زیر محاسبه کرد.

$$Ln(f'_c) = Ln(f_m) - K(SD)_{Ln f}$$

مقدار K (فاکتور رواداری) از جدول ارائه شده، تعیین می کند برابر با ۱/۶۷۱ برای ۱۰ نمونه و ۱/۸۶۰ برای ۶ نمونه است.

میانگین مقاومت ها نباید از ۰/۸۵مقاومت طرح کمتر باشد. از طرف دیگر هیچ یک از نتایج مقاومتها نباید از ۰/۷۵مقاومت طرح کمتر باشند. اما باید توجه کرد که منظور از مقاومت میانگین، همان مقاومت مشخصه محاسبه شده است.

$$۰/۸۵ \times ۳۰ = ۲۵/۵ \text{ Mpa}$$

$$۰/۷۵ \times ۳۰ = ۲۲/۵ \text{ Mpa}$$

• مقاومت مشخصه برای آزمایش مغزه ها

$$\ln(f'_c) = 3.2463 - 1.860 \cdot (0.0138) = 3.220 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 25.03 \text{ Mpa}$$

• مقاومت مشخصه برای آزمایش مافوق صوت

$$\ln(f'_c) = 3.2539 - 1.671 \cdot (0.1087) = 3.072 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 21.59 \text{ Mpa}$$

■ مقاومت مشخصه برای آزمایش چکش اشمیت

$$\ln(f'_c) = 3.2148 - 1.671 \cdot (0.0929) = 3.060 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 21.33 \text{ Mpa}$$

مقاومت مشخصه آزمایش چکش اشمیت برابر است با $21/33\text{ Mpa}$ که کمتر از $25/5\text{ Mpa}$ است. بنابراین نتیجه مقاومت قابل قبول نیست. از طرف دیگر مقاومت اکثر نتایج چکش اشمیت به صورت مستقل بیش از $22/5$ می باشند، اما چون ضابطه اول قابل قبول نبود، بنابراین در کل نیز نتایج قابل قبول نیستند.

همین نتیجه گیری در مورد آزمایش مافوق صوت و مغزه ها صادق است. بنابراین مقاومت بتن در سازه رد می شود.

بارگذاری خمشی

- در صورتی که با انجام مراحل فوق باز هم نتوان بتن را از نظر سازه‌ای و تأمین مقاومت ، قابل قبول تلقی نمود و تردید در مورد آن کماکان باقی بماند، ظرفیت باربری عضو و سازه با آزمایش بارگذاری بر روی عضو خمشی مشکوک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- بدیهی است این امر برای اعضاء غیر خمشی و یا حتی برخی اعضاء خمشی میسر نیست. این آزمایش طبق ضوابط آبا در فصل ۱۹ و ACI 437 انجام می‌شود و نتیجه آن نشان می‌دهد که عضو مشکوک در زیر بار استاتیکی آزمایش رفتار قابل قبولی را ارائه می‌دهد یا نه؟ اما این آزمایش از اینکه نشان دهد صرفاً بتن دارای مقاومت مطلوب و قابل قبول است عاجز می‌باشد.

- طراحی محافظه کارانه، اجرای قطعات با ابعاد بزرگتر، مصرف میلگرد بیشتر و با مقاومت بالاتر از مقاومت مشخصه و یا ایجاد بازوی لنگر بیشتر بدلیل نحوه قرارگیری میلگردها از جمله دلائلی است که حتی مصرف بتن کم مقاومت نیز، ظرفیت باربری قابل قبولی را در آزمایش بارگذاری نشان می‌دهد.

- از طرفی ممکن است حتی در صورتی که بتن قابل قبول و منطبق بررده هم شده باشد، بارگذاری جواب قابل قبولی ندهد. بنابراین تفکیک صحت طراحی و اجرای صحیح و مصرف مصالح منطبق با مشخصات از یکدیگر با آزمایش بارگذاری به سهولت امکان پذیر نمی‌باشد.

- تخریب بخش هائی از سازه معمولاً بعنوان آخرین راه حل باید مد نظر قرار گیرد. تخریب بتن و سازه علاوه بر هدر رفتن سرمایه های ملی می تواند آثار نامطلوبی را بر بخش های سالم و قابل قبول برجای گذارد. تخریب باید طبق دستور دستگاه نظارت و زیر نظر ناظر و با دقت تمام انجام گیرد و از اعمال ضربه برای تخریب حتی الامکان خودداری شود.

- بهر حال با پذیرش بتن از نظر سازه ای مسئله جریمه منتفی نیست و می تواند طبق ضوابطی محاسبه گردد و وصول شود.

آزمایش بارگذاری اعضای خمشی

-آزمایش بارگذاری باید تحت نظر نظارت و پس از گذشت حداقل ۸ هفته از زمان اجراء آن قسمت مشکوک انجام شود مگر آنکه طراح و کارفرما و پیمانکار همگی با انجام آزمایش در سن کمتر موافقت کنند.

آزمایش بارگذاری باید به نحوی انجام گیرد که اولاً منجر به خرابی و ریزش سازه یا بخشی از آن نشود و در صورت بروز خرابی، امنیت جانی افراد و سالم ماندن تجهیزات موجود تأمین شود. ملاحظات ایمنی نباید بر نتایج آزمایش و خیزها اثر گذارند.

آزمایش بارگذاری اعضای خمشی

- ۴۸ ساعت قبل از آن که بارهای آزمایش وارد شود، لازم است بارمردده قطعات کامل شود و تا زمان اتمام آزمایش در محل باقی بماند و معمولاً بار مرده به دلایلی هنوز در این زمان کامل نیست که در اینصورت اعمال تتمه بار مرده (بدون ضریب) لازم است.

بارهای وارده می‌تواند توسط مصالح مختلف و با قرار دادن برروی عضو خمشی اعمال گردد. استفاده از کیسه‌های توزین شده مواد و مصالح ساختمانی یا غیر ساختمانی، آجر، پلوک، جدول و ... بلامانع است اما باید وزن متوسط این مصالح را بدست آورد. امکان استفاده از ماسه یا خاک بصورت فله‌ای و بدون کیسه نیز وجود دارد اما هر نوع مصالح بارگذاری نباید در هنگامی که روی عضو قرار دارد دارای اثر قوس باشد و بتواند بار خود را مستقیماً در همان نقطه وارد نماید.

- بار آزمایش با احتساب بار مرده موجود در هنگام آزمایش برابر ۰/۹۵ بار نهایی مرده و زنده (با ضریب) واقع می شود و بر روی عضو یا بخش مورد نظر وارد می گردد. بار زنده با مراعات ضوابط کاهش سربارها طبق آیین نامه بارگذاری مورد نظر مشخص می شود. بنابراین باری که باید علاوه بر اعمال تتمه بار مرده وارد آید عبارت است از :

$$= \text{بار کل آزمایش } (1.25 D + 1.5 L) \times 0.95$$

$$= \text{بار آزمایش } 0.95 (1.25 D + 1.5 L) - D = 0.1875 D + 1.425 L$$

بطور مثال اگر D برابر 500 Kg/m^2 و $L = 200 \text{ Kg/m}^2$ باشد بار آزمایش عبارت است از:

$$= 0.1875 \times 500 + 1.425 \times 200 = 380 \text{ Kg/m}^2 = \text{بار آزمایش}$$

این بار علاوه بر بار مرده 500 Kg/m^2 به عضو مزبور وارد می شود که بار کل در واقع 880 Kg/m^2 است در حالیکه بارهای مرده وزنده سرویس جمعاً 700 Kg/m^2 می باشد.

مسلماً اگر دهانه بزرگی وجود داشته باشد و طبق آیین نامه های بارگذاری، کاهش سربار مجاز باشد، باید آن را کاهش داد.

- بار آزمایش باید حداقل در چهار مرحله و با افزایش تقریباً یکسان در هر مرحله بدون وارد کردن ضربه به سازه اعمال شود. در این مرحله هدایت تیم و نظارت بر آن کاملاً ضروری است و باید از توزیع یکنواخت بار و اعمال همه آن (نه کم و نه زیاد) بر عضو خمشی مطمئن گردید و از عملکرد قوسی مصالح بارگذاری جلوگیری به عمل آورد.

توصیه می شود در انتهای یک مرحله از مراحل بارگذاری، بار سرویس مرده و زنده اعمال شده باشد به همین دلیل افزایش دقیقاً یکسان مطرح نشده است. در مثال فوق اگر در چهار مرحله بارگذاری شود، بارگذاری هر مرحله 95 Kg/m^2 خواهد بود و مسلماً پس از مراحل اول 595 و پس از مرحله دوم 690 Kg/m^2 وجود خواهد داشت که می توان آنرا به 700 رسانید و مرحله بعدی را 85 Kg/m^2 در نظر گرفت.

- در آبا و ACI 318 زمان شروع بارگذاری مرحله بعد مشخص نشده است. در ACI 437 برای اعمال هر مرحله از بار باید خیز در فواصل زمانی مساوی اندازه‌گیری شود تا تغییر شکلها تقریباً به وضعیت مقادیر ثابت برسند. برای این منظور اگر تغییر بین دو قرائت خیز متوالی به فاصله حداقل ۲ ساعت از ۱۰ درصد خیز کل اولیه ثبت شده برای مرحله بارگذاری جاری تجاوز نکند، می‌توان تغییر شکلها را تقریباً ثابت شده تلقی کرد و بار مرحله بعدی را وارد نمود.

- اگر در طول آزمایش خیزها از حداکثر خیز مجاز تجاوز نماید آزمایش را باید متوقف کرد اما در صورت صلاحدید مهندس ناظر و مهندس آزمایش کننده، آزمایش می‌تواند ادامه یابد که این مسئله دقیقاً به اینکه آزمایش در چه مرحله‌ای است و چه وضعیتی در قطعه حاکم است و چه تدابیری برای جلوگیری از خرابی و آسیب دیدگی تدارک دیده مربوط می‌شود.

- پس از اینکه چهار مرحله بارگذاری (یا بیشتر) با بارهای آزمایشی کامل شد، باید خیز را قرائت کرد (قرائت اولیه).

- سپس باید بلافاصله اقدام به باربرداری نمود. بار برداری معمولاً در ۲ مرحله یا بیشتر انجام می شود و مقدار بار برداشته شده در هر مرحله نباید از دو برابر مقدار بارگذاری در هر مرحله تجاوز نماید.

شروع باربرداری هر مرحله نیز تابع ضوابط بارگذاری در هر مرحله است با این تفاوت که در اینجا خیزها در حال کاهش است و وقتی آهنگ برگشت خیز ثابت شد مرحله بعدی باربرداری آغاز می‌شود. مسلماً در این حالت بار مرده سرویس وجود خواهد داشت.

- ۲۴ ساعت پس از حذف بار آزمایش قرائت نهایی خیز انجام می‌گیرد.

- معیار پذیرش سازه از نظر ظرفیت باربری آن است که خیز حاصل از قرائت اولیه در پایان بارگذاری با بار آزمایش از مقدار مجاز زیر تجاوز نکند

که در آن L_t طول دهانه (فاصله محور تا محور تکیه‌گاه و یا فاصله آزاد بین تکیه‌گاهها به اضافه ارتفاع عضو، هر کدام کوچکتر است، می‌باشد. در تیرها یا دالهای طره‌ای طول مربوطه در برابر فاصله تکیه‌گاه تا انتهای طره است و h ارتفاع قطعه می‌باشد
همچنین نباید آثار شکست یا گسیختگی ریختن بتن و چرخش مشاهده شود و گرنه نباید اجازه آزمایش مجدد هم در آن قسمت داده شود.

$$d_{m1} = \frac{L_t^2}{20000 h}$$

- در صورتیکه خیز موجود از حد مجاز فوق تجاوز نماید اما برگشت تغییر مکان طی ۲۴ ساعت پس از حذف بار آزمایش مساوی با ۷۵ درصد حداکثر خیز اولیه باشد ظرفیت باربری تأمین است در غیر اینصورت نمی توان سازه یا عضو را از این نظر قبول نمود. برگشت خیز نشانه رفتار الاستیک می باشد و نشان می دهد سازه به محدوده پلاستیک بصورت جدی وارد نشده است (در عضو پیش تنیده این مقدار ۸۰ درصد است).

- در صورتیکه قطعات از نوع غیر پیش تنیده و در آزمایش مردود تلقی شده باشند می توان آنرا پس از حداقل ۷۲ ساعت از شروع باربرداری مجدداً مورد آزمایش قرار داد. در این حالت اگر ترک یا شکست و گسیختگی خاصی مشاهده نشود و برگشت تغییر مکان نیز مساوی یا بیشتر از ۸۰ درصد حداکثر خیز اولیه در آزمایش مجدد باشد می توان آنرا قبول نمود.

- اگر باز هم قطعه مردود شود اما ترک و خرابی حاصل گردد و قطعه تعمیر شود یا سطح انتظار از قطعه تغییر کند نباید آزمایش مجدد انجام گردد مگر اینکه در تعمیر و مقاوم سازی سطح کیفی سازه ارتقاء یافته باشد.

با آرزوی موفقیت برای همه شما
عزیزان

آذر ۱۳۹۳