www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

@icivilir

icivil.ir

آزمایشهای بتن

TESTING OF CONCRETE

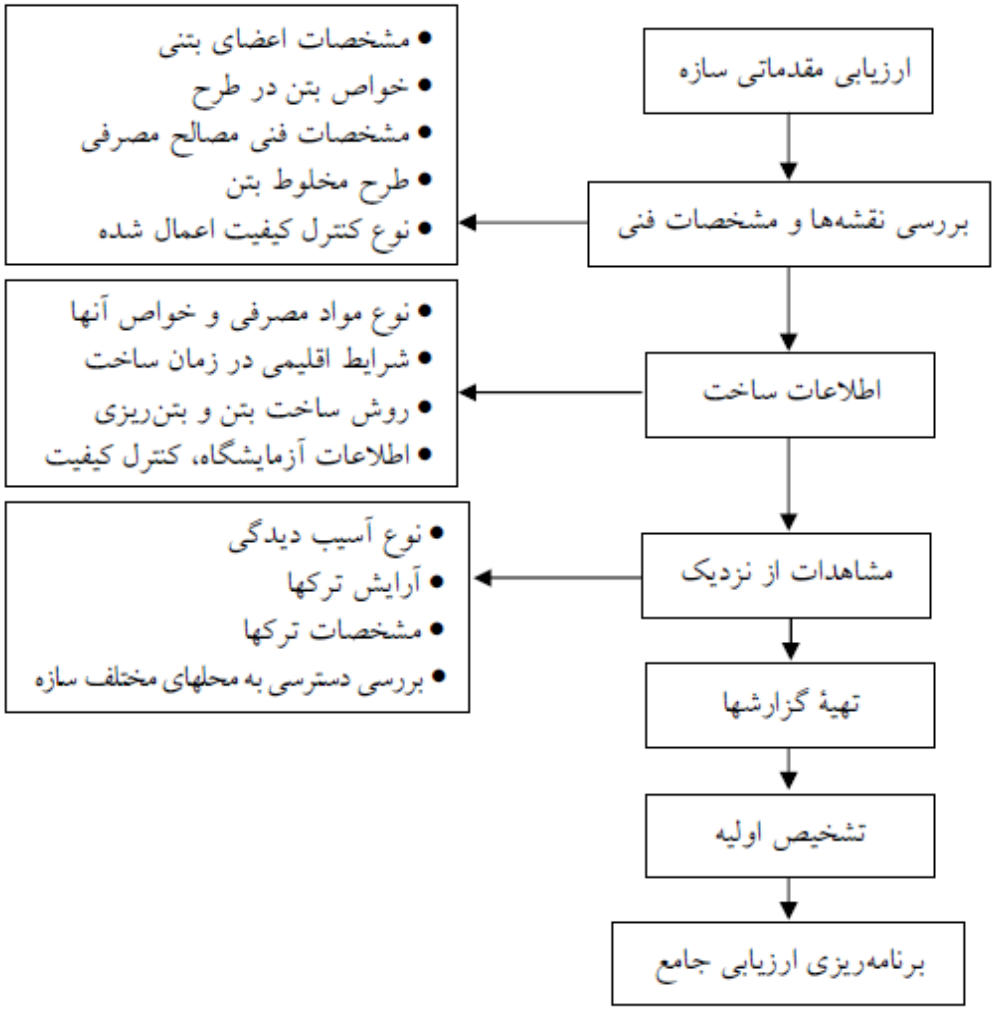
نام استاد : خانم دکتر عادل زاده

کلیات

ارزیابی سازه های بتنی

- به طور کلی ارزیابی سازه ها به دلایل زیر انجام میشود:
  1. تعیین مقاومت بتن در سازه
  2. بررسی وضعیت موجود سازه برای تهیه شناسنامه سازه
  3. شناسایی علت یا علل خرابی و وسعت آسیب دیدگی
- بازرسی یا ارزیابی وضعیت سازه های بتنی به دو مرحله ارزیابی مقدماتی و ارزیابی جامع تقسیم میشود.
- برای مورد I صرفا ارزیابی مقدماتی کفایت میکند ولی برای موارد II,III نیاز است تا ارزیابی جامع انجام شود.

مراحل ارزیابی مقدماتی



کلیات تخمین مقاومت بتن

- مقاومت فشاری بتن از مهمترین خواص بتن در رابطه با ارزیابی مقاومت بتن در سازه محسوب میگردد.
- به دلایل متفاوتی ممکن است آزمایش مقاومت فشاری بتن در سازه نیاز باشد:
  - عدم تطابق نتایج نمونه های استاندارد با مشخصات فنی
  - شک داشتن به نحوه اجرای سازه (متراکم کردن، عمل آوری، یکنواختی)
  - تغییر کاربری سازه (تغییر در مقدار بار زنده)
  - آسیب دیدگی سازه (آتش سوزی، تهاجم سولفات و ...)

آزمایشهای در محل

- در گذشته این آزمایشها به نام روشهای غیر مخرب مرسوم بودند اما با گذشت زمان و ابداع آزمایشهایی که تا حدی سبب آسیب دیدگی محل میشدند واژه آزمایشهای در محل جایگزین شد.
- برخلاف نمونه های استاندارد استوانه ای یا مکعبی که از همان بتن مصرفی در سازه، نمونه برداری میشوند، آزمایشهای در محل بر روی بتن سازه ای انجام میشوند.
- لازم به ذکر است اکثر آزمایشهای در محل به طور مستقیم، مقاومت فشاری بتن را اندازه گیری نمیکنند، بلکه بعضی از خواص بتن که مرتبط با مقاومت فشاری بتن هستند اندازه گیری میشوند و سپس مقاومت فشاری بتن بر اساس رابطه بدست آمده بین خواص و مقاومت بتن، تخمین زده میشود.

ضرورت مغزه گیری

- توجه به یک نکته حایز اهمیت است، که در هنگام ارزیابی و تخمین مقاومت بتن در سازه ها، استفاده از نمونه های مغزه ضروری است و هیچگاه نباید آزمایشهای در محل بدون استخراج نمونه های مغزه از سازه انجام پذیرد.

- به عبارت دیگر در انتخاب آزمایشها باید مغزه گیری محور اصلی آزمایش قرار گرفته و از دیگر آزمایشها میتوان تنها به عنوان مکمل نتایج حاصل از مغزه گیری استفاده نمود

موارد دخیل در انتخاب روش آزمایش

- **دلیل ارزیابی:** باید برای مهندس ارزیاب کاملا مشخص باشد تا بتواند روش مناسب را انتخاب کند.
- **انتخاب روش:** هر آزمایش اطلاعات خاصی را ارائه میدهد پس باید بر اساس اطلاعات مورد نیاز، روش مناسب انتخاب شود.
- **انتخاب محل آزمایشها:** این مورد بستگی به سازه و تغییرات کیفیت بتن در سازه دارد.
- **انتخاب تعداد آزمایشها:** تعداد آزمایشها باید بهینه باشد زیرا تعداد کم از دقت نتایج می کاهد باعث عدم قطعیت میشود و تعداد زیاد آزمایشها علاوه بر هزینه بر بودن ممکن است باعث آسیب دیدگی بیش از حد سازه شود.
- **قابلیت اجرا:** روشهای آزمایش باید با در نظر گرفتن دسترسی و ایمنی لازم انتخاب شوند.
- **هزینه:** از آنجا که ارزیابی مقاومت سازه نیاز به بودجه زیاد دارد، روشهای مناسب از نظر اقتصادی باید انتخاب شوند.

انواع آزمایشهای در محل

- علیرغم تنوع روشهای موجود آزمایشهای درجا، صرفا تعدادی از آنها در ایران و سایر کشورها کاربرد وسیع دارند. سایر روشها عموماً یا هنوز در مرحله تحقیق و پژوهش قرار دارند یا به دلیل تخمین هزینه های سنگین یا دلایل فنی مورد استقبال قرار ندارند.
- انواع آزمایشهای در محل که کاربرد عمومی دارند به شرح زیر است:
  - آزمایش مقاومت مغزه
  - آزمایش عدد بازگشت
  - آزمایش سرعت مافوق صوت پالسها
  - آزمایش بیرون کشیدن
  - آزمایش کشیدن از سطح

موارد مورد بررسی

- در ادامه به بررسی مختصر موارد اصلی هر یک از آزمایشهای نامبرده میپردازیم که موارد زیر را پوشش میدهند:
  - معرفی روش
  - شرح دستگاه
  - تئوری روش
  - نحوه استفاده از دستگاه
  - شرح آزمایش
  - دامنه کاربرد
  - عوامل موثر
  - مزایا و محدودیتها

مغزه گیری

آزمایش مغزه گیری

- روش مغزه گیری شامل استخراج نمونه های استوانه ای شکل از بتن سازه است که توسط دستگاه مته مخصوص انجام میپذیرد.
- این روش قدیمیترین روش تخمین مقاومت بتن در سازه است و تنها روشی است که از نتایج آن میتوان مستقیماً برای تخمین مقاومت بتن استفاده کرد.
- در انجام عملیات مغزه گیری، نمونه ها دچار ترک خوردگی میکروسکوپی میشوند و معمولا مقاومت مغزه ها کمتر از مقاومت واقعی بتن خواهد شد، اما در آیین نامه های معتبر اثر این پدیده به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در نظر گرفته شده است.
- علاوه بر ریز ترکها، عواملی مانند جهت مغزه گیری، وجود میلگرد در نمونه ها، رطوبت نمونه، دما و اندازه نیز در تخمین مقاومت موثرند.

دستگاه مغزه گیری

- دستگاه مغزه گیری شامل یک استوانه فلزی است که با تیغه الماس در انتها و با حرکت چرخشی آن، عملیات استخراج نمونه انجام میشود.
- این مته استوانه ای با قطرهای مختلف موجود است و میتوان برای قطر مورد نظر مته را تعویض نمود.
- عملیات مغزه گیری را میتوان در دو راستای افقی و عمودی انجام داد.

نحوه استفاده ازدستگاه مغزه گیری

- پیش از شروع عملیات مغزه گیری باید از محکم و ثابت بودن دستگاه در محل اطمینان کامل حاصل کرد.
- کوچکترین حرکت دستگاه باعث ایجاد شکست و ترک در ارتفاع بسیار کم و مستقیم نبودن محور در نمونه مغزه شده.
- در حین عملیات آب سرد باید به طور مداوم بر روی تیغه مته ریخته شود.
- سرعت و فشار نفوذ در بتن باید کاملاً یکنواخت باشد.
- باید تا حد امکان از بریده شدن آرماتور در سازه اجتناب شود.
- مغزه گیری باید در نقاط غیر بحرانی مقطع انجام شود.

HI DRIVE
HILTI
DD 350-CA
HILTI
DD AF-CA

شرح آزمایش مغزه گیری

- پس از استخراج مغزه ها از بتن سازه، اگر سطوح نهایی عمود بر محور مغزه نباشند یا ناهمواری وجود داشته باشد، باید توسط اره مخصوص بتن، سطوح انتهایی مسطح شوند.
- در صورتی که ناهمواری سطوح انتهایی زیاد نباشد میتوان به جای اره کردن، از کلاهک هایی که از سه قسمت سیمان پرآلومین و یک قسمت وزنی ماسه ریزدانه (عبورکرده از الک ۳۰۰mm) ساخته شده اند استفاده کرد.
- ضخامت کلاهک باید تا حد امکان کم باشد و در هیچ نقطه ای نباید بیش از ۱۰ میلیمتر شود.
- اگر درون مغزه ها، میلگرد وجود داشته باشد، در صورت امکان باید توسط اره بخش حاوی میلگرد جدا گردد.

دامنه کاربرد مغزه گیری

- **از نمونه های مغزه میتوان در موارد زیر استفاده کرد:**

I. **تخمین مقاومت بتن در سازه**
II. **تعیین مدول الاستیسیته بتن**
III. **تعیین وزن مخصوص بتن**
IV. **تعیین پروفیل کلرید بتن**
V. **تعیین عمق کربوناسیون**
VI. **تخمین مقاومت کششی بتن در سازه**
VII. **تهیه نمونه برای آزمایشهای پرتوگرافی**

در این فایل به تشریح مورد اول یعنی تعیین مقاومت بتن در سازه میپردازیم.

عوامل موثر در مقاومت فشاری مغزه ها

رطوبت نمونه ها

I. نمونه اگر در حالت اشباع با سطح خشک باشد در مقایسه با نمونه خشک حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت کمتری نشان میدهد.

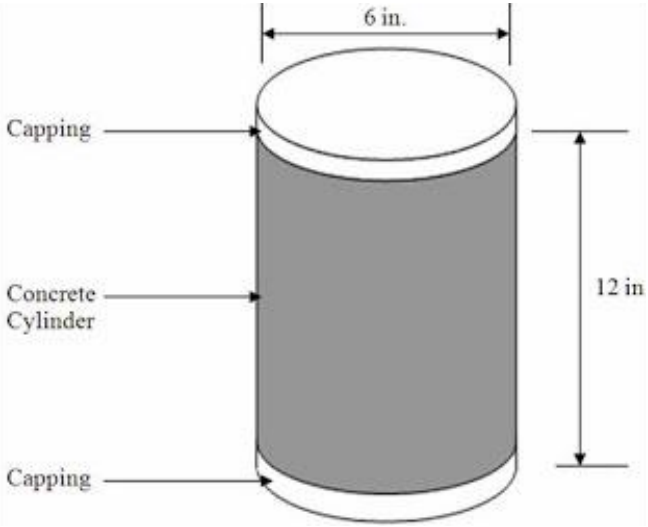
II. در هنگام اندازه گیری وزن مخصوص و مقاومت فشاری نمونه ها باید در حالت اشباع باشند.

III. ملاک رطوبت نمونه ها برای اندازه گیری، حالت معمول سرویس دهی سازه میباشد.

قطر مغزه ها

- قطر معمول مغزه ها ۱۰۰ میلیمتر است.
- تحت هیچ شرایطی قطر مغزه نباید از ۳ برابر بزرگترین سنگدانه در بتن کمتر باشد.
- در شرایط خاص مانند محدودیت در ابعاد عضو بتنی، قطرهای ۷۵ و ۵۰ میلیمتر مجاز است.
- در صورت کوچکتر شدن قطر مغزه از ۱۰۰ میلیمتر تعداد نمونه ها باید افزایش یابد تا محدوده تغییرات نتایج به واقعیت نزدیکتر شود.

عوامل موثر در مقاومت فشاری مغزه ها



طول مغزه ها

- نسبت طول به قطر مغزه ها باید ۲ به ۱ باشد.

$$\frac{L}{D}$$

- در مواردی که این نسبت بین ۱ و ۲ است باید با استفاده از جدول زیر نسبت به تصحیح مقاومت نمونه اقدام کرد.

ضرایب تسطیح برای مقاومت فشاری

نسبت طول به قطر مغزه $\frac{L}{D}$	ضریب تصحیح مقاومت	
	در امتداد عمودی	در امتداد افقی
۲	۰/۹۷	۱
۱/۷۵	۰/۹۳	۰/۹۷
۱/۵۰	۰/۹۰	۰/۹٤
۱/۲۵	۰/۸٦	۰/۹۰
۱	۰/۸۱	۰/۸٤

عوامل موثر در مقاومت فشاری مغزه ها

- **تصحیح مقاومت نمونه های حاوی میلگرد:**

I. **اگر نقشه های سازه موجود است حتما باید با استفاده از آنها اقدام به مغزه گیری از محلهایی با حداقل تراکم میلگرد کرد.**

II. **اگر این نقشه ها موجود نباشند در صورت امکان باید با استفاده از آزمایش آرماتور یابی باید سعی شود که مغزه ها حاوی میلگرد نباشند.**

عوامل موثر در مقاومت فشاری مغزه ها

- چنانچه در مغزه، یک میلگرد عمود بر محور مغزه باشد، مقدار مقاومت مغزه باید در ضریب تصحیح زیر ضرب شود.
- قطر میلگرد = ϕ_r
- قطر مغزه = ϕ_c
- فاصله آکس میلگرد از نزدیکترین سطح = d
- طول نمونه بدون کلاهک = L

$$1 + 1/5(\frac{\phi_r d}{\phi_c L})$$

- چنانچه چندین میلگرد در مغزه، وجود داشته باشد ضریب تصحیح به صورت زیر است.

$$1 + 1/5(\frac{\sum \phi_r \, d}{\phi_c L})$$

عوامل موثر در مقاومت فشاری مغزه ها

امتداد مغزه گیری

I. به دلیل امتداد بتن ریزی معمولاً مقاومت نمونه هایی که عمود بر لایه های بتن استخراج شده اند به صورت میانگین ۸ درصد بیشتر از نمونه های کرفته شده از بتن مشابه در راستای افقی است.

مزایا

I. تنها روش آزمایشی که مستقیماً مقاومت فشاری بتن سازه را ارائه میدهد.

II. سادگی انجام آزمایش

III. امکان استفاده از نمونه ها برای انجام انواع آزمایشات دیگر

معایب

I. هزینه زیاد

II. آسیب زدن به قطعه اصلی

چکش اشمیت

آزمایش عدد بازگشت یا چکش اشمیت

- این روش به دلیل سادگی و ارزان قیمت بودن از متداول ترین روش آزمایشهای درجا میباشد.
- چکش اشمیت، در واقع مقدار بازگشت یک جرم معین پس از برخورد با سطح بتن را اندازه گیری میکند.
- این اعداد شدیداً تحت تاثیر لایه سطحی بتن و خصوصیات آن میباشد، لذا ممکن است نتایج حاصل کیفیت واقعی بتن را نشان ندهد.
- از این روش بیشتر برای حصول اطمینان از یکنواختی بتن استفاده میشود.
- در این روش باید تا حد امکان از تعداد نقاط زیاد برای انجام آزمایش استفاده شود.

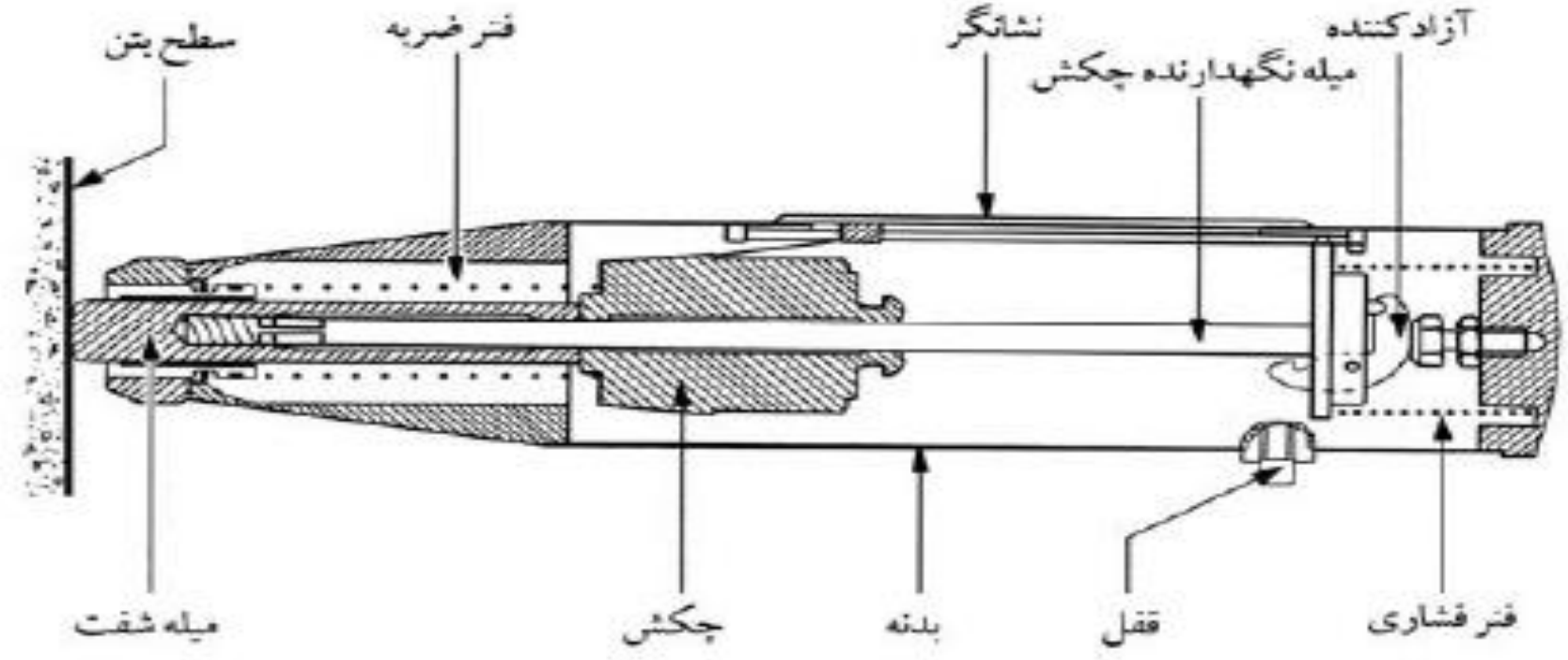
دستگاه چکش اشمیت

- این چکش از یک بدنه لوله ای فلزی که درون آن جرمی به شکل وزنه که در انتها به یک فنر متصل است تشکیل شده.
- در سر دستگاه یک میله با سر توپی موجود است.

دستگاه چکش اشمیت

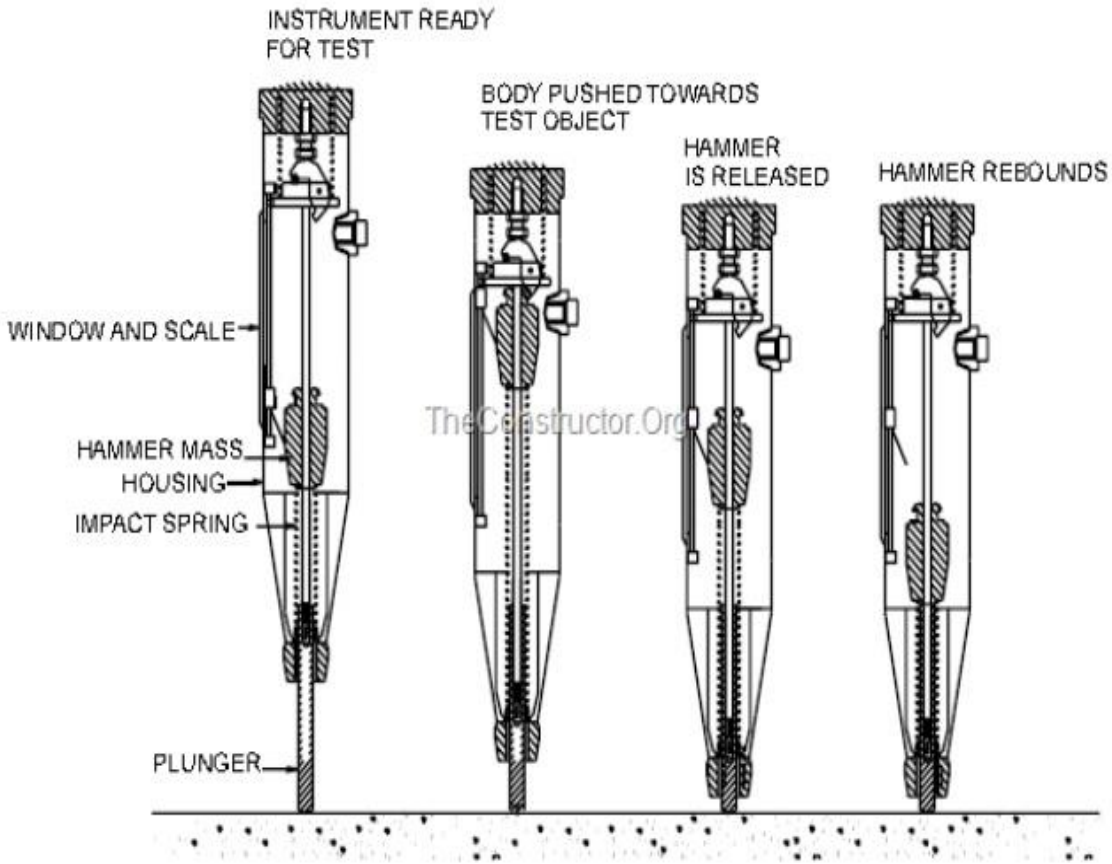
مقیاس این چکش ها بین ۱۰ تا ۱۰۰ است.

هرچه نشانگر روی چکش مقدار بیشتری به عقب برگردد و اعداد بزرگتری را نشان دهد مشخص میشود که بتن سخت تر است.



شرح آزمایش چکش اشمیت

- میله توپی و دستگاه به صورت عمود بر سطح بتن قرار داره شده و دستگاه را به طرف دیوار فشار میدهیم.



- پس از اعمال فشار کافی انرژی ذخیره شده در فنر ضربه آزاد شده و وزنه تمایل به بازگشت به مکان اولیه را پیدا میکند.
- وزنه در اثر برخورد میله توپی با سطح بتن بازمیگردد و در هنگام بازگشت نشانگر با وزنه حرکت کرده و فاصله بازگشت را ثبت میکند.

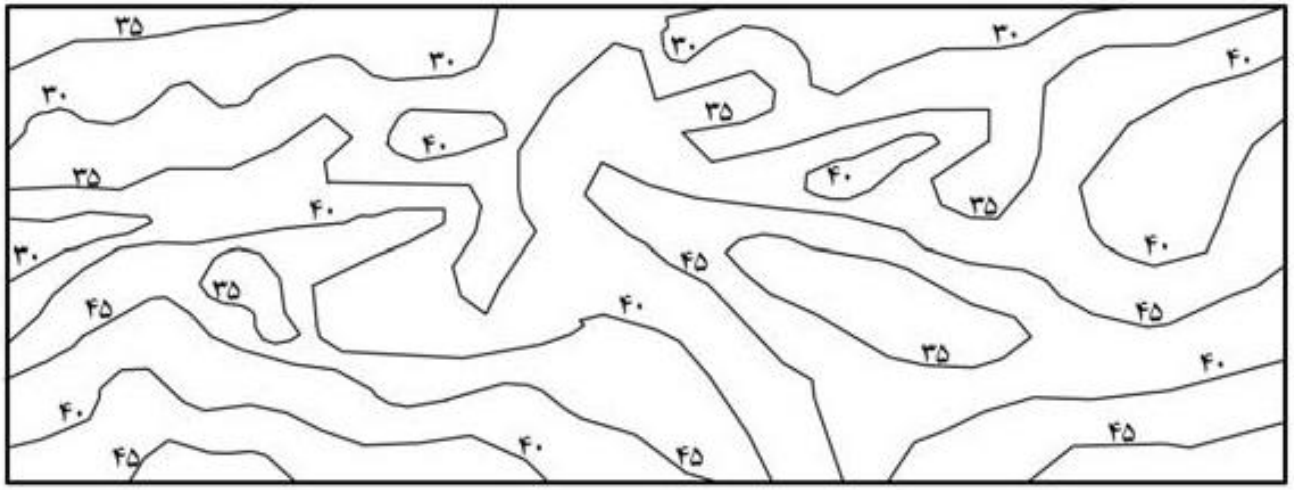
دامنه کاربرد چکش اشمیت

کنترل یکنواختی بتن:

I. بدین مضمون که میتوان پیش از آزمایش مغزه گیری با کنترل یکنواختی بتن محل های انجام آزمایش را تعیین نمود.

II. برای کنترل یکنواختی باید شبکه ای بر روی عضو بتنی ترسیم شود به نحوی که فاصله نقاط شبکه با هم برابر باشند.

III. فاصله بهینه بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر در دو راستا است.



منحنی همتراز اعداد بازگشت

عوامل موثر بر نتایج آزمایش چکش اشمیت

- **نرمی و نوع سیمان:** برای هر نوع سیمان (پرتلند، غیر پرتلند) نیاز به استفاده از منحنی همبستگی مربوط به آن سیمان داریم
- **مقدار سیمان:** در اعضای بتنی با مقاومت یکسان ولی مقدار سیمان متفاوت، عضوی که سیمان بیشتری داشته باشد عدد بازگشت بیشتر خواهد بود.
- **نوع سنگدانه:** سنگدانه های سبک و سنگدانه هایی که خواص غیر معمول دارند، نیاز به استفاده از منحنی های همبستگی مربوطه دارند.
- **شرایط سطح بتن:** فقط سطوح صاف بتن باید مورد آزمایش قرار بگیرند. سطوح ماله کشی شده سختی کاذب بیشتری از خود نشان میدهند لذا باید از سطوح قالب بندی شده فلزی نمونه برداری کرد.

عوامل موثر بر نتایج آزمایش چکش اشمیت

- **میزان رطوبت:** آزمایش باید بر روی سطوح خشک انجام شود سطوح مرطوب میتوانند تا ۲۰ درصد خطای اندازه گیری داشته باشند
- **نوع بتن:** این آزمایش برای بتنهای متخلخل مانند بتن های بدون ریزدانه اعتبار ندارد.
- **امتداد انجام آزمایش:** انجام آزمایش در تمام جهات تا وقتی که چکش بر سطح بتن عمود باشد مجاز است.
- **عوامل دیگر:** از جمله وجود آرماتور، میزان تنش در سطح مورد آزمایش، دمای بتن و ... میتوانند اثرگذار باشند. همچنین توصیه میشود در یک پروژه صرفاً از یک چکش استفاده شود.

مزایا و معایب چکش اشمیت

مزایا

I. هزینه کم
II. وقت گیر نبودن
III. عدم آسیب رسانی به بتن
IV. تشخیص مشکلاتی از قبیل جداشدگی بین ذرات

معایب

I. معیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت داخلی بتن نیست
II. کارایی به سطح بتن محدود میشود
III. به هیچ عنوان نمیتوان از آن به عنوان معیار برای اندازه گیری مقاومت بتن استفاده کرد

مافوق صوت

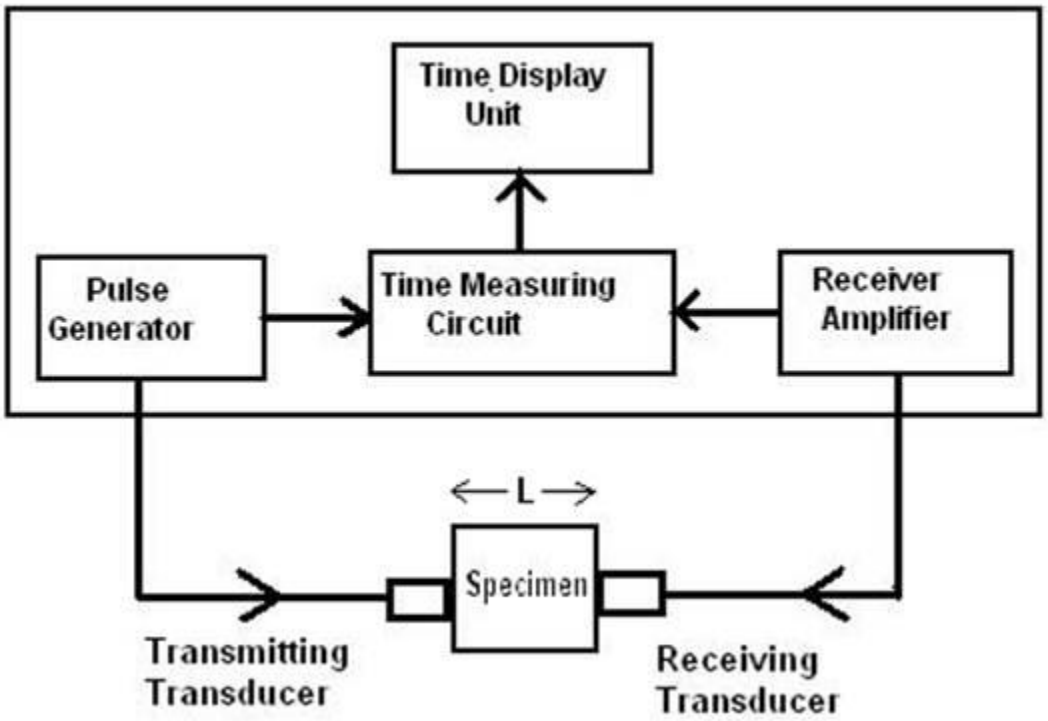
ULTRASONIC TESTING

آزمایش سرعت پالس مافوق صوت

- روش سرعت پالس مافوق صوت شامل اندازه گیری سرعت پالسهایی است که از یک طرف بتن ارسال شده و از طرف دیگر دریافت میشوند.
- برای آزمایش بتن مولدهایی با بسامد بین ۲۵ تا ۱۰۰ کیلوهرتز مجاز هستند.
- دستگاه های با بسامد زیاد برای مسیرهای کوتاه و دستگاه های با بسامد کم برای مسیرهای بلند استفاده میشوند.
- به طور کلی مناسبترین بسامد برای مصارف مربوط به بتن بین ۵۰ تا ۶۰ کیلوهرتز است.

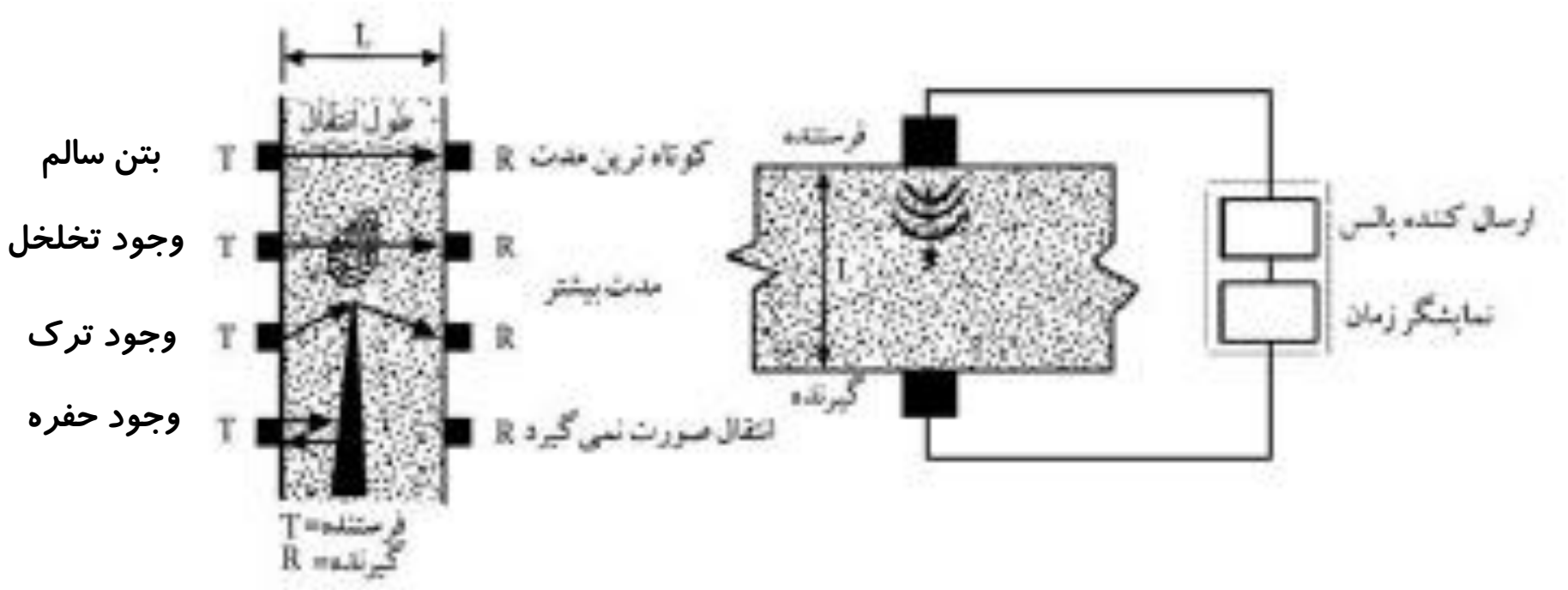
دستگاه اولترا سونیک

- این دستگاه شامل تولید کننده پالس الکتریکی، دو عدد مولد، تقویت کننده امواج و وسیله ای الکترونیکی برای اندازه گیری زمان عبور پالس بین فرستنده و گیرنده است.



نحوه تشخیص معایب بتن

- هرگونه نارسایی در بتن از جمله ترک یا وجود منافذ باعث تاخیر در سرعت انتقال موج میشود.



نحوه استفاده از دستگاه اولترا سونیک

- ابتدا باید از کالیبره بودن دستگاه اطمینان حاصل کرد.
- دستگاه زمانی کالیبره است که وقتی زمان انتقال امواج در میله مرجع را با آن اندازه گیری میکنیم روی صفحه نمایش عدد نوشته شده روی میله نمایش داده شود.

نحوه استفاده از دستگاه اولتراسونیک

- برای کالیبره کردن ابتدا باید دو طرف میله مرجع گریس اعمال شود تا اتصال صحیح بین فرستنده و گیرنده دستگاه ایجاد شود.
- اطمینان از اتصال صحیح بین فرستنده و گیرنده هنگامی که بر روی بتن از دستگاه استفاده میکنیم ضروری است.
- برای اطمینان از عدم وجود حباب هوا و اتصال صحیح باید محل مورد نظر بر روی بتن را به موادی مانند وازلین، گریس، یا مایع صابون آغشته کرد.
- باید توجه داشت که استفاده بیش از حد از این مواد باعث افزایش زمان رفت و برگشت امواج و ایجاد خطا در اندازه گیری میشود.
- در مواردی که سطح زبر و ناهموار است محل آزمایش باید با رزین اپوکسی یا گچ با گیرش سریع صاف شود و اتصال به خوبی برقرار شود.

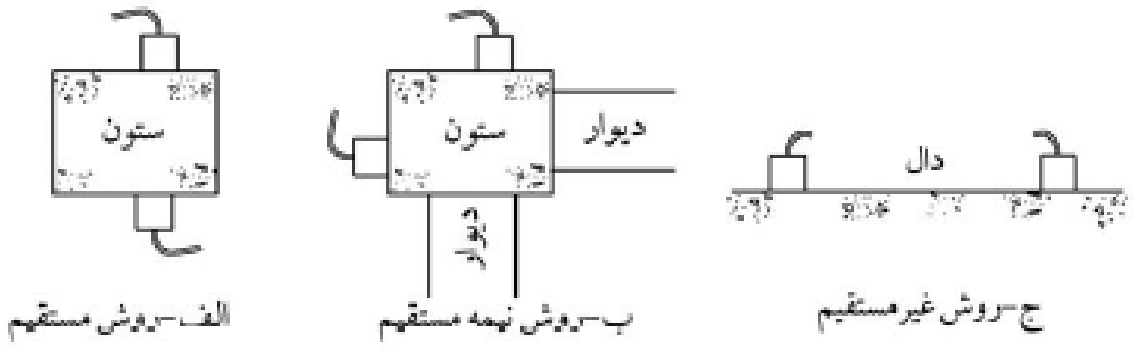
شرح آزمایش

- LENGTH = L = طول
- TIME = t = زمان
- Velocity = V = سرعت

$$v = \frac{L}{t}$$

Km/sec

- سرعت انتقال موج در بتن معمولی بین ۳/۷ تا ۴/۲ کیلومتر بر ثانیه است.
- فاصله بین فرستنده و گیرنده یا L باید با دقت بالا اندازه گیری شود.
- ۳ آرایش برای قرارگیری مولدها وجود دارد که بهترین حالت، حالت روبرو است.



چند بار با تغییر فاصله سرعت بدست آید سپس نقاط بر روی نمودار رسم شوند و شیب خط میانی نقاط سرعت متوسط است

دامنه کاربرد روش اولتراسونیک

- ارزیابی یکنواختی بتن در سازه
- تخمین مقاومت بتن در سازه
- تشخیص ترکها یا آسیب دیدگی ها
- تعیین عمق آسیب دیده بتن

ارزیابی یکنواختی بتن در سازه

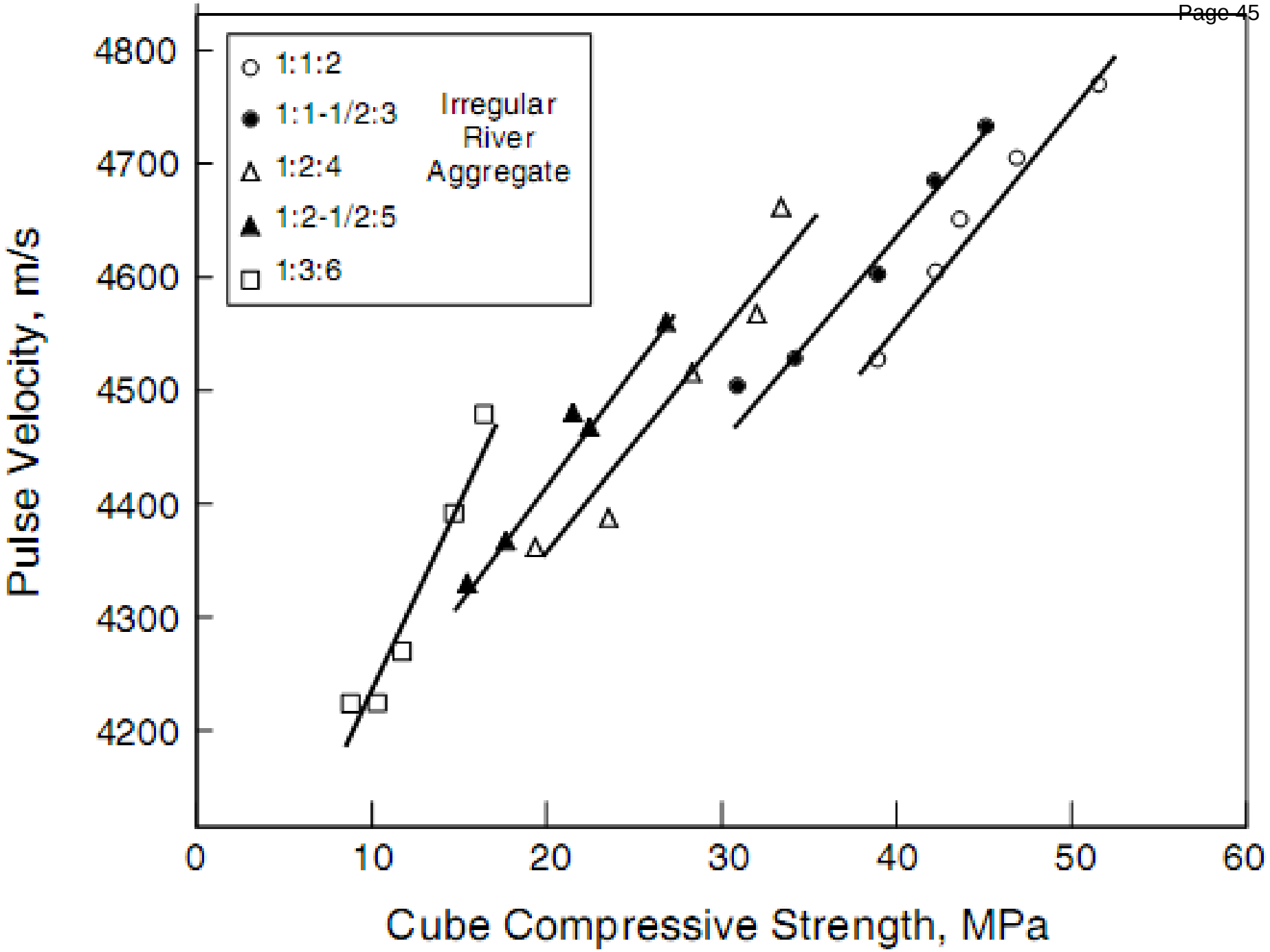
- عدم یکنواختی بتن در یک یا چند عضو باعث تغییر سرعت پالس شده و نشان دهنده تغییر در کیفیت بتن است.
- معمولاً برای ارزیابی یکنواختی محدوده آزمایش در شبکه ای ۱ متری قرار میگیرد.
- در مواردی که ابعاد عضو کوچک است یا احتمال تغییرات کیفیت بتن زیاد است شبکه باید کوچکتر انتخاب شود.
- در آزمایشهای مربوط به اعضای کوچک میتوان به مدت زمان انتقال پالس برای تشخیص یکنواختی بسنده کرد.

تخمین مقاومت بتن در سازه

- در صورت ایجاد ارتباط آماری با نتایج حاصل از شکست مغزه ها میتوان از آزمایش اولتراسونیک برای تخمین مقاومت بتن استفاده کرد.
- اگر مجبور به این باشیم که با استفاده از اولتراسونیک مقاومت را تخمین بزنیم، باید بین مقاومت فشاری و سرعت موج رابطه ای برقرار کنیم.
- برای اینکار باید تعداد زیادی از نمونه ها ساخته و آزمایش شوند تا بتوان بین مقاومت و سرعت موج یک رابطه قابل اعتماد بدست آورد.
- همچنین باید توجه داشت که نمونه های آزمایش شده تا چه حد از لحاظ شرایط عمل آوری و... شبیه به بتن استفاده شده در سازه هستند.

ایجاد رابطه مقاومت

- ابتدا باید نواحی که عدم یکنواختی بتن در آنها وجود دارد را شناسایی کرد.
- در محلهای شناسایی شده ۵ آزمایش مافوق صوت انجام داد.
- سپس بین ۶ تا ۹ محل (در صورت لزوم بیشتر) انتخاب شده و از هر محل ۲ نمونه مغزه گیری شود.
- مقاومت مغزه ها را بدست می آوریم و نتایج متناظر آزمایش اولتراسونیک را بر روی یک منحنی رسم میکنیم.
- با بدست آوردن روابط و استناد به این منحنی (منحنی کالیبره خاص) میتوان مقاومت دیگر نقاط سازه را تخمین زد .


Pulse Velocity, m/s
4800
4700
4600
4500
4400
4300
4200
0
10
20
30
40
50
60
Cube Compressive Strength, MPa
1:1:2
1:1-1/2:3
1:2:4
1:2-1/2:5
1:3:6
Irregular River Aggregate

بارگذاری اعضای خمشی

آزمایش بارگذاری

- هرگاه شرایط ساختمان طوری باشد که بازرسان ساختمان نسبت به ایمنی آن تردید داشته باشند، و ارزیابی ایمنی از طریق محاسبات به رفع ابهام و تردید منجر نشود میتوان دستور آزمایش بارگذاری تمام یا قسمتی از ساختمان را صادر کرد.
- این آزمایش پس از گذشت حداقل ۸ هفته از زمان اجرای قسمت مورد نظر انجام شود.
- آزمایش بارگذاری شامل موارد زیر است:

I. اعمال بار

II. بازدیدهای قبل، ضمن و پس از بارگذاری

III. اندازه گیری تغییر مکان و خیز اعضا و ترازیابی تکیه گاهها

الزامات آزمایش بارگذاری

- برای سازه هایی که در شرایط محیطی خاص قرار دارند، آزمایش باید زمانی انجام شود که تاثیر مواردی مانند دما ، نور و باد و ... حداقل باشد.
- قبل از انجام آزمایش بارگذاری باید در کل سازه یا قسمتی از سازه که مورد آزمایش است، تعدادی شمع به عنوان تکیه گاه قرار داده شود.
- شمع ها باید توان تحمل بارهای مرده به اضافه تمام بارهای اضافی تحمیل شده حین آزمایش را داشته باشند.
- سن بتن در هنگام آزمایش باید حتماً قید شود.

الزامات آزمایش بارگذاری

- آن قسمت از سازه که برای انجام آزمایش انتخاب میشود، باید با احتساب بارهای مرده ای که در زمان آزمایش وجود دارند، تحت اثر حداکثر ۹۵ درصد مجموع بارهای مرده و زنده نهایی قرار گیرد.
- بار وارده باید حداقل در ۴ مرحله با افزایش یکسان و بدون وارد کردن ضربه به عضو وارد شود.
- باید از عملکرد قوسی مصالح بارگذاری جلوگیری شود.

بررسی آزمایش بارگذاری

- ۲۴ ساعت پس از اقدام به بارگذاری، قرائتهای اولیه انجام شوند.
- پس از انجام قرائتهای اولیه، بار آزمایش از روی عضو برداشته شود و پس از گذشت ۲۴ ساعت دیگر قرائتهای نهایی تغییر شکل صورت بگیرد.
- در صورت مشاهده آثار گسیختگی یا شکست ، باید نتیجه گیری شود که عضو مورد نظر در آزمایش بارگذاری مردود شده است.

بررسی آزمایش بارگذاری

- در صورتی که آثار شکست یا گسیختگی مشهود نباشد باید موارد زیر در راستای رضایت بخش بودن رفتار عضو مورد بررسی قرار بگیرد:

I. حداکثر تغییر مکان در تیر، کف یا بام کمتر از $\frac{l_{t^2}}{20000h}$

II. حداکثر تغییر مکان در تیر، کف یا بام بیشتر از رابطه بالا شود ولی پس از گذشت ۲۴ ساعت از حذف بار از روی عضو، تغییر مکان نهایی عضو ۷۵ درصد مقدار رابطه بالا شود.

III. در صورت انجام آزمایش بر روی اعضای کنسولی مقدار $\perp$ دو برابر در نظر گرفته شود.

Figure 2 A photo of the tested floor showing loading and part of the geometry

CMM

Concrete Maturity Monitoring

ملاحظه بلوغ بتن

تفسیر آزمایش

- این سیستم که بروزترین، ارزان و بسیار قابل اعتماد میباشد از دهه ۹۰ میلادی مورد استفاده در سازه های جدید قرار گرفته است.
- در روش ملاحظه بلوغ بتن، با توجه به رفتار بتن در زمان عمل آوری میتوان مقاومت فشاری بتن را برآورد کرد.
- در این روش از تعدادی سنسور که به دما و الکتریسیته حساس هستند برای تخمین مقاومت استفاده میشود.
- این سنسورها روند عمل آوری بتن را به یک فرستنده رادیویی انتقال داده و سپس این فرستنده اطلاعات را به سیستم گیرنده موجود در سایت منتقل میکند.

مبنای روش

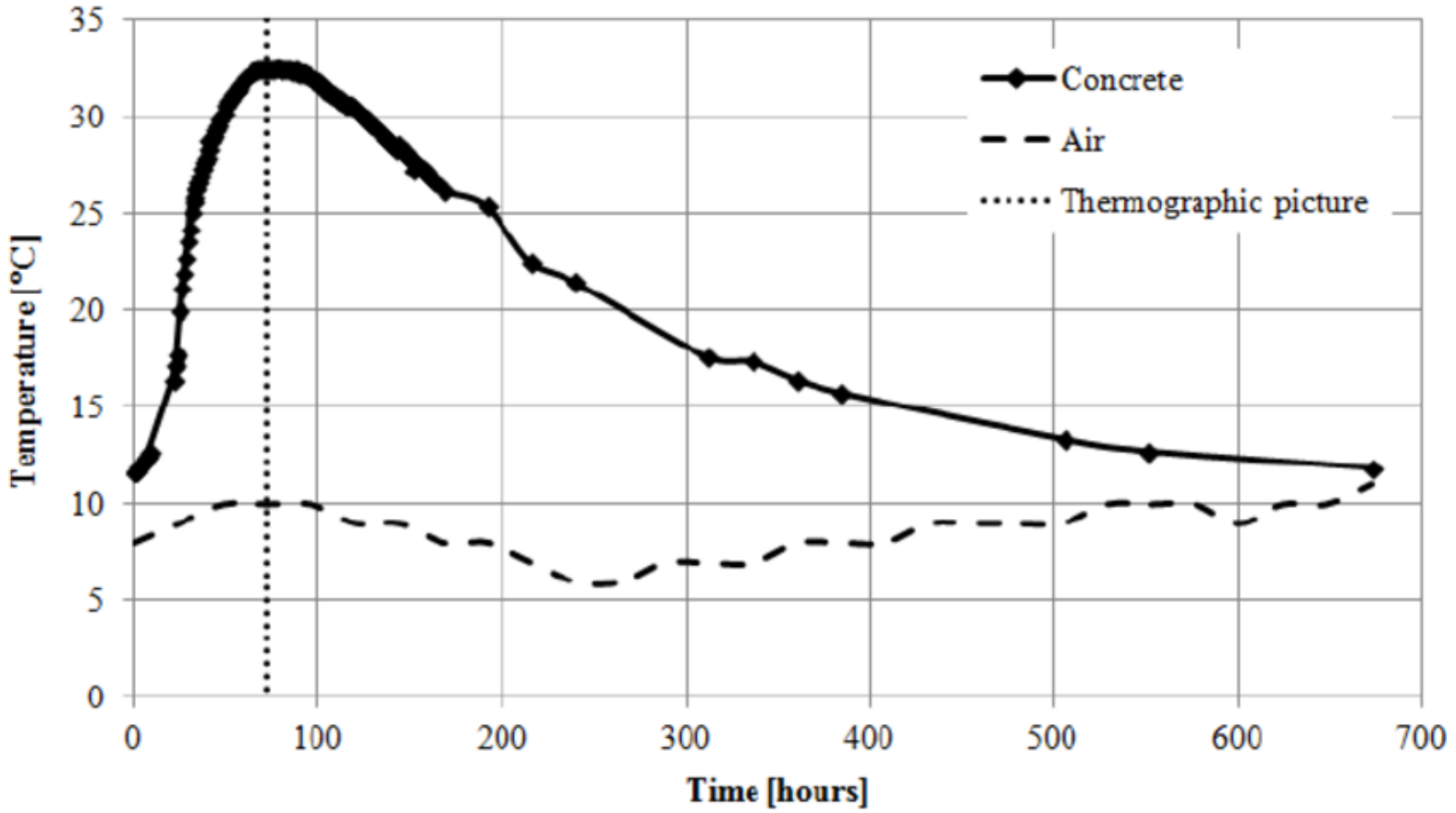
عملکرد CMM بر ۲ اصل بنا شده است:

I. **تغییرات حرارت بتن در مرحله عمل آوری**
Weighted Maturity Method

I. **تغییرات میزان رسانایی بتن در مرحله عمل آوری**
Conductivity Maturity Method

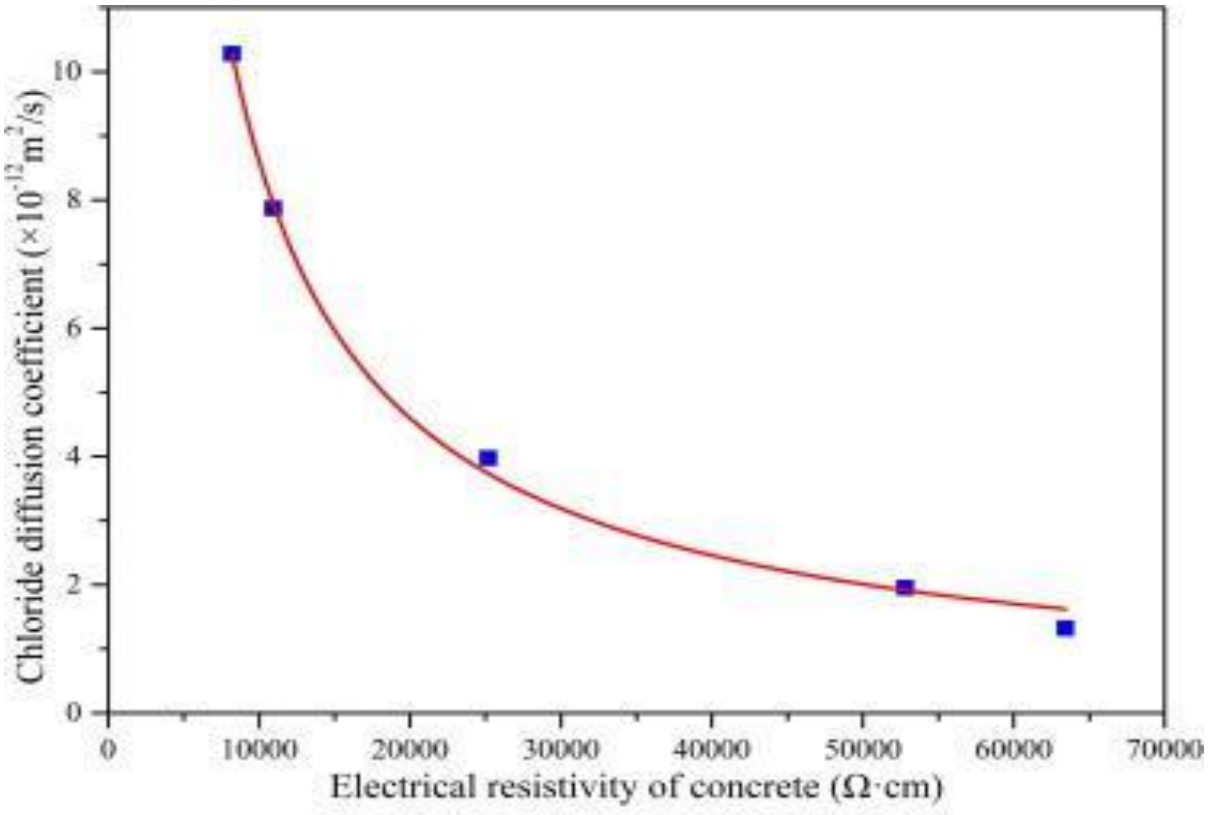
روش تغییرات حرارت

- در این مورد میتوان با انطباق روند تغییرات حرارت ناشی از هیدراسیون سیمان مقاومت فشاری متناظر بتن را بدست آورد.



روش تغییرات رسانایی

- در این مورد میتوان با انطباق روند تغییرات رسانایی میزان مقاومت فشاری بتن را بدست آورد. رسانایی بتن با افزایش سن بتن کاهش می یابد.



مزایا و معایب

- یکی از اصلی ترین معایب این روش عدم قابلیت استفاده از آن در سازه های از پیش ساخته شده است چرا که در صورت تمایل به استفاده از این روش باید سنسورها در بتن تازه کاشته شوند.
- هزینه نسبتا بالای راه اندازی در ایران
- از مزایای این روش میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

I. کاهش زمان انجام پروژه

II. کاهش هزینه های پروژه

III. اطمینان از عمل آوری صحیح بتن

IV. دقت بالا در ثبت اطلاعات مربوط به بتن

V. دقت بالا در برآورد مقاومت فشاری بتن

Grant

PELICAN
1010
Micro Case Series
372

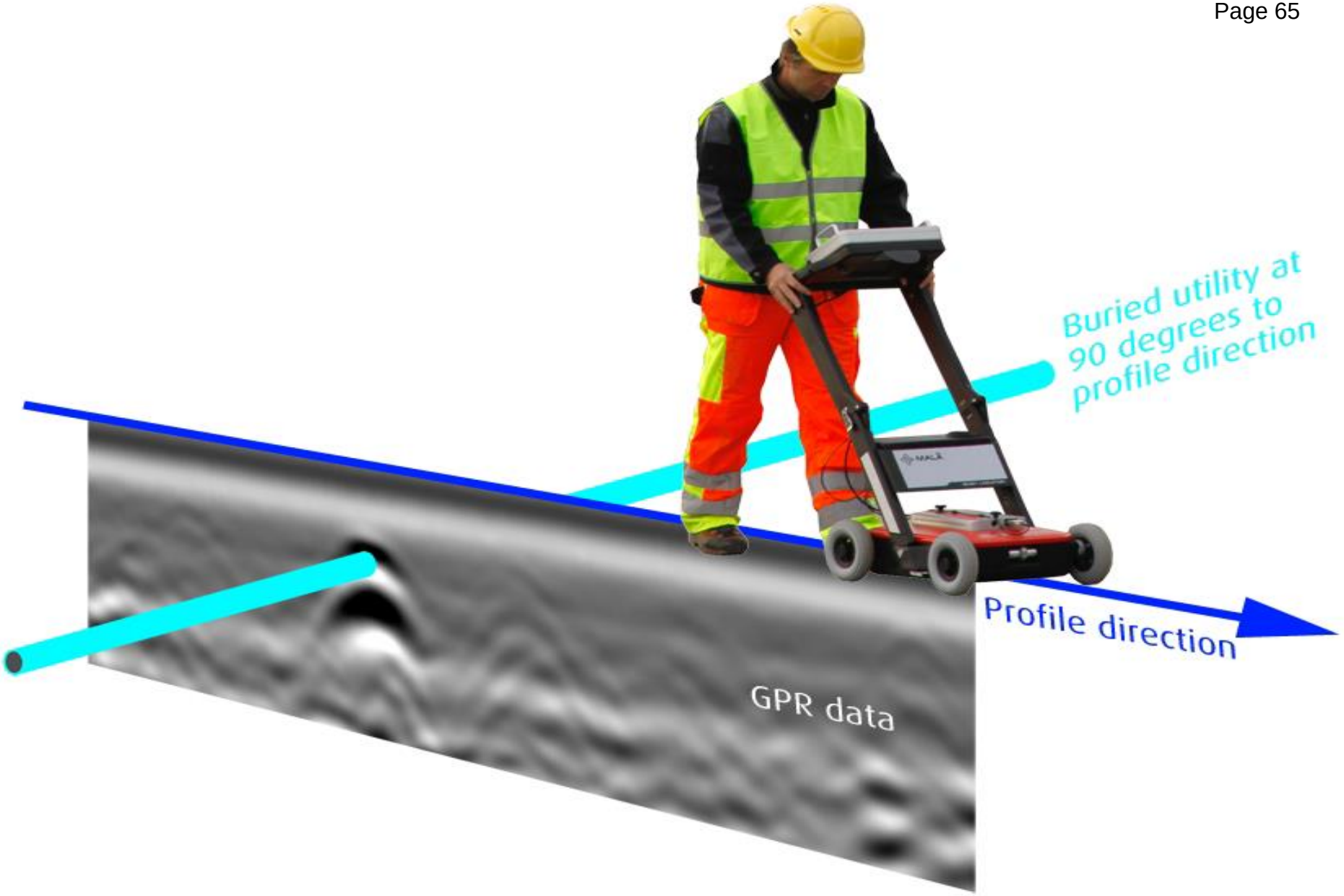
GPR

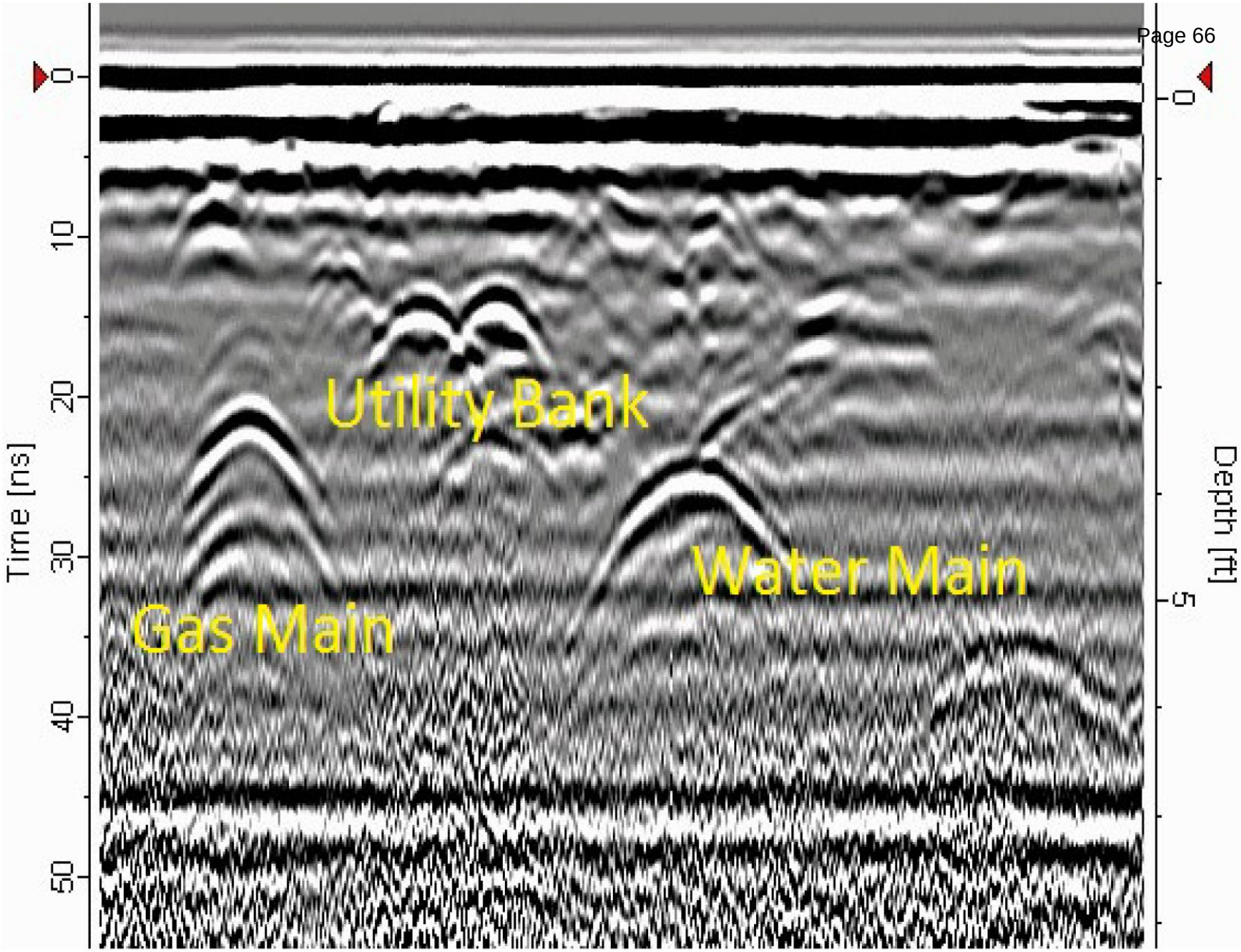
Ground Penetrating Radar

رادار نفوذی زمین

نحوه کار دستگاه GPR

- باید توجه داشته باشید مبنای کار دستگاه های رادار نفوذی زمین بار الکتریکی اجسام است.
- بار الکتریکی خاک و مواد مشابه منفی است و بار الکتریکی فلزات مثبت که با این تفاسیر اگر بلافاصله پس از ساخت بتن مسلح اقدام به اسکن قطعه با دستگاه کنید با توجه به اینکه بار الکتریکی نامشابه یکدیگر را خنثی میکنند، تمام امواج رادار جذب شده و شما قادر به تشخیص وجود مصالح فلزی موجود در بتن نخواهید بود.
- حداقل زمان لازم در چنین شرایطی برای GPR که قادر به تشخیص باشد ۱ ماه است.


Buried utility at
90 degrees to
profile direction
Profile direction
GPR data


Time [ns]
0
10
20
30
40
50
Depth [ft]
0
5
Utility Bank
Water Main
Gas Main

بیرون کشیدن از سطح

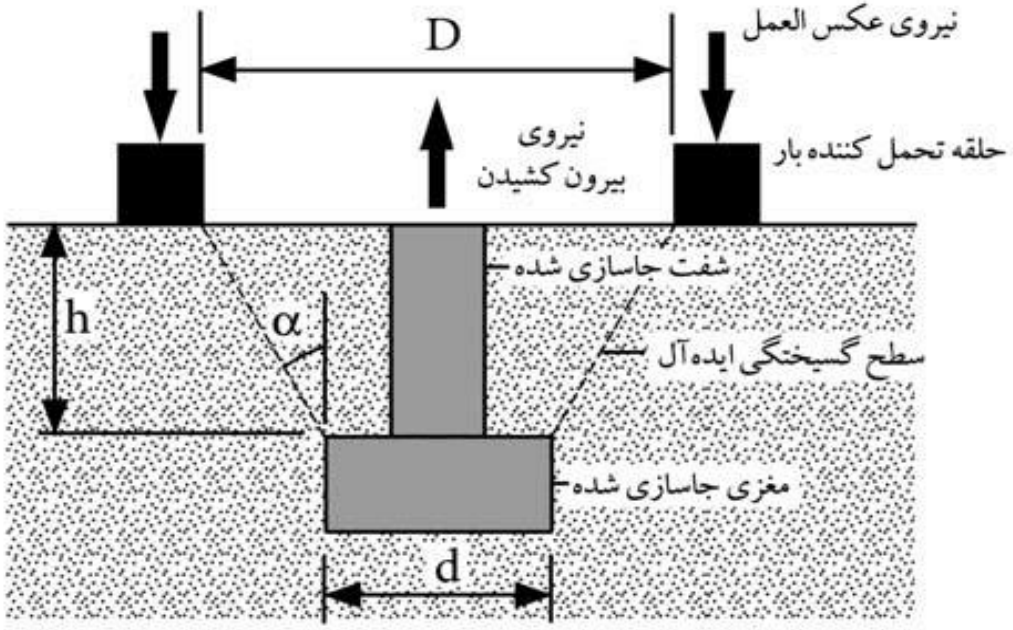
Pull-Out Test

آزمایش بیرون کشیدن از سطح

- اندازه گیری حداکثر نیروی کششی مورد نیاز برای بیرون کشیدن قطعه فلزی مدفون در بتن به دو روش انجام می شود:

۱- نصب در قالب: قطعه فلزی به قالب نصب می شود و سپس بیرون کشیده می شود.

۲- نصب در بتن سخت شده: در بتن سخت شده مته زنی انجام گرفته و قطعه فلزی در داخل حفره ایجاد شده قرار می گیرد



شرح دستگاه بیرون کشیدن

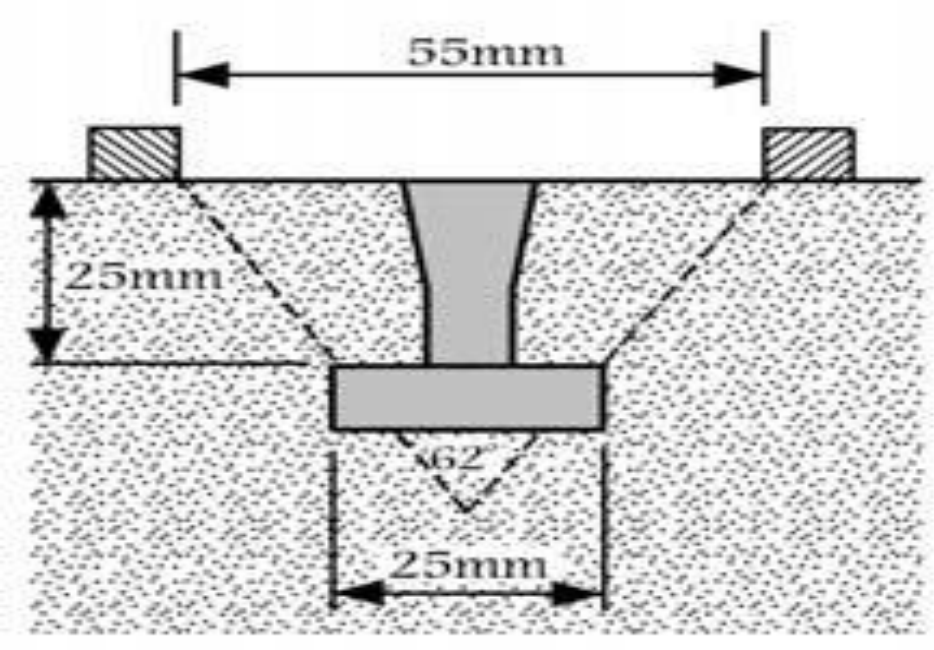
- مغزی (قطعه فلزی مدفون شده): متشکل از دو بخش شفت و صفحه مهاری که درون بتن جاسازی می شود.
- دستگاه مته زنی و گشادکننده زیرین: دستگاه مته زنی برای ایجاد حفره و دستگاه گشادکننده قطر در انتهای حفره برای گشادکردن پائین حفره
- حلقه تکیه گاه: به صورت متقارن حول مغزی و در بتن قرار داده می شود.
- سیستم بارگذاری: اعمال نیروی کششی بر مغزی باعث ایجاد عکس العمل تکیه گاهی در بتن میشود.

شرح دستگاه بیرون کشیدن

- **نکات:**

حلقه ی تکیه گاه کاملا هم محور شفت بوده و نیروی اعمال شده کاملا عمود بر صفحه مهاری باشد.

عمق مدفون قطعه و قطر صفحه مهاری باید یکسان باشد.

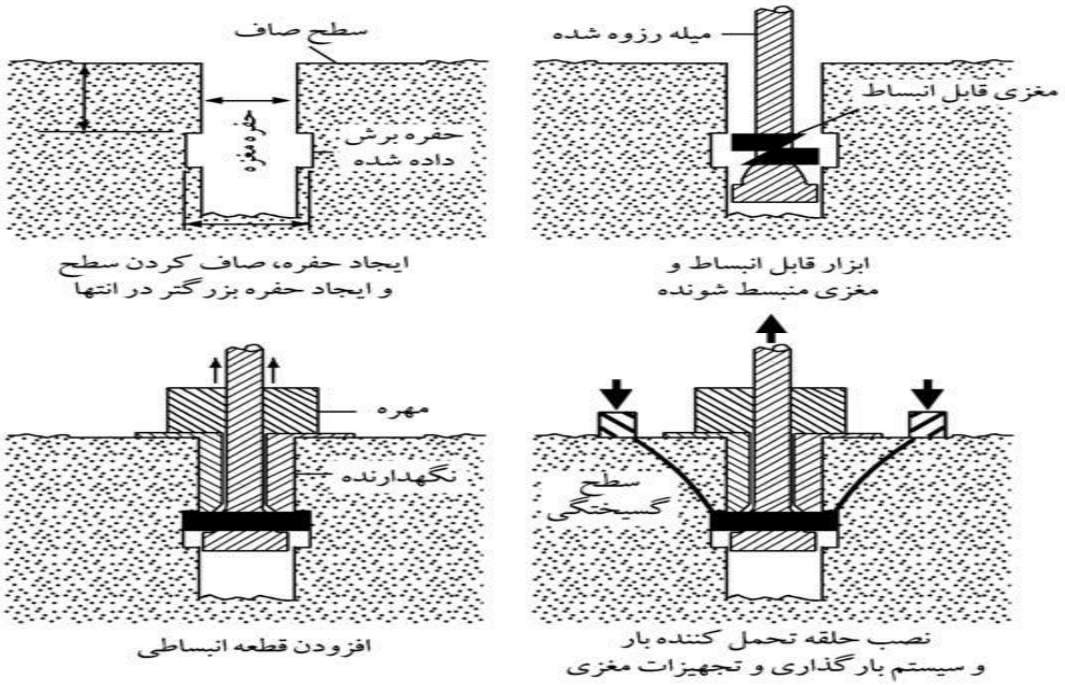


قیود آزمایش بیرون کشیدن

- به دلیل لزوم بارگذاری یکنواخت لازم است سطح آزمایش با وسیله ای سائیده شود تا سطح بتن کامل مسطح گردد.
- نقاط آزمایش باید حداقل ۲۰ سانتیمتر از یکدیگر فاصله داشته باشند.
- فاصله مرکز تا لبه عضو بتنی تحت آزمایش حداقل ۱۰ سانتی متر باشد.
- در مخروط گسیختگی میلگردی وجود نداشته باشد.
- ضخامت عضو بتنی مورد آزمایش باید بیشتر از ۱۰ سانتیمتر باشد.

شرح آزمایش بیرون کشیدن

- ایجاد یک حفره به قطر ۱/۸ و عمق ۴/۵ سانتیمتر
- ایجاد شکاف در عمق ۲/۵ سانتیمتر از سطح و به قطر ۲/۵ سانتیمتر در انتهای حفره
- قرار دادن قطعه فلزی با حلقه منبسط شونده در داخل شکاف
- بارگذاری با سرعت KN/S ۰/۵ با تلورانس ۲۰٪ تا زمان گسیختگی بتن

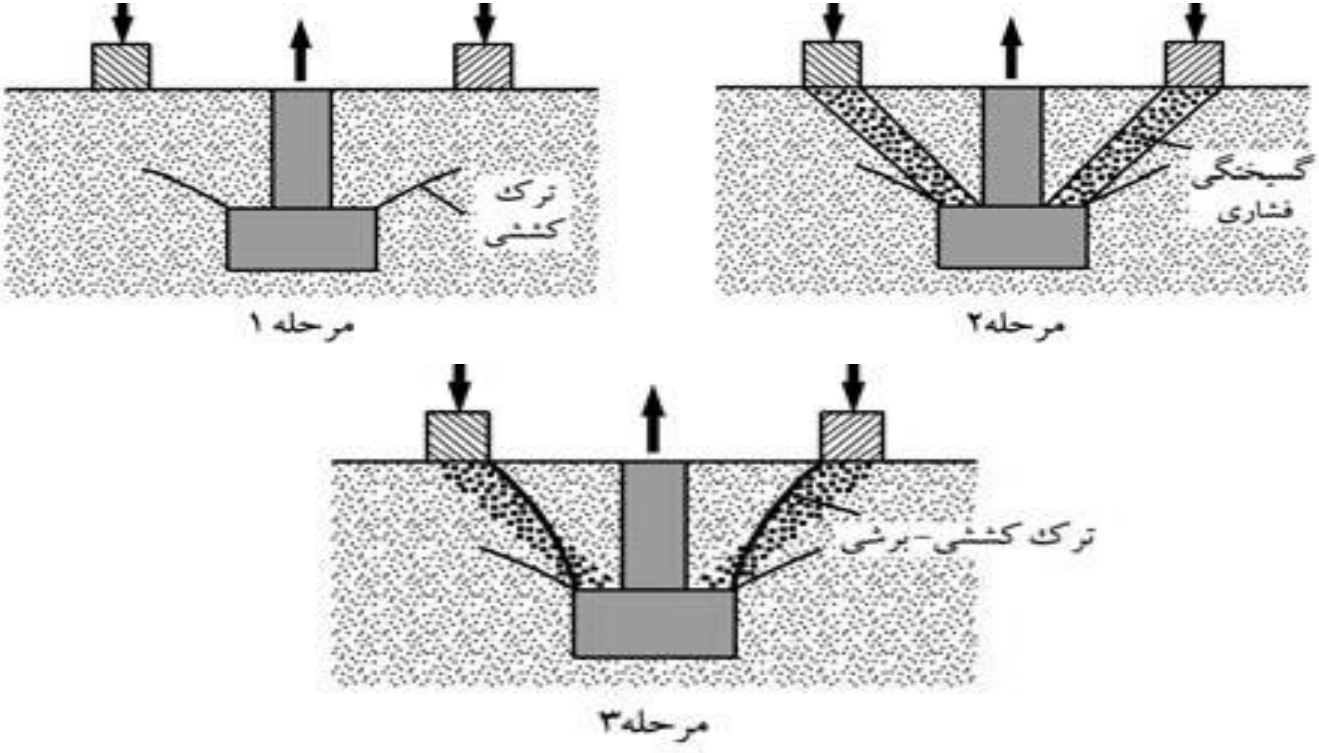


روند رویدادهای آزمایش بیرون کشیدن

۱- شروع ترک خوردگی در لبه قطعه فلزی مدفون شده در بتن در حدود ۳۵٪ بار نهائی

۲- تکمیل ترک خوردگی از قطعه فلزی تا حلقه تیکه گاه در حدود ۶۵٪ بار نهائی

۳- گسیختگی برش ملات و جداشدگی قفل سنگدانه در حدود ۸۰٪ بار نهائی



دامنه کاربرد روش بیرون کشیدن

- تخمین مقاومت فشاری
- بررسی یکنواختی بتن
- تعیین روند خرابی
- تعیین زمان قالب برداری
- زمان حمل قطعات پیش ساخته
- زمان اعمال نیروی پیش تنیدگی

آزمایش کشیدن از سطح

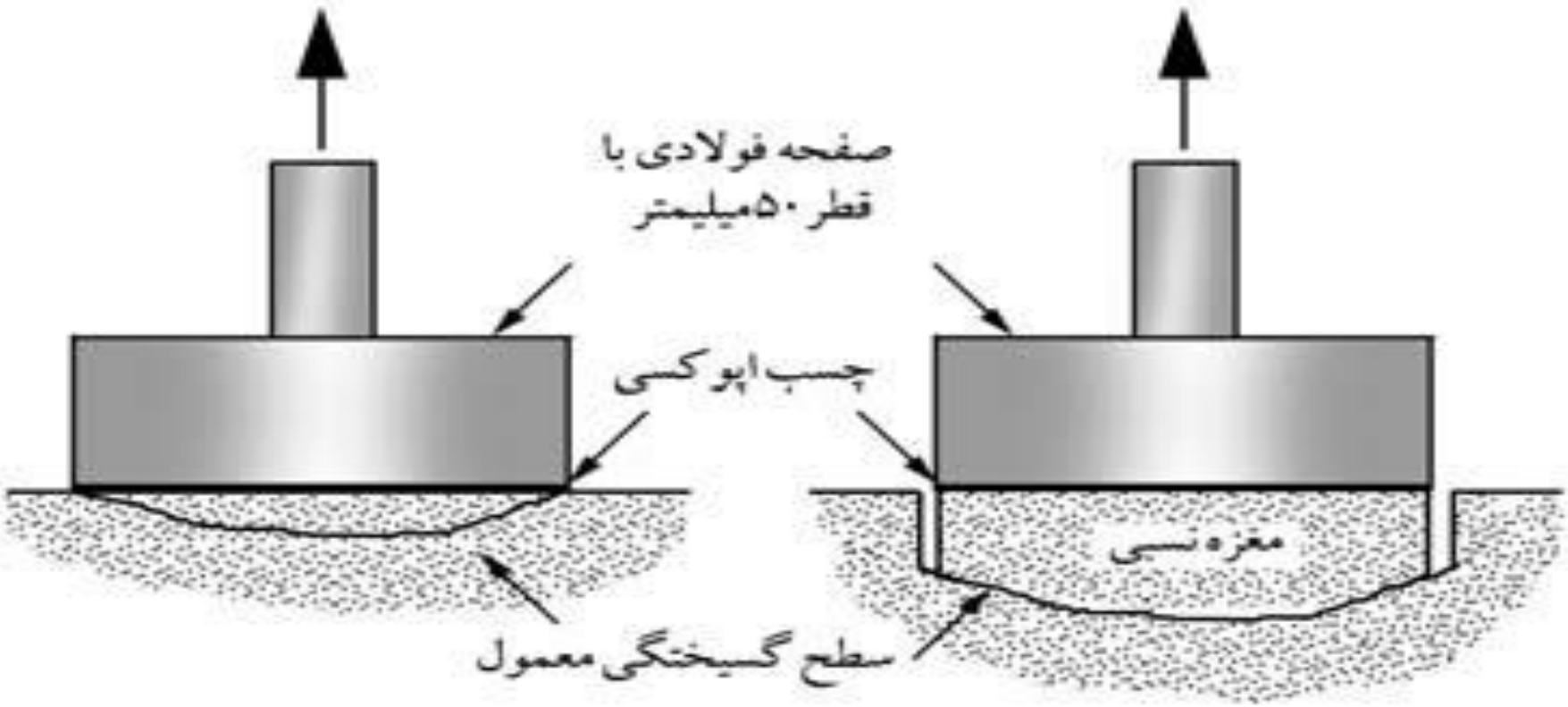
Bond Test

آزمایش کشیدن از سطح

- اندازه گیری حداکثر نیروی کششی مورد نیاز برای جداکردن دیسک فولادی قرار گرفته روی سطح بتن همراه با لایه سطحی بتن که با مقاومت بتن رابطه همبستگی دارد به دو روش انجام می شود:

۱- بدون مغزه گیری: دیسک فولادی مستقیما روی سطح بتن متصل می شود؛ صرفا سطح بتن تحت تنش قرار گرفته و نتایج به دست آمده با مقاومت کل بتن رابطه ضعیفی دارد.

۲- با مغزه گیری: ابتدا مغزه گیری نسبی انجام و سپس دیسک فولادی با چسب مخصوص برسطح مغزه چسبانده می شود. این روش به دلیل ایجاد سطح گسیختگی بیشتر در عمق بتن ارجح است.


صفحه فولادی با
قطر ۵۰ میلیمتر
چسب اپوکسی
مغزه نسبی
سطح گسیختگی معمول

قیود آزمایش کشیدن از سطح

- دیسک فولادی
  - سطح کاملاً صاف
  - استفاده از رزین مناسب
  - اعمال نیروی کششی در راستای کاملاً عمودی
  - ضخامت دیسک باید حداقل ۴۰٪ قطر آن باشد
- حلقه تکیه گاه
  - وظیفه انتقال نیروی عکس العمل از سیستم بارگذاری به سطح بتن
  - هم محور بودن حلقه و دیسک فولادی
- سیستم بارگذاری
- مجهز به وسیله نشان دهنده نیرو باشد
- قادر باشد که پس از گسیختگی بتن حداکثر نیرو را ثبت کند

نحوه استفاده از دستگاه کشیدن از سطح

- آماده سازی سطح بتن و دیسک فولادی برای برقراری اتصال مناسب
- سطح بتن و دیسک باید از هر نوع ناخالصی (گرد و خاک، سیمان، چسب خشک شده و ...) عاری باشد.
- رزین باید به صورت لایه ای نازک و با ضخامت یکنواخت بر تمام سطح تماس اعمال شود و چسب اضافی در اطراف دیسک نباشد.
- زمان مورد نیاز برای سخت شدن رزین بسته به نوع چسب و دما بین ۱/۵ تا ۲۴ ساعت است(توضیحات روی بسته بندی را مطالعه کنید).

تئوری آزمایش کشیدن از سطح

- بررسی تنش گسیختگی بتن بر اساس اعمال نیروی کششی.
- هرچند نتایج این آزمایش با آزمایش کشش مستقیم استاندارد متفاوت است، ولی به طور کلی با استفاده از منحنی کالیبره می توان نتایج آزمایش را به مقاومت فشاری ارتباط داد.

شرح آزمایش کشیدن از سطح

- فاصله نقاط آزمایشی باید حداقل دو برابر قطر دیسک فولادی باشد و از لبه های تحت آزمایش حداقل به اندازه قطر دیسک فاصله داشته باشد.
- در روش بدون مغزه گیری وجود آرماتور در نتیجه آزمایش بی اثر است؛ ولی در روش با مغزه گیری باید حفره ایجاد شده با آرماتور به اندازه بزرگترین سنگدانه فاصله داشته باشد.
- سیستم بارگذاری باید به دیسک فولادی متصل گردد و نیرو با سرعت یکنواخت اعمال شود به نحوی که مقدار افزایش تنش در هر ثانیه N/mm2 ۰.۰۵ با تلورانس ۳٪ باشد.
- حداکثر نیروی گسیختگی و چگونگی گسیخته شدن باید ثبت گردد.
- اگر گسیختگی در چسب ایجاد شود، نتیجه آزمایش مردود است.
- برای محاسبه تنش کششی باید حداکثر نیرو بر سطح مقطع دیسک تقسیم گردد.
- نتایج باید بر حسب تنش گسیختگی بر حسب نیوتن بر میلی متر مربع گزارش شوند.

دامنه کاربرد روش کشیدن از سطح

- تخمین مقاومت کششی با استفاده از منحنی های کالیبره
- تخمین مقاومت فشاری با استفاده از منحنی های کالیبره
- بررسی یکنواختی بتن
- تعیین روند خرابی
- تعیین زمان قالب برداری
- زمان حمل قطعات پیش ساخته
- زمان اعمال نیروی پیش تنیدگی

مزایا و محدودیت های روش کشیدن از سطح

- **مزایا:**

مهمترین مزیت آسان و سریع بودن روش است.

آسیب دیدن بتن در حد بسیار محدود است.

- **معایب:**

طولانی بودن مدت زمان گیرش ماده چسبنده که در بعضی موارد تا یک روز به طول می انجامد.

در روش بدون مغزه گیری، فقط چند میلی متر لایه سطحی بتن مورد ارزیابی قرار می گیرد.

نوع سنگدانه درشت در نتایج آزمایش موثر است.

جذب آب در بتن سخت شده

Water Absorption Test

توضیحات آزمایش

- این آزمایش برای اندازه گیری میزان جذب آب بتن با اندازه گیری تغییر جرم نمونه قبل و بعد از انجام آزمایش انجام میشود.
- تنها یک سطح از نمونه مورد آزمایش قرار میگیرد.
- سطح مورد نظر در آب غوطه ور خواهد بود.
- سطح خشک نمونه بتنی در تماس با آب توسط مکش مویینگی اشباع خواهد شد.

دامنه کاربرد

- سنجش کیفیت بتن مورد استفاده در شرایط محیطی سخت
- بررسی میزان جذب آب توسط بتن در حالت غیر اشباع
- بررسی تخلخل و دوام بتن

- در این آزمایش سطح نمونه بتنی بررسی میشود چرا که لایه سطحی بتن نسبت به لایه های میانی شرایط عمل آوری نامناسبتری دارد و شرایط محیطی اعمال شده به آن نیز سخت تر است.

عوامل موثر بر نتیجه آزمایش

- طرح اختلاط بتن، نوع و جنس سنگدانه ها
- وجود افزودنی های شیمیایی
- مواد مکمل سیمانی
- مدت زمان و نحوه عمل آوری
- رطوبت محیط آزمایشگاه
- وجود ریزترکها

روند آزمایش

- ابتدا نمونه بتنی را تا دقت ۰.۰۱ گرم وزن میکنیم
- ابعاد نمونه و قطر سطح مورد آزمایش را تا دقت ۰.۱ میلیمتر اندازه گیری میکنیم
- دیگر سطح های نمونه را با نوعی عایق مثل اپوکسی میپوشانیم
- سطح روبرویی مورد آزمایش را با یک درپوش پلاستیکی میپوشانیم
- سطح آب میتواند تا ۳ میلیمتر بالاتر از تکیه گاه ها باشد.

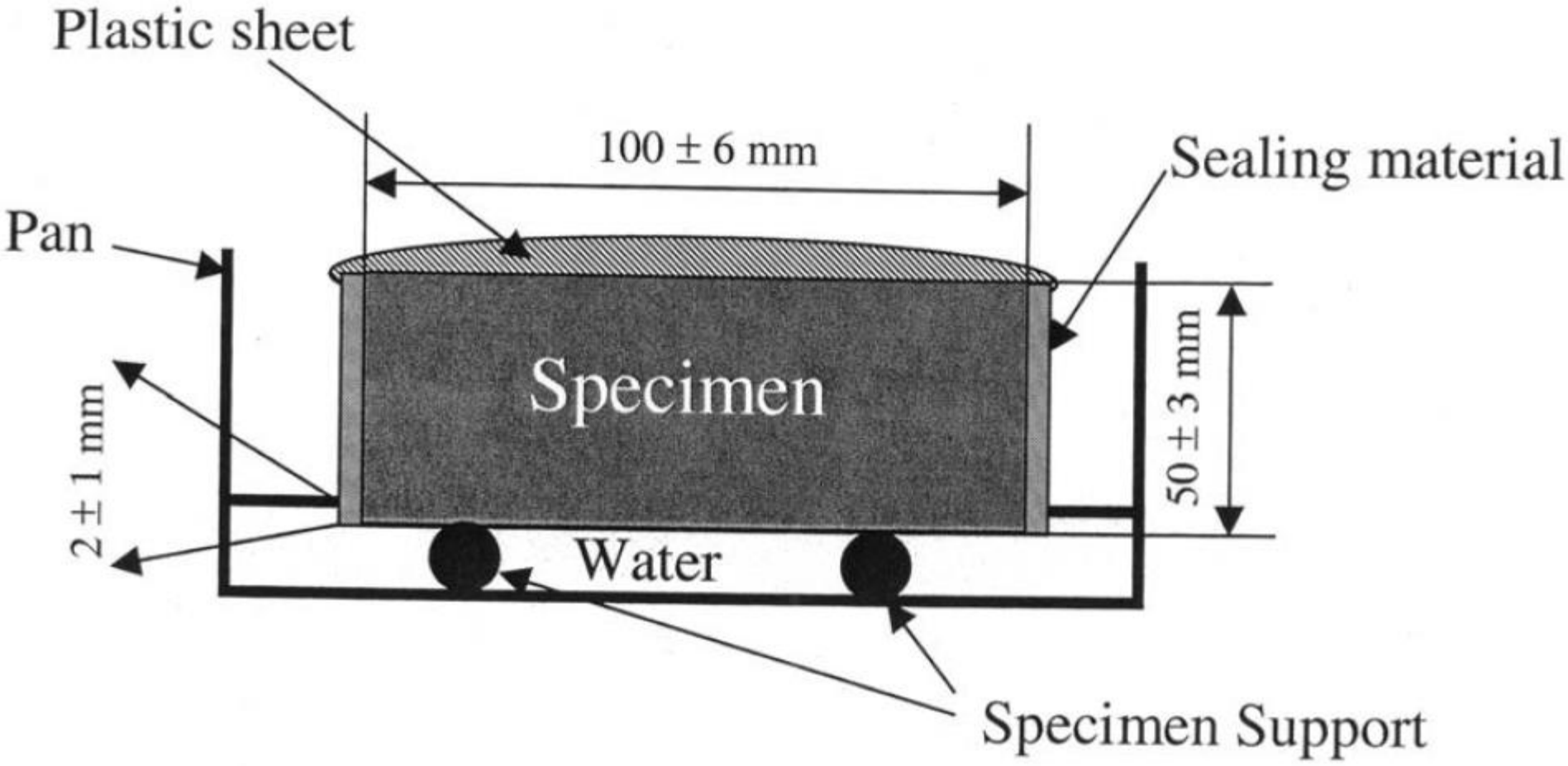


FIG. 1 Schematic of the Procedure

روند آزمایش

- بلافاصله پس از تماس آب با نمونه زمان گرفته و در زمانهای زیر نمونه را از آب خارج میکنیم و زمان را متوقف.

TABLE 1 Times and Tolernaces for the Measurements Schedule

Time	60 s	5 min	10 min	20 min	30 min	60 min	Every hour up to 6 h	Once a day up to 3 days	Day 4 to 7 3 measurements 24 h apart	Day 7 to 9 1 (one) measurement
Tolerance	2 s	10 s	2 min	2 min	2 min	2 min	5 min	2 h	2 h	2 h

- هر بار قبل از وزن کردن آب اضافی سطح را جمع کرده، نمونه را برعکس میکنیم و پس از ۱۵ ثانیه جرم را اندازه گیری میکنیم.

I = جذب
m = تغییر جرم
a = سطح تماس با آب (mm2)
d = وزن مخصوص آب

$$I = \frac{m_t}{a*d}$$

TABLE X1.1 Example of Data Collected and Calculations

Sample No. F-68
Sample Conditioning: Cast, steam cured, test face = top surface
Sample: Age 378 days
Mass of Conditioned disc: 750.5 g (prior to sealing sides)
Diameter (mm): 101.6
Thickness (mm): 50.8
Water temp: 20.7°C

Cast Date: 3/2/99
Concrete Mixture: Standard mixture I

Age at coring: Unknown
Mass after sealing specimen: 761.8 g
Exposed Area: 8107 mm^2

Test Date: 3/14/00

Test Time		√Time ($s^{1/2}$)	Mass (g)	ΔMass (g)	ΔMass/area/density of water = *l* (mm)
Days	s				
	0	0	761.83	0.00	0.0000
	60	8	762.45	0.62	0.0765
	300	17	762.46	0.63	0.0777
	600	24	762.48	0.65	0.0802
	1200	35	762.50	0.67	0.0826
	1800	42	762.57	0.74	0.0913
	3600	60	762.63	0.80	0.0987
	7200	85	762.68	0.85	0.1048
	10800	104	762.73	0.90	0.1110
	14400	120	762.77	0.94	0.1159
	18000	134	762.81	0.98	0.1209
	21600	147	762.82	0.99	0.1221
1	92220	304	763.05	1.22	0.1505
2	193200	440	763.12	1.29	0.1591
3	268500	518	763.15	1.32	0.1628
5	432000	657	763.31	1.48	0.1826
6	527580	726	763.39	1.56	0.1924
7	622200	789	763.45	1.62	0.1998
8	691200	831	763.5	1.67	0.2060

جذب مویینگی

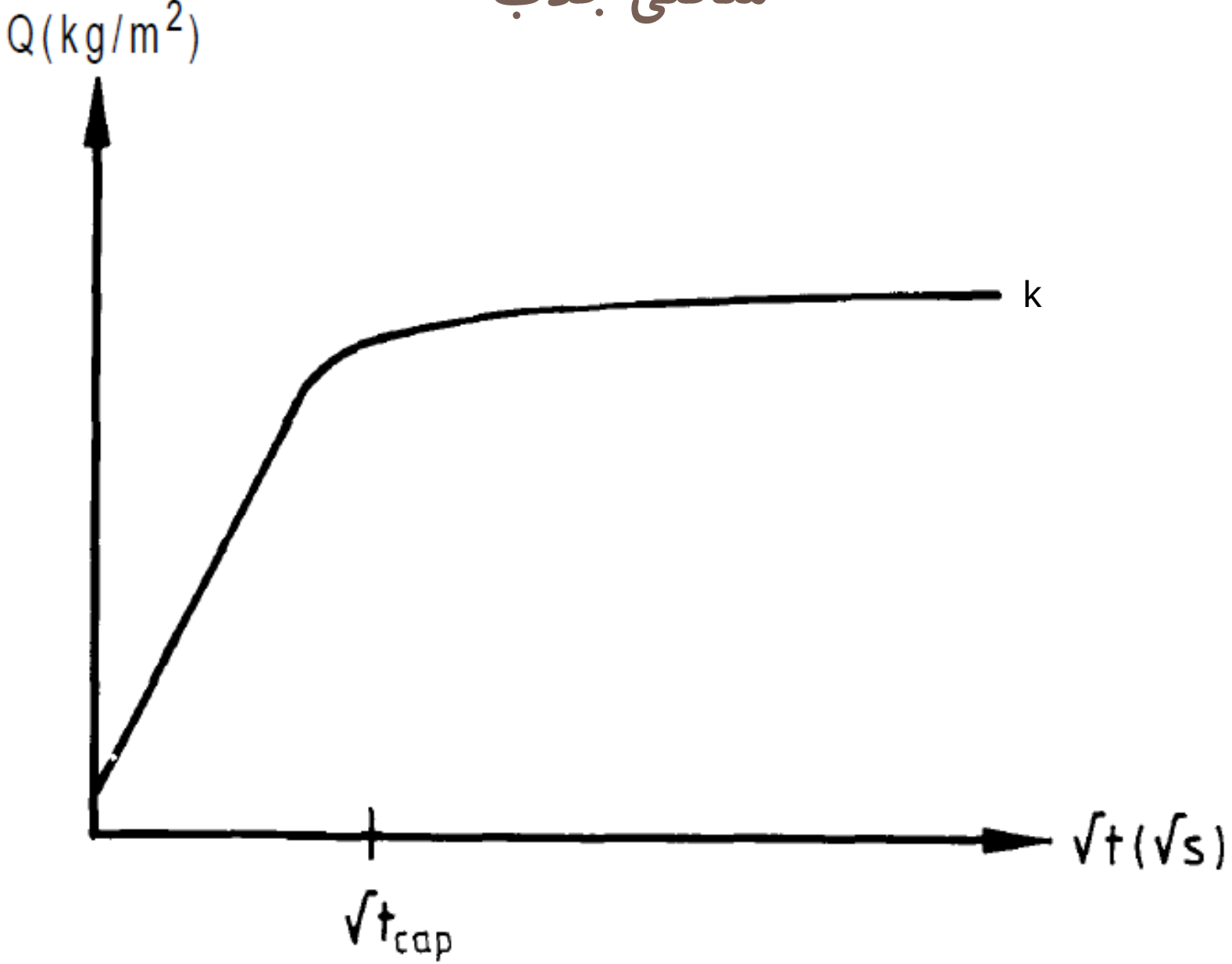
CAPILLARY ABSORPTION

دامنه آزمایش

- بررسی کیفیت ملاتها و انواع دیگر پوشش دهنده های بتن.
- بررسی میزان جذب آب موییینگی ملاتهای تعمیری و دیگر پوششها بر اساس ثبت تغییرات جرم.
- ضریب موییینگی(k)، نسبت مابین آب جذب شده و جذر زمان است.
- ضریب مقاومت(m)، که نسبت بین زمان تکمیل جذب موییینگی و مجذور ضخامت نمونه است.

$$k = \frac{(\frac{kg}{m\text{^}2})}{\sqrt{s}} = \frac{\text{آب جذبی}}{\text{کل زمان}} \qquad m = \frac{s}{h\text{^}2} = \frac{\text{کل زمان}}{\text{مجذور ضخامت}}$$

منحنی جذب



شرایط آزمایش

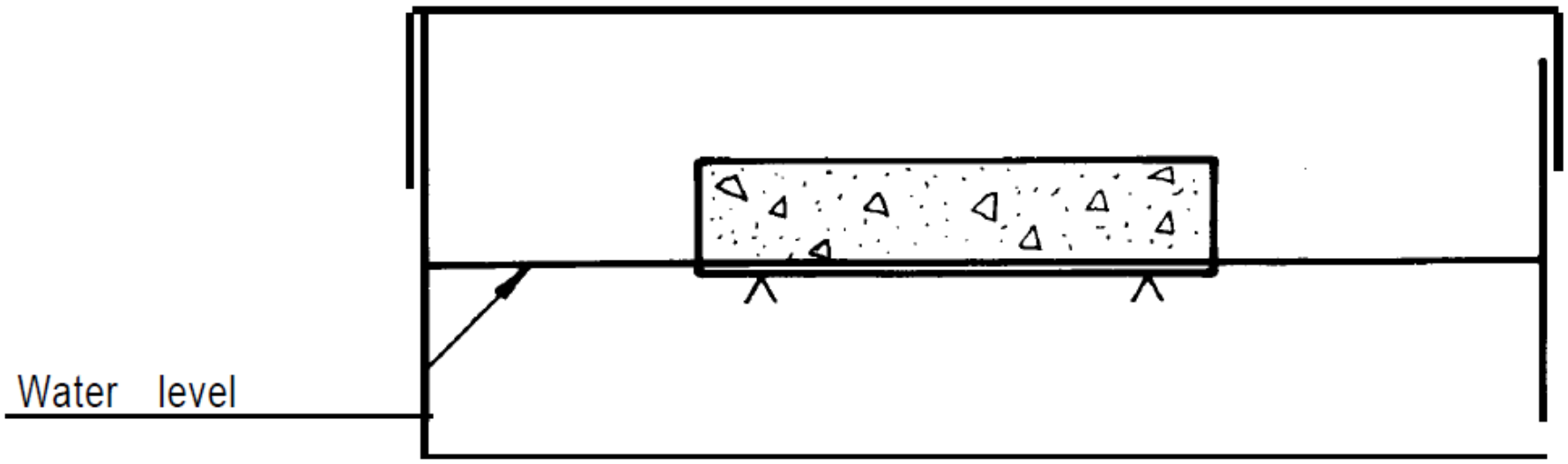
- آماده کردن ۳ نمونه استوانه ای یکسان با قطر ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲ سانتیمتر.
- نتایج حاصل از این آزمایش باید با یک نمونه اصلی با عیار ۳۵۰-۳۰۰ و اسلامپ ۱۰ تا ۱۴ و حداکثر بعد سنگدانه ۱۶ میلیمتر مقایسه شود.
- در صورت اعمال پوشش دهنده ها تمامی سطوح غیر از یکی میبایست پوشش داده شود و طبق دستورالعمل سازنده عمل آوری شود.
- پس از اعمال پوشش دهنده ها باید نمونه ها را به مدت ۷ روز در دمای ۴۰°C نگهداری کرد تا به یک رطوبت ثابت برسند.

روش آزمایش

- آماده کردن ۳ نمونه استوانه ای یکسان با قطر ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲ سانتیمتر.
- نتایج حاصل از این آزمایش باید با یک نمونه اصلی با عیار ۳۵۰-۳۰۰ و اسلامپ ۱۰ تا ۱۴ و حداکثر بعد سنگدانه ۱۶ میلیمتر مقایسه شود.
- در صورت اعمال پوشش دهنده ها تمامی سطوح غیر از یکی میبایست پوشش داده شود و طبق دستورالعمل سازنده عمل آوری شود.
- پس از اعمال پوشش دهنده ها باید نمونه ها را به مدت ۷ روز در دمای ۴۰°C نگهداری کرد تا به یک رطوبت ثابت برسند.

روند آزمایش

- در صورتی که از پوشش دهنده ها استفاده کرده ایم قرینه سمتی که پوشش ندارد را در آب قرار میدهیم.
- تراز آب ظرف باید در ابتدا و طول آزمایش ۱ میلیمتر بالاتر از سطح شبکه نگهدارنده باشد.
- نمونه ها را بر روی یک شبکه درون ظرفی از آب قرار میدهیم و نرخ افزایش وزن را در بازه های زمانی مشخص ثبت میکنیم.
  - بازه های زمانی: ۱۰’ ، ۳۰’ ، ۲h ، ۳h ، ۴h ، ۶h ، ۱d ، ۲d ، ۳d ، ۴d .


Water level

روند آزمایش

- سپس غرق کردن نمونه ها در آب تحت فشار ۱atm به مدت ۳ روز و ثبت جرم نمونه.
- اشباع کردن نمونه با فشار ۸۰atm به مدت ۳ روز و ثبت جرم نمونه.
- خشک کردن نمونه در آوِن و دمای ۱۰۵°C به مدت ۱ هفته و ثبت جرم نمونه.
- قبل از هر بار ثبت وزن میبایست که آب اضافه روی سطوح با یک حوله جذب شود.

ضریب انتشار کلرید از آزمایشات مهاجرت سلولی

CHLORIDE DIFFUSION COEFFICIENT FROM MIGRATION CELL EXPERIMENTS

دامنه آزمایش

- نرخ ثابت انتشار ین کلرید در بتن توسط این روش آزمایشگاهی شتاب یافته بدست می آید.
- مقدار کلرید عبوری در یک زمان مشخص به وسیله اعمال ولتاژ مستقیم و ثابت به نمونه پس از رسیدن به یک مقدار ثابت اندازه گیری میشود.
- مهاجرت کلرید به روند حرکت یون های کلرید در مواد متخلخل تحت اثر بار الکتریکی گفته میشود.
- این آزمایش برای مواردی که نمونه اصلی بتن در شرایط کلریدی ثابتی قرار ندارد ملاک نمی باشد.

شرایط آزمایش

- در مجموع از این آزمایش در مواردی میتوان استفاده کرد که نمونه اصلی بتن مورد استفاده، در یک شرایط محیطی کلریدی سرویس خواهد داد.
- نمونه ساخته شده باید بین ۱۰۰-۹۵ میلیمتر قطر و ۵۰ میلیمتر ارتفاع داشته باشد و از نمونه های استوانه ای ساخته شده باشد.
- نمونه ها میتوانند از بتن مغزه گیری شده نیز باشند به شرط آنکه مغزه حداقل ۲۰ سانتیمتر عمق داشته باشد.
- نمونه ها باید ۹۰ روز از عمرشان گذشته باشد.

روش آزمایش

- باید به وسیله یک مولد الکتریکی DC ولتاژ حداقل ۱۲ ولت را به طرفین نمونه انتقال دهیم.
- در حین آزمایش دمای نمونه نباید به بیش از ۴۰°C برسد.
- ین های کلرید از سمت محلول سدیم کلرید (بار منفی) به سمت دیگر که محلول سدیم هیدروکسید (بار مثبت) قرار دارد مهاجرت میکنند.
- با توجه به جریان ین کلرید عبوری سدیم کلرید، از درون نمونه به سمت محلول سدیم هیدروکسید و پس از ثبات پیدا کردن این مقدار(اندازه گیری با آمپمتر) ضریب انتشار کلرید محاسبه میشود.

روش آزمایش

- نمونه ها باید در یک تانک پر، بسته حاوی کلسیم هیدروکسید با دمای بین ۲۲-۱۸ درجه سانتیگراد نگهداری شوند و هر روز وزن شوند. پس از اینکه جرم نمونه ها به مقدار ثابتی رسید قابل آزمایش هستند.
- سپس به مدت ۴ ساعت و در دمای ۲۲-۱۸ درجه سانتیگراد اجازه خشک شدن به نمونه را داده و اطراف آن را با لایه ای از اپوکسی پوشش میدهیم.
- پس از ایجاد پوشش اپوکسی، قطر نمونه نباید از ۱۰۹ میلیمتر بیشتر باشد تا در کپسول مهاجرت قابل جانمایی باشد.

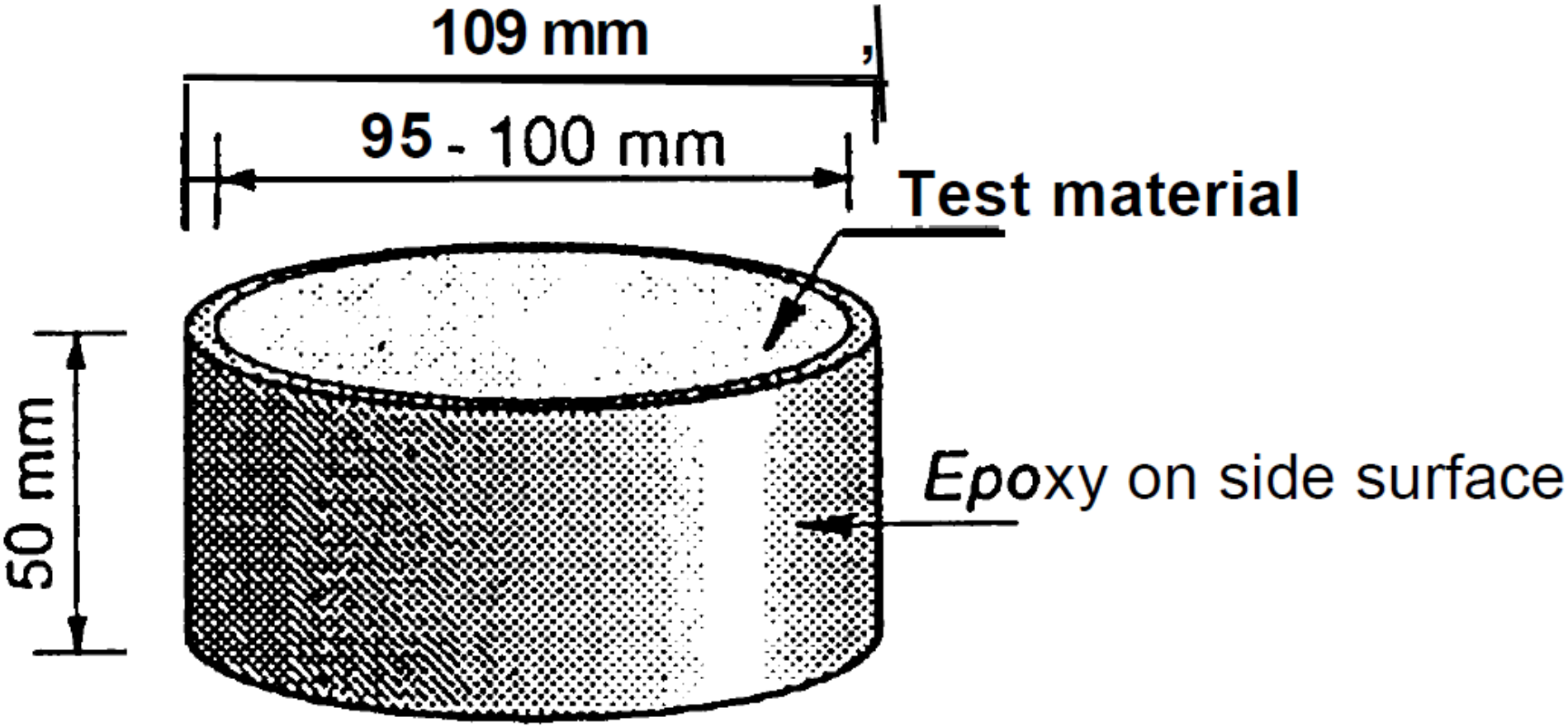


Figure 1. Test specimen.

روند آزمایش

- مقاومت الکتریکی نمونه ها را قبل و بعد از شروع آزمایش اندازه گیری و ثبت میکنیم.
- نمونه اپوکسی شده را قبل و بعد از آزمایش وزن میکنیم.
- به مدت ۲۴ ساعت سیستم آزمایش را به وسیله کلسیم هیدروکسید برای جلوگیری از وجود هر گونه نقص چک میکنیم.
- در صورتی که سیستم تبخیر داشته باشد باید مطمئن شد که همیشه ۹۵٪ ظرفیت مخازن پر باشد.

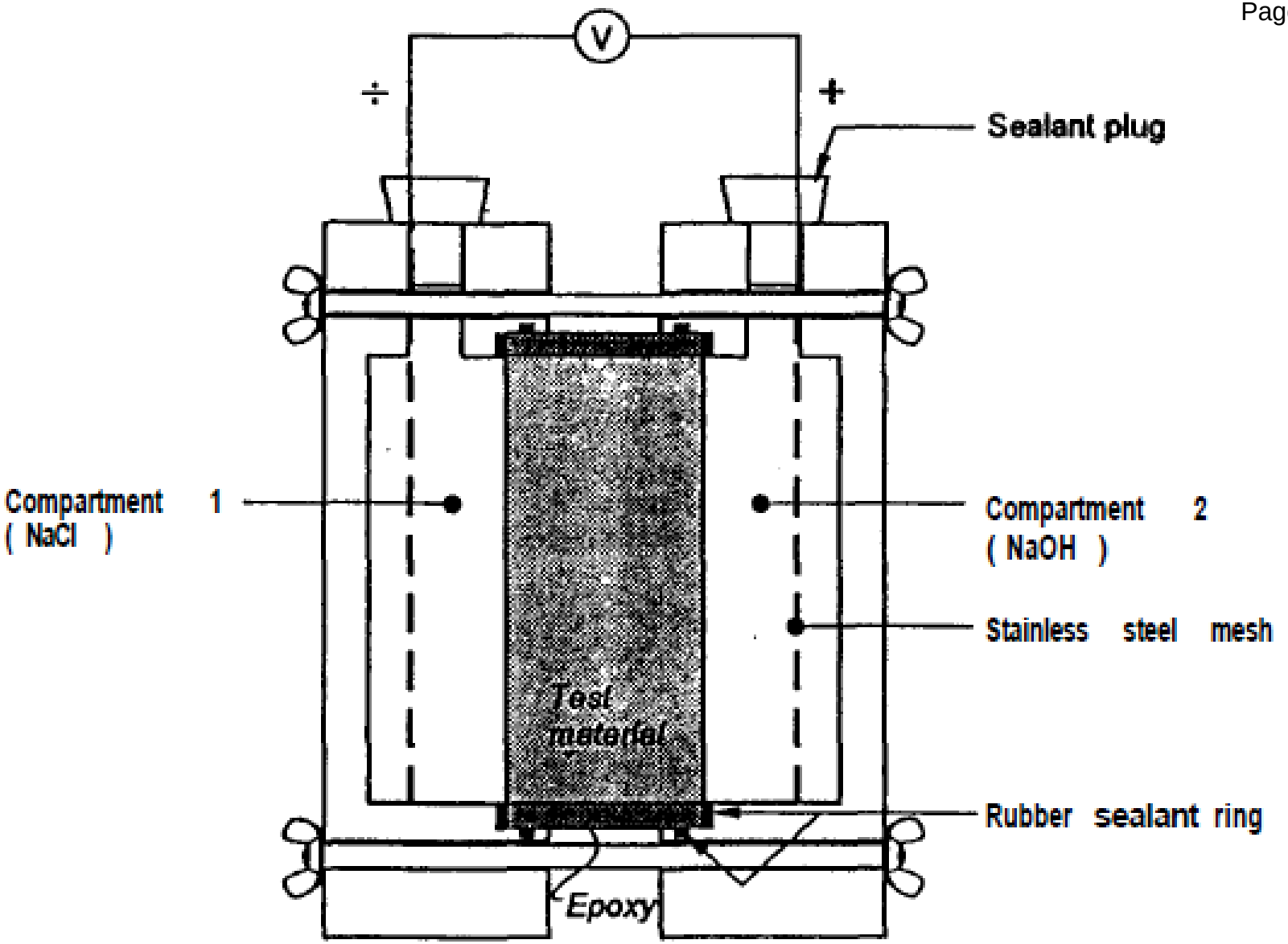
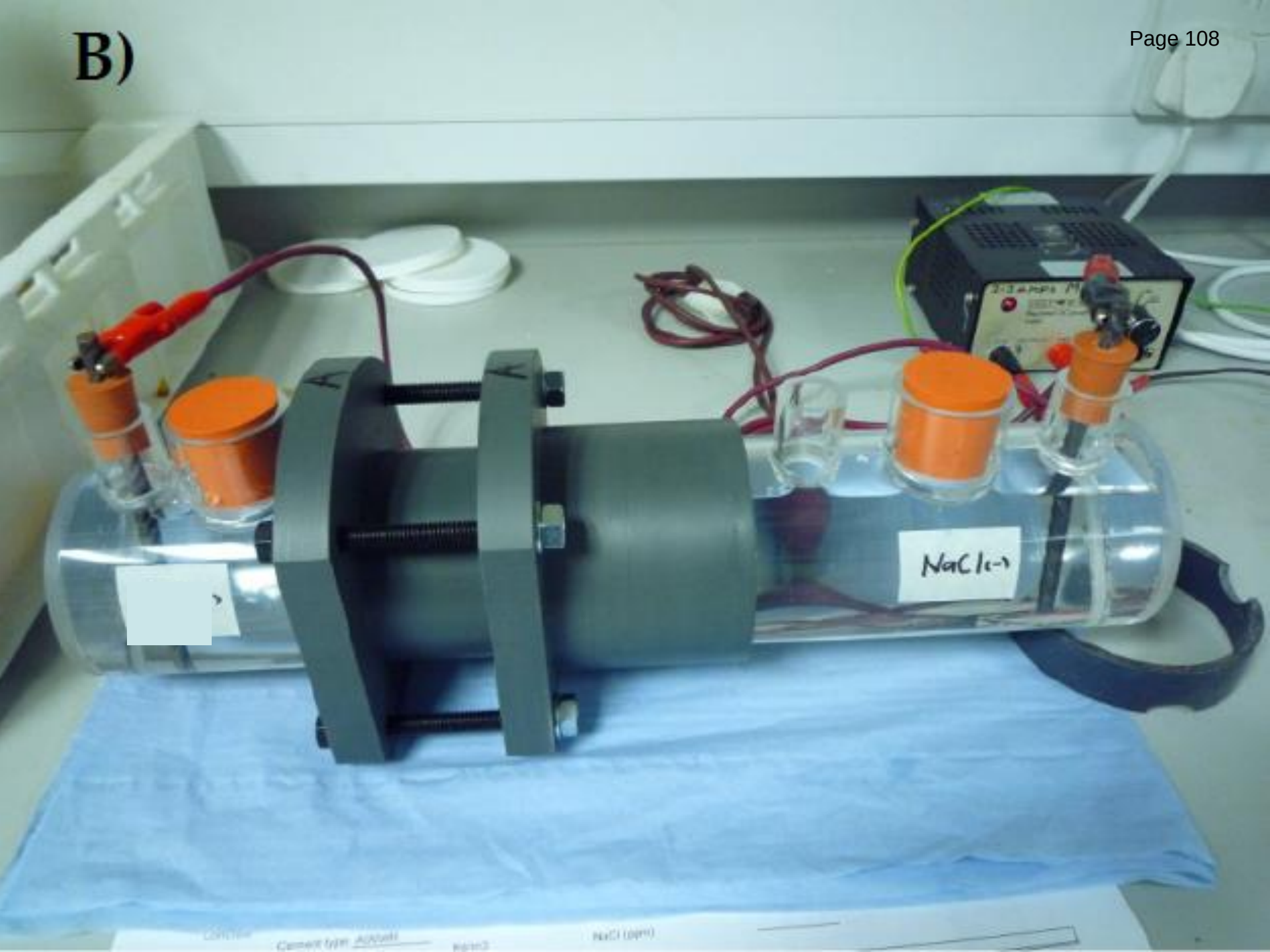


Figure 3a. Schematic view of test cell and mounted specimen.

B)



روند آزمایش

- نحوه مشخص شدن زمانبندی آزمایش بدین صورت است که به طور مکرر و با فواصل زمانی مشخص یک قطره از محلول سدیم کلرید آزمایش را به محلول نیترات نقره اضافه نموده تا یک رسوب سفید پدیدار شود.
- از زمان پدیدار شدن رسوب به مدت ۷ روز و هر روز یک بار مقدار کلرید محفظه سدیم کلرید را اندازه گیری کرده و ثبت میکنیم.

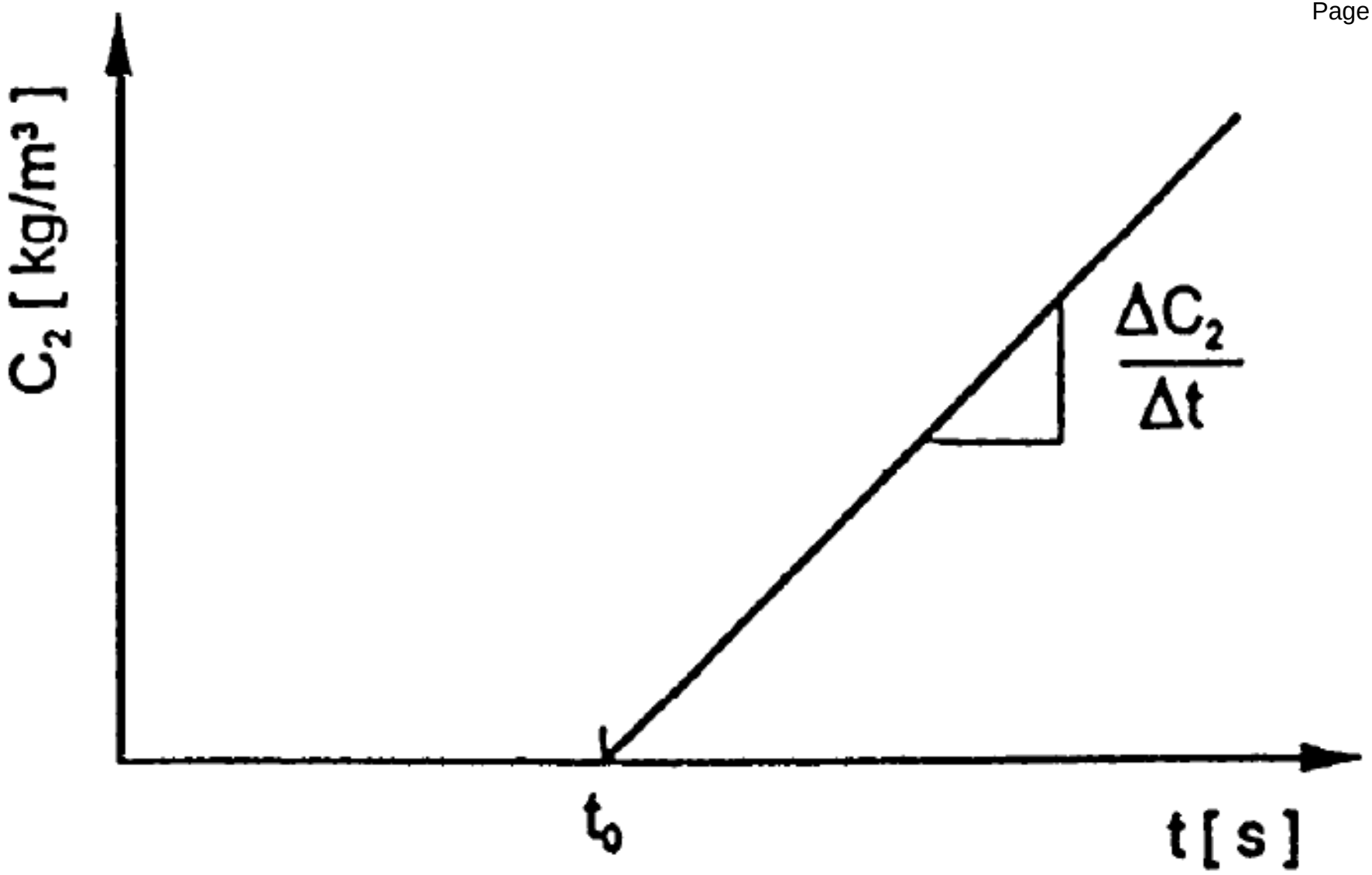


Figure 2. Schematic variation of chloride concentration with time in compartment 2.

ضریب مهاجرت ین کلرید با آزمایشهای مهاجرت در شرایط غیرثابت

Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments

دامنه آزمایش

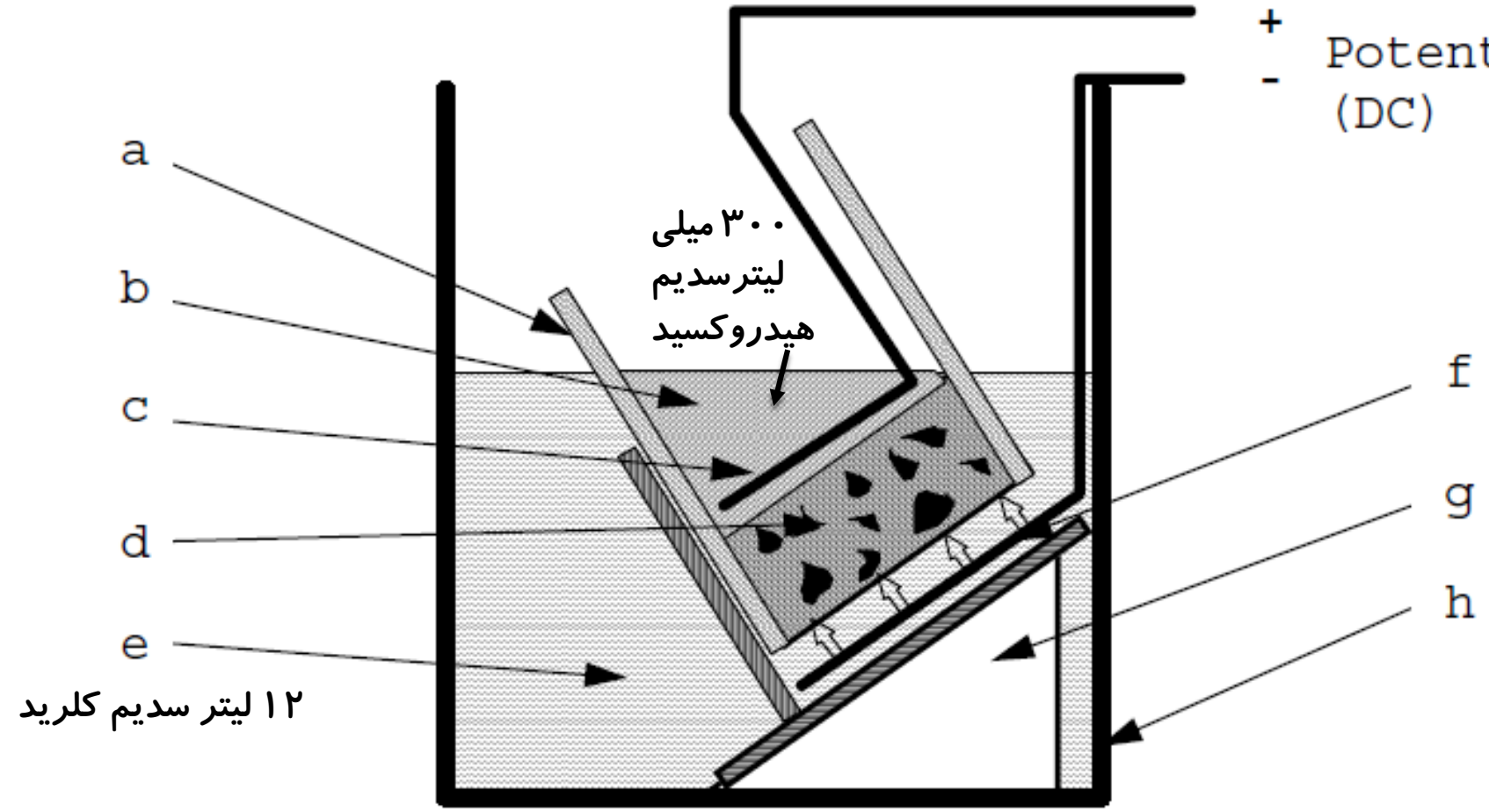
- تعیین روشی برای ارزیابی سریع مقاومت بتن در برابر نفوذ کلرید با استفاده از آزمونهای مهاجرت در شرایط ناپایدار.
- طبقه بندی بتن براساس سهولت نفوذ یونهای کلرید در بتن و شدت خوردگی میلگرد بتن ناشی از ورود کلرید.
- عمق نفوذ ین کلرید به فاصله بین سطح قرار گرفته در معرض محلول ین کلرید و عمق نفوذ کلرید گفته میشود.

شرایط آزمایش

- پتانسیل الکتریکی خارجی در راستای ارتفاع آزمونه اعمال میشود و یونهای کلرید را وادار به حرکت در داخل آزمونه میکند.
- پس از گذشت زمان مشخص آزمایش نمونه در راستای عمود بر سطح اشباع شده با ین کلرید شکسته شده و عمق نفوذ مشخص میشود.
- شرایط نمونه برداری با آزمایش قبل یکسان میباشد.
- مانند آزمایش قبل سطوح نمونه را پاک کرده و سطوح جانبی را با اپوکسی پوشش میدهیم.

روند آزمایش

- نمونه ها را به مدت ۳ ساعت در پمپ خلاء قرار میدهیم.
- در حین روشن بودن پمپ خلاء داخل پمپ را با کلسیم هیدروکسید اشباع پر میکنیم و خلاء را ۱ ساعت دیگر ادامه میدهیم.
- اجازه ورود خلاء به داخل محفظه خلاء را داده و به مدت ۲۰-۱۶ ساعت به نمونه استراحت میدهیم.
- جریان ۳۰ ولت را به کاتد و آند اعمال میکنیم.
- آمپر را اندازه گیری میکنیم و با توجه به آمپر عبوری از جدول ولتاژ و زمان را انتخاب میکنیم.



a. Rubber sleeve
b. Anolyte
c. Anode
d. Specimen
e. Catholyte
f. Cathode
g. Plastic support
h. Plastic box

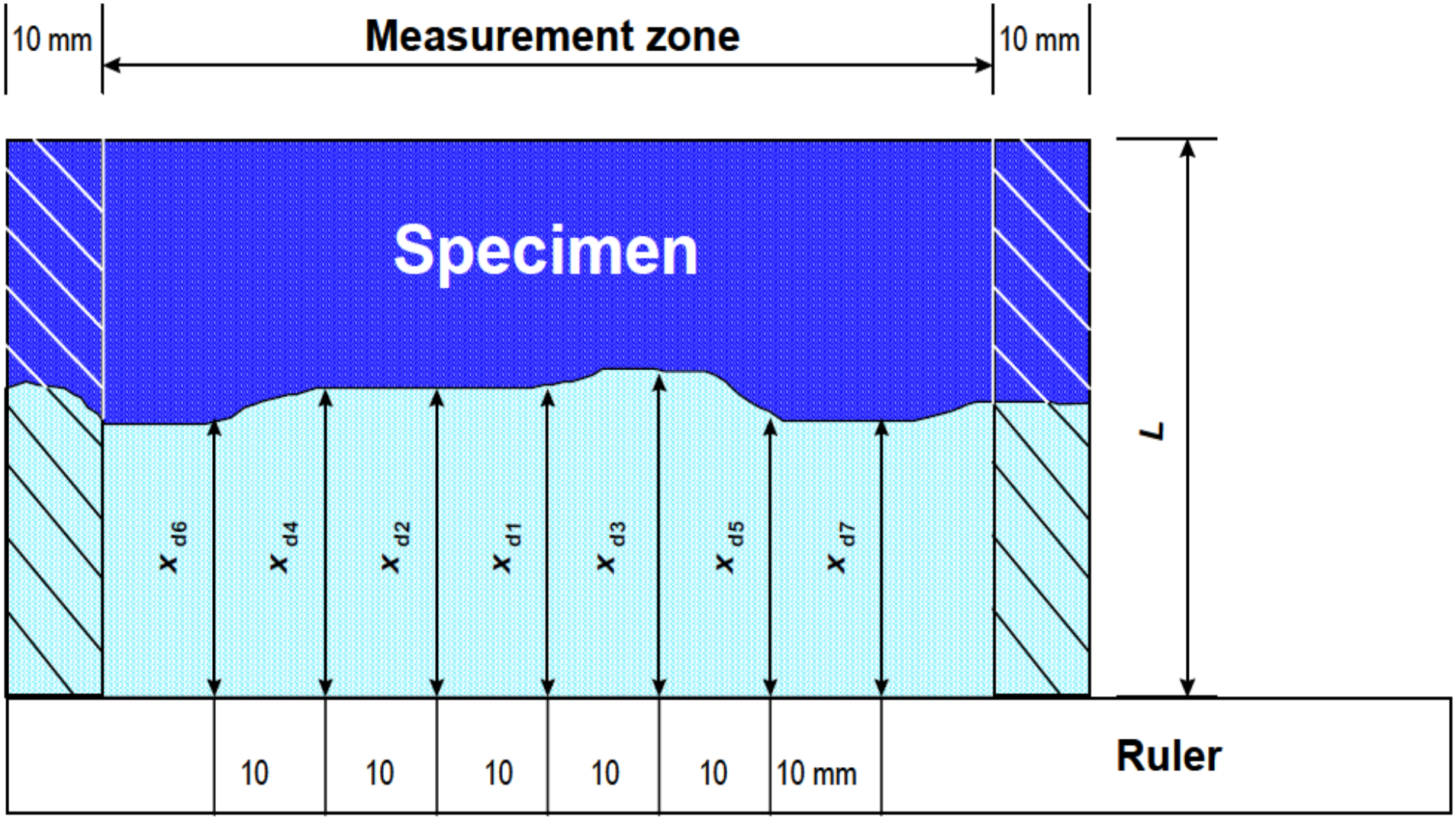
Fig. 1. One arrangement of the migration set-up.

Table 1. Test voltage and duration for concrete specimen with normal binder content.

Initial current I_{30V} (with 30 V) (mA)	Applied voltage U (after adjustment) (V)	Possible new initial current I_0 (mA)	Test duration t (hour)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 120$	6

روند آزمایش

- پس از پایان زمان تعیین شده در جدول نمونه ها را از دستگاه خارج کرده، شسته و سطحشان را پاک میکنیم.
- در راستای عمود بر سطح محلولها نمونه را میشکنیم.
- بلافاصله محلول نقره نیترات ۰.۱ را بر روی سطح شکسته شده اسپری میکنیم.
- پس از ۱۵ دقیقه اثر آن به وضوح نمایان میشود.
- سپس با یک کولیس مانند شکل زیر عمق نفوذ را با دقت ۰.۱ میلیمتر در هر ۱ سانتیمتر اندازه می گیریم.


10 mm
Measurement zone
10 mm
Specimen
L
x d6
x d4
x d2
x d1
x d3
x d5
x d7
10
10
10
10
10
10 mm
Ruler

متد استاندارد تست مقاومت سایشی سطوح افقی بتنی

Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces

دامنه آزمایش

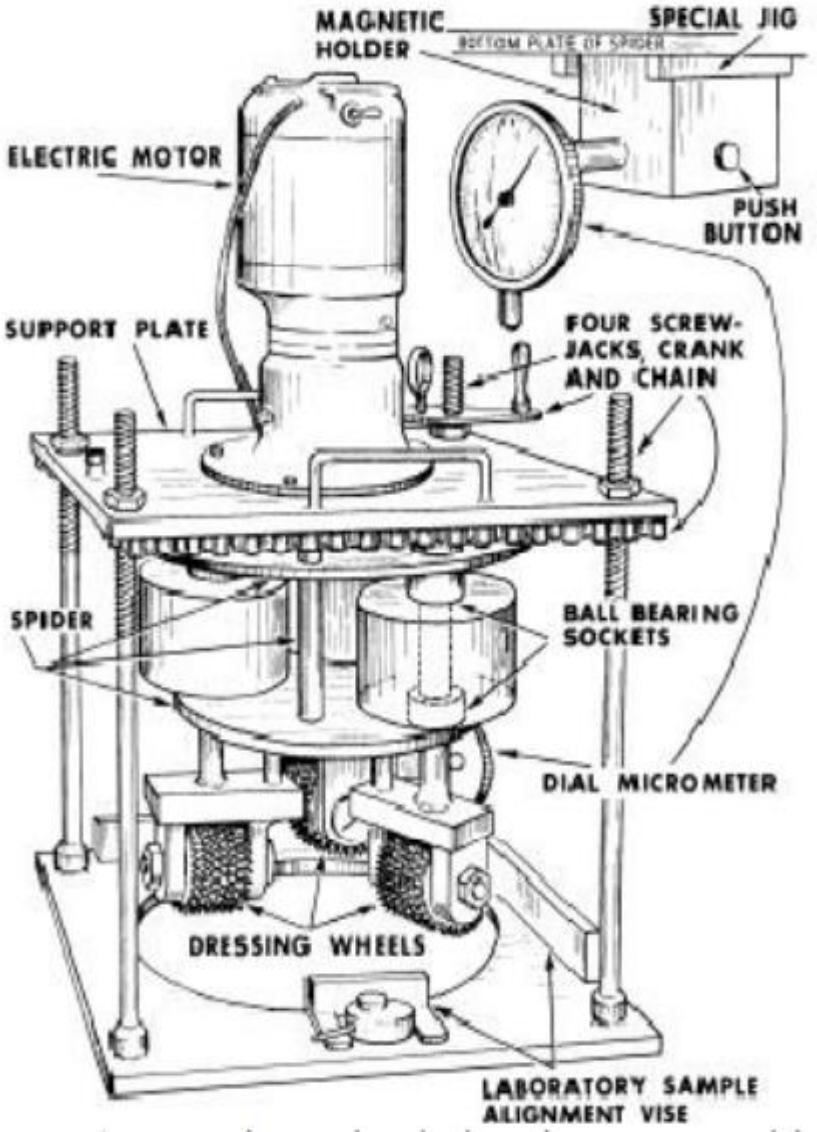
- تعیین مقاومت نسبی سایشی سطوح افقی بتن
- ارزیابی مواد بتن و روش های عمل آوری یا پرداخت بتن
- بررسی کیفیت محصولات و سطح در معرض سایش
- به علت قابل حمل بودن تجهیزات استفاده کارگاهی از این آزمایش ها نیز میتواند مد نظر قرار بگیرد.

تجهیزات آزمایش

- برای انجام این آزمایش از ۳ دستگاه میتوان استفاده کرد.
  - ماشین دیسک چرخان: به وسیله لغزیدن و خراش دادن دیسکهای فولادی متصل به سمباده عمل می کند.
  - ماشین چرخ های ساینده: به وسیله ضربه و اصطکاک لغزشی چرخ های ساینده فلزی عمل می کند.
  - ماشین بلبرینگ: به وسیله فشارهای تماسی بالا، ضربه و اصطکاک لغزشی گوی های فلزی عمل می کند.

ماشین دیسک چرخان

ماشین چرخ های ساینده



ماشین بلبرینگ

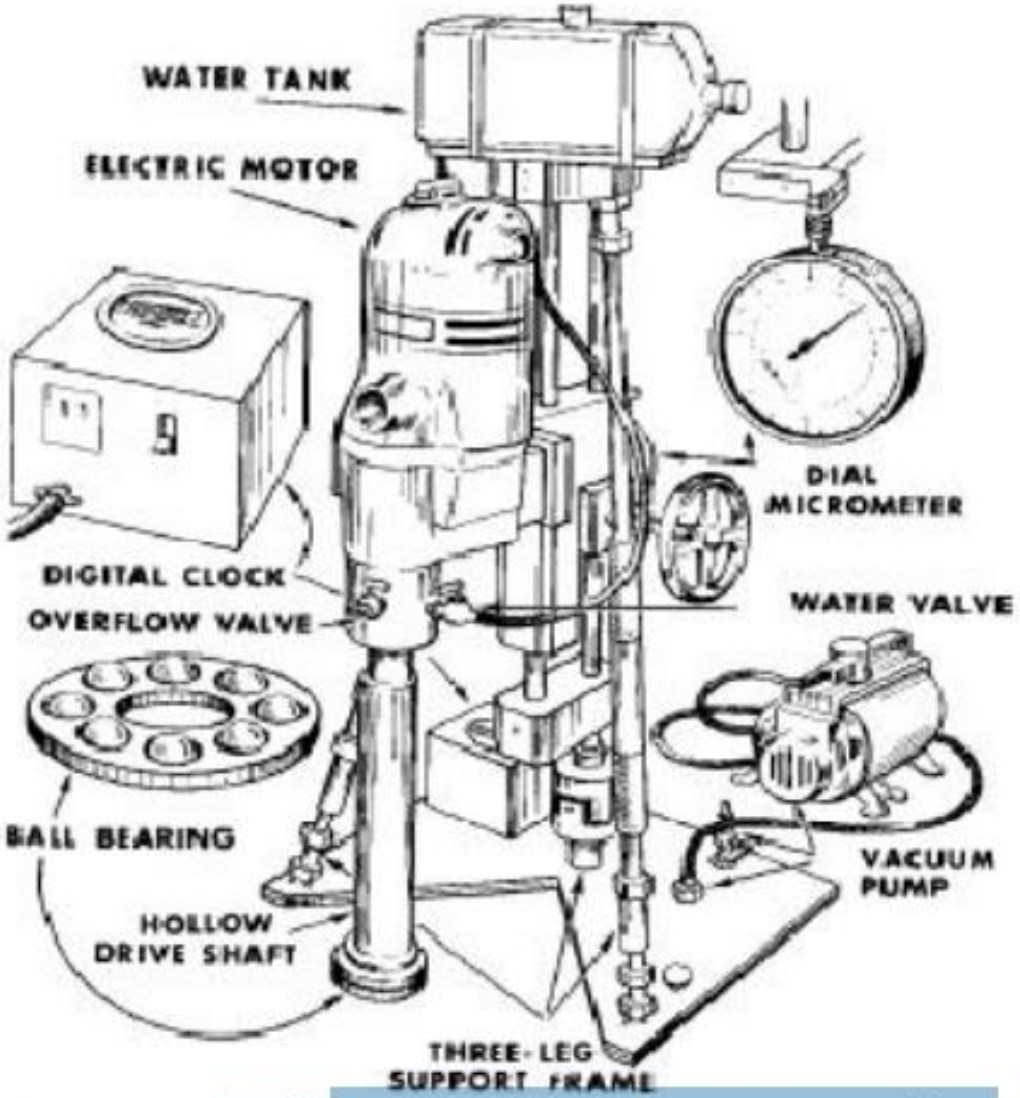


Figure 5: Ball-bearing abrasion test machine.

شرایط آزمایش

- برای انجام آزمایش به یک نمونه ۱۰X۳۰X۳۰ نیاز داریم.
- به مدت ۵ دقیقه نمونه موجود ساییده میشود تا سطح صیقلی شود.
- عمق موجود۲ دفعه و هر دفعه ۲۰ بار با میکرومتر دستگاه ثبت میشود.
- آزمون را به مدت حداقل ۳۰ تا حداکثر ۶۰ دقیقه اجرا میکنیم.
- سطح نمونه را از مواد ساییده شده پاک میکنیم.

شرایط آزمایش

- عمق خراشها را با میکرومتر تا دقت ۰.۰۲۵ میلیمتر ثبت میکنیم.
- در صورتی که پس از انجام تست عمق خراشها کمتر از ۱.۵ میلیمتر باشد دیسکهای ساینده نیاز به تعویض دارند.
- ۳ آزمون روی سطوح هرنوع بتن مورد نظر باید انجام شود.
- مقایسه اندازهای میانگین عمق سایش سطوح موجود در زمانهای ۳۰ و ۶۰ دقیقه در معرض سایش، مقاومت نسبی به سایش را در این سطوح نشان خواهد داد.

منابع
References

منابع

- آیین نامه بتن ایران ۱۳۷۹، تجدید نظر اول، نشریه شماره ۱۲۰، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- آیین نامه پیشنهادی ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس ۱۳۸۵، چاپ اول، علی‌اکبر رمضانپور و علیرضا پورخورشیدی
- آزمایشهای مخرب و غیرمخرب بتن ۱۳۸۸، معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران، پرویز قدوسی
- روش انجام آزمایش بارگذاری سازه های بتنی، کلینیک فنی و تخصصی بتن ایران، ۱۳۹۴/۱۰/۰۵
- پیش بینی نفوذ ین کلرید در بتن سخت شده حاوی سیمان هیدرولیکی با روش مهاجرت سریع ۱۳۹۴،INSO6044، چاپ اول، سازمان ملی استاندارد ایران
- مقاومت سایشی سطوح افقی ۱۳۹۲،INSO17308، چاپ اول، سازمان ملی استاندارد ایران

منابع

- Geophysical.biz. (2017). Ground Penetrating Radar for NDT & Concrete Testing. [online] Available at: http://www.geophysical.biz/gpr3.htm [Accessed 11 Dec. 2017].
- 6alpha.blogfa.com. (2017).-*Gpr* [online] Available at: http://6alpha.blogfa.com/post-227.aspx [Accessed 13 Dec. 2017].
- Water Permeability Of Hardened Concrete. (2018). 1st ed. [ebook] Australia: Mainroads western Australia, pp.1-7. Available at: https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/wa625_2.pdf [Accessed 10 May 2018].
- Test Procedure for Water Permeability Test (Water Penetration Depth). (2018). 1st ed. [ebook] Saudi Arabia: King Fahd University of Petroleum and Minerals, p.1. Available at: http://faculty.kfupm.edu.sa/CE/sud/Teaching/CE%20401-112/02%20Water%20Permeability%20Test%20%5B2012%5B1%5D.02.15%5D.pdf [Accessed 22 May 2018].

منابع

- ConSensor. (2017). *The new standard in concrete strength measurement - ConSensor*. [online] Available at: http://www.consensor.nl/en/ [Accessed 18 Dec. 2017].
- Avantech.in. (2017). Non Destructive and In-situ Tests for RCC structures | Avantech Engineering Consortium Pvt. Ltd.. [online] Available at: http://www.avantech.in/testing-consulting-services/concrete-ndt.aspx [Accessed 15 Dec. 2017].
- ASTM C 1077 Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation
- Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. ASTM C1585-04,ASTM, (1), pp.1-6. Available at:http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C1585-13

منابع

- (Chloride Migration Coefficient From Non-steady-state Migration Experiments, 1999) ,Nordtest, Nt Build 492, Pp.1-8.
- (Capillary Absorption, 1991) ,Nordtest, Nt Build 368, Pp.1-3.
- (Chloride Diffusion Coefficient From Migration Cell Experiments, 1997) , Nordtest, Nt Build 355, Edition 2, Pp.1-4.