بتن تازه

اهمیت

- بازه زمانی ۴۸ ساعت پس از بتن ریزی اهمیت فوق العاده ای از نظر عملکرد بتن در سازه دارد.
- خصوصیات بتن در این بازه زمانی بر روی عملکرد درازمدت، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، خزش، جمع شدگی، و دوام بتن تاثیرگذار است.
- دانستن رفتار بتن در حالتی که تازه است (حالت پلاستیک) موجب تسهیل مطالعه خصوصیات آن و عوامل موثر مربوطه می باشد.

مشخصات بتن تازه

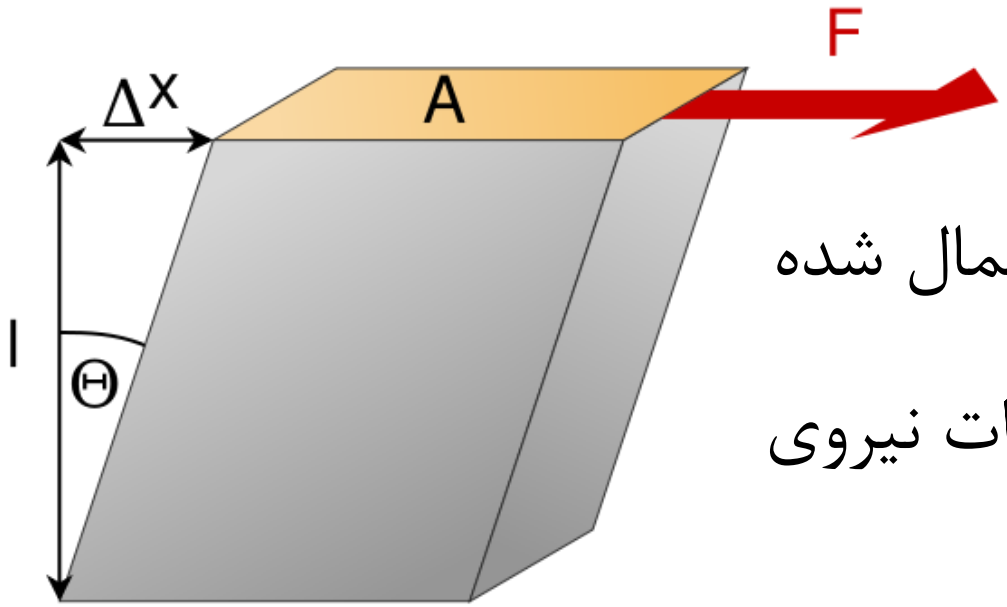
- کارآیی یا کارپذیری
- افت کارآیی
- جداشدگی
- آب انداختگی
- جمع شدگی پلاستیک
- زمان گیرش
- دما

رئولوژی (Rheology)

- رئولوژی در حقیقت بررسی جریان یک ماده، عموما در حالت سیال و یا به صورت «جامد نرم» و یا جامدی که رفتاری همانند یک سیال پلاستیک دارد (یعنی ارتجاعی نیست)، در مقابل نیروی وارده است.
- موضوع بحث دانش رئولوژی عموما درمورد موادی است که ساختار مولکولی نسبتا پیچیده ای دارند، نظیر مخلوطهای معلق جامد در مایع (سوسپانسیون)، پلیمرها و ...

مکانیک جامدات

وقتی یک ماده جامد تحت نیروی برشی قرار می گیرد، رفتار آن از قانون هوک تبعیت می کند:

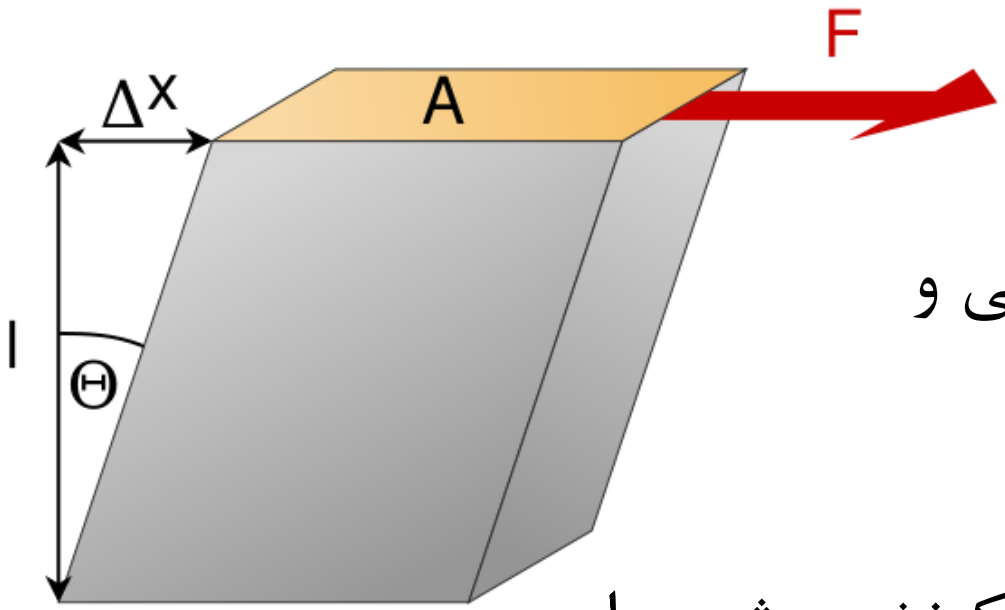


$$\tau = F / A$$

که τ تنش برشی، F نیروی اعمال شده و A سطح مقطع نمونه به موازات نیروی اعمالی است.

مکانیک جامدات

- در این حالت تغییر شکل نمونه از رابطه زیر تعیین می شود:



$$\tau = G\,\gamma$$

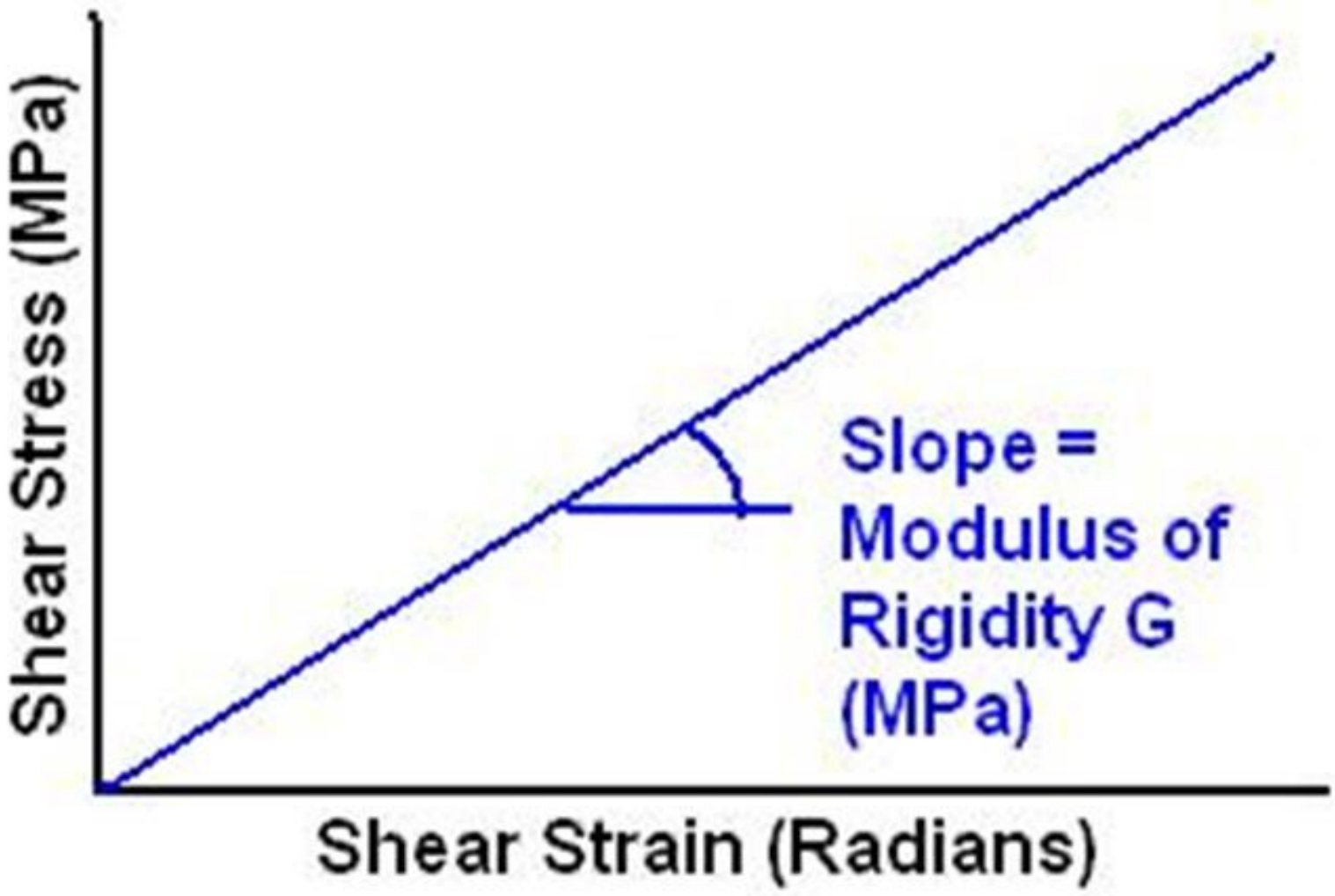
که G مدول برشی یا مدول سختی و

γ کرنش برشی نمونه است.

- در محاسبات مهندسی، مقدار کرنش برشی برابر

$\gamma = \Delta x / l = \tan\Theta$ در نظر گرفته می شود.

مدول برشی


Shear Stress (MPa)
Slope =
Modulus of
Rigidity G
(MPa)
Shear Strain (Radians)

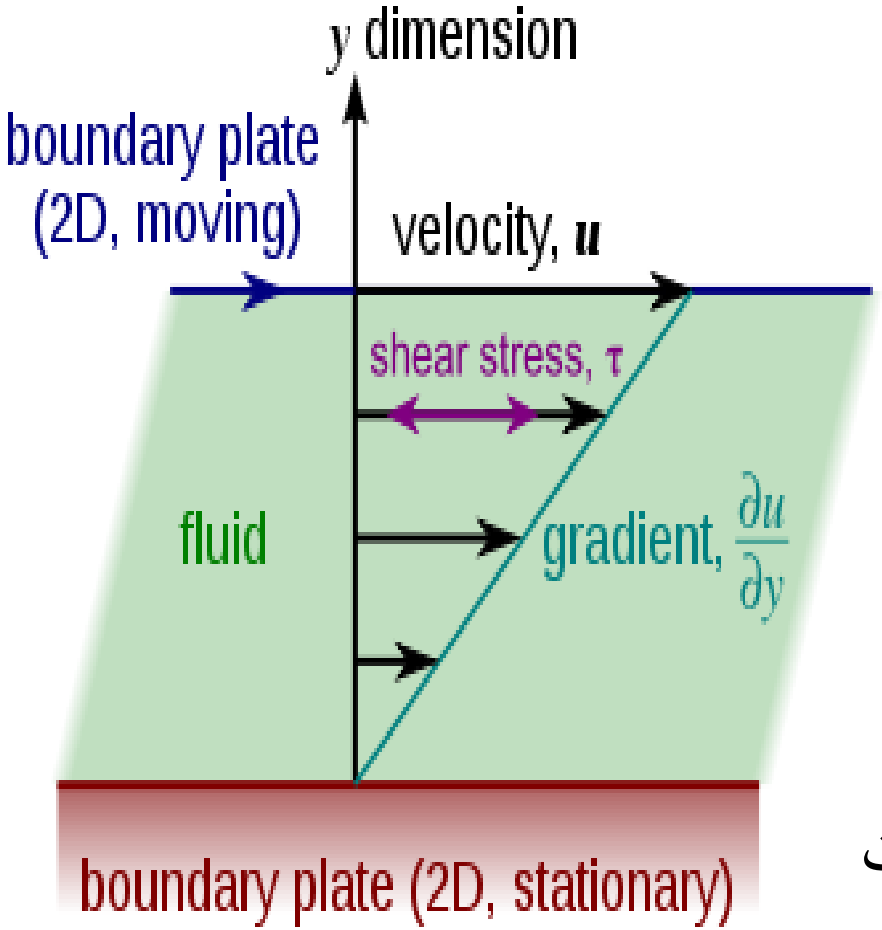
لزجت (ویسکوزیته)

- لزجت میزان مقاومت یک سیال که تحت اثر یک نیروی برشی یا کششی قرار گرفته در برابر تغییر شکل است.
- در تعابیر معمول لزجت سیالات در حقیقت «غلظت» یا «اصطکاک داخلی» یا «روانی» آنهاست.
- بنابراین آب سیالی رقیق است (لزجت پایین) و در مقابل عسل سیالی غلیظ (لزجت بالا) هستند.
- هرچه لزجت سیالی پایین تر باشد، راحت تر به حرکت می افتد (روان تر).

لزجت

- سیالات بر حسب لزجت آنها به دو دسته تقسیم می شوند:
- سیالات نیوتنی: سیالاتی که رابطه بین تنش و کرنش برشی در آنها خطی است و مبدا می گذرد. در اینحالت نسبت بین این دو که معادل لزجت سیال است (شبیه مدول برشی در جامدات)
- سیالات غیر نیوتنی: سیالاتی که رفتار آنها متفاوت با سیالات نیوتنی باشد. در اکثر موارد لزجت سیالات غیر نیوتنی وابسته به نرخ تنش یا تاریخچه اعمال تنش است.

سیال نیوتنی(Newtonian Fluid)



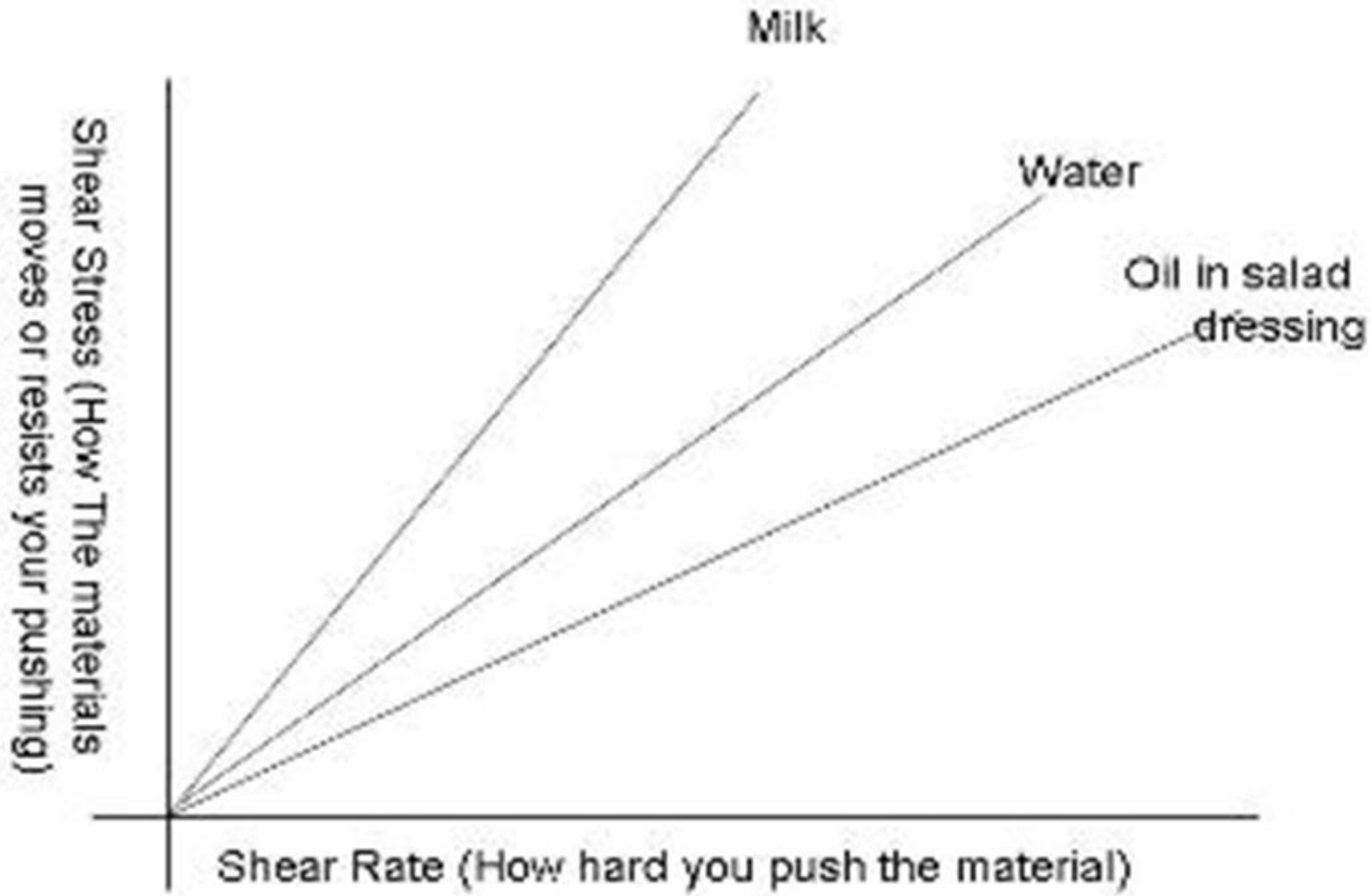
$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

τ تنش برشی

$\frac{du}{dy}$ سرعت برشی یا نرخ برش

μ ضریب لزجت دینامیکی (تنش برشی لازم برای ایجاد گرادیان سرعت واحد در سیال)

سیال نیوتنی

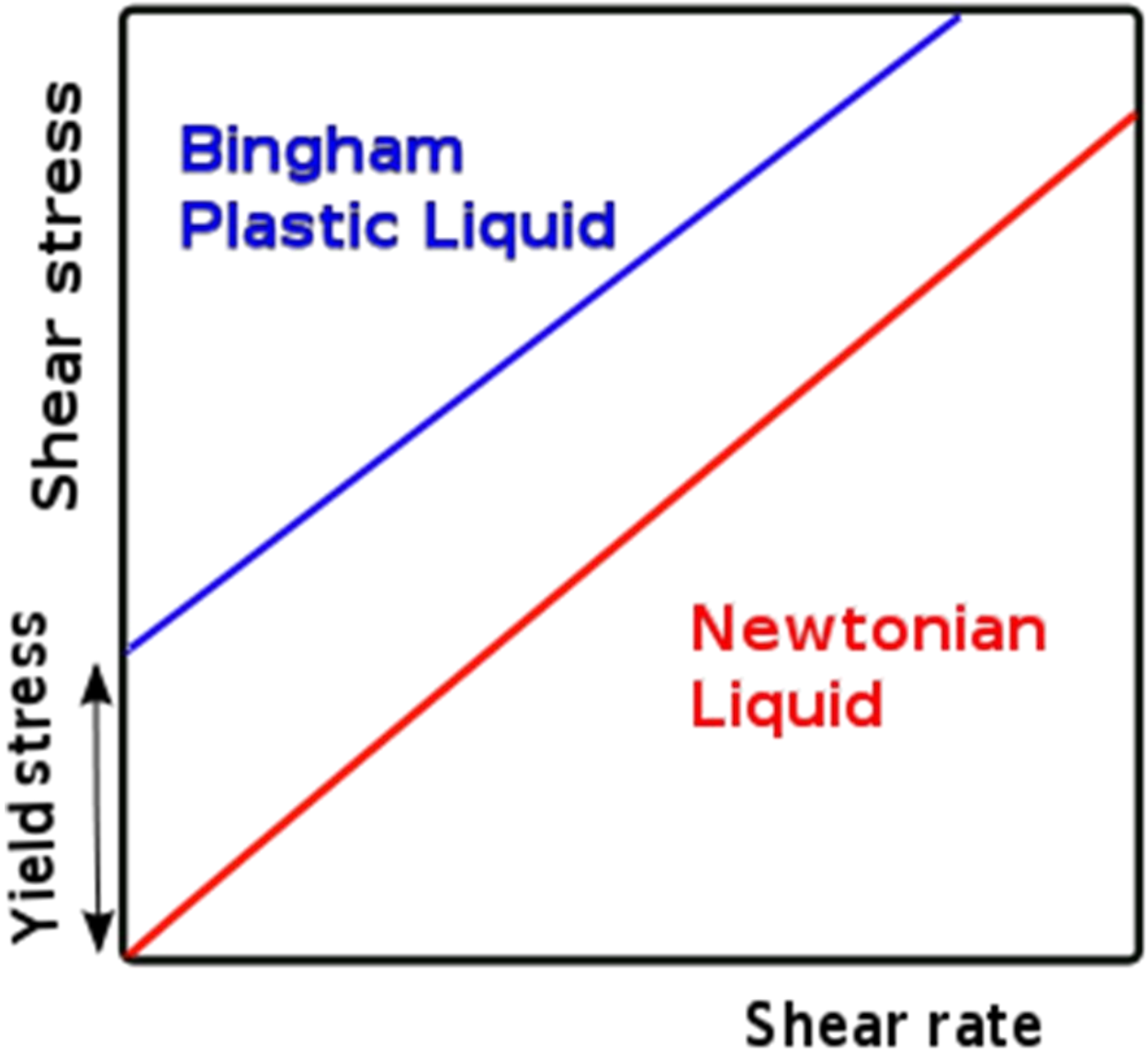

Milk
Water
Oil in salad dressing
Shear Stress (How The materials moves or resists your pushing)
Shear Rate (How hard you push the material)

سیال غیر نیوتنی (Non-Newtonian Fluid)

- رفتار سیالات غیر نیوتنی عمدتا بر اساس مدل پلاستیکی بینگهام بررسی می شود
- طبق این مدل، سیال غیر نیوتنی در یک محدوده تنشی اولیه مانند ماده جامد می کند، که حد بالای این محدوده «تنش بحرانی» یا «تنش تسلیم» نامیده می شود (τ_0)
- در مقادیر بالاتر از تنش تسلیم، سیال به گونه ای جریان می یابد که نرخ برش، $\frac{du}{dy}$ ، مستقیما متناسب است با مقدار تنش مازاد بر تنش بحرانی:

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dy}$$

سیال غیر نیوتنی



رفتار بتن

- این موضوع تقریبا پذیرفته شده است که مخلوطهای معلق جامد در مایع نسبتا غلیظ رفتاری شبیه سیالات غیر نیوتنی دارند.
- بنابراین روانی و جریان بتن با حداقل دو مشخصه تعیین می شود:
  - **تنش تسلیم**: بتن در برابر جاری شدن مقاومت اولیه نشان می دهد که غیر قابل صرفنظر کردن است.
  - **لزجت پلاستیک**: که تعیین کننده رفتار بتن بعد از روانی و جاری شدن است.

کارآیی بتن (Workability)

- کارآیی بتن معادل انرژی لازم برای کارکردن و شکل دادن به بتن است بدون آنکه جداشدگی ایجاد شود.
- کارآیی یک مشخصه اساسی و پایه بتن نیست.
- کارآیی بیان کننده دو مشخصه است:
  - **یکنواختی**(Consistency): مقایسه بین بتنها از بعد آسانی روانی
  - **چسبندگی** (Cohesiveness) : عدم تمایل بتن برای جداشدگی و آب انداختگی

اهمیت کارآیی بتن

- ازآنجاکه مقاومت بتن با افزایش تخلخل آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، بنابراین، ساخت بتنی با دانسیته بالا و متراکم، بسیار اهمیت دارد.
- برای دست‌یابی به این مهم، بتن باید کارآیی کافی جهت تراکم کامل داشته باشد تا امکان رسیدن به آن در شرایط معین و با صرف کار و انرژی متناسب، فراهم شود.
- حفره‌های خالی در بتن سخت‌شده در حقیقت حباب‌های هوای محبوس‌شده و یا فضاهایی هستند که دراثر خارج‌شدن آب اضافی، باقی می‌مانند.

اهمیت کارآیی بتن

- حجم فضاهای خالی نوع دوم، تنها به نسبت آب به سیمان مخلوط وابسته است، درحالی‌که، وجود حباب‌های هوا به دانه‌بندی ذرات ریز مخلوط بستگی دارد و حباب‌ها از مخلوط‌های تر زودتر از مخلوط‌های خشک خارج می‌شوند.
- بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای یک روش مشخص تراکم، میزان آب بهینه‌ای برای مخلوط وجود دارد که در آن حجم حباب‌ها و فضاهای ناشی از آب حداقل بوده و دانسیته حداکثر می‌گردد.

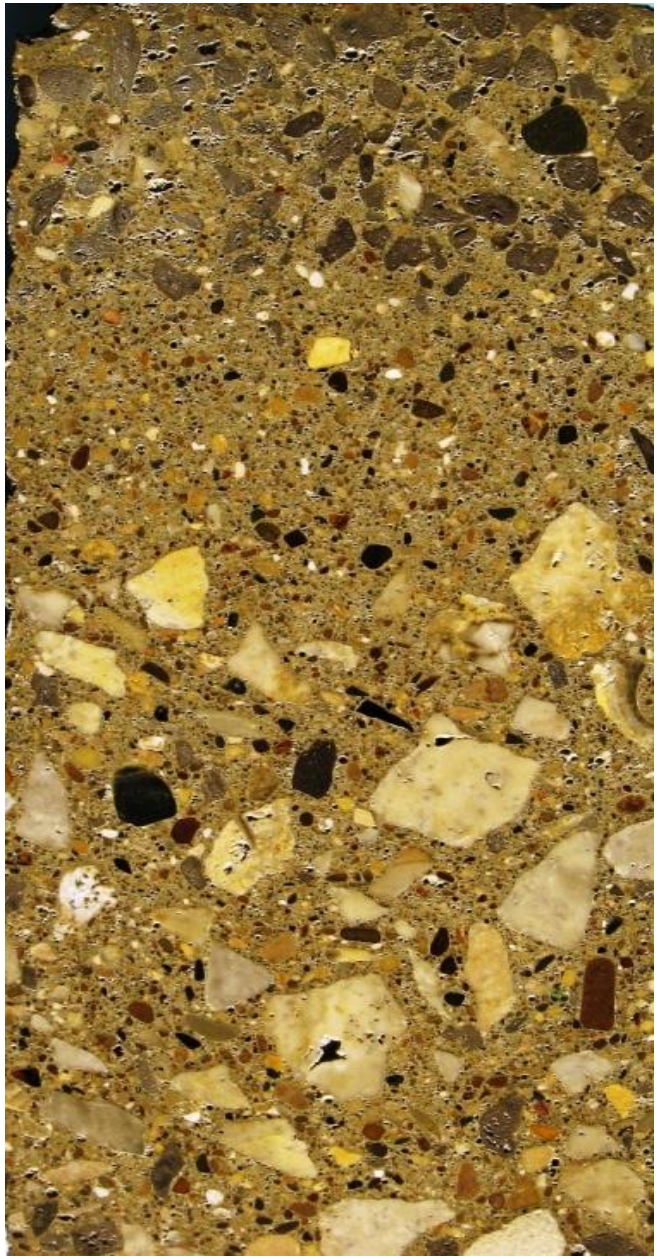
تراکم (Compaction)

- بعد ریختن بتن باید آن را تا رسیدن به یک ماده همگن و یکنواخت متراکم نمود.
- بدین منظور بتن را باید تا رسیدن به وزن مخصوص حداکثر عملی آن لرزاند تا از هر گونه حفر، هوای محبوس، و لایه های ماسه و شن مصون مانده و بتواند اطراف سطوح قالب‌ها و اجسام داخل بتن را کاملاً پر نماید.
- اگر ویبره و تراکم اضافی اعمال شود، ممکن است اثر معکوس داشته و کاهش دوام بتن با ماده هوازا را به سبب خروج حباب‌ها به دنبال داشته باشد.

جداشدگی (Segregation)

- جداشدگی عبارت است از برهم خوردن یکنواختی پخش ذرات که سبب جدا شدن اجزاء یک مخلوط ناهمگن می‌شود. درخصوص بتن، علت اولیه جداشدگی در مخلوط، اختلاف بین اندازه‌های دانه‌ها می‌باشد.
- دو نوع جدایی مشاهده شده است:
  - دانه‌های درشت‌تر به‌علت حرکت سریع‌تر در شیب‌ها نسبت به ریزدانه‌ها تمایل به جدایی از بقیه دانه‌ها دارند.
  - نوع دوم که معمولاً در مخلوط‌های آب‌دار اتفاق می‌افتد، جدا شدن دوغاب (سیمان و آب) از سایر اجزاء مخلوط می‌باشد که عموما در اثر تراکم بیش از حد است.

جداشدگی



جداشدگی

- علاوه بر دانه‌بندی، جداشدگی به روش‌های حمل و ریختن و جا دادن بتن بستگی دارد.
- اگر بتن به مسافت‌های طولانی حمل نشود و مستقیماً در محل نهایی خود ریخته شود، خطر جدایی دانه‌ها کم خواهد شد.
- اما از طرف دیگر، پرتاب بتن از یک فاصله قابل ملاحظه به داخل قالب و یا عبور آن از ناودانی‌های طولانی که گاه با تغییر جهت نیز همراه است و تخلیه بتن برعکس یک مانع موجود، همه عواملی هستند که به جدایی بیشتر کمک می‌کنند.

جداشدگی

- نباید بتن در قالب جریان یافته و یا آنرا در طول قالب حرکت داد.
- همچنین باید از پخش توده بلندی از بتن در قالب توسط ویبراتور به فاصله و مساحت زیاد، جداً خودداری کرد.
- انجام کار زیاد روی بتن به هنگام لرزاندن آن، خطر جدایی دانه‌ها دراثر استفاده ناصحیح از ویبراتور افزایش می‌یابد که دانه‌های درشت در کف قالب و دوغاب سیمان در بالای آن جمع می‌شود.
- چنین بتنی ضعیف بوده و پس از خشک شدن در شیرهٔ بتن بالای آن ترک‌های ریز ایجاد می‌شود و با سایش به‌آسانی به‌صورت گرد درمی‌آید.

آب انداختگی (Bleeding)

- آب انداختن بتن درحقیقت نوعی جدایی در بتن می‌باشد که در آن قسمتی از آب مخلوط به بالا و سطح بتن آمده و از دانه‌ها جدا می‌شود.
- درحقیقت علت آن تفاوت جرم حجمی دانه ها و آب و عدم توانایی ذرات جامد در نگهداشتن همهٔ آب مخلوط بتن است.
- آب انداختن بتن را از لحاظ کمی می‌توان به‌صورت کل نشست (تقلیل در ارتفاع) در واحد ارتفاع بتن بیان نمود.

آب انداختگی

- دراثر آب انداختن بتن، لایه بالای بتن بسیار پرآب شده و لایه سطحی کم‌مقاومتی درمقابل سایش ایجاد می‌شود.
- در حالت بتن ریزی لایه ای هم با ریختن لایه بعدی بتن و محبوس شدن آب اضافی، لایه‌ای بسیار ضعیف و متخلخل و کم‌دوام از بتن، بین هر دو لایه ایجاد می‌شود.
- علاوه بر جمع‌شدن آب در سطح بتن، مقداری از آب بالا آمده نیز در زیر سنگدانه‌های درشت و یا زیر آرماتور محبوس شده و ناحیه‌ای با چسبندگی بسیار ضعیف را ایجاد می‌کند.

آب انداختگی

- آب انداختن بتن لزوماً عملی زیانبار نیست؛ اگر آب بخار شود نسبت آب به سیمان مؤثر مخلوط پایین آمده و مقاومت افزایش می‌یابد.
- اما درصورتی‌که آب بالاآمده به‌همراه خود مقدار قابل توجهی ذرات ریز سیمان را به بالا و سطح بتن بیاورد، لایه‌ای از شیره بتن روی سطح تشکیل می‌شود. این لایه در بالای دال یک سطح کاملاً متخلخل و کم‌مقاومت درمقابل سایش پدید می‌آورد.
- همچنین در بالای هر قسمت بتن‌ریزی‌شده این سطح ضعیف تشکیل می‌شود که چسبندگی آن با لایه بالا بسیار کم خواهد بود.

آب انداختگی

- عوامل موثر در آب انداختگی:

- میزان آب مخلوط: هر چه میزان آب موجود در مخلوط بتن بیشتر باشد، احتمال آب انداختگی بیشتر خواهد شد.

- ریزی سیمان: آب انداختن بتن با ریزتر شدن سیمان کاهش می‌یابد و پاره‌ای از واکنش‌های سیمان نیز در آن اثر می‌گذارند.

- دما: دمای بالاتر سرعت آب انداختن را زیاد می‌کند، لیکن کل ظرفیت آب انداختن بتن بی‌تغییر باقی می‌ماند.

آب انداختگی

- عوامل موثر در آب انداختگی:
  - عیار مخلوط: مخلوط‌های پرعیار نسبت به مخلوط‌های کم‌عیار، خطر آب انداختن کمتری دارند.
  - مواد پوزولانی: اضافه کردن مواد پوزولانی و یا پودر آلومینیوم، خطر آب انداختگی را کاهش می‌دهد.
  - مواد هوازا: اضافه کردن مواد هوازا، خطر آب انداختن را کم می کند.

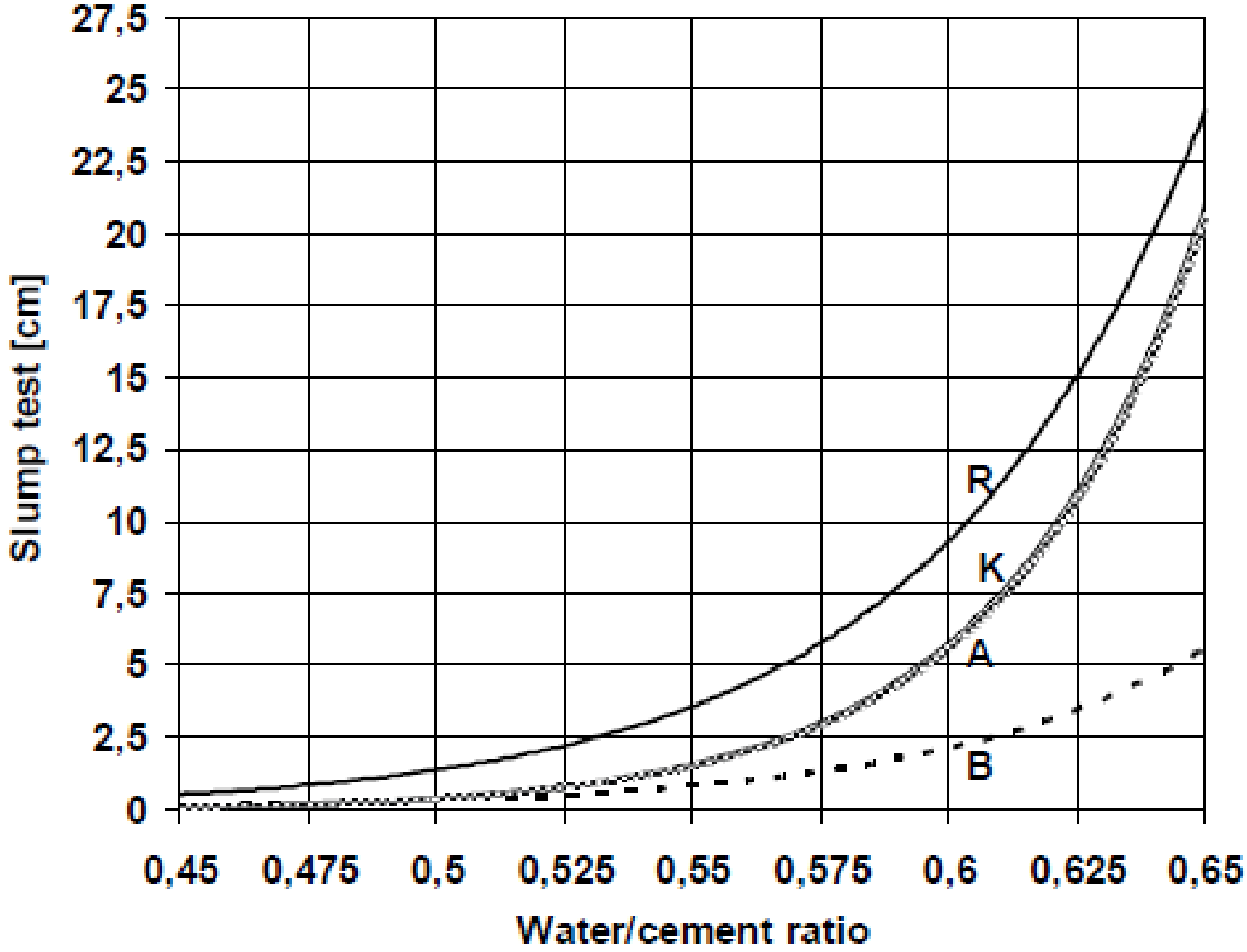
عوامل موثر بر کارآیی

- نسبت آب به سیمان و میزان آب اختلاط
- شکل و نوع سنگدانه ها
- نسبت سنگدانه به سیمان
- افزودنی ها
- دما
- زمان

آب

- با اضافه کردن آب، میزان کارآیی بتن افزایش پیدا می کند.
- آب باعث می شود که دانه‌ها و ذرات، همچون ساچمه در مخلوط کار می‌کنند و بین آنها اصطکاک کاهش می‌یابد.
- با توجه به اینکه نسبت آب به سیمان مهمترین عامل تاثیرگذار در مقاومت و سایر مسائل مربوط به دوام بتن است، لذا اضافه کردن بی رویه آب به منظور افزایش کارآیی اثر نامطلوبی بر کیفیت بتن می گذارد.

آب

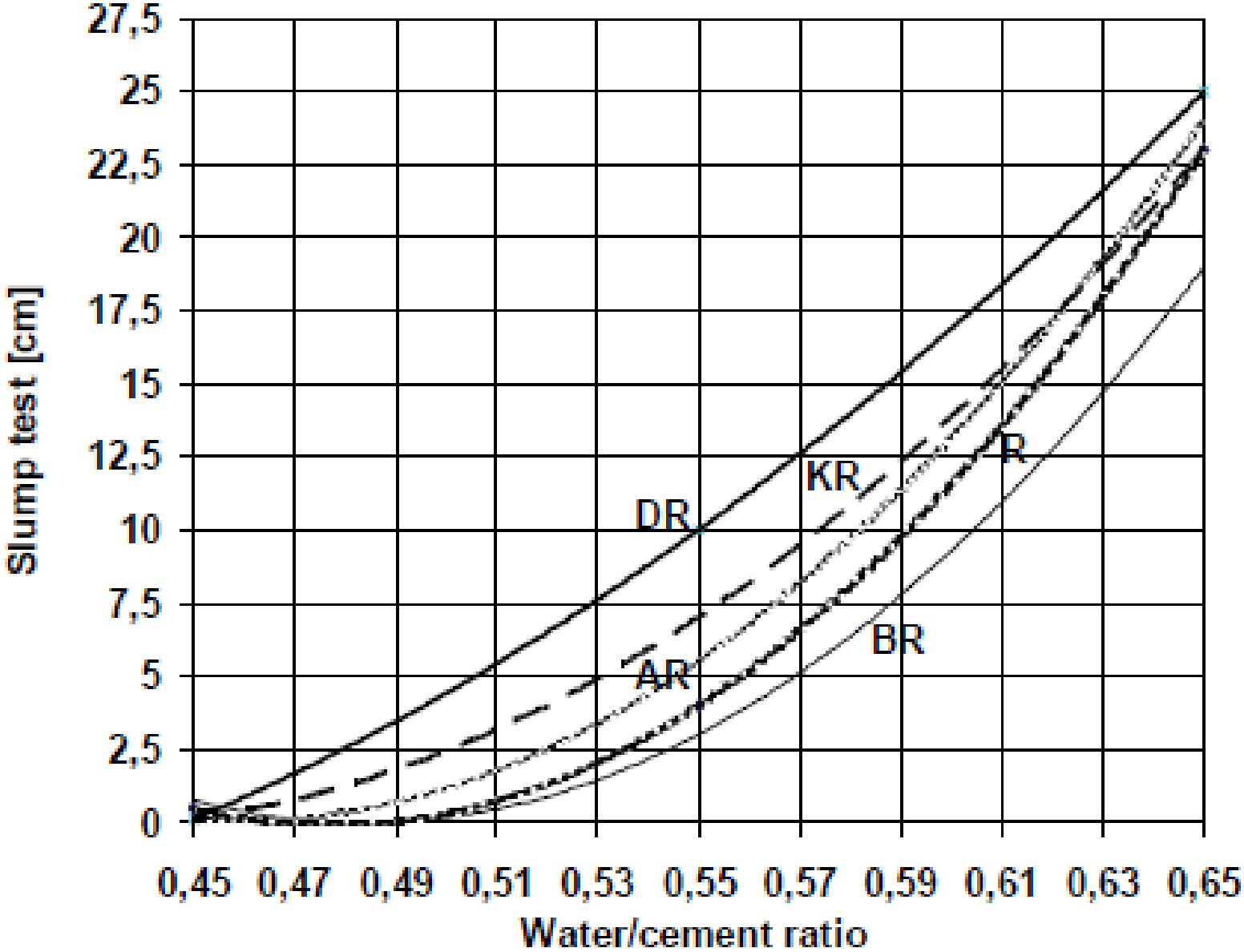


R: River
K: Limestone
A: Andesite
B: Basalt

شکل و نوع سنگدانه ها

- سنگدانه های ریز به آب بیشتری جهت تر نمودن سطح مخصوص بالای خود نیاز دارند.
- همچنین دانه‌های با شکل نامنظم و زاویه‌دار با بافت خشن، نسبت به دانه‌های نسبتاً گرد، به آب بیشتری نیاز دارند.
- تخلخل و جذب آب مصالح سنگی نیز در کارآیی اهمیت دارد و می‌تواند با جذب قسمتی از آب مخلوط، کارآیی را پایین آورد.

شکل و نوع سنگدانه ها



R: River
K: Limestone
A: Andesite
B: Basalt
D: Diabase

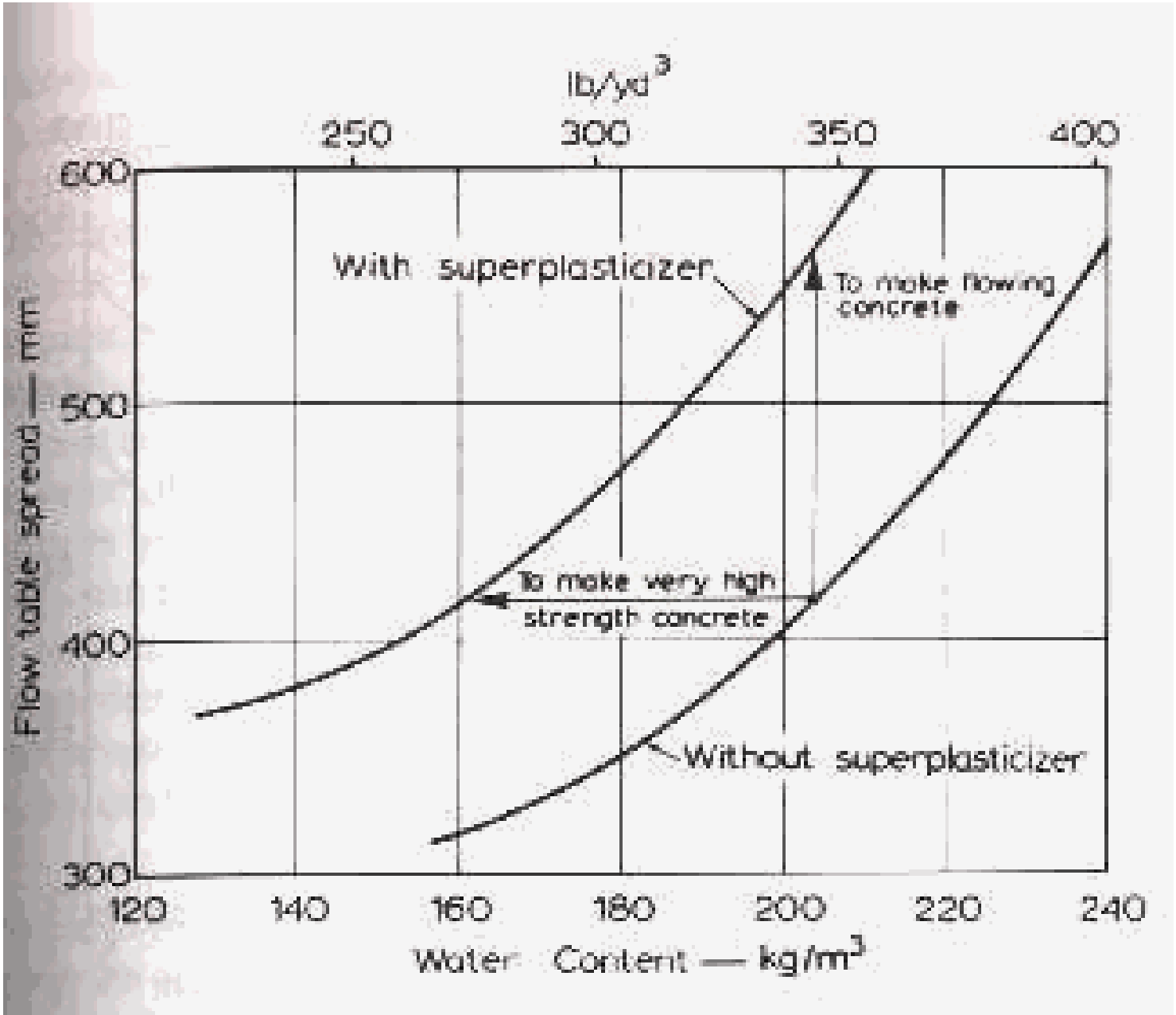
نسبت سنگدانه ها

- برای یک نسبت آب به سیمان ثابت، کارآیی با کاهش نسبت سنگدانه به سیمان افزایش می‌یابد و این به‌دلیل افزایش میزان آب نسبت به کل سطح ذرات جامد مخلوط می‌باشد.
- نسبت بالای حجمی سنگدانه‌های درشت به ریز، باعث جدایی دانه‌ها و کاهش کارآیی شده و مخلوط به‌دست‌آمده خشن، و پرداخت آن مشکل می‌باشد.
- برعکس، زیاد شدن مصالح ریزدانه در مخلوط، سبب افزایش کارآیی می‌شود

افزودنی ها

- با افزودن ماده کاهش‌دهندهٔ آب و ثابت نگهداشتن مقدار آب، می‌توان روانی را افزایش داد.
- مواد هوازا، میزان آب لازم برای رسیدن به کارآیی معینی را کاهش می‌دهند و درصورت ثابت بودن مقدار آب، با افزودن ماده حباب هوازا می‌توان روانی را افزایش داد.
- مخلوط‌های پوزولانی تمایل به بهبود چسبندگی بتن دارند و کاربرد نوع خاص خاکستر بادی با ذرات گردگوشه، سبب افزایش کارآیی مخلوط‌های بتنی شده است.

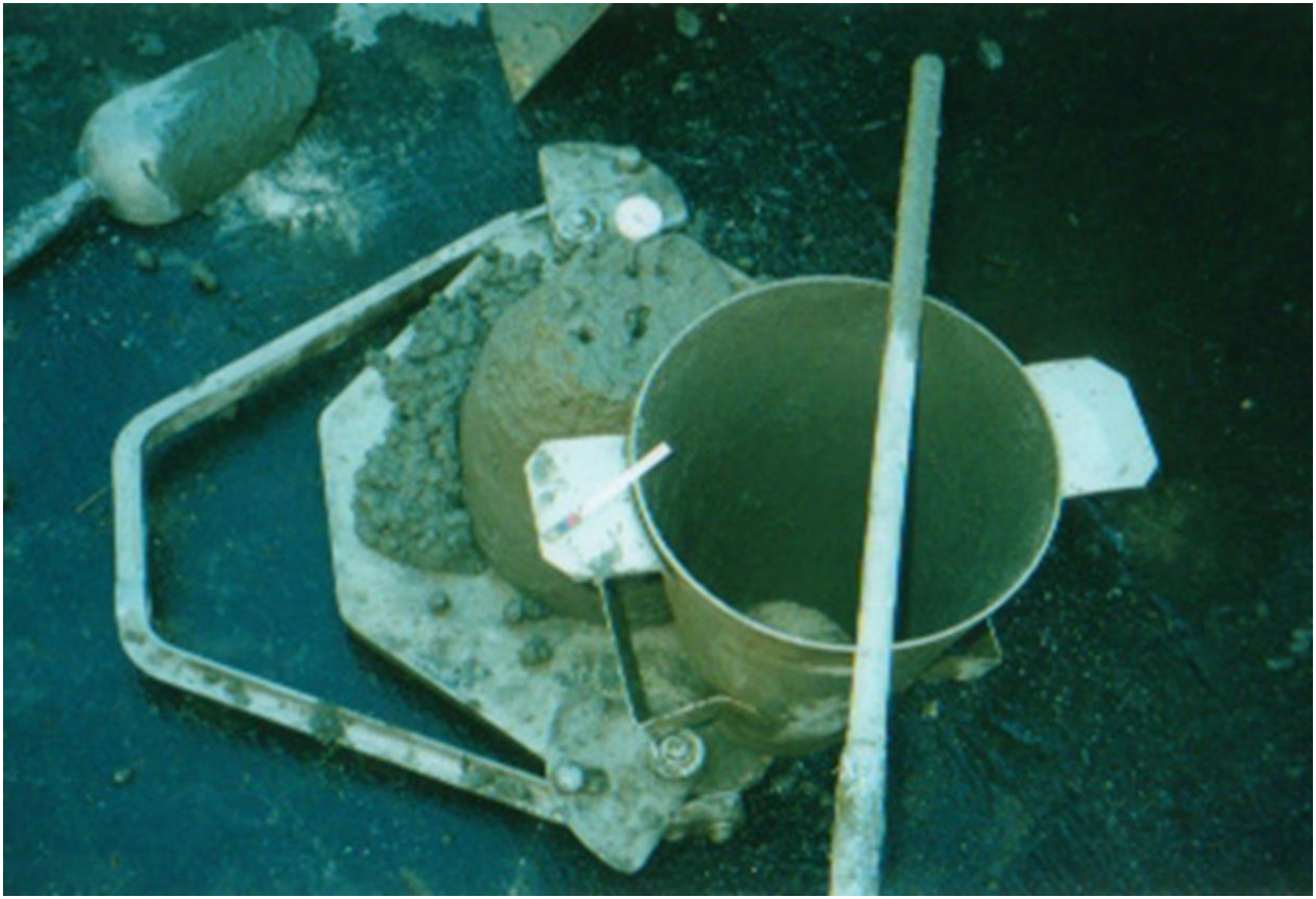
افزودنی ها


lb/yd³
250
300
350
400
600
500
400
300
Flow table spread — mm
With superplasticizer
To make flowing concrete
To make very high strength concrete
Without superplasticizer
120
140
160
180
200
220
240
Water Content — kg/m³

زمان و دما

- بتن تازه با زمان سخت و سفت می‌شود، لیکن این امر باید از گیرش سیمان متمایز گردد.
- مقداری از آب مخلوط توسط دانه‌ها جذب می‌شود، مقداری دیگر بخار می‌شود (به‌خصوص اگر بتن در معرض باد و اشعه خورشید قرار گیرد) و مقداری نیز دراثر فعل و انفعالات شیمیایی اولیه خارج می‌گردد.
- سفت شدن بتن درحقیقت با کم شدن کارآیی در طی زمان، اندازه‌گیری و ارزیابی می‌شود.
- افزایش درجه حرارت با کاهش کارآیی و اسلامپ همراه است.

آزمایش اسلامپ (Slump Test)



آزمایش اسلامپ

- مخروط ناقص فلزی به ارتفاع ۳۰۰میلیمتر و قطر قاعده ۲۰۰میلیمتر و قطر قاعده کوچکتر در بالا با اندازهٔ ۱۰۰میلیمتر در سه لایه از بتن پرشده و هر لایه توسط میله فلزی به قطر ۱۶میلیمتر با انتهای گردشده با ۲۵ ضربه متراکم می‌گردد.
- بتن اضافی در بالا با غلتیدن میله فوق روی مخروط، پاک می‌شود.
- بلافاصله بعد از پرکردن، مخروط به‌آرامی در ظرف مدت ۲±۵ ثانیه و به‌صورت قائم، بالا کشیده می‌شود و بتن داخل آن افت می‌کند.
- افت بتن و ارتفاع کم‌شده با خط‌کش از وسط قاعدهٔ بالا اندازه‌گیری و با دقت ۵میلیمتر یادداشت می‌شود.

آزمایش اسلامپ

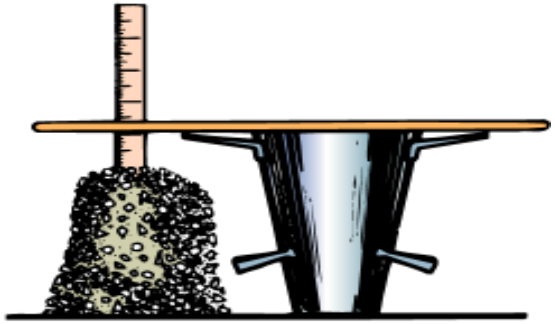
1. Stand on the two foot pieces of cone to hold in firmly in the place during Steps 1 though 4. Fill cone mold 1/3 full by volume [2-5/8" (67 mm) high] with the concrete sample and rod it with 25 strokes using a round, straight steel rod of 5/8" (16 mm) diameter x 24" (600 mm) long with a hemispherical tip end. Uniformly distribute strokes over the cross section of each layer. For the botton layer. this will necessitate inclining the rod slightly and making approximately half the strokes near the perimeter (out edge), then progressing with vertical strokes spirally toward the center.

2. Fill cone 2/3 full by volume (half the height) and again rod 25 times with rod just penetrating into, but not througth, the first layer. Distribute strokes evenly as described in Step 1.

3 Fill cone to overflowing and again rod 25 times with rod just penetrating into, but not through, the second layer. Again distribute strokes evenly.

4 Strikes off excess concrete form top of cone with the steel rod so the cone is exactly level full. Clean the overflow away from the base of the cone mold.

5 Immediately after completion of Step 4, the operation of raising the mold shall be performed in 5±2 sec. by a steady upward lift with no lateral or torsional motion being imparted to the concrete. The entire operation from the start of the filling through removal of the mold shall be carried out without interruption and shall be completed within an elasped time of 2-1/2 minutes



6 Place the steel rod horizontally across the inverted mold so the rod extends over the slumped concrete. Immediately measure the distance from botton of the steel rod to the displaced original center of the specimen. This distance, to the nearest 1/4 inch (6 mm), is the slump of the concrete. If a decided falling away or shearing off concrete from one side or portion of the mass occurs, disregard the test and make a new test on another portion of the sample.

آزمایش اسلامپ

- دانه‌های سنگی متفاوت می‌توانند اسلامپ یکسانی برای کارآیی‌های مختلف نشان دهند که این مبین آن است که درواقع ارتباط کاملاً روشنی بین میزان کارآیی و اسلامپ وجود ندارد.
- آزمایش اسلامپ، به‌آسانی تغییرات مصالحی را که ممکن است ساعت به ساعت یا روزبه‌روز در کارگاه اتفاق بیفتد، نشان می‌دهد (پیوستگی).
- به‌عنوان مثال، افزایش اسلامپ ممکن است ناشی از افزایش غیرمنتظره رطوبت سنگدانه‌ها در کارگاه باشد و یا به علت تغییر در منحنی دانه‌بندی مصالح، به‌خصوص ماسه، ایجاد شود.

افت اسلامپ

- افت اسلامپ افت روانی بتن تازه با گذشت زمان درنتیجهٔ سفت شدن تدریجی و گیرش خمیر سیمان پرتلند هیدراته شده است.
- تحت شرایط معمول، حجم محصولات هیدراتاسیون، در مدت نیم‌ساعت اول پس از افزودن آب به سیمان، کوچک است و افت اسلامپ قابل صرف‌نظر کردن است.
- برای غلبه کردن بر مشکلات ناشی از افت اسلامپ، می توان از شروع کردن کار با بتن مخلوط شدهٔ آماده‌ای که اسلامپ اولیهٔ آن بیشتر است یا اضافه کردن مقداری از آب درست قبل از جای دادن بتن و مخلوط کردن مجدد بتن به‌طور مطلوب استفاده کرد.

افت اسلامپ

- دلایل اصلی بروز مشکلات ناشی از افت اسلامپ در بتن عبارتند از:
  - استفاده از سیمان با گیرش غیرمعمول؛
  - صرف مدت طولانی، به‌میزان غیرمعمول، برای مخلوط کردن، انتقال، جای دادن، متراکم کردن، یا عملیات ساخت؛
  - دمای زیاد بتن، ناشی از حرارت زیاد هیدراتاسیون، و یا استفاده از مصالحی برای ساخت بتن که در دمای زیاد محیط انبار شده‌اند.
- در ساخت با اضافه کردن آب زیادی به بتن عملا موجب افزایش نسبت آب به سیمان شده که دوام کم و خرابی بسیاری از بتن‌ها دلالت بر بی‌مبالاتی در افزودن آب اضافه که در محاسبات طرح اختلاط منظور نشده، می‌باشد.

آزمایش ضریب تراکم (Compacting Factor)

- آزمایش ضریب تراکم، روشی است که به‌طور معکوس با اعمال کار مشخصی درجه تراکم مخلوط را اندازه گرفته و از این جهت آزمایش مناسبی است.
- در این آزمایش، کار اعمال‌شده شامل کار غلبه کننده بر اصطکاک سطح است.
- درجه تراکم که در اینجا فاکتور یا ضریب تراکم نام گرفته، از تعیین نسبت بین وزن مخصوص به‌دست‌آمده در آزمایش به وزن مخصوص همان بتن با تراکم کامل، نتیجه می‌شود.

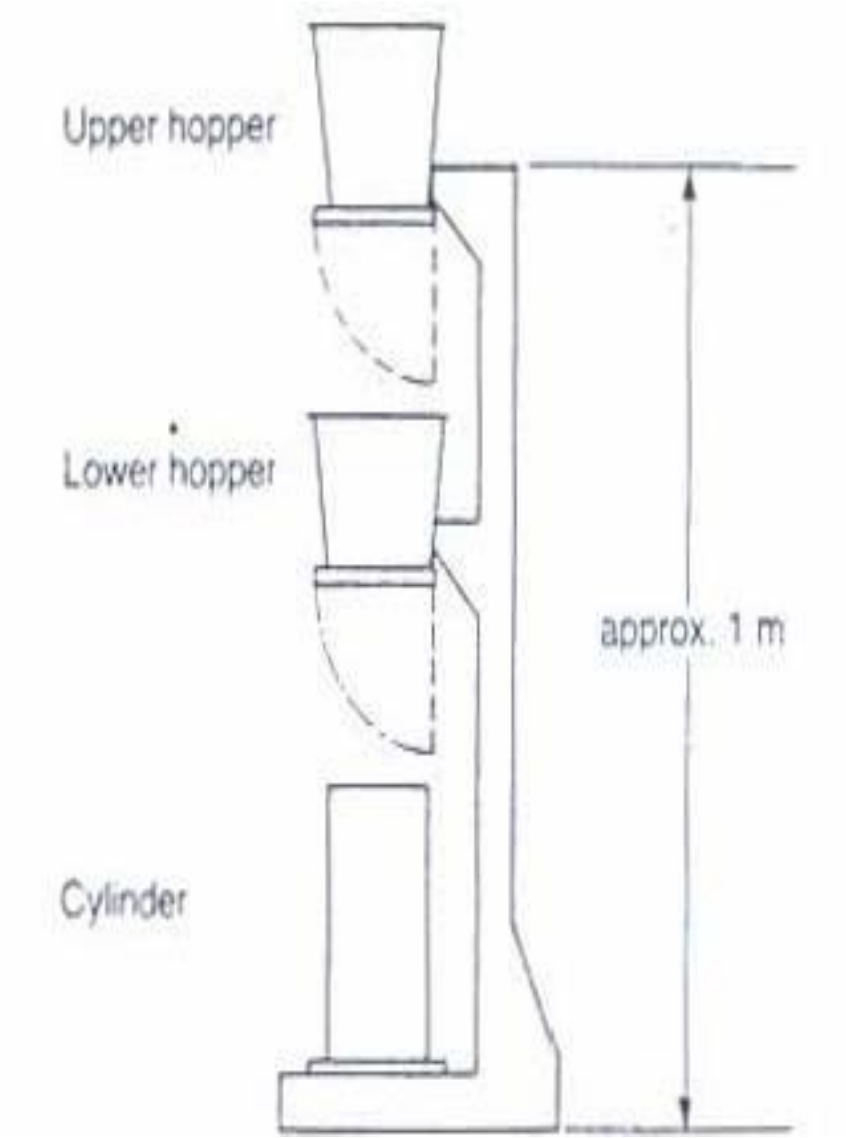
آزمایش ضریب تراکم

- دستگاه آزمایش شامل دو مخروط ناقص و یک استوانه می‌باشد که بالای یکدیگر قرار می‌گیرند.
- ابتدا مخروط بالایی به‌آرامی از بتن پر می‌شود و درحقیقت کاری برای تراکم صورت نمی‌پذیرد.
- سپس دریچه انتهای مخروط باز می‌شود تا بتن در مخروط دوم که کمی کوچک‌تر از مخروط اولی است، بریزد.
- بتن اضافی از سر مخروط فوق بیرون می‌ریزد و همواره یک مقدار بتن مطابق استاندارد در آن باقی می‌ماند.
- سپس دریچه پایین مخروط دوم باز و بتن به داخل استوانه می‌ریزد.

آزمایش ضریب تراکم

- بتن اضافی سر استوانه توسط دو ماله جمع و سطحی صاف به‌دست می‌آید و آنگاه وزن بتن داخل استوانه اندازه‌گیری می‌شود.
- با داشتن حجم استوانه، وزن مخصوص بتن محاسبه شده و ضریب تراکم از تقسیم این وزن مخصوص به وزن مخصوص بتن در حالت تراکم کامل، به‌دست می‌آید.
- وزن مخصوص در حالت تراکم کامل، با پر کردن استوانه فوق از بتن در ۴لایه و کوبیدن یا لرزاندن هر لایه، محاسبه می‌شود. همچنین می‌توان با به‌دست آوردن حجم مطلق مواد تشکیل‌دهنده مخلوط، وزن مخصوص در حالت تراکم کامل را محاسبه نمود.

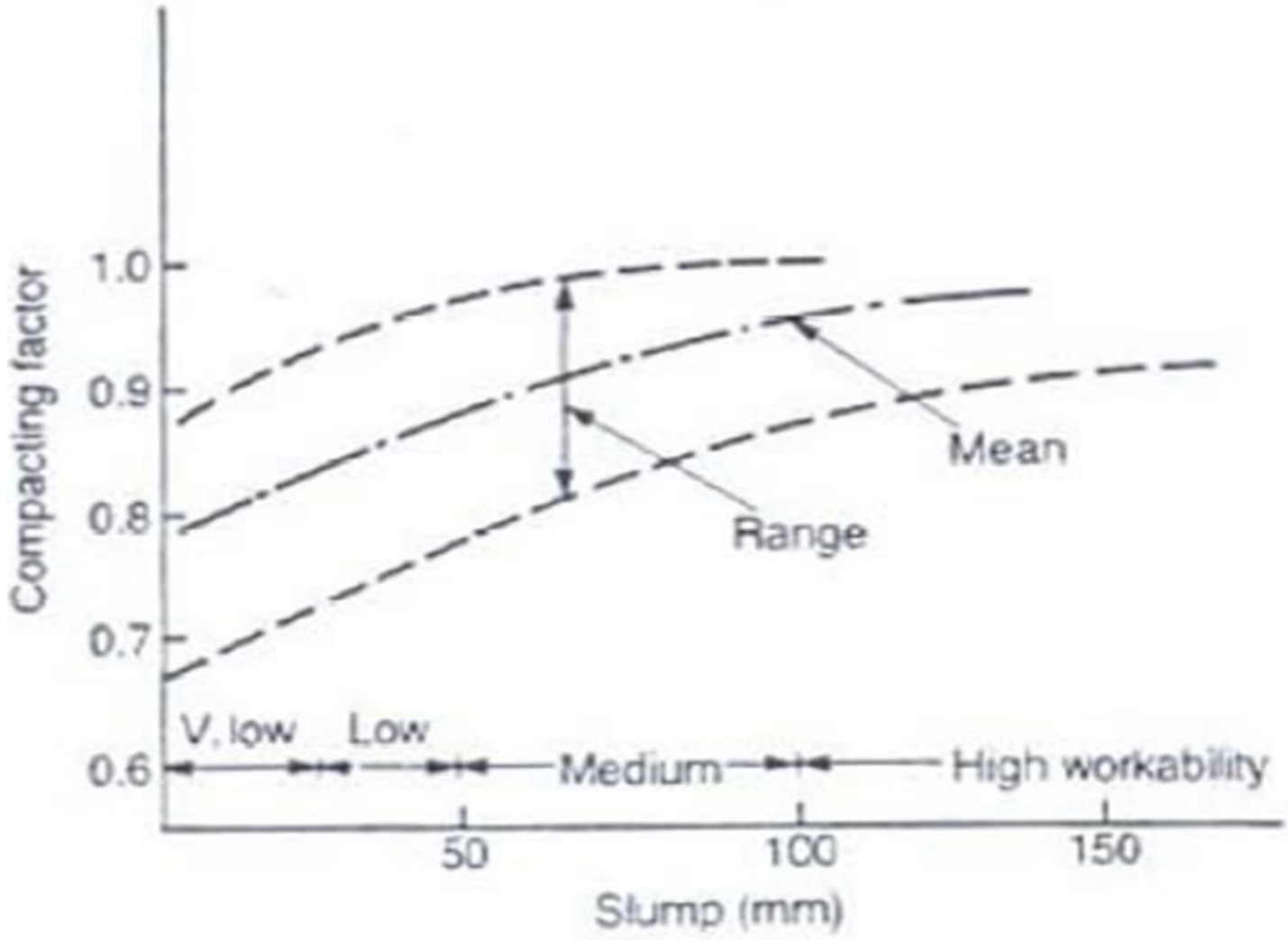
آزمایش ضریب تراکم



رابطه بین اسلامپ و ضریب تراکم

درجه کارآیی	اسلامپ میلیمتر	ضریب تراکم	استفاده در بتن‌های مختلف
خیلی پایین	۰-۲۵	۰/۷۸	برای راه‌هایی که با ماشین‌های قوی متراکم می‌شوند. مخلوط‌های با کارآیی بالای این حد، بتن در شرایط خاصی می‌تواند با ماشین‌های دستی متراکم و لرزیده شود.
پایین	۲۵-۵۰	۰/۸۵	برای راه‌هایی که با وسایل دستی متراکم می‌شوند. در محدودهٔ بالای کارآیی این گروه می‌توان دانه‌های گرد یا نامنظم بکار برد. برای پی‌های با بتن انبوه بدون لرزه و برای مقاطع با فولاد کم که لرزانده می‌شوند.
متوسط	۵۰-۱۰۰	۰/۹۲	درحد پایین کارآیی این گروه برای دال‌های تخت با تراکم دستی با استفاده از سنگ شکسته. همچنین برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و برای مقاطع با فولاد زیاد که لرزانده می‌شوند.
بالا	۱۰۰-۱۷۵	۰/۹۷	برای قطعات با انبوه زیاد آرماتور. معمولاً برای لرزاندن مناسب نیست.

رابطه بین اسلامپ و ضریب تراکم



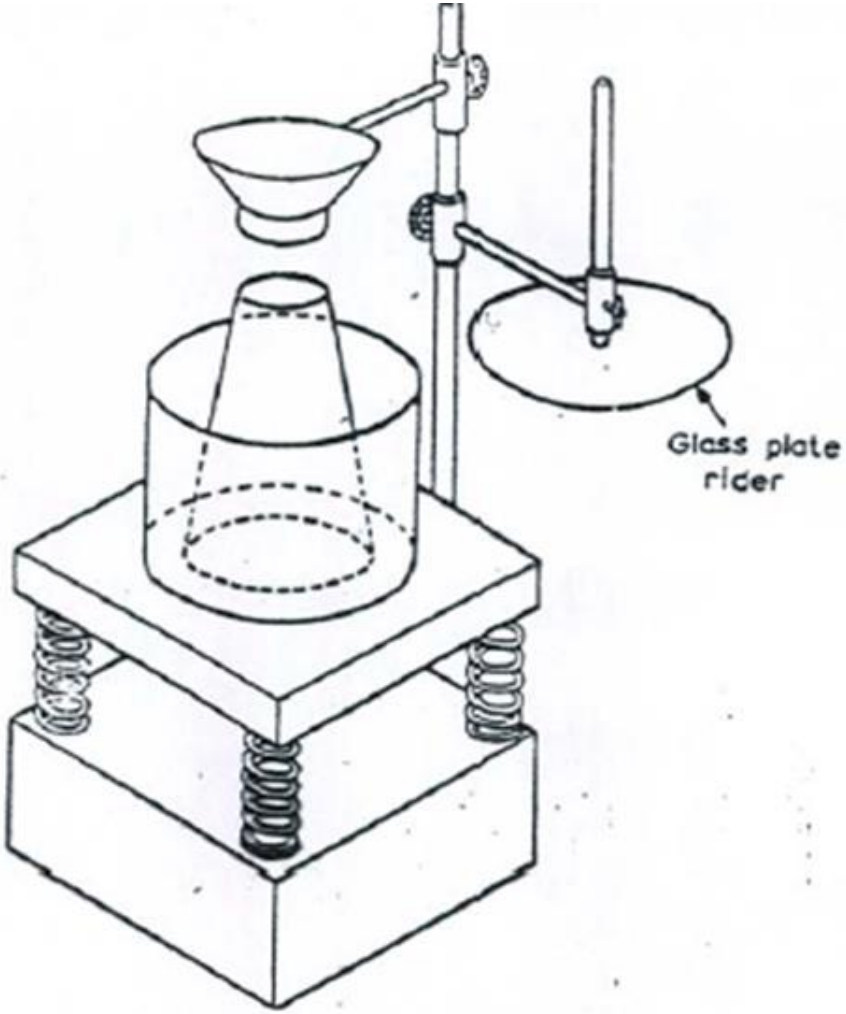
آزمایش ویبی(Vebe Test)

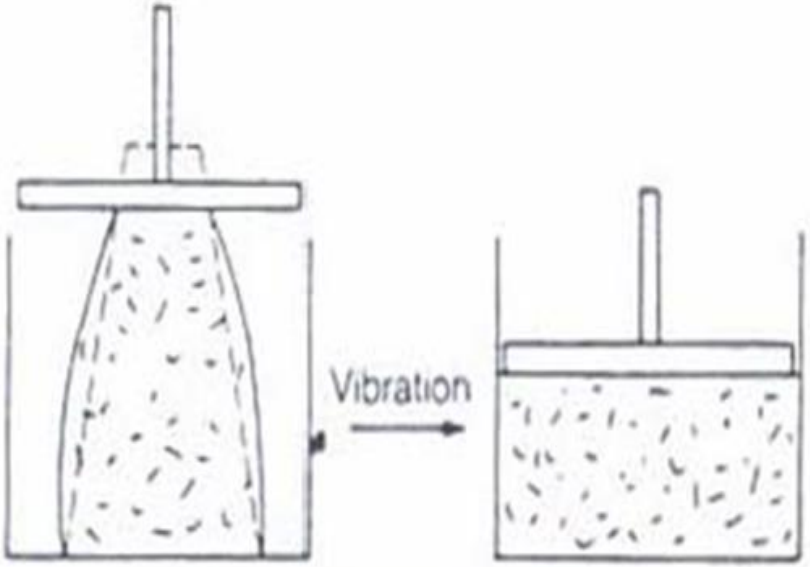
- در این آزمایش مخروط استاندارد اسلامپ، روی استوانه‌ای به قطر ۲۴۰میلیمتر و ارتفاع ۲۰۰میلیمتر قرار می‌گیرد.
- مخروط اسلامپ به‌روش قبل از بتن پر شده و بعد از تراکم، اسلامپ اندازه‌گیری می‌شود.
- سپس صفحه شفافی به وزن تقریبی ۲/۷۵کیلوگرم روی بتن قرار داده می‌شود و آنگاه توسط میز لرزاننده که به سیستم متصل است، لرزشی با فرکانس ۵۰ هرتز ایجاد می‌شود.
- دراین‌حال، استوانه و صفحه زیر آن تا حدود ۳۵/۰ ±میلیمتر در جهت قائم حرکت می‌کنند.

آزمایش ویبی

- تراکم کامل زمانی است که صفحه شفاف کاملاً توسط بتن پوشیده می‌شود و تمامی فضاهای خالی سطح بتن محو می‌گردد.
- در این آزمایش چنین فرض می‌شود که انرژی لازم برای تراکم کامل درحقیقت با اندازه‌گیری کارآیی مربوط بوده و می‌تواند با اندازه‌گیری زمان لازم برای این عمل، بیان شود.
- در پاره‌ای موارد تغییرات حجم بتن از V_2 قبل از لرزیدن به V_1 بعد از آن، به‌صورت نسبت V_2/V_1 که در زمان اندازه‌گیری ضرب می‌شود، درنظر گرفته شده و زمان اصلاح می‌شود.

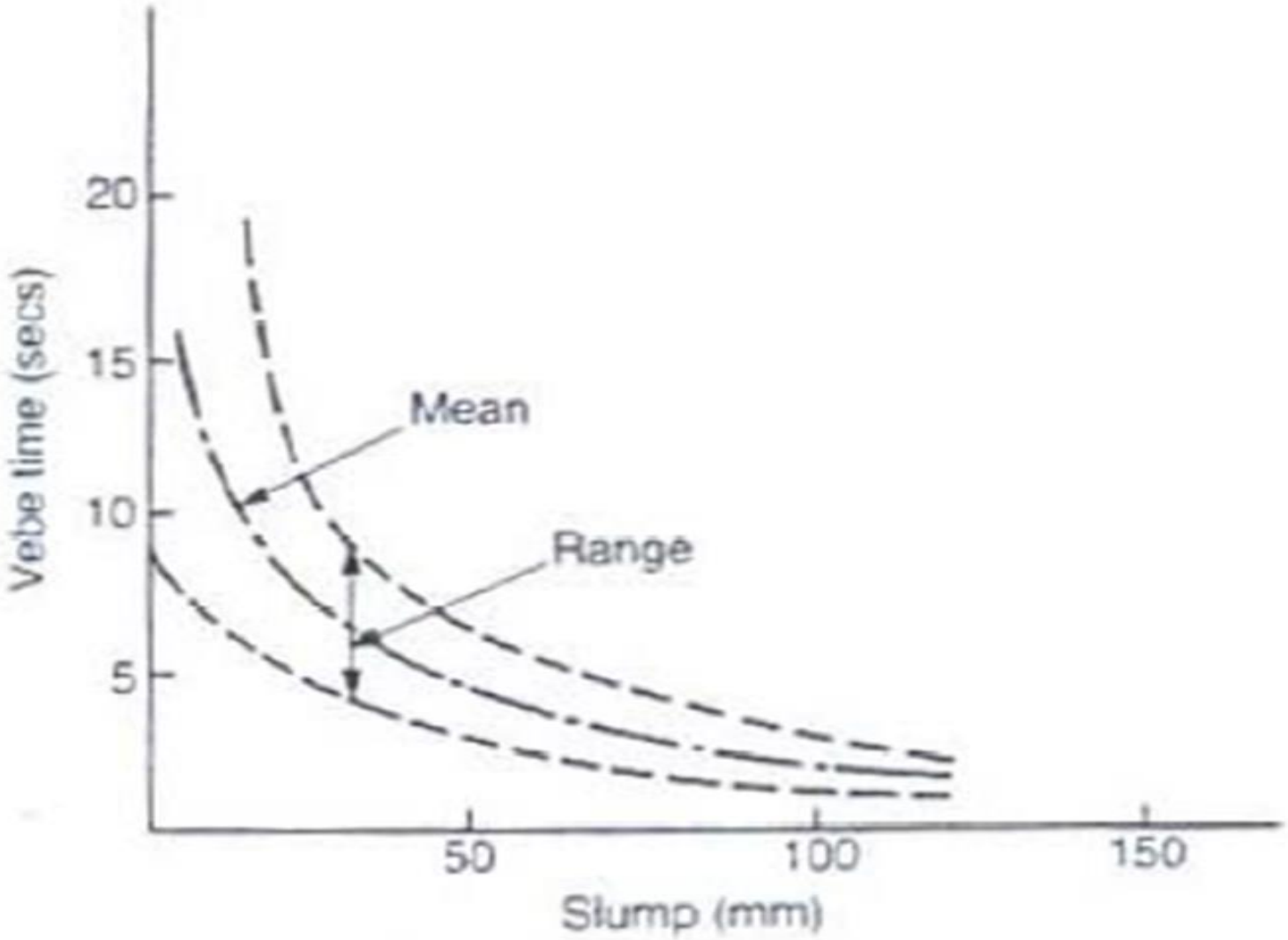
آزمایش ویبی





Time (secs) = Vebe degrees

رابطه بین اسلامپ و ویبی



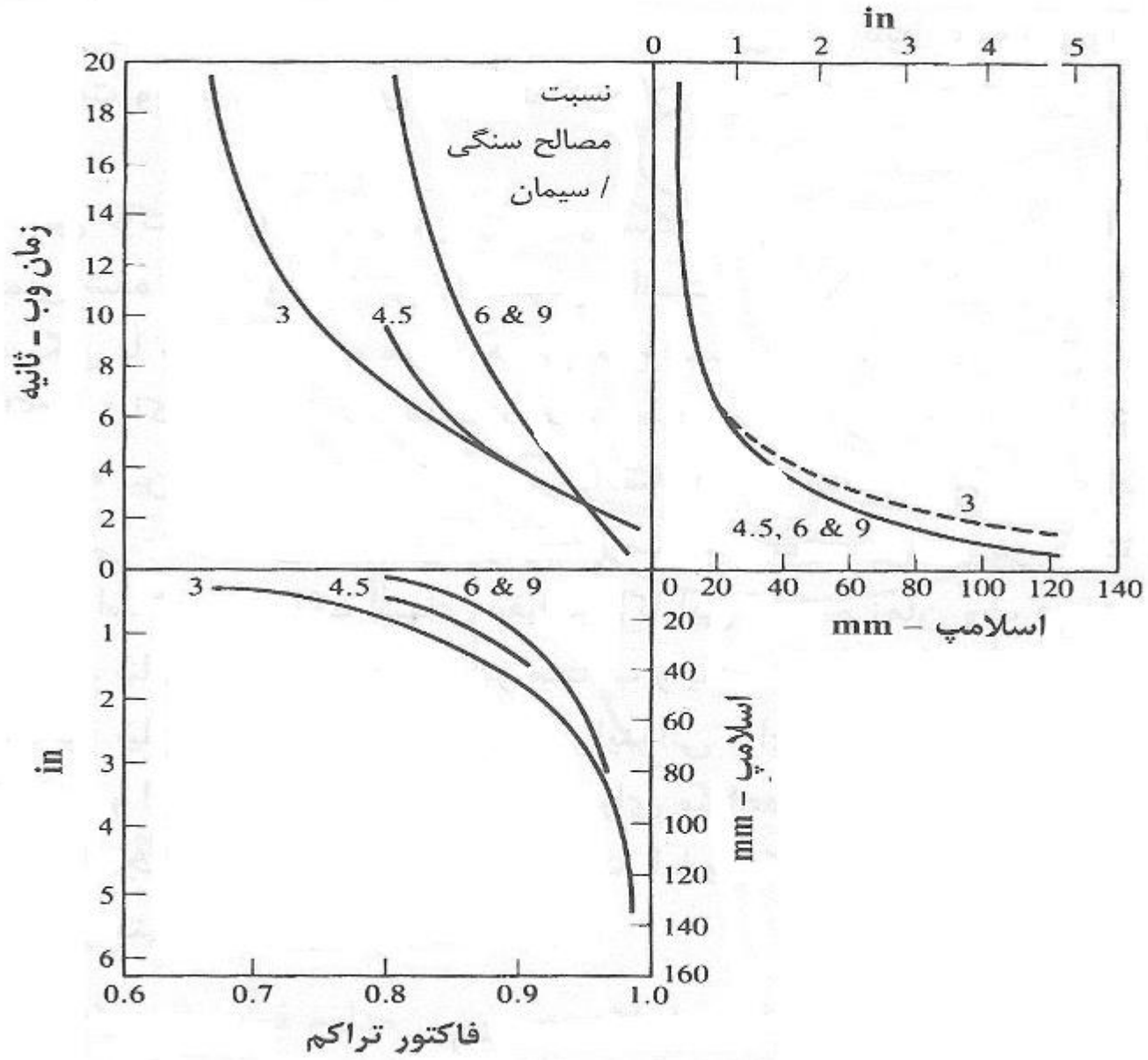
آزمایشهای کارآیی

- نمی‌توان ارتباط منحصر و یکتایی بین نتایج آزمایش‌های مختلف کارآیی پیدا نمود و این به‌دلیل اندازه‌گیری رفتار بتن تحت شرایط متفاوت در این آزمایش‌ها است.
- ضریب تراکم آزمایشی است که به‌طور معکوس با کارآیی ارتباط دارد و حال آنکه آزمایش ویبی، تابع مستقیمی از کارآیی است.
- آزمایش وی‌بی، خواص بتن تازه تحت لرزش را اندازه می‌گیرد، لیکن ضریب تراکم در مقایسه با آن در شرایط ریزش آزاد و بدون لرزش می‌باشد.

آزمایشهای کارآیی

- بین نتایج آزمایشهای کارآیی ارائه شده تا بحال روابطی وجود دارد، اما این روابط حالت کلی دارند چون هر آزمایشی پارامتر متفاوتی را محاسبه می کند.
- نتایج بدست آمده از این آزمایشها تحت تاثیر نسبت سنگدانه به سیمان و درصد هوا است.
- نکته بسیار مهم اینجاست که هر کدام از این آزمایشات فقط یک مولفه از خصوصیات بتن تازه را اندازه گیری می کنند.

آزمایشهای کارآیی



آزمایشهای کارآیی

- برای ارزیابی خواص بتن در حالت تازه، نیاز به تعیین پارامترهای بیشتری وجود دارد.
- به طور مشخص، بدست آوردن ضریب لزجت و تنش تسلیم به منظور تعیین خواص بتن تازه لازم است.
- روشهای آزمایشگاهی برای تخمین این دو مشخصه پیشنهاد شده اند که **آزمایش دونقطه ای** از پرکاربردترین آنهاست.

آزمایش دو نقطه ای (Two-Point Test)

- جزو اولین آزمایشهای پیشنهادی برای ارزیابی رئولوژی بتن تازه بر اساس مدل بینگهام است.
- اولین بار توسط محققی به نام تاترسال Tattersall در دانشگاه شفیلد انگلستان انجام شد.
- او تصمیم گرفت میزان گشتاور لازم برای گرداندن یک جسم میله ای در بتن را اندازه گیری کند.

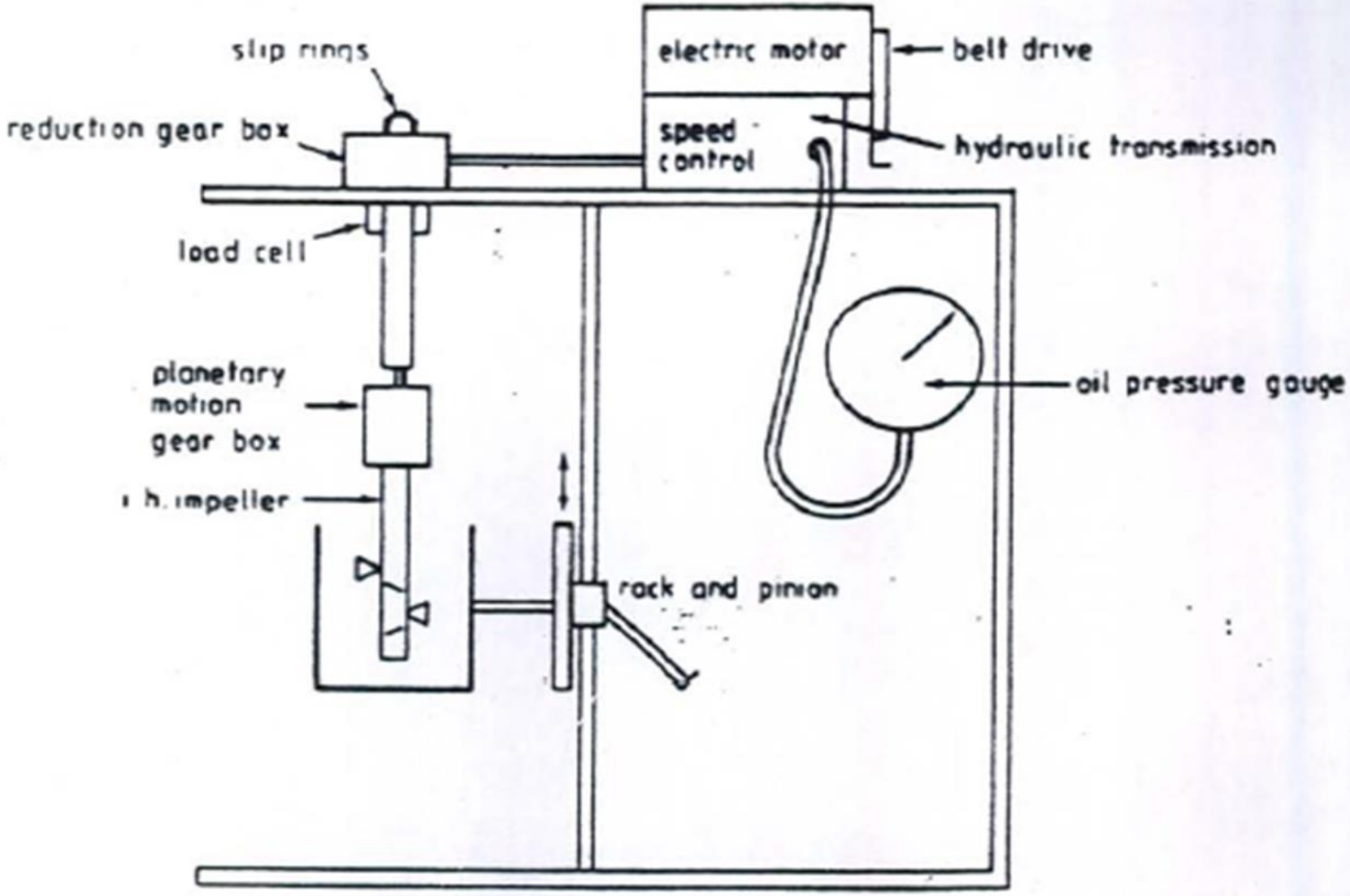
آزمایش دو نقطه ای

- دستگاهی طراحی شده است که شامل یک محفظه برای بتن است که در داخل یک قاب تثبیت شده است.
- یک میله با چند دنده در انتهای آن در اثر اعمال نیرو توسط یک موتور هیدرولیکی در داخل بتن تازه می گردد.
- گشتاور لازم برای گرداندن میله از روی فشار روغن موجود در موتور هیدرولیکی و قرائت عدد نشان داده شده در پمپ فشار بدست می آید.

آزمایش دو نقطه ای

- با وارد کردن گشتاورهای مختلف و اندازه‌گیری سرعت گردش میله، رفتار حرکتی بتن بررسی می‌گردد.
- این آزمایش در مقایسه با آزمایش‌های قبلی که فقط وضعیت بتن را در یک نقطه ازنظر کرنش مشخص می‌کند، قادر به ارائه رفتار تحت تنش و کرنش‌های مختلف و تغییرات کرنش می‌باشد و به‌همین‌جهت، به آزمایش دونقطه‌ای مشهور شده است.

آزمایش دو نقطه ای



آزمایش دو نقطه ای

آزمایش دو نقطه ای

- با بدست آوردن سرعت های دورانی مختلف به ازاء گشتاورهای مختلف، می توان از رابطه زیر برای ارزیابی خواص بتن استفاده کرد:

$$T = g + hN$$

که در آن T گشتاور اعمالی، N سرعت دوران پره، g و h ضرایبی هستند که از روی برازش نمودار بدست می آیند.

g ضریب معادل **تنش تسلیم** و **h** ضریب معادل **لزجت** (ویسکوزیته) ماده می‌باشد.

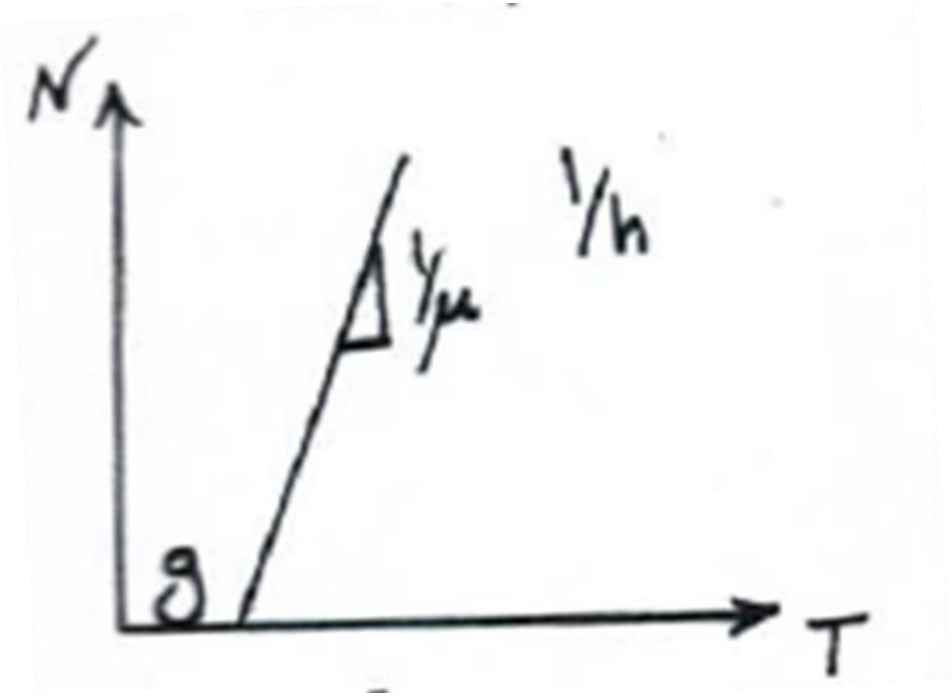
آزمایش دو نقطه ای

$T = g + hN$

$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dy}$

$g \approx \tau_0$

$h \approx \mu$



آزمایش دو نقطه ای

- **مزایا**

- این روش قادر به اندازه گیری لزجت و تنش تسلیم به صورت همزمان است.
- این دستگاه استفاده بسیار زیادی در عمل، خصوصا در کاربردهای آزمایشگاهی در مقایسه با سایر رئومترها دارد.
- با توجه به ساختار دستگاه می توان مشخصات انواع مختلفی از بتن و خمیر سیمان با کارآیی های متفاوت را اندازه گیری کرد.
- این روش می تواند تاثیر لرزش را بر رئولوژی بتن اندازه گیری کند.

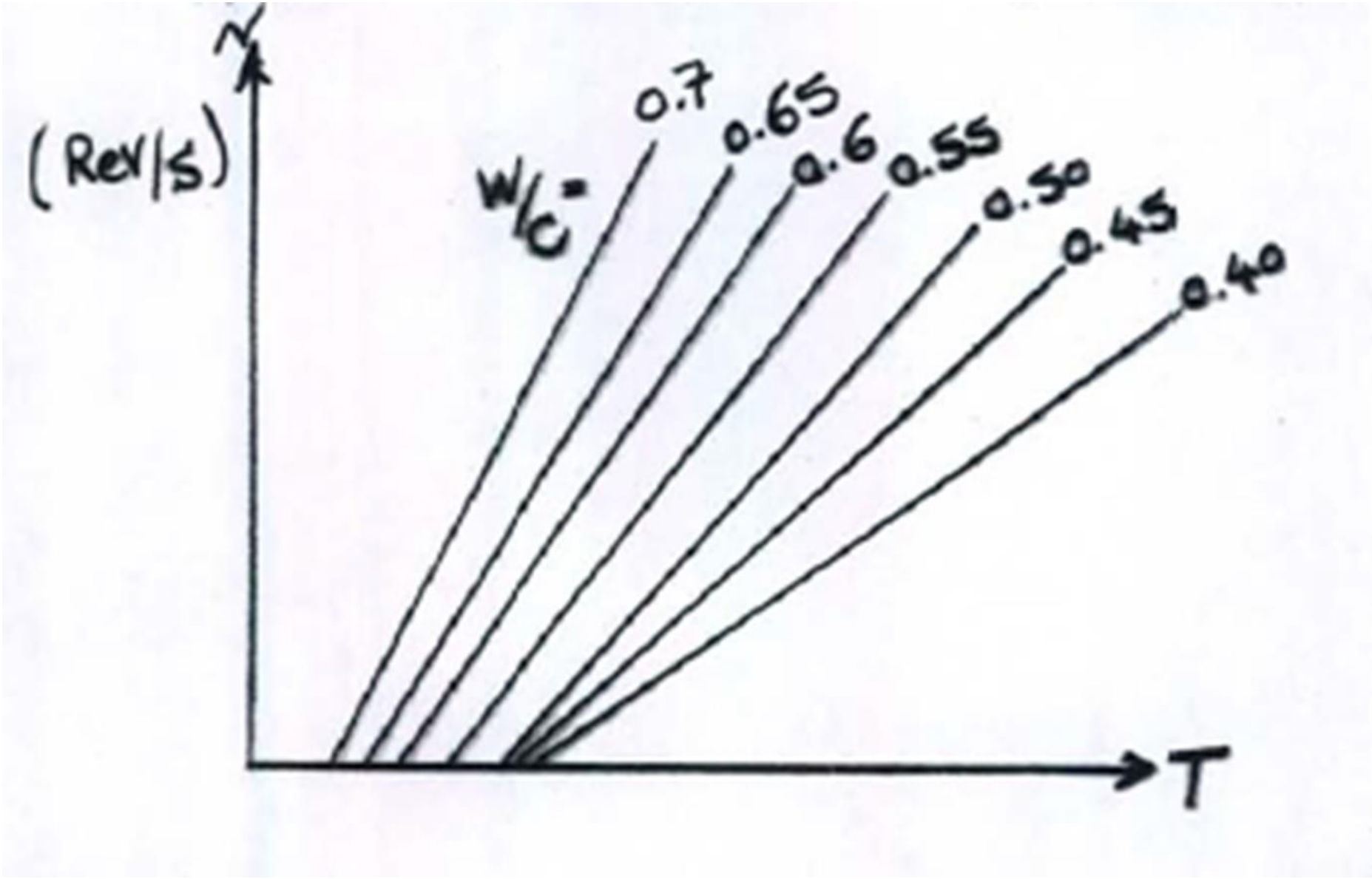
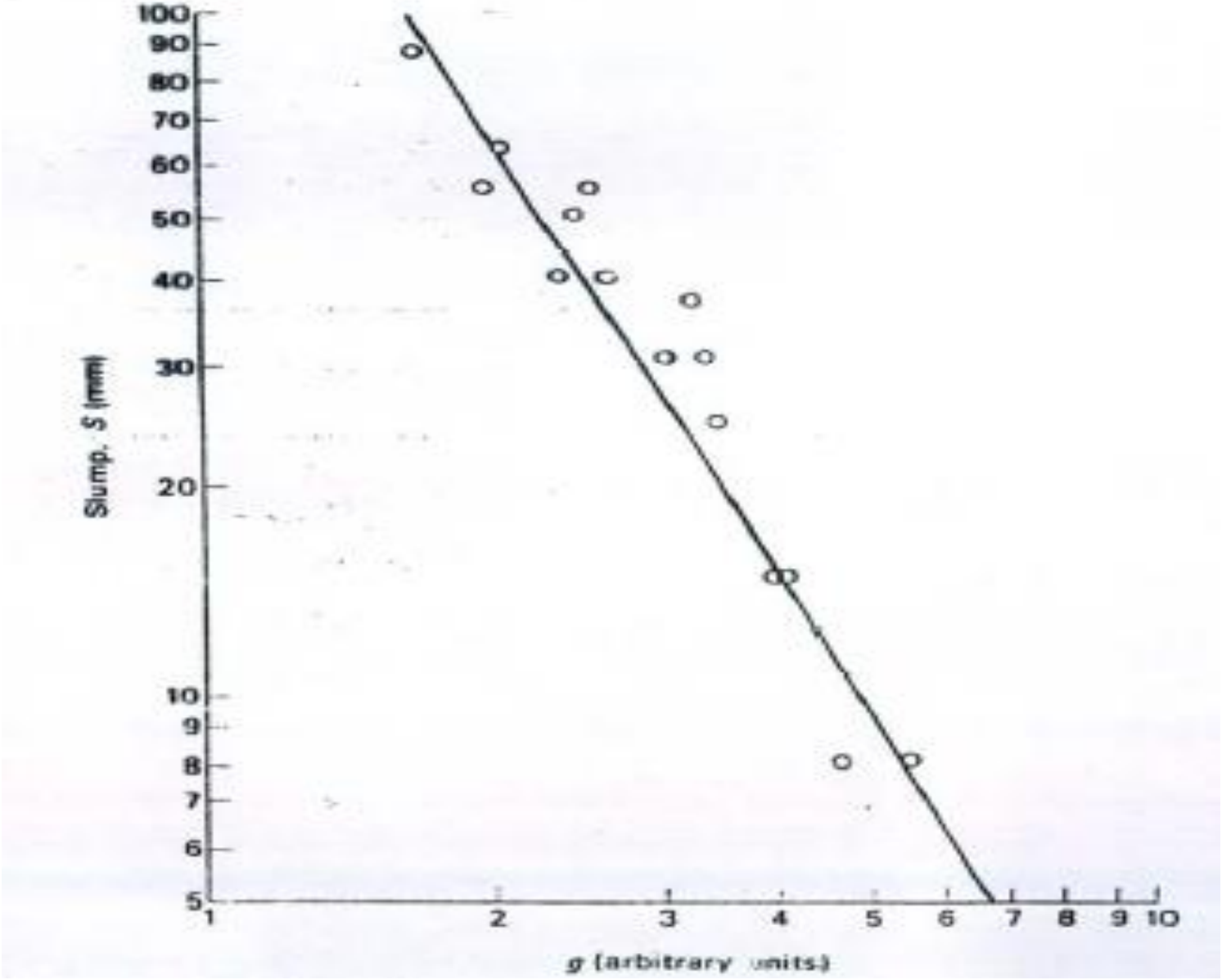
آزمایش دو نقطه ای

- **معایب**
  - دستگاه در مقایسه با سایر رئومترهای متداول دارای حجم نسبتا بالایی است، لذا استفاده از آن در کارهای اجرایی محدودتر است.
  - دستگاه نیاز به کالیبراسیون دارد.
  - دستگاه در درازمدت می تواند باعث جداشدگی در بتن شود.

عوامل موثر بر رئولوژی بتن

- هر چه نسبت آب به سیمان بتن بالاتر باشد، تنش لازم برای به حرکت در آوردن آن (تنش تسلیم) پایینتر خواهد بود.
- همچنین بالا رفتن نسبت آب به سیمان موجب افزایش روانی و کاهش لزجت بتن خواهد شد.
- بنابراین افزایش روانی بتن معادل با کاهش تنش تسلیم خواهد بود.

عوامل موثر بر رئولوژی بتن



رابطه بین اسلامپ و g (تنش تسلیم)